

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Predmet:

Fyzika

Školský rok/blok:

/

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

## 2 Mechanické kmitanie a vlnenie

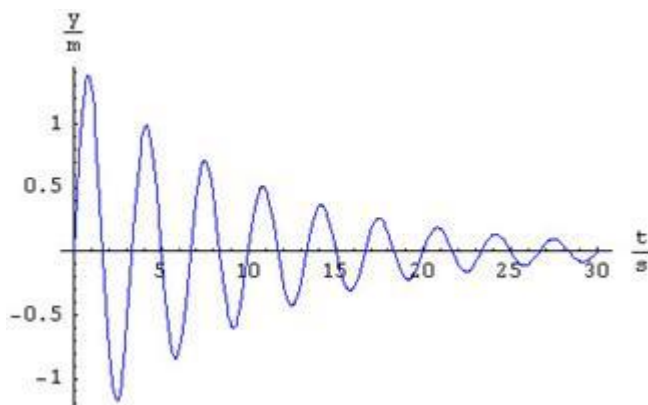
### 2.1 Mechanické kmitanie

#### 2.1.10 Tlmené kmitanie

Zákon zachovania energie bol odvodený za predpokladu, že oscilátor kmitá voľne, t.j. nepôsobia na neho žiadne vonkajšie sily, ktoré by pohyb rušili. V tom prípade by jeho amplitúda zostávala konštantná a oscilátor by kmital neobmedzene dlho. Tento poznatok je ale v rozpore s praxou, kedy sa amplitúda kmitajúceho oscilátora postupne znižuje.

Tlmené kmitanie poznáme z praxe. **Už ako malé deti, keď sme sa hojdali na hojdačkách, sme museli neustále dodávať energiu, aby sme udržali hojdačku v kmitavom pohybe.** Pritom sme energiu mohli dodávať sami (pohupovaním nohami v kolenách) alebo sme energiu mohli dodávať „zvonka“ (mama hojdačku postrkovala, aby jej dodala energiu, ktorú hojdačka pri jednom svojom kmite stratila).

To je spôsobené premenou časti energie kmitavého pohybu na iné formy energie (vnútorná energia okolia aj energia oscilátora, vynaloženie práce na prekonanie trecích síl, ...). **Vďaka týmto stratám, ktorým nemožno nikdy do dôsledku zabrániť, vzniká tlmené kmitanie.**



**Rýchlosť útlmu závisí od prostredia, v ktorom oscilátor kmitá. Tlmenie závisí od hustoty prostredia, k ktorému oscilátor kmitá, na veľkosti rýchlosti jeho pohybu, ... . Preto je tlmenie napríklad vo vode väčšie ako na vzduchu.**

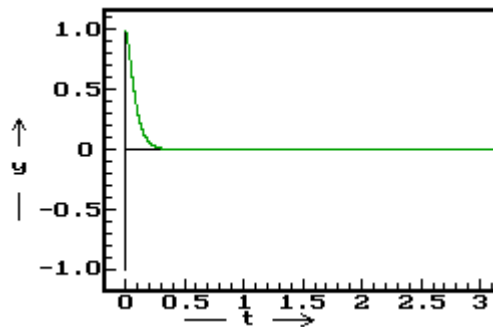
Tlmené kmitanie je možné opísať rovnicou:

$$y(t) = e^{-bt} y_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

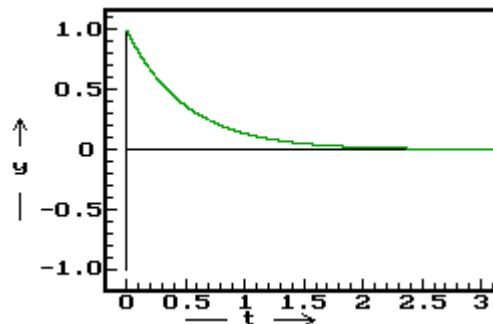
kde  $b$  je koeficient útlmu. Body, ktoré majú maximálnu výchylku rovnakého znamienka, ležia na grafe exponenciálnej funkcie.

Vlastné kmitanie oscilátora je vždy tlmené. Tlmenie má vplyv tiež na periódu: tlmený oscilátor kmitá voľne s väčšou periódou ako by mal netlmený oscilátor s rovnakými parametrami. Tlmenie kmitania má v praxi veľký význam: sú situácie, kedy je žiadúce malé tlmenie kmitania, ale na druhej strane sú situácie, kedy je kmitanie nežiadúce a tlmíme ich umelo (tlmiče odpruženia automobilu, tlmenie pohybu ručičky meracích prístrojov, ...).

V závislosti od veľkosti tlmenia harmonického oscilátora môže dôjsť k nasledovným dvom situáciám:



1. tlmenie je kritické – pohyb oscilátora sa za najkratšiu možnú dobu ustáli v rovnovážnej polohe,



2. tlmenie je nadkritické – jedná sa o neperiodický (aperiodický) pohyb, pri ktorom sa oscilátor bude pomaly vracat do svojej rovnovážnej polohy.

### 2.1.11 Nútené kmitanie mechanického oscilátora

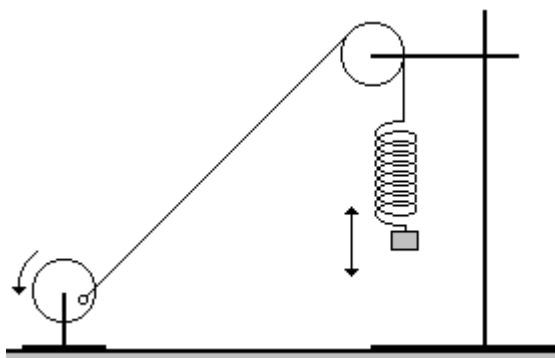
Z praxe vieme, že ak chceme udržať teleso v kmitavom pohybe, je nevyhnutné pravidelne ho rozkmitávať, lebo inak sa oscilátor vplyvom tlmenia za určitú dobu zastaví.

Hojdačku udržíme v pohybe pravidelnými nárazmi alebo zmenou polohy ťažiska.

Ak budeme na konci každej periódy kompenzovať straty energie, ktoré vznikli tlmením kmitavého pohybu, bude (pri určitej veľkosti pôsobiacej sily) amplitúda výchylky stála a oscilátor bude kmitať netlmené. Netlmeného kmitania sme dosiahli vonkajším pôsobením na oscilátor – medzi oscilátorom a okolím vznikla väzba. Oscilátor nekmitá voľne, je ovplyvňovaný okolím.

Týmto spôsobom realizované kmitanie je síce netlmené, ale nie je harmonické. Aby sme získali kmitanie harmonické, bolo by nevyhnutné nahradzovať straty v priebehu celej periódy (a nie naraz na jej konci) nepretržitým pôsobením vonkajšej sily  $\vec{F}$ , ktorá sa s časom mení harmonicky, t.z. podľa vzťahu  $F = F_m \sin \omega t$ .

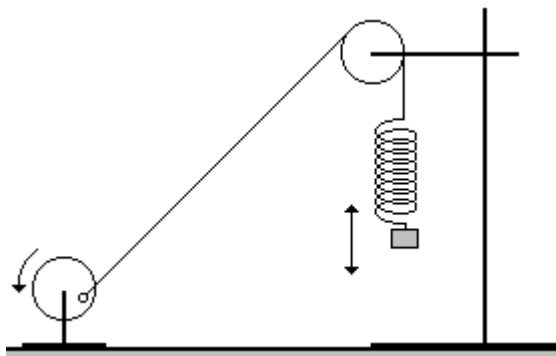
V príklade s hojdačkou by mama musela s hojdačkou behať tam a späť a pritom hojdačke dodávať presne tú energiu, o ktorú vplyvom strát prišla. Takýto spôsob hojdania je ale v praxi nepoužiteľný ...



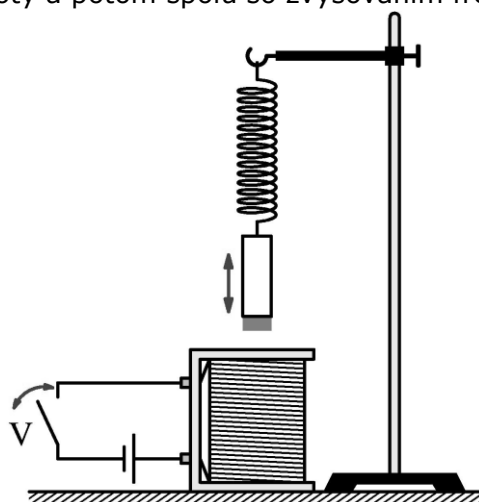
Tak vznikne netlmené harmonické kmitanie, ktoré je vnučované vonkajšou silou – **nútené harmonické kmitanie** mechanického oscilátora. Je možné ukázať, že oscilátor pri nútenom kmitaní kmitá vždy s frekvenciou vonkajšieho pôsobenia. Tým sa líši nútené kmitanie od vlastného, ktorému prísluší len jedna jediná frekvencia (vlastná frekvencia).

Z pohľadu praktického uplatnenia je dôležité, že takto možno rozkmitať aj objekt, ktorý vlastnosti oscilátora nemá. Vlastnosti objektu nemajú vplyv na frekvenciu kmitania, ale môžu značne ovplyvniť amplitúdu výchylky alebo fázu kmitavého pohybu.

### 2.1.12 Rezonancia mechanického oscilátora



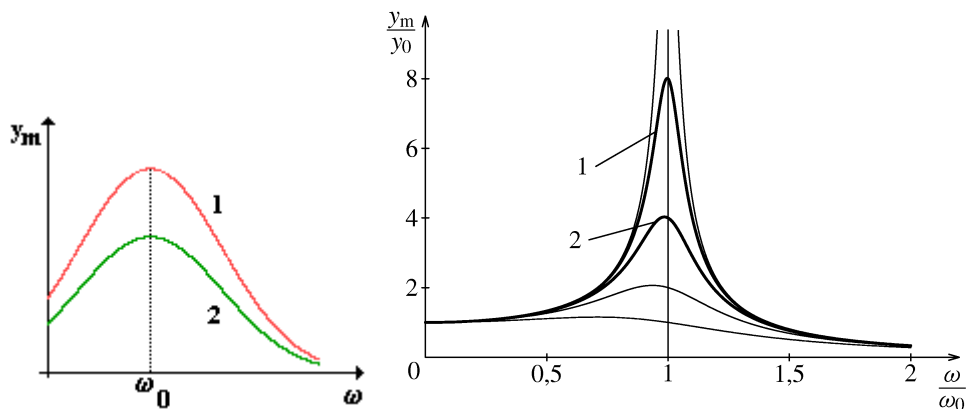
Ak budeme v prípade takéhoto zariadenia postupne zvyšovať frekvenciu otáčania kotúča, amplitúda výchylky nútených kmitov sa bude postupne zväčšovať, pri určitej frekvencii nadobudne maximálnej hodnoty a potom spolu so zvyšovaním frekvencie sa opäť znižuje.



Kmitanie telesa zaveseného na pružine môžeme udržať napr. spôsobom znázorneným na obrázku. Telesom oscilátora je oceľový valček, ku ktorému sme pripevnili feritový magnet. Oscilátor rozkmitáme, a vždy, keď sa teleso priblíži k elektromagnetu, krátko uzavrieme elektrický obvod. Pôsobením magnetickej sily sa pružina oscilátora predĺži, a tým sa nahradia straty energie, ktoré v priebehu periódy vznikli tlmením kmitavého pohybu. Pri určitej veľkosti magnetickej sily je amplitúda kmitov konštantná a oscilátor kmitá netlmene.

Rezonanciu môžeme preskúmať napríklad pomocou hračky, ktorú si môžeme kúpiť v hračkárstve. Hračka je tvorená telesom (panáčik, zvieratko, ... ) zavesenými na pružine. Pokiaľ budeme pružinou, ktorú budeme držať za opačný koniec ako je hračka, kmitať v zvislom smere, bude hračka kmitať s určitou amplitúdou výchylky. Pokiaľ bude frekvencia kmitov ruky veľmi malá alebo naopak veľmi veľká, hračka sa bude pohybovať veľmi málo – amplitúda ich kmitov bude malá. Ak zvolíme „tú správnu“ frekvenciu (vlastnú frekvenciu daného kmitavého oscilátora), bude amplitúda kmitov hračky veľmi veľká. Dosiahli sme rezonanciu.

Priebeh opísaného pokusu môžeme vyjadriť grafom. Z neho vyplýva, že amplitúda výchylky nútených kmitov dosiahne maximálnu hodnotu pri frekvencii, ktorá je zhodná s frekvenciou vlastného kmitania oscilátora  $\omega = \omega_0$ . **Došlo k rezonancii oscilátora.**



Na obrázku sú znázornené dve **rezonančné krivky**, u ktorých nastala rezonancia pre rovnakú frekvenciu. Krivky sa líšia maximálnou amplitúdou a tvarom, čo ukazuje na rôzne tlmenia: krivka č. 1 zodpovedá oscilátoru s malým tlmením, zatiaľ čo krivka č. 2 charakterizuje oscilátor s veľkým tlmením.

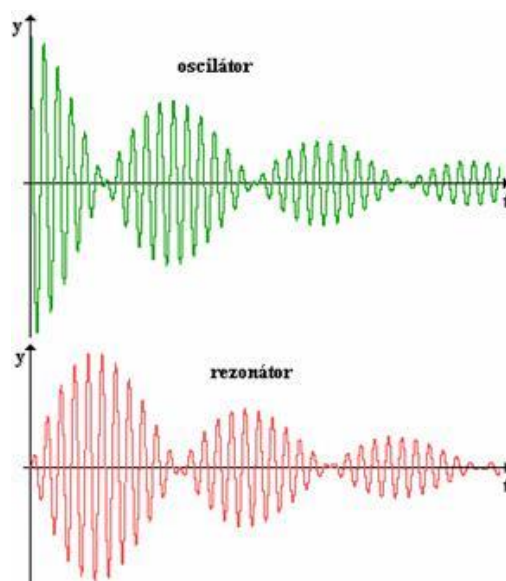
Pozor: Na zvislej osi grafu, v ktorom je znázornená rezonančná krivka, je skutočne amplitúda a nie okamžitá výchylka, na ktorú sme boli zvyknutí !!!

Graf niekedy zobrazujeme aj tak, že na vodorovnej osi je miesto uhlovej frekvencie  $\omega$  vynesená frekvencia  $f$ . Vzhľadom k tomu, že sú obe tieto veličiny fyzikálne ekvivalentné (jedna je  $2\pi$  násobkom tej druhej), je druhá podoba grafu ekvivalentná s tou na obrázku.

**V prípade ideálneho oscilátora bez tlmenia by amplitúda výchylky nútených kmitov pri rezonancii rástla bez obmedzenia.** Existencia tlmených kmitov má vplyv aj na rezonančnú frekvenciu – **s rastúcim tlmením sa rezonančná frekvencia (veľmi málo) znižuje.**

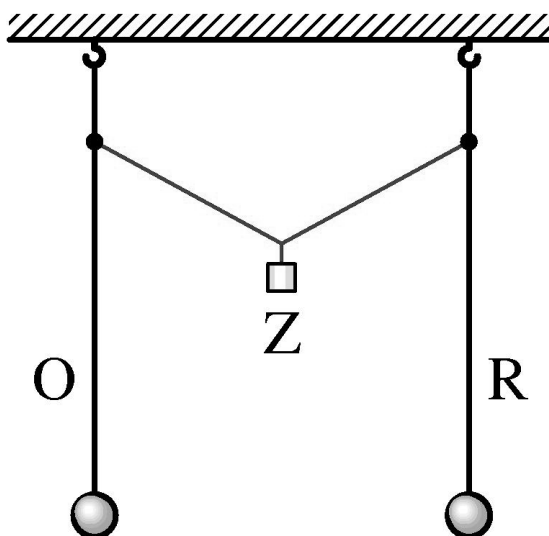
Pri rezonančnej frekvencii dosahuje amplitúda nútených kmitov väčšie hodnoty, čo by zodpovedalo výchylke spôsobenej vonkajšou silou pri veľmi nízkej frekvencii. Nastáva **rezonančné zosilnenie nútených kmitov.**

Toto rezonančné zosilnenie môže byť také veľké, že môže dôjsť k deštrukcii materiálu, ktorý rezonuje. Toto sa dá opísať na príklade vojenského pochodu na moste. Keď prechádza jednotka po moste vojenským pochodom, tak následkom pravidelného dopadania nôh na vozovku sa tento most rozvibruje. Amplitúda vibrácií môže dosiahnuť takých hodnôt, že sily pôsobiace medzi jednotlivými časťami mostu nie sú schopné vibrujúce časti udržať a môže dôjsť k deštrukcii.



Na obrázku sú časové diagramy oscilátora a rezonátora.

Rezonanciu je možné považovať za vzájomné pôsobenie dvoch oscilátorov: jeden je zdrojom núteného kmitania (oscilátor) a druhý sa pôsobením zdroja núteno rozkmitáva (**rezonátor**). Jednoduchým príkladom oscilátora a rezonátora sú **spriahnuté kyvadlá** – dve kyvadlá vzájomne spojené pružinou alebo vláknom so závažím.



Tak sa medzi kyvadlami vytvára väzba, ktorá umožňuje prenos energie medzi kyvadlami: po rozkmitaní oscilátora  $O$  sa amplitúda jeho výchylky postupne znižuje a zároveň sa zväčšuje amplitúda rezonátora  $R$ , ktorého amplitúda dosiahne maximum v okamihu, kedy kmitanie oscilátora ustalo. Tento dej sa periodicky opakuje – medzi rezonátorom a oscilátorom sa teda vymieňa energia.

Medzi oscilátormi môže byť:

1. Voľná väzba – väzbou vzniká len malé vzájomné pôsobenie a energia prechádza z oscilátora na rezonátor dlho.
2. Tesná väzba – vzájomné pôsobenie je silné, prenos energie je rýchly.

Praktické využitie rezonancie spočíva hlavne v rezonančnom zosilňovaní.

V prípade hudobných nástrojov sa chvenie struny prenáša na telo nástroja a dochádza k rezonančnému zosilneniu zvuku struny. Elektrické ladičky hudobných nástrojov využívajú tiež rezonanciu k určaniu frekvencie rozkmitanej struny.

Rezonančné zosilnenie je niekedy nežiadúce (rozkmitanie celého stroja, ktorého časť sa otáča, ...). Môžeme sa tomu vyhnúť:

1. Zmenou vlastnej frekvencie mechanizmu.
2. Doplnením mechanizmu o tlmič kmitania.
3. Zväčšením trenia mechanizmu.