

# A pulzáló változók (zenei) akusztikája

A Meteor cikkeiben egyre sűrűbben találkozhatunk a fénygörbék Fourier-spektrumával. Ez egy célszerű matematikai módszer arra, hogy a magnitúdó-változásokat egyszerűbb, különböző periódusú (szinuszos) ingadozásokra bontsuk. Így olvashatunk alapfrekvenciáról, felharmonikusról, s még sorolhatnánk a bűvös kifejezéseket.

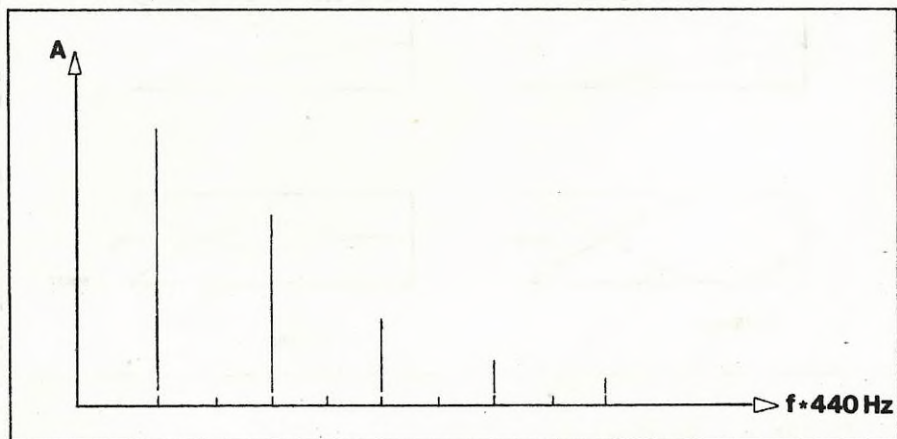
Miért léteznek ezek a periódusok? Erről már kevesebb szó esik. Ennek csillagfizikai hátterébe szeretnénk bepillantást nyújtani.

A csillagok, s így a pulzáló változók fizikai leírása meglehetősen bonyolult, nagyon fontos kutatási terület. Azonban találhatunk olyan, emberközelibb jelenségeket, melyeknek alapja meglepően hasonló, csak lényegesen egyszerűbb változatban. Szemléltetésként a zenét, a hangok fizikáját használjuk. Mi köze ennek a változókhoz? Nagyon is sok, ráadásul a szakkifejezések jelentős része is innen származik.

A Fourier-spektrumot akár kottának is nevezhetnénk: a hangjegyvonalak lényegében különböző frekvenciákat jelentenek, a berajzolt pöttyök pedig pl. egy akkord spektrumát mutatják, igaz, az amplitúdó nélkül.

A másik fontos dolog, amit a zenéből említünk, az orgonasíp. Minden gáz és folyadék képes rezgésekre, és arra, hogy bennük hullámok terjedjenek (pl. a víz felszíne, ha követ ejtünk rá). Ha az anyagot ráadásul arra kényszerítjük, hogy egy meghatározott térfogatot vegyen fel, még érdekesebb dolgok történhetnek. Egy csőbe zárt légoszlop, ha valamiképp energiát közlünk vele, valamilyen frekvenciával kezd rezegni, meghatározott magasságú hangot ad ki. A csillagok anyagát nem kell dobozba tenni, azt saját tömegvonzásuk zárja egy gömb alakú térrészbe. Az orgonasíp hangja annak hosszától függ: minél rövidebb, annál magasabban szólal meg.

Az egyik oldalán nyitott síp például csak olyan frekvenciával ( $f$ ) rezeghet, hogy a hozzá tartozó hullámhossz ( $\lambda$ ) negyede pontosan páratlan egész-szer férjen el a csőben. (A hullámhossz és a frekvencia között teljesül a  $\lambda \cdot f = c$  azonosság, ahol  $c$  a hangsebesség.) Így például a normál "a" hangra hangolt síp "power spektruma":



Az alaphang (alapródus) páratlan többszörösei, felhangjai (felharmonikusai) jelennek meg - az elnevezések innen származnak. (Az egyes amplitúdók arányától függ a hangszín.)

A csillagok belsejében is terjedhetnek hullámok, éppúgy, mint a sípban levő levegőben. Nézzük meg, milyen eltérések vannak a két jelenség között!

1) A sípban helyről-helyre azonos az anyagi összetétel, a nyomás, a sűrűség, a hőmérséklet stb., míg egy csillagban ezek mindig változnak. Így pl. a hangsebesség, s így egy adott rezgéshez tartozó hullámhossz is különböző a sugár függvényében.

2) A gömb geometriai szempontból sokkal bonyolultabb, mint a hosszú, a jelenség szempontjából egydimenziós cső.

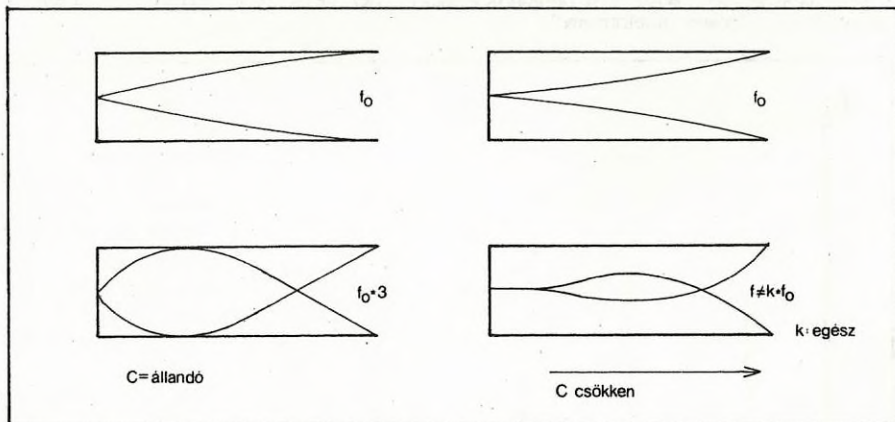
3) A zenei hangok amplitúdója nagyon kicsi (legalábbis amíg a fülünk egyáltalán bírja), ami nagyon leegyszerűsíti a használandó fizikát. A csillagokban ez nincs így.

4) A hanghullámokban a légnyomás változása a lényeges. (Ez hozza létre azt a visszatérítő erőt, ami a gáz részecskéit ide-oda rángatja.) A csillagok belsejében viszont pl. a gravitációs gyorsulás eltérése az egyensúlytól ugyanilyen jelentős lehet. A hanghullámokban energia csak a rezgéssel terjed, nincs hőközlés, stb.

5) Másképpen jut energiához a rezgés. (A sípban a befújt levegő örvényei a fontosak.)

Nézzük meg, hogy a fenti különbségek milyen eltérést okoznak az orgona-síp és a csillag power spektrumában.

Az orgona-síp esetén - és ez más hangszerek esetén is így van - egy teljes hullám valamekkora részének pont egész számszor kell elférnie a "hangszer" hosszában. A csillagokban is valami hasonlóknak kell teljesülnie, azonban ott a hely függvényében változik a hangsebesség és a hullámhossz. Így a hangszerekkel ellentétben a pulzáló változóknál a "felhangok" nem az alaphang egész számú többszörösei lesznek a frekvenciák szerint!

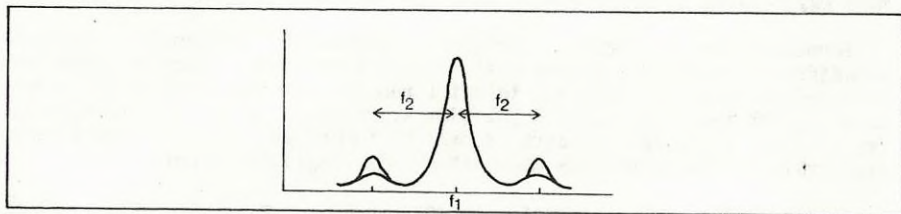


Példák a  $k$  értékeire.

(Csak érdekességképpen: "zenei hallásunk" erősen kötődik a fhangokhoz, azt érezzük harmonikusnak, ahol közel egész arányú frekvenciák vannak (pl  $5/4$ ,  $3/2$ ...) A fentiek szerint a csillagok diszsonánsan "muzsikálnak"...)

Az előző pontban a sugárirányban terjedő egydimenziós hullámokról volt csak szó. Ha a csillag képes nemradiális irányban is rezegni, a dolog még bonyolultabb, a geometriának megfelelően újabb felharmonikusok, periódusok jelenhetnek meg. (Pl. egy harang vagy egy gong is bonyolultabb hangzású lehet, mint egy egyszerű húr. Ha pl. a harang geometriáját (alakját) rosszul választják meg, előbújnak a nem egész fhangok, csúnyán, diszsonánsan fog szólni.)

Kis rezgési amplitúdók esetén két különböző magasságú hangot egyszerűen keverhetünk, csak össze kell adni a két "hanggörbét". Ez a lineáris eset. Ha egy bizonyos szintet átlépünk (pl. túl hangosra vesszük nem túl jó hangerősítőnk) már változik a helyzet: megjelenik a keresztmoduláció (az erősítők egyik torzítási hibája!) az eredeti frekvenciák mellett megjelenhet azok összege és különbsége is. A változók fénygörbéjének power spektrumán is sokszor láthatunk ilyet. A nemlineáris esetben jelenhetnek meg az egyes módusok közötti rezonanciák, melyek a periódusarányokat tovább módosíthatják úgy, hogy a frekvenciák összege nagyon kis mennyiséggé válik.



A csillagokban lezajló folyamatok lényegesen bonyolultabbak egy légszlop rezgéseinél. A felsorolt eltérések leginkább a periódusok pontos értékénél jönnek számításba, de a periódusváltások és a szabálytalan fényváltozások is innen erednek.

A gerjesztés (energiaközlés) mechanizmusa merőben más a csillagoknál: a középről érkező hő a H vagy He ionizációja-rekombinációja alakítja át mechanikai energiává.

Egy lényeges kérdés maradt hátra: a hangszerek rezgéseit a levegő hullámai továbbítják fülünkhöz. De hogyan látjuk a csillagrezgéseket annak fényében? A domináns tényező az, hogy az összenyomott anyag forróbb lesz, s így fényesebb is. Legegyeszerűbb esetben a csillag kitégült-összehúzódik (sugár irányú hullám). Az összehúzódáskor forróbb csillag fényesebb, a kitégült halványabb lesz. (A fényesség a hőmérséklet 4. hatványával arányos. Egy nagyobb gömbből igaz, hogy több fény távozik, de az csak a sugár négyzetével arányos.)

Lényegesen egyszerűsítve ugyan, de valamiképpen értelmezhetjük a csillag különböző periódusait. Úgy lehetünk tehát igazán csillag-zeneértők, ha a látott fénygörbét le tudjuk kottázni, a csúcsok miértjét is (legalábbis alapfokon) értelmezni tudjuk.

KOLLÁTH ZOLTÁN