

Kozmikus infrahang- diagnosztika

Miről zenél a Nap?



Napjainkban már nem csodálkozunk azon, hogy hang segítségével is „lát-hatunk”. Sok család fényképgyűjteményében megtaláljuk a születés előtt készült magzati felvételeket. A felvételek titka az ultrahang. De nem kell az emberkéz alkotta eszközöket előhozunk, hogy ezt a módszert megtaláljuk: a denevér úgyszintén az ultrahangok segítségével képezi le a környező világot, számára a látás kelő precizitású megfelelője az ultrahangok és speciális füle segítségével jön létre (1. ábra).

Egy bizonyos szintig az embereknek is ad térbeli információt a hallás: a hangforrás irányát viszonylag könnyen felismerjük. Képkalkotáshoz viszont a visszaverődött hullámok (akár fény, akár hang) megfelelő felismerésére is szükség van. A „képkalkotásban” az emberi hallás frekvenciatartománya is határt szab: a felbontóképességet a képkalkotó rezgés hullámhossza határozza meg. A levegőben mért hangsebesség mellett az 1000 Hz-es hanghoz tartozó hullámhossz 34 cm, 100 Hz-nél pedig 3,4 m. Így érthető, hogy a denevérek szonárja a 20 és 100 kHz közötti tartományban működik: e magas frekvencia kell ahhoz, hogy a hullámhossz a pár milliméter–egy centiméter tartományba essen, és a felbontóképesség elegendő legyen ahhoz, hogy a szűnyog a denevér szájában landoljon.

A megfigyelendő objektum méretének növekedésével egyre mélyebb hangokat használhatunk. A folyók vagy tengerek mélységét jelző, vagy a tengeralattjárók navigációját segítő szonár már a hallható frekvenciatartományban működik. A bálnák és a delfinek szonárt is használnak a tájékozódáshoz és „halászathoz”. Felvetődik a kérdés, hogy az infrahangok használhatók-e valamilyen diag-

nosztikára. (Infrahangnak nevezünk minden hangot, amelynek a frekvenciája 20 Hz alatti, így akár a nanoHz-es tartományt is!) Itt még nagyobb méretek felé kell mennünk. A legkézenfekvőbb válasz a Föld belsejének megismerése a földrengéshullámok segítségével. Ez esetben a



1. ábra. Éjjeli lepkére vadászó denevér

rezgések a hallható és a közeli infrahangtartományba esnek. Ha még mélyebb hangokat akarunk találni, akkor távolabb kell mennünk.

A Földet elhagyva vajon használhatunk-e hanghullámokat diagnosztikai célra? Az égitestek közötti (bolygóközi vagy csillagközi) anyag annyira ritka, hogy gyakorlatilag vákuumnak tekinthető, így abban hanghullámok nem terjedhetnek. Persze a hang továbbításának egyéb lehetőségei is vannak: elég csak a rádióra vagy mobiltelefonra gondolnunk, ahol a hangjelben rejlő információt rádióhullámok továbbítják. Így elegendő lenne egy olyan mechanizmust találni a Világegyetem valamely égitestjében, amely képes a hanghullámok segítségével modulálni az elektromágneses hullámokat. Természetesen ez csak úgy jöhet létre, ha maga a hangot közvetítő anyag

elektromágneses hullámokat bocsát ki. A legegyszerűbb példa ilyen közege a gyertya lángja, amivel egy egyszerű kísérletet is elvégezhetünk: Tegyük egy, esetleg több gyertyát egy hangsugárzó elé (mélysugárzókkal biztos az eredmény): elegendő hangerő mellett (persze környezetünk nyugalma ügyelve) a gyertya lángja az erősebb hangok hatására megremeg. Mivel a hang hullámhossza nagyobb, mint a gyertyaláng mérete, magáról az áthaladó hullámról nem kapunk teljes információt. A zene ritmusáról, esetleg a mélyebb hangok frekvenciájáról viszont jól láthatóan meggyőződhetünk.

A csillagok fénye azok fotoszférájából érkezik hozzánk. Ez az a tartomány, amely fölött a csillag anyaga már átlátszóvá válik, alatta viszont túlságosan sűrű ahhoz, hogy a fotonok kibocsátásuk után ne ütközzenek azonnal egy újabb részecskével. Ha a csillag belsejében hanghullámok mozognának, akkor ez a réteg hasonlóan viselkedne, mint a hangszóró elé tett gyertya, és a fény ingadozásából legalább a rezgések periódusára következtetni tudnánk.

A természet kegyes volt a csillagászokhoz: ténylegesen léteznek olyan csillagok, amelyekben hanghullámok terjednek. Persze a csillagok fényváltását lényegesen korábban felismerték, mint annak ezt a hanghullámokhoz kapcsolódó magyarázatát. A csillagok hanghullámjai nagyon hangosak: a rezgések amplitúdója akkora, hogy a fotoszféra hőmérséklete több száz foknyit ingadozhat egy rezgés alatt. Ez a hőmérséklet-különbség pedig már elegendő ahhoz, hogy az onnan távozó fény energiaeeloszlása (amely nagyon jó közelítéssel a feketetest-sugárzásnak megfelelő) jelentősen megváltozzon, ami végső so-

ron a fényintenzitás és kisebb mértékben a szín váltakozásában jelenik meg. A hanghullámok nagy amplitúdója a közönséges hangoknál nem jellemző jelenséget is okoz: a sűrűség intenzív változása miatt a csillag sugara is ingadozik. A csillag méretének változása csak kisebb mértékben jelenik meg a fénygörbében (a teljes kibocsátott energia a sugár négyzetével, míg a hőmérséklet negyedik hatványával arányos), azonban a fotoszféra mozgásából adódó, a megfigyelő irányába mutató sebességkomponens a színeképvonalak Doppler-eltolódásából meghatározható. A csillagok esetében belátható, hogy lehetőség van az infrahang-diagnosztikára. Rádadásul a csillagok egy csoportja maga szolgáltatja a hangforrást is. A fotonok terjedésének és az anyag mozgásának kölcsönhatása adja a hangok energiaforrását.

A csillaghangok megfigyelései legkönnyebben és legpontosabban egy fontos paramétert, a csillagrezgések hangmagasságát szolgáltatják. A csillagok periódusa néhány perctől több évig terjed, így frekvenciában kifejezve a hangmagasság nagyjából 10 nHz és 10 mHz közé esik. A csillaghangtartomány az infrahangok egy széles, zenei kifejezéssel 20 oktávnyi tartományába esik. A fülünk érzékenysége 10 oktávnyi terjedelmet fog át, és a legmagasabb csillaghangok és az ember számára hallható legmélyebb hangok között is körülbelül 10 oktávnyi különbség van.

Miként használhatók a csillagok infrahangjai a csillagok megismerésére, azaz diagnosztikájára? Az elsődleges adat, amire következtethetünk, a csillagok mérete. A csillagok hangjai sok szempontból a sípok hangjaihoz hasonlíthatók. Mindkét esetben állóhullámokkal találkozunk, melyek frekvenciája egyszerűen a hangsebesség és a geometriai méret hányadosával arányos. A csillagoknak megfelelő sípok mindkét oldalukon zártak, a legmélyebb hangjuk esetében éppen egy félhullám fér el bennük. A normál zenei „kis F” hang frekvenciája 349

Hz, amelyhez majdnem pontosan egyméteres hullámhossz tartozik, tehát egy félméteres, két végén zárt síppal szólaltatható meg. Tekintsünk egy tipikus csillagot, 4 napos periódussal (2,89 μ Hz frekvencia). Ha normál levegővel töltött síppal szeretnénk ilyen hangot létrehozni, akkor méretének 60000 km-nek kellene lennie. Szerencsés esetben egy ilyen csillag egyéb megfigyeléséből (pl. paralaxis) meghatározhatjuk a távolságát. A fényessége és a színe alapján adódó



2. ábra. A SOHO űrszonda és a napkorong sebességtérképe az űrszonda MDI (Michelson Doppler Imager) műszerének felvétele alapján (forrás: SOHO: ESA & NASA). A színskála a mért sebességeket mutatja -2500 és 2000 m/s értékek között, a sötét a Föld irányába mozgó részeket jelzi.

hőmérséklet ismeretében kiszámolhatjuk a tényleges sugarát is (a távolság és a fényesség ismeretében adódik a teljes kibocsátott energia, a hőmérséklet viszont a felületesség által kibocsátott energiát határozza meg). A mérések alapján a csillag sugarára körülbelül 24 millió km adódhat (35 napátmérő), lényegesen nagyobb, mint ami a „földi” síp alapján becsült érték. A méret 400-szoros eltérését csak a hangsebesség hasonló arányú eltérése okozhatja.

A csillagok persze lényegesen bonyolultabbak a sípoknál. A felszínük-ről befelé haladva a hidrosztatikai egyensúly fenntartásához a nyomásnak növekednie kell, így a hangsebesség sem lehet állandó. Sokat segít az, ha egy csillag nem egyetlen hangon sípol, hanem egy „akkordot” szólaltat meg. Egy csillag zenéjének frekvenciaarányai annál többet árulnak el a csillag belsejéről, minél több hangot találunk.

A csillagok jelentős része ráadásul nemcsak a sípokhoz hasonló, egydimenziós rezgésekre képes, hanem felszín menti hullámok is fellépnek. Távoli csillagok ilyen hullámának egy része kimutatható amplitúdójú fényváltozást produkál, így a Földről is megfigyelhetők. Igazából csak a legközelebbi csillag, a Nap az, ahol közvetlenül is megfigyelhetők a hanghullámok. A színeképvonalak eltolódásából a napkorong minden egyes pontjának sebessége meghatározható.



Az így készült 2. ábrán a domináns szerkezet a Nap forgásából származó aszimmetria. A forgás után fennmaradó szerkezet azonban nagyon fontos információt takar: hasonló felvételek időbeli sorozatából megfelelő matematikai módszerekkel hangrezgések tízezrei azonosíthatók. Ezek a körülbelül 5 perces rezgések a Nap szerkezetének hírvívi, a magzati ultrahangvizsgálathoz hasonlóan precíz képet adnak központi égitestünk fényben láthatatlan belsejéről. Többek között a Nap belső differenciális forgását tárták fel ezek a mérések, de a Nap tőlünk nem látható oldalán lévő nagyobb napfoltok is kimutathatók az infrahang-diagnosztika segítségével.

Kolláth Zoltán
MTA KTM Csillagászati
Kutatóintézete

További olvasnivalók:
www.mindentudas.hu/kollath
www.konkoly.hu/staff/kollath/stellarmusic