**01.04 та 06.04**

**Тема**: Будова і властивості твердих тіл. Кристалічні та аморфні тіла. Рідкі кристали та їх властивості.

Агрегатні стани речовини:

- газоподібний

- рідкий

- твердий

- плазма.

Довгий час здавалося, що найцікавіше у фізиці - це дослідження мікросвіту і мікрокосмосу. Саме там намагалися знайти відповіді на найважливі, фундаментальні питання, що пояснюють устрій навколишнього світу.

А зараз утворився третій фронт досліджень - вивчення твердих тіл.   
Чому ж так важливо досліджувати тверді тіла?   
Величезну роль, звичайно, грає десь практична діяльність людини.

Тверді тіла - це метали і діелектрики, без яких немислима електротехніка, це - напівпровідники, що лежать в основі сучасної електроніки, магніти, понад провідники, конструкційні матеріали.

Словом, можна стверджувати, що науково-технічний прогрес значною мірою заснований на використанні твердих тіл.   
Тверде тіло складається з мільярда частинок, які взаємодіють між собою. Це обумовлює появу певного порядку в системі і особливих властивостях всієї кількості мікрочасток.   
Структура твердих тіл багатообразна. Проте всі тверді тіла можна розділити на два великі класи: кристали і аморфні тіла.   
**Кристали - це тверді тіла, атоми або молекули яких займають певні, впорядковані положення в просторі**.

Тому кристали мають плоскі грані.

Наприклад крупинка звичайної куховарської солі має плоскі грані, складові один з одним прямі кути (рис 1)

 рис 1.

Це можна відмітити, розглядаючи сіль за допомогою лупи. Строга періодичність в розташуванні атомів приводить до збереження порядку на великих відстанях (у такому разі говорять, що є дальній порядок).

А як геометрично правильна форма крижинки! (рис 2)

   рис 2

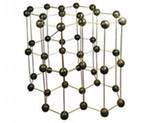
У ній також відбита геометрична правильність внутрішньої будови кристалічного твердого тіла - льоду.

Проте, правильна зовнішня форма не єдиний і не навіть найголовніший наслідок впорядкованої будови кристала.

**Головне** - **це залежність фізичних властивостей від вибраного в кристалі напряму**. Перш за все впадає в очі різна механічна міцність кристалів по різних напрямах. Наприклад шматок слюди (рис 3) легко розшаровується в одному з напрямів на тонкі пластинки, але розірвати його в напрямі, перпендикулярному пластинкам, набагато важче.

 рис 3

Так само легко розшаровується в одному напрямі кристал графіту (рис 4). Коли ви пишете олівцем, таке розшарування відбувається безперервно і тонкі шари графіту залишаються на папері. Це відбувається тому що кристалічна решітка графіту має шарувату структуру. Шари утворені поряд паралельних сіток, що складаються з атомів вуглецю. Атоми располагаются у вершинах правильных шестикутників. Відстань між шарами порівняно велика - зразкове в два рази більше, ніж довжина сторони шестикутника, тому зв'язки між шарами менш міцні, чим зв'язки усередині них.

  рис 4

Багато кристалів по-різному проводять теплоту і електричний струм в різних напрямах. Від напряму залежать і оптичні властивості кристалів.

Так, кристал кварцу (рис 5) по разному заломлює світло залежно від напряму падаючих на нього променів.

 рис 5

**Залежність фізичних властивостей від напряму усередині кристала називають анізотропією**.

Всі кристалічні тіла анізотропні.

Кристали: монокристали та полікристали.  
Монокристал – це одиночний кристал, що має макроскопічні упорядковані кристалічні градки.

Полікристал – це тверде тіло, яке являє собою сукупність хаотично орієнтованих монокристалів, що зрослися між собою.

Більшість кристалічних тіл - полікристали, оскільки вони складаються з безлічі зрощених кристалів. Одиночні кристали - монокристали мають правильну геометричну форму, і їх властивості різні по різних напрямах (анізотропія).   
Не всі тверді тіла - кристали.

Існує безліч аморфних тіл.

Чим вони відрізняються від кристалів?   
У аморфних тіл немає строгого порядку в розташуванні атомів.

Тільки найближчі атоми - сусіди располагаются в деякому порядку.

Але строгої направленості по всім напрямкам одного і того ж елементу структури, яка характерна для кристалів в аморфних тілах, немає.   
Часто одна і та ж речовина може знаходитися як в кристаллическом, так і в аморфному стані. Наприклад, кварц SiO2, може бути як в кристаллической, так і в аморфній формі  (аморфна форма - кремнезем).  (кристали кварцу)

Кристалічну форму кварцу схематично можна представити у вигляді правильних шестикутників.

Аморфна структура кварца також має такий вид, але неправильної форми. Разом з шестикутниками в ній зустрічаються п'яти і семикутники.

У 1959 р. англійський фізик Д. Бернал провів цікаві досліди: він узяв багато маленьких пластилінових кульок однакового розміру, обваляв їх в крейдяній пудрі і спресував у великий ком. В результаті кульки деформувалися в многогранники. Виявилось, що при цьому утворювалися переважно п'ятикутні грані, а многогранники в середньому мали 13,3 граней. Отже якийсь порядок в аморфних речовинах безумовно є.

**Властивості аморфних тіл**   
Всі аморфні тіла ізотропні, тобто їх фізичні властивості однакові по всіх напрямах.

(скло, смола, каніфоль, цукровий льодяник і ін. )  
При зовнішніх діях аморфні тіла виявляють одночасно пружні властивості, подібно до твердих тіл, і текучість, подібно рідині.

Так, при короткочасних діях (ударах) вони поводяться як тверді тіла і при сильному ударі розколюються на шматки.

Але при дуже тривалій дії аморфні тіла течуть.

Простежимо за шматком смоли, який лежить на гладкій поверхні. Поступово смола по ній розтікається, і, чим вище температура, тим швидше це відбувається.   
Атоми або молекули аморфних тіл, подібно до молекул рідини, мають певний час “осілому життю ” - час коливань біля положення рівноваги. Але в отличаї від рідин це час у них вельми великий.

Так, для вару при t = 20oC час “осілого життя ” 0,1 с. В цьому відношенні аморфні тіла близькі до кристалічних, оскільки перескоки атомів з одного положення рівноваги в інше відбуваються рідко.

Аморфні тіла при низьких температурах по своїх властивостях нагадують тверді тіла. Текучістю вони майже не володіють, але у міру підвищення температури поступово розм'якшуються і їх властивості все більш і більш наближаються до властивостей рідин. Це відбувається тому, що із зростанням температури постепенно учащаются перескоки атомів з одного положення в інше.

Певної температури тіл у аморфних тіл, на відмінувід кристалічних, немає.

Аморфні тіла займають проміжне положення між кристалічними твердими тілами і рідинами. Їх атоми або молекули розташовуються у відносному порядку.

Розуміння структури твердих тіл (кристалічних і аморфних) дозволяє створювати матеріали із заданими властивостями.

**Деформація твердого тіла** - зміна його форми або об'єму.

Розтягніть гумовий шнур за кінці. Вочевидь, ділянки шнура змістяться один щодо одного; шнур виявиться деформованим - стане довше і тонше. Деформація виникає завжди, коли різні частини тіла під дією сил переміщаються неоднаково.   
Шнур, після припинення дії на нього сил, повертається в початковий стан.

**Деформації, які повністю зникають після припинення дії зовнішніх сил називаються пружними.**

Тепер стисніть шматочок пластиліну.

У ваших руках він легко прийме будь-яку форму. Первинна форма пластиліну не відновиться сама собою. Пластилін “не пам’ятаєш яка форма б у нього спочатку. **Деформації, які не зникають після припинення дії зовнішніх сил, називаються пластичними.**   
**Деформація розтягування (стиснення)**. Якщо до одного стрижня, закріпленого одним кінцем, прикласти силу *F* уздовж осі стрижня в напрямі від цього кінця то стрижень піддасться деформации растяжения.

Деформацію розтягування характеризують:

абсолютним подовженням **Δ*l = l - l0***

відносним подовженням **ε *= Δl / l0***

Деформацію розтягування испытывают троси, канати, ланцюги в підйомних пристроях, стягування між вагонами і так далі   
При розтягуванні або стисненні змінюється площа поперечного перетину тіла. Це можна виявити, якщо розтягнути гумову трубку, на яку заздалегідь надіте металеве кільце. При достатньо сильному розтягуванні кільце падає. При стисненні, навпаки, площа поперечного перетину тіла збільшується.   
**Деформація зрушення**. Візьмемо гумовий брусок з накресленими на його поверхні горизонтальними і вертикальними лініями і закріпимо на столі

Зверху до бруска прикріпимо рейку і прикладемо до неї горизонтальну силу. Шари бруска ab, cd і ін. зрушаться, залишаючись паралельними, а вертикальні грані, залишаючись плоскими, нахиляться на кут.   
**Деформацію, при якій відбувається зсув шарів тіла один щодо одного, називають деформацією зрушення.**   
Наочно деформацію зрушення можна показати на модели твердого тіла, яке складається з ряду паралельних пластин, сполучених між собою пружинами.

Горизонтальна сила зрушує пластини один щодо одного без зміни об'єму тіла.

У реальних твердих тіл при деформації зрушення об'єм також не міняється.   
До деформацій зрушення схильні всі балки в місцях опор, заклепки і болти, що скріпляють деталі і так далі

Зрушення на великі кути може привести до руйнування тіла - зрізу.

Зріз відбувається при роботі ножиці, долота, зубила, зубів пили.

**Вигин і кручення.** Складнішими видами деформації є вигин і кручення.

Деформацію вигину випробовує, наприклад, навантажена балка.

Кручення відбувається при загортанні болтів, обертанні валів машин, свердел і так далі

Ці деформації зводяться до неоднорідного розтягування або стиснення і неоднорідного зрушення.   
Всі деформації твердих тіл зводяться до розтягування (стисненню) і зрушення. При пружних деформаціях форма тіла відновлюється, а при пластичних не відновлюється.

**Механічні властивості твердих тіл**   
**Діаграма розтягування**.

Величина, що характеризує состояние деформованого тіла, називається **механічною напругою.**

У будь-якому перетині деформованого тіла діють сили пружності, що перешкоджають розриву цього тіла на частини.

Напругою або, точніше, **механічною напругою називають відношення модуля сили пружності *F* до площі поперечного перетину *S* тіла.**   
**σ =F/S**

У СІ за одиницю напруги береться 1 Па= 1 Н/м², як і для тиску.   
У разі стиснення стрижня напруга аналогічно тиску в газах і рідинах.

Для дослідження деформації розтягування стрижень за допомогою спеціальних пристроїв піддають розтягуванню, а потім вимірюють подовження зразка і напругу, що виникає в нім.

За наслідками дослідів викреслюють графік залежності напруги від відносного подовження, що отримав назву діаграми розтягування.

**Закон Гуку**.

Досвід показує: **при малих деформаціях напруга s прямопропорційна відносно подовження e** (ділянка OA діаграми). Ця залежність, звана **законом Гуку,** записується так**:**   
σ = E |ε|   (1)  
Відносне подовження e у формулі узяте по модулю, оскільки закон Гуку справедливий як для деформації розтягування, так і для деформації стиснення, коли ε< 0.   
**Коефіцієнт пропорційності E, що входить в закон Гуку, називається модулем пружності або модулем Юнга.**

Модуль Юнга визначають по формулі, вимірюючи напругу σ і відносне подовження ε при малих деформаціях.   
Для більшості широко поширених материалов модуль Юнга визначений експериментально.

Чим більше модуль Юнга, тим менше деформується стрижень за інших рівних умов Модуль Юнга характеризує опірність матеріалу упругой деформації розтягування або стиснення.   
**Межі пропорційності і пружності.**

Ми вже говорили, що закон Гуку виконується при невеликих *деформаціях*, а отже, при напрузі, що не перевершує деякої межі.

**Максимальна напруга при якому ще виконується закон Гука, називають межею пропорційності. σп**Якщо збільшувати навантаження, то деформація стає нелінійною, напруга перестане бути прямо пропорциональным відносному подовженню.

Проте при невеликих нелінійних деформаціях після зняття навантаження форма і розміри тіла практично відновлюються.

**Максимальну напругу, при якій ще не виникають помітні залишкові деформації (відносна залишкова деформація не перевищує 0,1%), називають межею пружності σпр.**

Межу пружності перевищує межа пропорційності лише на соті долі відсотка.   
**Межа міцності**. Якщо зовнішнє навантаження таке, що напруга в матеріалі перевищує межу пружності, то після зняття навантаження зразок, небагато і коротшає, але не приймає колишніх розмірів, а залишається деформованим.

У міру збільшення навантаження деформація наростає все швидше і швидше.

При деякому значенні напруги, відповідному на діаграмі точці C, подовження наростає практично без збільшення навантаження.

Це явище називають **текучістю матеріалу (ділянка CD).**

Далі із збільшенням деформації крива напруги починає трохи зростати і досягає максимуму в точці *E*.

Потім напруга різко спаде і зразок порушується (точка K).

Таким чином, розрив відбувається після того, як напруга досягає максимального значення **σпч, званого межею міцності (зразок розтягується без збільшення зовнішнього навантаження аж до руйнування**).

Ця величина залежить від матеріалу зразка і якості його обробки.   
Споруди або конструкції надійні, якщо виникаючі в них при експлуатації напруги у декілька разів менше межі міцності.   
Дослідження розтягування (стиснення) твердого тіла дозволяють встановити, від чого залежить коэффициент жорсткості в законі Гуку.

Діаграма розтягування, отримана експериментально, дає достатньо повну інформацію про механічні властивості матеріалу і дозволяє оцінити його міцність.   
**Пластичність і крихкість**   
**Пружність.** Тіло з будь-якого матеріалу при малих деформаціях поводиться, як пружне. Його розміри і форма відновлюються при знятті навантаження.

В той же час всі тіла в тій чи іншій мірі можуть випробовувати пластичні деформації.   
Механічні властивості матеріалів різноманітні.

Такі матеріали, як гума або сталь виявляють пружні властивості при порівняно великій напрузі і деформаціях.

Для сталі, наприклад, закон Гуку виконується аж до ε = 1%, а для гуми - до десятків відсотків. Тому такі матеріали називають пружними.   
**Пластичність.** У мокрої глини, пластиліну або свинцю область пружних деформацій мала. **Матеріали, у яких незначні навантаження викликають пластичні деформації, називають пластичними.**Ділення матеріалів на пружних і пластичних значною мірою умовно.

В залежності від виникаючої напруги один і той же матеріал поводитиметься або як пружний, або як пластичний.

Так, при дуже великій напрузі сталь виявляє пластичні властивості.

Це широко використовують при штампуванні сталевих виробів за допомогою преса, создающего величезне навантаження.   
Холодна сталь або залізо насилу піддаються куванню молотом.

Але після сильного нагріву їм легко додати посредствам кування будь-яку форму. Свинець пластичний і при кімнатній температурі, але набуває яскраво виражених пружних властивостей, якщо його охолодити до температури нижче -100 C0.   
**Крихкість.** Велике значення на практике має властивість твердих тіл, звану крихкістю. **Матеріал називають крихким, якщо він руйнується при невеликих деформаціях**. Вироби з скла і фарфору крупких, оскільки вони розбиваються на шматки при падінні на підлогу навіть з невеликої висоти.

Чавун, мармур, янтар також володіють підвищеною крихкістю, і, навпаки, сталь, мідь, свинець не є крихкими.   
У всіх крихких матеріалів напруга дуже швидко росте із збільшенням деформації, вони руйнуються при вельми малих деформаціях.

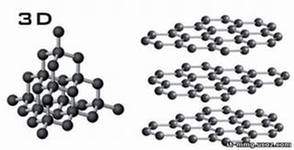
Так, чавун руйнується при відносному подовженні 0,45%.

У сталі ж при 0,45% деформація залишається пружною і руйнування відбувається при 15%.   
Пластичні властивості у крихких матеріалів практично не виявляються.   
**Поліморфізм – це явище, за якого кристалічні тіла, однакові за своїи хімічним складом, мають різні фізичні властивості.**

Наприклад: алмаз і графіт.

Графіт та його властивості:

 графіт  алмаз



І алмаз, і графіт мають однакові атоми, але в молекулах вони розташовані по різному. Цього досить, щоб ці речовини були несхожі один на одного.

У практичній діяльності людини великого значення набули аморфні речовини, які називають **полімерами**. Це високомолекулярні сполуки. Відносна молекулярна маса полімерів може змінюватися від декількох тисяч до мільйонів. Молекули полімеру складаються із величезної кількості однакових ланок - мономерів, об'єднаних у довгі ланцюги міцними хімічними зв'язками. До них належать такі природні речовини, як бавовна, шерсть, дерево, шкіра, натуральний шовк, каучук, ебоніт тощо. Величезну кількість полімерних матеріалів видобувають штучно: віскозний шовк, синтетичний каучук, целофан, органічне скло, поліетилен, пластичні маси, штучні волокна, епоксидні смоли та ін. До природних полімерів належать і біополімери: білки, нуклеїнові кислоти. Із біополімерів побудовано клітини всіх живих організмів.

Полімери - основа гуми, лаків, фарб, клеїв, іонітів тощо. Завдяки введенню до полімерів домішок, можна створювати речовини з дуже цінними якостями: високою твердістю, легкістю, вогнестійкістю та ін.

Крім аморфного, відкрито ще один стан речовини з подвійною природою - і рідини, і твердого тіла - це так звані **рідкі кристали**, особливий стан деяких органічних речовин. Для них характерна плинність і вони утворюють краплі. Однак їх краплі можуть мати не кулеподібну, а видовжену форму. Молекули у краплі розміщуються порядком, не властивим звичайним рідинам і твердим тілам. Якщо в твердих кристалах спостерігається дальній порядок розміщення частинок у трьох взаємно перпендикулярних напрямах, то в рідких - за одним напрямом (одновісний дальній порядок).

Існують рідкі кристали в певному інтервалі температур, різному для різних речовин. Під час нагрівання вони перетворюються в звичайну рідину, внаслідок охолодження стають твердими кристалами.

Розрізняють три основні типи рідких кристалів: смектичні, нематичні, холестеричні. У нематичних рідких кристалах (від грец. "нема" - нитка) молекули схожі на нитки. У смектичних рідких кристалах (від грец. "смегма" - мило) рівень впорядкованості вищий. Молекули смектика згруповані у шари. Прикладом смектика є розчин мила у воді. Коли ми миємо з милом руки, то шари молекул мила легко ковзають один відносно одного і шкіри, забираючи з неї бруд і передаючи його воді.

Властивість холестеричних рідких кристалів змінювати колір у разі зміни температури використовують у медицині (для визначення ділянок тіла з підвищеною температурою) і в техніці (для перетворення невидимого й інфрачервоного проміння від нагрітих тіл у видиме зображення). Дотепер вивчено понад 3000 речовин, що утворюють рідкі кристали. До них належать речовини біологічного походження, наприклад, дезоксирибонуклеїнова кислота, що несе код спадкової інформації, і речовина мозку. Подальші дослідження цих речовин не тільки розширять їх застосування в техніці, але й допоможуть проникнути в таємниці біологічних процесів.

Дом завдання:

1. Чим відрізняються кристалічні тіла від аморфних?

2. Назвіть основні властивості кристалічних тіл.

3. Які основні властивості аморфних тіл.

4. Що називають монокристалом?

5. Які тіла називають полікристалічними?

6. Що таке анізотропія? Ізотропність?

7. Наведіть приклади монокристалічних, полікристалічних і аморфних тіл.

8. Чому протягом усього часу плавлення температура кристалічного тіла не змінюється?

9. Чому аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення?

10. Що таке деформація?

11. Яку деформацію називають пружною? Пластичною?

12. Назвіть види деформацій.

13. Поясніть, що відбувається з тілом під час його розтягування і стиснення.

14. Що називають абсолютним видовженням тіла? Якою формулою виражається зміст цього поняття?

15. Що називають відносним подовженням? Яка формула виражає зміст цього поняття?

16. У чому подібність і розбіжність деформації зсуву і кручення?

17. Охарактеризуйте деформації згину. Чому в техніці й у будівництві замість стрижнів і суцільних брусів застосовують труби, двотаврові балки, рейки, швелери?

18. До якого виду деформації належить зріз?

19. Що називають механічною напругою? Яка формула виражає зміст цього поняття? Яка одиниця механічної напруги в системі СІ?

20. Який фізичний зміст модуля пружності? Як варто розуміти: модуль пружності сталевого дроту 21·1010 Па, алюмінію 7·1010 Па?

21. Запишіть формулу закону Гука для однобічного розтягу чи стиску і як він формулюється?

22. Виконайте рисунок діаграми розтягу для металу і поясніть її. Що називають межею пропорційності? Пружності? Плинності? Міцності?

23. Що називають пластичністю? Крихкістю?

24. Чому деякі рідини можна назвати кристалічними?

25. Наведіть приклади рідких кристалів

26. Де використовують рідкі кристали?