

Kmitání, vlnění, akustika

Tento tematický celek je odborně či myšlenkově poměrně jednoduchý, žáci obvykle nemají problém porozumět základním principům. Pokud učitele téma zajímá, může mu věnovat větší čas a pokusit se žáky nadchnout třeba pro pozorné vnímání či dokonce provozování hudby. Pokud tyto ambice nemá, stačí podle našeho názoru věnovat tomuto tematickému celku zhruba 6 vyučovacích hodin. Potřebné pomůcky jsou uvedeny u jednotlivých témat či experimentů.

1. část – Kmitání

Pomůcky:

zvírátko nebo loutka na pružině (není-li k dispozici, tak závaží na pružině), alespoň dvě pružiny s různou tuhostí, nit, závaží, 2 stojany.

Před hodinou postavte na katedru dva stojany a zavěste na ně hračku na pružině a závaží na niti a rozpohybujte je. Žáci si jistě neobvyklých pomůcek i o přestávce všimnou. Na začátku hodiny pak můžete navázat otázkou, čemu se asi budete v této hodině věnovat. Dle našich zkušeností žáci slovo *kmitání*, *kmitavý pohyb* v odpovědi použijí, není to pro ně neznámý pojem. Nechte je pak navrhopat, kde všude se v přírodě nebo v technické praxi kmitání vyskytuje, kde se s ním mohou setkat (pohyb listů stromu při větru, mrkání, srdeční tep, pohyb plic, tlumiče u aut, kyvadlo u hodin atd.). Pokud někdo z žáků nabídne i sexuální aktivity, přijměte to a nekomentujte, pubertáči rádi provokují.

Na základě příkladů nechte žáky popsat, jak kmitavý pohyb vypadá, co je pro něj charakteristické. Dostačující odpověď může být, že je to pohyb „tam a zpátky“, opakující se. Dále nechte žáky navrhopat (a na pomůckách na katedře ukazovat), co bychom mohli u kmitavého pohybu měřit.

Jedná se o:

- frekvenci f , tedy počet kmitů za danou dobu,
- periodu T , tedy dobu jednoho kmitu,
- maximální výchylku (maximální amplitudu) y_m
- případně i okamžitou výchylku y

Žáci pak s použitím stopek na mobilu změří frekvenci a periodu hračky na pružině a kyvadla. Současně s měřením zaveďte jednotku pro frekvenci hertz (Hz). Vzhledem k tomu, že u reálného experimentu asi nebudou výsledky vycházet „hezky“, takže vztah mezi frekvencí a periodou nebude zřejmý, vedte žáky k následující úvaze (hodnoty, které žáci diktují, pište do tabulky na tabuli). Jestliže bude doba kmitu 2 s, jaká bude frekvence, tedy kolik kmitů za sekundu těleso vykoná? (0,5 Hz). Úlohy zadávejte a pište do té doby, než si žáci uvědomí, že frekvence je převrácená hodnota periody $f = \frac{1}{T}$.

V další části výuky diskutujte se žáky, na čem by kývání kyvadla a tělesa na pružině mohlo záviset. Hypotézy žáků ověřujte experimentem (podle našeho názoru není třeba nechávat žáky proměřovat jednotlivé závislosti

individuálně, experimenty na katedře postačují). Pokud jste toto zkoumání dělali již v 6. třídě v tématu Měření času, tak už pouze společně se žáky připomeňte, co jste tehdy zjistili.

Pro experimenty s pružinou je vhodné zavěsit závaží na běžnou pružinu, hračky mívají pružiny o malé tuhosti, a tedy často trochu „poskakují“. Asi nebude překvapivé, že kmitání na pružině závisí na hmotnosti závaží, vlastnostech pružiny (můžete zavést pojem tuhost pružiny) a samozřejmě na tíhovém zrychlení. Konkrétní závislost a vzorec uvádět nemusíte. Naopak to, že kmitání kyvadla na hmotnosti závaží nezávisí (a závisí kromě tíhového zrychlení pouze na délce závěsu), překvapivé pro žáky pravděpodobně bude. Pokud máte možnost, doporučuji k tomuto tématu zařadit laboratorní práci *Kyvadlo* (viz příloha).

Máte-li k dispozici sonar, ukažte žákům graf závislosti výchylky kyvadla nebo tělesa na pružině na čase¹.

Pokud toto zařízení k dispozici nemáte, doporučuji nechat žáky provést následující experiment. Jeden z dvojice žáků si vezme do ruky propisku, fix nebo měkkou tužku a nacvičí si volný kmitavý pohyb rukou nad lavicí (je vhodné, když zavře oči, aby pohyb byl skutečně volný, nekontrolovaný očima). Druhý z dvojice si mezitím připraví větší list papíru (minimálně A4, na délku). Když jsou připraveni, tak první žák začne kmitat tužkou po papíře a druhý přitom posouvá papír po lavici. Vznikne tak více či méně podařený graf kmitavého pohybu. Žáci se pak mohou pokusit určit maximální výchylku, periodu a frekvenci tohoto pohybu. Další, časově i organizačně náročnější varianty najdete v literatuře, kdy se nechá kmitat nádoba s pomalu se sypaným pískem nebo pomalu vytékající kapalinou nad posouvajícím se papírem². Tento a další pěkné experimenty lze nalézt v článku P. Horvátha a L. Tomka *Mechanické kmitanie*³.

2. část – Vlnění

Pomůcky:

dlouhá plastová nebo kovová pružina (slinky), případně klobouková guma a vrtačka s upraveným nástavcem

Vyberte zhruba 15 žáků a nechte je, aby se postavili podél zdi těsně vedle sebe a požádejte je o kázeň a spolupráci. Do prvního pak lehce šťouchněte. Pokud budou žáci skutečně spolupracovat, tak první ramenem strčí do druhého, ten do dalšího, a „šťouchnutí“ se bude šířit celou řadou. Potom žáky požádejte, aby se vzali za ruce a první udělal dřep a opět si stoupl. Tím za sebou stáhne druhého, ten třetího atd.

Jev, který žáci pozorovali, nazvěte *vlněním* (pokud nikdo z žáků nebude název znát a neřekne ho sám) a tento experiment pak v rozhovoru se žáky rozeberte. V prvním případě se každý z žáků pohnul do boku a podnět se šířil stejným směrem, aniž by se žáci museli držet. Jedná se o *vlnění podélné*, může se šířit v libovolném prostředí – plynném, kapalném i pevném, nejsou potřeba žádné vazby mezi částicemi. Ve druhém případě se každý z žáků pohyboval nahoru a dolů, ale rozruch se šířil do boku. Jedná se tedy o *vlnění příčné*. Pro jeho existenci jsou nutné vazby mezi částicemi (spojené ruce), jinak by si druhý žák nevšiml, že první žák udělal

¹ viz např. https://www.vernier.cz/download/experimenty/kmitani_zavazi_na_pruzine.pdf nebo obecněji <https://www.vernier.cz/experimenty/podle-produktu/kod/GO-MOT>

² viz např. R. Chalupníková: Harmonický pohyb. <https://www.virtualnidigicentrum.cz/galerie/harmonicky-pohyb/>

³ Horváth, P.: Mechanické kmitanie. In: Dílny Heuréky 2012, Dostupné z: <https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/ke-stazeni/sborniky-dilen-heureky/sborniky/SbornikDilenHeureky2012.pdf>

dřep. Mechanické příčné vlnění se tedy může šířit pouze v kapalinách a pevných látkách⁴. Důležité je, aby si žáci uvědomili, že se šíří pouze rozruch, energie, jednotliví žáci své místo nemění.

Pozorující žáci mohou také měřit, za jak dlouho se rozruch dostane na konec řady, tedy *rychlost vlnění*. Pokud bude řada dost dlouhá a první žák neudělá jen jeden dřep, ale bude ho opakovat, mohou zbývající žáci pozorovat, že třeba desátý žák se pohybuje stejně jako první. Je možné tedy v tomto experimentu ukázat i *vlnovou délku vlnění*.

Jiná varianta:

Žáci krokují dopředu a dozadu v rytmu, v tleskání učitele – každý žák udělá krok dopředu, zpátky, dozadu, zpátky. Následující žák je vždy posunut o jeden krok proti svému sousedovi. Se žáky lze diskutovat amplitudu (jeden krok), periodu (4 tlesknutí), rychlost šíření (závisí na rychlosti tleskání učitele). Potom lze žáky nechat pohybovat vždy dva kroky dopředu a dozadu a změnit tak amplitudu apod.

V další části hodiny ukažte žákům dlouhou pružinu (slinky) a nechte dva žáky demonstrovat podélné a příčné vlnění na ní.

Pokud považujete za důležité zmínit žákům i stojaté vlnění, které vzniká tak, že se příčné vlnění odráží na upevněném konci a skládá se s postupující vlnou ze zdroje, lze ho pěkně ukázat pomocí kloboukové gumy a vrtačky jako zdrojem kmitů. Popis tohoto experimentu najdete v článku L. Dvořáka Vlnění a akustika s gumičkou a počítačem⁵.

3. část – Akustika

Pomůcky:

Pomůcky na výrobu hudebních nástrojů (brčka, špachtle, gumičky, víčka... viz níže), dva mikrofony Vernier (nebo jiné připojitelné k počítači)

Pro výuku je užitečné mít k dispozici program schopný vizualizovat zvuk (Scope, Audacity) a aplikaci umožňující měřit hluk.

Na další aktivity: školní ladičky, hrací strojek, „bobotubes“, lžíce, kelímky, provázek

Téma *Akustika* se přirozeně hodí koncipovat v lince „zdroje zvuku“ – „šíření zvuku“ – „zachycení zvuku“. V každé části je popsáno i několik „volitelných“ aktivit. Je na vás, jaké aktivity se vám do výuky hodí, kolik na ně máte času (a případně, na které máte pomůcky).

Zdroje zvuku

V první části hodiny nechte postupně všechny žáky vytvořit nějaký zvuk s tím, že by měl být jiný, než vytvořili všichni před ním. Potom nechte žáky formulovat, co měly všechny zvuky společného – co je nutné, aby vznikl zvuk. Žáci snadno popíší, že je potřeba, aby něco kmitalo; můžete také diskutovat, co kmitalo v jednotlivých

⁴ Elektromagnetické vlnění se šíří ve vakuu, přestože je to vlnění příčné, proto se zde omezuje na mechanické vlnění.

⁵ In: Dílny Heuréky 2003-2004. Sborník konferencí projektu Heuréka. Online <https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/ke-stazeni/sborniky-dilen-heureky/sborniky/SbornikDilenHeureky2003.pdf> (str. 21)

vytvořených zvucích. Pokud chcete, nechte žáky sáhnout na krk a něco u toho zabručet – je cítit, jak kmitají hlasivky.

Z vytvořených zvuků potom vyberte několik typických a rozdělte je na dvě skupiny – na tóny a hluk. Pomocí počítače a programu vizualizujícího zvuk (např. Scope, Audacity)⁶ lze snadno ukázat, že tón je pravidelný, hluk má mnohem chaotičtější průběh.

Máte-li možnost, žáky nechte vyrobit některý hudební nástroj (z brčka, ze špachtlí, případně píšťalku z omnia víčka,...)⁷, případně jim alespoň vybrané „divné“ hudební nástroje pusťte na video. Jako dobrovolný domácí úkol mohou sami nějaký nástroj vyrobit.

Další aktivity:

- Nechte žáky pomocí Audacity nebo Scope pozorovat tvar různých hlásek, případně souvislost výšky tónů s frekvencí vlnění.
- Máte-li k dispozici hrací strojek, můžete se žáky diskutovat, proč zní tak potichu a jak to udělat, aby zněl víc nahlas. Potom ho postupně umístíte na různé pevné povrchy a ukažte, že zní mnohem hlasitěji, pokud s tím rezonuje např. lavice, okno,... (a naopak, pokud ho položíte na něco měkkého, tak nerezonuje a zní velmi slabě). Podobně lze použít i školní ladičku bez skříňky a se skříňkou. Diskuzi lze vést k tomu, proč má většina hudebních nástrojů dutinu a jak zní nástroje, které ji nemají (typickým příkladem je elektrická kytara, která bez zesilovače v podstatě nezní).
- Máte-li možnost, nechte žáky zahrát na trubky různých délek (pomůcka se dá buď vyrobit z instalatérských trubek nebo koupit pod názvem Bobotubes). Nechte je porovnat, jak se liší tón dlouhé a krátké trubky – snadno přijdou na to, že čím kratší nástroj, tím vyšší tón. Totéž platí i u běžných hudebních nástrojů: housle zní výš než kytara nebo basa, sopránová flétna je kratší než altová, atd.

Šíření zvuku

Nechte žáky odhadnout, jak rychle se šíří zvuk ve vzduchu a případně v jiných prostředích. Bývá pro ně překvapivé, že v pevnějším materiálu se zvuk šíří rychleji (připomeňte jim potřebu „vazby“ pro šíření vlnění – čím je tato vazba pevnější, tím lépe se zvuk šíří). V diskuzi by mělo padnout, že ve vakuu se zvuk nešíří, protože v něm nejsou žádné částice. Máte-li možnost, rychlost zvuku změřte. Jeden z možných způsobů využívajících dva mikrofony Vernier je popsán v Kuchařce jednoduchých experimentů⁸. Další možností je použít jeden mikrofon a měřit, za jak dlouho se zvuk odrazí od nějaké překážky.

Část žáků bude nejspíš znát pravidlo, jak poznat, jak daleko je bouřka – počítat čas mezi bleskem a hromem a vydělit třemi, vyjde vzdálenost v km. Je proto užitečné jim ukázat souvislost s rychlostí šíření zvuku (s rychlostí zvuku ve vzduchu přibližně 340 m/s zvuk za 3 sekundy urazí zhruba 1 km).

⁶ Celá aktivita je podrobně popsána v příručce ICT ve výuce fyziky na ZŠ: <https://kdf.mff.cuni.cz/materialy/ICTveFyzice.pdf> (str. 6)

⁷ Návody na výrobu hudebních nástrojů popisuje Dana Juchelková v příspěvku z konference Dílny Heuréky 2021: <https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/ke-stazeni/sborniky-dilen-heureky/sborniky/SbornikDilenHeureka2021.pdf> (str. 61)

⁸ Viz <https://www.vernier.cz/stahnout/kucharka/kod/rychlost-zvuku>

Metodika projektu Heuréka

Je užitečné nechat žáky nějakou úlohu týkající se rychlosti zvuku spočítat, ale vzhledem k tomu, že výpočet není náročný, není potřeba tomu věnovat příliš mnoho času.

Další aktivity:

- Pověste lžici na provázek, ten vložte k uším a lžící cinkněte o lavici. Co je slyšet? Experiment je velmi jednoduchý, ale velmi překvapivý a žákům se obvykle hodně líbí. Můžete diskutovat o tom, že skrz provázek se lépe šíří i hlubší tóny, zvuk je proto mnohem bohatší.
- Máte-li možnost, nechte žáky vyrobit nitkové telefony (dva kelímky propojené dlouhou nití) a vezměte je s nimi na hřiště/do tělocvičny. Žáci spontánně začnou vymýšlet další experimenty – třetí kelímek, kterým „odposlouchávají“ rozhovor, telefonování „za roh“ apod.
- Nechte žáky spočítat, jak daleko musí být skalní stěna, abychom slyšeli ozvěnu, jestliže ucho rozliší dva zvuky, které jsou od sebe 0,1 s. Potom se žáky diskutujte, co slyší, pokud je od nich překážka méně než vypočtených 17 m (pozor na častou chybu při výpočtu – zvuk se musí od stěny odrazit a vrátit zpátky!). Žáci mají často zkušenost s prázdnými místnostmi, které zní divně, se špatnou akustikou v tělocvičně apod. Této „divné ozvěně“ se říká dozvuk; pro žáky je užitečné si uvědomit, jak s ní v různých místnostech bojujeme: různé výstupky ve školních třídách, aby nevznikaly velké rovné plochy, koberce a závěsy v divadlech, na kterých se zvuk utlumí apod.

Zachycení zvuku

Na začátku hodiny se žáků zeptejte, jak vysoké tóny ještě slyší. Podle našich zkušeností nemají moc představu. Máte-li možnost, nechte je poslouchat zvuk z tónového generátoru (například pomocí programu Scope) a postupně zvyšujte frekvenci. Doporučuji začít např. u 440 Hz (tón komorní „a“) a postupně zvyšovat až k cca 16 kHz. V tu chvíli už většina dospělých zvuk neslyší, ale žáci obvykle ještě bez problémů ano. Lze proto diskutovat o tom, že horní hranice slyšení se s věkem snižuje. Vzhledem ke kvalitě typických školních reproduktorů nemá smysl žákům pouštět vyšší frekvence než okolo 16 kHz – jsou slyšet i parazitní tóny, takže žáci slyší i ty tóny, které už by slyšet neměli.

Pokud chcete, můžete se žáky zabrousit do přírodopisu a diskutovat, jak slyší některá zvířata – netopýři a delfíni používají ultrazvuk (tj. zvuk vyšší frekvence než slyší člověk), velryby naopak ke komunikaci používají nižší frekvence (infrazvuk).

Před další hodinou umístěte o přestávce do třídy hlukoměr tak, aby jeho hodnota byla dobře vidět (ideálně digitální hlukoměr, jehož hodnotu promítnete dataprojektorem). Žáci samovolně zkouší, jak hlukoměr reaguje na ticho, větší hluk,...

V hodině je potom vyzvěte, aby zkusili naměřit co nejmenší hodnotu na hlukoměru. Lze je nechat vytvořit i co největší hluk, ale jen po velmi omezenou dobu ☺.

Vzhledem k tomu, že jednotka decibel je pro žáky velmi špatně uchopitelná, je lepší její původ moc nediskutovat. Stejně tak není potřeba se žáky diskutovat název veličiny „hladina akustického tlaku“. Stojí ale za to rozebrat, že není lineární (v podstatě měří pouze řád hluku, podrobněji: dvakrát větší hluk se projeví zvýšením hlasitosti o 3 dB). Lze ale uvést několik typických hodnot:

Zvuk	Hodnota
Práh slyšitelnosti	0 dB
Tichý pokoj	33 dB
Tíkot hodin	35 dB
Šum ve studiu	40 dB
Šepot z 10 cm	50 dB
Šelest listí	60 dB
Kytara z 40 cm	70 dB
Silný provoz	80 dB
Saxofon z 40 cm	92 dB
Klavír ze 40 cm	93 dB
Hlasitý výkřik	96 dB
Práh nepříjemnosti	102 dB
Vzlet tryskového letadla	116 dB
Výstřel z děla	120 dB
Výbuch dělostřeleckého granátu	132 dB

9

Poznámka: Většina aplikací měřící hluk není zkalibrována (nebo je zkalibrována špatně). Nemá proto moc smysl měřit konkrétní čísla ani porovnávat hodnoty zjištěné různými aplikacemi. Případně lze aplikace alespoň přibližně zkalibrovat (např. pomocí tabulky uvedené výše nebo pomocí profesionálního hlukoměru).

Velmi užitečné je se žáky diskutovat o vlivu příliš velkého hluku na zdraví a různých možnostech, jak se příliš velkému hluku zabraňuje (žáci sami vymyslí vše možné od špuntů do uší přes dvojí okna až po protihlukové zábrany).

Další aktivity:

- Za dobrovolný domácí úkol si mohou žáci stáhnout nějakou aplikaci měřící hluk a prozkoumat hluk ve svém okolí: který domácí spotřebič je nejhluchnější? Ve které místnosti mají naopak největší ticho? Kde v okolí domu je největší/nejmenší hluk? Jaký efekt mají protihlukové zábrany (pokud jsou v okolí někde dostupné)? Atd... Příklady výsledků jsou popsány v příručce ICT ve výuce fyziky (viz poznámka 4).

Poděkování:

Realizace byla v roce 2022 podpořena MŠMT v rámci opatření na podporu studijních programů, zaměřených na přípravu budoucích učitelů na pedagogických i nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol.

⁹ Převzato z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Decibel>, cit. 21.10.2022

Příloha 1:

Laboratorní práce Kyvadlo (2 vyučovací hodiny)

Pomůcky: nitě, závaží, nůžky, milimetrový papír

Laboratorní úloha pro žáky 9. třídy, zařazená do tématu Kmitání a vlnění. Laborka je poměrně náročná (myšlenkově i časově), některé skupiny občas potřebují „postrčit“ k dalšímu kroku řešení. Tato laborka může sloužit učitelům k ukázce toho, jak probíhá reálná vědecká práce: problém – návrh řešení – sběr dat – zpracování dat vhodnou formou – ověření výsledku nezávislým měřením.

Úkol: Určete dobu kmitu třímetrového kyvadla. Nesmíte však chodit mimo učebnu nebo kyvadlo spouštět z okna. Máte k dispozici pouze metry, závaží, nitě.

Žáci pracují ve dvojicích a musejí postupně „objevit“, že:

- Potřebují změřit dobu kmitu kratšího kyvadla. Je potřeba si přitom uvědomit, že správná délka závěsu je od místa upevnění nitě do těžiště závaží. Vzhledem k přesnosti měření je také třeba měřit dobu více kmitů, nikoliv jen jednoho kmitu.
- Je nutné ověřit, na čem doba kmitu závisí (a na čem nikoliv).
- Není možné určit dobu kmitu kyvadla například o délce 0,5 metru pomocí vynásobení či vydělení dvěma předtím naměřené doby kmitu metrového kyvadla.
- Potřebují naměřit alespoň pět různých délek kyvadla, aby získali dostatek dat.
- Z tabulky hodnot „nevykukají“ žádnou závislost.
- Mohou použít grafické znázornění. (Když na to žáci přijdou, teprve pak dostanou milimetrový papír; doporučuji rýsovat na něj, nepoužívat počítač či tablet, manuální kreslení grafu je v tomto případě důležité).
- Extrapolací grafu („protažením křivky“ až k délce závěsu 3 metry) odhadnou požadovanou hodnotu.

Po té, kdy mají žáci nějaký výsledek, dávám jim k dispozici středoškolské MF tabulky, kde je uveden vzorec pro výpočet, aby si mohli výsledek zkontrolovat, a současně požádám některou skupinu, aby na schodišti udělali třímetrové kyvadlo, a všichni společně si požadovanou hodnotu změří. Po skončení práce je nutno se žáky zreflektovat, jaké činnosti prováděli. Tedy s nimi projít poznávací cyklus: problém – hypotéza – experiment, ověření hypotézy – závěr – nová hypotéza – experiment, sběr dat – grafické zpracování dat – extrapolace – závěr – porovnání výsledků z různých zdrojů. Je vhodné žáky upozornit, že velmi podobně probíhá výzkum i v reálné vědě.

O něco náročněji je zpracováno toto téma v článku Z. Drozda *Hrátky s kyvadlem* ve sborníku Dílny Heuréky 2003-2004 (viz odkaz v poznámce pod čarou 3).