

(19) Název: Mušle

Ročník: 17.; 2003 – 2004

Č. úlohy: 5

Text: Když si k uchu přiložíme mušli, můžeme slyšet „moře“. Studujte původ a charakteristiky zvuku.

1. Úvod

Mušle. I přes své rozmanité tvary a nejrůznější barvy mají toho hodně společného. Zejména jedna jejich vlastnost lidstvo odedávna fascinuje, a to je moře, které je slyšet uvnitř mušle. Stačí si mušli přiložit k uchu a rázem se ocitnete na mořském pobřeží, daleko od běžných starostí. Co je však příčinou tohoto šumu?

Téměř každý, kdo o problému přemýšlel, vyzkoušel drobný pokus s vlastní rukou, stočenou do tvaru jakési misky, případně se skleničkou či šálkem. Přiložil si daný předmět k uchu, aby zjistil, že moře slyší i z vlastní dlaně (skleničky), šálku! Jak je to možné?

Schránky mořských živočichů jsou si podobny složením i vnitřním uspořádáním. Materiál mušle je tvořen třemi vrstvami a skládá se z proteinu conchiolinu, uhličitanu vápenatého (CaCO_3) a z polysacharidu chitinu. Všechny mušle, ze kterých je slyšet moře, tedy takové, které zkoumáme, mají tvar spirálovitě zavinutého šneka.

2. Rozbor

Ke zkoumání mušlí je v první řadě potřeba pochopit, co je to zvuk, jak se šíří prostorem, a jak na něj reaguje lidské ucho.

Zvuk je postupně podélné vlnění o frekvenci 16 Hz – 16 kHz, šířící se prostředím. Citlivost lidského ucha na různé frekvence je různá, největší se při frekvencích 700 Hz až 6 kHz. Zvuky s periodickým průběhem slyšíme jako tóny, neperiodické zvuky jako šumy. Jednoduché tóny mají harmonický průběh, složené tóny mají průběh složitější.

Právě proto, že zvuk má charakter vlnění, podléhá odrazu, ohybu a interferenci. Speciální případ interference je vlnění stojatého vlnění. To vzniká, pokud spolu interferují dvě vlnění o stejné amplitudě a frekvenci postupující prostředím proti sobě. Dochází k tomu zejména v uzavřeném prostoru, kde se vlnění na konci odráží a postupuje zpět. Stojaté vlnění, jak bude ještě osvětleno dále zaujímá při zkoumání mušlí zcela zvláštní postavení.

3. Pracovní hypotéza

Mušle funguje jako akustický rezonátor.

4. Teorie

Rezonátory jsou uzavřené (nebo téměř uzavřené) dutiny, které zesilují určité tóny (rezonují). Vzduch, obsažený v rezonátoru, je na jedné straně v kontaktu se zdrojem zvuku

z vnějšíku, čímž se tyto vzruchy přenáší dutinou ohraničeného vzduchu uvnitř, kde se odrážejí a vytvářejí stojaté vlnění.

Například u hudebních nástrojů, jako jsou flétny, se vlnění šíří od místa, kde vzniká, na konec trubice, kde se potom odráží. To závisí na tom, zda je trubice na konci otevřená (odražené vlnění má stejnou fázi jako původní vlna) nebo uzavřená (odražené vlnění má fázi opačnou).

Pro trubici na obou koncích otevřenou platí pro frekvenci vydávaných tónů vztah

$$f = n \frac{c}{2l} \quad (19.1)$$

kde l je délka trubice a c je rychlost šíření vlnění. Proto tato trubice je schopna vydávat kromě základního tónu o frekvenci f_1 i tóny o frekvencích $2f_1, 3f_1, \dots$

Pro trubici na jednom konci uzavřenou platí obdobný vztah:

$$f = (2n - 1) \frac{c}{4l} \quad (19.2)$$

Složitější situace nastává, pokud trubice není válcová, ale kónická — kuželová. Vlnoplochy se totiž takovou trubicí šíří jako kulové a uzly a knítky jsou asymetricky posunuty.

Nejznámějším typem rezonátoru je Helmholtzův rezonátor, který vypadá jako duté kovové těleso (koule nebo válec) s otvorem na jednom konci a výběžkem na druhém. Zvuk vstupuje do rezonátoru otvorem. Pro vlastní frekvenci rezonance platí vztah

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{d}{lV}} \quad (19.3)$$

kde d a l je průměr a délka výběžku a V je objem vzduchu.

5. Experimenty

Při všech experimentech jsme používali tři velké mušle (sudanku, křídlatce a tritónku) a jednu mušli malou (zavinutce). Provedli jsme experimenty kromě mušlí také s několika dutými tělesy: plechovkou od technického lihu (kovový válec o průměru podstavu cca 10 cm a výšce cca 15 cm), spodní částí láhve od Dobré vody (plastové těleso přibližně tvaru válce, ale s deformovanou podstavou, o výšce asi 10 cm) a hrnkem na polévku o objemu asi 0,3 litru.

K experimentům jsme potřebovali také zdroje zvuku. Použili jsme dva hudební nástroje (zobcovou a příčnou flétnu) a spojité se měnící řadu tónů, generovanou programem Cool Edit od firmy Syntrillium (www.syntrillium.com).

Prvním přiblížením, které nám pomohlo udělat si kvalitativní představu, byl jednoduchý experiment „na lidech“ — jeden si vzal mušli a druhý hrál na hudební nástroj různé tóny, nejlépe po stupnici. Při zahrání určitého tónu jsme tento tón slyšeli i z mušle, a jak jsme pokračovali po stupnici výš, mušle vracela i další tóny, které také postupně čím dál tím víc zesilovala. V jednu

chvíli (pro určitý tón) dosáhne mušle jistého maxima, po kterém už k vyšším tónům zůstává netečná.

Například pro křídlatce jsme při použití zobcové flétny slyšeli silně zesílený tón d^2 . Pro zavinutce jsme u téhož nástroje slyšeli e^1 , f^1 a neintenzivněji g^1 a a^1 .

Další experiment spočíval ve výměně hudebního nástroje za zvuk, spojitě měnící frekvenci. (Jako detektor stále ještě používáme ucho.) Při poslechu křídlatce jsme slyšeli hlavní zesílení na tónu malé d a dále na všech jeho vyšších harmonických (tyto tóny ale mušle zesilovala o poznání méně). U sudanky byl prvním zesilovaným tónem a^1 .

Poslední pokus, provedený s mušlemi, zahrnoval nahrazení ucha mikrofonem.

S jinými objekty, než jsou mušle, jsme při použití téže metody (mikrofon jako detektor a počítačový program jako zdroj zvuku) dospěli k velmi podobným výsledkům.

6. Dosažené výsledky

Ze všech experimentů jsme získali několik významných poznatků. Mušle se skutečně chová jako akustický rezonátor. Čím větší mušle je, tím hlubší šum je slyšet a tím hlubší tón také zesílí. To lze vysvětlit právě tím, že tato základní frekvence závisí na objemu rezonátoru.

Zajímavým výsledkem je, že rezonance závisí i na materiálu mušle (podle našich experimentů zřejmě na tloušťce stěn). Křídlatce se silnějšími stěnami rezonuje kolem 300 Hz, zatímco sudanka s výrazně tenčími stěnami rezonuje až u mnohem vyšších tónů (frekvence 440 Hz).

Další argument, podporující hypotézu rezonátoru je, že nejen z mušle je slyšet šum moře — například použití skleničky či jiného dutého tělesa dosahuje velmi podobných výsledků. Od mušle se ale liší především jednou věcí, a tou je tvar. V mušli totiž zřejmě vznikají zesílené tóny i díky složitému zatočení. Závity mušle působí několikanásobný odraz zvuku, čímž se zvuk „pozdrží“, cestou se zase skládá a tím zesílí.

7. Závěr

V našem okolí se nachází šumy nejrůznějších (dalo by se říci i všech) frekvencí. Mušle zesílí pouze zvuky určité frekvence, které si vybírá podle svého tvaru a hlavně velikosti (přesněji vnitřního objemu). Lidské ucho tento zesílený zvuk zachytí. Protože ale běžný šum v okolí není nikdy dost intenzivní, aby způsobil opravdu silnou rezonanci mušle, a mušle sama navíc má velmi složitý tvar, ve kterém může docházet k odrazům a tím i náhodným změnám tlaku, člověk zvuk slyší jako šum, který mozek interpretuje jako velmi podobný šumu moře.