

Egy tőlünk távolodó vagy hozzánk közeledő hangforrás hangját általában nem halljuk ugyanolyan hangmagasságúnak, mint a hangforrással együtt mozgó megfigyelő. Ezt a Doppler-effektusnak nevezett jelenséget az okozza, hogy a hangmagasságot az azonos időközönként kibocsájtott „hangimpulzusok” ismétlődési sűrűsége határozza meg, és mivel az egyes hangimpulzusok nem azonos utat tesznek meg a hangforrástól az észlelőig, az észlelések közötti idő eltér a kibocsájtások között eltelt időtől.

Vezessünk le először egy olyan általános összefüggést, amely megadja a kibocsájtott és az észlelt hangmagasságok közötti kapcsolatot. Jellemezzük a hangmagasságot a hang frekvenciájával (jele f , egysége $1/s$), amely az időegység alatti hangrezgések számát adja meg. Nyilvánvalóan két szomszédos „hangimpulzus” vagy „hangrezgés” között éppen $1/f$ idő telik el. Feladatunknak megfelelően legyen nyugalomban a megfigyelő és távolodjon tőle v sebességgel a hangforrás. (A megfigyelő a hangforrás által befutott egyenes pálya mentén áll.) Tegyük fel, hogy a hangforrás sebességével párhuzamos, azzal egyirányú u sebességű szél is fúj. A hangsebesség a nyugvó levegőben c .

Legyen a hangforrással együtt utazó megfigyelő (pl. a jármű vezetője) által hallott hang frekvenciája f_0 , az út mentén álló észlelő által hallott hangé f . f_0 ismeretében kiszámítjuk f -et.

Tekintsünk két egymást követő „hangimpulzust”. Mérjük az időt attól a pillanattól, amikor az első keletkezett. A második impulzus keletkezési időpontja éppen a hangforrás ismétlődési ideje, $1/f_0$. Legyen a hangforrás és az észlelő távolsága a nulla időpillanatban x . Jelöljük a két hangimpulzus meghallásának pillanatát t_1 -gyel és t_2 -vel. Az első impulzus pontosan x utat fut be a kibocsájtástól az észlelésig (hiszen az észlelő áll):

$$t_1 = \frac{x}{c - u},$$

mivel a hang terjedési sebessége a levegőhöz képest c , a földhöz viszonyítva $c - u$. A hangforrás sebessége v , így a két impulzus kibocsájtása közben v/f_0 -al távolodott az észlelőtől. A második impulzus útja $x + (v/f_0)$, kibocsátása és észlelése között eltelt idő

$$t_2 - (1/f_0) = \frac{x + (v/f_0)}{c - u}.$$

Így az észlelő által hallott ismétlődési idő

$$1/f_0 = t_2 - t_1,$$

az előbb kapott t_1 , t_2 értékek felhasználásával

$$f = f_0 \frac{c - u}{c - u + v}.$$

Ezt a képletet akartuk levezetni. Ez az összefüggés érvényes negatív u , azaz a hangforrás sebességével ellentétes irányú szél esetére is. Behelyettesítve az $f = f_0$ feltételt, c és u értékétől függetlenül $v = 0$ adódik, azaz úgy tűnik, hogy a feladatban leírt jelenség nem valósulhat meg. Próbálkozzunk azonban $f = -f_0$ behelyettesítésével. A

$$v = 2u - 2c$$

eredmény szélmentes esetben ($u = 0$)

$$v = -2c.$$

Ez azt jelenti, hogy a jármű felénk közeledik, sebessége pedig éppen a hangsebesség kétszerese. Most már megérthetjük az $f = -f_0$ összefüggés fizikai jelentését is. A jármű elhagyja a saját hangját, az egyes hangimpulzusok pedig fordított sorrendben érkeznek a megfigyelőhöz, mint a kibocsátási sorrend. A frekvenciák reciprokai az impulzusközök, ezek előjelet váltanak. Sőt, amikor a hangot halljuk, a jármű már elhaladt mellettünk, vagyis már távolodik tőlünk.

A feladatban leírt helyzet tehát elképzelhető: a tőlünk kétszeres hangsebességgel távolodó repülőgépen levő hangforrás korábban kibocsátott hangját ugyanolyan hangmagasságúnak halljuk, mint a pilóta.

Megjegyzés. A feladat megoldása úgy is elképzelhető, hogy a gépjármű vezetője nem közvetlenül hallja a sziréna hangját, hanem valamely, az út mentén alkalmasan elhelyezett falról visszaverődve.

Makai Gábor (Kiskunhalas, Szilády Á. Gimn. I. o. t.)