

telen, hogy a rakéta Keleten született meg, de Bizáncban is használtak rakétákat. A rakétát a kínaiak állítása szerint már i.e. 3000-ben is ismerték. A kínaiak által 1230-ban használt rakétákat költői néven "féktelen tűzvetők"-nek nevezik. Ebben az időszakban Arábiában és Olaszországban is alkalmaztak rochettókat, azaz orsókat, s a ma használt angol rocket, a német rakete, a francia roquette, a magyar rakéta ebből származik. Egyébként, a rakéta az egyetlen fegyverfajta, amelyet feltalálásától -- megszakítás nélkül -- napjainkig alkalmaztak.

A bizánci rakéták rövid csövek lehettek, "házi csövek" (kheiroszifón). Az égőkeverékük szénhidrogénekbe kevert kén, s nyilván salétrom is, nádba tömve, tehát ami a rakéták vegyi összetételét illeti, egyenes leszármazottjai a már ismertetett többi gyújtókeveréknek. Később, a házi csőhöz hasonló módon, bronz csőbe helyezték el a gyújtókeveréket, s egyik végén meggyújtva kilövellték. E rakéták -- a lángszórókkal és a gyújtóbombákkal ellentétben --, úgy látszik, nagyobb ijedséget okoztak, mint kárt. Katonai alkalmazásuk nehézkes lehetett, ezért hamarosan ágyúk veszik át a feladatukat, bár a rakéta azért teljesen nem tűnik el a harcászatból.

A XX. században a görögtűzhöz hasonlóan, a rakétát is újra feltalálták, de eközben a technika fejlődésére támaszkodva a rakétát annyira tökéletesítették, hogy több évszázados vetélytársát -- az ágyút -- sikerült legyőznie.

KIS SZÉTSI SÁNDOR

## Tudod-e?

### A Doppler effektus

Mielőtt az akusztikai Doppler effektus bemutatására rátérnénk, tisztázni kell a hang fogalmát. A hang mechanikai rezgések rugalmas közegben történő tovaterjedése, amely az emberi fülben hangérzetet kelt. A hang longitudinális hullámok formájában terjed, terjedési sebessége levegőben, 20 °C hőmérsékleten 344 m/s.

Megfigyelhető, hogy a nagy sebességgel közeledő vonat sípjának hangját a megfigyelő magasabbnak, a távolodóét mélyebbnek hallja. Ez azzal magyarázható, hogy a hangforrás közeledésekor egy másodperc alatt több rezgés érkezik fülünkhöz, mint amennyit a hangforrás keltett. A hangforrás távolodásakor, az egy másodperc alatt fülünkhöz érkező rezgések száma kevesebb, mint amit a hangforrás kibocsát.

Az alábbiakban levezetjük a kibocsátott és a felfogott rezgések frekvenciája közötti összefüggéseket, két esetben.

Egyszerűsítés végett, azt az esetet vizsgáljuk, amikor a hangforrás és a megfigyelő ugyanazon egyenesen mozog. Mind a két esetben a megfigyelőhöz rögzített vonatkoztatási rendszerben dolgozunk.

**I. Eset:** A hangforrás  $v$  sebességgel mozog, a megfigyelő nyugalomban van.

**a.** A hangforrás  $v$  sebességgel távolodik a megfigyelőtől (1. ábra).

Jelölje a hangforrás által kibocsátott rezgések frekvenciáját  $\nu_0$ , a megfigyelő által észlelt rezgések frekvenciáját pedig  $\nu$ .  $F$  jelöli a hangforrás kezdeti helyzetét, míg  $F'$  azt a helyzetet, ahol a hangforrás található egy periódusnyi idő múlva,  $T_0 = 1/\nu_0$ . A rezgések, a levegőhöz viszonyítva,  $c$  sebességgel terjednek.

A hangforrás által kibocsátott első rezgést a megfigyelő  $t_1 = \frac{x_1}{c}$  idő eltelte után észleli. A másodikat, mivel a hangforrás  $v$  sebességgel távolodik,  $t_2 = \frac{x_2}{c} + T_0$  idő múlva. A két rezgés észlelése közötti idő, pontosan a megfigyelő által észlelt rezgés  $T$  periódusa, vagyis

$$t_2 - t_1 = T = \frac{x_2 - x_1}{c} + T_0,$$

továbbá,  $x_2 - x_1 = v \cdot T_0$ , így

$$T = v \frac{T_0}{c} + T_0$$

de, mivel  $T = 1/\nu$ , illetve  $T_0 = 1/\nu_0$ , az utóbbi összefüggésből következik, hogy

$$\nu = \nu_0 \frac{c}{c + v}$$

Észrevehető, hogy  $\nu < \nu_0$ , tehát, a felfogott hangot mélyebbnek észleli a megfigyelő, mint amilyent a hangforrás kibocsát.

**b.** A hangforrás  $-v$  sebességgel közeledik a megfigyelőhöz (2. ábra).

Ugyanazt a gondolatmenetet alkalmazzuk, mint az a esetben, de mivel, a hangforrás az előző esethez képest ellentétes irányítással mozog, a sebességet most  $-v$ -nek tekintjük. Következik, hogy:

$$t_1 = \frac{x_1}{c}, \quad t_2 = \frac{x_2}{c} + T_0, \quad \text{illetve} \quad t_2 - t_1 = T = \frac{x_2 - x_1}{c} + T_0,$$

továbbá,  $x_2 - x_1 = -v \cdot T_0$ .

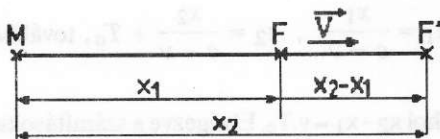
A számítások elvégzése után következik, hogy:  $\nu = \nu_0 \frac{c}{c - v}$ .

Ebben az esetben  $\nu > \nu_0$ , tehát a megfigyelő magasabb hangot észlel.

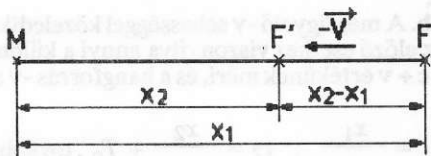
**II. Eset:** A hangforrás nyugalomban van, a megfigyelő  $v$  sebességgel mozog.

**a.** A megfigyelő  $v$  sebességgel távolodik a hangforrástól (3. ábra).

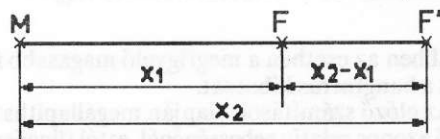
Ebben az esetben is a megfigyelőhöz rögzített vonatkoztatási rendszerben dolgozunk. A hang a nyugalomban levő levegőhöz viszonyítva  $c$  sebességgel terjed, a megfigyelő a levegőhöz és a hangforráshoz képest  $v$  sebességgel halad, ezért, a feléje közeledő hang sebességét  $c - v$  értékűnek észleli. Ilyen feltételek mellett a jelenség felfogható úgy is, hogy a hangforrás  $v$  sebességgel távolodik, és a hang a megfigyelőhöz  $c - v$  sebességgel közeledik. Alkalmazható az előző gondolatmenet, tehát:



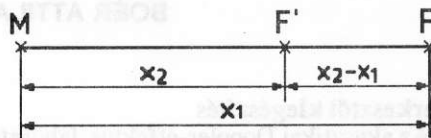
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

$$t_1 = \frac{x_1}{c - v}, \quad t_2 = \frac{x_2}{c - v} + T_0, \text{ továbbá } t_2 - t_1 = T = \frac{x_2 - x_1}{c - v} + T_0,$$

ahol  $x_2 - x_1 = v \cdot T_0$ . Elvégezve a számításokat, következik, hogy  $v = v_0 \frac{c - v}{c}$

vagyis  $v < v_0$ , ami azt jelenti, hogy a megfigyelő alacsonyabb frekvenciájú hangot észlel.

**b.** A megfigyelő  $-v$  sebességgel közeledik a hangforráshoz (4. ábra).

Az előző esethez viszonyítva annyi a különbség, hogy a hang sebességét a megfigyelő  $c + v$  értékűnek méri, és a hangforrás  $-v$  sebességgel közeledik. Tehát:

$$t_1 = \frac{x_1}{c + v}, \quad t_2 = \frac{x_2}{c + v} + T_0, \text{ továbbá, } t_2 - t_1 = T = \frac{x_2 - x_1}{c + v} + T_0$$

Mivel  $x_2 - x_1 = -v \cdot T_0$ , következik, hogy:  $v = v_0 \frac{c + v}{c}$ , tehát,  $v > v_0$ .

Ebben az esetben a megfigyelő magasabb frekvenciájú rezgést észlel, mint amilyent a hangforrás kibocsát.

Az előző számítások alapján megállapítható, hogy a hangforrás, illetve a megfigyelő azonos relatív sebességénél, attól függően, hogy a nyugalomban levő levegőhöz viszonyítva melyik mozog, a frekvenciaváltozás értéke különböző.

**BOÉR ATTILA LÁSZLÓ**, egyetemi hallgató, Brassó

#### Szerkesztői kiegészítés

Az akusztikai Doppler-effektus laboratóriumi feltételek mellett a következő kísérlettel szemléltethető: ingaként, fonálra erősítünk egy hangszórót és egy mikrofont. A hangszórót hangfrekvenciás generátorról tápláljuk, és ugyanezt a feszültséget, katódoszcilloscóp vízszintes eltérítő lemezeire kapcsoljuk. A mikrofon kivezetéseit, az oszcilloszkóp függőleges eltérítő lemezeire kapcsoljuk. Amíg a hangszóró és a mikrofon nyugalomban van, a képernyőn ellipszis jelenik meg. A merőleges rezgések összetételének a törvényéből következik, hogy a két rezgés frekvenciája ugyanaz, tehát a megfigyelő (mikrofon) ugyanazt a frekvenciát észleli, amit a hangforrás (hangszóró) kibocsát. Ha a hangszóró vagy a mikrofon lengéseket végez, a képernyőn megjelenő ellipszis szimmetriatengelye elfordul. Ez igazolja, hogy az észlelt hangfrekvenciája nem azonos a kibocsátott hangfrekvenciájával.

