

# ЗВУКОВІ ХВИЛІ

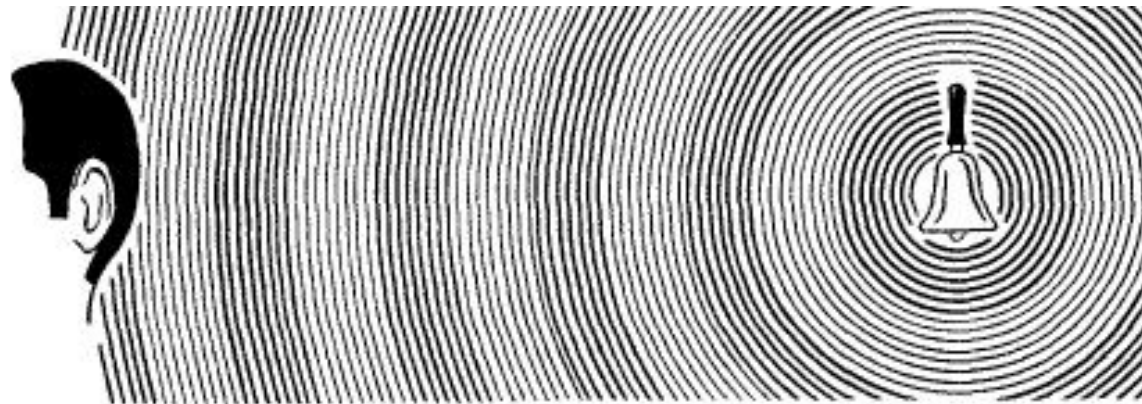


Рис. 51

# ЗМІСТ

1. Природа звуку та ультразвукової хвилі
2. Швидкість звуку
3. Поширення звукових хвиль
4. Інтенсивність звуку
5. Об'єктивні характеристики звуку
6. Ефект Доплера
7. Ультразвук
8. Інфразвук

# Природа звуку та ультразвукової хвилі

- Як відомо з фізики джерелом будь-яких коливань: звукових, електромагнітних є хвиля.
- Пружні хвилі, які розповсюджуються в суцільних середовищах, називають звуковими. До звуковим хвилям належать хвилі, частоти яких лежить в межах сприйняття органами слуху. Людина сприймає звуки тоді, коли на його органи слуху діють хвилі з частотами від 16 до 20 000 Гц. Пружні хвилі, частота яких менше 16 Гц, називають інфразвуковими, а хвилі, частота яких лежить в інтервалі від  $2 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^9$  Гц - ультразвуковими.
- Розділ фізики, в якому вивчаються звукові хвилі (їх порушення, поширення, сприйняття і взаємодія їх з перешкодами і речовиною середовища) називають акустикою. Розвиток техніки дозволило проводити і візуальне спостереження звуку. Для цього використовують спеціальні датчики і мікрофони і спостерігають звукові коливання на екрані осцилографа.

# ШВИДКІСТЬ ЗВУКУ

- Швидкість звуку — швидкість поширення звукових хвиль у середовищі.
- Як правило, в газах швидкість звуку менша, ніж в рідинах, а в рідинах швидкість звуку менша, ніж у твердих тілах, що пов'язано в основному з убуттям стисливості речовин у цих фазових станах відповідно.
- Швидкість звуку в повітрі за нормальних умов становить 340 м/с. Вона дещо зростає з підвищенням температури і зменшується при її пониженні. Швидкість звуку в повітрі практично не залежить від частоти, тому звук розповсюджується на великі відстані без спотворень.
- Швидкість звуку залежить від середовища, через яке проходять звукові хвилі і визначається його параметрами - модулями пружності. Швидкість звуку в газах залежить від температури, від маси молекули газу. Загалом вона дорівнює кореню квадратному похідної від модуля пружності середовища відносно густини. При великих інтенсивностях звуку вона залежить також від амплітуди.
- Швидкість звуку в будь-якому середовищі обчислюється по формулі:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}}$$

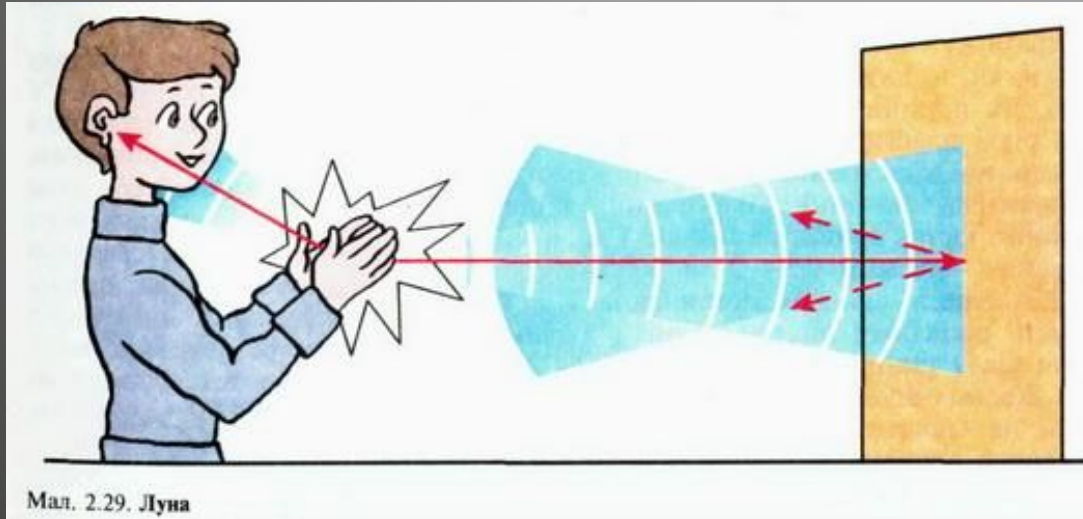
## Швидкості звуку в різних середовищах

Речовина	Швидкість звуку, м/с
-----	
<u>Повітря</u> (при 20 °С)"	343,1
<u>Вода</u>	1 483
<u>Водень</u>	1 284
<u>Гума</u>	1 800
<u>Дерево</u>	3 320
<u>Залізо</u>	5 850
<u>Морська вода</u>	1 530

# ПОШИРЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

- У процесі поширення звукових хвиль в середовищі відбувається їх згасання. Амплітуда коливань частинок середовища поступово зменшується при зростанні відстані від джерела звуку. Однією з основних причин загасання хвиль є дія сил внутрішнього тертя на частинки середовища. На подолання цих сил безперервно використовується механічна енергія коливального руху, що переноситься хвилею. Ця енергія перетворюється в енергію хаотичного теплового руху молекул і атомів середовища. Оскільки енергія хвилі пропорційна квадрату амплітуди коливань, то при поширенні хвиль від джерела звуку разом зі зменшенням запасу енергії коливального руху зменшується і амплітуда коливань.

- На поширення звуків в атмосфері впливає багато чинників: температура на різних висотах, потоки повітря. Луна - це відбитий від поверхні звук. Звукові хвилі можуть відбиватися від твердих поверхонь, від шарів повітря в яких температура відрізняється від температури сусідніх шарів.



Для отримання чистої луни необхідно, щоб перешкода була порівнянна за розміром з довжини хвилі звуку або більша від неї. Луна особливо підсилюється, якщо перешкоди, від яких відбивається звук, утворюють резонатор. Людське вухо не розрізняє відбитий звук від початкового, якщо інтервал між ними менший від 0,1 секунди. Тому мінімальна віддаль, необхідна для луни приблизно 16 метрів.

# ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗВУКУ

- Для порівняння інтенсивності  $L$  звуку або звукового тиску використовують рівень інтенсивності. Рівнем інтенсивності називають помножений на 10 логарифм відносин двох інтенсивностей звуку. Величина  $L$  вимірюється в децибелах. Для вказівки абсолютного рівня інтенсивності вводять стандартний поріг чутності 10 людського вуха на частоті 1000 Гц, по відношенню до якого вказується інтенсивність. У таблиці представлені інтенсивності різних природних і техногенних звуків та їх інтенсивності.



<u>Звук</u>	L, Дб	<u>Звук</u>	L, Дб
Поріг чутності	0	Вуличний шум	70
Цокання годинника	10	Крик	80
Шепіт	20	Пневматична свердло	90
Тиха вулиця	30	Ковальський цех	100
Приглушений розмова	40	Клепальні молот	110
Розмова	50	Літаковий двигун	120
Друкарська машинка	60	Больовий поріг	130

# Об'єктивні характеристики звуку

- Будь-яке тіло, яке знаходиться в пружному середовищі і коливається зі звуковою частотою, є джерелом звуку. Джерела звуку можна поділити на дві групи: джерела, які працюють на власній частоті, і джерела, які працюють на вимушених частотах. До першої групи належать джерела, звуки в яких створюються коливаннями струн, камертонів, повітряних стовпів у трубах. До другої групи джерел звуку належать телефони.



- Здатність випромінювати звук залежить від розміру їх поверхні. Чим більша площа поверхні тіла, тим краще воно випромінює звук. Так, натягнута між двома точками струна або камертон створюють звук досить малої інтенсивності. Для посилення інтенсивності звуку струн і камертонів їх об'єднують з резонаторними ящиками, яким притаманний ряд резонансних частот.

- Інтенсивність звуку, який створюється джерелом, залежить не тільки від його характеристик, а і від приміщення, в якому знаходиться цей джерело. Після припинення дії джерела звуку розсіяний звук не зникає раптово. Це пояснюється відбиттям звукових хвиль від стін приміщення. Час, протягом якого після припинення дії джерела звук повністю зникає, називають часом реверберації. Умовно вважають, що час реверберації дорівнює проміжку часу, протягом якого інтенсивність звуку зменшиться в мільйон разів.
- Час реверберації - це важлива характеристика акустичних властивостей концертних залів, кінозалів, аудиторій та інше. При великому часі реверберації музика звучать досить голосно, але невиразно. При малому часі реверберації музика звучать слабо і глухо. Тому в кожному конкретному випадку домагаються найбільш оптимальних акустичних характеристик приміщень.

# ЕФЕКТ ДОППЛЕРА

□ Ефект Допплера можна легко спостерігати саме на акустичних коливаннях. Коли до нас наближається поїзд або автомобіль з увімкненим сигналом, то з його наближенням, а потім віддаленням ми помічаємо різку зміну висоти тону звуку сигналу. З віддаленням джерела частота коливань зменшується. Це явище називають ефектом Допплера, причина його полягає в тому, що з наближенням до спостерігача джерела звуку він за одиницю часу сприймає більшу кількість хвиль, ніж тоді, коли джерело звуку віддаляється.



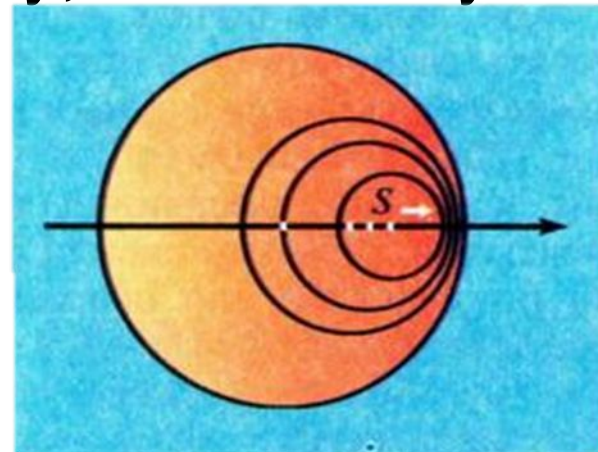
**Допплер Христіан (1803—1853)** — австрійський фізик і астроном. У 1842 р. теоретично обґрунтував залежність частоти звукових і світлових коливань, що сприймаються спостерігачем, від швидкості руху спостерігача і джерела коливань (ефект Допплера)

□ За інтервал часу  $\frac{1}{f}$  джерело посилає одну хвилю, яка поширюється в середовищі, що розглядається зі швидкістю  $u$ .

□ За інтервал часу  $\frac{1}{f_1}$  джерело звуку наблизиться до спостерігача на відстань  $v \frac{1}{f_1}$ . Отже, кінець наступної хвилі, що вийде із

□ джерела через  $\frac{1}{f_1}$  секунд, буде віддалений у просторі від кінця попередньої хвилі не на довжину хвилі  $\lambda = \frac{u}{f}$ , що мало б місце за нерухомого джерела звуку, а на меншу довжину:

□ 
$$\lambda' = \frac{u}{f} - \frac{v}{f} = \frac{u-v}{f}.$$



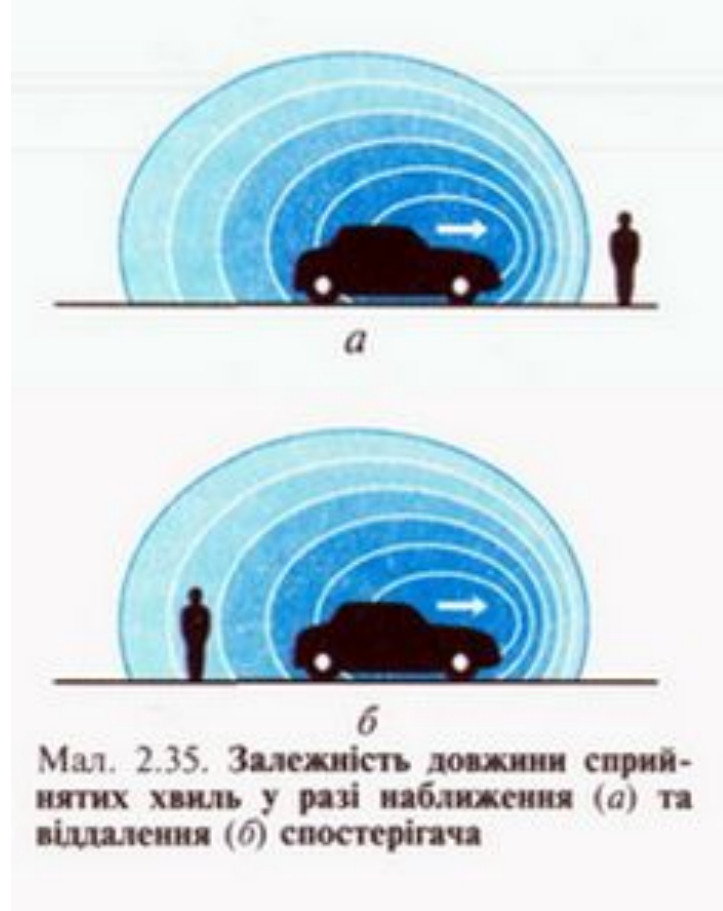
Якщо спостерігач наближається до нерухомого джерела звуку, частота коливань, яку він сприймає, також зростає, оскільки спостерігач при цьому швидше проходить довжини хвиль або частіше стикається з гребенями хвиль.

Якщо спостерігач рухається до джерела звуку, частоту сприйнятих коливань визначають за формулою

$$f' = f \left( 1 + \frac{v}{u} \right),$$



Мал. 2.34. З наближенням до спостерігача довжина хвилі зменшується



Мал. 2.35. Залежність довжини сприйнятих хвиль у разі наближення (а) та віддалення (б) спостерігача

якщо він рухається від джерела звуку — за формулою

$$f' = f \left( 1 - \frac{v}{u} \right).$$

# УЛЬТРАЗВУК

Як вже зазначалося, пружні хвилі, частоти яких лежать в інтервалі від 24104 до 109 Гц, називають ультразвуком. Весь діапазон частот ультра звукових хвиль умовно поділяють на три піддіапазони : ультразвукові хвилі низьких (2 Ч 104-105 Гц), середніх (105 - 107 Гц) і високих частот (107 -109 Гц).

За фізичною природою ультразвукові хвилі такі, як і звукові хвилі будь-якої довжини. Тим не менше, внаслідок більш високих частот ультразвук має ряд специфічних особливостей при його розповсюдженні. У зв'язку з тим, що довжини ультразвукових хвиль досить малі, характер їх поширення визначається в першу чергу молекулярними властивостями речовини. Характерна особливість розповсюдження ультразвуку в багатоатомних газах і в рідинах - це існування інтервалів довжин хвиль, в межах яких проявляється залежність фазової швидкості поширення хвиль від їх частоти, тобто має місце дисперсія звуку. У цих інтервалах довжини хвиль також відбувається значне поглинання ультразвуку. Тому при поширенні його в повітрі відбувається більш значне його згасання, ніж звукових хвиль. У рідинах і твердих тілах (особливо монокристалів) згасання ультразвуку значно менше. Тому сфера застосування ультразвуку середніх і високих частот лежить в основному в рідких і твердих середовищах, а в повітрі і в газах застосовують тільки ультразвук низьких частот.

Ще одна особливість ультразвуку - це можливість отримання великої інтенсивності навіть при порівняно невеликих амплітудах коливань, оскільки при певній амплітуді щільність потоку енергії пропорційна квадрату частоти.

Для отримання ультра звукових хвиль використовують механічні та електромеханічні прилади. До механічних можна віднести повітряні та рідинні сирени і свистки. Багато речовин можуть генерувати ультразвук при приміщенні їх у високочастотне електричне поле.

Ультразвук використовують у багатьох галузях знань, науки і техніки. Його використовують для вивчення властивостей та будови речовини. З його допомогою отримують інформацію про будову морського дна, його глибині, знаходять косяки риб в океані. Ультра звукові хвилі можуть проникати через металеві вироби товщиною близько 10 метрів. Цю їх властивість покладено в основу принципу роботи ультразвукового дефектоскопа, який допомагає знаходити дефекти і тріщини твердих тілах. У медицині це властивість ультразвуку покладено в основу роботи приладів ультразвукової діагностики, які дозволяють візуалізувати внутрішні органи, діагностувати хвороби на ранніх стадіях.

Дія ультразвукових коливань безпосередньо на розплави дає можливість отримати більш однорідну структуру металів.



# ІНФРАЗВУК

- Інфразвуки - це пружні коливання, аналогічні звуковим коливанням, але з частотами нижче 20 Гц. Інфразвуки на перший погляд займають невеликий діапазон частот від 20 до 0 Гц. Насправді ця ділянка надзвичайно великий, оскільки «до нуля» означає практично нескінченний діапазон коливань. Цей діапазон менш вивчений порівняно зі звуковим і ультразвуковим діапазонами.
- Інфразвукові хвилі виникають внаслідок обдування їх вітром будівель, дерев, телеграфних стовпів, металевих ферм; під час руху людини, тварини, транспорту; при роботі різних механізмів; при грозових розрядах, вибухи бомб, пострілах гармат. У земній корі спостерігаються коливання і вібрації інфразвукових частот внаслідок обвалів, руху різних видів транспорту, вулканічних вивержень і т.п. Іншими словами, ми живемо у світі інфразвуків, не підозрюючи про це. Такі звуки людина скоріше відчуває, ніж чує. Зареєструвати інфразвуки можна тільки особливими приладами.

Характерною особливістю інфразвуку є незначна його поглинання в різних середовищах. Внаслідок цього інфразвукові хвилі в повітрі, воді і земній корі можуть розповсюджуватися на досить великі відстані (десятки тисяч кілометрів). У зв'язку з цим інфразвук образно називають «акустичним нейтрино». Так, інфразвукові хвилі (частота коливань 0,1 Гц), що утворилися при виверженні вулкана Кракатау (Індонезія) у 1883 р., кілька разів обійшли навколо земної кулі. Вони викликали такі флуктуації тиску, які можна було зареєструвати звичайними барометрами.

Деякі інфразвуки людина сприймає, але не органами слуху, а організмом в цілому. Справа в тому, що деякі внутрішні органи людини мають власну резонансну частоту коливань 6 - 8 Гц. При дії інфразвуку цієї частоти можливе виникнення резонансу коливань цих органів, який викликає неприємні відчуття.

Дослідженнями вчених різні країни встановлені, що інфразвук будь-яких частот і інтенсивності представляє собою реальну загрозу для здоров'я людини. Отримані результати дають можливість зробити висновок, що інфразвук призводить до втрати чутливості органів рівноваги тіла, яке в свою чергу призводить до появи болю у вухах, хребті і пошкоджень мозку. Ще більш згубно впливає інфразвук на психіку людини.