

Kýblovky – jak na pokusy s kmitáním netradičním způsobem

ZDENĚK DROZD, DANA MANDÍKOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Abstrakt

Mechanické kmitání je důležitou součástí mechaniky. Jako ke každému fyzikálnímu tématu i ke kmitání je vhodné zařadit experimenty. Bývají to demonstrační, popř. žákovské experimenty s kyvadlem a pružinou, případně pokusy zaměřené na rezonanci, spřažená kyvadla apod. Pokusy lze samozřejmě provádět s klasickými pomůckami, jako jsou závažička na niti, na pružině – nejsou to ale příliš akční pokusy. V našem příspěvku se zabýváme náměty na experimentování s poněkud netradičními pomůckami, které jsou ale vždy k dispozici – s kbelíky. Jde sice o tytéž experimenty, jaké lze předvádět se zmíněnými závažičky, nitěmi a pružinami, vzhledem k netradičním pomůckám ale vzbudí zájem žáků. Vždyť, kdo by čekal „kýbl“ jako experimentální nástroj...

Úvod

Mechanické kmitání je důležitou součástí výuky fyziky, konkrétně mechaniky. Na středoškolské úrovni se většinou věnujeme netlumenému harmonickému kmitání, na které potom navazujeme učivem zaměřeným na mechanické vlnění. Téma vyžaduje zavedení základních pojmů a rovnic pro závislost kmitavého pohybu na čase - pro polohu kmitajícího tělesa, jeho rychlost a zrychlení, což jsou teoretické záležitosti postavené na matematických znalostech. Je velmi důležité, aby žáci měli zaváděný teoretický aparát propojený s konkrétními představami. K tomu se samozřejmě nejlépe hodí experimenty, na kterých probírané pojmy názorně prozkoumáme.

Pomůcky k takovýmto experimentům jsou snadno dostupné – stačí několik závažiček, nití nebo provázek, pružina, stopky... V takovémto případě jde ale o pokusy, které jsou poněkud nudné, i když velmi důležité (což ale žáci možná příliš neocení). Mnohem zajímavější je, když k experimentování použijeme netypické pomůcky. Pokud učitel přijde do hodiny se smetákem, dvěma kbelíky a podobným vybavením, žáci pravděpodobně zpozorní už při tomto jeho příchodu. Vždyť, kdo by čekal, že zrovna toto jsou pomůcky k poměrně nároč-

nému tématu, které zrovna probírají. Pojdme se podívat, jak jít na kmitání s kbelíky.

Několik námětů na pokusy s kmitajícími kbelíky

1. Pozor na nos

V prvním z našich pokusů sice bude kmitat kbelík, ale samotného mechanického kmitání se tento pokus dotýká pouze okrajově. Pokusem budeme demonstrovat platnost zákona zachování energie.

Kbelík upevníme na tzv. bifilární závěs. Vyrobité ho tak, že uchem kbelíku provlékneme provázek a zhruba uprostřed ho k uchu kbelíku případně přivážeme. Provázek musí být dostatečně pevný, aby se kbelík při kývání na závěsu neutrhl. Oba konce závěsu roztáhneme (provázek vytvoří tvar písmene V) a upevníme je k nějakému vhodnému držáku. Kbelík bude potom kmitat v jedné rovině, což pro tento pokus potřebujeme. Můžeme použít improvizovaný závěs, kdy konce provazu přivážeme na násadu smetáku, nebo na vhodnou tyč a tu položíme třeba mezi dva stoly, případně ji ještě můžeme podložit židlemi.

Vše uspořádáme tak, aby kbelík při kmitání do ničeho nenarazil. Rozhoupeme kbelík a jeho pohyb rozebereme z energetického hlediska. Při počátečním vychýlení získá kbelík určitou potenciální energii (v tíhovém poli), při pohybu se potom tato energie mění v energii kinetickou a naopak. Součet kinetické a potenciální energie představuje celkovou mechanickou energii kbelíku, a ta by za ideálních podmínek zůstávala stále stejná. Dochází ale k přeměně energie na jiné její formy a mechanická energie se zmenšuje. Se žáky můžeme diskutovat o tom, na jaké formy se energie mění, odkud se vzala počáteční potenciální energie a nakonec dojdeme k tomu, že celková energie, která se našeho experimentu týká, se stejně jako v jakékoli jiné situaci ani neztrácí, ani nevzniká, ale zachovává se.

Nyní přejdeme k „akční části“ experimentu. Vybereme dobrovolníka z řad žáků, ten se posadí na židli a těsně k jeho nosu vychýlíme kbelík. Žákovi řekneme, aby nehýbal hlavou, a kbelík pustíme. Musíme ho skutečně jenom pustit, nesmíme do něj strčit. Kbelík se při návratu k žákovu nosu těsně přiblíží, ale nedotkne se ho. Pokus rozebereme opět z hlediska zákona zachování energie. Kbelík nemůže získat větší energii, než byla jeho potenciální energie v okamžiku puštění od nosu.



Obr. 1 Kbelík se vrátí skoro až k nosu

2. Kbelík jako matematické kyvadlo?

Kbelík, zavěšený na provazu (nejlépe na bifilárním závěsu, který byl popsán v předchozím textu) můžeme použít jako model matematického kyvadla. Nejprve se žáky prodiskutujeme, čím vším se naše kbelíkové kyvadlo od matematického kyvadla liší. Upozorníme je na to, že matematické kyvadlo je pouze modelem kyvadla skutečného (těžko zrealizujeme hmotný bod zavěšený na nehmotném závěsu...). Diskuze je tedy vhodná i k tomu, abychom objasnili funkci modelů ve fyzice. Během provádění pokusu si žáci zdokonalí mnoho experimentálních dovedností. Problémem bude, jak určit délku kyvadla – měli bychom změřit vzdálenost závěsu od těžiště kbelíku, jehož polohu žáci odhadnou. Žáci změří periodu kmitů a porovnají ji se vzorcem pro periodu kmitů matematického kyvadla. Další věcí, kterou je možné prozkoumat, je např. závislost periody na rozkmitu kyvadla. Na kmitajícím kbelíku můžeme žákům ukázat téměř vše, co bychom jim mohli předvést i se závažím na niti, kbelík je ale atraktivnější.



Obr. 2 Kbelík na bifilárním závěsu a detail uchycení závěsu ke smetáku

3. Smeták a kbelíky – názorná demonstrace závislosti periody kmitání na délce kyvadla

U kyvadla je jedním z nejdůležitějších vztahů závislost periody na délce kyvadla. Kvalitativně tuto závislost ukážeme následujícím pokusem. Připravíme si dva stejné kbelíky na bifilárních závěsech a smeták s dlouhou násadou. Místo smetáku můžeme použít dřevěnou nebo kovovou tyč. Smeták, nebo tyč podložíme nebo necháme držet dvěma žákům. Závěsy kbelíkových kyvadel přehodíme přes násadu smetáku, každý závěs přitom držíme v jedné ruce. Taháním závěsů přes smeták nastavíme stejnou délku obou kyvadel a kbelíky rozkmitáme. Délku jednoho z kbelíkových kyvadel necháme stále stejnou, druhý závěs postupně zkracujeme (jednoduše taháním za provazový závěs). Je vidět, že se perioda kmitů při zkracování délky závěsu zmenšuje. Nepoznáme sice, jak konkrétně perioda na délce kyvadla závisí, ale velmi názorně je vidět, že kratší kyvadlo znamená kratší periodu.



Obr. 3 Jeden závěs má stálou délku (kbelík vlevo), délku druhého měníme taháním za závěs (kbelík vpravo)

4. Kbelíky pomáhají ozřejmit pojmy fáze a fázový posuv

Pojmy fáze a fázový posuv jsou žákům často málo jasné. Jednoduše jim je můžeme demonstrovat dvojicí kbelíkových kyvadel. Stejně jako v předchozím pokusu použijeme dva stejné kbelíky s bifilárními závěsy. Oba závěsy přivážeme k násadě smetáku, nebo ke vhodné tyči a podložíme ji. Kbelíky rozkmitáme tak, aby kmitaly ve fázi, v protifázi nebo s nějakým fázovým posuvem. Pojmy kmitání se stejnou fází, s opačnou fází apod. lze tímto pokusem velmi názorně objasnit.



Obr. 4 Kbelíky kmitající ve fázi (vlevo) a s opačnou fází (vpravo)

5. Harmonický kbelík – na čem závisí perioda kmitů harmonického oscilátoru

V tomto pokusu opustíme kyvadla a budeme se zabývat kmity na pružině, tedy lineárním harmonickým oscilátorem. Připravíme si několik pružin o různé tuhosti. Pružinu zavěsíme na vhodný stojan, nebo jiný držák. Zavěsíme na ni kbelík a rozkmitáme ho. Na kmitajícím kbelíku připomeneme žákům pojmy amplituda, frekvence, perioda, zmíníme se také o tuhosti pružiny. Kmitavý pohyb kbelíku na pružině můžeme např. prodiskutovat i z energetického hlediska a vhodné je také připomenout, co znamená to, že pohyb je harmonický.

Nyní přejdeme k hlavnímu úkolu – zjistit, na čem závisí frekvence (perioda) našeho kbelíkového harmonického oscilátoru. Žáci zavěšují kbelík na různé pružiny, u kterých předem změřili jejich tuhost (jednoduše tak, že změřili, o jakou hodnotu se pružina protáhla po zatížení závažím známé hmotnosti). Nepodaří se sice asi určit, jak přesně frekvence na tuhosti závisí, ale to, že větší tuhost znamená větší frekvenci, je zřejmé (nejedná se ale o přímou úměrnost). V další části zkoumání kbelíkového oscilátoru použijeme jednu pružinu a kbelík zatěžujeme pomocí závaží, která do něho vkládáme. Závislost frekvence na hmotnosti kbelíku také zjistíme pouze kvalitativně, ale i to je důležitý výsledek.



Obr. 5 Kbelík kmitající na pružině

6. Spřažené kyblomity

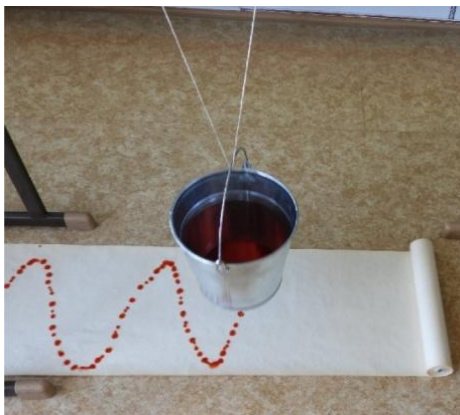
Pomocí kbelíků lze dobře demonstrovat i spřažená kyvadla. Vhodné jsou ale lehčí kyblíky, třeba plastové na písek nebo větší kelímky od jogurtů, které mají ucho. Potřebovat budeme ještě modelářskou gumu s větším průřezem. Gumu provlékneme uchy kbelíků a napneme ji. Jeden kbelík rozkmitáme a sledujeme, jak se postupně rozkmitá i druhý kbelík a první se zastaví. Děj se opakuje, ale díky ztrátám mechanické energie se kmitání postupně utlumí. Rychlost, se kterou si kbelíky energii předávají, můžeme regulovat napnutím gumy, při větším napnutí je vazba těsnější a energie se předává rychleji.



Obr. 6 Sprážená kyvadla realizovaná plastovými kbelíky na gumě

7. Kbelík kreslí záznam svého pohybu

K tomuto pokusu použijeme kbelík s dírkou (cca 1-2 mm v průměru) uprostřed dna. Kbelík přivážeme k bifilárnímu závěsu a umístíme pod něj pás papíru. Nalijeme do kbelíku trochu obarvené vody a rozkmitáme ho. Kolmo k rovině kmitů táhneme po zemi pás papíru (hodí se například role balicího papíru). Papír se snažíme táhnout rovnoměrně. Vytékající voda kreslí na papír hezkou sinusovku. Tímto způsobem ukážeme, jak zhruba vypadá graf časové závislosti kmitů kyvadla. Žáci vidí, jak graf vznikl a budou mu proto lépe rozumět.

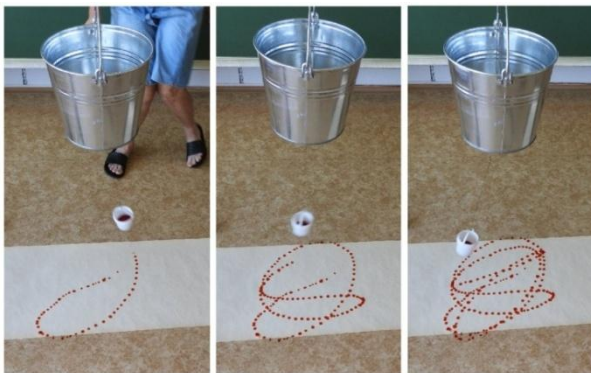


Obr. 7 Pod kmitajícím kbelíkem, z něhož kape obarvená voda, táhneme rovnoměrně papír – získáme hezký grafický záznam kmitů

8. Artdžbero – kreslení kbelíkem

Poněkud fádně bývá tento experiment nazýván Lissajousovými obrazy a ještě méně poeticky skládáním kolmých kmitů...

K pokusu použijeme kbelík s provrtaným dnem a kelímek s dírkou ve dně (průměr dírký zvolíme takový, aby z něj voda, kterou ho naplníme, vytékala tenkým pramínkem, nebo jenom rychle vykapávala). Dále si opatříme arch (lépe více archů) obyčejného balicího papíru. Kbelík přivážeme na provaz tak, aby kmital přibližně v jedné stálé rovině. Toho nejlépe docílíme bifilárním závěsem (ucho je přivázáno ke dvěma provazům vytvářejícím „písmeno V“). Dírkou ve dně kbelíku protáhneme tenký provázek (popř. reznou nit), zajistíme ho uzlíkem, korálkem apod., aby z kbelíku nevyklouzl, a přivážeme na něj kelímek. Délka závěsu kelímku může být například půl metru. Dírkou ve dně kelímku něčím ucpeme, nebo jenom uzavřeme prstem a do kelímku nalijeme obarvenou vodu. Pod kelímek na zem rozprostřeme balicí papír. Bifilární závěs kbelíku můžeme opět upevnit na smeták či tyč a tu položit přes dva stoly či ji nechat přidršet dvojicí žáků. Provazy zvolíme dostatečně dlouhé, abychom mohli měnit délku závěsu kbelíku a tedy periodu jeho kmitů. Rozkmitáme kbelík a kelímek tak, aby kelímek kmital kolmo k rovině kmitů kbelíku. Pozorujeme, jaké obrazce kreslí voda na papíru. Poté změním délku závěsu kbelíku, papír posuneme a opět si prohlédneme nakreslený obrazec. Když se nám podaří, aby kbelík a kelímek kmitaly se stejnou periodou, nakreslí vytékající voda kružnici, nebo elipsu. Další typické Lissajousovy obrazce získáme, když periody kmitů kbelíku a kelímku budou v poměru malých celých čísel (1:2, 2:1, 1:3, 2:3 apod.).



Obr. 8 Skládání zhruba vzájemně kolmých kmitů – Lissajousovy obrazce