

## **„Prvé Komenského fyzikálne divadlo v 21. storočí“ SCHOLA LUDUS – TELEFÓÓN, alebo niečo o tom ako sa vyvíjalo posielanie správ...**

Andrea Marenčáková, Katarína Teplanová

Cieľom programu je oživiť školskú výučbu netradičnými neformálnymi postupmi, alternatívnymi koncepciami a materiálmi, tak aby sa škola stala „hrou a skutočnou dielňou múdrosti a ľudskosti“.

Projekt nadväzuje na skúsenosti, ktoré SCHOLA LUDUS získala v doterajšej činnosti - pri tvorbe a realizácii interaktívnych výstav, vzdelávacích filmov, televíznych vstupov, práce s učiteľmi ako aj zahraničné trendy, kde neformálne vzdelávacie postupy majú zelenú.

Prvé pripravené predstavenie je určené žiakom druhého stupňa základných a stredných škôl ako motivácia k objavovaniu a systematickému experimentovaniu a súčasne ako pomôcka pre žiakov a učiteľov k priamej podpore výučby tematického okruhu ZVUK. Samotné predstavenie trvá približne 25 minút. Predstavenie má slúžiť aj ako inšpirácia pre žiakov, ktorí sa prihlásia do záujmových krúžkov SCHOLA LUDUS: Vedecké divadlo.

Do zdramatizovaného programu (Príloha) sú zaradené jednoduché fyzikálne demonštrácie, ktoré pokrývajú značnú časť učiva na ZŠ a SŠ - *zdroje a šírenie zvuku v rôznych prostrediach; frekvencia a amplitúda zvukovej vlny; výška a hlasitosť zvuku; usmernenie, odraz a pohlcovanie zvuku rôznymi materiálmi; rýchlosť zvuku v rôznych prostrediach, vplyv teploty a hustoty prostredia na rýchlosť zvuku, tlakový a vlnový model zvuku.*

Séria nasledujúcich experimentov, s výnimkou prvého, je podľa nás vhodná aj na podporu systematického budovania pochopenia mechanickej povahy zvuku.

1. Rijkeho trubica a „Spievajúce hadice“. Atraktívne demonštrácie sú zaradené do programu, z hľadiska možnosti žiakov pochopiť fyzikálny proces, „predčasne“. Demonštrácie spolu so spôsobom ich uvedenia na scéne (pozri Prílohu) slúžia na vyvolanie záujmu žiakov o pochopenie zložitého procesu. (Očakáva sa nie jednorazová, ale dlhodobější motivácia.)

2. Amplión a veľké ucho. Spravíme ho rukami, prípadne papierovou rolkou, či iným kuželom. Ak sa použije tento experiment ako jeden z prvých, je vhodné ho pripomenúť aj po sérii pokusov 4, 5, 6, 7, ktorými sa môže naplniť pochopenie, prečo je zvuk usmerniteľný.

3. „Zvony“. Rôzne dlhé kovové rúry z jedného materiálu sa hádžu vo vodorovnej polohe na zem. Po dopade počuť tóny rôznej výšky – dlhšia rúra vydáva nižší tón. Pri dopade sa najskôr rozkmitajú molekuly kovu a až od nich okolitý vzduch. V „uzavretom“ priestore vo vnútri rúry sa vytvorí stojaté „vlnenie“ - polvlna (ktorú nepočuť), celá vlna, 2/3 vlny atď., s vlnovou dĺžkou  $\lambda = 2 \cdot l / n$ ,  $l$  je dĺžka rúry,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Pri dlhšej rúre je teda vlnová dĺžka väčšia, alebo inak, frekvencia  $f = v / \lambda$  menšia. Počuť nižší - hlbší tón. K výkladu o vlnových dĺžkach má zmysel pristúpiť až po zavedení modelov zvuku (experimenty 8, 9). „Zvony“ možno využiť aj na sledovanie doby znenia - útlmu.

4. „Lodný telefón“. Dve osoby komunikujú cez duté kovové rúry (použiť možno rúry rôznej dĺžky a priemerov). Pri dutej rúre, možno počuť zvuk dvakrát, najskôr zvuk šíriaci sa kovem, potom zvuk šíriaci sa vzduchom. Možno si vypočítať aká by mala byť minimálna dĺžka rúry, aby sme zvuk počuli dvakrát. Ucho je schopné rozlíšiť dva rôzne zvuky, ak čas, ktorý uplynie medzi ich dopadom na ušný bubienok, je dlhší ako  $3 \cdot 10^{-5}$  s. Rýchlosť šírenia zvuku v kovoch je  $\approx 5000$  m/s, vo vzduchu  $\approx 340$  m/s. Zo vzorca  $s = v \cdot t$ , dostávame minimálnu dĺžku rúry  $\approx 1,5$  m.

Výhodou šírenia zvuku v dutine rúry v porovnaní so šírením zvuku v otvorenom priestore je, že v rúre je zvuk usmernený. Neustále nárazy molekúl vzduchu na steny rúry ale spôsobujú, že časť zvukovej energie sa odovzdáva časticiam z kryštalickej mriežky rúry. Rúra sa nepatrne zahrieva, zvuková energia sa znižuje. (A čo tak používať na prenos zvuku rúry plné?)

5. „Šepkanie do dlaní“. Dajte si ruku pred ústa a nahlas začnite niečo rozprávať. Na dlani môžete cítiť (okrem tepla) aj jemné nárazy vyvolané chvením - zmenami tlaku.

6. Tancujúca bublina. Trúbime na trúbku, ktorej koniec sme predtým ponorili do mydlinového roztoku. Zvuk prechádza aj cez vyfúknutú mydlovú blanu, ktorou je uzavretý otvor trúbky. Okrem zvuku, ktorý počujeme, môžeme sledovať aj vlnivý pohyb blany vyvolaný zvukom. Bublina tancuje - kmitá - dôsledkom opakovaných tlakových zmien. Podobne sa správa aj membrána - dno nádoby pri nitkovom telefóne (experiment 7), membrána reproduktora, mikrofónu, ...

7. Nitkové telefóny. Pripravíme si (aspoň) dve súpravy telefónov, jednu s nádobkami s malou výškou plášťa oproti priemeru dna; druhú naopak s pomerne malým priemerom, ale s vysokou stenou plášťa (Obrázok). Ktorá súprava prenáša zvuk lepšie? Obvyklou je (mylná) hypotéza: „V nádobke s malou výškou oproti polomeru by sa mal tlak vzduchu v jej vnútri veľmi rýchlo vyrovnáť s okolitým tlakom, kým v hlbokjej dutine dochádza k zosilneniu zvuku rezonanciou.“ Pokusmi sa možno presvedčiť, že „dobré“ môže fungovať aj prvá sústava. Pre prenos zvuku je rozhodujúce dno nádoby, ktoré plní funkciu membrány. Plášť funguje ako usmerňovač a ozvučnica. Nádoby by mali byť dosť tvrdé na to, aby sa v ruke nestlačili, ale dno dosť pružné, aby sa energeticky slabými tlakovými vlnami vzduchu rozkmitalo. [1] Rozhovor cez „telefón“ s valcovou nádobkou znie akoby zo suda, zosilnený je iba tón s vlastnou frekvenciou nádoby. (Zlepší sa funkcia telefónu keď nahradíme pôvodné dno nádoby balónovou blanou? Ďalšie alternatívy: nitkový telefón s mokrou šnúrou; „drôtový“ telefón bez elektriny.)

Kombinácia experimentov 4, 5, 6 a 7 je vhodná na priblíženie mechanickej povahy zvukových vln v tekutinách (vzduchu + kvapalinách).



Obrázok: Ktorá súprava telefónov prenáša zvuk lepšie?



8. Model vlnenia 1. Špirálu (umelohmotnú či kovovú z obchodu s hračkami) máme položenú na stole. Oba konce držíme v rukách, jednou rukou „kmitáme“ v pravidelnom rytme doprava a doľava tak, aby boli viditeľné zhustenia a zriedenia závitov špirály a ich prenos špirálou. Podobne dochádza k zhusťovaniu a zriedovaniu (veľkého množstva) molekúl vzduchu, keď nimi prechádza zvuková vlna vo voľnom priestore. Priestorom sa nepresúvajú molekuly vzduchu, ale rozruch, ktorý vyvoláva proces – opakované, postupne tlmené, zhusťovanie a zriedovanie molekúl vzduchu, až kým sa prostredie nedostane do pôvodného stavu. Takto použitá špirála predstavuje model šírenia pozdĺžnych zvukových vln v plynch a kvapalinách (kým v tuhých látkach, okrem pozdĺžneho šírenia, sa zvuk prenáša cez väzby medzi molekulami aj do priečného smeru).

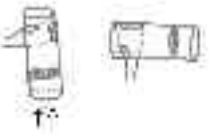

9. Model vlnenia 2. Dlhú gumenú hadicu alebo lano držia dve osoby na jej koncoch a jeden ňou hore-dolu kmitá (jeden koniec môže byť aj napevno priviazaný). V závislosti od rýchlosti kmitania sa môže na hadici vytvoriť stojatá pol vlna, celá vlna, aj násobky  $n \cdot \lambda / 2$ . Hadicový model sa uvádza v gymnaziálnych učebniciach. Môže byť zavádzajúci, pretože nemodeluje šírenie zvukových - tlakových - vln prostredia, ale na príklade stojatej vlny pomáha priblížiť základné pojmy opisujúce vlnenie - vlnovú dĺžku, amplitúdu, uzly, kmitne a frekvenciu (koľkokrát za sekundu prejde hadica v miestach mimo uzlov cez rovnovážnu polohu). Pri jeho použití treba zdôrazniť, že v skutočnosti sa pri šírení zvuku v látkach molekuly nepohybujú po „sínusovkách“. Sínusovka znázorňuje len časový priebeh tlaku v jednom bode priestoru. V závislosti od rýchlosti šírenia zvuku vo vzduchu k takýmto harmonickým tlakovým zmenám dochádza v každom bode priestoru, ktorým sa zvuk postupne šíri.

Po tomto pokuse je dobré vrátiť sa k pokusu „Zvony“ (experiment 3) a v rámci neho ku kvalitatívnemu hodnoteniu - „dlhšia rúra - nižší tón“ a pre žiakov stredných škôl následne zaviesť vzťah medzi dĺžkou rúry a jej vlnovou dĺžkou.

Scenár obsahuje okrem humorných situácií aj historické prvky: napríklad objav telefónu v roku 1875 Alexandrom Bellom [2] i zmienku o mobilnom telefóne. Experimenty možno doplniť aj „rozobraným“ klasickým telefónom.

Príloha: Ukážka zo scenára:

Rozprávač	1. účinkujúci	2. účinkujúci	Scénky	Ilustrácie
Dobrý deň, dnes sa vám budeme snažiť predstaviť vývoj posielania správ a ako sme prišli k telefónom.				
Človek postupne zisťoval, že na svete nie je sám a občas by mu pomohlo podeliť sa o svoje skúsenosti, či požiadať o pomoc iných ľudí. Začal vymýšľať spôsoby ako na to. Úplne na začiatku bolo asi pokrikovanie po sebe.	Ahóóó, prídeš k nám dnes na mamuta?	Čóóó? Či mám mamu tam?	Dvaja ľudia hrajúci pračloveka kričia po sebe a mávajú rukami.	Pokrikovanie po sebe.
A čo tak usmerniť zvuk?	Ahóó, prídeš k nám dnes na večeru?  Mamuta	Čo máš?  Jasné prídem		
Ďalším spôsobom boli dohovorené signály.  Svetelné? Boli by rýchle, ale cez stromy by sme veľa nevideli. Vhodné by boli iba ak na mori. Dymové?				
Dymové signály ako vidíte čakajú ešte na vylepšenie. Zatiaľ sa zdajú byť dosť nebezpečné, amatérovi pritom často „horí pod zadkom“.	AAÁU ...	Rada starších zvoláva ...	Napodobňujú zakladanie ohňa a vysielanie dymových signálov – úskalie: neustrážení oheň – útek preč s popálenými rukami.	
Žeby tepelné? Aj teplom možno vyvolať zvuk.  Dôležité je, aby bola mriežka zohriata, aby mala naakumulované dostatočné množstvo energie. Od nej sa zohreje vzduch nad aj pod ňou. Horúci vzduch začne prúdiť nahor.	Toto je Rijkeho trubica.	Teraz sa nahrieva?	Mriežka v rúre sa nahrieva teplovzdušnou pištoľou.	Rijkeho trubica - sklenená cca 80 cm dlhá rúra, do ktorej sa umiestni kovová mriežka (asi 20 cm od spodného konca). [3]

<p>Dôležité je nielen prúdenie, ale rovnako dôležitá je aj zmena tlaku. Nad mriežkou vzrastá tlak. Tesne pod mriežkou vznikne na chvíľu podtlak. Ten zapríčiňuje nasávanie studeného vzduchu zospodu do trubice. Nastáva vyrovnávanie tlakov. „Studený“ vzduch sa opäť zohrieva od mriežky a opäť sa zvyšuje tlak.</p> <p>Trubicou sa šíria „tlakové vlny“, ktoré vnímame ako zvuk.</p>	<p>Prečo rúra raz vydáva a raz nevydáva zvuk?</p>	<p>Keď je rúra vo vodorovnej polohe vzduch nemá kam stúpať – preto nehučí.</p> <p>A toto sa stále opakuje.</p>	<p>Ohriata rúra sa drží v ruke a natáča raz do zvislej polohy a raz do vodorovnej polohy.</p>	
	<p>Tomuto ešte nerozumieme. Vráťme sa o niekoľko storočí späť.</p>			
<p>Ďalší nápad bol posielat' správy pomocou vystreľovania kameňov.</p>	<p>VELETRH</p>	<p>HELE VRT</p>	<p>Jeden hádže za sebou rôzne veľké papierové gule a druhý sa ich snaží chytať do lievika. Potom správu dešifruje.</p>	<p>Hádzanie papierových gúl do veľkého lievika.</p>
<p>Podľa neoverených archívnych spisov [4] sa však najskôr vystreľovali poslovia z jedného miesta na druhé. Tento zaujímavý spôsob bol v ohrození kvôli nedostatku vyškolených dobrovoľníkov...</p>				

scenár A. Marenčáková, réžia K. Teplanová, A. Marenčáková, účinkujúci A. Marenčáková, D. Šimunová, H. Němcová

#### Literatúra

- [1] Marenčáková, A., Teplanová, K.: Projekt „Nitkový telefón“, Zborník z konferencie Veletrh nápadů učitelů fyziky VI, Olomouc 2001
- [2] Houdek, F., Tůma, J.: Objevy a vynálezy tisíciletí, Nakladatelství Lidové Noviny, Praha 2002
- [3] Hands-on experiments in physical education, International conference ICPE/ GIREP Duisburg, Nemecko, August 23 - 28., 1998
- [4] Macaulay, D.: Mamutia kniha techniky, Slovart, Bratislava 2001