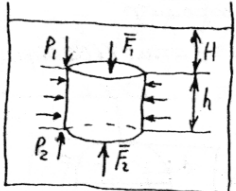


К-50 Закон Архімеда На кожне занурене у рідину (чи газ) тіло діє висхідна сила, що чисельно дорівнює вазі витісненої тілом рідини (чи газу) і направлена вертикально вгору з центра тяжіння витісненого об'єму рідини (чи газу)



Сила Архімеда - результат додавання безлічі силтиску, укладених до поверхні тіла з боку оточуючої рідини

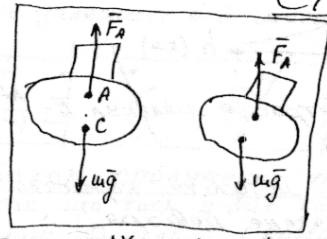
$$P_1 = P_0 + \rho g H \quad F_1 = P_1 S = (P_0 + \rho g H) S$$

$$P_2 = P_0 + \rho g (H+h) \quad F_2 = P_2 S = (P_0 + \rho g H + \rho g h) S$$

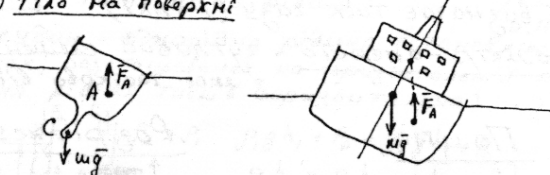
$$F_A = F_2 - F_1 = \rho g h S = \rho g V \quad \text{Ареометр ...}$$

- ① $F_A > mg \rightarrow \rho_P > \rho_T$ - умова плавання тіла.
- ② $mg > F_A \rightarrow \rho_T > \rho_P$ - тіло тоне
- ③ $F_A = mg \rightarrow \rho_P = \rho_T$ тіло зависе у рідині
- ③ риб, глибоководні апарати, підводні гофни - запоріжські козаки (вистриг.)

Стійкість плавання

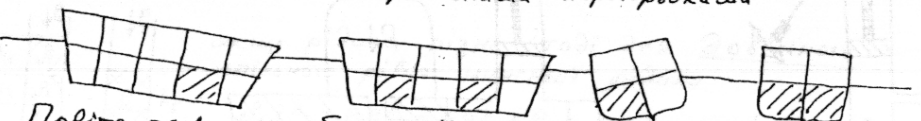


① підводні гофни т. С - центр тяжіння гофна т. А - центр тяжіння витісненого тілом об'єму рідини.
 ② тіло на поверхні умова стійкості

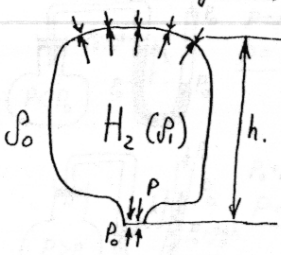


Втрата стійкості - зміщення вантажу - зміна положення центра тяжіння

Запобігання загибелі кораблів від пробіти у борті - поділ корпусу на герметичні відсіки непроничними перегородками



Повітроплавання - брати Монгольф'є - Франція (велику і легку оболонку наповнили гарячим повітрям густина якого менша від густини холодного)



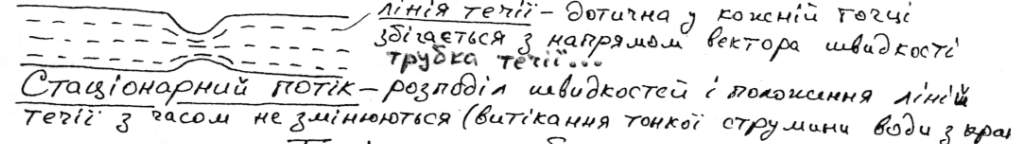
Силу Архімеда створює різниця тисків, що виникає у верхній частині оболонки (за малої маси молекул тиск H_2 з висотою слабдає помітно слабше, ніж тиск повітря)

$$F = \rho_0 g V - \rho_1 g V = (\rho_0 - \rho_1) g V$$

Водневі зонди $h = 30-35$ км
 Для полотів людей - гаряче повітря, що нагрівають газовими пальниками.

$$F = \rho_0 g V - m_{кул} g \quad \text{підіймальна сила.}$$

К-50 Гідро(аеро)динаміка (рух рідин, газів)
 Рух рідин відбувається під дією різних тисків, сил тяжіння і т.д.
Ідеальна рідина ① нестислива ($\rho = const$) ② відсутня в'язкість ③ основні характеристики ρ, P, v
 v - швидкість течії - швидкість переносу маси рідини
 об'єкт аналізу - мікрооб'єм рідини, що містить досить багато молекул
 Для опису руху рідини - поняття - розподіл швидкостей



Стационарний потік - розподіл швидкостей і положення ліній течії з часом не змінюються (витікання тонкої струмки води з врані)

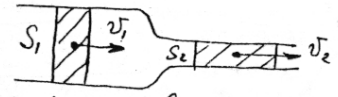
Течія по трубах

$$V = S \cdot v \cdot \Delta t \quad \text{об'єм рідини, що пройшов через трубу} \quad m = \rho S v \Delta t$$

$$Q = S \cdot v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{об'ємна витрата рідини}$$

Рівняння неперервності

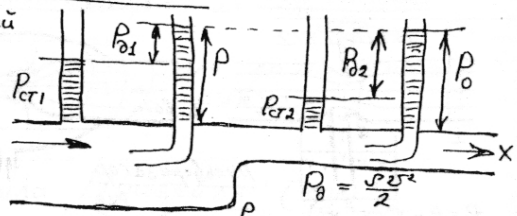
через будь-які перерізи труби за рівні проміжки часу Δt проходять однакові об'єми V (маси), оскільки рідина нестислива, через переріз з меншою площею вода тече швидше



$$Q_1 = Q_2 \quad S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad S \cdot v = const$$

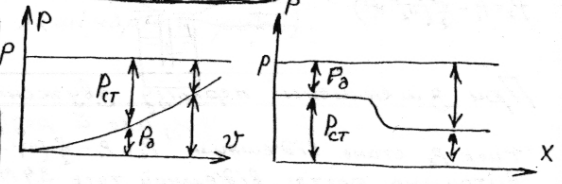
Тиск у рухомих рідинах $P = P_{ст} + P_0$

$P_{ст}$ - статичний тиск - зумовлений потенціальною енергією рідини що знаходиться під тиском
 P_0 - динамічний тиск - зумовлений кінетичною енергією рухомих рідини
 Нерухома рідина $P_0 = 0 \quad P_{ст} = P_0 + \rho g h$



Закон Бернуллі - у стаціонарному потоці сума статичного і динамічного тисків залишається постійною. Ця сума відповідає гідростатичному тиску у нерухомій рідині

$A = F \cdot \Delta l = \Delta P \cdot \Delta V$
 $(P_1 - P_2) \Delta V = mg(h_2 - h_1) + \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2)$
 $P_1 - P_2 = \rho g h_2 - \rho g h_1 + \frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2}$



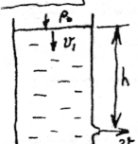
$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$P + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = const$$

справедливо лише для ідеальної рідини р-ня Бернуллі
 якщо рідина тече приблизно на одному рівні

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad \left| \quad P + \frac{\rho v^2}{2} = const \right.$$

Швидкість витікання струмину з отвору



з рівняння Бернуллі $\rho_0 + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \rho_0 + 0 + \frac{\rho v^2}{2}$

якщо площа отвору \ll площі поверхні рідини то $v_1 \approx 0$

$\rho gh = \frac{\rho v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$ - формула Торрічеллі (v - швидкості тіла при стільки для ідеальної рідини) вільному падінні)

Реально v залежить ще від в'язкості рідини і форми отвору, і незалежить від густини рідини ρ .

Реакція струмину

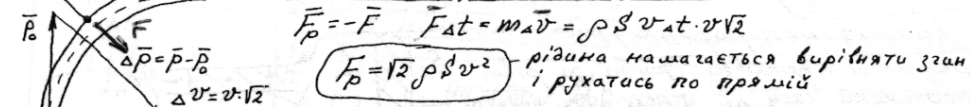
1) При витіканні з отвору струмина отримує від посудини імпульс тиску за II законом Н (або за законом зміни імпульсу)

$F \cdot \Delta t = m \cdot v = \rho \cdot V \cdot v = \rho \cdot S \cdot v \cdot \Delta t \cdot v = \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \Delta t$ - реакція витікаючої

за III з-ном Н. на посудину діє $F_p = F = \rho \cdot S \cdot v^2$ струмину, або

$F_p = \rho \cdot S \cdot v^2 = \rho \cdot S \cdot v \cdot \frac{v}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v$ $F_p = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v$ - реактивна сила

2) Кінець трубки повернутий на 90°



Силу реакції при повороті струмину використовують в гідравлічних (к.к.д. $\approx 100\%$) і газових турбінах, вітряних двигунах

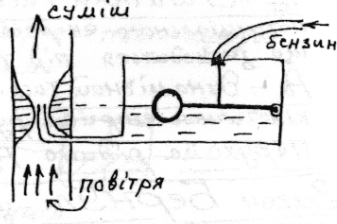
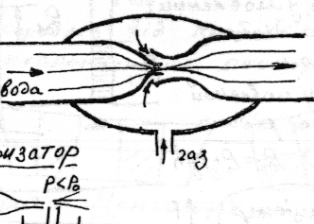
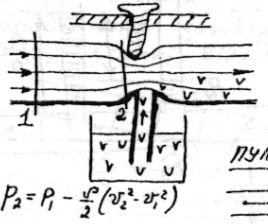
Для горизонтальної струмину $\rho + \frac{\rho v^2}{2} = const$

тиск менший у тих місцях де швидкість більша - це основа багатьох пристроїв.

Змішувач

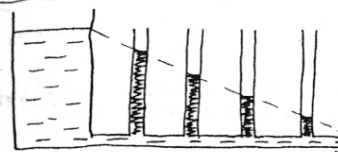
Водоструминний насос

Карбюратор



При зменшенні перерізу звуження можна не тільки розтягнути тиск P_2 стане від'ємним $P_2 = P_1 - \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2)$. Чиста вода без мікробульбашок витримує розтяг, від'ємний тиск 34 МПа. Реально розрив настає значно раніше і утворена порожнина негайно заповнюється насиченою паром. Це явище називають "кавітацією" (воно дуже шкідливе - при швидкому обертанні кора дельного гвинта розриви води утворюють безліч бульбашок з паром, подальше зіткнення яких під тиском води супроводжується ударами тиску, що пошкоджують поверхню гвинта. На кораблях і підводних човнах відмовились від високооборотних малих гвинтів на користь великих, що обертаються повільно $d=5-8m$ (⊖ гвинти на гідроелектричних станціях ⊕ відробка надтвердих матеріалів ⊕ прискорення кімічних реакцій).

ІСЛІЯ РІДИНИ



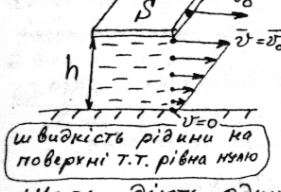
Чим дані від погатку труди, тим менше статичний тиск рідини що тече (При однаковій швидкості тиск у тонших трубах падає швидше ніж у ширших). Порушується закон Бернуллі - з-н збереження енергії

Падіння тиску рідини в трубці пояснюється тертям (в'язкістю)

якщо $v = const$, то сили тиску на виділений об'єм рідини повинні зрівноважуватись силою тертя $F_{тр} = F_1 - F_2 = P_1 \cdot S - P_2 \cdot S = \Delta P \cdot S$ $P_1 > P_2$

$F_{тр}$ залежить: 1) від швидкості рідини 2) діаметра і довжини труби 3) роду рідини 4) у стоячій рідині сили тертя відсутні

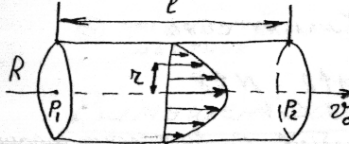
Гідродинамічні сили по поверхні рідини



При русі плоскої пластинки в одній шар рідини ковзає по іншому. Це веде до виникнення сил внутрішнього тертя, кожен шар рідини буде діяти на прилеглі до нього, так що в рідині встановиться неперервна зміна швидкості від пластинки v_0 до dna $v=0$. Молекули у верхніх шарах мають більшу швидкість, у нижніх - меншу. Шари діють один на другий внаслідок переносу імпульсу молекулами, при переході з одного шару в інший.

$F_{тр} = \eta \frac{v}{h} S$ $\eta = [1 \frac{H \cdot c}{ш \cdot c^2} = 10 П]$ П - пуаз $\eta_{води} = 10^{-3} \frac{H \cdot c}{ш \cdot c^2}$ $\eta_{мед} = 150 \frac{H \cdot c}{ш \cdot c^2}$

Формула Ньютона - сила в'язкого тертя $\eta_{повітря} = 10^{-5} \frac{H \cdot c}{ш \cdot c^2}$ $\eta_{He} = 0$ при $T < 2,2 K$ надтекучість

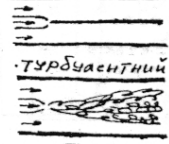


$v(r) = v_0 (1 - \frac{r^2}{R^2})$ - для ламінарного руху

$Q = \frac{V}{t} = \frac{(P_1 - P_2) \pi R^4}{8 \eta l}$ - формула Пуазейля (фр) (для ламінарного руху)

$F_{тр} = \Delta P \cdot S = \frac{8 \eta l Q}{R^2}$

Л-7к | Ламінарний рух (стаціонарний) - рух при якому рідина як би розділяється на шари, які ковзають один відносно одного, не змішуючись (малі швидкості)



Турбулентний рух - рух з інтенсивним перемішуванням рідини, швидкості гаснуть в даному місці весь час хаотично змінюються - течія нестаціонарна.

Re - число Рейнольдса характеризує відносне значення інертності і в'язкості середовища при утворенні сили опору

$Re = \frac{\rho v l}{\eta}$

l - характерний для поперечного перерізу тіла чи труби розмір (для труби, кульки $l = \varnothing$)

$Re < Re_{крит.}$ - течія ламінарна
 $Re > Re_{крит.}$ - течія турбулентна

$Re_{критичне} = 1000 \div 3000$

Re - визначають експериментально. Якщо Re однакове - характер течії однаковий

Гідродинамічні сили - сили, що діють на рухоме тіло в рідині чи газі (внаслідок прилипання тонкого шару рідини до тіла, цей шар рухається разом з тілом, захоплюючи інші шари рідини).

Складові гідродинамічної сили - лобовий опір і підіймальна сила.

лобовий опір = опір тертя + опір тиску

① При повільному русі $Re < 1000$ інертність середовища не істотна, опір зумовлений в'язкістю (силами тертя)

② При великій швидкості $Re > Re_{крит.}$ опір зумовлений інертністю середовища

$F_{опору} = k \eta l v$ (1) $F_{опору} = 6\pi \eta R v$ - формула Стокса - сила опору рухові кульки в рідині

$F_{опору} = C_x \rho S \frac{v^2}{2}$ (2) S - лобова поверхня тіла
 C - коэф. визначається формою тіла і залежить від Re

$F_x = C_x \rho S \frac{v^2}{2}$ } F_x - лобовий опір
 $F_y = C_y \rho S \frac{v^2}{2}$ } F_y - підіймальна сила

$N = F_x \cdot v = C_x \rho S \frac{v^3}{2}$ для $\Delta A 2$ $N A 8$
 вихід $C_x \uparrow$

Зменшення C_x вигідне для швидкохідних автомобілів C_x - визначається формою



Підіймальна сила крила

① Ламінарний рух - лінії течії прямі під крилом, викривлені і збільшені над крилом (там v - шак) з z -на бернукі \rightarrow тиск над крилом $<$ тиску під крилом різниця сил тиску - підіймальна сила крила

② турбулентний рух - циркуляція повітря навколо крила, сповільнює рух повітря під крилом, що збільшує підіймальну силу $F_y = \rho l v \cdot 0.5 \pi \alpha v$

l - довжина крила α - кут атаки d - лобовий переріз крила φ - Жуковського.

Ефект Магнуса - внаслідок обертання рухомого циліндра з різних сторін різна швидкість обтікання - різні статичні тиски що створюють силу напрямлену поперек руху (футбол, теніс, циліндри замість вітрил.)

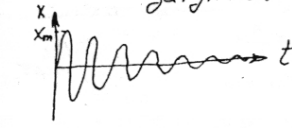
Формули (1) і (2) для $F_{опору}$ отримані методом розмірності способом одержання функціонального взаємозв'язку фізичних величин на основі аналізу розмірностей

Суть: якщо величина v залежить від A, B, C, \dots, P , то формула зв'язку

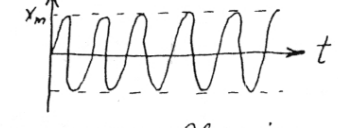
Л-7к | МЕХАНІЗМ КОЛИВАННЯ - рухи які повторюються

Види коливань

Вільні (внутрішні сили) затухаючі $X_m \rightarrow 0$



Вимушені (зовнішні сили) незатухаючі $X_m = const$



- Умови виникнення порушень у двигуні, голка швейної машини
- ① надати системі енергію
 - ② наявність повертаючої сили
 - ③ $F_{тр}$ - мале

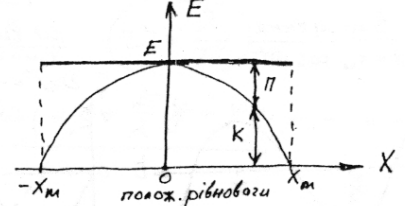
Параметри коливань

X - зміщення (м) положення маятника в даний момент t .	X_m - амплітуда (м) тах відхилення від положення рівноваги	T - період (с) час одного коливання	v - частота (Гц) кількість коливань за 1 секунду
ω - циклічна частота (с ⁻¹) - кількість коливань за 2π секунд $ω = 2πν = \frac{2π}{T}$	$T = \frac{t}{N} \rightarrow T = \frac{1}{ν}$	$ν = \frac{N}{t}$	

Перетворення енергії (вільні коливання) (власні)

Якщо $F_{тр} = 0$ (коливання незатухаючі) $E = K + Π = const$

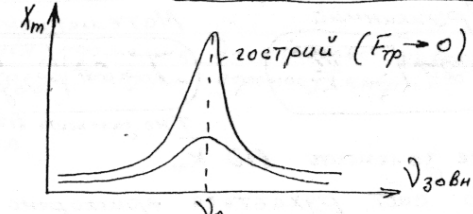
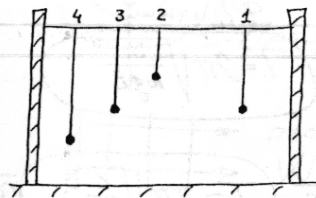
- ① математичний маятник $\frac{m v_m^2}{2} = m g h_m = E$
- ② пружинний маятник $\frac{m v_m^2}{2} = \frac{k x_m^2}{2} = E$
- ③ фізичний маятник $\frac{J \omega_m^2}{2} = m g h_m = E$



Вимушені коливання ...

$v_{вимуш. кол.} = v_{зовн. сили}$

- ① Амплітуда $F_{зовн.}$
- ② співвідношення $v_{зовн.}$ і v_0
 v_0 - частота вільних (власних) коливань системи



Резонанс - явище різкого зростання амплітуди X_m вимушених коливань при співпадінні частоти $\nu_{зовн.}$ з частотою власних коливань ν_0 сили $\nu_{зовн.}$ з частотою власних коливань ν_0

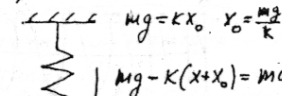
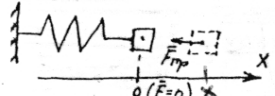
⊖ деталі що обертаються, йти не вногу, флаттер (авіація) ...
 ⊕ ...

МАЯТНИКИ

Пружинний

горизонтальний

вертикальний



$$m a_x = -kx$$

$$a_x = x'' = -\frac{k}{m}x$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$mg = k(x+x_0) = m a_x$$

$$-kx = m a_x$$

$$a_x = x'' = -\frac{k}{m}x$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Математичний

для малих α

$$k \sin \alpha = k \alpha = \frac{X}{L}$$

$$m a_x = -mg \sin \alpha$$

$$m a_x = -mg \frac{x}{L}$$

$$a_x = x'' = -\frac{g}{L}x$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

Фізичний

φ - малий



$$J \beta = -M = -mg l \sin \varphi$$

$$\beta = \varphi'' = -\frac{mg l}{J} \varphi$$

$$\omega = \sqrt{\frac{mg l}{J}}$$

Р-ня руху маятників

$$X'' = -\omega^2 X$$

розв'язок

$$X = X_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

р-ня гармонічних коливань.

$$\omega = \sqrt{\frac{mg l}{J}}$$

Гармонічні коливання - координата (швидкість, прискорення) змінюються за законом sin або cos

Означення: сила пропорційна зміщенню (куту) - квазіпружинна сила.

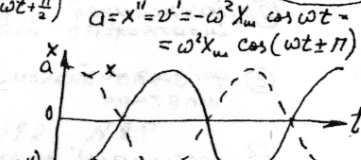
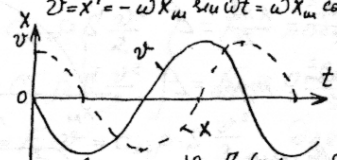
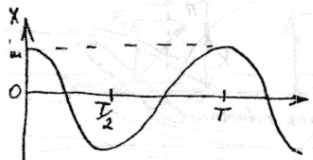
φ_0 - початкова фаза - визначає початковий стан системи

$\varphi = (\omega t + \varphi_0)$ [град] - фаза - показує, яка частина коливань пройшла від початку коливань

Зміщення
 $x = X_m \cos \omega t$

Швидкість ($v_m = \omega X_m$)
(швидкість)
 $v = x' = -\omega X_m \sin \omega t = \omega X_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$

Прискорення ($a_m = \omega^2 X_m$)
 $a = x'' = v' = -\omega^2 X_m \cos \omega t = \omega^2 X_m \cos(\omega t + \pi)$



Період коливань маятників ($\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$)

Пружинний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Математичний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T не залежить від m

Фізичний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mg l}}$$

T - не залежить від X_m

Якщо сист рухається прискорено $\bar{g}_{\text{еф}} = \bar{g} + \bar{a}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + a}}$$

$\bar{a} = -\bar{a}_0$

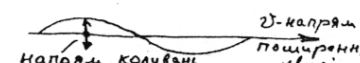
Застосування: визначення g, годинник, гоологія, маятн. Фуко ...

Гелічнісні хвилі - коливання що поширюються у пружному середовищі з тисом. Виникають: як вимушені коливання взаємодіючих частинок (сили пружності, інертності) Джерела: тіла що коливаються Швидкість: скінченно < c Переносять: коливання, форму енергію Не переносять: ретовини

Типи хвиль

Попережні (зсув) - т.т

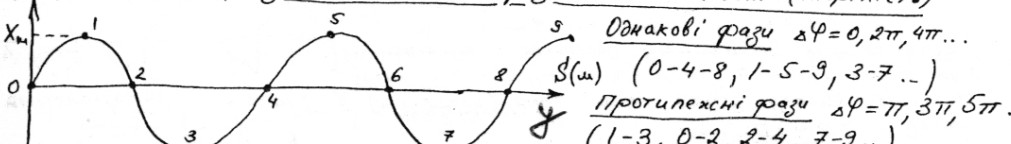
Поздовжні (стиск-розтяг) т.т. рідини, газу



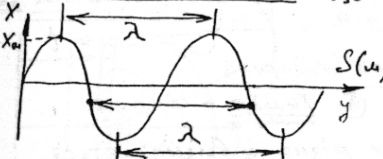
Сейсмічні, на пов. рідини, струна...

Звук, ультразвук, інфразвук ...

Зсув фаз ($\Delta\varphi$) коливань різних точок хвилі (інертність)



Довжина хвилі - λ - відстань між двома найближчими точками, що коливаються з однаковими фазами.



$$v = \lambda \nu$$

$$\nu = \frac{v}{\lambda}$$

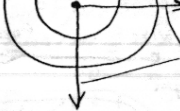
$$x = X_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi)$$

Поняття

Хвильова поверхня - поверхня точок з однаковими фазами. на площині (коло) у просторі (сфера)

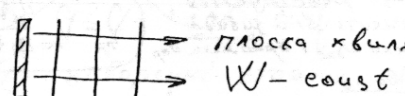


$$W \sim \frac{1}{R}$$



$$W \sim \frac{1}{R^2}$$

Промінь - лінія, нормальна до хвильової поверхні, показує напрям переносу енергії



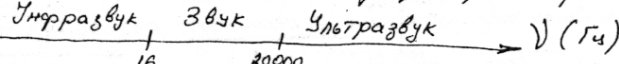
плоска хвиля

W - const

1-70] АКУСТИКА - вчення про звук

Звукові хвилі - поперечні механічні хвилі

Джерела - тіла що коливаються (струна, стержень, пластинка, стовп повітря у трубі, мембрана і т.д.).

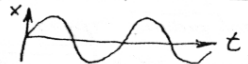


Звук - коливання які людина сприймає органами слуху з частотою від 16 до 20000 Гц ($\lambda_{зв} = 17\text{м} - 20\text{м}$)

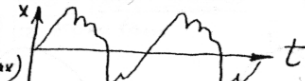
ЗВУК

- 1. Музичний тон
- 2. Музичний звук
- 3. Шум
- 4. Вибух

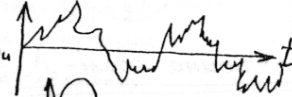
Муз. ТОН - синусоїдальне (гармонічне) коливання певної частоти



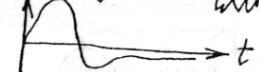
1. Муз. звук - одночасне з'ясування декількох муз. тонів (несинусоїдальне коливання, що є результатом додавання декількох синусоїдальних) Тон найнижчої частоти (основний) - визначає загальну висоту звуку, інші тона (обертони) - визначають "забарвлення" звуку - тембр



3. Шум - нерегулярні коливання (суміш численних коливань майже однакової амплітуди з самими різними частотами)



4. Вибух - короткочасна і сильна звукова дія



Звукові відлуння - коливання джерела

- 1) Гучність - амплітуда
- 2) Висота - частота
- 3) Тембр - форма

Швидкість звуку - у різних середовищах різна і визначається механічними властивостями середовища і частотою (дисперсія) звуку.

У т.т.

- 1. модуль пружності E
- 2. густина ρ
- 3. температура T

$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

У рідинах

- 1. густина ρ
- 2. температура T
- 3. стисливість χ

$v_{води} = 1425 \frac{м}{с}$ при $t = 0^\circ C$

У газах

- 1. густина (має вплив)
- 2. температура
- 3. показник адіабати

$v_{повітря} = 331 \frac{м}{с}$ при $t = 0^\circ C$

Звукові явища

1. Звуковий резонанс (приклад...)

2. Ефект Доплера - частота звуку, що реєструється приймачем залежить від швидкості руху і джерела $v_{дж}$ і приймача $v_{пр}$

$v_{пр} = v \frac{v_{зв} + v_{пр}}{v_{зв} + v_{дж}}$

3. Ліна

Закопи поширення хвиль

I з-н - в однорідних середовищах хвилі поширюються рівномірно, прямолінійно.

При переході з одного середовища (v_1) в інше (v_2) напрям поширення хвиль (на межі середовищ) змінюється. Хвиля (часткова) повертається в I середовище - відбивається, а частково проходить у II середовище - заломлюється

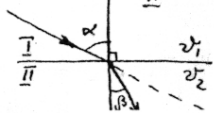
$\alpha = \gamma$



- α - кут падіння
- γ - кут відбиття
- β - кут заломлення

III з-н - заломлення

$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$



ДИФРАКЦІЯ ХВИЛЬ

I Інтерференція - додавання хвиль, при якому відбувається перерозподіл енергії у просторі (збільшення або зменшення амплітуди результуючих коливань у різних точках простору).

Умова інтерференції - хвилі когерентні:

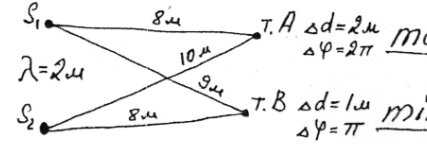
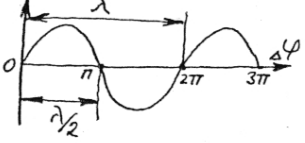
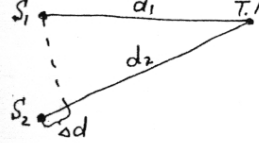
- 1) Однакова частота $\nu_1 = \nu_2$ ($\lambda_1 = \lambda_2$)
- 2) стала у часі різниця фаз $\Delta\varphi = const$

Амплітуда результуючих коливань у точці визначається різницею фаз хвиль у даній точці простору - $\Delta\varphi$

max - $\Delta\varphi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$ (однакові фази)

min - $\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ (протилежні фази)

$\Delta\varphi$ - визначається різницею ходу хвиль $\Delta d = |d_1 - d_2|$



max

Умова

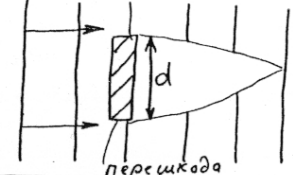
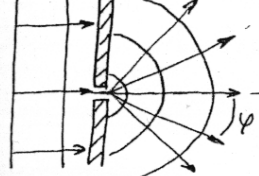
min

$\Delta d = k\lambda$

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$

$\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

II Дифракція - огинання хвилями перешкоди, відхилення від прямолінійного поширення



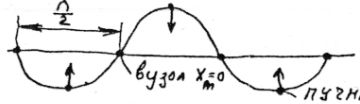
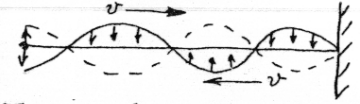
Оркестр (скрипка, барабан)

повна $\lambda \geq d$

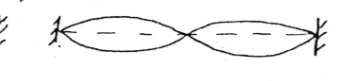
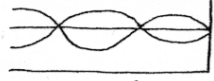
Умова дифракції

часткова $\lambda \ll d$

III Стоячі хвилі (не переносять енергію) - хвилі які утворюються внаслідок інтерференції прямої і відбитої хвиль при зустрічному поширенні їх в тому самому тілі (розміри тіла кратні $\frac{\lambda}{4} \rightarrow l = k\frac{\lambda}{4}$).



При утворенні стоячих хвиль у трубах на їх відкритих кінцях утворюються пучності, на закритих - вузли. Закріплена струна - на кінцях вузли.



фаза всіх точок стоячої хвилі залежить лише від часу $\varphi = \omega t$ і не залежить від координати (φ всі точки тіла між сусідніми вузлами коливаються в одній фазі і лише при переході через вузол фаза відразу змінюється на протилежну).