

Válaszok Dr. Kun Mária opponensi kérdéseire

Szeretném megköszönni a bíráló alapos munkáját, elismerő szavait és kritikai megjegyzéseit. A feltett kérdésekre (vastag, dőlt betűvel) adott válaszaim (álló betűvel) a következők:

1. A 80. oldalon a kísérő csillag foltjainak frekvenciájából kapott 2,53 napos forgási periódusról a következő, kissé nehezen követhető mondatot olvashatjuk:

Míg ez viszonylag gyors egy ilyen tömegű csillagnál, a nagyobb tömegű főkomponens rövidebb ideig tartó fősorozat előtti fázisa során a forgás a koronggal történő mágneses kölcsönhatás révén lassult, így a másodkomponens viszonylag gyorsan forog.

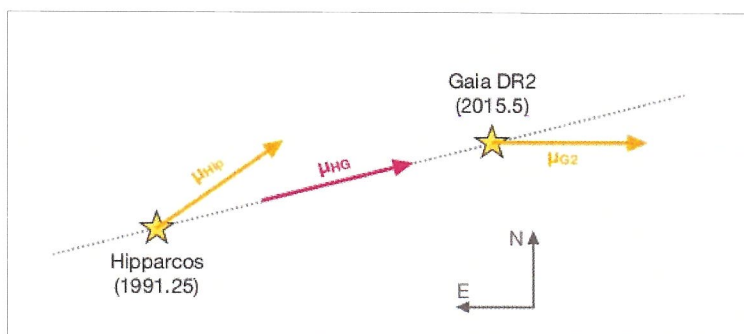
Kérdés: Hogyan lehetne ezt világosabbá tenni? Miért térhet el ennek a csillagnak a rotációs periódusa a hozzá hasonlókéltől?

Igen, valóban nem sikerült érthetően megfogalmazni, és kimaradt a magyarázatból egy fontos rész.

A főkomponens forgása a fősorozat előtti fázisa során a koronggal történő kölcsönhatások révén lassult. Azonban a főkomponens a nagyobb tömege ($2-2,5 M_{\odot}$) miatt hamarabb lépett a fősorozatra, mint a kisebb tömegű ($1-1,5 M_{\odot}$) másodkomponens. A főkomponens fősorozatra kerülésének idejére nagy valószínűséggel már eltűnt ez a korong (egy részét szétfújta a csillagszél, másik részét elnyelte a csillag), így a másodkomponens forgását már nem tudták lassítani a koronggal történő kölcsönhatások, ezért nagyobb forgási sebességgel érte el a fősorozatot.

2. A Gaia-adatbázisokban vannak a csillagok kettősségére utaló mutatók. A 6. fejezetben vizsgált cefeidák Gaia adatai utalnak a kettősségre?

Kervella et al. (2019a, 2019b) végzett ilyen irányú vizsgálatokat cefeida és RR Lyrae típusú változócsillagokra. Kervella et al. (2019a) a sajátmozgásokban keresett anomáliákat, amelyek kettősségre utalnak. Az alábbi cikkükből származó ábrán mutatták be az általuk használt módszer alapjait:



A módszer lényege, hogy a Hipparcos és a Gaia (Gaia GDR2) által meghatározott asztrometriai (RA, Dec) pozíciókból számított átlagos sajátmozgások (μ_{HG}) és az egyedi Hipparcos (μ_{Hip}) és Gaia (μ_{G2}) sajátmozgás-vektorok különbségét vizsgálták. A sajátmozgások jel/zaj viszonyát a következő formulával számolták ki (C egy korrelációs együttható):

$$\Delta_{\text{Hip/G2}} = \frac{\mu_{\text{Hip/G2}} - \mu_{\text{HG}}}{\sqrt{\sigma_{\mu_{\text{Hip/G2}}}^2 + \sigma_{\mu_{\text{HG}}}^2} - C}$$

A kettősség azonosításához a $\Delta = \max(\Delta_{\text{Hip}}, \Delta_{\text{G2}})$ értéket használták. Összesen 254 cefeidát vizsgáltak, amelyek közül 31-re $5 < \Delta$, 26-ra $3 < \Delta < 5$, valamint 75-re $2 < \Delta < 3$. Az analízisben a V419 Cen és V808 Cen kivételével az általunk vizsgált cefeidák is szerepeltek.

| | |
|--------|-----------------|
| GH Car | $\Delta = 2,80$ |
| X Pup | $\Delta = 1,26$ |
| AD Pup | $\Delta = 1,69$ |
| XX Sgr | $\Delta = 2,50$ |
| AY Sgr | $\Delta = 2,39$ |
| LR TrA | $\Delta = 5,58$ |
| RZ Vel | $\Delta = 2,92$ |
| ST Vel | $\Delta = 2,05$ |
| BG Vel | $\Delta = 2,14$ |

Néhány csillagnál, amelyeknél nem álltak rendelkezésre spektroszkópiai paraméterek, kiszámították a fél nagytengely és a keringési periódus maximális értékét:

| Target | ϖ (mas) | m_1 (M_{\odot}) | m_2 (M_{\odot}) | a_{max} (lin.) | a_{max} (ang.) | $P_{\text{orb max}}$ |
|--------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| XX Sgr | $0.73_{0.06}$ | $5.00_{0.75}$ | $2.50_{1.50}$ | $1.5^{+5.7}_{-0.9}$ kau | $1.1^{+4.2}_{-0.6}$ '' | $20.6^{+108.8}_{-16.3}$ ka |
| AY Sgr | $0.50_{0.05}$ | $5.10_{0.76}$ | $2.55_{1.53}$ | $0.8^{+3.0}_{-0.5}$ kau | $0.4^{+1.5}_{-0.3}$ '' | $8.6^{+42.0}_{-7.2}$ ka |
| LR TrA | $0.92_{0.03}$ | $4.20_{0.63}$ | $2.10_{1.26}$ | $0.9^{+0.6}_{-0.3}$ kau | $0.8^{+0.5}_{-0.3}$ '' | $10.5^{+15.0}_{-5.2}$ ka |
| ST Vel | $0.44_{0.03}$ | $4.90_{0.73}$ | $2.45_{1.47}$ | $1.6^{+8.5}_{-1.1}$ kau | $0.7^{+3.7}_{-0.5}$ '' | $23.4^{+228.5}_{-20.2}$ ka |

Kervella et al. (2019b) a cefeidák közelében keresett közös sajátmozgású csillagokat, amelyek távoli pályán keringő, térben felbontott kísérők lehetnek. Az értekezésben vizsgált csillagok közül a következők esetén találtak ilyen kísérőt:

- XX Sgr, amelynek párja a Gaia DR2 4096979650283681408 azonosítójú csillag, amelynek fényessége $G=15,8^m$, és $7,9''$ -re található az XX Sgr-től.
- LR TrA, amelynek párja a Gaia DR2 5824226655600814976 azonosítójú csillag, amelynek fényessége $G=18^m$, és $37,6''$ -re található az LR TrA-tól.

3. Kis ellentmondásban van az X Puppisról tett megállapítás :

'Az X Pup spektroszkópiai kettősségének megerősítéséhez további megfigyelésekre van szükség, mert a legkorábbi, Joy által majdnem egy évszázaddal ezelőtt mért adatok gyenge minőségűek.' a fejezet összefoglalásával: *'Mindegyik esetben sikerült a gamma-sebességek változását kimutatni, ami egyértelműen arra utal, hogy a vizsgált cefeida kettős rendszer tagja.'*

Az X Puppison kívül az AY Sgr, XX Sgr és AD Puppis radiálissebesség-változásainak megállapításában is kulcsfontosságúak voltak Joy 1937-es, hasonlóan nagy szórású és megbízható nullpontú mérései.

Kérdés: Mitől gyenge minőségűek egyedül az X Puppis esetében ezek a régi adatok?

Valóban nem egyértelmű a megfogalmazás. Habár Joy (1937) méréseinek nagy a hibája, az X Pup esetében az 1988-ban és a 2000-es években végzett spektroszkópiai mérések egyértelműen igazolják a kettősség tényét Joy mérései nélkül is. Azonban a pálya-paraméterek meghatározásához további mérések szükségesek. Az XX Sgr esetén a Joy mérések nagy hibái ellenére jelentős gamma-sebességbeli eltolódás figyelhető meg az általunk végzett mérésekhez képest, ami egyértelművé teszi a kettősség kimutatását. Az AD Pup-ról készült Joy-mérések kevés pontot tartalmaznak, az AY Sgr esetén pedig meglehetősen nagy szórást mutatnak Joy mérései, ami bizonytalanabbá teszi a gamma-sebesség pontos meghatározását. Tehát a gamma-sebesség változása megfigyelhető ennél a két csillagnál, így következtethetünk a kettősségre, természetesen további mérések abszolút megerősítést jelentenének.

4. A Konkoly J064029.1+385652.2 nevű csillagot észlelte a TESS és a Gaia. Tudnak ezek az adatok új információt adni erről a kettősről?

Mivel a Konkoly J064029.1+385652.2 meglehetősen halvány ($G=17,2^m$), a fénygörbe kinyerése nem egyszerű feladat. A leggyakrabban használt lightkurve programcsomaggal ilyen halvány csillag nem mérhető ki, hacsak egyedileg differenciális fotometriával, extrém precizitással és konvolúciós eljárásokkal mérhető ki a teljes látómezőjű képekből (full frame images, FFI). Az objektumot a TESS 60-as és 73-as szektoraiban mérték, ahol már 3,3 perces FFI képek állnak rendelkezésre, így az időfelbontás megfelelő arra, hogy a 4,3 órás keringési periódusú rendszer fénygörbéje hasznos információkat adjon. Egyrészt a TESS más színben ad információt a rendszerről, mint a korábbi mérések, így a rendszer paraméterei pontosíthatóak, másrészt a minimum-időpontokból számított O-C diagram segítségével megvizsgálhatjuk az esetleges periódusváltozást, vagy harmadik komponens jelenlétét.

A Gaia mérései valószínűleg nem adnak új információt a rendszerről. A Gaia DR3-ban kb. 30 fényességadat van erről az objektumról, de olyan időbeli eloszlásban, amely az asztrometriai mérések számára kedvező (egy napon belül sok mérés, aztán hónapokig semmi), változócsillagászati vizsgálatokra valószínűleg nemigen használható.

Referenciák

Joy, A. H., 1937, ApJ, 86, 363

Kervella, P., et al., 2019a, A&A, 623, A116

Kervella, P., et al., 2019b, A&A, 623, A117

Szombathely, 2024. március 4.


Derekas Aliz

