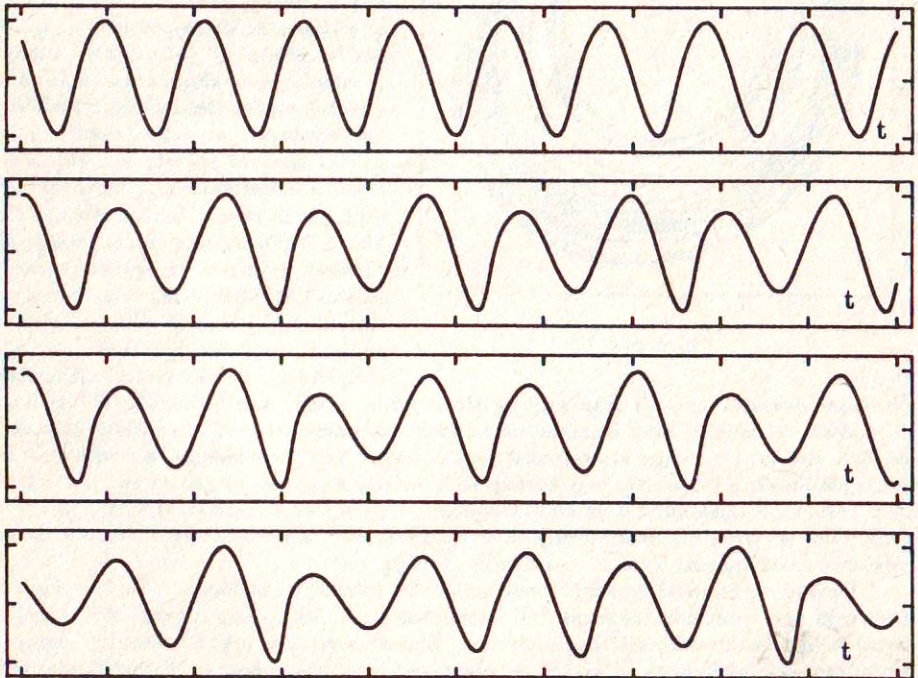


# A SZABÁLYTALAN CSILLAGPULZÁCIÓ - I.

Az amatőrök által megfigyelt (pulzáló) változócsillagok szinte kivétel nélkül szabálytalanul vagy félig szabályosan változtatják a fényességüket. Az ilyen csillagok fénygörbéje nem írható le egyszerű formulával (pár periodikus változás összegeként). A szabálytalan csillagpulzáció mindig az elmélet egyik kérdéses területe volt, s ma is az. Cikkünkben némi betekintést szeretnénk nyújtani ennek az elméleti hátterére, s a megfigyelések feldolgozásával kapcsolatos érdekességekre.

A csillagok pulzációjának mikéntjét a Meteor egy korábban megjelent cikkében már vázoltuk (Meteor 1988/10), erre nem térünk ki most teljes részletességgel. A csillagok rezgését ott az orgonasíp hangkibocsátásához hasonlítottuk. A felhangok sorozata felelt meg a csillagok fényváltozásából kimutatható harmónikusoknak – amik a fénygörbe frekvencia-analízisekor fix periódusokként jelennek meg. A változók egy csoportjára tényleg igaz, hogy pár periódussal megadható pontosan a viselkedése. Ilyen csillagok például a Cefeidák, a  $\delta$  Scuti, a W Virginis típusú változók. Ahogy a hidegebb csillagok felé haladunk, egyre nehezebbé válik a fénygörbe ilyen – több periódusú – leírása, ugyanis az egyre szabálytalanabbá válik.

Nézzük meg, hogy mi okozhatja az egyszerű rezgések szabálytalanná válását! Szemléltetésként használjunk egy – még az orgonasípoknál is egyszerűbb – modellt, a matematikai ingát, azaz például egy hintát. A megindított hinta, ha nem lökdösik, szép lassan leáll. Ez egy periodikus mozgás, aminek az amplitúdója egyenletesen csökken. Ha a hintázó a lábát megfelelő

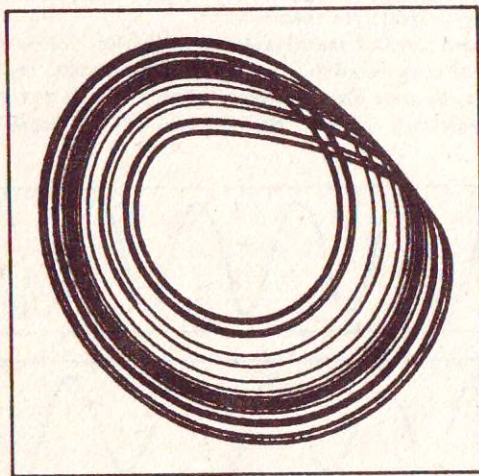


1. ábra



ütemben mozgatja, képes teljesen szabályos állandó amplitúdójú rezgőmozgás létrehozására. A láb ritmikus mozgása energiát közöl a rezgőmozgással – mégpedig a hinta mozgásának ütemében –, az energia "betáplálása" szinkronban van a hinta saját rezgésével. Ez a helyzet felel meg a szabályosan pulzáló csillagoknak is.

Könnyen elérhető, hogy a hinta szabálytalanul mozogjon, egyszerűen csak össze-vissza kell lökdölni. Ebben az esetben is megmarad – legalábbis átlagosan – a hinta lengésideje de mégsem írható le egyetlen periodikus mozgással. Ha a szabálytalan lökdövést nem ismerjük (számunkra zaj), akkor nem tudjuk megjósolni, hogy pl. 10 perccel később milyen állapotban lesz a hinta. Ilyen mechanizmus magyarázza a Nap 5 perces globális oszcillációjának a sajátságait. A Nap rengeteg, több száz (sőt ezer!) különböző mértékben csillapodó hintával modellezhető – mindegyik frekvenciája és csillapodása a Nap belső szerkezetével kapcsolatos. Ezeket a "hintákat" a Nap konvekciója, tehát szabálytalan, zajszerű mozgás lökdösi, gerjeszti. (A napszeizmológia ezen rezgések periódusa és csillapodása alapján ad információt a Nap belső szerkezetéről.) Hosszú időn keresztül a szabálytalan változócsillagok fényváltozását is ilyen modellel próbálták magyarázni, de mint az utóbbi években kiderült, erre más magyarázat is lehet.



2. ábra

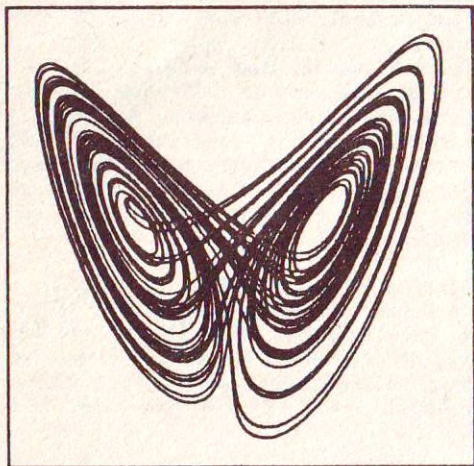
A szabálytalan és a kaotikus jelző egészen az utóbbi évtizedekig valami zajos, előre jósolhatatlan, esetleges folyamatok társult. Bármilyen pontosan is mérek, akkor sem jósolhatom meg – még elvileg sem – a rendszer jövőjét, mondhatták néhány évtizeddel ezelőtt. A folyamatok egy jelentős részére persze igaz ez a kijelentés, de az utóbbi évtizedekben egy merőben új jelenségekört találtak. A számítógépek alkalmazásával korábban elképzelhetetlen mennyiségű számítást lehet elvégezni, ez tette lehetővé, hogy néhány zajszerű jelenség mélyebb lelkivilágát is megérthessük. (Példaként: a 2. és 3. ábrán látható görbék elkészítéséhez kb. 1000000 szorzást kellett elvégezni – "kézzel" számolva ez egy embernek legalább 1 év folyamatos munkát jelentene.) Összefoglaló néven az újonnan kialakult tudományterületet kaotikusnak, az általa vizsgált folyamatokat pedig kaotikus rend-

szereknek nevezték el. Ez már nem az előbbieken volt a szabálytalansággal foglalkozik! A modern értelemben vett kaotikus folyamatok determinisztikusak, azaz kellő pontossággal mérések alapján tetszőleges időtartamra megjósolhatjuk kellő pontossággal a rendszer jövőjét. A megjósolhatóság azt jelenti, hogy kevés paraméter elég a változás megadásához. (Az egyszerű több periódusú változásnál is ez segít a pontos előrejelzéshez – mindössze néhány periódust, amplitúdót és fázist kell ismernünk.) A kevés paraméter, a jósolhatóság ellenére a változás mégiscsak látszólag szabálytalan – ez a káosz lényege.

Visszatérve hintánkhoz, nézzük meg, találunk-e valamilyen analógiát itt is. Természetesen igen, csak egy kicsit bonyolítanunk kell játékunkat – például néhány rugóval, egy villanymotorral és egy akkumulátorral kiegészítve azt. Ebben az esetben már magától fog mozogni a hinta, nem kell lökdösnünk. Elképzelhető olyan eset, amikor szabályosan, periodikusan mozog, de modernizálását megfelelően végezve elérhetjük azt is, hogy látszólag teljesen szabálytalanul mozogjon. Az 1. ábra egy ilyen inga mozgását mutatja, pontosabban egy vezetes egyenlet, a Rössler-egyenlet megoldását. Elvileg építhetünk olyan ingát, amelynek kitérése az ábrának



megfelelően változik az idő függvényében. Egy megfelelő szabályozóelem állásának megfelelően ez az inga különböző mozgásokra képes. Az ábrázolt első esetben még tisztán periodikus a mozgás. A második görbe azt mutatja, hogy minden második lengésnél egy kicsit nagyobb a kitérés, mint az előzőnél, azaz a periódus megkétszereződik, miközben az eredeti periódus is megmaradt. Az már egészen hasonlít az RV Tauri csillagokra. A szabályozógomb további állításával újabb periódus duplázódások következnek, míg végül az inga lengése teljesen szabálytalanná válik (legalsó görbe). Azonban ebben a kaotikus mozgásban is rend van. Ennek illusztrálására a Rössler-egyenlet megoldásának térbeli képét is bemutatjuk (2. ábra). (Ez egy három változós egyenletrendszer, tehát egy három dimenziós mozgást ábrázol.) Még érdekesebb (szebb) a Lorenz-egyenletek megoldása (3. ábra).



3. ábra

paraméter, aminek függvényében a csillag fényváltozása periodikus vagy kaotikus (szabálytalan) természetű, például a luminositás-tömeg arány és a hőmérséklet lehet. Robert Buchler és Kovács Géza számítógéppel modellezték a csillag pulzációját a vörös szabálytalan változók tartományában. Vizsgálataik szerint a hőmérsékletet változtatva (természetesen a többi paramétert a megfelelő értéken tartva) a szabályos, periodikus oszcilláció a fentebb említett periódus kétszereződések után kaotikussá vált. Takeuti és Tanaka japán csillagászok egyszerűsített – a Rössler egyenlethez hasonló – modellt készítettek a csillagpulzációra. Egyenleteik megoldása is hasonlít az 1. és a 3. ábránkra. A három tengelynek ebben az esetben a csillag sugara, radiális sebessége és egy termodinamikai mennyiség feleltethető meg. Rajtuk kívül mások is megjósolták, hogy a változócsillagok szabálytalan viselkedése ilyen kaotikus dinamikával magyarázható, az elmélet tehát igent mondott a káoszra a változócsillagok fizikájában is.

Érdekes azt is megfigyelnünk, hogy miként mutatható ki a fénygörbéből, hogy az miért szabálytalan. A többszörös periodicitást egyszerű kimutatni a periodogramok, azaz a Fourier-analízis segítségével. A káosz kísérleti kimutatása némiképp nehezebb. Erre cikkünk következő részében térünk ki.

Könnyen végezhetünk házilag is olyan kísérletet, ami káoszhoz vezet. Nagyon óvatosan kinyitva a vízcsapot a vízcseppek először teljesen szabályos periodikussággal potyognak. Ha kicsit jobban megnyitjuk a csapot, fokozatosan megváltozik a ritmus. (Célszerű valamit a csap alá tenni, amely felerősíti a cseppek kopogását.) Először minden második koppanás közelebb kerül az előzőhöz, majd négy koppanásból álló ritmus ismétlődik, míg a "ritmus" hosszának egymásutáni duplázódása után a cseppek teljesen szabálytalan ütemben kezdenek potyogni.

Mint az utóbbi évek elméleti számításai jósolták, ilyen kaotikus folyamatok a csillagok belsejében is létrejöhetnek. Az energiaforrás a csillag centrumából kiáramló – a magfúzióból származó – energia, a rugókat és más csatolóelemeket pedig a csillag légkörének bonyolult fizikája adja. A modellszámítások szerint a

KOLLÁTH ZOLTÁN