

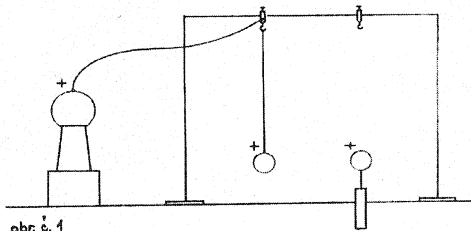
Rezonance pokaždé jinak

Břetislav Patč, ZŠ Brandýs nad Labem

Potřeby: Dvojice elektricky vodivých kyvadel na vodivých závěsech, piezoelektrický zapalovač plynu s kulovým konduktorem, van de Graafův generátor, vodiče, dvojice kyvadel tvořená zavěšenými tyčovitými magnety, stativ (obr. č. 1, 2 a 3), souprava mechanických deformačních oscilátorů (obr. č. 4), reproduktor, generátor funkcí, mechanické deformační kyvadlo s miskovitou zátěží, hliníková fólie tloušťky 0,1 mm o rozměrech 35 x 45 cm (tzv. kovolist), opěrky pro ruce (obr. č. 6 a 7)

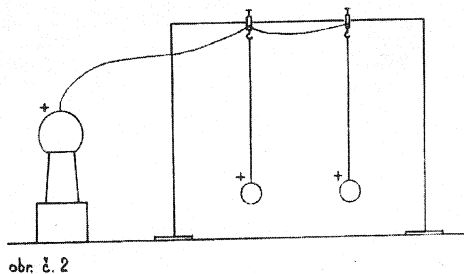
Rezonance elektricky nabitého kyvadla

Uspořádání pokusu je na obr. č. 1. Kyvadlo nabijeme kladně van de Graafovým generátorem. Proměnnou budící sílu vytváříme piezoelektrickým zapalovačem s kladně nabitým konduktorem o frekvenci vlastních tlumených kmitů kyvadla. Amplituda jeho kmitů postupně narůstá do jisté maximální hodnoty, závislé na tlumení. Kyvadlo jako rezonátor vykonává vynucené kmity.



Elektricky nabitá kyvadla jako vázané oscilátory

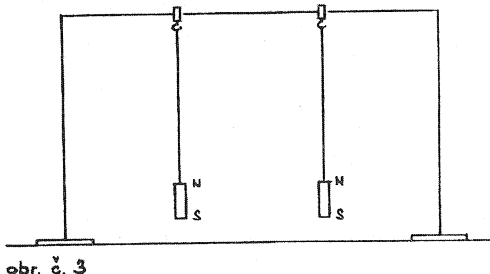
Sestavení pokusu ukazuje obr. č. 2. Jedno z kyvadel rozkmitáme ve společné rovině obou nebo kolmo k ní (dále jen: rozkmitáme „podél“, resp. „napříč“). Pokud jsou kyvadla nenabitá, uplatní se pouze málo těsná mechanická vazba přes stativ a tlaková při pohybu kyvadel vzduchem. Jejich účinky jsou zanedbatelné a přenos energie mezi kyvadly není patrný. Po nabití obou kyvadel buď souhlasnými nebo opačnými náboji vznikne v elektrických polích silová vazba dostatečně těsná a kyvadla demonstrují rázy. Fázový posun mezi kyvadly je v uvedených případech nabití navzájem opačný, neboť vazba je vyvolána silami odpudivými nebo přitažlivými.



Vázaná kyvadla s magnetickou vazbou

S dvojicí kyvadel provedeme podle obr. č. 3 pokusy obdobné jako v bodě 2.

Dále zavěsíme kyvadla do vzdálenosti asi 30 cm, jedno rozkmitáme podél a sledujeme frekvenci rázů. Po přiblížení kyvadel se vlivem těsnější vazby frekvence rázů nápadně zvýší. Zavěsíme-li obě kyvadla na jeden háček, stane se vazba natolik těsnou, že se téměř všechna energie předá během jednoho kmitu a děj připomíná „měkkou“ srážku těles. Obdobně provedeme s kmity napříč.

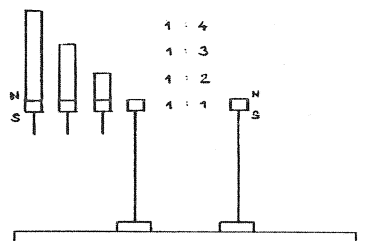


Kyvadla zavěsíme ve vzdálenosti asi 10 cm. Jedno rozkmitáme napříč a sledujeme frekvenci rázů. Po jeho rozkmitání podél je frekvence rázů několikanásobně vyšší. Jsou-li obě kyvadla současně rozkmitána podél nebo napříč se stejnou amplitudou a se stejnou nebo opačnou fází, k předávání

energie nedochází. Podržíme-li na okamžik jedno z kyvadel v amplitudě, energie se začne předávat, nikoliv však všechna.

Popis soupravy deformačních kyvadel s magnetickou vazbou (viz obr. č. 4):

- čtyři na dolním konci vetknuté oscilátory. Jsou zhotoveny z duralových tyčinek ($\varnothing$ 4 mm, délka 45 cm), které jsou na horním volném konci opatřeny válcovými feritovými magnetkami ($\varnothing$ 12 mm, délka 12 mm) s podélným otvorem k jejich upevnění. Kruhový průřez tyčinek zajišťuje stejnou frekvenci vlastních kmitů v kterékoliv ze svislých rovin;
- vhodné přivažky pro změny frekvence jednoho z oscilátorů připojitelné nad magnetku;
- stabilní stativ, připevnitelný ke stolu;
- přímá a kruhová opěrka k omezení zpětného vlivu rezonátoru na oscilátor.



obr. č. 4

Vázané deformační oscilátory s magnetickou vazbou

Do stativu upevníme dva oscilátory se stejnými přivažky a demonstrujeme pokusy obdobné jako v bodě 3, tentokrát s vyššími frekvencemi (viz obr. č. 4).

Model uzlu a jeho okolí u podélného a příčného stojatého vlnění

Ve stativu jsou upevněny ve stejných vzdálenostech tři stejné oscilátory. Oba krajní rozkmitáme podélně nebo příčně se stejnou amplitudou a opačnými fázemi. Prostřední oscilátor, který nekmitá, představuje uzel. Krajní oscilátory, modelující okolí uzlu, zaujímají v každém okamžiku postavení středově souměrné podle prostředního a jejich silový účinek na něj se ruší.

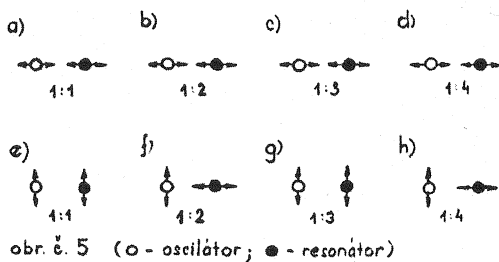
Rezonance oscilátoru při poměru frekvencí 1:1 až 1:4

Do stativu upevníme dva oscilátory se stejnou vlastní frekvencí. Jeden rozkmitáme podél a rukou jej dotujeme energií, aby vykonával netlumené kmity. Druhý se postupně rozkmitá a je rezonátorem v poměru frekvencí 1:1. Přivažky na oscilátoru vyměňujeme postupně tak, abychom dosáhli poměru frekvencí 1:2, 1:3 a 1:4 (viz obr. č. 4).

Vše opakujeme při rozkmitávání oscilátoru napříč. Pro omezení zpětného vlivu rezonátoru instalujeme do stativu přímou opěrku. Chování rezonátoru ve všech případech znázorňuje obr. č. 5.

Do stativu upevníme opět oscilátor a rezonátor pro poměr 1:2. Oscilátor opatříme kruhovou opěrku. Pak jej roztočíme s kruhovou frekvencí odpovídající vlastním kmitům rezonátoru. Protože kruhový pohyb můžeme rozložit na dvojici navzájem kolmých kmitů se stejnou amplitudou a fázovým posunem $\pi/2$, vyvolávají obě složky současně u rezonátoru kmitu podél, je nárůst jeho amplitudy velmi rychlý.

Závěrem lze konstatovat, že kmitá-li oscilátor napříč a poměr frekvencí je jedna ku malému sudému číslu, kmitá rezonátor podél, tedy kolmo k oscilátoru (obr. č. 5 f) a h)). V ostatních případech kmitá rezonátor ve stejné (obr. č. 5 a) b), c), d)) nebo rovnoběžné (obr. č. 5 e) a g)) rovině s oscilátorem.



obr. č. 5 (o - oscilátor; ● - rezonátor)

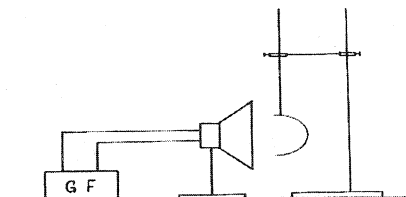
Veletrh nápadů učitelů fyziky

Poznámky:

- oscilátor s přívazky je vždy mírně podladen, neboť jeho frekvence se silovým působením ruky zvyšuje na hodnotu v požadovaném poměru;
- časově nepřesný vliv ruky na oscilátor vyvolává u rezonátoru pohyb po elipse.

Rezonance mechanického deformačního oscilátoru s tlakovou vazbou

Uspořádání pokusu je na obr. č. 6. Oscilátor nastavíme jeho délkou na libovolnou frekvenci vlastních kmitů a kmity reproduktoru naladíme na stejnou harmonickou frekvenci. Oscilátor se rozkmitá s amplitudou asi 5 mm. Pokus opakujeme s jinou frekvencí. Kmity rezonátoru jsou dobře patrné při frekvencích v rozmezí 1–30 Hz.



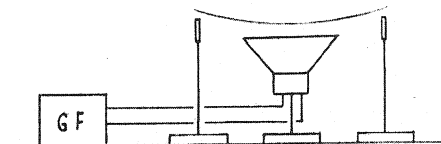
obr. č. 6

Rezonance pružné hliníkové fólie s reproduktorem v poměru 2:1

Sestavení pokusu je patrné z obr. č. 7. Generátor nastavíme na harmonickou frekvenci asi 400 Hz. Fólii nad reproduktorem držíme rukama položenými na opěrkách a deformací v ohybu a tahem měníme její frekvenci, až dosáhneme nejprve rezonance v poměru 1:1 a dále rezonance v poměru 2:1, kdy uslyšíme tón o oktávu nižší.

Poznámka:

Během ladění se ozývají i jiné možné harmonické frekvence, odpovídající okamžitým vlastnostem fólie.



obr. č. 7