

Výuka fyziky s aplikací Phyphox

Václav Šebelík



Obsah

Úvod, aneb ve zkratce o aplikaci Phyphox	1
Co aplikace Phyphox umožňuje?	1
Vlastnosti aplikace Phyphox	1
Kdo může Phyphox používat?.....	1
Jak stáhnout a nainstalovat aplikaci Phyphox	2
Seznámení se s rozhraním	2
Další možnosti a funkcionality	7
Souřadnicový systém.....	7
Možnosti použití ve třídě (a mimo ni).....	7
Pokusy s aplikací Phyphox.....	8
Rychlost zvuku ve vzduchu.....	8
Gravitační konstanta.....	10
Frekvence zvuku v odměrném válci.....	12
Kyvadlo	15
Tlumený oscilátor.....	18
Odstředivé zrychlení	20
(Ne)pružné srážky	23
Vibrace (motor, pračka, hard disk).....	26
Rychlost zvuku změřená pomocí lahve vína.....	29
Měření tepové a dechové frekvence	31
Kalibrace měření hladiny hluku	33
Jak vypadá zvukový záznam samohlásek a pískání	36
Rychlost valivého pohybu.....	38
Měření otáček u gravírovacího pera (popř. vrtačky).....	40
Malusův zákon	42
Oerstedův experiment	46
Zákon převrácených čtverců (intenzita světla).....	48
Intenzita magnetického pole permanentního magnetu	50
Dopplerův jev.....	52
Sonar.....	53
Další náměty.....	54
Reference a užitečné odkazy	55

Úvod, aneb ve zkratce o aplikaci Phyphox

Phyphox (detaily v angličtině a němčině je možné nalézt na <https://phyphox.org/>) je snadno použitelná aplikace, která umožňuje využít senzory ve vašem mobilním telefonu pro fyzikální experimenty (můžete s ní ale zabrousit i do jiných oborů). Byla vytvořena na RWTH Aachen University (Univerzita v Cáchách) v Německu. Její rozhraní bylo přeloženo do i jiných jazyků, včetně češtiny. Název Phyphox je zkratkou pro "PHYSical PHOne eXperiments", což vystihuje hlavní myšlenku této aplikace – přeměnit váš telefon na mobilní vědeckou laboratoř, kterou můžete mít neustále u sebe.

Co aplikace Phyphox umožňuje?

Aplikace Phyphox zpřístupňuje uživateli senzory, které jsou běžně součástí moderních chytrých telefonů, například akcelerometr, gyroskop, magnetometr, mikrofon a další. Díky těmto sensorům je možné provádět širokou škálu experimentů v oblastech jako je mechanika, akustika, optika, nebo magnetismus. To, jaké pokusy můžete provádět je omezené pouze senzory, kterými Váš telefon disponuje, a Vaší fantazií. Senzory vyjmenované výše jsou součástí drtivé většiny (ne-li všech) chytrých telefonů, nicméně např. barometr u mnoha modelů chybí (seznam různých typů telefonů s jejich senzory je možné najít na phyphox.org/sensordb/).

Vlastnosti aplikace Phyphox

Aplikace má uživatelsky přívětivé rozhraní, které je vhodné jak pro studenty, tak pro učitele. Uživatelé mohou snadno přistupovat k přednastaveným experimentům nebo si vytvořit vlastní experimenty. Phyphox umožňuje nejen sběr dat, ale také jejich analýzu (automatickou nebo provedenou uživatelem) přímo v aplikaci. Výsledky lze exportovat do různých formátů (např. CSV) pro další zpracování. Kromě interních senzorů telefonu může Phyphox využívat i externí senzory přes Bluetooth nebo jiná bezdrátová připojení, což rozšiřuje možnosti experimentů.

Phyphox je open-source projekt, což znamená, že komunita uživatelů a vývojářů může přispívat k jeho vylepšení a rozvoji.

Phyphox nabízí řadu předem připravených experimentů, které jsou ideální pro vzdělávací účely. Mezi oblíbené senzory a experimenty patří například:

- Akustické stopky: Měření času pomocí analýzy zvukových událostí (např. dopad míčku).
- Neelastická srážka: Analýza srážek objektů a výpočet ztráty kinetické energie.
- Zrychlení a pohyb: Měření zrychlení při různých typech pohybu.
- Analýza kmitů: Zkoumání frekvence a amplitudy kmitů různých objektů.

Kdo může Phyphox používat?

Phyphox je vhodný pro široké spektrum uživatelů.

- Studenti fyziky, ale i jiných přírodovědných oborů mohou pomocí aplikace snadno provádět experimenty přímo ve třídě nebo doma.

- Učitelé mohou aplikaci využít jako nástroj pro interaktivní výuku a předvádění experimentů, které jsou jinak obtížně proveditelné bez specializovaného vybavení.
- Každý, kdo má zájem o fyziku a vědu obecně, může s Phyphoxem objevovat a zkoumat svět kolem sebe.

Phyphox je vynikajícím nástrojem pro každého, kdo chce lépe porozumět fyzikálním jevům a experimentům. Díky snadné dostupnosti, flexibilitě a možnostem analýzy dat je Phyphox ideálním pomocníkem pro moderní výuku fyziky a pro vědecké nadšence. Stačí stáhnout aplikaci a začít zkoumat...

Jak stáhnout a nainstalovat aplikaci Phyphox

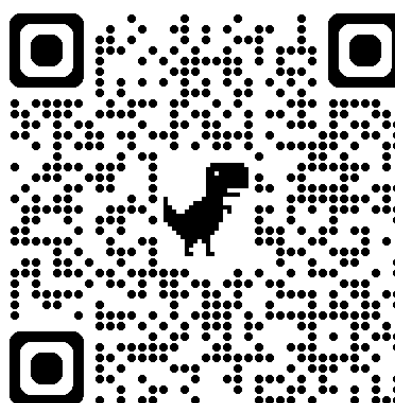
Aplikace Phyphox je dostupná zdarma na platformách **Google Play** pro zařízení s operačním systémem Android a na **App Store** pro zařízení s iOS. Instalace je jednoduchá – stačí vyhledat aplikaci pod názvem "**Phyphox**", stáhnout ji a následně nainstalovat do vašeho zařízení (popř. naskenovat QR kód z Obr. 1). Aplikace nevyžaduje složitou konfiguraci (kromě případné kalibrace senzorů, např. pro měření hluku), takže po instalaci je ihned připravena k použití. Uživatelé by se měli ujistit, že aplikace má povolené přístupy k senzorům, jako je akcelerometr, mikrofón a gyroskop (pro Android se dá nastavit dlouhým podržením ikony aplikace v menu, přejítím na „O aplikaci“ a přidáním oprávnění v části „Oprávnění“).

Aplikaci si můžete stáhnout nyní, buď použitím vlastních dat, nebo hotspotu.

Google Play



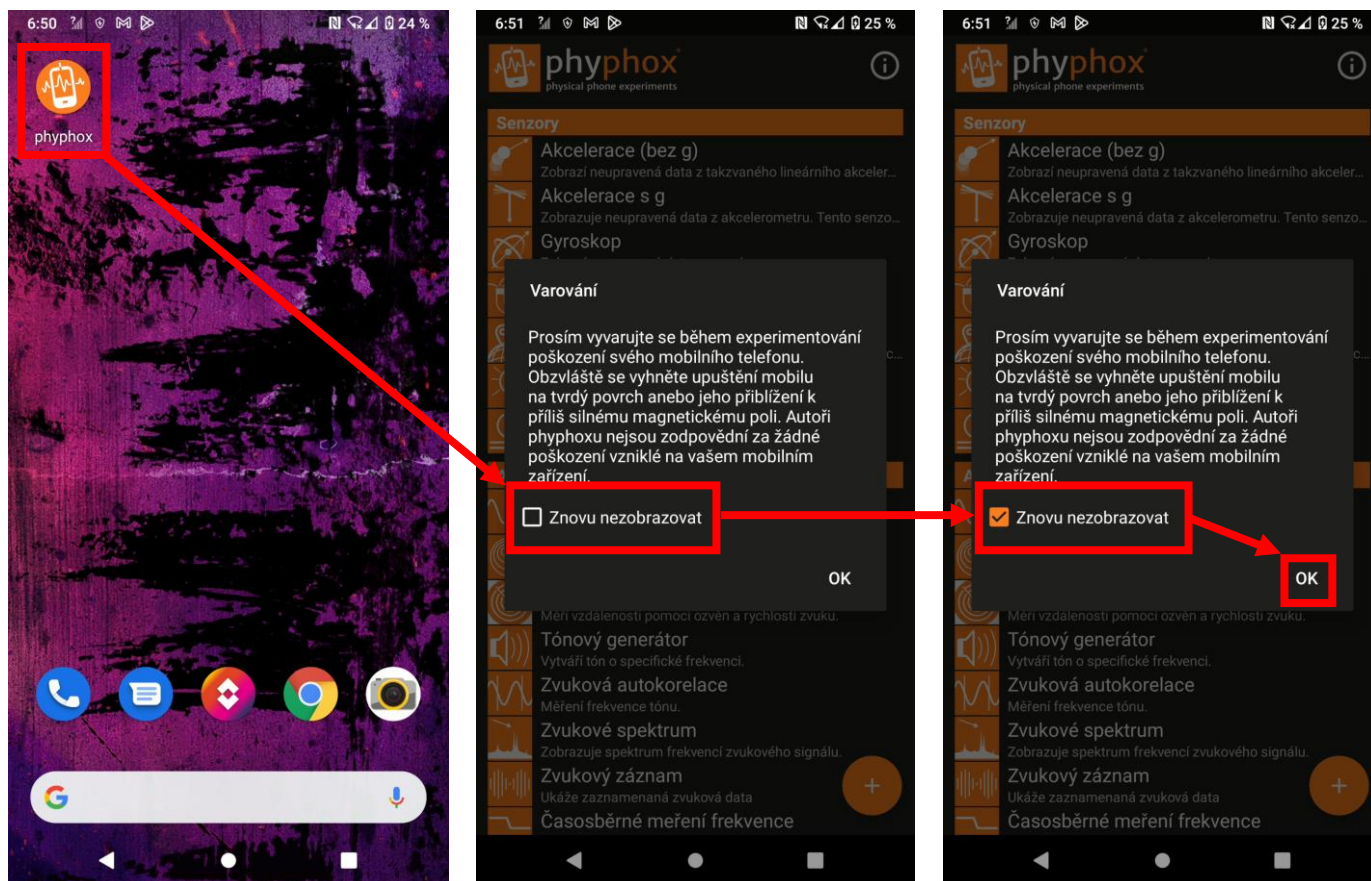
App Store



Obrázek 1. QR kódy pro stažení aplikace Phyphox (vlevo pro Google Play, vpravo pro App Store).

Seznámení se s rozhraním

Rozhraní aplikace Phyphox je navrženo tak, aby bylo uživatelsky přívětivé a intuitivní. Po spuštění aplikace (Obr. 2 vlevo) se uživatelům zobrazí nejprve vyskakovací okno s varováním ohledně možného poškození mobilního telefonu kvůli neopatrnému zacházení s ním při experimentování (Obr. 2 uprostřed). Toto varování budeme mít od této chvíle na zřeteli a můžeme proto zaškrtnout políčko „Znovu nezobrazovat“ (Obr. 2 vpravo) a pokračovat dále kliknutím na tlačítko OK. Nyní už se nám zobrazí seznam možných experimentů a senzorů rozdělených do kategorií – dle typu telefonu se mohou lišit (Obr. 3).

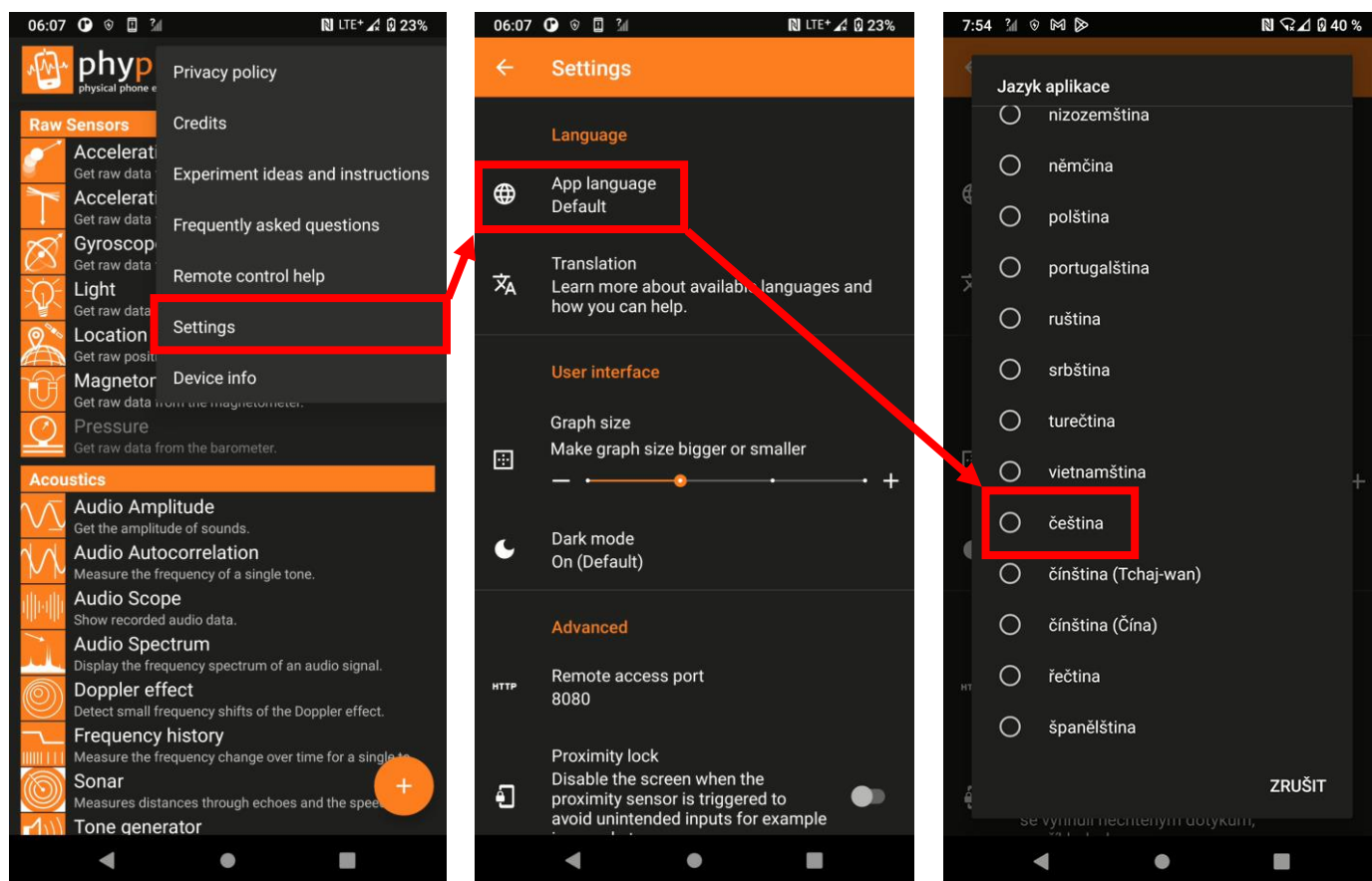


Obrázek 2. První spuštění aplikace Phyphox.



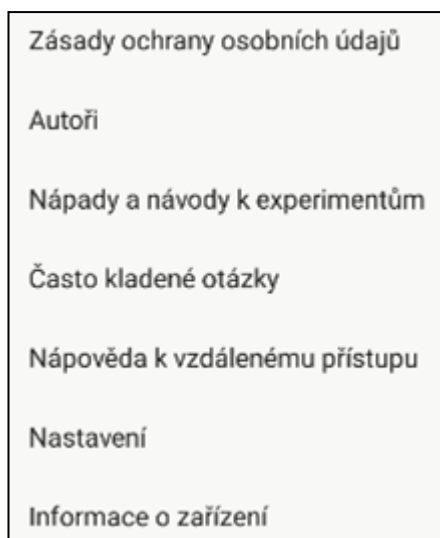
Obrázek 3. Uživatelské rozhraní a úvodní menu.

Pokud se Vám menu zobrazilo v angličtině, je možné v nastavení zvolit češtinu. Jak na to ukazuje Obr. 4. Klikněte na ikonku  v pravém horním rohu, dále na *Settings* → *App language* a vyberte češtinu (je schovaná níže, musíte scrollovat dolů).



Obrázek 4. Nastavení češtiny.

Všimněte si, že po kliknutí na ikonku  se Vám zobrazili i další možnosti, návody a nastavení (Obr. 5):



Obrázek 5. Nabídka po rozkliknutí informační ikonky.

Vás budou nejspíše nejvíce zajímat části „Nápady a návody k experimentům“, „Často kladené otázky“, „Nápověda k vzdálenému přístupu“ a „Nastavení“. Pro první tři možnosti musíte mít přístup k internetu, neboť vedou na odkazy phyphox.org/experiments/, phyphox.org/faq/ a phyphox.org/remote-control/. Tyto odkazy jsou v angličtině (popř. v němčině).

Pokud na stránkách budeme trochu pátrat, dopátráme se i české stopy. Můžeme zde totiž díky Karlu Havlíčkovi najít i krátký český návod

(phyphox.org/material/cs/tutorial%20phyphox.pdf)

a tři pracovní listy:

Využití barometru k měření výškových rozdílů a odhadu hustoty vzduchu (phyphox.org/material/cs/phyphox%20barometer.pdf)

Porovnání dat ze senzorů na různých zařízeních

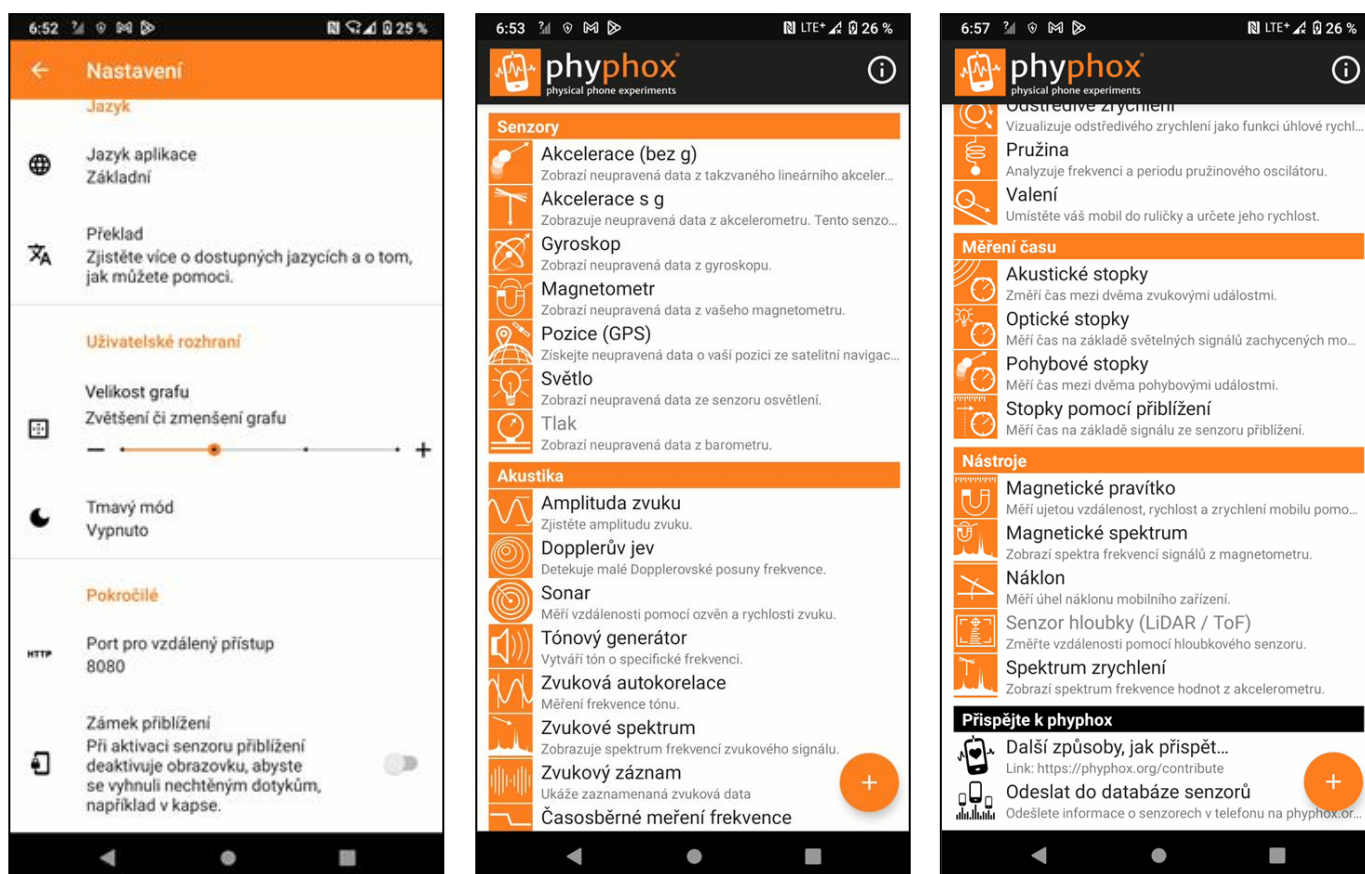
(phyphox.org/material/cs/phyphox%20sensors.pdf)

Měření rychlosti zvuku pomocí akustických stopek

(phyphox.org/material/cs/phyphox%20sound.pdf)

Sluší se také poděkovat Lukáši Hřebíčkovi, který přispěl k překladu aplikace do češtiny.

Pokračujme nyní dál v tom, co můžeme najít pod ikonkou . V části „Nastavení“ (Obr. 6 vlevo) si aplikaci můžeme přizpůsobit (pro ušetření toneru jsem si vypnul tmavý mód, Vy ovšem nemusíte – po přepnutí do světlého módu vypadá rozhraní jako na Obr. 6 uprostřed a vpravo):

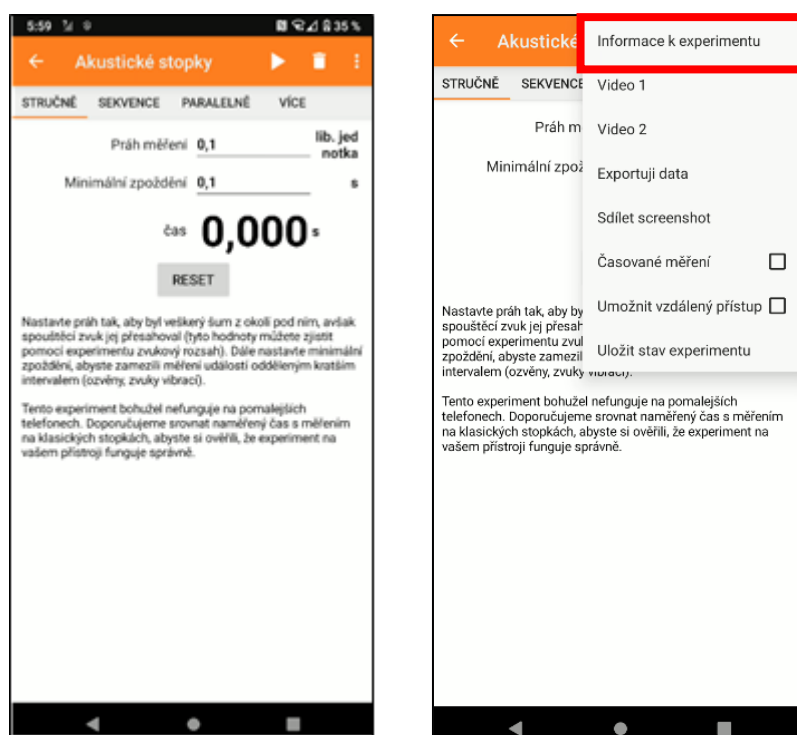


Obrázek 6. Možnosti nastavení (vlevo) a ukázka hlavního menu ve světlém motivu.

Pokud se podíváme na hlavní stránku, najdeme několik hlavních kategorií (Obr. 6 uprostřed a vpravo)

- Senzory
- Akustika
- Běžný život
- Každodenní život
- Mechanika
- Měření času
- Nástroje

V těchto kategoriích jsou obsaženy různé experimenty, které se mohou lišit v závislosti na typu telefonu. Po kliknutí na vybraný experiment se zobrazí hlavní stránka experimentu s možností spuštění měření, nastavení parametrů a zobrazení dat v reálném čase atd., např. pro experiment „Akustické stopky“ vypadá hlavní stránka experimentu jako na Obr. 7 vlevo.



Obrázek 7. Ukázka hlavního menu konkrétního experimentu (vlevo) a menu, které se rozbalí po kliknutí na nabídku „tři tečky“ (vpravo).

Navigace je jednoduchá a experimenty jsou vybaveny popisy, které zahrnují instrukce a základní informace o tom, jak experiment funguje (Obr. 7 vlevo). Kromě informací k experimentům nabízí nabídka „tři tečky“ (Obr. 7 vpravo) u většiny experimentů také video návody, a u všech experimentů pak možnost exportování dat (formáty Excel nebo csv, které si pošlete pomocí e-mailu, Bluetooth, Google disku apod.), sdílení screen shotu, načasování měření, vzdáleného přístupu a uložení dat do mobilu.

Zastavme se nyní u možnosti vzdáleného přístupu, což znamená, že experimenty lze ovládat z jiného zařízení (např. z počítače nebo tabletu), což je obzvláště užitečné při měření v situacích, kdy je přístup k telefonu omezený. Jak je napsáno výše, tuto možnost najdete v části nastavení (tři tečky v pravém horním rohu) každého experimentu. V něm kliknete na „Umožnit vzdálený přístup“, poté odsouhlasíte, že rozumíte bezpečnostním rizikům a přepíšete do prohlížeče na druhém zařízení jednu ze dvou URL adres, které se zobrazí v dolní

lišť. Důležité upozornění: Obě zařízení musí být připojena ke stejné Wi-Fi síti. Pokud by školní Wi-Fi nefungovala správně (popř. by neumožňovala přímé spojení dvou zařízení), je možné připojit zařízení přes mobilní hotspot.

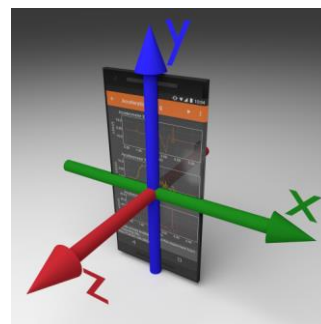
Výsledky experimentu je možné uložit do samotné aplikace, a to tak, že po rozkliknutí tří teček zvolíte možnost „Uložit stav experimentu“. Poté už můžete upravit název souboru, který si vytvoříte a kliknutím na tlačítko „Uložit do sbírky“ data uložit. Pokud takto uložíte svá měření, objeví se na úvodní obrazovce v kategorii „Uložené experimenty“ a budou označena modrou barvou. Nicméně pokud si uložíte více experimentů, zpomalíte tím zapínání aplikace. Tudíž je vhodná spíše další možnost – data můžete sdílet s dalšími aplikacemi anebo si je poslat např. e-mailem.

Další možnosti a funkcionalita

Jednou z největších výhod aplikace je její **open-source povaha**, což umožňuje vývojářům i vědecké komunitě přispívat a rozšiřovat funkce aplikace. Učitelé a vědečtí pracovníci mohou využít této vlastnosti k vytvoření vlastních experimentů nebo přizpůsobení stávajících experimentů podle potřeb výuky. Phyphox je dále možné propojit i s Arduinem. Tvorbou vlastních experimentů, ani propojení s Arduinem se v tomto materiálu věnovat nebudeme, neboť se jedná o pokročilejší metody.

Souřadnicový systém

Pro některé pokusy je důležité vědět, jaký souřadnicový systém máme zvolený. V aplikaci Phyphox je osa z kolmá na obrazovku a směřuje ven z ní (Obr. 8). Osa x směřuje doprava, když držíte zařízení v jeho výchozí poloze. U telefonů to znamená, že osa x směřuje doprava při pohledu na obrazovku v portrétní (vertikální) orientaci. Osa y směřuje vzhůru podél delší strany telefonu. U některých větších tabletů však může být výchozí orientace na šířku (horizontální), v takovém případě osa x směřuje podél delší strany zařízení.



Obrázek 8. Souřadnicový systém (phyphox.org/sensors/).

Možnosti použití ve třídě (a mimo ni)

Při výuce je možné Phyphox využít několika způsoby:

- Použití přímo ve třídě při demonstračním pokusu, který předvádí učitel (např. měření gravitační konstanty nebo frekvence zvuku v odměrném válci, viz níže)
- Použití ve třídě, kdy pokusy dělají sami studenti (např. měření rychlosti zvuku nebo odstředivého zrychlení, viz níže)
- Pokusy, které učitel zadá studentům na doma (např. kyvadlo, viz níže)

Pojďme se teď detailněji podívat na některé experimenty a tím Phyphox lépe prozkoumat.

Pokusy s aplikací Phyphox

Rychlost zvuku ve vzduchu¹

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (10 minut pokus, 10 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Mikrofon (funkce Akustické stopky)

Kategorie: Akustika

Potřeby: alespoň dva mobilní telefony s nainstalovanou aplikací Phyphox, metr (pásmo)

Cíl experimentu: pomocí aplikace Phyphox experimentálně změřit rychlost zvuku a ověřit výsledek s tabulkovou hodnotou

Teorie

Ve vzduchu se zvuk šíří od zdroje volně všemi směry dle Huygensova principu. Je-li zdroj zvuku malý, mají vlnoplochy tvar koule, je-li zdroj zvuku například rozměrná deska, jsou vlnoplochy rovinné. Za rovinné plochy považujeme i plochy od zdroje vzdálené, kdy je poloměr „koule“ tak velký, že její výseč můžeme pokládat za rovinnou plochu. Zvuk se šíří ve hmotném prostředí, při teplotě 20 °C a tlaku 1 atm je rychlost zvuku ve vzduchu 343 m/s. Rychlost zvuku můžeme získat např. ze vzorce $v = st$, a to pokud dokážeme změřit čas, za který zvuk urazil určitou vzdálenost.

Postup

Umístíme telefon (popř. telefony – čím více telefonů, tím více dat, se kterými můžeme pracovat, viz zpracování dat níže) na stůl a odměříme si určitou vzdálenost (ideálně 5 metrů – se vzdáleností můžeme experimentovat). Do této vzdálenosti umístíme druhý telefon/y. Na aplikaci Phyphox (Obr. 9) spustíme funkci „Akustické stopky“, přejdeme do záložky „Stručně“ a stopky spustíme pomocí tlačítka „Play“ v horní levé části. Pokud se nám stopky samy od sebe spouští, musíme zvýšit „Práh měření“. Dále nastavíme „Minimální zpoždění“ na cca 5 s. To děláme z důvodu, aby se nám stopky nezapínaly/nevypínali kvůli odrazům zvuku od stěn. Pokud bychom pokus prováděli na volném prostranství, tato hodnota může být nižší. K telefonům se postaví žáci. Budeme postupovat podle schématu na Obr. 10. Žák u prvního telefonu tleskne, tím pádem spustí stopky, které jsou mu blíže. Jakmile zvuk dorazí k druhému telefonu, stopky se spustí i na něm. Druhý žák u druhého telefonu po domluvené chvilce (5 s, ale může být kratší/delší) tleskne, čímž zastaví stopky, které jsou mu blíže. Jakmile zvuk dorazí k prvnímu telefonu, stopky se zastaví i na něm.

Zpracování dat

Pokud jsme použili více telefonů, můžeme data z jednotlivých stanovišť průměrovat, popř. odstranit hodnoty, které se očividně liší od ostatních (odlehle hodnoty). Časový údaj na druhých stopkách odečteme od času na prvních stopkách. Tím získáme čas, za který zvuková vlna urazila dvakrát vzdálenost mezi telefony (pro náš případ $2 \times 5 \text{ m} = 10 \text{ m}$). Po výpočtu zjistíme rychlost zvuku neboli

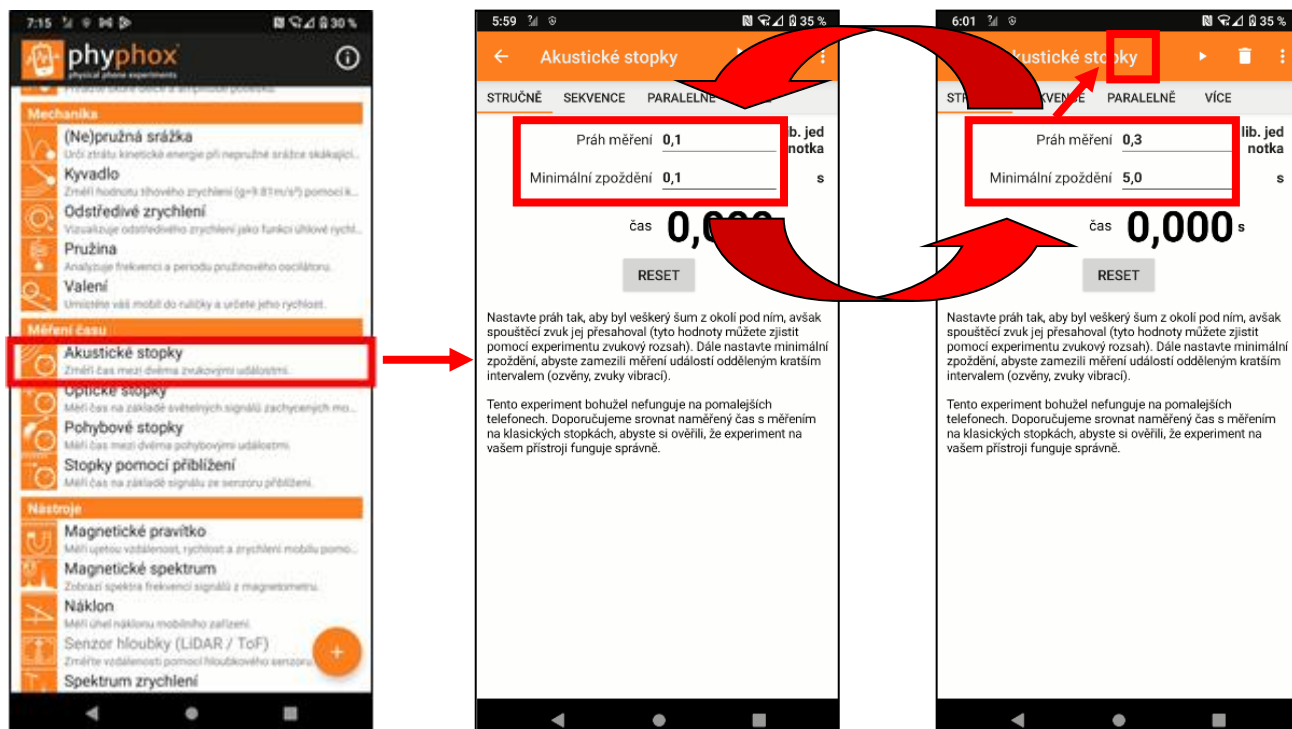
$$v = \frac{2s}{\Delta t}$$

kde s je vzdálenost mezi telefony.

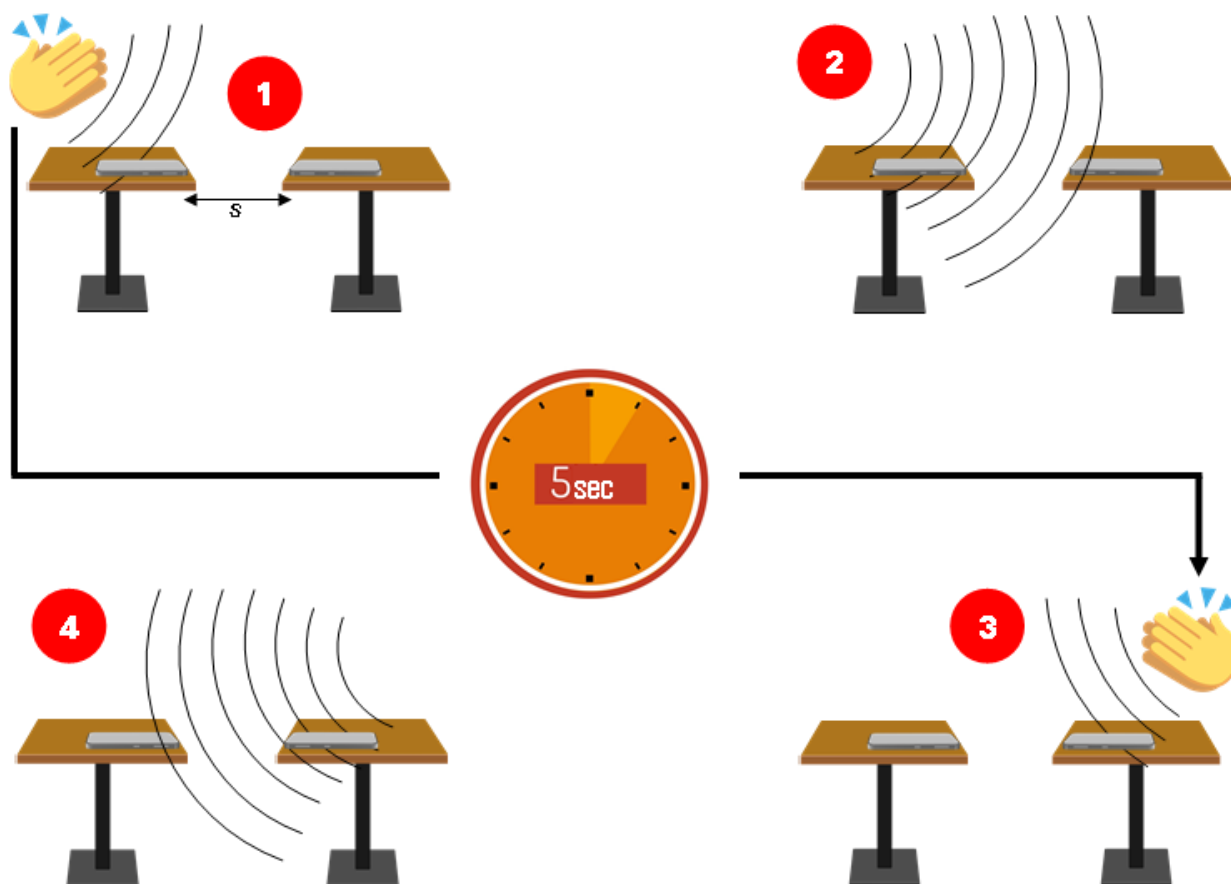
Poznámky

Co můžeme diskutovat s žáky: Ve vakuu se vzduch nešíří (vesmírné bitvy ve filmech – zvuk se nemá čím šířit), proč se zvuk šíří rychleji ve vodě, echolokace.

¹ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=uoUm34CnHdE>, <https://www.youtube.com/watch?v=-XSTRqhJ6MQ&t=0s>



Obrázek 9. Nastavení v aplikaci Phyphox.



Obrázek 10. Schéma experimentu.

Gravitační konstanta²

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 25 minut (15 minut měření, 10 minut zpracování)

Použité senzory: Mikrofon (funkce Akustické stopky)

Kategorie: Akustika, dynamika

Potřeby: chytrý telefon s nainstalovanou aplikací Phyphox, nafukovací balónek, kovové závaží, stojan, metr, kovová podložka, obruč, jehla (trpělivost při prvních pokusech)

Cíl experimentu: Zjistit pomocí jednoduchého pokusu s volným pádem, jaká je hodnota tíhového zrychlení

Motivace: <https://www.youtube.com/watch?v=AcWzZVhw4HU> (Pupendo)

Teorie

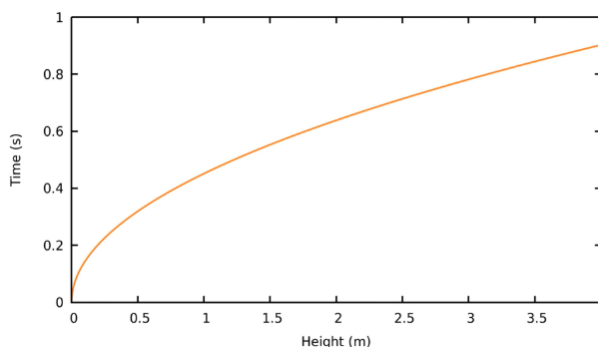
Díky působení tíhové síly se těleso pohybuje volným pádem s tíhovým zrychlením (g). Účinky tíhové síly se projevují v tíhovém poli Země (vytvořené gravitační a odstředivou silou, která vzniká v důsledku rotace Země). Tíhová síla nemá na všech místech na Zemi stejnou velikost, protože se mění s velikostí síly odstředivé a se zeměpisnou šířkou (nejmenší na rovníku a největší na pólech) a s nadm. výškou (https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C3%ADhov%C3%A9_zrychlen%C3%AD#T%C3%ADhov%C3%A9_zrychlen%C3%AD_na_Zemi), přičemž při hladině moře na zeměpisné šířce 45° je g přibližně rovno 9,81 m/s².

Postup

Budeme postupovat podle schématu na Obr. 12. Nafoukneme balonek a přiděláme na něj závaží. Vložíme ho do obruče, která je přidělaná na stojánek. Změříme výšku závaží nad podlahou. Nyní otevřeme aplikaci Phyphox (Obr. 13), kde spustíme funkci „Akustické stopky“, přejdeme do záložky „Stručně“ a stopky spustíme pomocí tlačítka „Play“ v horní levé části. Pokud se nám stopky samy od sebe spouští, musíme zvýšit „Práh měření“. Dále nastavíme „Minimální zpoždění“, a to podle výšky balonku (zde pracujeme podle zkušeností, popř. si musíme rychle spočítat, jak dlouho by měl pád trvat a hodnotu nastavit těsně pod ním). To děláme z důvodu, aby se nám stopky nezapínaly/nevypínali kvůli odrazům zvuku od stěn. Mobilní telefon položíme poblíž stojanu s balonkem a závažím (ne pod závaží). Praskneme balónek pomocí jehly, díky čemuž se spustí akustické stopky v aplikaci Phyphox. Závaží při dopadu na zem (kovovou podložku) vytvoří zvuk, díky čemuž se akustické stopky zastaví. Nyní můžeme buď vypočítat hodnotu g ze vzorce

$$g = 2h / t^2$$

nebo můžeme pokus opakovat pro několik výšek a vytvořit graf závislosti doby pádu na výšce (Obr. 11).

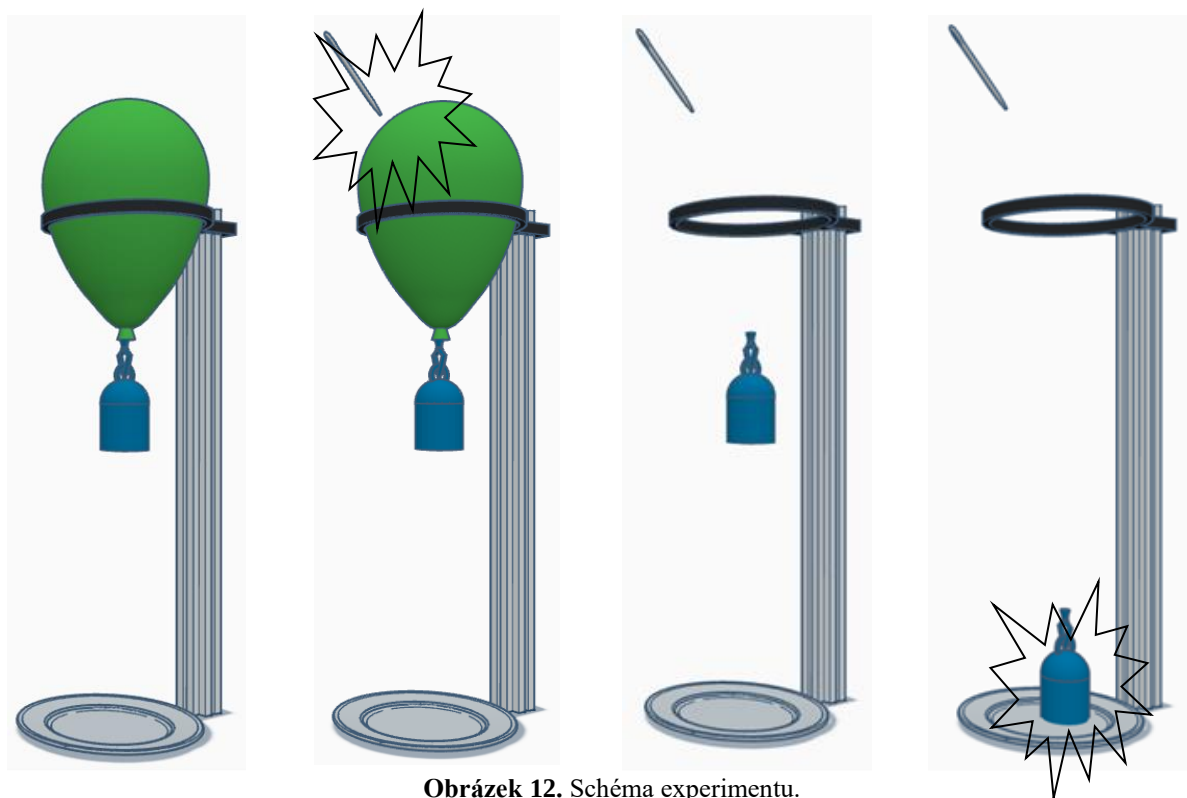


Obrázek 11. Závislost doby pádu na výšce.

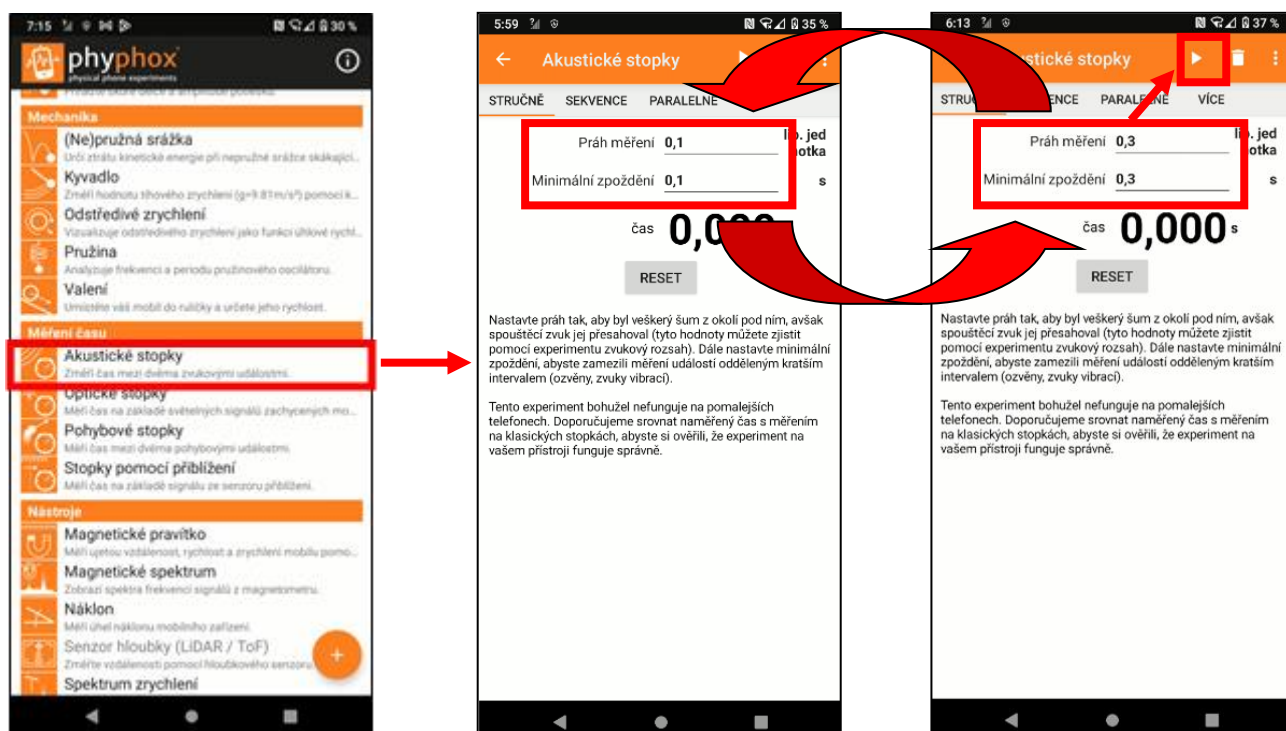
² Demonstrační videa (v angličtině a němčině): https://www.youtube.com/watch?v=zRGh9_a1J7s, <https://www.youtube.com/watch?v=fm1QcDtdRX8>

Poznámky

Je třeba dostatečně těžké závaží, aby prasknutí balonku nezměnilo směr pádu. Balonek je třeba nafukovat na co nejmenší velikost, ale tak, aby se udržel v obruči. Je nutné, aby byl ve třídě klid a správně nastavit hladinu hluku. Podle výšky nastavit minimální zpoždění, aby stopky nechytaly ozvěnu. Pro přesnější výsledky měřit na několika mobilech a udělat průměr. Pokud máme drahou podlahu, je nutná podložka.



Obrázek 12. Schéma experimentu.



Obrázek 13. Nastavení v aplikaci Phyphox.

Frekvence zvuku v odměrném válci³

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 15 minut (5 minut měření, 10 minut zpracování)

Použité senzory: Mikrofon

Kategorie: Akustika

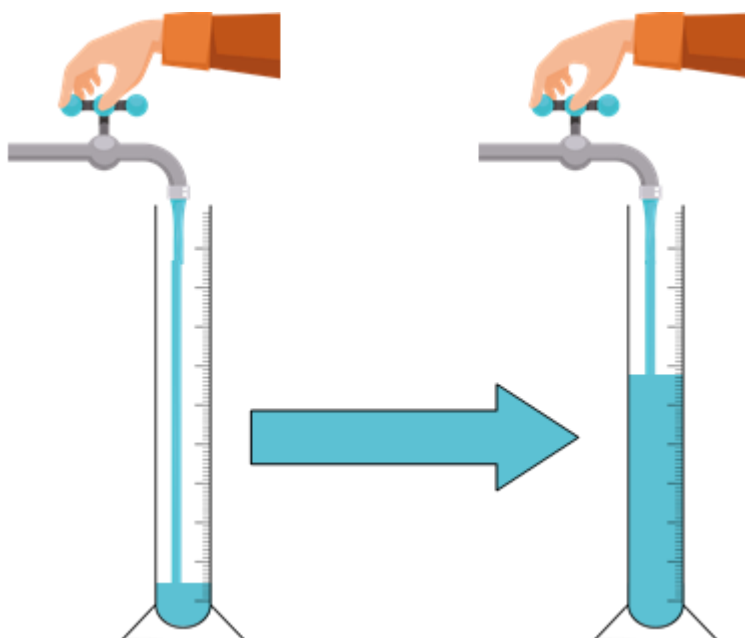
Potřeby: Odměrný válec (např. 100 ml), nebo jiná nádoba s válcovitým, úzkým tvarem; mobilní telefon s aplikací Phyphox, vodovodní kohoutek, popř konvice na vodu

Cíl experimentu: Cílem tohoto experimentu je demonstrovat rezonanci v uzavřené trubici (sklenici) a analyzovat, jak se frekvence zvuku mění s výškou vodního sloupce ve sklenici.

Postup

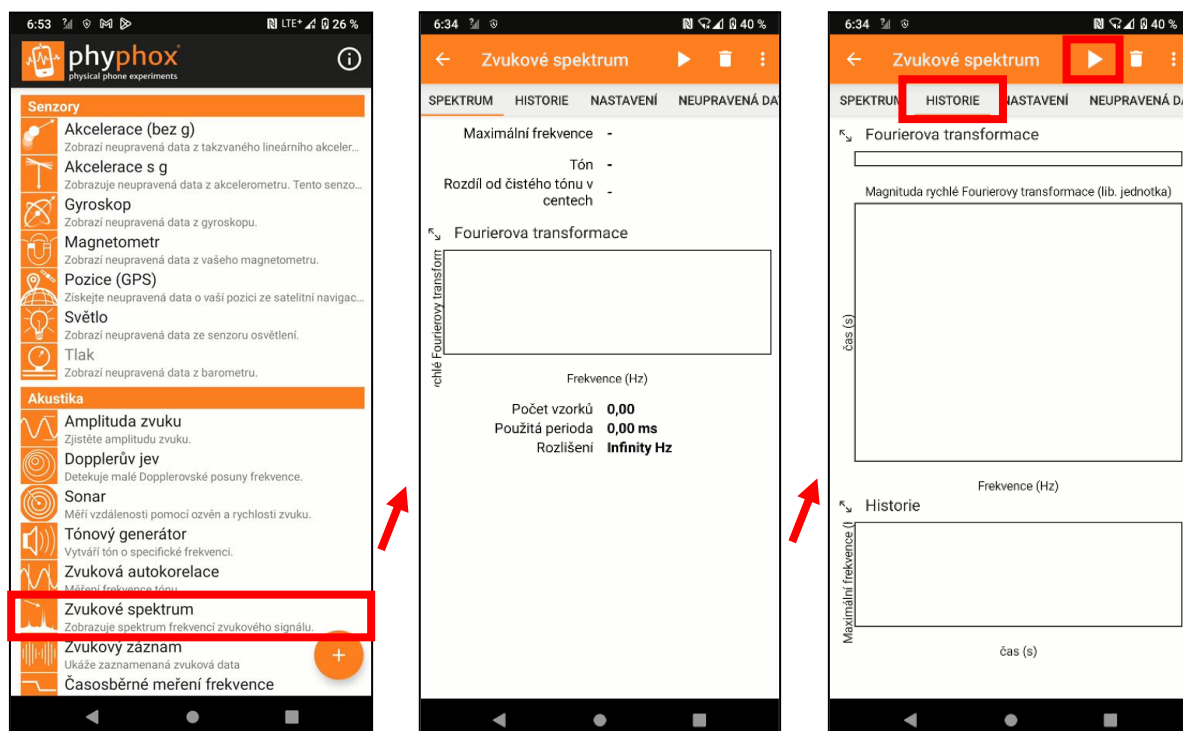
Odměrný válec dejte pod vodovodní kohoutek (popř. ho postavte na stůl, pokud nemáte vodovodní kohoutek dostatečně vysoko). Otevřete aplikaci Phyphox (Obr. 15) a v ní vyberte pokus s názvem „Zvukové spektrum“. Umístěte mikrofon telefonu do blízkosti hrdla odměrného válce tak, aby zachytil zvuky co nejlépe, s minimem rušivých vlivů z okolí. Přejděte na záložku „Historie“. V té se nám zobrazuje časový vývoj spekter. Zapněte nahrávání pomocí tlačítka „Play“ v horním pravém rohu.

Pusťte tenký proud vody a konstantně ji přilévejte do sklenice (Obr. 14). Pokud máte moc nízký kohoutek a používáte konvici, je to složitější, protože kohoutkem si můžete nastavit konstantní tok vody. Pokud používáte na přilévání konvici, musíte se o konstantní tok co nejvíce snažit. Aplikace by měla zobrazit frekvenční spektra v závislosti na čase (Obr. 16). Sledujte nejvýraznější frekvenci (rezonanční frekvenci) a jak se mění s časem (neboli s výškou hladiny vody).



Obrázek 14. Schéma experimentu.

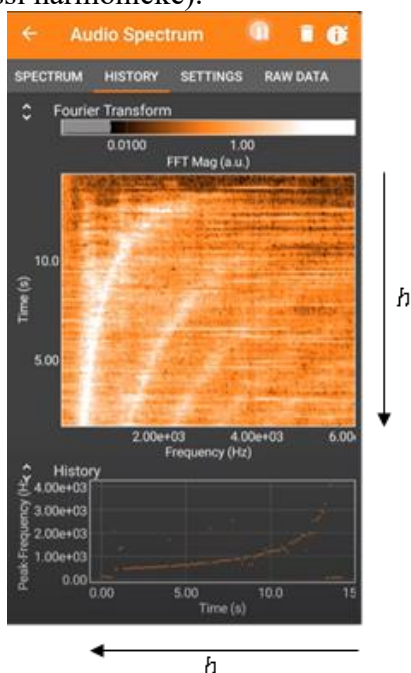
³ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): youtube.com/watch?v=M-FRbteXmyk, youtube.com/watch?v=cWG-noA3d_E, youtube.com/watch?v=nPqsH1LXYVA, youtube.com/watch?v=c_4-06seQvg



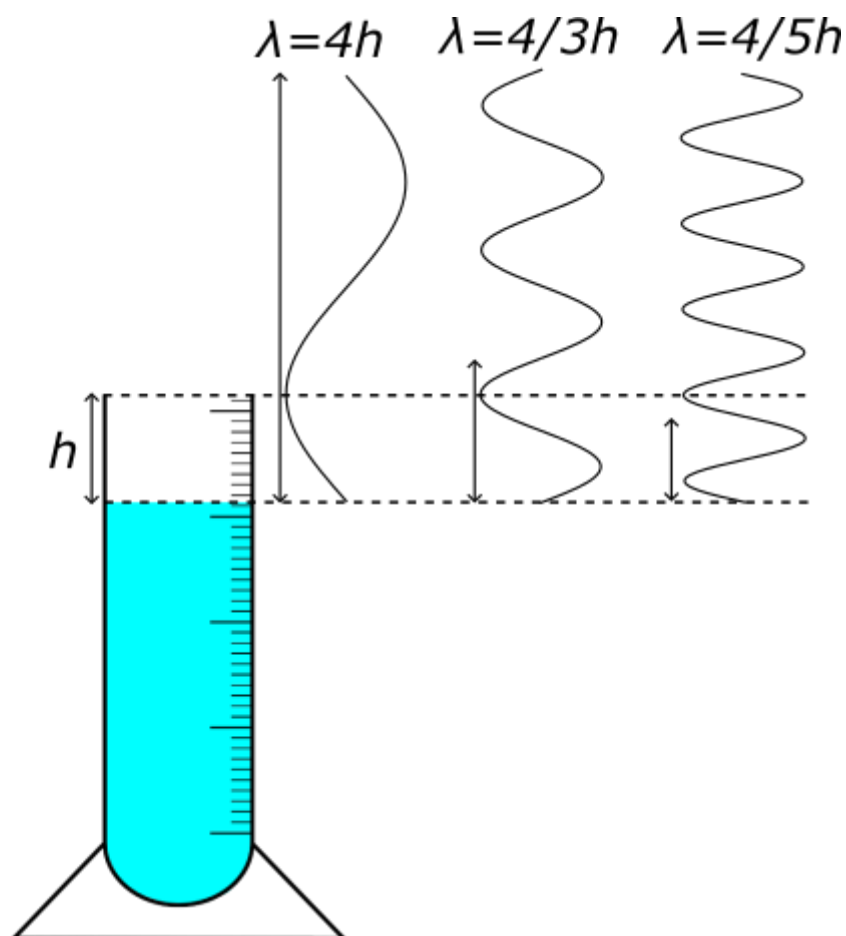
Obrázek 15. Nastavení v aplikaci Phyphox.

Vysvětlení fyzikálních principů

Rezonanční frekvence se mění podle toho, jak se mění výška vzduchového sloupce nad vodou. V trubici s jedním uzavřeným koncem (jako je naše sklenice s vodou) se na uzavřeném konci (u hladiny vody) tvoří uzel (minimální amplituda) a na otevřeném konci kmitna (maximální amplituda). Tudíž nejdelší vlna má vlnovou délku čtyřikrát větší, než je výška vzduchového sloupce nad hladinou vody, druhá nejdelší vlnová délka je $4/3$ výšky vzduchového sloupce nad hladinou vody atd., viz Obr. 17. Protože frekvenci můžeme vypočítat jako $f = c / \lambda$ (kde c je rychlost zvuku a λ je vlnová délka), máme pro různé vlnové délky různé frekvence. To nám vysvětluje, proč na 2D grafu vidíme několik hlavních frekvencí (jedná se o tzv. vyšší harmonické).



Obrázek 16. Výsledný graf.



Obrázek 17. Vlnová délka v závislosti na výšce h .

Proč se ale frekvence s časem mění? Jak jsme již psali, frekvenci můžeme vypočítat jako

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

kde c je rychlost zvuku a λ je vlnová délka. Výška sloupce nám ale ovlivňuje délku vlny, jak je vidět z Obr. 17. Pokud dosadíme za tyto vlnové délky do předchozího vzorce, dostaneme

$$f_0 = \frac{c}{4h}$$

$$f_1 = \frac{3c}{4h}$$

$$f_2 = \frac{5c}{4h}$$

$$f_{\text{obecně}} = \frac{Nc}{4h}$$

Jak výška vzduchového sloupce s časem klesá, stoupá nám frekvence zvuku.

Poznámky

Jaké další aplikace má rezonance v reálném životě (hudební nástroje, akustika místností)?

Kyvadlo⁴

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (10 minut měření, 10 minut zpracování)

Použité senzory: Akcelerometr

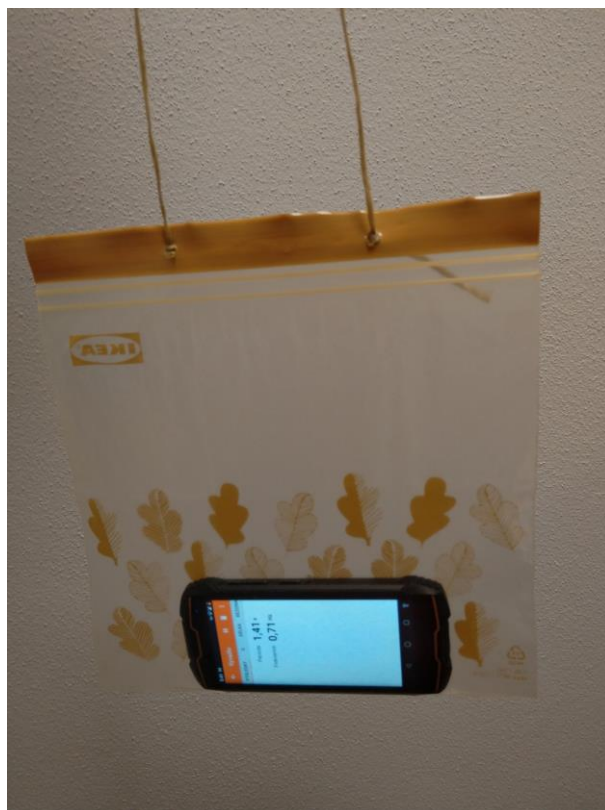
Kategorie: Mechanika

Potřeby: chytrý telefon s aplikací Phyphox, provázek nebo tenká šňůra, páska nebo gumičky pro zajištění telefonu, papírová trubice pro konstrukci stabilního kyvadla (volitelné), nůžky a děrovačka (pro úpravu papírové trubice), místo papírové trubice lze použít ziplový sáček

Cíl experimentu: Cílem tohoto experimentu je demonstrovat základní vlastnosti oscilací pomocí jednoduchého kyvadla. Učitelé mohou studentům ukázat, jak lze pomocí aplikace Phyphox měřit úhlovou frekvenci kyvadla a ověřit vztah mezi délkou kyvadla a periodou oscilace.

Postup

Připevněte provázek k telefonu tak, aby zavěšený telefon mohl volně oscilovat. Telefon pevně zajistěte páskou nebo gumičkou, aby nedošlo k jeho pádu (!na možnost pádu a nutnost dobrého zajištění telefonu upozorněte i studenty!). Pro větší stabilitu můžete použít papírovou trubici jako rám: zploštěte ji, vytvořte otvory na čtyřech okrajích a provázek protáhněte těmito otvory, čímž vytvoříte závěsný bod (Obr. 18 vlevo). Druhou možností je uzavřít mobilní telefon do uzavíratelného igelitového sáčku a zavěsit na dva provázky (Obr. 18 vpravo). Těmito způsoby zabráníte rotaci mobilního telefonu kolem osy vymezené provázkem a zpřesníte tak měření.



Obrázek 18. Možnosti zavěšení mobilního telefonu.

⁴ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=xY3NFcDG3ZU>, https://www.youtube.com/watch?v=q3_m1JW1ttQ

Otevřete aplikaci Phypox a zvolte experiment "Kyvadlo". Máte několik možností, co můžete měřit, podle toho, jakou záložku zvolíte:

- a) VÝSLEDKY – zobrazí periodu a frekvenci
- b) G – po zadání délky kyvadla umožňuje měřit tíhové zrychlení podle vzorce

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2},$$

který je možné získat z

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

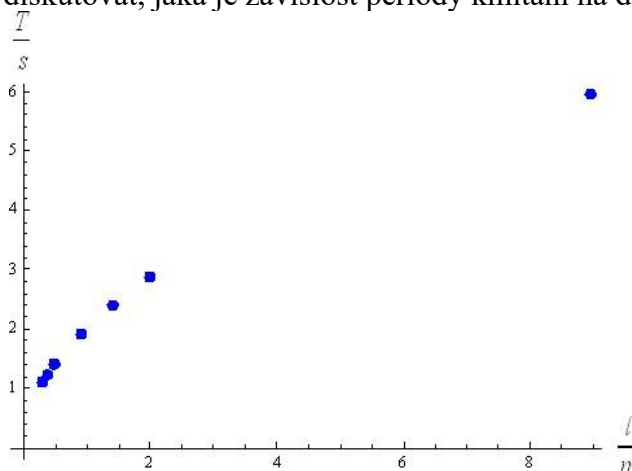
- c) DÉLKA – zde naopak měříme délku kyvadla za předpokladu, že $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- d) REZONANCE – graf amplitudy v závislosti na zjištěné frekvenci, což umožňuje měřit rezonanci buzeného oscilátoru
- e) AUTOKORELACE – slouží k získání periody kmitů, které je získána autokorelací součtu všech složek zrychlení.
- f) NEUPRAVENÁ DATA – zobrazuje neupravená data z gyroskopů pro osu x, y a z

Vyzkoušíme si třetí z těchto možností. V aplikaci přejděte na záložku „DÉLKA“ a pomocí tří teček v prvním horním rohu vyberte funkci "Časované měření". Nastavte zpoždění spuštění na 3 sekundy a dobu trvání měření na 10 sekund. V praxi tedy experiment spustíte, rozhoupete kyvadlo, experiment se po třech sekundách od zapnutí spustí, deset sekund měří a pak se automaticky vypne. Dejte si pozor na to, aby oscilace pokryly celou dobu měření a ujistěte se, že telefon je během experimentu bezpečně zajištěn a nehrozí jeho pád. Aplikace vypočítá délku provázku a zobrazí frekvenci kyvadla pomocí vztahu

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

Poznámky

Před tím, než ukážete žákům vzorec, který udává závislost periody kyvadla na jeho délce, můžete jim dát úkol na doma, ve kterém si sestaví své vlastní kyvadlo, u kterého změří jeho délku a periodu kmitání. Ve škole pak dáte dohromady výsledky všech studentů a zanesete je do grafu. Můžete pak diskutovat, jaká je závislost periody kmitání na délce (Obr. 19).



Obrázek 19. závislosti periody kmitání matematického kyvadla na délce jeho závěsu (reichl.com/fyzika/studenti/09m/02_tihove_zrychleni/img00028.htm)

Studenti mohou pomocí experimentu také určit hodnotu g po změření délky kyvadla a jeho periody a porovnat ji např. s hodnotou, kterou získají pomocí experimentu s akustickými stopkami, který je popsán výše.

Diskuse a otázky:

- Jaké faktory mohou ovlivnit přesnost experimentu?
- Jaké aplikace má kyvadlo v reálném životě (např. hodiny, měření času)?

Tlumený oscilátor⁵

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (10 minut měření, 10 minut zpracování)

Použité senzory: Akcelerometr

Kategorie: Mechanika

Potřeby: chytrý telefon s aplikací Phyphox, pružina, nádoba s vodou, závaží, držák na mobil (možné vyrobit), provázek, gumička, stojan, ziplokový sáček, notebook

Cíl experimentu: Naměření tlumených kmitů a jejich porovnání s netlumenými kmity

Teorie

Tlumené kmity jsou typem oscilací, při kterých amplituda kmitání postupně klesá vlivem odporových sil, například tření nebo odporu prostředí. Tento proces nastává, protože část energie oscilujícího systému se přeměňuje na jiný druh energie, obvykle na teplo. V reálném světě se tlumené kmity vyskytují například u automobilových tlumičů, hodinového kyvadla nebo konstrukcí vystavených vibracím.

Postup

Na rozdíl od experimentu „Kyvadlo“ na předchozích stranách, vyžaduje experiment „Tlumený oscilátor“ pružinu. Není proto většinou technicky možné, aby si ho žáci vyzkoušeli sami (doma) – školy tolika pružinami nejspíš nedisponují. Jde tedy spíše o demonstrační experiment. Zároveň je třeba i trochu odvahy, neboť náš mobilní telefon bude viset nad nádrží s vodou. Pokus sestavíme následovně (viz Obr. 20): telefon připevníme k pružině, která je zavěšena na stabilní konstrukci. Jako držák telefonu můžeme použít držák z papírové trubky nebo plastového sáčku, popř. si vyrobit vlastní dle fantazie. Telefon by měl být v každém případě pevně uchycen, aby zůstal v držáku stabilní při pohybu nahoru a dolů. Pod mobilní telefon zavěsíme závaží (jaké závaží použijeme, závisí na tuhosti pružiny), které ponoříme do vody v nádrži umístěné pod mobilním telefonem. Tímto způsobem budeme simulovat silnější tlumení.

Telefon lze použít samostatně, avšak pohodlnější je ovládání pomocí jiného zařízení (například notebooku nebo tabletu) přes vzdálené rozhraní. To nastavíme podle návodu v úvodním textu, ale až po výběru experimentu – „Akcelerace bez g“ (popř. „Pružina“) (Obr. 21).

Zpracování

Data zaznamenaná akcelerometrem se zobrazují v grafech aplikace Phyphox. Pro pružinový oscilátor bez tlumení lze analyzovat frekvenci a periodu oscilací, a to buď na základě výpočtu, nebo výpočet můžeme přenechat na mobilním telefonu (tato možnost je přístupná v experimentu „Pružina“, pod záložkou „Výsledky“). U tlumeného oscilátoru je patrné postupné snižování amplitudy pohybu vlivem odporu vody.



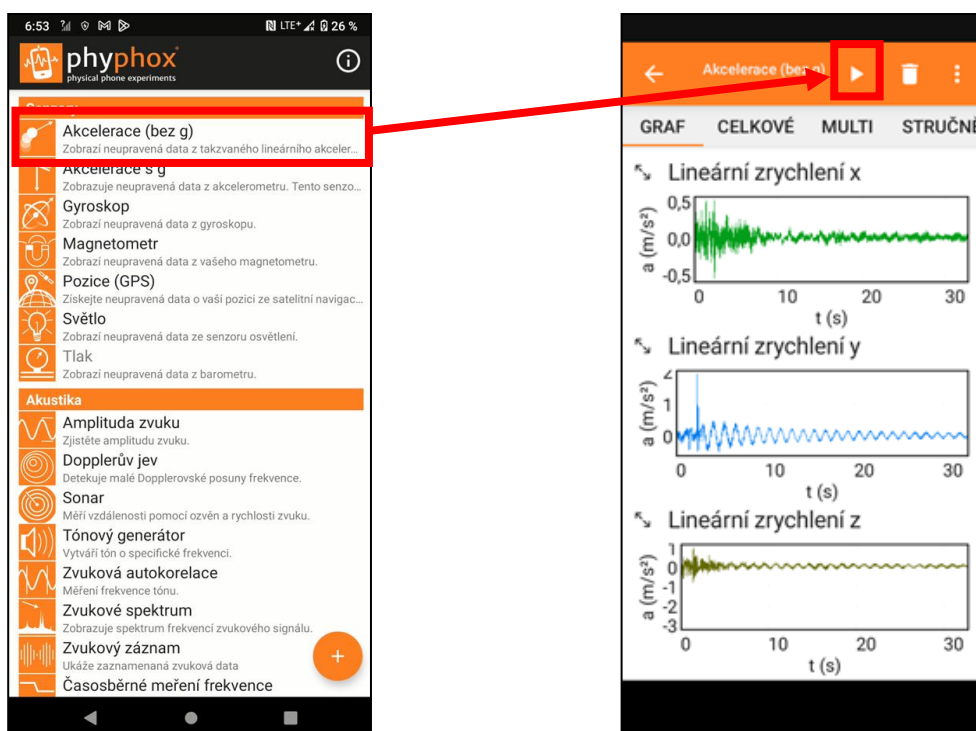
Obrázek 20. Uspořádání pokusu.

⁵ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=VbL4IInVAO4>, https://www.youtube.com/watch?v=IJ_x9GJ3UPw

Poznámky

Pokud pokus trochu upravíme, můžeme měřit i rezonanční křivku pružiny (viz reference 5). U takto buzeného oscilátoru je pružina připojena k motoru, který periodicky pohybuje oscilátorem nahoru a dolů, což umožňuje zkoumání rezonance při různých frekvencích. V případě buzeného oscilátoru lze pozorovat rezonanci, kdy amplituda pohybu výrazně narůstá při specifické frekvenci motoru. V aplikaci Phyphox toto měření provádíme v experimentu „Pružina“ v záložce „Rezonance“.

Při experimentu je důležité zajistit pevné uchycení telefonu, zejména u rezonance, kde může docházet k silným vibracím a vysokým amplitudám. Pokud zařízení není dostatečně zajištěné, hrozí jeho poškození. U tlumeného oscilátoru by telefon neměl přijít do styku s vodou. Výsledky lze využít pro diskusi o reálných aplikacích harmonického pohybu, například při studiu tlumení u automobilových tlumičů nebo rezonance v konstrukcích.



Obrázek 21. Nastavení v aplikaci Phyphox.

Odstředivé zrychlení⁶

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 30 minut (20 minut měření, 10 minut zpracování)

Použité senzory: Akcelerometr (bez g), gyroskop

Kategorie: Mechanika

Potřeby: Mobilní telefon s aplikací Phyphox, zařízení pro rotaci telefonu (např. sušička salátu, otáčecí židle apod.), měkký materiál (např. látka) pro ochranu telefonu, doporučené: druhé zařízení (počítač, tablet) pro vzdálené ovládání experimentu

Cíl experimentu: Ukázat vztah mezi odstředivým zrychlením a a úhlovou rychlostí ω . Při konstantním poloměru r je možné ověřit kvadratický vztah $a = \omega^2 r$.

Teorie

Odstředivé zrychlení a je přímo úměrné druhé mocnině úhlové rychlosti ω a poloměru rotace r podle vztahu

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = 4\pi^2 f^2 r = \omega^2 r$$

Aplikace Phyphox automaticky počítá celkové zrychlení pomocí podle vzorce

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

kde a_x , a_y , a a_z jsou hodnoty zrychlení z jednotlivých akcelerometrů v mobilním telefonu (v osách x , y a z). Úhlová rychlost je pak měřena pomocí gyroskopu. Závislost těchto dvou veličin aplikace zobrazuje ve dvou grafech, detaily viz níže.

Postup

Nejprve připravte telefon s nainstalovanou aplikací Phyphox a otevřete experiment „Odstředivé zrychlení“ (Obr. 22). Telefon umístěte do rotujícího zařízení, například sušičky salátu, a obložte ho měkkým materiálem pro ochranu a fixaci – je velmi důležité zajistit konstantní poloměr rotace (Obr. 23). Pohodlné je také použití funkce „Vzdálený přístup“, neboť mobilní telefon je uzavřen v nádobě a nemáme k němu přístup (nicméně je možné experiment provést i bez použití této funkce). Tuto funkci najdeme po kliknutí na tři tečky v pravém horním rohu stránky experimentu a poté postupujeme dle pokynů uvedených v úvodu studijního textu, popř. podle obrázků níže (Obr. 22). Je důležité se ujistit, že obě zařízení jsou na stejné Wi-Fi síti.

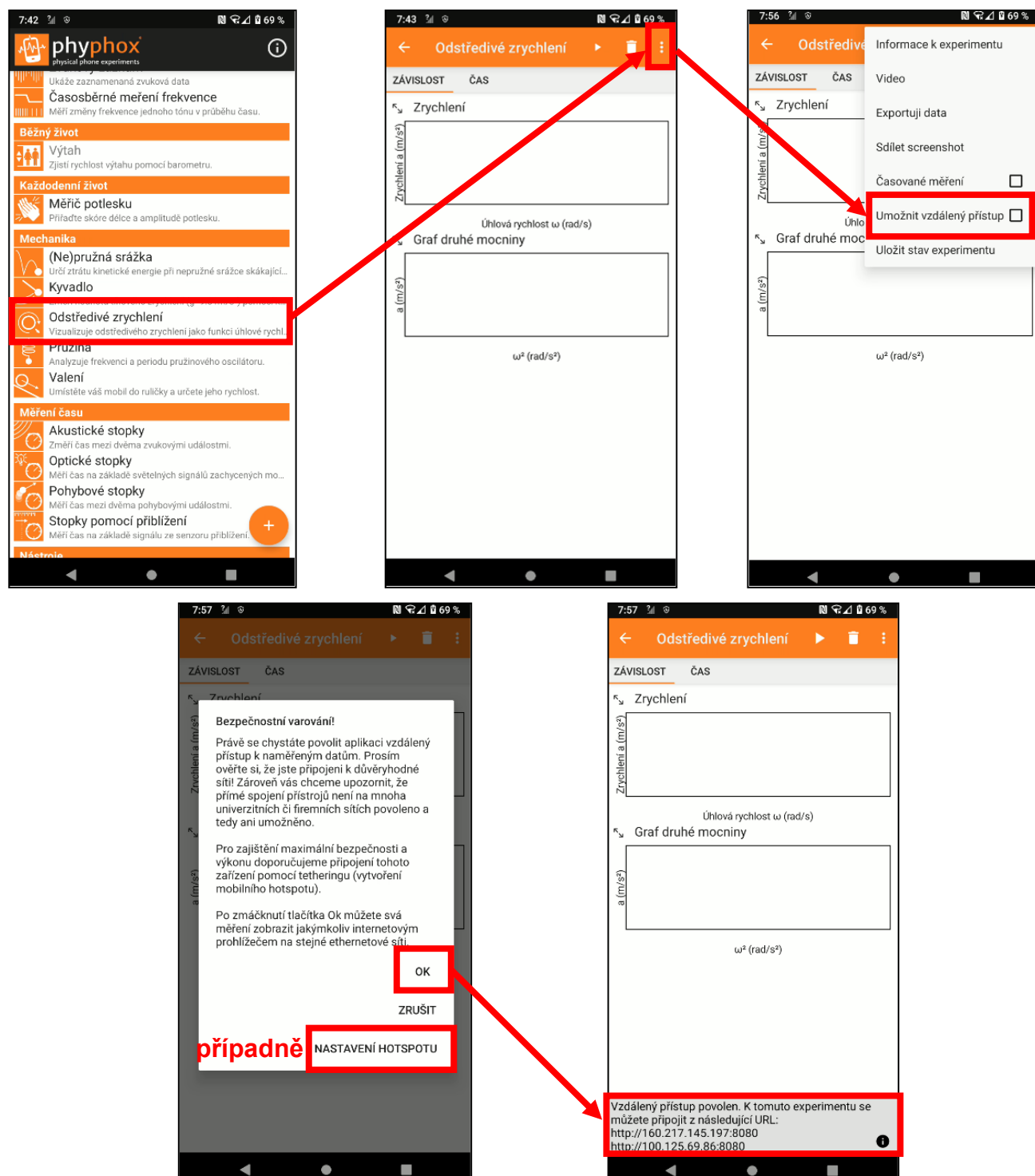
Jakmile spustíme experiment, můžeme začít roztáčet odstředivku na salát a pozorovat grafy, které se nám tvoří. Postupně můžeme zvyšovat / snižovat rychlost otáčení, abychom zaplnili co nejvíce bodů. Aplikace průměruje data po 0,5 sekundách, aby se snížil vliv nerovnoměrností pohybu. Po ukončení měření prozkoumejte se studenty horní graf, kde x -ová osa představuje úhlovou rychlost ω a y -ová osa naměřené hodnoty zrychlení a . Ideální graf by měl ukazovat kvadratickou závislost (Obr. 24). To, jestli je závislost opravdu kvadratická, je ukázáno i na spodním grafu, kde x -ová osa ukazuje druhou mocninu úhlové rychlosti, tudíž by body měly ležet na přímce.

⁶ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=ILCf05Hc83Y>, https://www.youtube.com/watch?v=W9p_KNRK-0Y

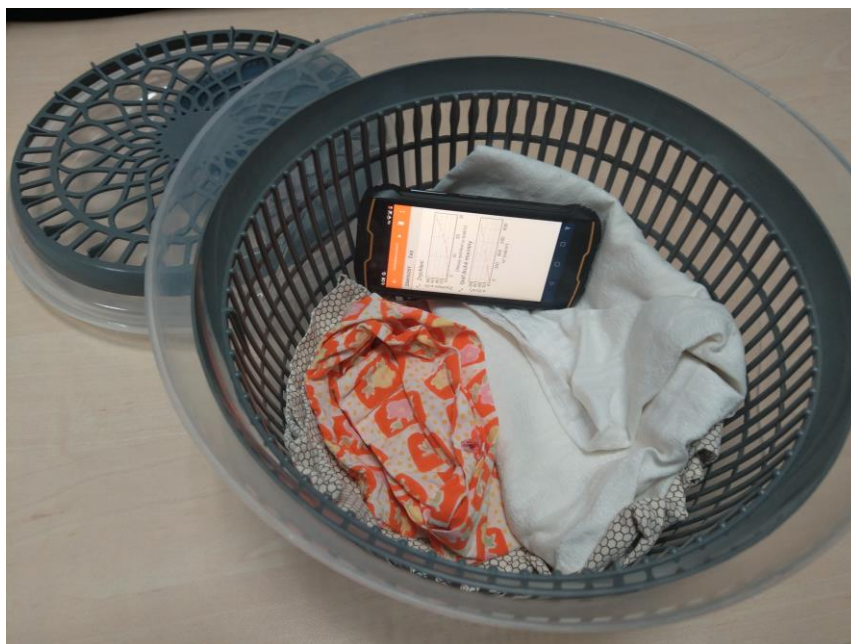
Anglický návod na <https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment: Centrifugal Acceleration>

Poznámky

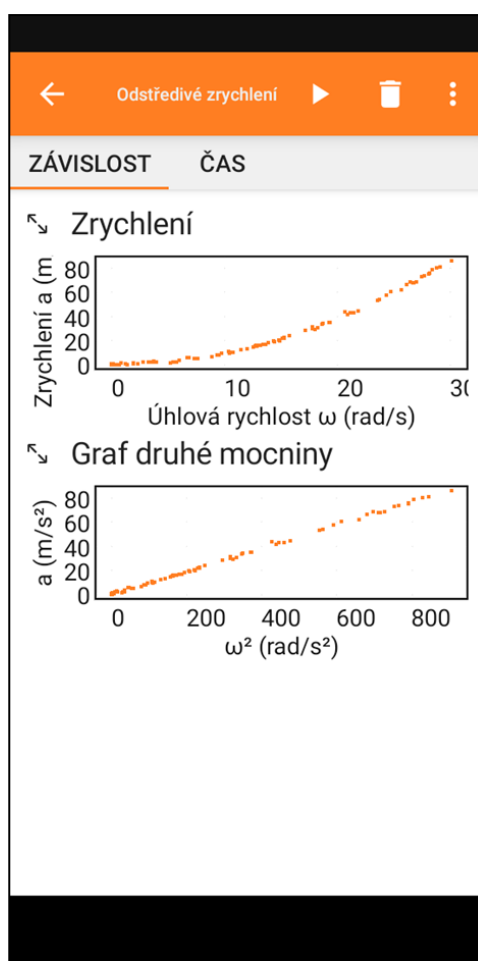
Limity senzorů telefonu mohou ovlivnit měření. Některá zařízení nedokážou měřit akceleraci vyšší než 30 m/s^2 , zatímco jiná zvládnou až 80 m/s^2 . Pokud graf přestane být lineární, problém může spočívat v překročení maximální kapacity senzorů nebo v nedostatečné kalibraci zařízení. Diskutujte, jak změna průměru rotujícího zařízení ovlivní výsledky, a propojte experiment s reálnými situacemi, jako je jízda v autě nebo pohyb na kolotoči. Rotaci můžete ale provádět i jinými způsoby, např. točením se na židli a držením mobilního telefonu v ruce (studenti tento pokus ocení, ale dbejte na bezpečnost). Další možnosti rotace můžete pak najít na <https://www.youtube.com/watch?v=ILCf05Hc83Y&t=202s>



Obrázek 22. Nastavení experimentu a vzdáleného přístupu v aplikaci Phyphox.



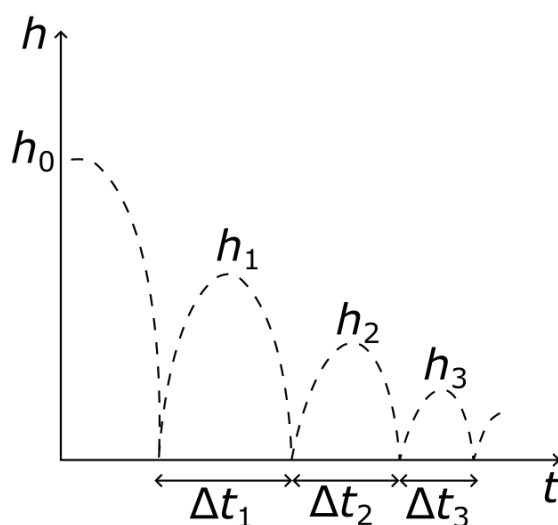
Obrázek 23. Uspořádání pokusu.



Obrázek 24. Výsledek pokusu.

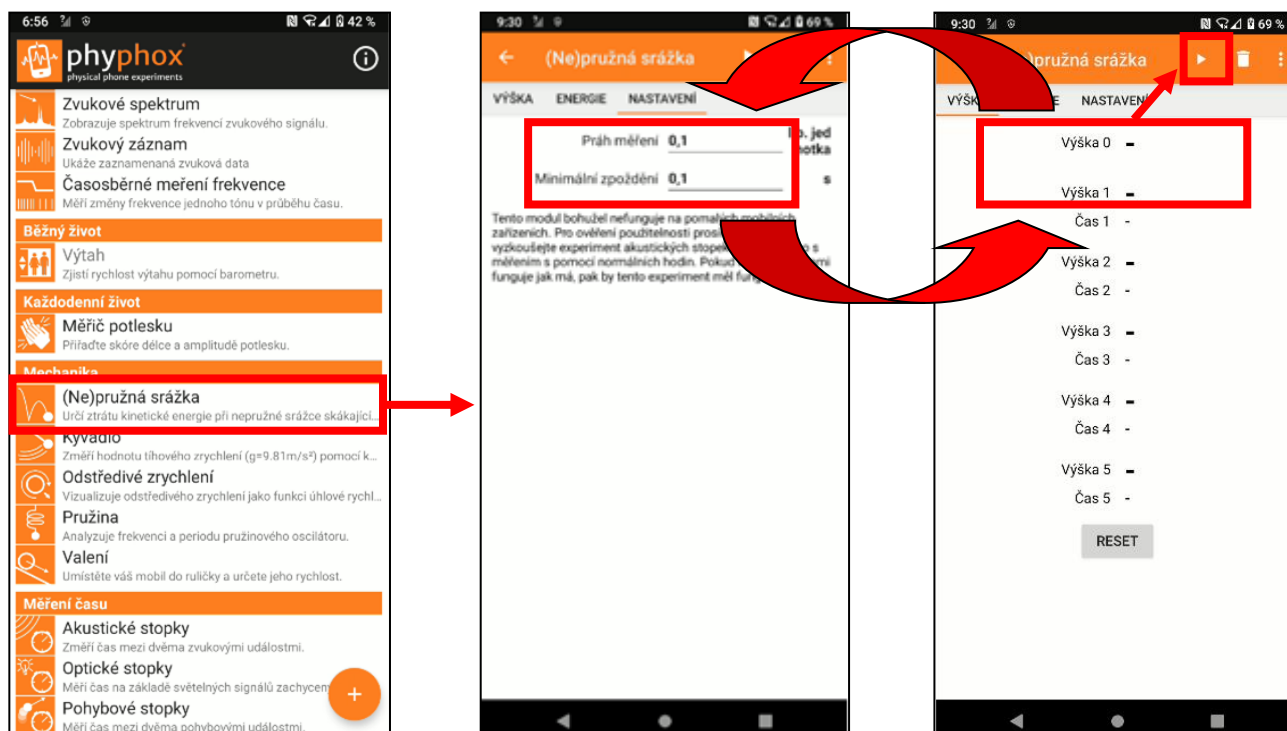
(Ne)pružné srážky⁷**Úroveň:** Střední škola**Časová náročnost:** 15 minut (5 minut měření, 10 minut zpracování)**Použité senzory:** Mikrofon**Kategorie:** Mechanika**Potřeby:** Mobilní telefon s aplikací Phyphox, ocelový nebo jiný malý tvrdý míček, který dobře odskakuje (ložisko, ping pongový míček, golfový míček, popř. basketbalový míč na porovnání), rovný, tvrdý povrch (např. stůl nebo podlaha)**Cíl experimentu:** Analyzovat neelastickou srážku míčku s povrchem. Pomocí mikrofону se zaznamenají zvuky odrazů míčku a vypočítá se počáteční výška míčku, výška mezi jednotlivými odrazy a ztráta energie při každém odrazu.**Postup**

Vezměte ocelový nebo jiný malý míček, který při nárazu vydává jasný, dobře slyšitelný zvuk. Zvolte rovný a tvrdý povrch, který způsobí dobře slyšitelné odrazy (např. dřevěná podlaha nebo stůl). Otevřete aplikaci Phyphox (Obr. 26) a vyberte experiment "Nepružná srážka". Ten funguje na stejném principu jako „Akustické stopky“, ale zvuk stopky zastaví a spustí několikrát. V tomto experimentu najdeme tři záložky – „Výška“, „Energie“ a „Nastavení“. V záložce „Nastavení“ si nejprve nastavíme „Práh měření“ a „Minimální zpoždění“. Přejdeme na záložku „Výška“ (popř. „Energie“) a vyzkoušíme, jestli se nám stopky nespouští samy od sebe. Pokud ano, musíme zvýšit „Práh měření“. Dále nastavíme „Minimální zpoždění“, a to podle nejnižší výšky, které míček dosáhne (pro kovovou kuličku puštěnou z výšky 10 cm to může být méně než 0,1 s, pro basketbalový míč puštěný z výšky 2 m je to cca 0,4 s, samozřejmě záleží na tvrdosti podložky, nafouknutí míče apod.). To děláme z důvodu, aby se nám stopky nezapínaly/nevypínali kvůli odrazům zvuku od stěn. Pokud je vše nastaveno, spusťte experiment pomocí tlačítka „Play“. Pusťte míček z určité výšky a nechte ho několikrát odrazit o povrch. Aplikace bude analyzovat zvuky jednotlivých odrazů a měřit čas mezi nimi. Na základě těchto časů vypočítá počáteční výšku míčku, ztráty energie a výšky mezi jednotlivými odrazy.

**Obrázek 25.** Schematické znázornění skákání míčku.

⁷ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): [youtube.com/watch?v=ikvtPDwV1FE](https://www.youtube.com/watch?v=ikvtPDwV1FE), [youtube.com/watch?v=Zm_tAkWmZPo](https://www.youtube.com/watch?v=Zm_tAkWmZPo), [youtube.com/watch?v=MOHCmhbkjek](https://www.youtube.com/watch?v=MOHCmhbkjek), [youtube.com/watch?v=sqCEo4tj3e4](https://www.youtube.com/watch?v=sqCEo4tj3e4)

Anglický návod na https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment:_Inelastic_Collision



Obrázek 26. Nastavení experimentu v aplikaci Phyphox

Zpracování výsledků (jednotlivé parametry jsou znázorněny na schématu na Obr. 25)

Výpočet výšek:

Výška (např. bodu h_1) se vypočítá podle vzorce

$$h_1 = \frac{1}{2}g \left(\frac{\Delta t_1}{2} \right)^2 = \frac{1}{8}g\Delta t_1^2$$

Poloviční čas je brán z toho důvodu, že počítáme přes vzorec pro volný pád, který nastává v druhé polovině časového úseku Δt_1 .

Ztráta mechanické energie a výpočet počáteční výšky:

Poněvadž už známe výšku výskoků (viz předcházející vzorec), můžeme spočítat potenciální energii v nejvyšších bodech, a to jako

$$E_p = mgh$$

Pro dva po sobě jdoucí nejvyšší body jsou potenciální energie rovny

$$E_{p1} = mgh_1 \quad \text{a} \quad E_{p2} = mgh_2$$

Ztráta energie při každém odrazu je vypočítána na základě jejich poměru a můžeme psát

$$E_{p2} = E_{p1} \frac{h_2}{h_1}$$

Pokud budeme předpokládat, že ke stejným ztrátám energie dochází při každém odrazu, můžeme dopočítat počáteční výšku. Ztráta při pádech z vyšších výšek jsou větší, proto odhad původní výšky bývá trochu podhodnocený.

Poznámky

- Pokud je naměřený čas příliš malý: Tento problém může nastat, pokud telefon nedokáže analyzovat zvuky tak rychle, jak jsou nahrávány. V tomto případě zkuste použít výkonnější telefon.
- Pokud každý odraz registruje více časů, je pravděpodobné, že zvuk odrazu má příliš dlouhý dozvuk. Zkuste zvýšit minimální prodlevu mezi jednotlivými záznamy.
- Pokud aplikace nezachytí všechny odrazy, může být příčinou příliš vysoký práh citlivosti. Snižte hodnotu prahu, aby aplikace zaznamenala všechny zvuky.
- Pokud aplikace zaznamenává odrazy, které se ve skutečnosti nestaly, zvýšte práh citlivosti, aby byla eliminována registrace hluku pozadí.

Diskuse

Jaký je rozdíl mezi elastickou a neelastickou srážkou?

Proč se při neelastické srážce ztrácí kinetická energie?

Jak by se změnil výsledek experimentu, kdyby míček byl z jiného materiálu?

Vibrace (motor, pračka, hard disk)⁸

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (5 minut přemístění k autu, 5 minut měření, 10 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Akcelerometr (funkce „Spektrum zrychlení“)

Kategorie: Mechanika

Potřeby: aplikace Phyphox, auto, hard disk, (pro měření doma pračka)

Cíl experimentu: Experimentálně určit otáčky motoru na základě měření jeho vibrací.

Teorie:

Frekvence otáčení motoru (RPM – revolutions per minute, neboli otáčky za minutu) je klíčovou veličinou při analýze výkonu a chování motoru. V motoru se otáčení rozkládá mezi více válců a zapalovací cykly nejsou synchronní. Pokud máme informace o konkrétním motoru, mohou být vibrace motoru být analyzovány pro získání informací o jeho otáčkách. Chytrý telefon s akcelerometrem dokáže zachytit tyto vibrace a pomocí spektrální analýzy určit jejich frekvenci.

Aplikace využívající Fourierovu transformaci převádějí časovou doménu signálu do frekvenční domény. Zde můžeme pozorovat dominantní frekvence, které odpovídají vibračním vytvářeným motorem. V experimentu se zaměříme na měření těchto frekvencí a jejich převedení na otáčky motoru.

Postup

V aplikaci Phyphox přejděte do experimentu „Spektrum zrychlení“ a do záložky „Historie“. Klikněte na tlačítko „Play“ v pravém horním rohu. Chytrý telefon umístěte na palubní desku auta (popř. jiný pevný povrch, který přenáší vibrace z motoru) nejlépe tak, abyste viděli na jeho displej. Zapněte motor a postupně zvyšujte otáčky. V aplikaci sledujte spektrum zaznamenaných frekvencí. Snažte se vytvořit 2D graf tak, abyste alespoň u dvou časů znali otáčky, které vyčtete na palubní desce. Dominantní frekvence, která odpovídá vibračním motoru, se zvyšuje s růstem otáček.

Tato frekvence může být převedena na otáčky za minutu (RPM) vynásobením odpovídajícím faktorem, který závisí na typu motoru a počtu válců.

Při analýze zohledněte frekvence odpovídající harmonickým signálům (například násobkům základní frekvence), které mohou vznikat vlivem mechanických rezonančních jevů nebo synchronizace některých částí motoru. Správná interpretace dat vyžaduje znalost základního vztahu mezi frekvencí vibrací a skutečnými otáčkami motoru.

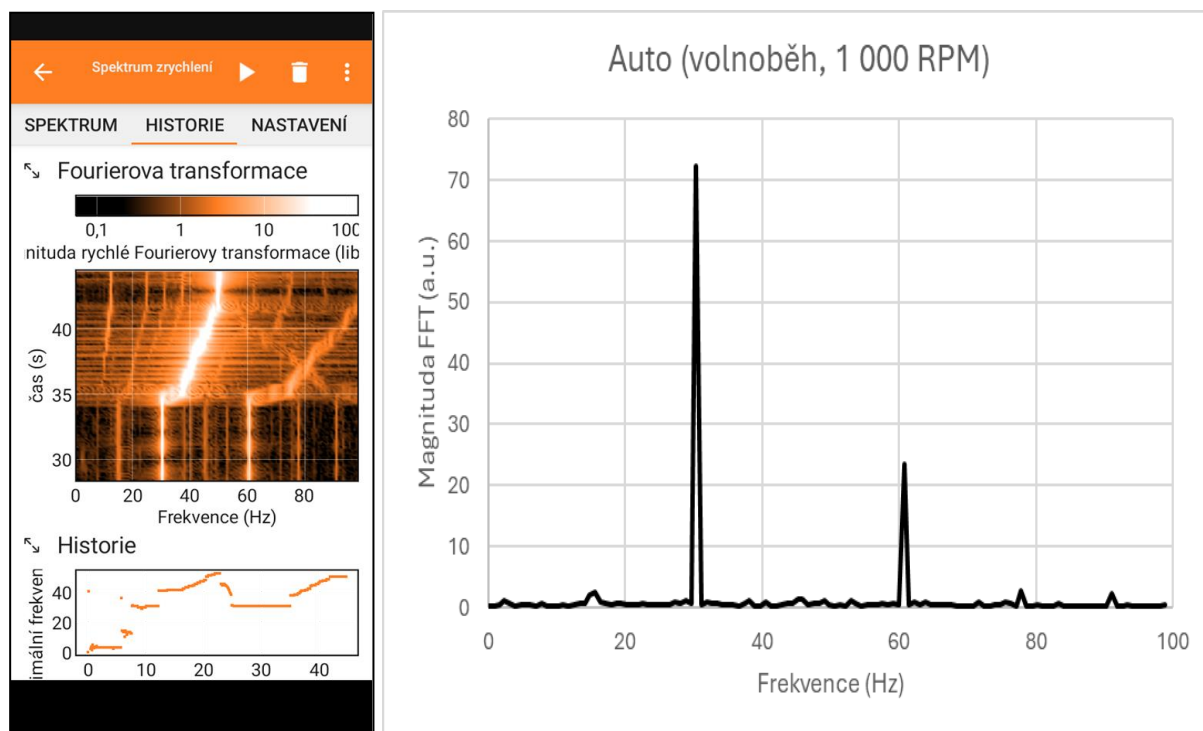
V našem případě (Obr. 27 a 28) nejprve motor běžel na volnoběh (1 000 RPM) a poté byly otáčky zvýšeny na 1 500 RPM. Pokud tyto hodnoty vydělíme šedesáti (abychom získali frekvenci v Hz), dostaneme hodnoty 16,7 Hz a 25 Hz. To ale neodpovídá grafům, kde hodnoty cca 30 Hz a 50 Hz. Hodnoty z otáčkoměru musíme totiž vynásobit dvěma a to z důvodu, že v použitém typu auta jdou vždy dva a dva válce proti sobě, frekvence vibrací je tedy dvojnásobné oproti frekvenci otáčení motoru.

Poznámky

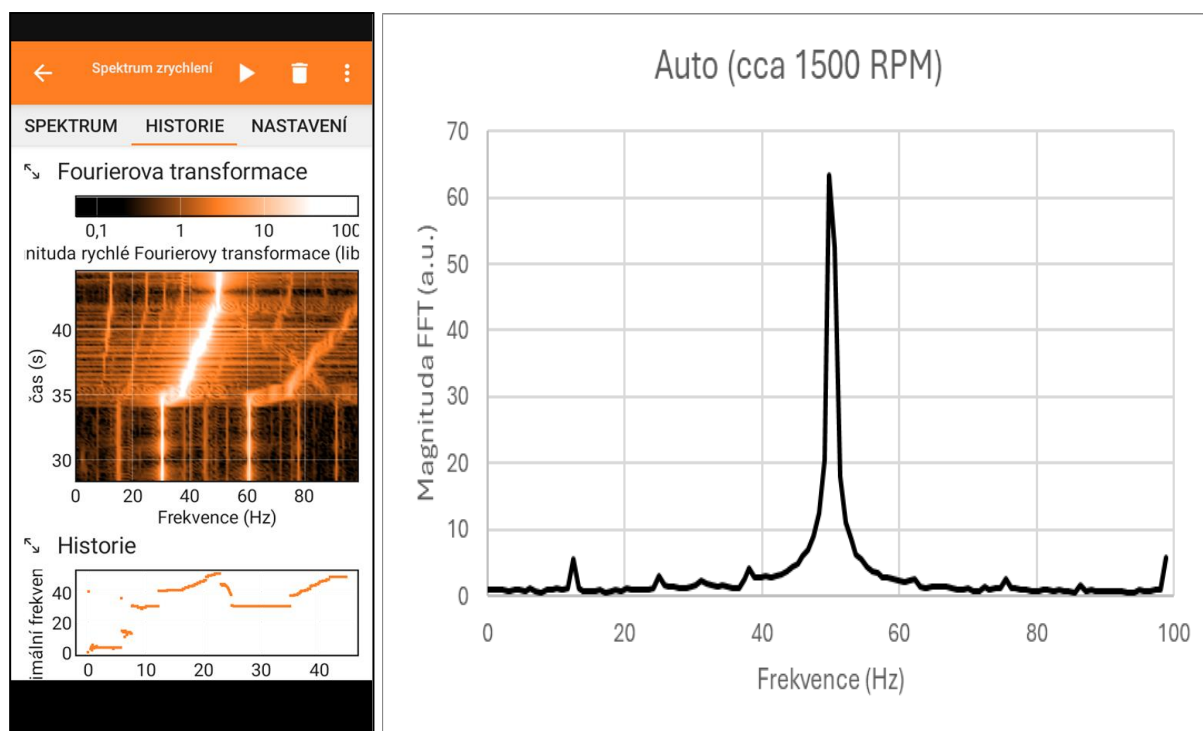
Během experimentu se ujistěte, že prostředí je klidné a nejsou přítomny jiné zdroje vibrací nebo zvuku, které by mohly ovlivnit výsledky.

⁸ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=PZf9p7iggyk>,
<https://www.youtube.com/watch?v=eOEJcrPzsf4>

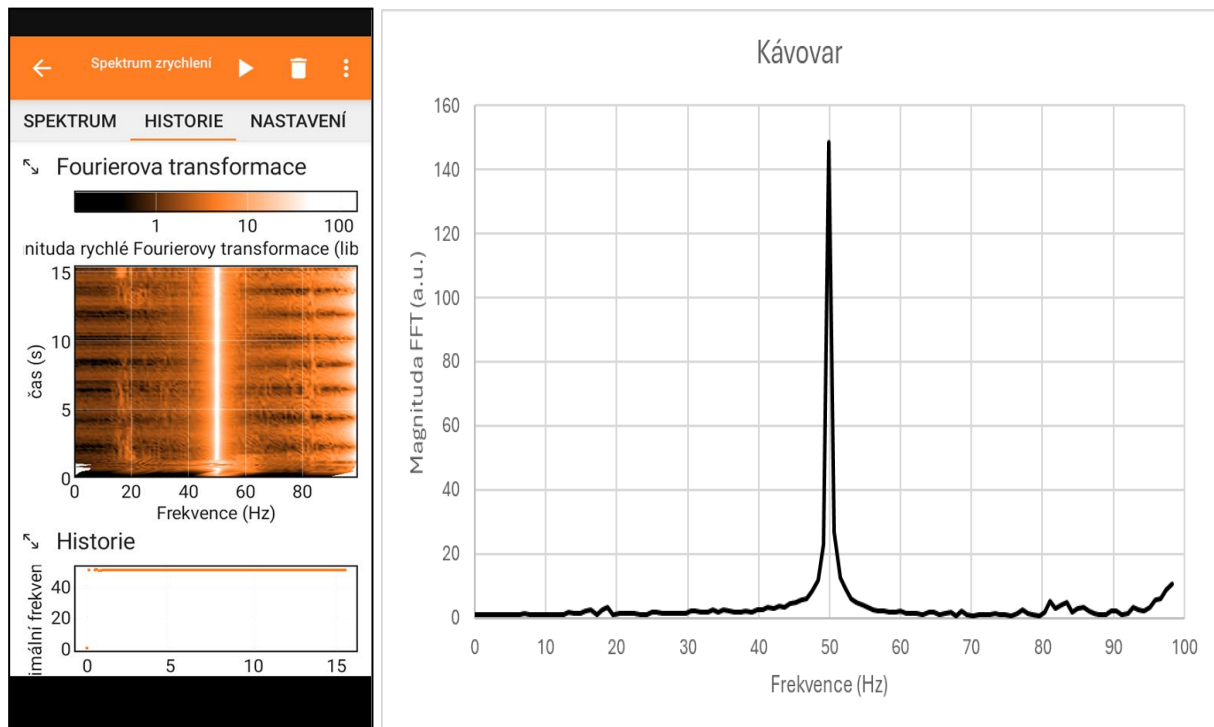
Spektrální analýza je závislá na vzorkovací frekvenci telefonu (musíme alespoň trochu tušit, co nám má vyjít, jinak nevhodným nastavením přijdeme o správný výsledek). Pokud je tato frekvence příliš nízká, nemusí být možné přesně detekovat vysoké frekvence spojené s rychlými otáčkami motoru. V takovém případě tuto hodnotu můžete změnit v nastavení. Měřit můžeme i další věci, které vibrují, např. kávovar. Konkrétní příklad je na Obr. 29. Proč kmitá právě s frekvencí 50 Hz?



Obrázek 27. 2D graf spekter akcelerací motoru auta (vlevo), konkrétní příklad spektra v čase 30 s (vpravo) při 1 000 RPM.



Obrázek 28. 2D graf spekter akcelerací motoru auta (vlevo), konkrétní příklad spektra v čase 44,3 s (vpravo) při 1 500 RPM.



Obrázek 29. 2D graf spekter akcelerací kávovaru (vlevo), konkrétní příklad spektra v čase 6,6 s (vpravo).

Rychlost zvuku změřená pomocí lahve vína⁹

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (5 minut měření, 15 minut zpracování a vyhodnocení)

Použité senzory: Mikrofon (funkce Frekvenční analýza v aplikaci Phyphox)

Kategorie: Akustika

Potřeby: láhev vína s korkovou zátkou (nejlépe bílé víno v průhledné lahvi), vývrtka, aplikace Phyphox, šuplera a pravítko, nebo metr

Cíl experimentu: Experimentálně určit rychlost zvuku na základě frekvence zvuku generovaného při vytváření rezonance v láhvi.

Teorie

Láhev od vína se při generování zvuku chová jako rezonátor s jedním uzavřeným koncem. Rezonanční frekvence závisí na délce rezonátoru a lze ji určit z akustického spektra měřeného pomocí mikrofону. Pomocí vztahu

$$c = 4 \cdot f_0 \cdot (L + \Delta L)$$

lze spočítat rychlost zvuku c , kde f_0 je základní rezonanční frekvence, L je délka rezonátoru a $\Delta L = 0,61R$ je korekce závislá na poloměru R hrdla lahve.

Při běžné pokojové teplotě (20–25 °C) by rychlost zvuku ve vzduchu měla být přibližně 343–344 m/s.

Postup

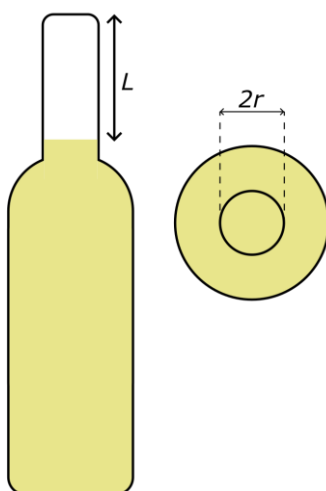
a) Neotevřená lahev

Otevřete aplikaci Phyphox a v ní vyberte pokus s názvem „Zvukové spektrum“. Umístěte mikrofon telefonu do blízkosti hrdla lahve tak, aby zachytil zvuky co nejlépe, s minimem rušivých vlivů z okolí. Přejděte na záložku „Historie“, ve které se nám zobrazuje časový vývoj spekter. Do zátky našroubujte vývrtku. Zapněte nahrávání pomocí tlačítka „Play“ v horním pravém rohu. Otevřete lahev (snažte se, aby udělala co nejhlasitější „plop“) a poté zastavte nahrávání. Změřte poloměr R hrdla lahve a výšku od hladiny vína po ústí lahve (před konzumací!!! 😊) (Obr. 30) a zaznamenejte. Klikněte na 2D graf, který jste obdrželi, poté v dolní liště na tři tečky („Další nástroje“) a „Exportovat tato data“. Zvolte si oblíbený formát (doporučuji Excel) a exportujte. 2D graf nezavírejte, dá se z něj zjistit, v jakém čase (alespoň přibližně) došlo k otevření lahve.

b) Již otevřená lahev

Připravte prázdnou láhev od vína. Změřte poloměr R hrdla lahve a označte na ní různou výšku hladiny (např. po 1 cm). Pomocí aplikace Phyphox spusťte funkci „Zvukové spektrum“ a přejděte na záložku „Historie“, ve které se nám zobrazuje časový vývoj spekter. Umístěte mikrofon telefonu do blízkosti hrdla lahve. Zapněte nahrávání pomocí tlačítka „Play“ v horním pravém rohu. Navlhčeným prstem nebo korkem vytvořte zvuk (tzv. „plop“) v hrdle lahve. Pokus můžete opakovat pro různé délky rezonátoru L (dosažené různou hladinou vody v láhvi). Jako v minulém případě klikněte na 2D graf, který jste obdrželi, poté v dolní liště na tři tečky („Další nástroje“) a „Exportovat tato data“. Zvolte si oblíbený formát (doporučuji Excel) a exportujte. 2D graf nezavírejte, dá se z něj zjistit, v jakém čase (alespoň přibližně) došlo k otevření lahve

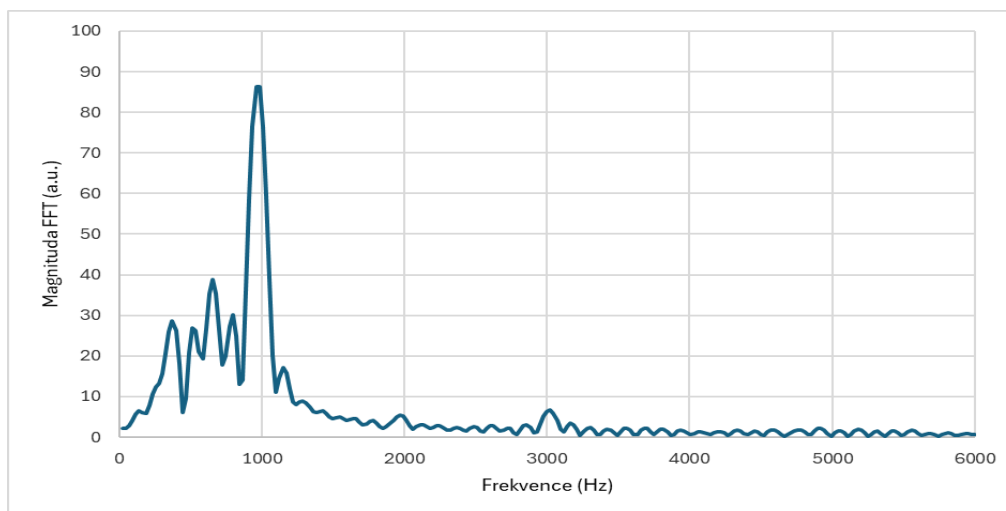
⁹ <https://pubs.aip.org/aapt/pte/article-abstract/58/4/278/674495/Corkscrewing-and-speed-of-sound-A-surprisingly?redirectedFrom=fulltext>, <https://phyphox.org/forums/showthread.php?tid=776>



Obrázek 30. Schéma lahve vína s vyznačenými parametry, které musíme změřit.

Zpracování dat

Když otevřeme soubor s daty, zjistíme, že obsahuje tři sloupce nadepsané postupně Frekvence (Hz), čas (s), Magnituda rychlé Fourierovy transformace (lib. jednotka). Pro nás bude nejprve důležitý sloupec čas (s). Na mobilním telefonu si najdeme, v jaké přibližně čase jsme otevřeli lahev. Čas, který je k tomu blízko vyhledáme ve druhém sloupci dat. Nyní vytvoříme graf závislosti třetího sloupce (Magnituda rychlé Fourierovy transformace (lib. jednotka)) na prvním sloupci (Frekvence (Hz)), a to pro jeden konkrétní čas. Měl by vyjít graf podobný na Obr. 31. Tím jsme zjistili hodnotu f_0 (v zobrazení případě cca 984 Hz) a můžeme dosadit do vztahu z části *Teorie*.



Obrázek 31. Spektrum zvuku, vytvořeného při otevření lahve vína. Spektrum bylo obdrženo výřezem z 2D grafu, který není zobrazen.

Poznámky

Experiment lze provádět i s jinými typy láhví (např. plastovými), výsledek se může lišit v závislosti na materiálu a tvaru rezonátoru. Šlo by nejspíše použít i syčenou vodu v lahvi se šroubovací zátkou, kde bychom měřili frekvenci syčení při otevření lahve. Pak bychom ale museli použít vzorec pro dutinu, která je na obou stranách uzavřená.

Měření tepové a dechové frekvence

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 15 minut (10 minut měření, 5 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Akcelerometr

Kategorie: Kmitání, biologie

Potřeby: mobilní telefon s aplikací Phyphox

Cíl experimentu: Cílem experimentu je měřit srdeční tep pomocí senzoru zrychlení na mobilním telefonu. Tato metoda umožňuje zjistit frekvenci srdečního tepu na základě jemných pohybů hrudníku způsobených srdeční činností.

Teorie

Srdeční činnost způsobuje vibrace a pohyby tělesných tkání, které mohou být zaznamenány akcelerometrem v mobilním telefonu. Akcelerometr měří změny zrychlení ve třech osách (x , y , z). Pro detekci srdečního tepu je nejvhodnější osa z , která je kolmá k povrchu telefonu, když je položen na hrudníku. Vibrace způsobené srdečními stahy se v této ose projevují nejzřetelněji.

Měření je přesnější při zadržení dechu, protože dýchací pohyby hrudníku mohou znehodnocovat signál pocházející z tepu. Díky tomu je možné získat pravidelný vzorec odpovídající srdečním úderům.

Postup (Obr. 32)

Spustíte aplikaci Phyphox a vyberte experiment „Akcelerace (bez g)“. V menu nastavení (tři tečky v pravém horním rohu) vyberte funkci "Časované měření". Nastavte zpoždění spuštění na 3 sekundy a dobu trvání měření na 6 sekund.

Lehněte si na záda na tvrdou podložku. Položte telefon na hrudník, přibližně na úroveň srdce, a ujistěte se, že leží klidně a jeho osa z směřuje kolmo k povrchu hrudníku (neboli je položený displejem nahoru).

Zhluboka se nadechněte a zadržte dech, aby pohyby způsobené dýcháním neovlivnily měření. Poté spustíte měření pomocí tlačítka „Play“. Experiment se díky časovači spustí až za 3 vteřiny, během té doby si najděte pozici, ve které zůstanete po dobu experimentu nehybně ležet. Po uběhnutí tří sekund se spustí experiment a bude zaznamenávat data po dobu šesti sekund. Dejte si pozor, abyste se v průběhu těchto šesti sekund hýbali co nejméně. Po uběhnutí šesti sekund se experiment automaticky vypne a můžete se podívat na výsledek.

Zaměřte se na graf osy z , kde by měl být viditelný pravidelný vzorec odpovídající srdečním úderům. Na základě tohoto vzorce můžete určit srdeční tepovou frekvenci.

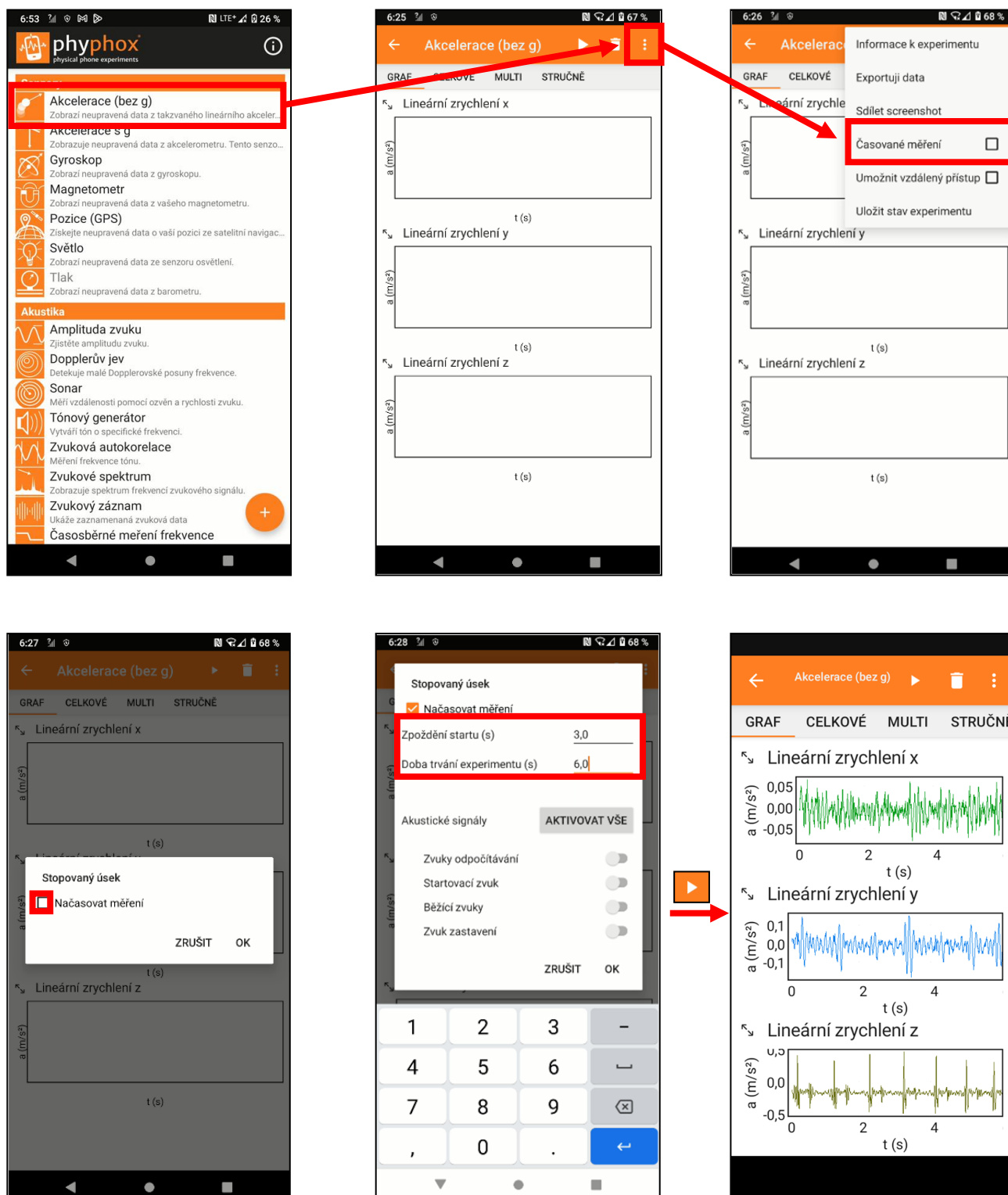
Poznámky

Pokud vzorec tepové frekvence v grafu není zřetelný, upravte polohu telefonu (popř. těla) a opakujte měření.

Podobným způsobem je možné měřit i frekvenci dýchání. V postupu pouze vynecháme zadržení dechu a prodloužíme dobu trvání měření.

Podobný experiment lze provést i s teleskopickou trubicí od vysavače, zde jsou ale oba konce otevřené a tomu je třeba uzpůsobit výpočet.¹⁰

¹⁰ <https://arxiv.org/pdf/2208.02671>



Obrázek 32. Nastavení experimentu a časovaného měření v aplikaci Phyphox.

Kalibrace měření hladiny hluku¹¹

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (15 minut kalibrace, 5 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Mikrofon (funkce „Amplituda zvuku“), reproduktor (funkce „Tónový generátor“)

Kategorie: Akustika

Potřeby: dva mobilní telefony s aplikací Phyphox (popř. notebook, nebo jiný zdroj zvuku, u kterého můžeme nastavit hlasitost a frekvenci zvuku), hlukoměr

Cíl experimentu: Zkalibrovat si měření amplitudy zvuku.

Teorie

Zvuková amplituda je měřena v decibelech (dB), což je logaritmická stupnice, kde 0 dB (při frekvenci 1 000 Hz) odpovídá prahu slyšení a hodnoty nad 100 dB označují velmi hlasité zvuky, například hluk motorů. Senzor v chytrých telefonech však často poskytuje hodnoty, které neodpovídají standardní decibelové stupnici. Kalibrace je proces, který upravuje měření tak, aby výsledky odpovídaly skutečným hodnotám zvuku v okolí.

Aplikace Phyphox umožňuje kalibrovat zvukový senzor pomocí dvou metod: pomocí externího decibelového měřiče nebo odhadem na základě známých hodnot zvuku v tichém prostředí.

Postup

Pro kalibraci s externím decibelovým měřičem si nejprve připravte zařízení, které generuje zvuk o konstantní frekvenci, například 1 000 Hz. Tento signál můžete vytvořit pomocí online generátoru tónů nebo pomocí experimentu „Tónový generátor“ v aplikaci Phyphox. Telefon, na kterém chcete kalibraci provádět, a externí hlukoměr umístěte do stejné vzdálenosti od zdroje zvuku (Obr. 33). Dbejte na to, aby mikrofon telefonu ve stejné vzdálenosti od zdroje zvuku, jako externí hlukoměr, přičemž mikrofon mobilního telefonu se obvykle nachází na spodní straně (při telefonování blízko úst). Zapněte generátor tónů a zaznamenejte hodnotu zobrazenou na externím decibelovém měřiči. Otevřete aplikaci Phyphox na telefonu a vyberte experiment „Amplituda zvuku“. V políčku „Status“ můžete vidět, že experiment není zkalibrovaný (Obr. 34 vlevo). Spusťte experiment pomocí tlačítka „Play“ a s největší pravděpodobností uvidíte záporné hodnoty hladiny zvuku (Obr. 34 uprostřed). Experiment opět vypněte pomocí tlačítka „Pauza“ (toto vypnutí a zapnutí je nutné před každou kalibrací, jinak bude kalibrační posun nastaven na nekonečno) a přejděte na záložku „Kalibrace“ (Obr. 34 vpravo). Do pole „Referenční UAT“ zadejte hodnotu z externího decibelového měřiče, kterou jste naměřili v předchozím kroku, například 74,2 dB (Obr. 33). Poté spusťte záznam a znovu přehrajte testovací tón. Stiskněte tlačítko „Zkalibrovat“ a zastavte záznam. Aplikace automaticky vypočítá kalibrační posun a aplikuje ho tak, aby hodnoty odpovídaly standardní decibelové stupnici.

Pro kalibraci bez externího decibelového měřiče můžete použít tiché prostředí, například pokoj s nízkým šumem, kde hladina zvuku obvykle dosahuje přibližně 40 dB. Otevřete experiment „Amplituda zvuku“ v aplikaci Phyphox a zaznamenejte hodnotu amplitudy v tichém prostředí, například -70 dB. Spočítejte rozdíl mezi naměřenou hodnotou a očekávanou hladinou zvuku. Pokud je například očekávaná hodnota 40 dB, rozdíl bude 110 dB. V záložce „Kalibrace“ zadejte tento rozdíl jako „Vlastní nastavení posunu“, tedy například 110 dB, a stiskněte „Nastavit vlastní kalibraci“. Po této úpravě by naměřené hodnoty měly odpovídat běžné decibelové stupnici.

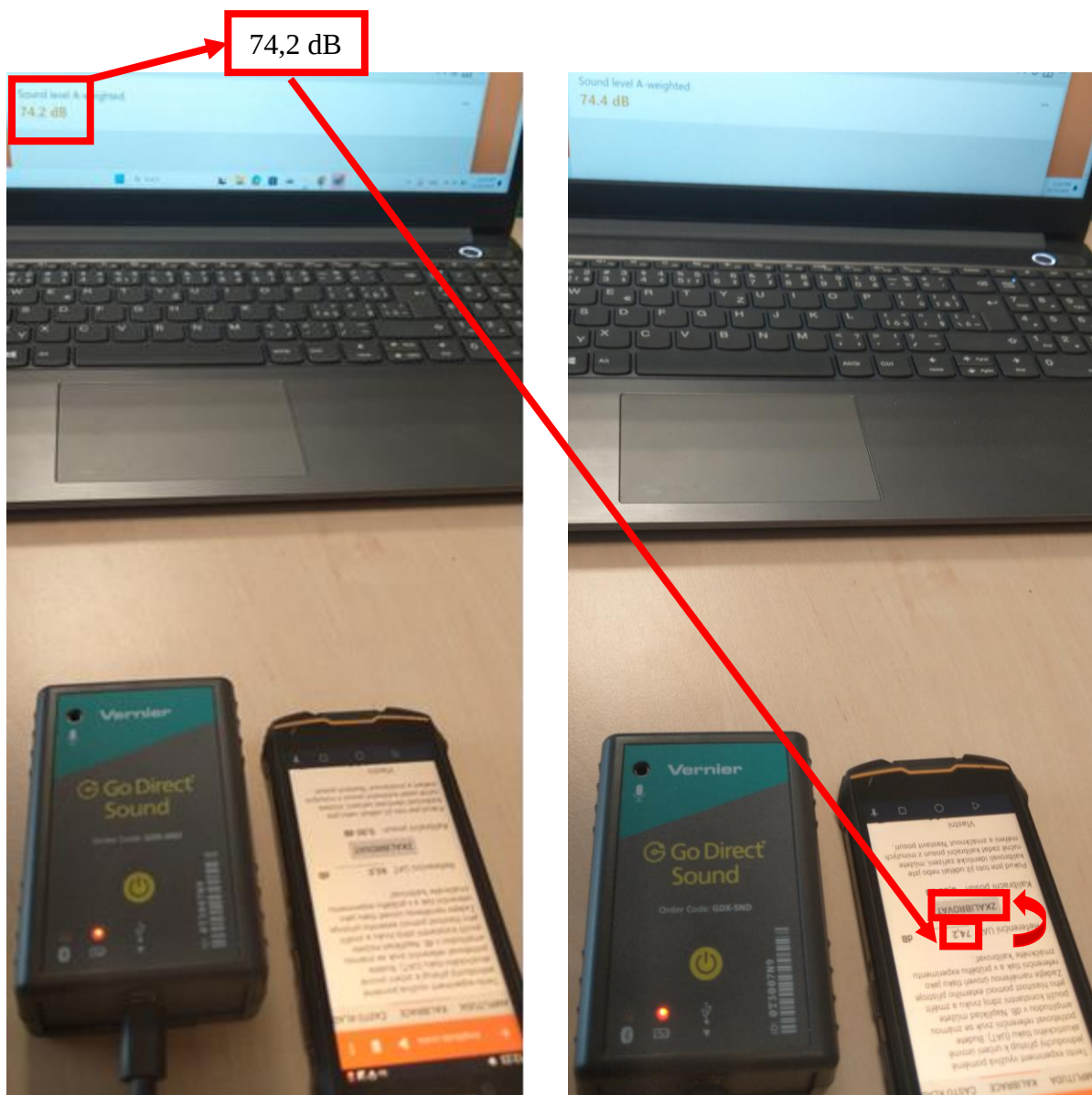
¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=3cpZEVSC6Nw>

Bohužel, tato kalibrace se musí provést pokaždé, když na tento experiment přejdete z hlavního menu. Je tedy dobré si někde uložit hodnotu kalibračního posunu, neboť ho pro dané zařízení můžeme používat opakovaně („vyplněním pole „Vlastní nastavení posunu“ a následného stisknutí „Nastavit vlastní kalibraci““.

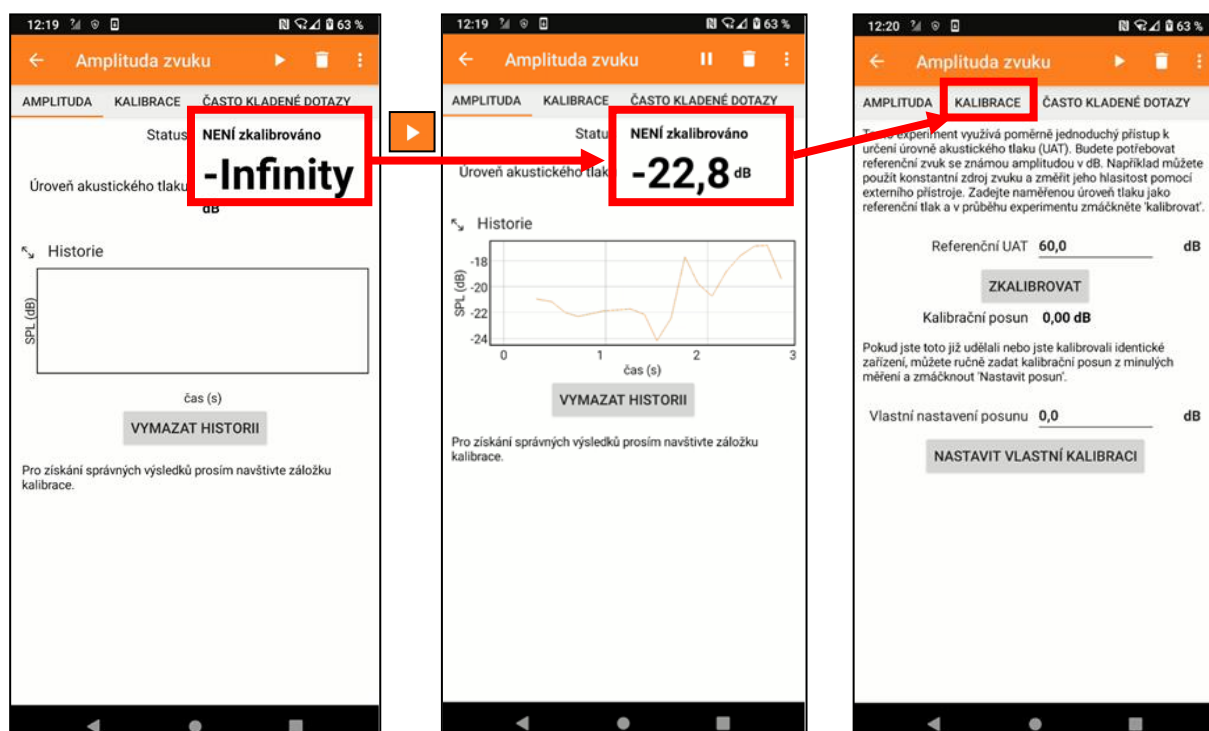
Poznámky

Kalibraci je třeba provádět individuálně pro každý telefon, protože senzory se mohou lišit i u stejných modelů. Pokud používáte více zařízení, zajistěte, aby všechna byla během kalibrace ve stejné vzdálenosti od zdroje zvuku. Při kalibraci v tiché místnosti se vyhněte blízkosti hlučných zařízení, jako je klimatizace, která by mohla výsledky zkreslit.

Kalibrace je nutné provést při každém spuštění tohoto experimentu. Proto si запиšte hodnotu offsetu, abyste ji mohli snadno znovu nastavit.



Obrázek 33. Kalibrace pomocí externího hlukoměru (Vernier) a zdroje zvuku (webová stránka na notebooku umožňující nastavit frekvenci a hlasitost zvuku).



Obrázek 34. Nekalibrovaný hlukoměr (vlevo a uprostřed) a stránka kalibrace (vpravo).

Jak vypadá zvukový záznam samohlásek a pískání¹²

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 15 minut (15 minut měření a vyhodnocení)

Použité senzory: Mikrofon (funkce Zvukový záznam v aplikaci Phyphox)

Kategorie: Akustika

Potřeby: aplikace Phyphox, člověk, který umí pískat, popř. lahev, nebo hudební nástroj

Cíl experimentu: Pozorovat a analyzovat vlnové tvary zvuku při různých hlasitostech, výškách tónů a samohláskách, aby studenti porozuměli vztahu mezi fyzikálními vlastnostmi zvuku a jeho vizuální reprezentací.

Teorie

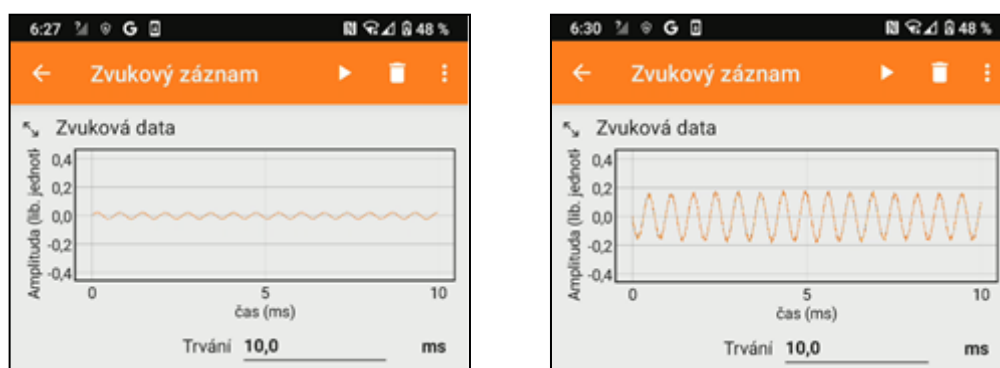
Zvuk je mechanické vlnění, které se šíří prostředím, jako je vzduch. Lze jej znázornit pomocí vlnového tvaru (waveform), kde oscilace odpovídají změnám tlaku způsobeným zvukovými vlnami. Hlasitost zvuku ovlivňuje velikost vrcholů vlny (amplitudu), zatímco výška tónu (frekvence) ovlivňuje vzdálenost mezi vrcholy. Vyšší tóny mají vyšší frekvenci, což znamená, že vrcholy jsou blíže u sebe. Kromě toho mají různé zvuky, jako jsou samohlásky, specifický tvar vlny, který souvisí s formanty, což jsou rezonance lidského hlasového traktu.

Postup

Začněte tím, že vytvoříte zvuk pískáním. Pokud studenti neumí pískat, mohou vytvořit zvuk foukáním přes hrdlo láhve nebo hraním na hudební nástroj, například flétnu nebo kytaru. Pískněte hlasitý, rovnoměrný tón a na obrazovce sledujte vytvořený vlnový tvar. Pokud se vlnový tvar nezachytí na první pokus, experiment zopakujte a snažte se během pískání zastavit zobrazení vlny.

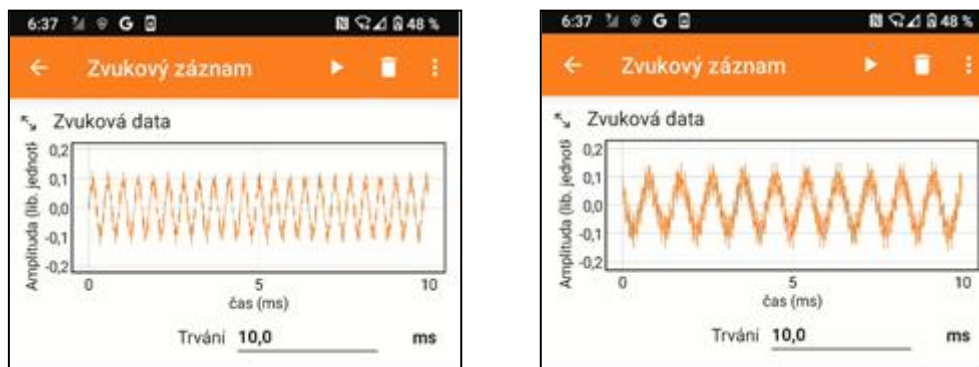
Další pokus proveďte s tišším pískáním a sledujte změny vlnového tvaru. Poté pískněte vysoký tón a následně nízký tón a pozorujte, jak se vlnový tvar mění. Hlasitost ovlivňuje velikost vrcholů vlny (Obr. 35), zatímco výška tónu ovlivňuje jejich rozestupy (Obr. 36).

Pro zkoumání zvuku samohlásek (Obr. 37) nahrajte jednotlivé samohlásky (například „a“, „e“, „i“, „o“, „u“) a sledujte jejich vlnové tvary. Každá samohláska má specifický tvar vlny, který odpovídá různým formantům. Formanty jsou zřetelné na frekvenčním spektru jako vrcholy, které odpovídají rezonancím v hlasovém traktu. Změny tvaru vlny jsou způsobeny rozdílným nastavením rtů, jazyka a hrtanu při vyslovování jednotlivých samohlásek.

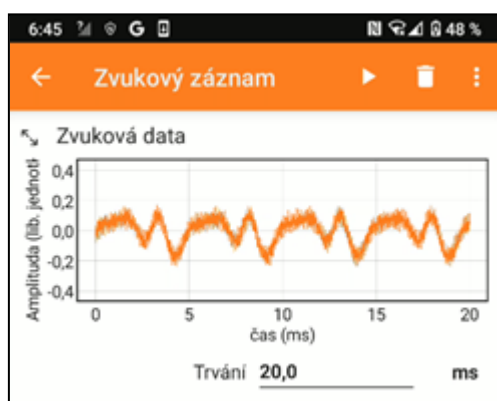


Obrázek 35. Rozdíl mezi tiším (vlevo) a hlasitým (vpravo) tónem stejné frekvence při pískání.

¹² <https://spark.iop.org/smart>



Obrázek 36. Rozdíl mezi vysokým (vlevo) a nízkým (vpravo) tónem při pískání.



Obrázek 37. Časový záznam samohlásky „u“.

Poznámky

Pokud studenti nemohou (neumí) pískat, alternativou je foukání přes láhev nebo použití hudebního nástroje, jako je flétna nebo kytara. Při záznamu samohlásek je důležité zajistit tiché prostředí, aby se minimalizoval vliv okolních zvuků. Důraz klad'te na pozorování rozdílů mezi jednotlivými samohláskami a na pochopení vztahu mezi vlnovým tvarem, amplitudou a frekvencí.

Rychlost valivého pohybu

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (5 minut příprava, 15 minut měření a vyhodnocení)

Použité senzory: Gyroskop (funkce Valení v aplikaci Phyphox)

Kategorie: Mechanika tuhého tělesa

Potřeby: aplikace Phyphox, šuplera, válcový objekt (například část tubusu od plakátu)

Cíl experimentu: Experimentálně zkoumat závislost úhlové a obvodové rychlosti.

Teorie:

Obvodová (tangenciální) rychlost je rychlost bodu na obvodu kruhově se pohybujícího objektu. Její velikost závisí na úhlové rychlosti (ω) a poloměru rotace (r) a lze ji spočítat jako $v = \omega \cdot r$. Tento vztah ukazuje, že rychlost bodu na obvodu rotujícího objektu je přímo úměrná jak rychlosti rotace, tak vzdálenosti od středu rotace.

Pomocí aplikace Phyphox a gyroskopu ve smartphonu je možné měřit úhlovou rychlost a z ní vypočítat obvodovou rychlost.

Postup

Válcový objekt (například část tubusu od plakátu) bude sloužit jako rotující tuhý předmět. Pokud máte uzávěry na obou koncích tubusu, můžete je využít, ale nejsou nutné. Pro lepší upevnění telefonu ve válci použijte polstrování, například pěnový materiál nebo měkký hadřík, aby telefon zůstal bezpečně na místě (Obr. 38).

Začněte tím, že otevřete aplikaci Phyphox na svém telefonu a vyberete experiment „Valení“, který měří úhlovou rychlost. Aktivujte funkci „Umožnit vzdálený přístup“ (viz předchozí text) a otevřete zobrazenou URL adresu na jiném zařízení, jako je tablet, notebook nebo jiný telefon. To vám umožní sledovat data z telefonu na větší obrazovce v reálném čase.

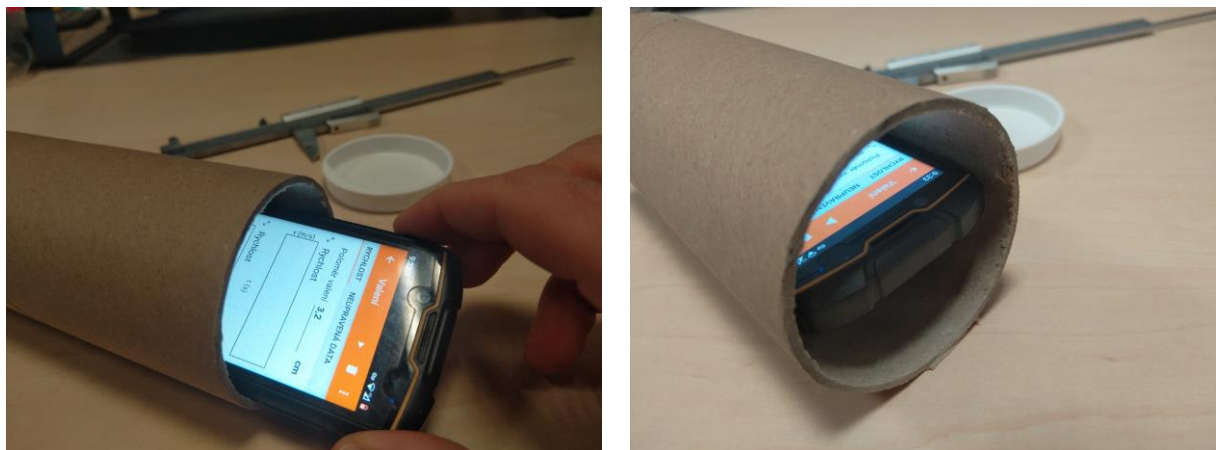
Zadejte poloměr válce do aplikace, protože tento údaj bude použit pro výpočet obvodové rychlosti. Umístěte telefon pevně do středu válce tak, aby se nemohl během rotace pohybovat. Buďte opatrní, abyste během nastavování nezměnili žádná nastavení aplikace. Ujistěte se, že telefon je ve válci správně vycentrován.

Spusťte měření pomocí tlačítka „Play“ na druhém zařízení a začněte s rotací válce. Aplikace Phyphox využije gyroskop telefonu k měření úhlové rychlosti válce. Po zadání poloměru dokáže aplikace okamžitě vypočítat obvodovou rychlost, jejíž hodnoty v reálném čase můžete sledovat na obrazovce svého druhého zařízení (Obr. 39).

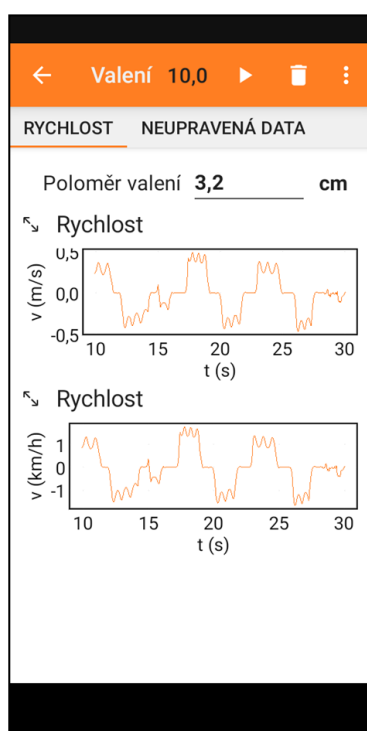
Poznámky

Ujistěte se, že telefon je pevně upevněn ve válci, aby nedošlo k jeho vypadnutí během rotace. Rotaci provádějte na stabilním povrchu a za podmínek, které minimalizují riziko poškození telefonu.

Tento experiment je jednoduchý na provedení a nabízí praktický způsob, jak ukázat vztah mezi úhlovou a obvodovou rychlostí.



Obrázek 38. Uspořádání pokusu.



Obrázek 39. Naměřená data. Válec se pohyboval na obě dvě strany, což je patrné z kladných a záporných rychlostí. Mobilní telefon nebyl v tubusu upevněn dostatečně pevně a nebyl vycentrovaný, proto jsou data „kostrbatá“ (tubus se při pohybu jedním směrem připozastavoval).

Měření otáček u gravírovacího pera (popř. vrtačky)

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 10 minut (5 minut příprava a měření, 5 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Mikrofon (experiment „Záznam zvuku“)

Kategorie: Akustika, kmitání

Potřeby: gravírovací pero (popř. vrtačka), izolepa (elektrikářská páska), aplikace Phyphox

Cíl experimentu: Experimentálně určit rychlost otáček gravírovacího pera (vrtačky).

Teorie:

Rychlost otáčení rotujícího tělesa lze nepřímo měřit prostřednictvím analýzy zvukového signálu generovaného periodickými údery.

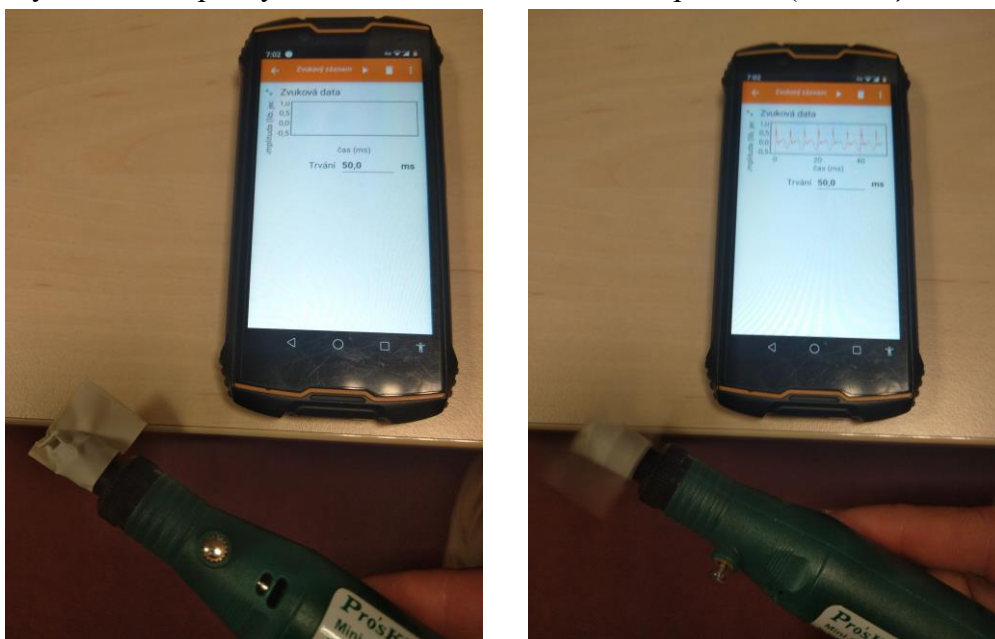
Postup experimentu:

Nejprve připravte gravírovačku tak, že na její rotující část (například na nějaký nástavec, popř. přímo na hřídel) připevníte malý kousek izolepy. Tento předmět musí být dostatečně pevný, aby při otáčení hřídele a narážení na pevnou překážku vytvářel slyšitelné údery, ale zároveň dostatečně lehký, aby neovlivnil otáčky zařízení.

Poblíž gravírovačky umístěte mikrofon mobilního telefonu, spusťte aplikaci Phyphox a vyberte experiment „Zvukový záznam“. Nastavte, jak dlouhý časový úsek má být měřen (100 ms funguje pro 5 000 – 18 000 otáček za minutu) a zahajte experiment kliknutím na tlačítko „Play“. Zapněte gravírovačku a místejte pevný předmět (například dřevěný blok, hranu stolu) do blízkosti rotující části tak, aby při každé otáčce izolepa o předmět narazila (Obr. 40). Zajistěte, aby bylo zařízení stabilní a nehrozilo jeho posunutí nebo převrácení během měření. Zaznamenávejte zvuk, který vzniká při periodických úderech izolepy o pevný předmět.

Po zastavení záznamu by měly být v grafu vidět pravidelné výchylky (Obr. 41) – pomocí nich dokážeme určit frekvenci narážení izolepy do pevné podložky. Vezmeme si dva vrcholy vedle sebe, určíme, jaký čas Δt mezi nimi uplynul. Ten pak převrátíme (provedeme $1/\Delta t$) a tím získáme frekvenci. Pro získání otáček za minutu (což je běžnější udávaná hodnota) vynásobte tuto hodnotu 60.

Můžete vyzkoušet, že pěkný záznam získáte i bez nárazů o předmět (Obr. 42).

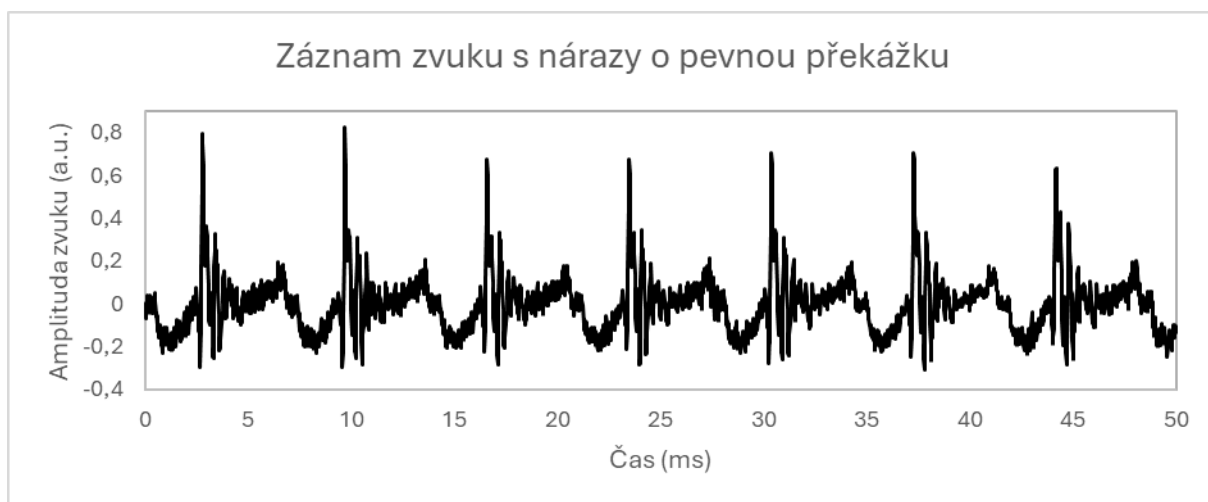


Obrázek 40. Uspořádání pokusu. Vlevo vypnutá gravírovačka, vpravo zapnutá gravírovačka.

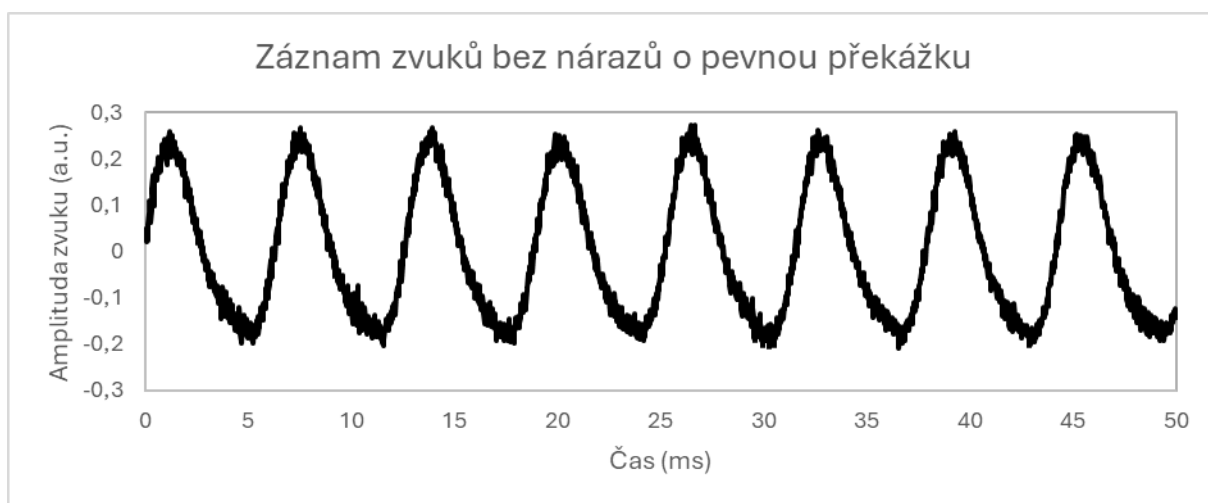
Poznámky

Dbejte na bezpečnost při experimentu. Gravírovačka může za určitých okolností být nebezpečným nástrojem. Zajistěte také, aby kousek izolepy byl dostatečně lehký a bezpečně připevněný, aby se během experimentu neuvolnil.

Pro analýzu signálu je důležité, aby okolní prostředí bylo co nejtišší. Rušivé zvuky mohou ovlivnit přesnost frekvenční analýzy. Pokud není záznam čistý, zkuste experiment opakovat v tichém prostředí nebo použijte kvalitnější mikrofón.



Obrázek 41. Data získaná při nárazech izolepy o pevnou podložku.



Obrázek 42. Data získaná bez nárazů izolepy o pevnou podložku.

Malusův zákon¹³

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 35 minut (15 minut měření, 20 minut zpracování a vyhodnocení)

Použité senzory: Senzor intenzity světla (funkce „Světlo“ v aplikaci Phyphox)

Kategorie: Optika

Potřeby: dva polarizační filtry, úhломěr, počítačový monitor (lineárně polarizovaný), mobilní telefon s aplikací Phyphox

Cíl experimentu: Experimentálně ověřit Malusův zákon.

Teorie:

Světlo je elektromagnetické vlnění, jehož elektrické a magnetické složky kmitají v různých rovinách. Přirozené světlo, například sluneční, je nepolarizované, což znamená, že jeho vektory elektrického pole kmitají ve všech možných směrech kolmých na směr šíření. Polarizace světla je proces, při kterém se kmitání elektrického pole omezí na jednu rovinu. Toho lze dosáhnout například průchodem světla polarizačním filtrem, který propouští pouze složku elektrického pole kmitající v určité rovině.

Malusův zákon popisuje, jak se mění intenzita lineárně polarizovaného světla při průchodu dalším polarizátorem v závislosti na úhlu mezi rovinou polarizace světla a osou propustnosti polarizátoru. Matematicky je vyjádřen vztahem

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

kde:

- I je intenzita světla po průchodu druhým polarizátorem,
- I_0 je intenzita dopadajícího (polarizovaného) světla,
- α je úhel mezi rovinou polarizace dopadajícího světla a osou propustnosti druhého polarizátoru.

Z tohoto vztahu vyplývá, že pokud jsou osy obou polarizátorů rovnoběžné ($\alpha = 0^\circ$), prochází maximální intenzita světla. Naopak, pokud jsou osy kolmé ($\alpha = 90^\circ$) světlo neprochází vůbec.

Postup experimentu:

Pro ověření Malusova zákona lze využít chytrý telefon vybavený senzorem okolního světla a dvěma polarizačními filtry. Senzor okolního světla v telefonu slouží k automatickému nastavení jasu displeje podle okolních světelných podmínek, ale lze jej použít i k měření intenzity světla.

Nejprve je třeba zjistit polohu senzoru okolního světla na vašem telefonu. To lze provést přiblížením malého světelného zdroje k různým částem přední strany telefonu a sledováním, kde dochází k největší změně jasu displeje nebo odezvy senzoru. Jakmile určíte polohu senzoru, umístěte první polarizační filtr před světelný zdroj tak, aby světlo procházející filtrem bylo lineárně polarizované. Druhý polarizační filtr (analyzátor) umístěte mezi první filtr a senzor okolního světla na telefonu. Ujistěte se, že světlo prochází oběma filtry a dopadá na senzor.

Pomocí experimentu „Světlo“ v aplikaci Phyphox zaznamenávejte intenzitu světla při různých úhlech natočení analyzátoru vůči prvnímu polarizátoru. Začněte s rovnoběžnými osami obou filtrů ($\alpha = 0^\circ$) a postupně otáčejte analyzátor o 10° až 15° až do dosažení 90° . Pro každý úhel zaznamenejte odpovídající intenzitu světla.

¹³ <https://phyphox.org/forums/showthread.php?tid=1221>, <https://arxiv.org/pdf/1607.02659>,
https://iris.unipa.it/retrieve/03a91491-ed9d-46bd-98d3-a2d42a4a5330/Malus_TPT_IRIS.pdf

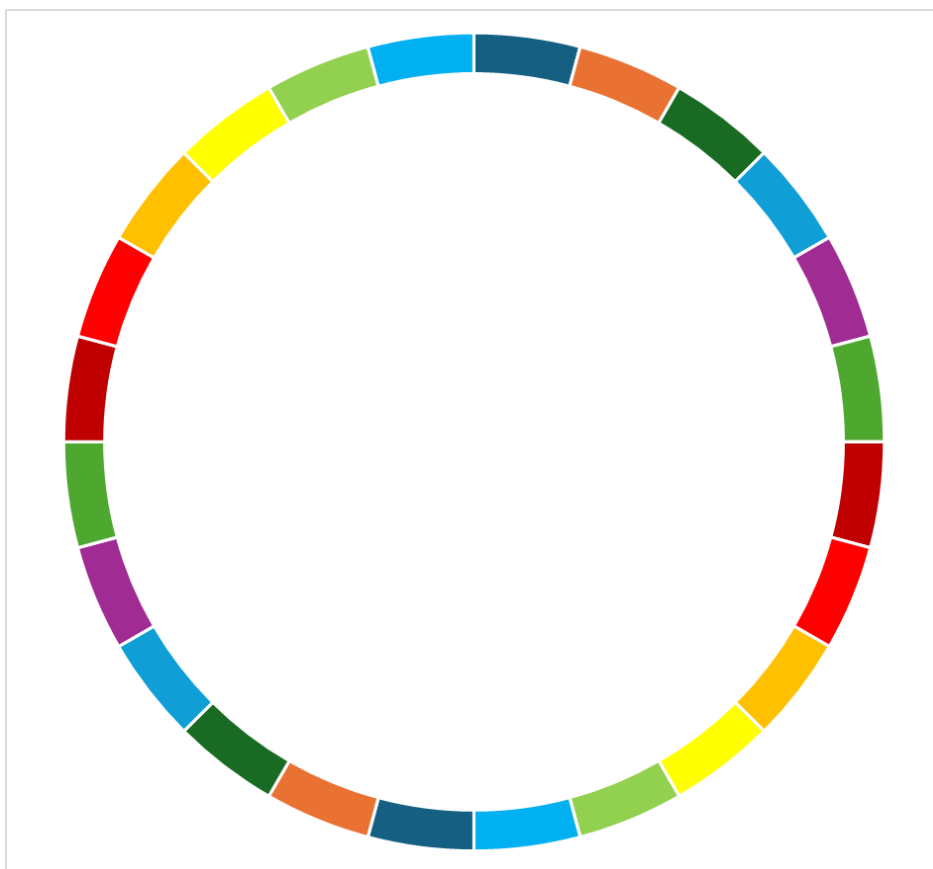
Naměřená data poté zpracujte tak, že vynesete graf závislosti intenzity světla na úhlu α . Podle Malusova zákona by měl mít graf tvar kosinové funkce na druhou (Obr. 46). Pro ověření teoretického předpokladu můžete naměřená data porovnat s touto funkcí.

Druhou (a jednodušší variantou) tohoto experimentu je použití lineárně polarizovaného světla z počítačového monitoru. Tím, že světlo z monitoru už je polarizované, nám bude stačit pouze jeden polarizační filtr. Na monitor si promítneme bílé pozadí (např. prázdnou stránku dokumentu MS Excel, na které si můžeme vytvořit úhlovou stupnici (Obr. 43). Před senzor světelné intenzity umístíme polarizační filtr a upevníme ho tam (Obr. 44). Následně s tímto seskupením otáčíme před monitorem a zaznamenáváme hodnoty (Obr. 45). Jako pomůcka pro určení úhlů nám může posloužit již zmiňovaný kruhový graf, který si vytvoříme např. v MS Excel (Obr. 43). Vzhledem k tomu, že světelný senzor je často umístěn v přední části mobilního telefonu, nebudeme moci jednoduše odečítat data z displeje, ale musíme využít vzdálený přístup, jak je popsáno v úvodu tohoto studijního textu, popř. v některých z předcházejících pokusů.

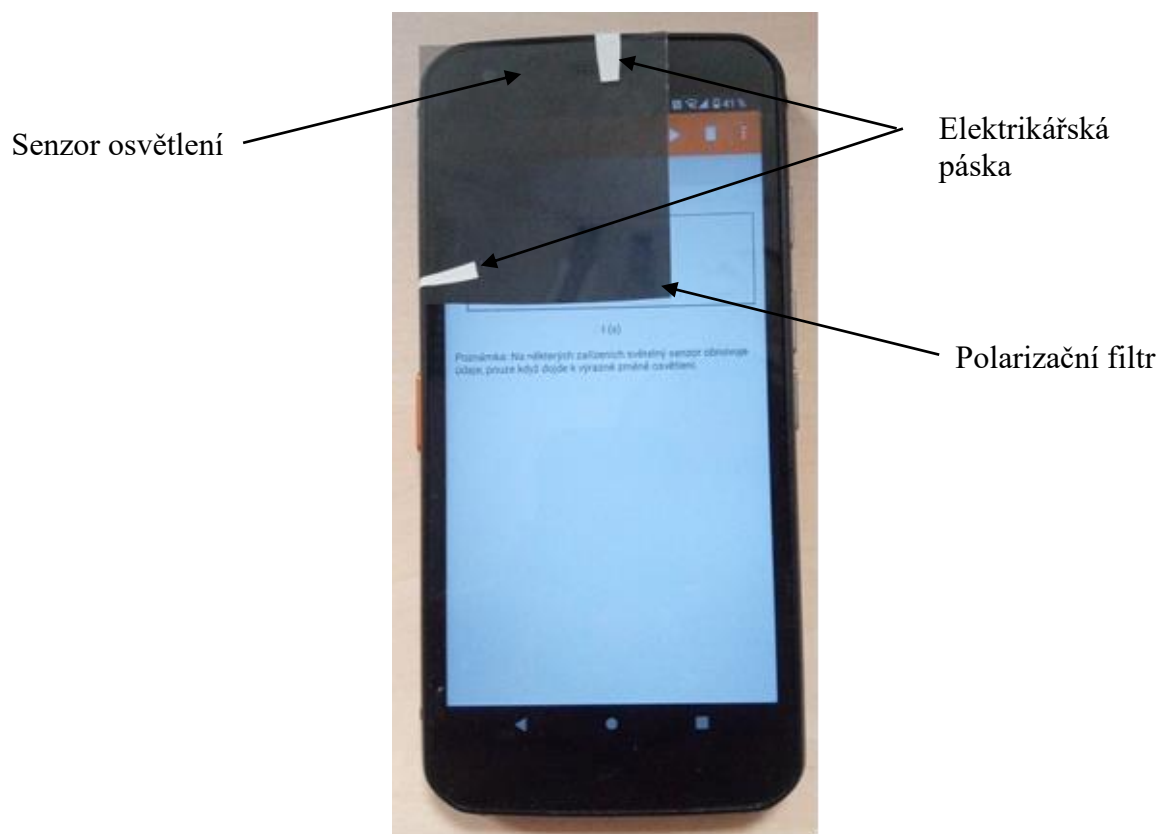
Poznámky:

Při provádění experimentu je důležité zajistit, aby na senzor okolního světla nedopadalo žádné (nebo alespoň co nejméně) jiné světlo než to, které prošlo oběma polarizačními filtry. Toho lze dosáhnout například zatemněním místnosti nebo použitím krytu kolem filtrační sestavy a senzoru. Dále je třeba dbát na přesné nastavení úhlů mezi polarizátory, což lze zajistit použitím úhloměru nebo jiného měřicího nástroje.

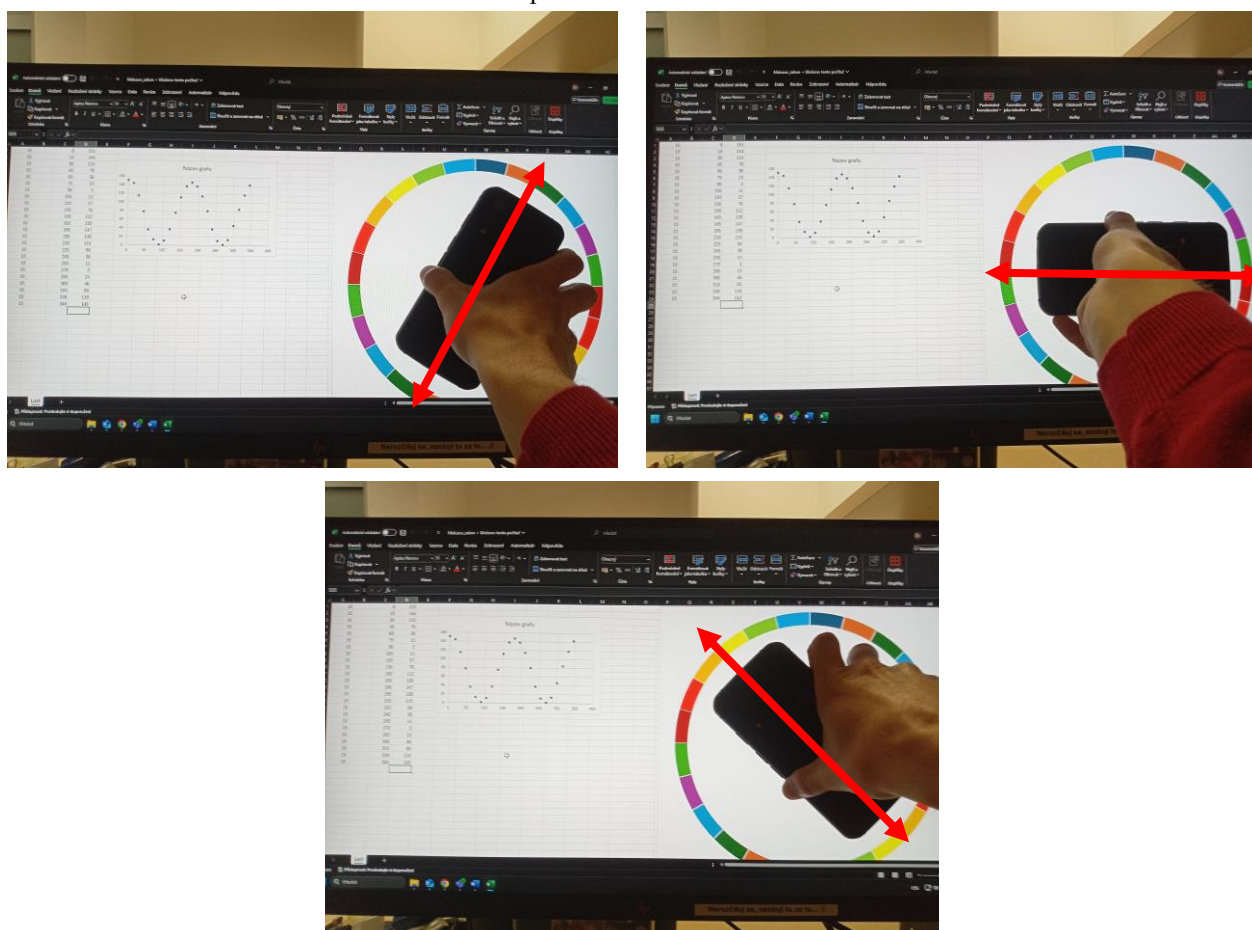
Můžeme si také ověřit, že přes polarizační filtr projde právě jedna polovina nepolarizovaného světla.



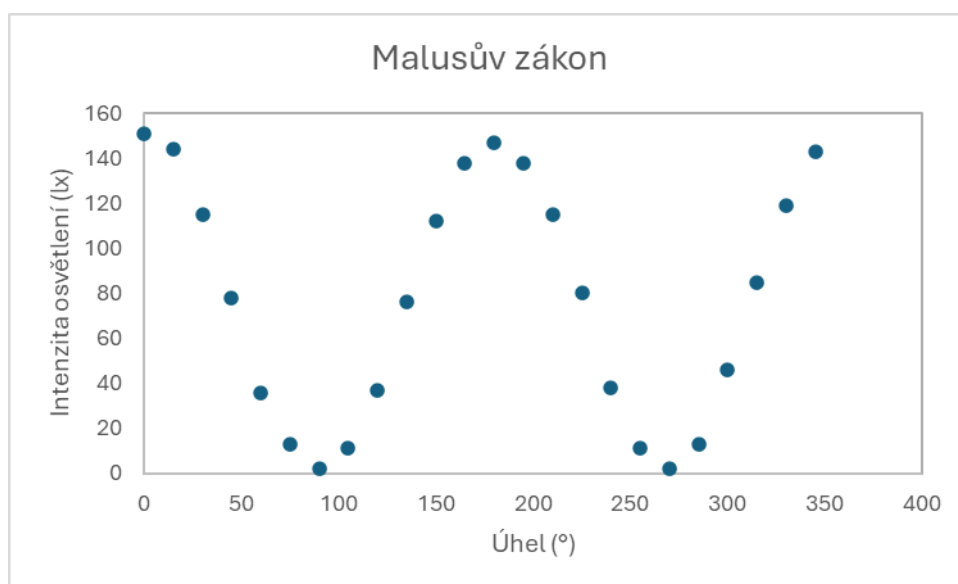
Obrázek 43. Kruhový graf zjednodušující polohování mobilního telefonu (otáčení o 15° v jednotlivých krocích).



Obrázek 44. Umístění polarizačního filtru na mobilní telefon.



Obrázek 45. Postupné otáčení mobilním telefonem před monitorem.



Obrázek 46. Výsledek měření.

Oerstedův experiment ¹⁴

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 15 minut (5 minut příprava, 10 minut měření a vyhodnocení)

Použité senzory: Senzor magnetického pole (funkce „Magnetometr“)

Kategorie: Elektřina a magnetismus

Potřeby: měděný drát, tužková baterie (popř. více různých druhů baterií), aplikace Phyphox, magnet

Cíl experimentu: Provést Oerstedův experiment.

Teorie

Magnetické senzory v chytrých telefonech, běžně využívané k navigaci, jsou tři na sebe navzájem kolmé senzory, které detekují magnetické pole (většinou Země). Umožňují tak určit orientaci telefonu vůči severu. To je klíčové pro navigační aplikace, jako jsou Mapy.cz nebo Google Maps, které používají senzor pro přesné směřování.

Tyto senzory lze ale použít i pro fyzikální experimenty. Jeden z nejdůležitějších objevů v historii fyziky – Oerstedův experiment – ukazuje, že elektrický proud ve vodiči vytváří magnetické pole. Tento vztah mezi elektrickým a magnetickým polem je základem elektromagnetismu.

Vodič s protékajícím elektrickým proudem generuje magnetické pole, jehož směr lze určit pravidlem pravé ruky: pokud uchopíme vodič tak, že palec ukazuje směr proudu, prsty obepínající vodič naznačí směr magnetického pole. V následujícím experimentu můžeme pozorovat změny směru magnetického pole v závislosti na velikosti elektrického proudu a jeho orientaci.

Postup

Nejprve určujeme polohu magnetického senzoru v chytrém telefonu. To lze provést tak, že zapneme aplikaci Phyphox, zapneme experiment „Magnetometr“ a po jeho spuštění tlačítkem „Play“ vpravo nahoře umístíme kolem telefonu malý magnet. Magnetický senzor telefonu je umístěn tam, kde je detekován maximální magnetický tok. Pozor, magnet by neměl být příliš blízko telefonu, aby nedošlo k ovlivnění vnitřních procesů přístroje (navíc některé telefony automaticky přeskálávají, pokud je údaj moc velký).

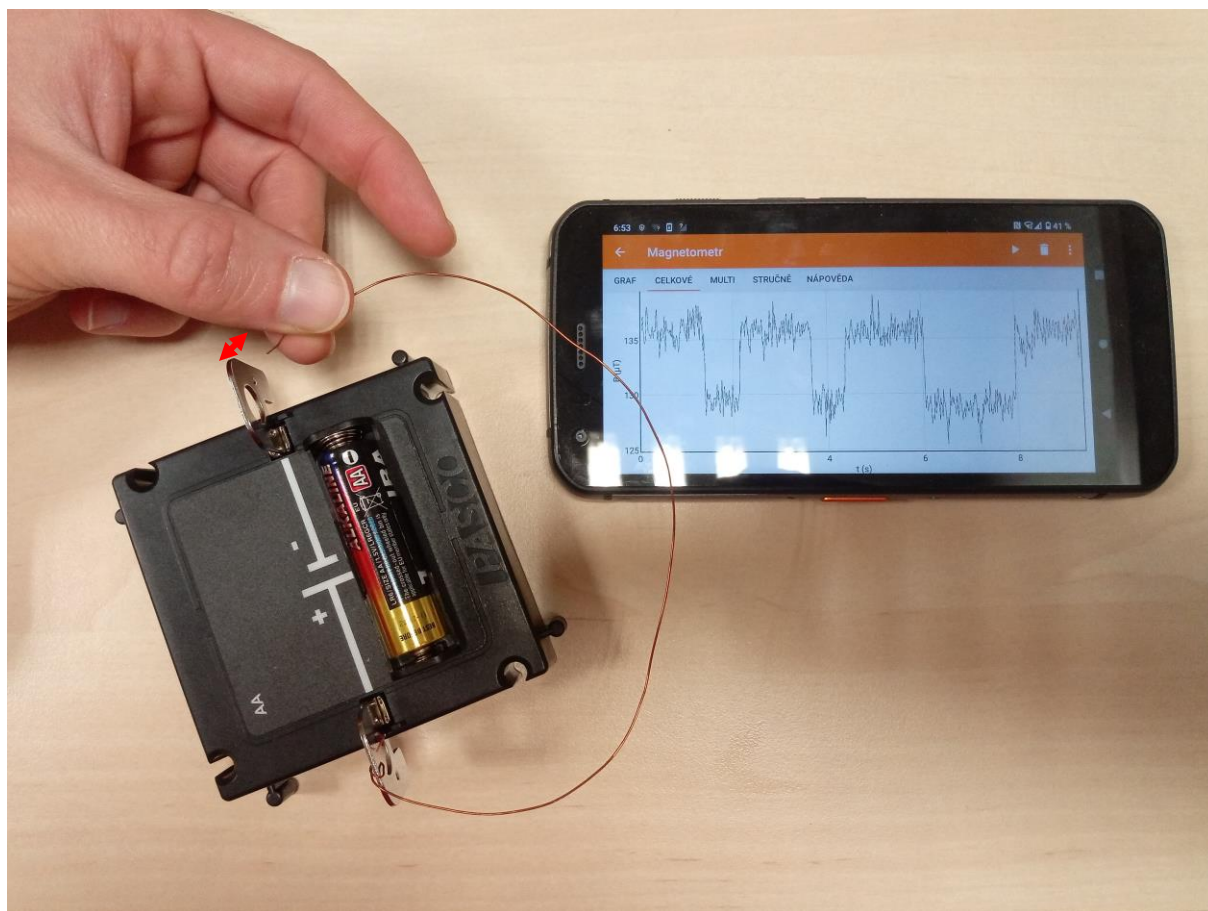
Poté umístíme vodič přesně nad magnetický senzor telefonu. K oběma koncům baterie přiložíme drát (čímž zapneme stejnosměrný proud) a sledujeme změny v amplitudě magnetického pole, které aplikace zobrazuje (Obr. 47). Můžeme experimentovat s různými směry vodiče, typem baterií (neboli velikostí proudu) apod.

V popsaném experimentu jsme zkratovali baterii v důsledku čehož se začne zahřívat. Je tedy dobré ji nedržet v rukou. Případně můžeme do obvodu sériově zapojit odpor (žárovku).

Poznámky

Tento experiment je převážně kvalitativní, jeho cílem je ukázat souvislost mezi elektrickými a magnetickými poli. Přesné měření hodnot zde není nutné, důraz je kladen na pozorování a pochopení velikosti a směru magnetického pole. Díky jednoduchému vybavení je vhodný pro demonstrační účely i praktické úlohy pro studenty.

¹⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=TGn5sH04XbM>, magnetické pole Země:
<https://www.youtube.com/watch?v=AW8IuI-GHSY>,
https://www.researchgate.net/publication/300501285_Smartphone_a_new_device_for_teaching_Physics,
https://archive.thepocketlab.com/sites/default/files/2018-05/Lesson%20Details_1.pdf



Obrázek 47. Uspořádání pokusu.

Zákon převrácených čtverců (intenzita světla)¹⁵

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 20 minut (5 minut příprava, 15 minut měření a vyhodnocení)

Použité senzory: Senzor intenzity světla (funkce „Světlo“)

Kategorie: optika

Potřeby: aplikace Phyphox, zdroj světla (žárovka, LED), pravítko, nebo metr

Cíl experimentu: Prokázat zákon převrácených čtverců pro intenzitu světla a magnetické pole.

Teorie

Světelný senzor, který je běžnou součástí chytrých telefonů, slouží k přizpůsobení jasu obrazovky okolnímu světlu, čímž šetří baterii a zlepšuje viditelnost za různých podmínek. Tento senzor funguje jako luxmetr a pomocí různých aplikací je možné kvantitativně měřit intenzitu světla dopadajícího na tento senzor. Vyzkoušet jeho funkčnost si můžeme na jednoduchém experimentu, který můžeme provést před hlavním pokusem. Mobilní telefon položíme na podložku a nad něj umístíme zdroj světla. V experimentu „Světlo“ přejdeme na záložku „Stručně“ a změříme intenzitu dopadajícího světla. Senzor pak překryjeme papírkem, který světlo částečně propouští (jedna vrstva papírového kapesníčku, pečící papír apod.) a odečteme hodnotu, kterou si zapíšeme. Poté přidáváme po jednom další a další papírky. Nakonec můžeme vynést do grafu závislost intenzity světla na množství papírků.

Ted' už přejdeme k zákonu převrácených čtverců u závislosti intenzity světla na vzdálenosti. Pokud uvažujeme lampu jako bodový zdroj světla, její záření se šíří ve formě kulové vlny. Světelný senzor, vzhledem k jeho malé ploše ve srovnání s celkovou plochou kulové vlny, lze považovat za bodový detektor. Intenzita detekovaná senzorem odpovídá výkonu světla vydávaného lampou dělenému plochou koule, jejíž poloměr odpovídá vzdálenosti senzoru od zdroje světla. Intenzita světla měřená chytrým telefonem v závislosti na vzdálenosti senzoru od zdroje světla bude tedy následovat zákon inverzní druhé mocniny vzdálenosti. To znamená, že intenzita světla se bude s rostoucí vzdáleností od zdroje snižovat úměrně čtverci vzdálenosti.

Postup experimentu

Umístěte světelný zdroj na pevnou pozici a zajistěte jej (uspořádání pokusu je zobrazeno na Obr. 48). V chytrém mobilu spusťte aplikaci Phyphox a zvolte experiment „Světlo“. Přejděte na záložku „Stručně“. Přibližujte nebo vzdalujte (podle původního umístění) chytrý telefon od zdroje světla. V určitých intervalech (např. po třech cm) vzdálenosti odečtěte hodnotu intenzity světla zobrazenou aplikací. Dejte si pozor, aby senzor intenzity světla vždy směřoval ke zdroji světla.

Po doměření vykreslete graf závislosti intenzity světla vzdálenosti (Obr. 49). Výsledný graf je možné nafitovat inverzní kvadratickou funkcí. Případně můžete do grafu vynést závislosti intenzity světla na čtverci inverzní vzdálenosti (v tomto případě by graf mělo být možné proložit přímkou).

Při práci s žárovkami si dávejte pozor na jejich vysokou teplotu a tudíž riziko spálení se. Z tohoto důvodu je vhodnější použít vysokointenzivní LED světelné zdroje, které jsou bezpečnější a jednodušší na manipulaci.

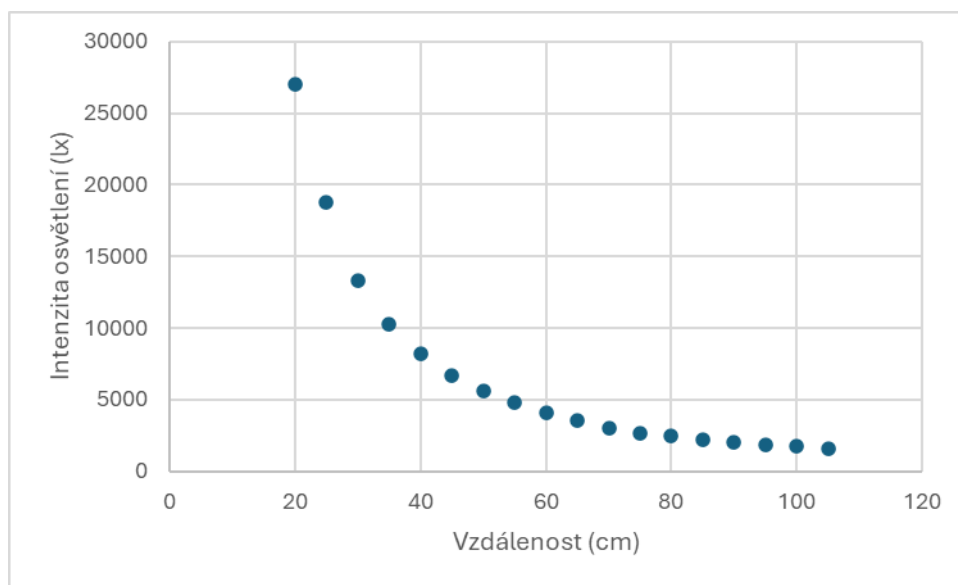
¹⁵ <https://spark.iop.org/smart>,
https://www.researchgate.net/publication/300501285_Smartphone_a_new_device_for_teaching_Physics,

Poznámky

Dbejte na to, aby byla zajištěna co největší přesnost při měření vzdáleností mezi senzorem a zdrojem světla. Pokud používáte LED zdroje, zkontrolujte jejich intenzitu, aby byla dostatečná pro měření i na větších vzdálenostech.



Obrázek 48. Uspořádání experimentu (žárovka po naměření hodnot praskla, bohužel ale před touto fotografií, proto není rozsvícená).



Obrázek 49. Závislost intenzity osvětlení na vzdálenosti od žárovky.

Intenzita magnetického pole permanentního magnetu¹⁶

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 25 minut (10 minut měření, 15 minut vyhodnocení)

Použité senzory: Magnetometr

Kategorie: magnetismus

Potřeby: chytrý telefon s aplikací Phyphox, pravítko ,nebo metr, silný magnet (například neodymový)

Cíl experimentu: Experimentálně ověřit, že intenzita magnetického pole permanentního magnetu klesá se třetí mocninou vzdálenosti.

Teorie:

Magnety, od tradičních tyčových magnetů po moderní neodymové magnety, fascinují lidi od jejich objevu. Síla přitažlivosti nebo odpudivosti mezi dvěma magnety (neboli magnetickými dipóly) se výrazně mění s jejich vzájemnou vzdáleností. Na rozdíl od bodového zdroje (například elektrického náboje), jehož pole klesá s druhou mocninou vzdálenosti ($1/r^2$), dipólové pole je složitější. Už v roce 1777 Charles Coulomb pomocí torzních vah ukázal, že intenzita pole permanentního magnetu klesá se třetí mocninou vzdálenosti. To můžeme vyjádřit vztahem

$$B \propto 1 / r^3$$

kde B je magnetická indukce a r je vzdálenost od magnetu. Pojd'me si to nyní experimentálně ověřit.

Postup

Umístěte magnet na pevný povrch, například na stůl, a zajistěte, aby se během měření nepohyboval. Označte si referenční bod, od kterého budete měřit vzdálenost. Spust'te na svém telefonu aplikaci Phyphox a vyberte experiment "Magnetometr". Před zahájením měření zkalibrujte senzor podle pokynů, které najdete v záložce „Nápověda“, aby byla zajištěna přesnost naměřených hodnot.

Umístěte telefon tak, aby byl ve vybrané vzdálenosti od magnetu (např. 5 cm). Zaznamenejte hodnotu magnetické indukce zobrazenou v aplikaci. Poté postupně zvyšujte vzdálenost (např. o 5 cm) a pro každou vzdálenost zaznamenejte příslušnou hodnotu magnetické indukce. Pokračujte v měření až do vzdálenosti, kde je magnetické pole srovnatelné s hodnotou okolního magnetického pole.

Získaná data zpracujte tak, že od naměřených hodnot magnetické indukce odečtete hodnotu okolního magnetického pole (tzv. pozadí), které zjistíte měřením ve velké vzdálenosti od magnetu.

Nyní máme v podstatě dvě možnosti, jak nasbíraná data zobrazit. Buď uděláme klasický graf, ve kterém na ose x vyneseme vzdálenost a na ose y magnetickou indukci. V tomto případě nám vyjde graf, který je možné nafitovat inverzní kubickou funkcí. Druhou možností je vykreslit graf závislosti magnetické indukce na třetí mocnině inverzní vzdálenosti (B vs. $1/r^3$). Pokud data sledují lineární trend, potvrzuje to platnost vztahu $B \propto 1/r^3$.

Poznámky:

!!! Při manipulaci se silnými magnety buďte opatrní, aby nedošlo k poranění prstů nebo poškození elektronických zařízení v blízkosti.!!!

¹⁶ <https://archive.thepocketlab.com/sites/default/files/2018-04/Lesson%20Details.pdf>,
<https://is.muni.cz/el/sci/podzim2008/G8311/um/Geomagnetismus1.pdf>

Pokuste se minimalizovat rušení z okolních magnetických zdrojů, které by mohly ovlivnit výsledky. Pokud naměřené hodnoty neodpovídají očekávanému vztahu, zvažte možné zdroje chyb, jako je nepřesné měření vzdálenosti, přítomnost kovových předmětů v okolí nebo nesprávná kalibrace senzoru.

Dopplerův jev¹⁷

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 30 minut

Použité senzory: Mikrofon, reproduktor

Kategorie: Akustika

Potřeby: dva chytré telefony s aplikací Phyphox (jeden jako měřicí zařízení, druhý jako zdroj zvuku), nit, igelitový sáček, stojan

Cíl experimentu:

Cílem experimentu je měřit změnu frekvence referenčního signálu způsobenou Dopplerovým jevem a určit relativní rychlost mezi telefonem a zdrojem signálu.

Teorie

Dopplerův jev je fyzikální jev, který popisuje změnu frekvence vlnění (např. zvuku nebo světla) při relativním pohybu zdroje vlnění a pozorovatele. Pokud se zdroj zvuku přibližuje k pozorovateli, frekvence se zvyšuje, a naopak, pokud se vzdaluje, frekvence se snižuje. Tento jev můžeme pozorovat i v běžném životě, klasickým příkladem je poslouchání zvuku sirén sanitky, která se pohybuje směrem k nám, nebo od nás, popř. při měření rychlosti vozidel. Ve vědeckém světě se Dopplerův jev využívá např. u astronomických měření.

Postup

Pro experiment budete potřebovat dva chytré telefony. Jeden bude sloužit jako zdroj zvuku, druhý jako měřicí zařízení. Pokud nemáte druhý telefon, můžete použít přehrávač zvuku, například MP3 přehrávač, který přehrává sinusový signál s konstantní frekvencí (doporučená frekvence je 1000 Hz).

Nejprve nastavte zdroj zvuku. Ujistěte se, že frekvence signálu je stabilní a odpovídá nastavení měřicí aplikace. Druhý telefon nastavte jako měřicí zařízení s otevřenou aplikací Phyphox a vyberte experiment „Dopplerův jev“. V aplikaci nastavte základní frekvenci na 1000 Hz nebo jinou odpovídající frekvenci.

Umístěte zdroj zvuku a měřicí telefon do (co nejvíce) klidného prostředí. Experiment provádějte tak, že buď pohybuje zdrojem zvuku vůči měřicímu telefonu, nebo naopak telefonem vůči stacionárnímu zdroji. V našem případě zavěsíme mobilní telefon, který bude zdrojem zvuku, jako kyvadlo.

Během experimentu sledujte graf v aplikaci, který ukazuje změny frekvence a vypočítává relativní rychlost. Při zvyšování rychlosti pohybu zaznamenáte větší odchylku od základní frekvence.

Poznámky

Pro přesné výsledky je důležité, aby bylo prostředí co nejtišší. Rušivé zvuky, například mluvení nebo hluk motorů, mohou zkreslit naměřená data. Pokud je šum v pozadí příliš vysoký, použijte externí mikrofon nebo zvýšte hlasitost zdroje zvuku.

Nestabilita výsledků může být způsobena špatně nastavenou základní frekvencí nebo příliš velkým rušením. V takovém případě můžete použít experiment „Zvukové spektrum“ v aplikaci Phyphox pro přesné určení frekvence zdroje, který je v klidu.

Pokud zařízení detekuje rychlost i při absenci pohybu, je pravděpodobné, že základní frekvence zdroje není přesně nastavena. Upravte ji ručně nebo proveďte novou kalibraci.

¹⁷ Anglický návod na https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment:_Doppler_Effect

Sonar¹⁸

Úroveň: Střední škola

Časová náročnost: 30–45 minut

Použité senzory: Mikrofon, reproduktor

Kategorie: Akustika

Potřeby: Mobilní telefon s aplikací Phyphox, pěnový materiál (např. z obalů), tlusté oblečení nebo polštáře k izolaci zvuku, rovná odrazná plocha (např. plochý plechový tác), metr (k ověření výsledku)

Cíl experimentu:

Cílem experimentu je ukázat princip měření vzdálenosti pomocí zvuku (sonaru).

Teorie:

Sonar je metoda, která využívá zvukové vlny k detekci a měření vzdáleností objektů. Zvukové impulsy jsou vysílány do prostoru a následně se odrazí od překážek zpět ke zdroji. Doba mezi vysláním impulzu a zachycením ozvěny se přepočítává na vzdálenost pomocí známé rychlosti zvuku. Tento princip využívají zvířata, jako jsou netopýři nebo delfini, stejně jako technologie v námořnictví nebo průmyslu, například k mapování mořského dna.

Aplikace Phyphox umožňuje využít reproduktor mobilního telefonu k vysílání krátkých zvukových impulsů a mikrofon k záznamu ozvěn. Z výsledných dat lze určit vzdálenosti k odrazným plochám a pozorovat jejich změny.

Postup:

V aplikaci Phyphox zvolte experiment "Sonar". Telefon umístěte do improvizované zvukové izolace vytvořené z pěnového materiálu, polštářů nebo tlustého oblečení, přičemž nechte jednu stranu volnou směrem k odrazné ploše. Tuto zvukovou izolaci potřebujeme z toho důvodu, abychom dostávali co nejméně zvukových odrazů od okolních stěn, objektů apod. Jako odraznou plochu lze použít rovný plechový tác nebo jiný pevný materiál.

Pro jednodušší ovládání můžete zvolit vzdálené ovládání, jehož nastavení je popsáno v úvodu tohoto materiálu. Spustěte experiment v aplikaci. Telefon začne vysílat opakované zvukové impulsy (tzv. "chirp", zvukový signál s rychle stoupající frekvencí od 1 kHz do 4 kHz) a současně zaznamenávat ozvěny pomocí mikrofonu. Vzhledem k tomu, že tento zvuk je velmi specifický, dokáže ho telefon rozeznat od ostatních zvuků v okolí. Aplikace zobrazuje grafy ukazující vzdálenosti, na kterých byly ozvěny zachyceny. Pohybujte odraznou plochou a sledujte, jak se odpovídající špičky v grafu mění s její vzdáleností od telefonu.

Zpracování dat zahrnuje výpočet korelace mezi vyslanými impulzy a zaznamenanými ozvěnami. Největší korelace odpovídá přímé trase od reproduktoru k mikrofonu, která se považuje za počáteční bod měření. Doba ozvěny je přepočítána na vzdálenost pomocí rychlosti zvuku ve vzduchu (343 m/s) a výsledky jsou děleny dvěma, aby odpovídaly skutečné vzdálenosti.

Poznámky:

Pro dosažení nejlepších výsledků provádějte experiment v co nejvíce klidném prostředí. Pokud jsou výsledky zkreslené nebo nepřesné, zvýšte hlasitost telefonu nebo použijte externí reproduktor a mikrofon. Náhodné špičky v grafech mohou být způsobeny hlukem, zatímco pevné špičky na stejných místech často indikují špatnou zvukovou izolaci.

¹⁸ Demonstrační videa (v angličtině a němčině): <https://www.youtube.com/watch?v=Ebj3v701HE0>, <https://www.youtube.com/watch?v=3JtJoJAAGKU>

Anglický návod na <https://phyphox.org/wiki/index.php/Experiment:Sonar>

Další náměty

Měření magnetického pole nízkofrekvenčního LC obvodu¹⁹

Měření úhlového zrychlení²⁰

<https://annas-archive.org/scidb/10.1119/1.4967895>

[youtube.com/watch?v=wUAFem8eEKI](https://www.youtube.com/watch?v=wUAFem8eEKI) (řešení [youtube.com/watch?v=-8MO0Uacn5w](https://www.youtube.com/watch?v=-8MO0Uacn5w))

<https://ucscphysicsdemo.sites.ucsc.edu/physics-5b6b-demos/sound-interference-two-point-spacial/>

Přidat

- Anlink
- QR kód při vzdáleném přístupu
- dodělat do 20 pokusů
- zkusit najít ke každému čidlu (experimentu) pokus - např. pohybové stopky
- balonek prásknout zapalovačem
- rotace na židli – různě natáhnout ruku, mezitím pauznout - je vidět rozdíl při jiných poloměrech – dalo by se ukázat, že závislost na r je lineární?
- měření g jednodušeji - <https://www.youtube.com/watch?v=XnuKu2r37hQ>
- Oersted - 24:56 - <https://www.youtube.com/watch?v=sGAZQNUBYCc>
- Dopplerův jev ve spektru zvuků -> historie?
-

¹⁹

https://www.researchgate.net/publication/364080004_Measuring_the_magnetic_field_of_a_low_frequency_LC-circuit_with_phyphox/fulltext/633e625f2752e45ef697c17c/Measuring-the-magnetic-field-of-a-low-frequency-LC-circuit-with-phyphox.pdf

²⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=BKYnBN2Iouc>

Reference a užitečné odkazy

<https://pubs.aip.org/aapt/pte/article-abstract/58/4/278/674495/Corkscrewing-and-speed-of-sound-A-surprisingly?redirectedFrom=fulltext>,
<https://www.youtube.com/watch?v=QYF0bw6l0Ww>,
<https://phyphox.org/forums/showthread.php?tid=776>
https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page
https://phyphox.org/wiki/index.php/Category:Built-in_experiments
https://phyphox.org/wiki/index.php/Category:User_experiments