

АКУСТОЕЛЕКТРОНІ КА

№1

**Основні принципи та
уявлення**

Предмет акустоелектроніки

Акустоелектроніка базується на поширенні пружних або акустичних хвиль (АХ) в твердих тілах. За допомогою АХ здійснюються такі види обробки сигналів в діапазоні частот **10 МГц – 2 ГГц**:

- Затримка
- Фільтрація
- Згортка та кореляція
- Підсилення та генерація

В приладах АЕ **використовуються** такі акустичні явища та ефекти:

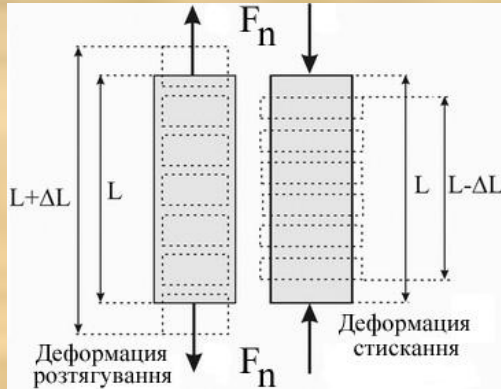
- Генерація, поширення, перетворення та детектування об'ємних та поверхневих АХ
- Прямий та зворотній п'єзоелектричні ефекти
- Перетворення електричного сигналу в акустичний та навпаки
- Електронне поглинання та підсилення АХ
- Акустоелектронні та акустомагнітні ефекти, акустопровідність
- Нелінійні акустичні явища: генерація гармонік, параметричне підсилення, акустоелектронні домени
- Взаємодія АХ та світла в твердих тілах, дифракція, модуляція та сканування світла АХ

Деформації твердого тіла. Закон Гука.

Види деформацій: **пружні** (зникають з припиненням дії зовнішніх сил) та **пластичні** (залишаються в тілі після припинення дії зовнішніх сил). Малі пружні деформації описуються **Законом Гука** (*Robert Hook*, відкрито 1660 р.), який розглянемо спочатку **для ізотропних середовищ**.

Деформації розтягування та

СТИСКАННЯ



$\frac{\Delta L}{L}$ - **відносне видовження**,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - **напруження**.

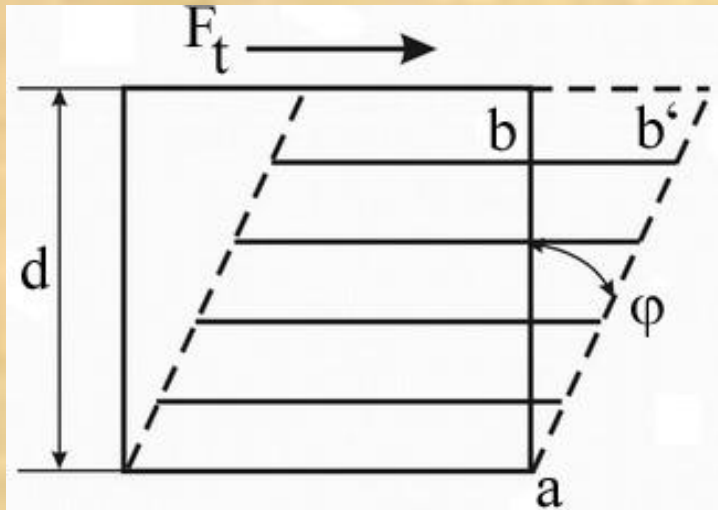
При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від
матеріалу речовини та її стану.

$\frac{\Delta L}{L}$ - **відносне видовження**,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - **напруження**.

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від
матеріалу речовини та її стану.

Деформація зсуву



$\frac{\Delta L}{L}$ - відносне видовження,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - напруження.

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від
матеріалу речовини та її стану.

$\frac{\Delta L}{L}$ - відносне видовження,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - напруження.

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від
матеріалу речовини та її стану.

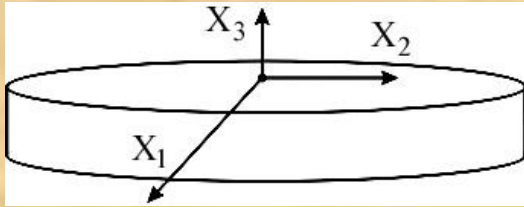
Закон Гука для анізотропних середовищ

$\frac{\Delta L}{L}$ - відносне видовження,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - напруження.

При малих деформаціях діє закон Гука: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – модуль Юнга, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану

Закон Гука для анізотропних середовищ



$\frac{\Delta L}{L}$ - *відносне видовження,*

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - *напруження.*

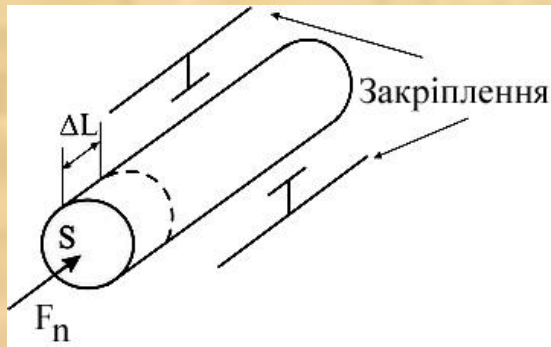
При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану.

$\frac{\Delta L}{L}$ - *відносне видовження,*

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - *напруження.*

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану.

Швидкість акустичних хвиль



Вздовж вісі стержня буде поширюватись хвильовий імпульс стискання (хвильовий процес). Такий тип хвильового процесу, що виникає при пружних деформаціях стискування та розтягування, зветься **повздовжніми акустичними хвилями**.

$\frac{\Delta L}{L}$ - **відносне видовження**,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - **напруження**.

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану.

Швидкість звуку у різних середовищах

Швидкість звуку в газах при нормальних умовах:

Газ	$V_{г}, \text{ м/сек}$
Повітря	331
Водень	1284
Вуглекислий газ	259

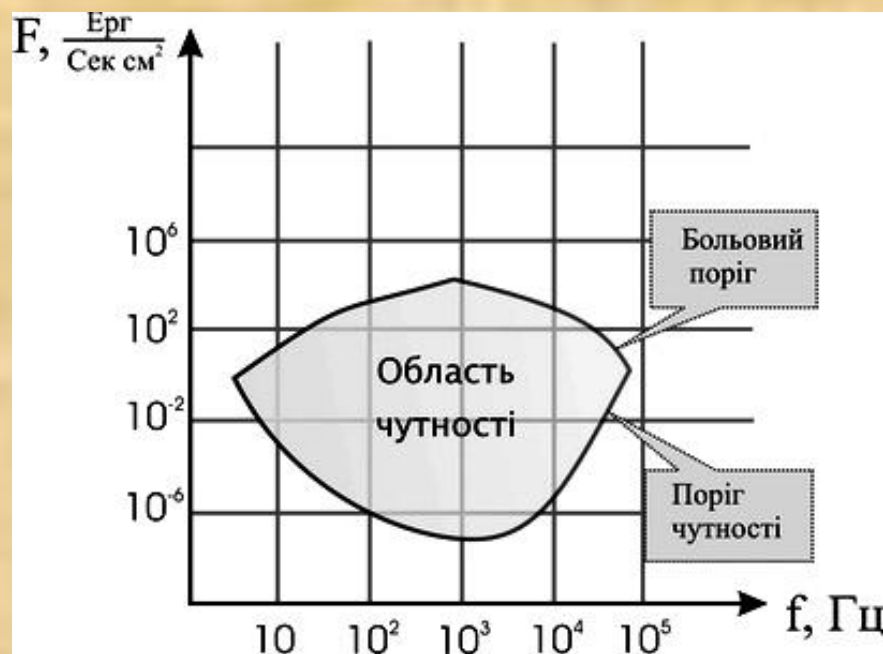
Швидкість звуку в твердих тілах:

Рідина	$V_{р}, \text{ м/сек}$
Вода	1490
Горілка	1300
Ртуть	1453

Швидкість звуку в рідинах при 20° С:

Тверде тіло	$V_{тв.т.}, \text{ м/сек}$
Срібло	2600
Скло	5000
Бетон	5000

Діапазон існування акустичних хвиль



$\frac{\Delta L}{L}$ - відносне видовження,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - напруження.

При малих деформаціях діє закон Гука: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E - модуль Юнга, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану.

Співставиво силу звука з деякими різними шумами:

Вид шуму	ґ, дБ	ґ, Ерг/(см · сек)
Нижня межа порогу чутності	<1	10
Шепіт листя в лісі	10	10
Людська хода	20 ÷ 50	10 ÷ 10
Шум автомобіля	70	10
Клаксон автомобіля	90	1
Фортіссімо оркестру, сирена	100	10
Реактивний двигун	120	10
Больовий поріг	125 ÷ 130	10

Частотні діапазони деяких музичних інструментів:

– скрипка	196 ÷ 2000 Гц	} смичкові
– віолончель	65,5 ÷ 700 Гц	
– контрабас	45 ÷ 240 Гц	} дерев'яні духові
– флейта	262 ÷ 2003 Гц	
– кларнет	147 ÷ 1500 Гц	
– гобой	233 ÷ 1568 Гц	
– фагот	58 ÷ 622 Гц	
– англ. рожок	165 ÷ 932 Гц	} мідні духові
– концертна труба	185 ÷ 1046 Гц	
– валторна	61 ÷ 700 Гц	
– тромбон	81 ÷ 520 Гц	
– фортепіано (~8 октав)	21 ÷ 4164 Гц	
Людський голос:	бас ÷ колоратурне сопрано	
	95 ÷ 1500 Гц	

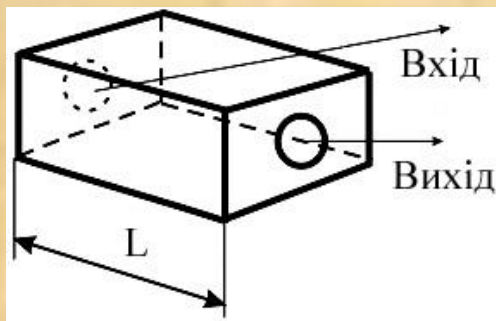
Ультразвук

Може поширюватись в середовищі **за умови**, коли довжина хвилі λ буде набагато більше за довжину вільного пробігу молекул в газах або міжатомних відстаней в рідинах та твердих тілах. В газах верхня частота ультразвука сягає 10^9 Гц, в рідинах та твердих тілах – $10^9 \div 10^{13}$ Гц; а діапазоні $10^9 \div 10^{13}$ Гц – це *гіперзвук*; на мові квазічастинок кванти ультразвукових хвиль зуть **фононами**.

Інфразвук

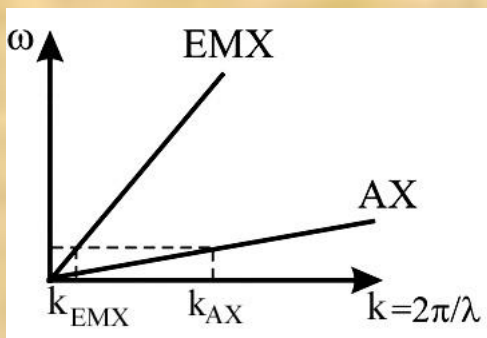
Його нижня частота невизначена і зараз приблизно 10^{-3} Гц (діапазон цих хвиль \approx **15 октав** !); вони мало поглинаються, тобто інфразвук майже неможливо ізолювати, всі звукоізоляційні матеріали втрачають ефективність на інфразвукових частотах.

Переваги АХ для застосування в системах обробки сигналів



$\frac{\Delta L}{L}$ - відносне видовження,

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - напруження.



При малих деформаціях діє закон Гука: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – модуль Юнга, величина якого залежить від матеріалу речовини та її стану.

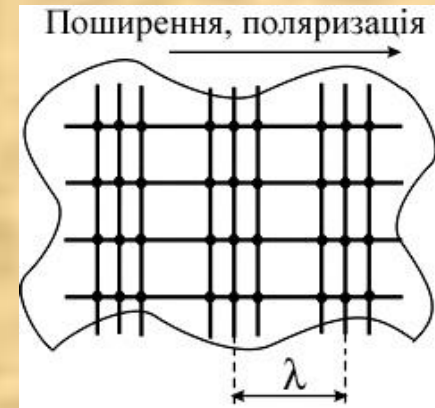
Тобто, пристрої на АХ мають значно менші розміри в порівнянні з пристроями на електромагнітних хвилях.

3. Пристрої на АХ використовують кристали, тому вони надійні та міцні.

4. АХ на частотах до 1 ГГц мають порівняно малі втрати, тому припали на їх основі характеризуються значною добротністю

Типи коливань в ізотропних необмежених середовищах

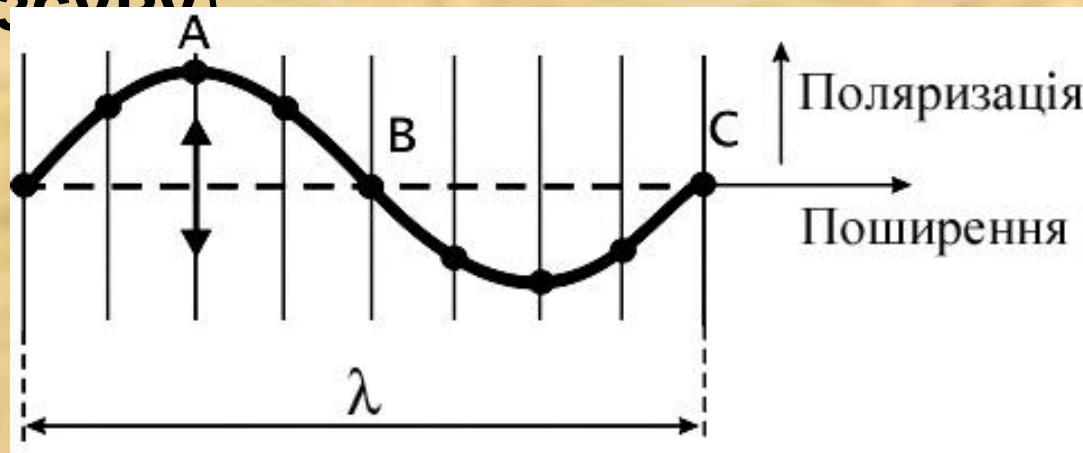
Повздовжні хвилі (або хвилі стискання)



Вузли кристалічної ґратки зміщуються вздовж напрямку поширення хвилі; хвиля має **плоскі фронти**. При поширенні хвилі змінюються відстані між паралельними площинами, що містять вузли кристалічної ґратки – в заданий момент часу хвиля являє собою **послідовність областей стискання та розрідження**. Вводиться поняття **поляризації** – напрямком зміщення вузлів кристалічної ґратки – тут він співпадає з напрямком поширення хвилі.

Типи коливань в ізотропних необмежених середовищах

Поперечні хвилі (або хвилі звуку)



Вузли кристалічної ґратки зміщуються перпендикулярно до напрямку поширення; поляризація і напрям поширення є взаємно перпендикулярними.

Хвилі в анізотропних середовищах

В анізотропному середовищі в будь-якому напрямку можуть поширюватися **3 хвилі**, жодна з яких не є чітко повздовжньою або ж чітко поперечною:

- **квазіповздовжня хвиля** (вузли кристалічної ґратки зміщуються вздовж напрямку, яке утворює з хвильовим фронтом кут, відмінний від нуля);
- **швидка квазіпоперечна хвиля**;
- **повільна квазіпоперечна хвиля**.

Поляризації таких хвиль, що поширюються з різними швидкостями, є **взаємно перпендикулярними**. Відповідно, **потоки енергії**, які визначають напрям переносу енергії для кожної з хвиль, **утворюють різні кути з хвильовими векторами**.

Такі хвилі **не являють інтересу** для практики через **багатомодовість**.

Вихід – вибирати такі особливі напрямки в анізотропних кристалах – **вісі симетрії** – вздовж яких поширюються **чисті моди** (напрямок чистої моди) - для них напрям переносу енергії та хвильовий вектор будуть паралельними, як в ізоанізотропному кристалі.

Висновок

$\frac{\Delta L}{L}$ - *відносне видовження,*

$P_n = \frac{F_n}{S}$ - *напруження.*

При малих деформаціях діє **закон Гука**: $P_n = E \frac{\Delta L}{L}$,
де E – **модуль Юнга**, величина якого залежить від
матеріалу речовини та її стану.

Дякую за увагу!

