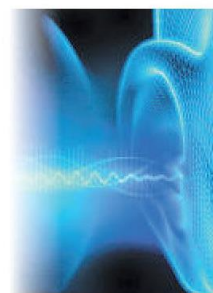


§ 23. ЗВУКОВІ ХВИЛІ



Звучання флейти, гамір мегаполіса, шурхіт трави, гуркіт водоспаду, людські розмови, музичний звук, шум, акустичний резонанс... Усе це пов'язане з поширенням у просторі певних механічних хвиль, які називають **звуковими хвилями**. Їх вивчає **акустика** — наука про звук. Із елементами акустики ви почали знайомитися в курсі фізики 9 класу.

Отже, згадуємо та дізнаємося нове.



1

Згадуємо звукові хвилі

Звукові (акустичні) хвилі — це механічні хвилі з частотами від 20 Гц до 20 кГц.

Звукові хвилі зазвичай доходять до вуха через повітря — у вигляді почергових згущень і розріджень (тобто в повітрі звукові хвилі є поздовжніми). У зонах згущень (розріджень) тиск повітря є *незначно* більшим (меншим) від атмосферного (рис. 23.1).

Оскільки звук є механічною хвилею, всі властивості хвильового руху стосуються й звуку.

- Звук поширюється в середовищі зі скінченною швидкістю, яка залежить від температури, густини, складу та інших характеристик середовища. Так, у рідинах звук поширюється швидше, ніж у газах, і повільніше, ніж у твердих тілах. Швидкість поширення звуку зазвичай збільшується зі збільшенням температури середовища (так, у повітрі за температури 0 °C швидкість поширення звуку дорівнює приблизно 330 м/с, а за температури 20 °C — 340 м/с). До того ж чим менша маса молекул середовища, тим швидше поширюється звук.

- Джерелом звуку є тіло, що коливається (рис. 23.2). Такі коливання можуть бути *вимушеними* (дифузор гучномовця), *вільними* (струна гітари), *автоколиваннями* (струни смичкових інструментів).

- Звукові хвилі *не* поширюються у вакуумі.

- Під час поширення звуку *не* відбувається перенесення речовини, але відбувається перенесення енергії.

- Звукові хвилі можуть накладатись одна на одну (явище інтерференції); можуть огинати перешкоди (явище дифракції).

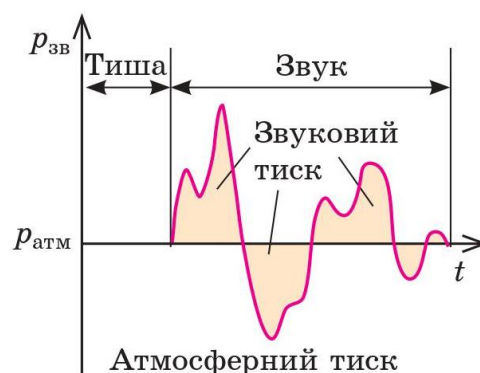


Рис. 23.1. Людське вухо сприймає звукові хвилі з надлишковим тиском приблизно від 20 мкПа (0 децибелів — поріг чутності) до 20 Па (120 децибелів — больовий поріг). Для порівняння: $p_{\text{атм}} = 100\,000$ Па



Рис. 23.2. Якщо до ніжки камертона, який звучить, піднести легку кульку, то кулька відскочить, адже ніжки камертона коливаються



Які досліди та спостереження можуть підтвердити зазначені властивості звуку?

Як пов'язані суб'єктивні та об'єктивні характеристики звуку

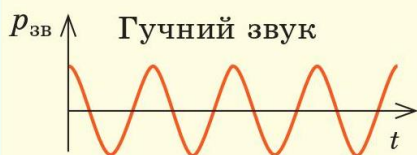
Усі фізичні величини, що характеризують механічні хвилі (*амплітуда, частота, довжина, енергія*), також є й характеристиками звуку. Ці величини не залежать від особливостей сприйняття звуку людиною, тому їх називають *об'єктивними*, або *фізичними*, характеристиками звуку. *Суб'єктивні* характеристики звуку (*гучність, висота, тембр звуку*) ґрунтуються на особливостях слуху людини, тому їх називають *фізіологічними*. Зрозуміло, що фізичні та фізіологічні характеристики звуку пов'язані (див. [таблицю](#)).

Суб'єктивні (фізіологічні) характеристики звуку

Гучність звуку



Тихий звук



Гучний звук

Гучність звуку визначається насамперед *амплітудою звукової хвилі* (а отже, й звуковим тиском), проте залежить і від частоти звукової хвилі. Людське вухо погано сприймає звуки низьких (близько 20 Гц) і високих (близько 20 кГц) частот, найкраще — середніх частот (1–3 кГц).

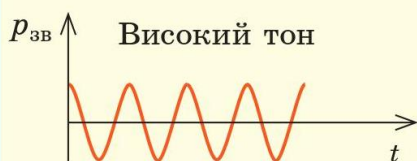
Гучність звуку вимірюють у *децибелах* (дБ). Наприклад, за частоти звуку 1 кГц і звукового тиску 20 Па гучність звуку становить 120 дБ — це *больовий поріг звуку* — найгучніший звук, який може сприймати людина, не відчуваючи болю (звук такої гучності видає двигун реактивного літака).

Зверніть увагу! Гучний звук може призвести до погіршення слуху й навіть до глухоти, особливо це стосується прослуховування гучної музики в навушниках. *Слухати музику в навушниках слід за мінімальної гучності!*

Висота звуку



Низький тон



Високий тон

Висота звуку визначається в основному *частотою звукової хвилі*: чим більша її частота, тим вищий тон звуку.

Наприклад, ноті «ля» першої октави відповідає частота 440 Гц; ноті «ля» другої октави — частота 880 Гц.

Властивість людського вуха розрізняти звуки за їх частотою також залежить від інтенсивності звуків. У разі збільшення інтенсивності звуку його висота здається більш низкою.

Тембр звуку

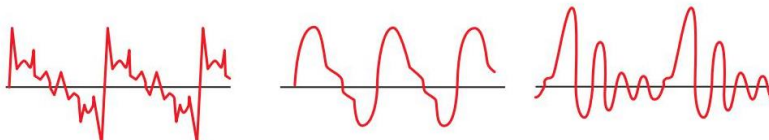


Тембр звуку визначається *складом звукової хвилі*: крім основної частоти (за якою ми й оцінюємо висоту звуку) будь-який звук містить кілька більш слабких і більш високих додаткових частот — *обертонів*. Саме завдяки тембру ми впізнаємо людину за голосом, відрізняємо звуки фортепіано від звуків флейти тощо. Кожний музичний інструмент, кожна людина або тварина має власний тембр звуку.

Фортепіано

Флейта

Голос людини



Що таке акустичний резонанс

На будь-яке тіло, розташоване в межах поширення звукової хвилі, діє певна періодична сила, частота якої дорівнює частоті хвилі. Під дією цієї сили тіло починає здійснювати вимушені коливання. Якщо частота власних коливань тіла збігається з частотою звукової хвилі, то амплітуда коливань тіла збільшується і воно починає випромінювати звук — спостерігається *акустичний резонанс*.

Акустичний резонанс — це явище різкого зростання амплітуди звукового сигналу в разі наближення частоти сигналу-збудника до частоти власних коливань системи.

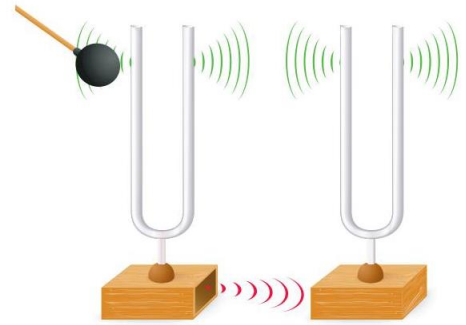


Рис. 23.3. Якщо змусити звучати один із камертонів, через резонанс почне звучати й другий

Спостерігати акустичний резонанс можна за допомогою досліду з двома камертонами, що мають однакову частоту (рис. 23.3).

Акустичний резонанс використовують для збільшення інтенсивності звуку, створеного певним джерелом (струною, ніжками камертона, голосовими зв'язками тощо). Наприклад, для збільшення гучності камертона його приєднують до дерев'яного ящика (резонатора), власна частота коливань повітря в якому дорівнює частоті коливань камертона. Камертон, приєднаний до резонатора, звучить набагато гучніше, ніж той, який тримають у руці.

? А в якому випадку камертон звучатиме довше — з резонатором чи без нього?

Акустичний резонанс використовують у багатьох музичних інструментах. Повітря в трубах органа, корпусах арф, бандур, гітар тощо резонує з тонами та обертонами звуків, утворюваних коливними тілами, та посилює їх. Порожнина рота є резонатором для звукових хвиль, які створюються завдяки коливанням голосових зв'язок.

Як ми чуємо

Звукова хвиля, досягши вуха, зазнає низки перетворень. Спочатку вона діє на *барабанну перетинку*, змушуючи її вібрувати. Чим гучніший звук, тим сильніше вібрує перетинка, передаючи звукові коливання в *середнє вухо*, де вони посилюються.

Посилений звук потрапляє у *внутрішнє вухо* із заповненою рідиною *завиткою*. Поверхня завитки вкрита *волосковими клітинами*, кількість яких сягає 15 тисяч. Кожна клітина резонує з певним діапазоном частот. Виявивши «власну» частоту, клітина починає коливатися, збуджуючи нервові закінчення, і в мозок іде нервовий імпульс — людина чує звук.

Із віком кількість волоскових клітин зменшується (від 15 тисяч у дитини до 4 тисяч у літньої людини). Першими гинуть клітини, які «відповідають» за високу частоту, тому доросла людина не чує високих звуків (підліток чує звуки до 22 кГц, літня людина — до 12 кГц).

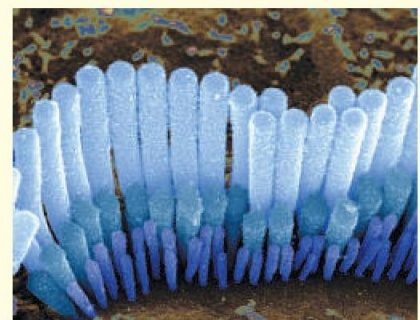




Рис. 23.4. Медузи відчують інфразвук від шторму, що наближається, за 15 годин до його початку, тому заздалегідь відпливають від берега

4

Згадуємо інфра- й ультразвук

Інфразвук (від латин. *infra* — нижче, під) — механічні хвилі, частота яких менша від 20 Гц.

Інфразвукові хвилі виникають під час штормів, землетрусів, цунамі, вивержень вулканів, унаслідок ударів об берег морських хвиль. Деякі істоти здатні сприймати інфразвукові хвилі (рис. 23.4). Джерелом інфразвуку можуть бути і об'єкти, створені людиною: турбіни, двигуни внутрішнього згоряння тощо. У містах найбільший рівень інфразвуку біля автомагістралей.

Інфразвук є дуже небезпечним для тварин і людини: він може викликати симптоми морської хвороби, запаморочення, засліплення, спричинити підвищену агресивність. У разі тривалої дії інтенсивне інфразвукове випромінювання може призвести до зупинки серця. При цьому людина навіть не розуміє, що відбувається, адже вона не чує інфразвуку.

Механічні хвилі, частота яких перевищує 20 кГц, називають **ультразвуковими хвилями** (від латин. *ultra* — понад, за межами).

Ультразвук наявний у шумі вітру та водоспаду, у звуках, які видають деякі істоти. З'ясовано, що ультразвук до 100 кГц сприймають багато комах і гризунів; уловлюють його й собаки. Ультразвук застосовують у техніці, медицині.

Слабий ультразвук зазвичай використовують для **ультразвукової локації** — визначення розташування та характеру руху об'єкта за допомогою ультразвуку. Так, кажани та дельфіни, випромінюючи ультразвук і сприймаючи його відлуння, можуть навіть у повній темряві знайти дорогу або спіймати здобич. Ультразвукове дослідження дозволяє «побачити» ще не народжене немовля, дослідити стан внутрішніх органів, виявити сторонні тіла в тканинах. Ультразвукову локацію застосовують також на морських суднах — для виявлення об'єктів у воді (*сонари*) і дослідження рельєфу морського дна (*ехолоти*); у металургії — для виявлення та встановлення розмірів дефектів у виробах (*дефектоскопи*).

Потужний ультразвук застосовують у *техніці* (обробка міцних матеріалів, зварювання, очищення поверхонь від забруднень); *медицині* (подрібнення каменів в організмі, що дозволяє уникнути хірургічних операцій); *харчовій промисловості* (виготовлення сирів, соусів); *косметології* (виготовлення кремів, зубної пасти).



Підбиваємо підсумки

- Механічні хвилі з частотами 20 Гц — 20 кГц називають звуковими хвилями (звуком). Суб'єктивні характеристики звуку: висота звуку (визначається частотою звукової хвилі); гучність звуку (визначається амплітудою та частотою звукової хвилі); тембр звуку (визначається спектром звукової хвилі).

• Явище різкого зростання амплітуди звукового сигналу в разі наближення частоти сигналу-збудника до частоти власних коливань системи називають акустичним резонансом. Акустичні резонатори мають майже всі музичні інструменти.

• Механічні хвилі, частота яких менша від 20 Гц, називають інфразвуковими хвилями (інфразвук). Механічні хвилі, частота яких перевищує 20 кГц, називають ультразвуковими хвилями (ультразвук).



Контрольні запитання

1. Що таке звук? 2. Наведіть приклади джерел і приймачів звуку. 3. Від чого залежить швидкість поширення звуку? 4. Якою фізичною величиною визначається висота звуку? гучність звуку? 5. Де використовують акустичний резонанс? 6. Що таке інфразвук? Як він впливає на людину? 7. Що таке ультразвук? Наведіть приклади застосування ультразвуку в природі, медицині, техніці.



Вправа № 23

Вважайте, що швидкість поширення звуку в повітрі — 340 м/с, у воді — 1500 м/с, чавуні — 5000 м/с.

1. Частота основного музичного тону «ля» 440 Гц. Визначте довжину хвилі цього тону в повітрі; воді; чавуні.
2. Якою є глибина моря, якщо ультразвуковий сигнал, відбившись від морського дна, повернувся через 0,8 с після посилення?
3. У скільки разів і як зміниться довжина звукової хвилі під час її переходу з води в повітря?
4. Чому в лісі ми чуємо одне одного, адже на «шляху» звукової хвилі є дерева, а деревина добре поглинає звук?
5. Чому резонатор камертона являє собою звичайний ящик, а корпуси віолончелі, скрипки, рояля мають складну форму? Перевірте свою відповідь, скориставшись додатковими джерелами інформації.
6. Як відомо, вночі звук уздовж поверхні землі поширюється на більші відстані, ніж удень. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, як це можна пояснити.



Експериментальне завдання

«Світломузика вдома». Для проведення експерименту вам потрібні: міцний пластиковий або паперовий стаканчик, харчова плівка, ізоляційна стрічка або скотч, невеличка дзеркальна поверхня (відламок дзеркала або CD-диска розмірами приблизно 1×1 см), лак, лазерна указка, ножиці.

Підготовка до експерименту. Обріжте дно стаканчика, накрийте широку частину отриманого зрізаного конуса харчовою плівкою та зафіксуйте плівку ізоляційною стрічкою. Посередині плівки закріпіть лаком «дзеркальце».

Експеримент. Покладіть стаканчик відкритою частиною впритул до динаміка магнітофона, комп'ютера тощо. Увімкніть музику та спрямуйте промінь від лазерної указки на дзеркало. «Сонячний зайчик» від лазерного променя «танцюватиме» під музику.

Поясніть спостережуване явище.

