

A H A N G

A hang a hangtan (acustica, akusztika) tárgya. Itt azonban a hanggal elsősorban mint hullámmal foglalkozunk részletesebben. Ez kiegészíti a mechanikai hullámok és a fényhullámok tárgyalását.

A hang fizikai alapja a rezgőmozgás, valamint ennek továbbítása az anyag által hullámok alakjában. Az anyag közvetítő szerepe nélkül nem létezik hang. Maga a hullámmozgás az anyag sűrűsödésének és ritkulásának váltakozása, ami hullámként terjed. A hullámmozgás iránya és terjedése megegyezik.

Alapvetően vannak anyagi hullámok és energia hullámok. Az anyagi hullámoknál a rezgést az anyag hullámmozgása veszi át, míg az energiahullámoknál nincs közvetítő közeg, maga az energia rezeg, hullámzik. Itt a periodikus mozgás kvantummechanikai szinten megy végbe és mint energiahullám sugárzik 300.000 km/sec sebességgel. Az anyaghullámok sebessége, az anyag tehetetlensége folytán, természetesen lényegesen kisebb, száz vagy ezer méteres nagyságrendű. A rugalmas pontsor hullámzása, valamint a felületi hullámoké tranzverzális, míg a hanghullámoké longitudinális. Vagyis előbbiek a haladás irányára merőlegesen rezegnek, míg a longitudinális hanghullámok – mint említettük – terjedésük irányába. A hanghullámok elsősorban a gázokban keletkeznek, ahol adott a ritkulások és sűrűsödések feltétele, bár szilárd testek és folyadékok is vezetik a hangot. Gázokban a hang térhullámként terjed, növekvő gömbfelszín alakjában. Az energiahullámok – sugárzások – szintén tranzverzális, elektromágneses természetű hullámok. A lágú, rugalmatlan testek – mint a kelmék, viasz, stb. – nem vezetik a hangot, ellenkezőleg, elnyelik azt.

A hang természetét Cagnard de la Tour szirénájával szemléltetjük. Vékony csövön fújjunk erősen levegőt szabályos lyuksorral ellátott két ellentétesen forgó korongra.. Hangot hallunk, mert a levegő rezgésbe jön. A keletkező hang magassága a rezgések számától függ (frekvencia), ami a forgás sebességéből kiszámítható: fordulatszám/sec x lyukak száma. A hang keletkezésének oka, hogy a légáram a lyukakon áthaladva, sűrűsödéseket hoz létre, a lyukak közti lemezrész viszont akadályozza a légáram áthaladását, miáltal ritkulások alakulnak ki. A két folyamat váltakozása okozza a rezgést ennek sebessége a frekvencia.

A hanghullámok terjedési tulajdonságai általában megegyeznek a többi hullámféleségével. A tranzverzális és longitudinális hullámok között az alapvető különbség, hogy utóbbiak nem polarizálhatóak. A kérdést a fényhullámoknál részletezzük. A többi tulajdonság közös: 1. Visszaverődés, 2. Hullámtörés, 3. Interferencia és 4. Elhajlás.

A hanghullámok visszaverődésére ugyanazok a szabályok érvényesek, mint a mechanikai hullámokéra általában: a./ a visszaverődés három eleme – a beeső-, a visszaverődő hullám és a beesési merőleges egy síkban találhatóak, és b./ a beesési- és visszaverődési szög egyenlő. A tapasztalható jelenség a visszhang. Mivel a fül két hangot akkor képes megkülönböztetni, ha közöttük eltelt idő legalább 1/10-ed másodperc, és a hang sebessége 340 m/mp a levegőben, a visszhang feltétele, hogy a visszaverő akadály legalább 17 méter távolságra legyen (a 17 m oda-vissza 34 m, ami a hangsebesség 1/10-edé). A termék jó akusztikájánál a távolságok szerepelnek, valamint a visszaverő anyagok, kárpitok, stb.

A hanghullámok törése is hasonló a többi hullámokéhoz. A törés akkor jön létre, mikor a hang egy közegből egy másikba hatol. A közeg sűrűségétől függően változik a sebesség, ugyanis a közeg molekulái mintegy fékezésképp, ellenállásként szerepelnek a hang haladásában. A beeső- és a megtört hullám, valamint a beesési merőleges ebben az esetben is egy síkban található. A két alkotott szög azonban nem egyforma. Ha ritkább közegből sűrűbbe hatol a hang – például melegebb levegőből hidegebbe – a törési szög kisebb lesz, és viszont. Ennek magyarázata, hogy a nagyobb sűrűségű közegben a sebesség csökken, ami grafikailag

azt jelenti, hogy közeledik a beesési merőlegeshez. A két szög szinuszának viszonya a törésmutató. A hangok esetében a törés kísérletesen elég nehezen kimutatható.

Az interferencia során a hanghullámok erősítik, vagy gyengítik illetve kioltják egymást, aszerint, hogy az egyenlő hosszú – illetve frekvenciájú - hullámok milyen fázisban (rezgési állapotban) találkoznak. Amennyiben a hullámok hossza nem egyforma, a hang periodikus erősödését és gyengülését halljuk. A jelenség a hanglebegés.

Az állóhullámok az interferencia speciális esetei. Láttuk, hogy rugalmas pontsor, pl. gumikötél, hullámozása során a haladó és visszavert hullámok interferálnak. Bizonyos frekvenciáknál a kötélen egy vagy több orsóalak jelenik meg. Rugalmas rugó ide-oda mozgatásával longitudinális hullámok kelthetők. Megfelelő frekvenciánál, a haladó és visszavert hullámok interferálása kapcsán a rugó egyes részei élesen, mások elmosódottan látszanak. Vagyis tartós hullámok keletkeztek. Az állandósult hullámképet nevezzük még állóhullámnak is. Állóhullámok keletkeznek egy húr rezgésekor is. Állóhullámoknál minden pont állandó fázisban rezeg, ennek következtében állandósul a hullámkép, látunk orsókat illetve éles és elmosódó húrrészeket. Azt is láttuk, hogy ilyenkor csomók és duzzadó helyek keletkeznek. Longitudinális hullámoknál az éles rugó részletek felelnek meg a csomópontoknak (mert itt nincs rezgés, hullámozás). Vagyis a két csomópont között az egyes pontok azonos fázisban, de különböző amplitúddal (kitéréssel) rezegnek. A csomópontok ellentétes mozgásállapotú részeket választanak el. Ha két végén rögzített húrt rezgésbe hozunk, a rögzítés helyén vannak a csomópontok, a húr közepén a duzzadó hely. A két csomópont közötti távolság a hullámhossz fele.

A hanghullámok elhajlása is mindennapi jelenség, olyankor jön létre, mikor a hanghullámok akadályba ütköznek. Ezek nem árnyékolják le a hangot, mert a hanghullámok megkerülik az akadályt. Az akadály és a hullámhossz azonos nagyságrendű kell legyen. Így magasabb hangok, melyek kisebb hullámhosszúak, csak kisebb méretű akadályokon hajlanak el és viszont. Tájékozódásképpen: a hallható hangok hullámhossza a levegőben 2 cm és 20 m közötti érték (lásd alább a hangfrekvenciát). Az akadály mögött található hangok interferálhatnak, megfelelő fáziskülönbségben erősítik, gyengítik vagy kioltják egymást. A jelenség a fény- és mechanikai hullámokkal analóg.

A hang jellemzői : a. Hangerősség, b. Hangmagasság, c. A hang színezete és d. A hang terjedési sebessége.

A hangerősség. A hangerősség az energiával kapcsolatos. A halkabb hanggal kevesebb energia áramlik és viszont. A hang erőssége a hullám maximális kilengésével – amplitúdójával arányos. A hangerő széles határok között változik, a halk susogástól vagy suttogástól a kiabálásig, ordításig. A robbanás dőreje ennél sokkal erősebb lehet, a légnyomás, ami a hangot okozza, épületeket rombolhat le.

A hangmagasság. A hangmagasság a rezgések másodpercenkénti frekvenciájától függ. A mélyebb hangok rezgésszáma kisebb, a magasoké nagyobb. Az emberi fül 16/sec – 20.000/sec frekvenciájú hanghullámokat képes felfogni. Az emberi énekhang legmagasabb hangfrekvenciája 1.000/sec, a közönséges beszédhangé 200-300/sec. Az A₁ alaphang 440/sec frekvenciájú.

Az infrahang rezgésszáma 16/sec alatt van, az 5-7/sec infrahangok veszedelmesek lehetnek a szív működésre. Az ultrahangok rezgésszáma milliárd/sec nagyságrendű., amit az emberi fül nem érzékel. Ám a denevér ultrahang alapján tájékozódik, illetve „lát” a sötétben. Ultrahang előállítható elektromos úton rezgésbe hozott kristályokkal. Számos gyakorlati jelentősége közül megemlítjük a radart, az anyagvizsgálatot, az orvosi diagnosztikát.

A hangszínezet. Két hang színezete, minősége, érzete különböző lehet, holott frekvenciájuk azonos. A hangszínt a felhangok, az oktávok adják. A hangszínezet különbözteti meg két ember, két hangszer hangját.

A hang terjedési sebessége a vezető közegtől függ. Így levegőben 340 m/sec, vízben 1440 m/sec, vasban 5.000 m/sec, stb. Végeredményben az anyagi tartalomtól, a részecske számtól függ. Ezzel kapcsolatban a hőmérséklettől is.

A sebesség a hullámhossz és frekvencia szorzata: $c = \text{frekvencia} \times \text{hullámhossz}$. Ebből kiszámítható például az emberi fül által felfogott hangok hullámhossza. Láttuk, hogy ez 16/sec és 20.000/sec között van. Behelyettesítve a képletbe: $340 \text{ m} = 16 \times \text{hullámhossz}$, illetve $34.000 \text{ cm} = 20.000 \times \text{hullámhossz}$. Ebből következik, hogy a legmélyebb hallható hangok hullámhossza 21 méter, a legmagasabbaké 1,7 cm.

Rezonancia. Minden rugalmas test rezgésbe hozható – megfelelő frekvenciával - amennyiben a testet hasonló frekvenciájú hanghullám éri. A jelenséget rezonanciának nevezzük, a test rezonál az adott hullámra. A Föld légterében számtalan hang fordul elő. Ezek alkotják az alapszörejrt vagy háttérszörejrt. Ebből választják ki az adott tárgyak – akár egy rádióvevő - az alakjuknak, szerkezetüknek, rugalmasságuknak megfelelő hangokat, rezgéseket, melyekre rezonálnak. Ez magyarázza a bűgópohár vagy bűgócsiga hangját, a megfelelően felépített hangszer hangszínezetét, a termék akusztikáját.