

Műszaki akusztika és zajcsökkentés (önálló felkészülést segítő tananyag)

Összeállította: Dr. Koscsó Gábor c. egyetemi docens (BME Áramlástan Tanszék)

1. előadás

Tartalom:

- 1.1. Bevezetés (előadás vázlat)
- 1.2. Gyakorló feladatok

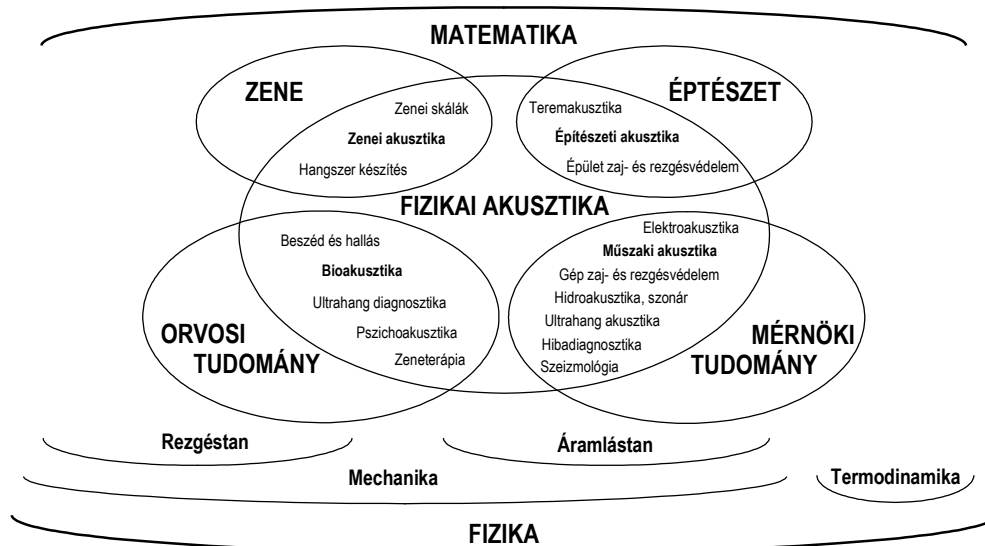
1.1. Bevezetés

Az akusztika tárgya:

Akusztika, más néven hangtan, a hang keletkezésével, terjedésével, elhalásával és ennek az élő, kifejezetten az emberi szervezetre kifejtett hatásával foglalkozó tudomány. Szűkebb értelemben az akusztika csak az emberi hallás által érzékelt hangok elemzésével foglalkozik, ez a meghatározás azonban a műszaki akusztika vonatkozásában már régóta elavult. Szigorú szakterületi felosztás szerint a fizikán belül az akusztika a klasszikus mechanika egy fejezete. Más művészeti és tudományterületekkel alkotott szoros kapcsolata miatt az akusztika a fizika külön fejezetének tekinthető.

Az akusztika szakterületi felosztása, kapcsolódása más tudomány- és művészeti területekhez:

Az akusztika interdiszciplináris jellegét a zeneművészet, az építészet, az orvostudomány és a műszaki tudományterületekkel alkotott szoros összefonódása igazolja. A fizikán belül elsősorban a mechanika, áramlástan és termodinamika részekhez kötődik. Az akusztika legfontosabb szakterületeit és kapcsolatrendszerét más művészeti és tudományterületekhez a következő ábra mutatja.



Az akusztika szakterületi felosztása, kapcsolódása más tudomány- és művészeti területekhez

A mechanikához hasonlóan az akusztika is széles körben alkalmazza a matematika eszközeit, amellyel a mennyiségek konkrét, számszerű nagyságának meghatározása és a mérnöki tervezés, továbbá a jelenségek mélyebb megértése válik lehetővé.

Hang fogalma: Fizikai értelemben a hang egy mechanikai hullám, valamely folytonos, rugalmas közegben kialakuló mechanikai zavarási állapot tovább terjedése. Mechanikai zavarás a közeg mechanikai jellemzőjének (nyomás, sebesség, ...) egyensúlyi értékében bekövetkező változás. Fontos megjegyezni, egyszeri zavarás egyszeri hanghatást eredményez, míg a hang folyamatos fenntartásához folyamatos zavarásra van szükség.

Az akusztika sokrétűségének megfelelően, a hang másként is meghatározható, például szubjektív akusztikai megközelítésben hang az a jelenség, ami hangérzetet kelt.

A szabadfelszíni vízhullámok és a levegőben terjedő hang között számos lényeges eltérés van, de a hullámterjedés megértését a szabadfelszíni hullámok mégis szemléletesen segítik. Ha egy nyugvó szabad vízfelszínre követ dobunk, mielőtt a kő elsüllyed a vízben, a vízfelszínhez érve a kő széttolja az előtte lévő vizet, majd miután lejjebb halad, a víz összezáródik fölötte. Ebben az esetben a mechanikai zavarás a vírzészek kitérítése a nyugalmi helyzetükből. A jelenség lezajlása során a víz szét, majd visszaáramlása nem marad egy helyben, hanem koncentrikus gyűrű alakú, szabad felszíni vízhullámok formájában tovább terjed, szabadfelszíni vízhullám alakul ki ld. következő ábra.



Vízfelszínen kialakuló szabadfelszíni hullámok

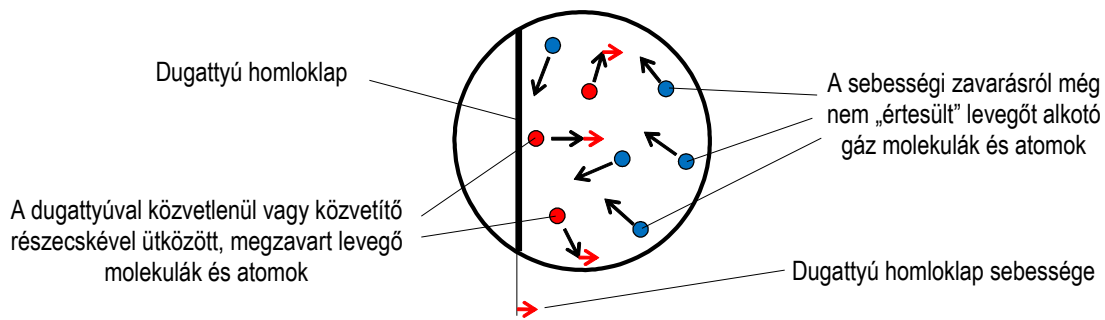
Fontos megfigyelés, hogy a szabadfelszíni folyadékhullám terjedésénél a folyadék mozgása figyelhető meg. A folyadékrészecskék az egyensúlyi helyzetük körül függőleges és vízszintes irányban is kis mértékben kitérnek. De eredeti helyükhöz képest nagy távolságban nem haladnak el, hagyományos értelemben vett áramlásos mozgás, konvekció nem alakul ki. Ezt bizonyítja, hogy a hullámzás csillapodását követően a szabad vízfelszín alakja és helyzete az eredeti, zavartalan állapottal megegyező marad. A hullám tehát a vízfelszín ért zavarás, a részecskék kitérítési állapotának (és nem a részecskéknek) a tovább terjedése.

A hanghullámok megértését légnemű halmazállapotú közegben tovább segíti a hangterjedés molekuláris szintű magyarázata. Ehhez képzeljünk el egy hosszú csövet, amely belső terét technikai normálállapotú ($t_0 = 20\text{ °C}$ és $p_0 = 10^5\text{ Pa}$) levegő tölti ki. A cső egyik végét könnyen mozgatható, légtömören illesztett dugattyú zárja le. Tekintsük a levegőt ideális gáznak, amely esetben a levegőt alkotó részecskék (atomok és molekulák) kiterjedése ponszerű és csak rugalmas ütközés során lépnek egymással kölcsönhatásba. Így a dugattyú homlokfelülete és a vele szomszédos levegőt alkotó keverék gáz molekulák és atomok rugalmas ütközése révén folyamatos dinamikai kapcsolatban vannak.

(Megjegyezzük, jelen esetben a kinetikus gázelméletnek megfelelően a levegő részecskék a levegőt alkotó keverék gáz atomok és molekulák. Később a leíró egyenletek bevezetésénél, folytonos (kontinuum) közeg modellt alkalmazunk, amely nem veszi figyelembe a közeg molekuláris szerkezetét. Ebben az esetben a folyadékrészecske az áramlási jellemzők tekintetében nagyjából egynemű piciny kiterjedés, mérete azonban jóval meghaladja az atomok illetve molekulák nagyságát.)

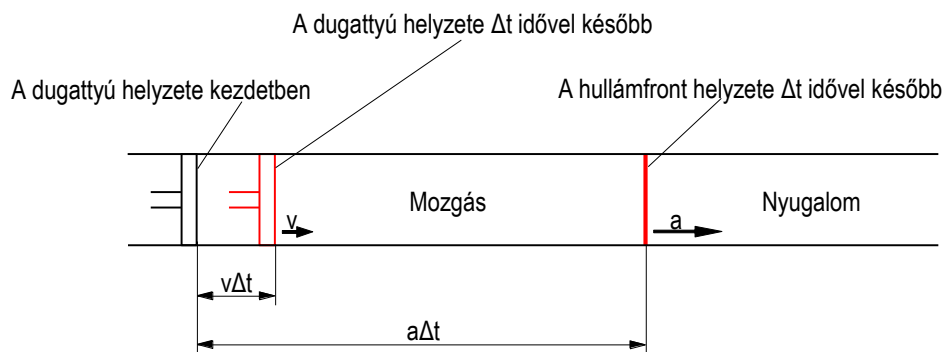
Ha a dugattyú egy adott pillanatban v sebességgel balról jobbra kezd mozogni, ez a sebességi állapot a rugalmas ütközések során átadódik a dugattyúval közvetlen kapcsolatban lévő levegő molekulákra és atomokra is. Egy ütközési szabad úthossz megtételét követően a megzavart részecskék újabakkal ütköznek és így a sebességi állapot a levegőben egy réteggel beljebb halad. Az ütközések folytatódásával halad a sebesség zavarási állapot beljebb a csőben.

Röviddel a dugattyú megmozdulását követően kialakuló zavarási állapotot mutat erősen felnagyítva a következő ábra, közvetlenül a dugattyúval szomszédos részen a dugattyú sebességi állapotát már hordozó piros és a még nem megzavart kék részecskékkel. A zavarási állapotot a gáz részecskék közvetítik, így belátható, hogy a zavarásterjedési sebesség, illetve levegőt alkotó keverék gáz atomok és molekulák két ütközés közötti átlagsebessége egy nagyságrendbe eső értékek ($t = 20\text{ °C}$ hőmérsékleten, egészen kerekítve a hangsebesség $a = 343\text{ m/s}$, illetve az atomok és molekulák átlagsebessége $v_r = 502\text{ m/s}$).



Hangterjedés „molekuláris” magyarázata ideális gázban

A következő ábrán az előző példával megegyező levegővel kitöltött cső egy hosszabb szakasza látható. A kezdeti nyugalmat követően a dugattyú hirtelen megindul v sebességgel jobbra. A csőben kialakuló mozgással kapcsolatban Δt idő elteltével két fontos hely jelölhető meg. A translációs mozgása miatt a dugattyú új helyzete a kiinduló állapothoz képest $v\Delta t$ távolságban, jobbra lesz. A másik fontos hely a már mozgásban lévő (ahová a zavarás eljutott) és a még nyugalomban lévő (ahová a zavarás nem ért oda) levegőrészeket elválasztó határoló felület, a hullámfront helyzete. A hullámfront az előzőek szerint részletezett molekuláris hőmozgás révén a hullám terjedési sebességgel $a\Delta t$ távolságba jut. A kiinduló állapothoz képest Δt idő elteltével a dugattyú és a hullámfront helyzetét a következő ábra mutatja.

A kiinduló állapothoz képest Δt idő elteltével a dugattyú és a hullámfront helyzete

Annak ellenére, hogy a rezgés és a hullám szoros kapcsolatban vannak egymással (számos hang rezgő felület lesugárzása által jön létre) két külön fogalomról van szó. A rezgés egyensúlyi érték körüli periodikus viselkedést, a hullám zavarási állapot terjedést jelent. Mindkét jelenség a fizika más területein is megtalálható (pl.: elektromos rezgőkör, fényhullám, ...).

A hang fizikai kettős természetete: Tekintsünk teljesen új, ismeretlen jelenséggé a hangra. Tudásunk bővítése érdekében különböző fizikai mérőműszerekkel (fényerősségmérő, mágneses indukció mérő, Geiger-Müller számláló, ...) kísérleteket végzünk. Megfigyelések szerint légnemű halmazállapotú közegekben hang jelenlétében az áramlási mennyiségek (nyomás, sebesség) mérésére alkalmas műszerek jeleznek kitérést. A megfigyelések másik csoportja hullámjelenségre utal. Ez alapján megállapítható, a hang kettős, áramlás- és hullámtermészettel rendelkezik. Az áramlás- és a hullámtermészet felismerése azért fontos, mert ez alapján az áramlástanban és hullámstanban alkalmazott matematikai és kísérleti módszerek, megfelelő alkalmazási feltételek figyelembe vételével, az akusztikában is felhasználhatók. Így például levegőben kialakuló hangok matematikai leírásánál az áramlástan alapegyenleteiből fogunk kiindulni.

A hang közegáramlás természetének jellemzői:

- Időben változó (instacioner, a hangteret leíró változó (\square) az idő függvénye, $\partial \square / \partial t \neq 0$)

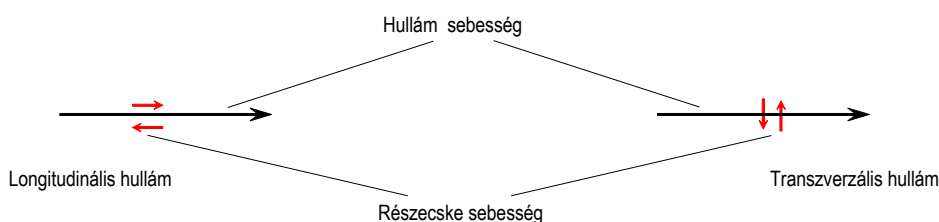
- Összenyomható (a hangterjedésnél kialakuló áramlás során a közeg sűrűsége nem állandó $\rho \neq \text{áll.}$, összenyomhatatlan közegben a mechanikai zavarások tetszőleges távolságban a keletkezéssel egyidőben jelentkeznek, hangtér nem alakul ki)
- Kis amplitúdójú, (adott hangtéri jellemző hang miatti megváltozása ($\Delta\xi$) kicsi, illetve ugyanannak a hangtéri jellemzőnek a kiinduló, egyensúlyi értéke (ξ_0) nagy, a két érték hányadosa kicsi $\Delta\xi/\xi_0 \ll 1$)

A hang hullámtermészetére utaló jelenségek:

- Állapot tovább terjedés (Hang révén mechanikai állapot a tér egyik pontjából egy másikba jut el makroszkopikus, áramlásos közegmozgás nélkül.)
- Interferencia (Két vagy több azonos frekvenciájú hullám találkozásakor kialakuló, térben állandósult gyengítési és erősítési helyekkel jellemezhető új hullámmódosulat, hangtanban például az állóhullám.)
- Elhajlás (Hangtani értelmezés szerint a hang elhajlása a hang behatolása a saját geometriai árnyékterébe. Például szabad térben, hangvisszaverő felületektől távol, a nekünk háttal álló személy beszéde a hangelhajlás miatt válik hallhatóvá.)
- Törés (Hangtanban a törés eltérő közegek határára ferdén beeső hang terjedési irányának ugrásszerű megváltozása az új közegben, amely során a hangsebesség felületre merőleges összetevője módosul, és a párhuzamos összetevője változatlan marad.)
- Visszaverődés (Hangtani szempontból visszaverődés, az eltérő közegek határára beeső hang terjedési irányának ugrásszerű megváltozása az eredeti közegben, amely során a hangsebesség visszaverő felületre merőleges összetevője előjelet vált, és párhuzamos összetevője változatlan marad.)

Megjegyzés: Az elhajlás, törés és visszaverődés jelenségeket, illetve általában a hang terjedésében a korábbi viszonyokhoz képest bekövetkezett változások összességét a hang szóródásának nevezzük.

Longitudinális és transzverzális hullámok: A mechanikai hullámokat az elemi áramlásos mozgás sebesség (részecskesebesség) és a hullámterjedési sebesség (hangsebesség) irányok viszonya alapján longitudinális és transzverzális kategóriákba soroljuk. Longitudinális hullám esetén a részecskemozgás és a hullámterjedés iránya egymással párhuzamos, transzverzális hullám esetén a részecskemozgás és a hullámterjedés iránya egymásra merőleges. Az említett két alaptípuson kívül az akusztikában még további más hullámok (Rayleigh-, Lamb-, torziós hullám, ...) ismertek, azonban ezek mindegyike az előző két alaptípusból származtatható.

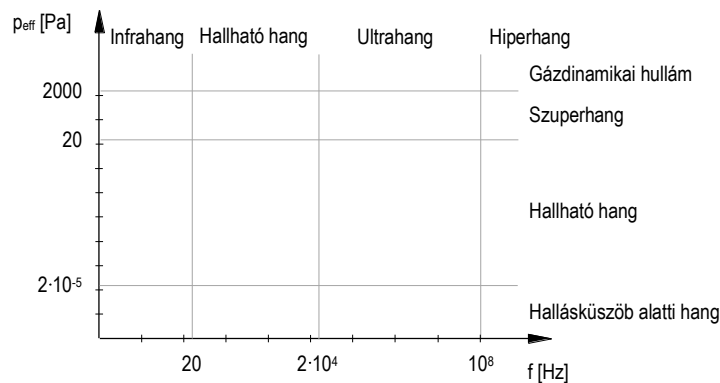


Longitudinális és transzverzális hullámok a részecskesebesség és hullámterjedés iránya alapján

A longitudinális hullámok terjedése során fellépő térfogati deformációval szemben a légnemű, cseppfolyós és szilárd rugalmas közegek egyaránt nagy ellenállást fejtenek ki, így longitudinális hullám mindhárom halmazállapotú közegben kialakulhat. A transzverzális hullámterjedés során kialakuló nyírással szemben érdemben csak a szilárd rugalmas közegben alakul ki erőhatás, így transzverzális hullám elsősorban szilárd rugalmas közegben lesz kimutatható. (Ez alól érdekes kivétel a szabadfelszíni víz hullám, amelyek esetében a folyadék részecskék sebességnek a hullámterjedés irányával párhuzamos és merőleges összetevője is van, és a részecskék ellipszis alakú pályán mozognak. A függőleges irányú mozgási állapot tovább terjedés nem a vízrétegek nyírása során fellépő erő, hanem a gravitáció hatására jön létre.)

Hang a vivőközeg függvényében: Attól függően, hogy a mechanikai hullám légnemű, cseppfolyós, vagy szilárd rugalmas közegben alakul ki, elnevezésük rendre léghang, folyadékhang, vagy testhang. Megjegyezzük, hogy áramlásban a folyadék folyamatosan deformálható (légnemű és cseppfolyós halmazállapotú) közeget jelent, evvel szemben akusztikában csak a cseppfolyós halmazállapotú közegben terjedő mechanikai hullámokat nevezzük folyadékhangnak. A gépészeti zajvédelemben a hallószervet terhelő zaj hatások zömében levegőn keresztül terjednek, ezért ebben a jegyzetben elsősorban léghangokkal foglalkozunk.

Léghangok a frekvencia és effektív nyomás függvényében: A hangjelenségeket a frekvencia és az effektív hangnyomás mentén 4-4 tartományra bonthatjuk. Ezek mindegyike egy-egy akusztikai szakterületet jelöl. A tartományokat elválasztó értékeket részben az emberi hangérzékelés (hőzzávetőleg 20Hz-20kHz frekvencia tartományban, illetve $20\mu\text{Pa}$ -20Pa effektív hangnyomás között), részben a leíró matematikai modellek alkalmazhatósági határértékei határozzák meg. A hangtani szakterület nevét és a határértékeket a következő ábra foglalja össze.



Hangok elnevezése a frekvencia és az effektív hangnyomás függvényében

1.2. Gyakorló feladat

Gy.1. Határozza meg a hang fogalmát, és ismertesse a kettős természetére vonatkozó tulajdonságokat!

Gy.2. Adja meg az emberi fül számára hallható hangok frekvencia és effektív hangnyomás tartományok alsó és felső határértékeit!
