

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
OPTIKAI ÉS KVANTUMELEKTRONIKAI TANSZÉK

# KONTAKT KETTŐSCSILLAGOK FIZIKAI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

*(TDK dolgozat)*

*Készítette:*

**Heiner Zsuzsanna**

*IV. éves fizika-csillagász szakos hallgató*

*Témavezető:*

**Dr. Vinkó József**

*tudományos főmunkatárs*

**Szeged, 2000**

---

## Tartalomjegyzék

Bevezetés	
Fedési kettőscsillagok	
A kettőscsillagok és a fedési kettősök osztályozása	
W UMa típusú csillagok	
Periódusváltozás kettős rendszerekben	
Műszertechnikai áttekintés	
Műszertechnikai összefoglaló	
A csillagok kiválasztása	
Az AW Ursae Majoris és az FU Dra fizikai paramétereinek meghatározása	
AW UMa	
I. Irodalmi feldolgozás	
II. Periódusváltozás vizsgálata	
III. Fizikai paraméterek meghatározása	
FU Dra	
I. Képeim feldolgozása, kiértékelése	
II. Perióduskorrekció	
III. Radiális sebességek	
Fénygörbemodellezés	
A NIGHTFALL program	
A program tesztelése	
Az FU Dra fénygörbe-modellezése	
Az FU Dra fizikai paramétereinek meghatározása	
Összefoglalás	

I. AW UMa érintkezô kettôscsillag  
II. FU Dra érintkezô kettôscsillag  
Köszönetnyilvánítás  
Irodalomjegyzék

## Bevezetés

*David Fabricius (1564 – 1617) amatôr csillagász 1596-ban felfigyelt egy fényes csillagra a Cet csillagképben, aminek a fénye néhány hét alatt fokozatosan gyengült, míg végül teljesen eltűnt szem elôl. 1638-ban Holwarda megfigyeléseket végzett ugyanazon csillagról, és azt tapasztalta, hogy a csillag változtatja a fényességét. E különös csillag Mira (csodálatos) néven vált ismertté. Majdnem 150 éves csönd után Figott és Goodricke 5-6 változó fényû csillagot fedezett fel. 1865-ben már 113 változóig jutott el a számuk. A századforduló elôtt a fotografikus keresés felgyorsította az eseményeket, majd az 1980-as évtôl a különbözô programok, mûholdak megsokszorozták a változócsillagok számát. Ma már több százezerre gyarapodott a számuk.*

*A változás az, ami árulkodik a fejlôdésrôl, a lejátszódó folyamatokról – nemcsak az embernél, hanem a csillagoknál is. Hogy megértsük, miért változik egy csillag, ahhoz pontosan nyomon kell követnünk, hogyan változik. Azt a grafikont, ami megmutatja, hogyan változik egy csillag fényessége az idôben, fénygörbének nevezzük, melynek megrajzolásához rendszeresen mérnünk kell.*

Jelen dolgozat a változócsillagok népes csoportjából két fedési kettôscsillag, az AW Ursae Majoris és az FU Draconis irodalmi feldolgozását, illetve az utóbbi rendszer mérését és annak feldolgozását mutatja be. Az AW UMa régóta ismert fedési kettôs, melynek pontosítottam a periódusát, és meghatároztam a fizikai paramétereit. Az FU Dra-t a Hipparcos mûhold fedezte fel nemrégiben. E rendszer fényváltozását CCD-fotometria segítségével mértem meg. A méréseket Baján végeztem, 2000. június 26. és június 30. között. Három éjszaka alatt 645 képet készítettem. Saját megfigyeléseimbôl megállapítottam, hogy a rendszer ún. teljes fedést mutat. További paraméterek meghatározásához egy fedési fénygörbe-modellezô programot használtam, melyet a régóta ismert kettôs modellezésével teszteltem, mielőtt alkalmaztam volna a kevésbé ismert rendszerre.

Hogy elkerüljem az "in medias res" jellegû kezdést, elôször röviden áttekin-tem a témához kapcsolódó csillagászati ismereteket, majd ismertetném a mérésem műszertechnikai vonatkozásait (mérôrendszer, mérési módszer, ill. csillagok kiválasztása). Bemutatom a periódus- és paramétermeghatározást, a konkrét méréseket, az adatok feldolgozását. Végül magáról a modellezésrôl, és annak eredményérôl írok.

A kontakt kettôscsillagok olyan szoros rendszerek, melyekben a komponensek a belsô Lagrange-pontban érintkeznek egymással. Ilyen kettôscsillagok gyakran figyelhetôk meg fedési kettôsként, azonban csillagfejlôdési állapotukról eléggé keveset tudunk. A csillagok tömegét közvetlen úton csak kettôscsillagokban lehet mérni. Emellett a csillag fejlôdését a tömege határozza meg. Céлом az volt, hogy a kontakt kettôscsillagok fejlôdési állapotának tanulmányozásához közvetlenül felhasználható eredményeket szolgáltassak a vizsgált rendszerek tömegérôl.

## Fedési kettôscsillagok

### A kettôscsillagok és a fedési kettôsök osztályozása

A hosszú-hosszú évek során végzett megfigyelések alapján a csillagok több mint feléről kiderült, hogy van kísérôje, és a rendszert alkotó csillagok a gravitációs vonzás miatt egymás körül keringenek. A kettôscsillagok legkézenfekvôbb csoportosítása a detektálhatóság alapján történô osztályozás:

**Vizuális kettôsök:** a komponensek külön megfigyelhetôek, és a pályamenti mozgás is kimutatható egyes esetekben.

**Spektroszkópiai kettôsök:** a színeképvonalak periódikus Doppler-eltolódást mutatnak a keringés miatt fellépô radiális sebességváltozás következtében.

**Spektrum-kettôsök:** különbözô csillagokra jellemzô jegyeket mutat a spektrum; nyilvánvalóan két egymáshoz közeli csillag együttes méréséből származik.

**Asztrometriai kettôsök:** csak az egyik komponens figyelhetô meg, de a csillag látszólagos mozgása egy nem látható kísérô jelenlétét igazolja.

**Ellipszoidális kettôsök:** tényleges fedés nem figyelhetô meg a pályasík kis hajlásszöge miatt, de az objektumok nem egyenletes fényességeloszlása és torzult alakja a keringés során kis amplitudójú fényességváltozást okoz.

**O-C kettôsök:** a komponensek közül legalább az egyik periódikus jelforrás – a kisugárzott jel periódusa modulálódik a Doppler-eltolódás következtében.

**Fedési kettôsök:** olyan kettôscsillagok, melyeknél a komponensek a keringés során a Földről nézve idôröl-idôre elfedik egymást, így a rendszer jellegzetes fényváltozást mutat. A fedéseket vizsgálva az inklináció nagyságától függôen elkülöníthetünk részleges fedést (partial eclipse), ekkor  $r_1 > r_2 \cos i$  (a kis csillag egy része mindig látszódik), teljes fedést (total eclipse), ekkor  $r_1 < r_2 \cos i$ , illetve gyűrûs fedést (annular eclipse), ekkor  $r_1 = r_2 \cos i$ . Itt  $r_1$  és  $r_2$  a komponensek sugarai,  $i$  pedig az inklináció – azaz a rendszer pályasíkja és a megfigyelô között bezárt szög.

A fedési kettôsöket a fénygörbe alakja szerint is osztályozhatjuk. A Változócsillagok Általános Katalógusában (GCVS-ben) is használt klasszifikációs osztályozás a következô:

- Algol-típus (EA): Mély fôminimum, sekély mellékminimum jellemzi, valamint fontos, hogy a fedésen kívüli szakasz fényváltozása közel konstansnak tekinthetô. A fedések kezdete ugrásszerű. A színindex változik a fedés alatt (fedések közben a fôminimum környékén vörösödik, a mellékminimumnál kékül, közötté pedig konstans). Tipikus képviselô:  $\beta$  Persei (Algol).
- $\beta$  Lyrae-típus (EB): A minimumok mélysége különbözô, a fényváltozás folyamatos a fedésen kívüli szakaszban is. A fedések kezdete nem állapítható meg egyértelműen. A színindex a fedésen kívül is változik.

- W UMa-típus (EW): A minimumok mélysége hasonló, a fényváltozás a fedésen kívüli szakaszon is folyamatos. A fedések kezdete nem állapítható meg. A színindex nem, vagy csak nagyon kicsit változik.

A fénygörbe alakja szerinti osztályozás azonban nem egyértelmű, ha az EA ill. EB típus közti átmenetet vizsgáljuk. Pl.: több típusba is tartozhat a rendszer, mert a fénygörbe optikai tartományban más lehet, mint infravörösben.

Egy másik csoportosítást 1960-ban Z. Kopal javasolt, ami az ún. Roche-térfogat kitöltöttségén alapul. Jelenlegi ismereteink szerint a Roche-modell a szoros kettőscillagok fotoszférájának alakját kielégítően képes megadni. Feltesszük, hogy a kettőscillag gravitációs terét két tömegpont terével lehet közelíteni, és a kettős rendszer komponensei hidrosztatikai egyensúlyban vannak, azaz a sűrűség és a nyomás az ekvipotenciális felületek mentén állandó. E feltevés alapján a csillagok egyensúlyi alakjának kiszámítása egyenértékű egy ekvipotenciális felület geometriájának meghatározásával. Az ekvipotenciális felületek egy kritikus potenciálértéknél, a belső Lagrange-pontban összeérnek, mindkét csillag számára egy kritikus térfogatot (Roche-térfogatot) definiálva. A tömegpontokkal való közelítést az indokolja, hogy a csillagokat alkotó anyag túlnyomó része a centrumhoz közeli, gömbszimmetrikus tartományba sűrűsödik (centrális kondenzáció).

Ezek alapján a Roche-térfogaton alapuló osztályozás a következő:

- Szétválasztott rendszer (detached): mindkét csillag belül van a Roche-térfogatán.
- Félig érintkező rendszer (semi detached): csak az egyik komponens tölti ki a Roche-üregét általában a kisebb tömegű.
- Érintkező rendszer (contact): mindkét csillag kitölti a Roche-térfogatát.

E modell alapján osztályozott rendszerek fontosabb jellemzői:

- A csillagok viszonylag távol helyezkednek el egymástól, az árapály-erők gyengék, így a komponensek alakja kicsit tér el a gömbtől. A pályaperiódus többnyire konstans vagy oszcilláló. Ez utóbbit például apszizmozgás, vagy a rendszernek egy harmadik test körüli keringése okozhatja. A pálya gyakran excentrikus, emiatt az ismert apszizmozgást mutató rendszerek többsége ebbe az osztályba sorolható (Hegedüs, 1988). Általában fősorozati vagy fősorozat előtti állapotban lévő csillagokat tartalmaz, így a nagyobb méretű komponens nagyobb tömegű és fényesebb.
- A kisebb tömegű komponens szubóriás- vagy óriáscsillag, s kitölti a Roche-üregét. Ezzel ellentétben a nagyobb tömegű főkomponens korábbi színképtípusú, fősorozati csillag, s jóval a kritikus térfogaton belül helyezkedik el. Általában a főkomponens luminozitása a nagyobb. A pályaperiódus növekedése, csökkenése, esetleg fluktuációja figyelhető meg. A kisebb tömegű csillag előbbre jár a fejlődésben, ez azonban ellentétben áll a magányos csillagokra érvényes csillagfejlődési elmélettel (Algol-paradoxon). Ez a komponensek közti tömegátadással magyarázható.
- A W UMa típusú csillagok mind ebbe a csoportba tartoznak. Mindkét csillag kitölti kritikus térfogatát sőt, néha túl is nőnek rajta. A komponensek a belső Lagrange-ponton keresztül érintkeznek, így a hőmérsékletük közel azonos. Struktúrájuk és fejlődési állapotuk jelenleg nem tisztázott. Dolgozatomban fő részét képviseli a W UMa-csillagok fizikai paramétereinek vizsgálata, így a következőkben ezen rendszereket mutatom be.

## W UMa típusú csillagok

A Nap környezetében végzett statisztikai vizsgálatok szerint a W UMa típusú csillagok a kettőscsillagok leggyakrabban előforduló formái a Galaxisban (Kopal, 1978.). Az ilyen típusba sorolt csillagok megfigyeléséből adódó tulajdonságai:

- A keringési periódus gyakran erős változást mutat, értéke általában egy napnál kisebb.
- A komponensek tömegaránya (definíció szerint  $q = M_2 / M_1$ ) 1-től különböző értéket vesz fel. A jelenleg ismert szélsőértékek:  $q = 0,08$  (AW UMa),  $q = 0,88$  (SW Lac).
- Színképtípusuk A-típusnál későbbi, többnyire G– K közötti.
- Luminozitási osztályuk V, tehát kis tömegű, fősorozathoz közeli objektumok.
- A csillagok tömegét és luminozitását összevetve a mellékkomponens többlet-luminozitást mutat, míg a főkomponens (azaz a nagyobb tömegű csillag) kisebb luminozitású, mint egy hozzá hasonló tömegű fősorozati objektum.
- A fénygörbe a fedésen kívüli szakaszon is erőteljes változást mutat. A fedési és fedésen kívüli szakaszok nem különíthetők el. A másodminimum mélysége több, mint 70%-a a főminimum mélységének. Ez arra utal, hogy a komponensek felületi fényessége közel megegyezik. Ez azt az előzőekben feltett állítást is megmagyarázza, hogy a színindex nem, vagy nagyon kicsit változik.
- A fénygörbék és radiális sebesség görbék egyidejű tanulmányozásából két al-csoport különíthető el (Binnendijk, 1970): A-típus: a főminimum tranzit; W-típus: a főminimum okkultáció. Az utóbbi rendszerek fénygörbéi kevésbé stabilak. (Ismeretes, hogy több olyan rendszer van, melyek oszcillálnak a két típus között, pl. TZ Boo, CV Cyg.)
- A spektrumvonalak erős kiszélesedést mutatnak, bizonyos fázisokban kettőződés is előfordul. Az ultraibolya tartományban mért kromoszférikus emisszió intenzitása alapján a W UMa rendszerek a legaktívabb késői típusú csillagok közé tartoznak (Dupree, 1983).
- Az UBV- és uvby-fotometriai mérések alapján a keringési periódus és színindex között korreláció mutatkozik: a hosszabb periódusú kettősök kékebbek (periódus-szín reláció).

Nem konvektív, fősorozati csillagokból álló kontakt rendszerek esetén fontos megemlíteni, hogy  $q \neq 1$  esetén nem alkothatnak kontakt rendszert (Kuiper, 1941). Ez a fősorozati csillagok tömeg-sugár, és a Roche-geometria elméleti tömeg-sugár összefüggése közötti ellentmondás következménye:  $R_2/R_1 = q^\alpha$ , ahol  $\alpha \approx 0,46$  érintkező rendszerekre, fősorozati (egyedi) csillagokra azonban  $\alpha > 0,6$ . Kuiper "jóslata" azonban ellentétben áll a megfigyelésekkel, ugyanis a legtöbb kontakt rendszerre  $q \approx 0,3$ , míg  $q = 1$  tömegarányú W UMa típusú csillagot még nem találtak. E paradoxon feloldását jelenti, hogy a kontakt kettős rendszert egy konvektív burok veszi körül, ami a belső Lagrange-felületen túlnő (Lucy, 1968). Ebben az esetben nem érvényes a fenti tömeg-sugár összefüggés. A nem túl vastag réteg az energiatranszportot teszi lehetővé a komponensek között. Ez magyarázatot ad a mellékkomponens többletluminozitására és a szinte azonos felszíni hőmérsékletre.

Problémák merülnek fel a W UMa-típusú kettősök keletkezésével kapcsolatban is. Valószínű, hogy a nullkorú, fősorozathoz közeli csillagok (W-típusú rendszerek) kontakt rendszerként keletkeztek. Az idősebb, fősorozati komponensekből álló rendszerek (A-típusúak) azonban jelentős impulzusmomentumot veszítve, pl. mágneses fékezéssel fejlődtek kontakt objektumokká. Az is elképzelhető Webbinck elmélete szerint, hogy a nagyobb tömegű csillag lassan bekebelezi a mellékkomponensét, s így a W UMa rendszer gyorsan forgó, G– K színképosztályú óriássá alakul (FK Comae csillagok).

## Periódusváltozás kettős rendszerekben

A fedési kettősök keringési periódusa általában nem állandó, hanem többféle ok miatt változhat. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- Periasztronmozgás (apsidal motion): a pálya nagytengelye elfordul a látóirányhoz képest.
- Fény-idő-effektus (light time effect): a Doppler-effektus miatt hosszabb-rövidebb periódust mérünk (időpontok eltolódnak).
- Tömegátadás (mass transfer): a periódus ilyen esetben közel egyenletesen nő vagy csökken.

Ezek közül leggyakrabban a tömegátadás fordul elő. Ez nyilván csak félig érintkezô illetve kontakt rendszerek esetén következhet be.

A periódusváltozás ütemére egyszerű becslés adható akkor, ha feltesszük, hogy a tömegátadás során a rendszer össztömege állandó marad. Ekkor a rendszer teljes (állandó) impulzusmomentuma:

$$J = (G A / M)^{1/2} (m_1 m_2) .$$

Tegyük fel, hogy  $m_1$  ad át  $\Delta m$  tömeget  $m_2$ -nek. Ekkor Kepler III. törvényét felhasználva adódik:

$$(1/P) \Delta P / \Delta t = 3 (m_2 - m_1) / (m_1 m_2) \Delta m / \Delta t.$$

Evolúciós szempontból 3 tömegátadási típust különböztetnek meg:

A-típus: a tömegátadás a magbéli H-égéskor következik be.

B-típus: a tömegátadás a He-héj égetése előtt következik be.

C-típus: az átadás a He-héj égetésekor, a szén-égés előtt indul meg.

Dinamikai szempontból a tömegcsere lefolyása lehet "gyors", ekkor a nagyobb tömegű csillag ad át tömeget a kisebb tömegű társának, és a kitöltöttség fokozódik. Illetve lehet "lassú", ekkor a nagyobb tömegű csillag Roche-térfogata nő.

## Műszertechnikai áttekintés

A Bajai Bemutató Csillagvizsgáló 1955. december 18-án nyílt meg a belváros-ban, a felsőlégkör kutatása céljával. 1987-ben az MTA átadta a Bajai Bemutató Csillagvizsgáló intézetet a városnak, így a kutatás és ismeretterjesztés kettévált: a kutatóintézet kiköltözött a centrumtól kb. 6 km-re (keletre). A kutatómunka fokozatosan a szoros kettőscsillag rendszerek asztrofizikája irányába tolódott el. Az akkori 40 cm-es Cassegrain távcső a JATE tulajdona volt, ezért Szegedre került, majd később Baja városa megkapta a támogatást egy új távcső beszerzésére. A jelenlegi teleszkópról az alábbiakban szólok.

**A távcső:** Méréseimet az 50 cm tükörátmérőjű, f/8-as fényerejű, 4,2 m fókusztávolságú, villás szerelésű, Ritchey-Chrétien teleszkóppal végeztem Baján, 2000. június 26-30. között.

Az optikai elrendezés: A viszonylag rövid fókusztávolságú főtükör egy domború segédtükörre vetíti a fényt, ahol a sugárkúp nyílásszöge csökken, így a második reflexió után egy látszólag a főtükörnél sokkal kisebb nyílásviszonyú objektív fénymenete halad át a főtükör furatán. Rövid tubushosszban a fókusznújtásnak köszönhetően – hosszú fókusztávolság rejlik, így a távcső mechanikailag stabil. A kör alakú leképezés miatt a távcső CCD használatára nagyon kedvező.

**A CCD detektor:** APOGEE AP7 típusú CCD, melynek néhány fontos paraméterét a következő táblázat mutatja:

Pixelszám	512* 512
Pixelméret	24*24 $\mu\text{m}$
A/D konverzió	16 bit (65535 ADU)
Chip	SITE, hátsó megvilágítású

Az utolsó éjszakán (29-én) méréseimet ST-9E típusú kamerával készítettem, melynek a fontosabb paraméterei:

Pixelszám	512*512
Pixelméret	20*20 $\mu\text{m}$
A/D konverzió	16 bit (65535 ADU)
Chip	KAF-0261E

Az optikai CCD detektorok olyan eszközök, melyek apró,  $\mu\text{m}$  nagyságrendbe tartozó, mátrixos elrendezésű cellái (pixelei) a fényre érzékenyek, mégpedig oly módon, hogy minden egyes cella a ráeső fény mennyiséggel arányos mennyiségű elektront halmoz fel fotoeffektus útján. A megvilágítás után egy kiolvasó rendszer segítségével a kimenethez

visszük", és itt mérjük meg az egyes pontokhoz tartozó töltésmennyiséget. Így ábrázolható az egyes pixelekhez tartozó, töltéssel arányos fényesség - azaz maga a kép.

A CCD kamerák főbb jellemzői:

- Nagy kvantumhatásfok (hátsó megvilágítású CCD esetén elérheti a 80-90%-ot is).
- A vörös és infravörös tartományban jóval érzékenyebb, mint a kékben.
- A töltésmennyiség a beeső intenzitásnak több nagyságrenden keresztül lineáris függvénye (nagy a dinamikai tartománya).
- Térbeli felbontása rosszabb, mint a fotolemezé, de CCD vel rövidebb idő alatt halványabb objektumokat jeleníthetünk meg.
- Mint mindegyik mérőeszköz, a CCD is rendelkezhet véletlenszerű és szisztematikus hibával. Fontos megemlíteni a sötétzaj (elektronok foton nélkül is lesznek), illetve a kiolvasási zaj szerepét (bővebben l. Fűrész, 1998).

A CCD felvételeket jellemző tényezők kiszűrése és explicit figyelembe vétele nem elhanyagolható. Ezen kalibrálások a következőképpen alkalmazhatóak:

Sötétzaj korrekció: a sötétzaj korrelált bizonyos pixelek mindig több elektront vesznek magukba ami ún. sötétkép készítésével vehetünk figyelembe. A sötétképet digitálisan levonjuk az elkészített képből:

$$I(x,y) = I(x,y) - D(x,y).$$

Az eredménynek is lesz hibája, hogy ezt csökkentjük, átlagolnunk kell a sötétképeket:

$$D = 1/N * \sum D_i(x,y).$$

Bias korrekció: azt mondja meg, hogy 0 expozíciós időnél adott pixelhez hány elektron tartozik. Szintén átlagolni kell; előnyös, hogy gyárilag beépítik a bias kép készítést a kamerákba. A sötétzaj-korrekcióval egyben a bias-korrekciót is elvégezhetjük.

Overscan korrekció: Az overscan egy elzárt terület a CCD-n, ahol a bias szint ingadozását figyelhetjük meg. Ennek előnye: nem kell külön bias képet készíteni. Csak utólag nézik az intenzitást, függvényt illesztnek rá, az értékét a képből levonják.

Flatfield korrekció: Az egyes pixelek eltérő érzékenységét veszi figyelembe. Azonos fényességhez nem ugyanolyan intenzitás tartozik, melynek okai lehetnek pl. porszemek (diffrakciós gyűrűk) illetve a beállítási hibák. Először az egyenletesen megvilágított látómezőről ún. flatfield képeket készítünk, átlagoljuk őket, majd korrigáljuk a bias-szintre és egyre normaljuk. Végül ezzel leosztva a korrigálni kívánt képet, visszaállíthatjuk a helyes intenzitás-eloszlást.

## A csillagok kiválasztása



Az FU Dra csillagot a <http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/HIPcatalogueSearch.html> címen elérhető Hipparcos adatbázisból választottam ki. A kiválasztás legfontosabb szempontjai az alábbiak voltak:

- Olyan csillagot kell találni, mely a megfigyelések alatt lehetőleg egész éjszakán át mérhető.
- A fényessége ideális legyen – CCD detektor használata esetén ez az érték kb. 9-13 magnitúdó közé essék.
- A periódusa ne legyen 1 ill. 0,5 nap, mert ekkor ugyanabban a fázisban tudnánk észlelni; valamint, kevés észlelési idő esetén a rövid, 1 napnál kisebb periódusú csillagok jöhetnek számításba.
- A mérés idejét nem célszerű úgy választani, hogy az éppen telihold környékére essék.

Az objektum kiválasztásakor megkerestem a számomra legfontosabb paramé-tereket, melyeket az 1. táblázat sorol fel.

RA	15h34m45s
DEC	+62°16'44,9"
Minimum fényesség (V)	11,098 magnitúdó
Maximum fényesség (V)	10,551 magnitúdó
Periódus	0,3067180 nap

1. táblázat: Az FU Dra megfigyeléséhez szükséges paraméterek

Az FU Dra egy W UMa típusú változó, melynek minimum és maximum fényessége V-szűrővel 10,551 és 11,098 magnitúdó, ami a detektálás szempontjából nagyon kedvező. A fényváltozás periódusa 0,3 nap körüli, ami 7,2 órának felel meg. Egy nyári éjszaka során – kedvező légköri viszonyok mellett – fél periódus kimérésére van lehetőség, s a következő éjszaka során más fázisban figyelhető meg a csillag. Az objektum kiválasztásánál nem elhanyagolható szempont volt, hogy a szakirodalom viszonylag kevés mérési eredményt közölt erről a csillagról. Az FU Draconis-ról mérési adatot nem közöltek még, így mindössze a Hipparcos adatbázisban közölt periódus és fénygörbe volt ismert. Mérésem célja így elsősorban az volt, hogy új minimum időpontokat határozzak meg, és a periódus értékét pontosítsam. A Guide 7.0 program segítségével készítettem keresőtérképet; mivel az adott távcső és CCD kamerák esetén (l. fentebb) a látómező 9x9, illetve 10x10 ívperc, így a keresőtérkép készítésekor ekkora látómezőben gondolkodva összehasonlító csillagokat is kellett találni a csillag fényességváltozásának hitelesítésére. A Guide segítségével meggyőződtem arról, hogy a kiválasztott összehasonlító esetében eddig nem tapasztaltak fényességváltozást.

Az FU Dra mellett a másik kiválasztott objektum az AW UMa volt, amely régóta ismert fedési változó. A kiválasztásban az alábbiak játszottak döntő szerepet:

- A csillagról sok elérhető publikáció illetve mérés legyen (fénygörbe és radiális sebesség adatok)

- W UMa típusú fedési kettős
- Rövid periódus
- Viszonylag fényes objektum

Az AW UMa megfigyelési paramétereit a 2. táblázatban találhatók.

Min. fényesség (V)	7,13 mag
Max. fényesség (V)	6,83 mag
Epocha (JD)	44664,7993
Periódus (nap)	0,4387299

2. táblázat: Az AW UMa kiválasztásához szükséges fontos paraméterek

## *AZ AW Ursae Majoris és az FU Draconis fizikai paramétereinek meghatározása*

### AW UMa

#### I. Irodalmi feldolgozás

Az AW UMa régóta ismert W UMa típusú kettőscsillag. A Roche-geometriával jellemezve kontakt rendszer, tehát a komponensek érintik egymást. A fénygörbe illetve a fázisdiagram tanulmányozása révén a mellékminimumnál totális fedés figyelhető meg, ami arra utal, hogy a főkomponens felületi fényessége a nagyobb, valamint a pályasíknak a látóiránnyal bezárt szöge (inklináció)  $90^\circ$ -hoz közeli, azaz A-típusú kontakt rendszer (Binnendijk, 1970). A jelenlegi ismeretek alapján ez a legkisebb tömegarányú rendszer ( $0,07 < q < 0,08$ ). A radiális sebességgörbéből számolt tömegarány az eddigi mérések és számítások alapján jó egyezést mutat a 3. táblázatban felsorolt értékekkel (McLean, 1981):

Tömegarány	Hiba	Publikáció
0,079	0,008	Mochnecki & Doughty, 1972
0,0716	0,0005	Wilson & Devinney, 1973
0,0795	0,0005	Lucy, 1973
0,0766	0,0008	Nagy, 1974

3. táblázat: Az AW UMa rendszer lehetséges spektroszkópiai tömegarányai

A spektroszkópiai elemzések révén korai spektráltípusú: F1-F2 (Eggen, 1967), vagy F0-F1 (Paczynski, 1964). A rendszer periódusváltozását régebben értelmezték úgy is, hogy konstans szakasz után hirtelen (ugrásszerű) perióduscsökkenés következett be (Hrivnak, 1982), azonban nem vetették el a periódus folyamatosan csökkenését sem. A kettőscsillag össztömege  $q = 0,0716$  tömeg-arány és  $i = 79^\circ$ -os inklináció esetén  $M = 3,5 M_\odot$ . A nagyobb csillag ad át tömeget a kisebbnek, a periódus folyamatos változása és a perióduscsökkenés ezzel megmagyarázható (Hrivnak, 1982). A komponensek nagy felületen érintkeznek, a térbeli mozgásból arra következtetett Derman, Demircan és Müyesseroglu (1990), hogy ún. öreg korong-populációs csillag. Hrivnak (1982) számításai alapján mindmáig alkalmazott legfontosabb paramétereket a 4. táblázat mutatja:

Periódusvált. üteme	$-3,2 \cdot 10^{-10}$ nap/ciklus
Tömegátadás üteme	$5,1 \cdot 10^{-10} M_\odot / \text{év}$
$T_{\text{eff}}(1)$	7175 K
$T_{\text{eff}}(2)$	6910 K vagy 7146 K
i	$79,1^\circ$

4. táblázat: Az AW Uma paraméterei Hrivnak (1982) számításai alapján

## II. A periódusváltozás vizsgálata

A W Uma típusú fedési változóknál a periódus időben változik, aminek lehetséges oka az ezen rendszerekben előforduló tömegátadás. Ahhoz, hogy a változás mértékéről, típusáról mondjunk valamit, O-C diagramot kell készítenünk. Ez a diagram időtartamokat ábrázol. Fedési változóknál az O, obszervált időpontot a főminimum adja, C pedig a minimum bekövetkezésének várható időpontja (kalkulált). Legyen  $T_0$  a referenciaidőpont (epocha), N pedig a referenciaidőponttól eltelt ciklusok száma. Válasszunk ki egy számunkra megfelelőnek látszó próbaperiódust (P). Ekkor a főminimum várható bekövetkezését a  $T_N = T_0 + NP$  összefüggésből számíthatjuk ki. Így megkaphatjuk az O-C értéket  $O-C = T^* - (T_0 + NP)$ , ahol  $T^*$  egy megfigyelt főminimum időpontja.

A görbe alakja meghatározza a periódust oly módon, hogy ha:

- ferde egyenes, akkor a periódust rosszul becsültük meg:  $O-C = N(P^* - P) = NA$ , ahol A az egyenes meredeksége. Ha az A pozitív, akkor  $P^*$  nem változik, P-t alulbecsültük. Ekkor új P-t definiálva  $P = P + A$ , illetve ha A negatív volt,

$P = P - A$ . Ez esetben a periódus korrigálásra szorult.

- a periódus ciklusról ciklusra egyenletesen változik, akkor

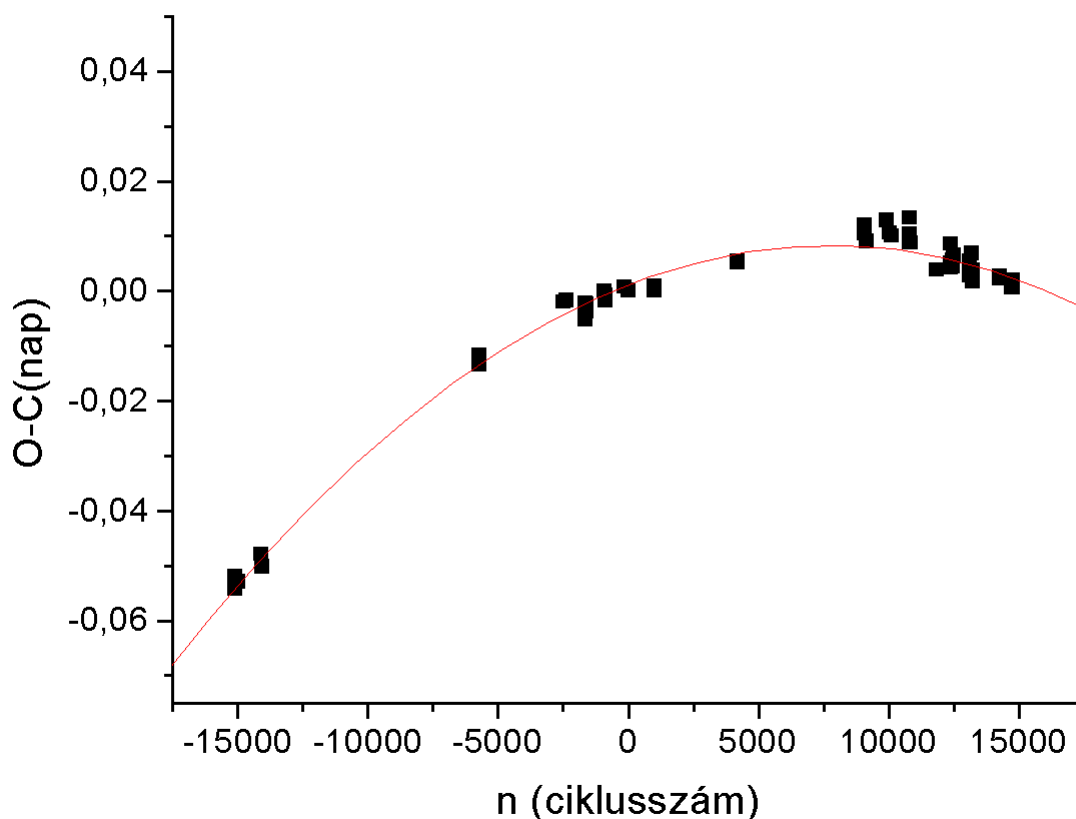
$$O-C = (T^* - T_0) + N \left\{ (P^* - P) - \Delta P / 2 \right\} - \Delta P N^2 / 2 \quad (1)$$

ahol P a próbaperiódus,  $T_0$  az alapidőpont, a  $P^*$  pedig a  $T_0$ -hoz tartozó valódi periódus. Ez egy parabola alakú függvényt eredményez, melynek általános alakja

$An^2+Bn+C$ . Innen  $A=\Delta P/2$ , tehát a periódusváltozás ütemé-neka felét adja. (Az O– C deriváltjának segítségével megadható a periódus-korrekción.) A

$$P^*_N=P^*_0+N\Delta P \quad (2)$$

már említett összefüggésből tehát megkapjuk, hogy most mennyi a csillag periódusa. 50 évre visszamenőleg összegyűjtöttem, majd feldolgoztam a periódusváltozására vonatkozó adatokat, valamint megszerkesztettem a rendszer O-C diagramját, amelyet az 1. ábra mutat.



1.ábra: Az AW UMa O C diagramja

A lefelé tartó parabola arra utal, hogy a rendszer periódusa ez idő alatt folyamatosan csökkent, és a periódus időben ténylegesen változik. Az illesztett függvény paraméterei a következők:

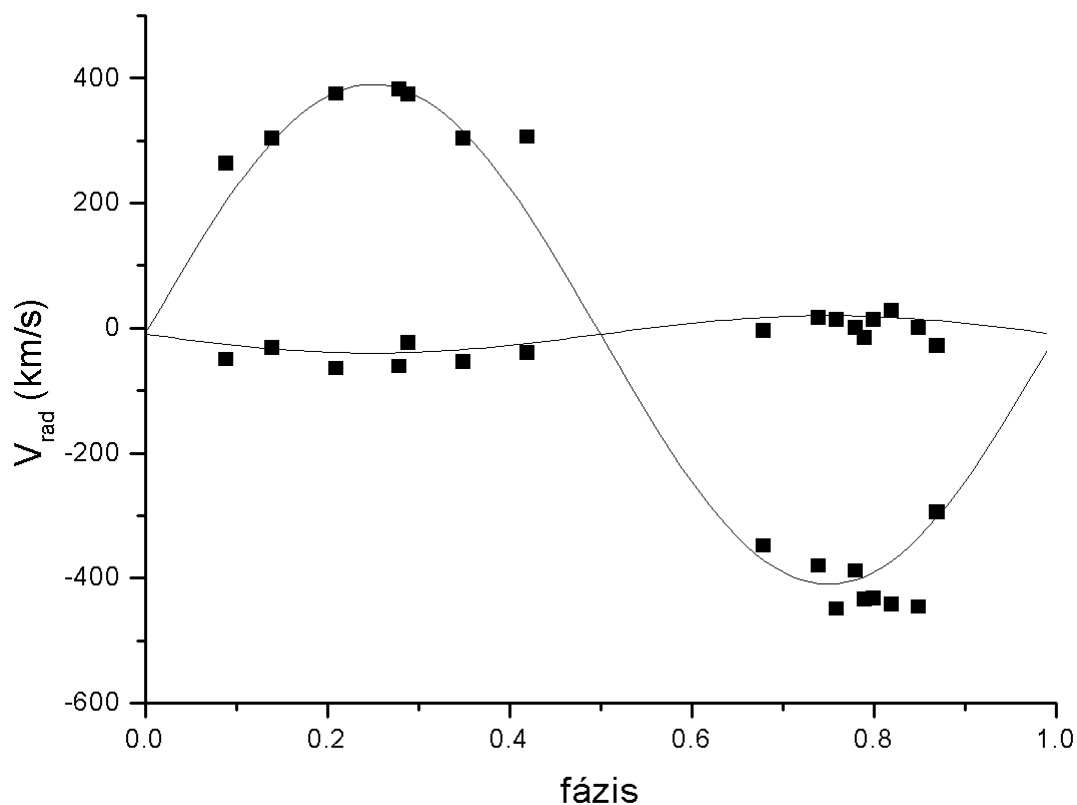
$$\begin{aligned} A &= 1,193525*10^{-10} \\ B &= 1,849505*10^{-6} \\ C &= 1,175979*10^{-3} \end{aligned}$$

Ezen paraméterek, az irodalomból összegyűjtött adatok, valamint a fentiekben említett (2) összefüggés alapján a rendszer orbitális periódusa:  $P= 0,4387279$  nap, melynek  $t_0= 2444664,7993$  JD az epochája.

A periódusváltozás üteme (1) alapján  $\Delta P = 2,38704 \cdot 10^{-10}$  nap/ciklus.

### III. Fizikai paraméterek meghatározása

A komponensek radiális sebességeit McLean (1980) adatai alapján ábrázoltam, majd görbeillesztéssel spektroszkópai tömegarányt határoztam meg. Az AW UMa sebességgörbéjét a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Radiális sebességgörbe az AW UMa rendszerről.

A fenti radiális sebesség görbére  $K \sin(2\pi \phi) + v_0$  alakú függvényeket illesztettem, ami azt az egyszerűsítő feltevést jelenti, hogy a mért radiális sebességek a csillagok tömegközéppontjának keringését írják le. Az illesztés segítségével a sebesség-amplitúdókra  $K_1 = 30$  km/s (főkomponens) és  $K_2 = 400$  km/s (mellék-komponens) értékeket kaptam eredményül. A fedési kettősök tömegarányát az amplitúdók aránya határozza meg. Az általam számolt érték  $q = 0,075$ .

A csillag spektráltípusa F0-F1 – legalábbis a publikációkban ez a leggyakrabban elfogadott – ehhez 7000 K-hez közeli hőmérséklet tartozik.

Az spektroszkópai elemzésből kapott tömegarányt a későbbiekben a Fénygörbe modellezés fejezet Tesztelés alfejezetében a fénygörbeillesztésnél is felhasználom.

A Hrivnak (1982) publikációjában közölt össztömeget ( $M = 3,5 M_{\odot}$ ), valamint az

elôzôekben meghatározott tömegarányt ( $q=0,075$ ) alapul véve kiszámítottam a komponensek tömegét:

$$m_1 = 3,2558 M_{\odot} \text{ és } m_2 = 0,2442 M_{\odot} .$$

A Schmidt-Kaler-féle táblázatokat használva (Carroll & Ostlie, 1996) a tömegüknek megfelelô színképtípusuk B9 illetve M5. A ténylegesen megfigyelt színképtípus mindkét csillagra F0-F1, ami arra utal, hogy a kontaktus miatt a komponensek felszíni hőmérséklete kiegyenlítôdik.

Kepler III. törvénye segítségével kiszámítottam a kettôs rendszer keringési pályájának fél nagytengelyét az elôzôekben közölt periódusértékkel:

$$A = (G * M * P^2 / 4\pi^2)^{1/3}$$

A pálya fél nagytengelyének nagysága közelítôen:  $A = 3,694 \pm 0,047 R_{\odot}$  (mely érintkezô rendszerek esetén kb. a komponensek sugarainak összege). A Roche-geometriából adódóan az alábbi közelítô képleteket alkalmazva meghatároztam a komponensek sugarát:

$$R_1 = A * \{0,38 \quad 0,2 * \log(q)\} \quad R_1 = 2,24 R_{\odot}$$

$$R_2 = A * \{0,38 \quad 0,2 * \log(1/q)\} \quad R_2 = 0,57 R_{\odot}$$

A sugarak alapján A2 és M2 a komponensek színképtípusa. Az eredményen látható, hogy a kapott  $R_2$  érték nagyobb, mint ami a csillag tömege alapján indokolt lenne.

A perióduscsökkenés mértékébôl meg lehet határozni a tömegátadás mértékét a kettôscsillagra, ha ismerjük a komponensek tömegét:

$$d \ln(P) / dt = 3 (m_2 - m_1) / (m_1 m_2) (dm / dt),$$

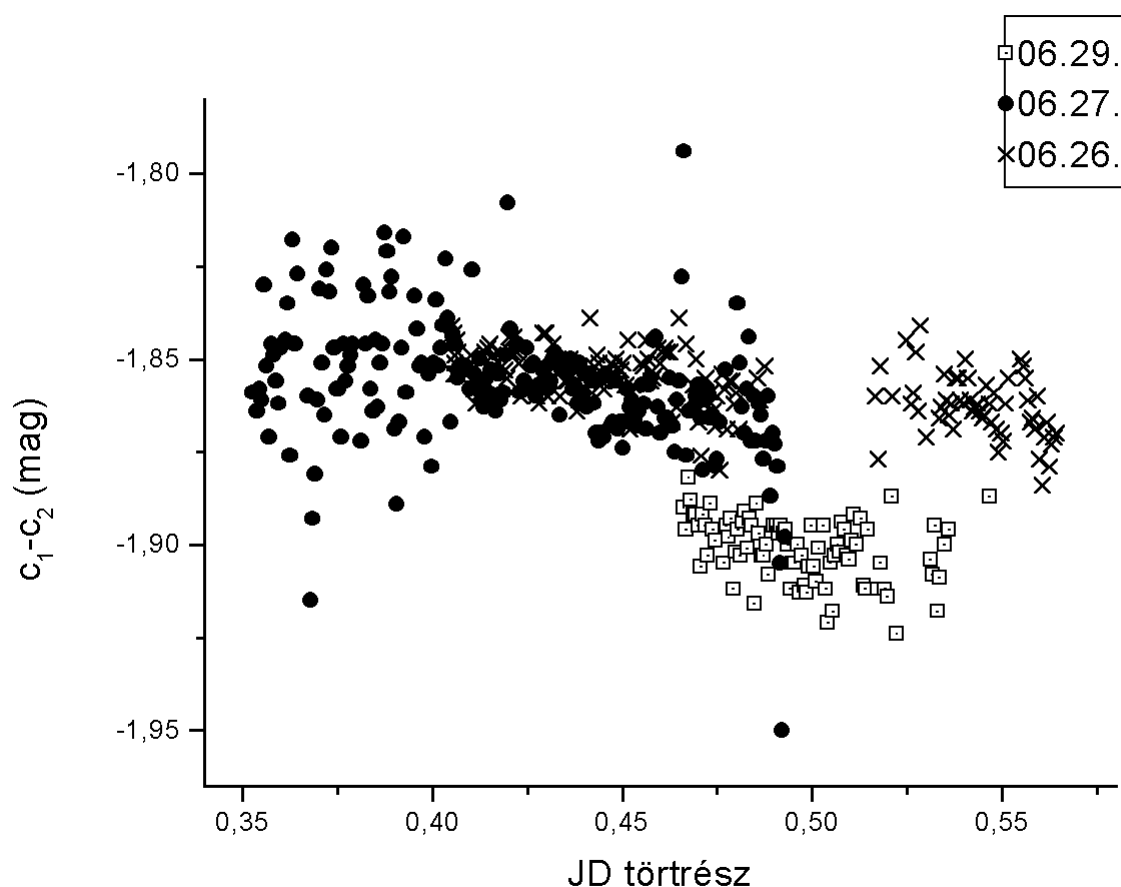
ahol  $dm$  a  $dt$  idô alatt az  $m_1$  tömegû csillagról az  $m_2$ -re átáramlott tömeget jelenti. Az általam meghatározott O-C diagram alapján évente kb.  $5 * 10^{-8}$  naptömegnyi anyag áramlott át a nagyobb tömegû csillagról a kisebbre. Ez jó egyezést mutat Hrivnak (1982) eredményével. Ez a tömegátadási ráta árulkodik arról is, hogy melyik komponens biztosítja az anyagátáramlást. Ha negatív az értéke, akkor a nagyobb tömegû összetevô veszít tömegébôl, csökkentve ezzel a rendszer keringési periódusát.

## FU Dra

### I. Képeim feldolgozása, kiértékelése

A CCD-vel készült digitális felvételeimet az *IRAF* csillagászati képfeldolgozó rendszer segítségével mértem ki. A CCD képek elkészítésével egyidôben készítettem a sötétképeket, amiket a mérés során használt kameravezérlô program automatikusan le is vont a képekbôl, így a dark korrekciót utólag már nem kellett elvégezniem. A képek 10-es sorozatokban készültek, minden egyes sorozat elején egy-egy újabb sötétkép készült, s ezt a képet vonta le a program minden képbôl. A flat korrekció elvégzéséhez mind az esti, mind a hajnali szürkületben készítettem több flatfield képet is, különbözô átlagintenzitásúakat (10 és 45 ezer

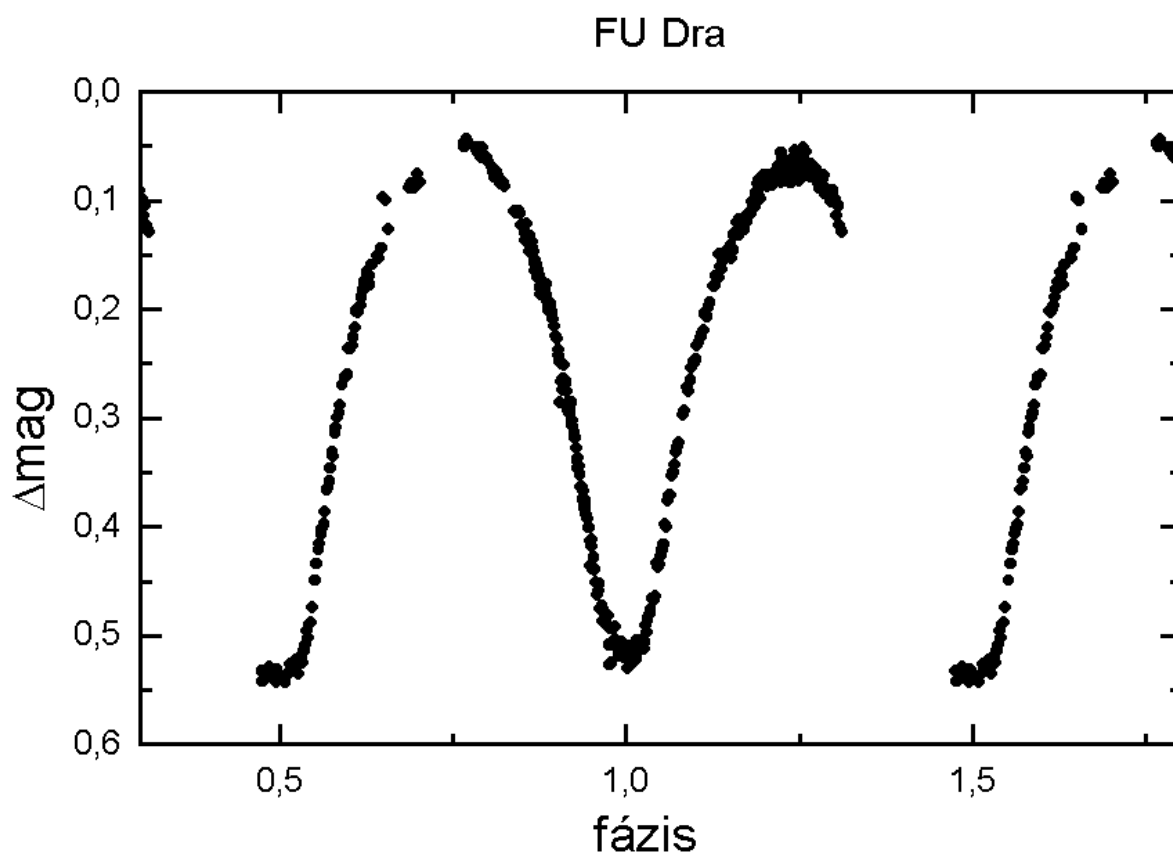
ADU közötti átlagok), s ezekből utólag az *IRAF flatcombine* taszkjának segítségével, medián átlagolással készítettem minden egyes éjszakára egy-egy flatfield képet. A csillagok fényességmérését szintén az *IRAF*-ben végeztem, egyszerű apertúra fotometriát használva (*aphot*). Az apertúra sugarait az egyes képeken az *imexam* taszkkal vizsgálva határoztam meg, figyelembe véve a csillagprofilok félértékszélességét. Az *aphot* taszkat interaktív módban futattam, ezáltal biztosítva, hogy a kimenő adatfile első oszlopában mindig a változó, második és harmadik oszlopában az összehasonlító és az ellenőrző csillagok fényességértékei szerepeltek. Mivel szűrőt technikai opkókból nem használtam, ezért nem végeztem semmilyen korrekciót a kapott eredményeken (standard transzformáció), a későbbiekben az instrumentális magnitúdókat használtam fel. Az alkalmazott differenciális fotometria során a CCD kis látómezeje miatt az extinkciós korrekciót sem kellett végrehajtani. A fényességmérés pontosságát mutatja az összehasonlító ( $c_1$ ) és az ellenőrző ( $c_2$ ) csillagok fényességének különbsége, mely a 3. ábrán látható:



3.ábra: Az FU Dra rendszer mérése során az összehasonlító és az ellenőrző csillagok különbsége

A grafikonról leolvasható, hogy az égbolt minősége erősen változott, nem csak napról napra, hanem egy éjszakán belül is (a szórás néhol 0,01, másutt 0,04 magnitúdó), ezt egyébként a mérés során megfigyelt átmeneti felhősödés magyarázza. A 29-én készített képeken hirtelen ugrás figyelhető meg, ami egyrészt a nem túl tiszta égbolttal, másrészt más kamerával (ST-9E) készített képekkel magyarázható.

A fénygörbe elkészítéséhez szükség volt az egyes felvételek elkészítésének időpontjaira, amit a FITS képek fejléceiből szedtem ki. Az óra-perc-másodperc formátumú fájlba írt adatokat egy program segítségével számítottam át JD-re. A fázisdiagram elkészítéséhez szükség volt a periódus értékének meghatározásához. Ezt szintén program segítségével végeztem. A program fázisdiszperziós módszert alkalmaz, a próbaperiódusok szélsőértékeit a Hipparcos katalógus alapján adtam meg. A mérési adatokat fázisba rendezve a 4. ábrán látható görbét kaptam.



4.ábra: Az FU Dra fázisdiagramja

A fázis definíciója:  $\phi = \text{int}((t-t_0)/P)$ , ahol  $t_0$ : epocha,  $t$ : időpont (JD),  $P$ : periódus

## II. Perióduskorrekción

A fénygörbe alapján új minimumidőpontokat határoztam meg (a heliocentrikus korrekciót is figyelembe véve):

$$T_{\min \text{ II}} = 2451722.4762 \text{ HJD}$$

$$T_{\min \text{ II}} = 2451723.3979 \text{ HJD}$$

Ezekből a minimumidőpontokból és a Hipparcos epochájából megszerkesztettem a rendszer O-C diagramját, mely az 5. ábrán látható.

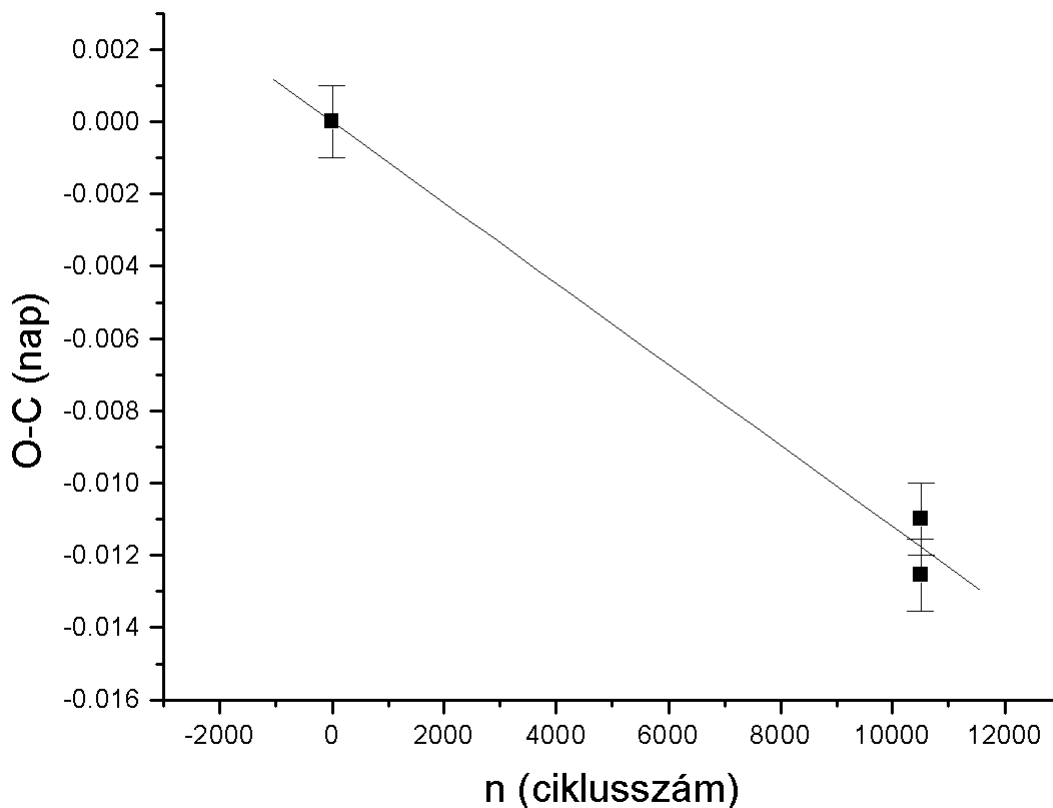


A pontokra illesztett egyenes meredeksége:

$$A = 1,12027 \cdot 10^{-6} \pm 1 \cdot 10^{-7} \text{ nap / ciklus}$$

A korrigált periódus:  $P_{\text{cor}} = P_{\text{o-c}} + \Delta P$ , ahol  $\Delta P = A \cdot 1 \text{ ciklus}$

$$P_{\text{cor}} = 0,3067169 \pm 1 \cdot 10^{-7} \text{ nap}$$



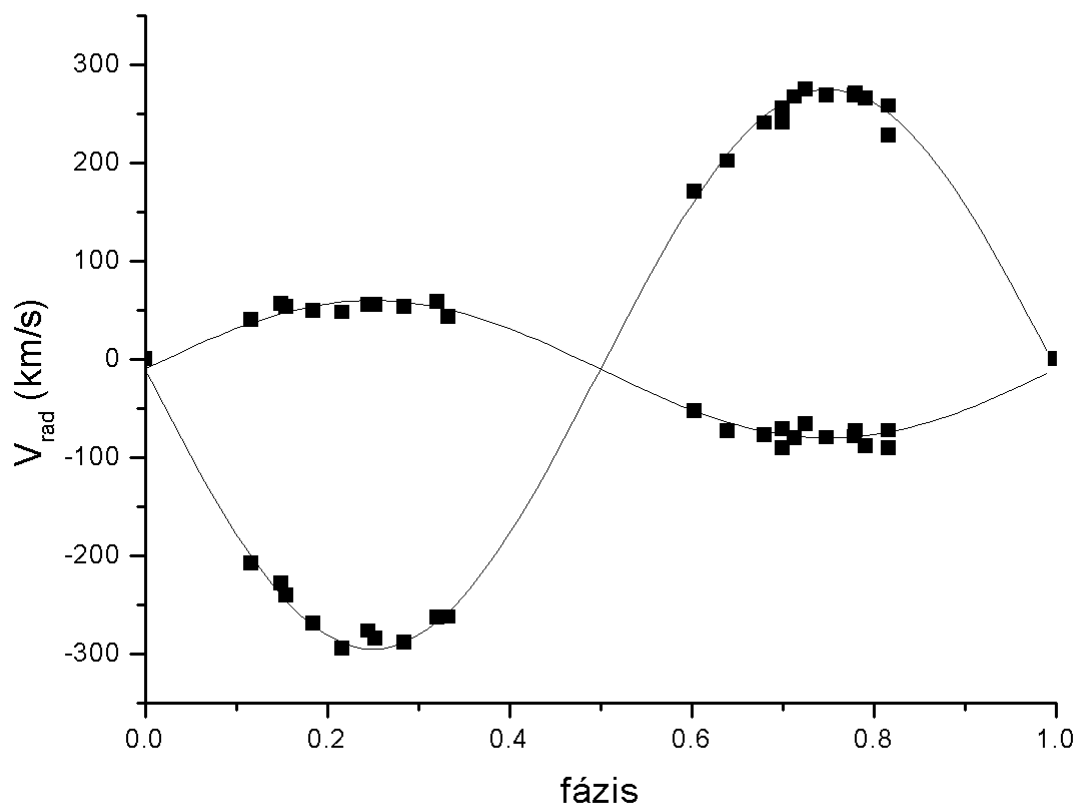
5.ábra: A FU Dra O C diagramja

Látható, hogy a Hipparcos által megadott periódust kismértékben, de szignifikánsan korrigálni kellett ahhoz, hogy a helyes periódust megkapjuk. A  $10^{-7}$  nap pontosság eléréséhez több, mint 10000 ciklusnak (azaz kb. 8 évnek) kellett eltelnie.

### III. Radiális sebességek

A FU Dra radiális sebességeit Rucinski, Lu & Mochnacki (2000) publikációjából gyűjtöttem össze. Ezekből megszerkesztettem a kettős csillag radiális sebesség görbét, majd illesztés segítségével kiszámítottam a rendszer (spektroszkópiai) tömegarányát. A radiális

sebességeket a 6.ábra mutatja:



6.ábra: A FU Dra radiális sebesség görbéje

A görbe sebesség-amplitúdóira  $K_1 = 70$  illetve  $K_2 = 285$  km/s értékeket kaptam.

Ebből a tömegarány  $q = 0,25$ .

Ahhoz, hogy a komponensek tömegeit meghatározhassam, az inklináció ismeretére van szükség. A pálya hajlásszögét a fénygörbéből lehet meghatározni. A továbbiakban ezért a FU Dra fénygörbéjének analízisével foglalkozom.

## *Fénygörbe modellezés*

### A NIGHTFALL program

Az Internetről publikusan elérhető [www.lsw.uni-heidelberg.de/~rwichman/Nightfall.html](http://www.lsw.uni-heidelberg.de/~rwichman/Nightfall.html) program megadott paraméterek alapján modellezi a kettős rendszert. A modell a Roche-geometrián alapul, figyelembe véve a szélsőtétedés és a reflexió hatásait is. Lehetőséget biztosít megfigyelési adatokra történő paraméter-illesztésre is.

A rendszer modellezéséhez az alábbi paraméterek szükségesek:

- periódus
- össztömeg
- félnagy tengely (kontakt rendszernél a komponensek sugarainak összege)
- inklináció
- tömegarány
- a Roche-térfogat kitöltöttsége mindkét komponensre
- a komponensek effektív hőmérséklete

A hőmérsékletek, a kitöltési faktor, a tömegarány és az inklináció illeszthető paraméterek.

### A program tesztelése

Az AW UMa régóta figyelemmel kísért fedési kettős, így számos mérési adata illetve fizikai paramétere ismert. Ezen okból kifolyólag e rendszer modellezésével teszteltem a programot, így ellenőriztem a számítások hitelességét.

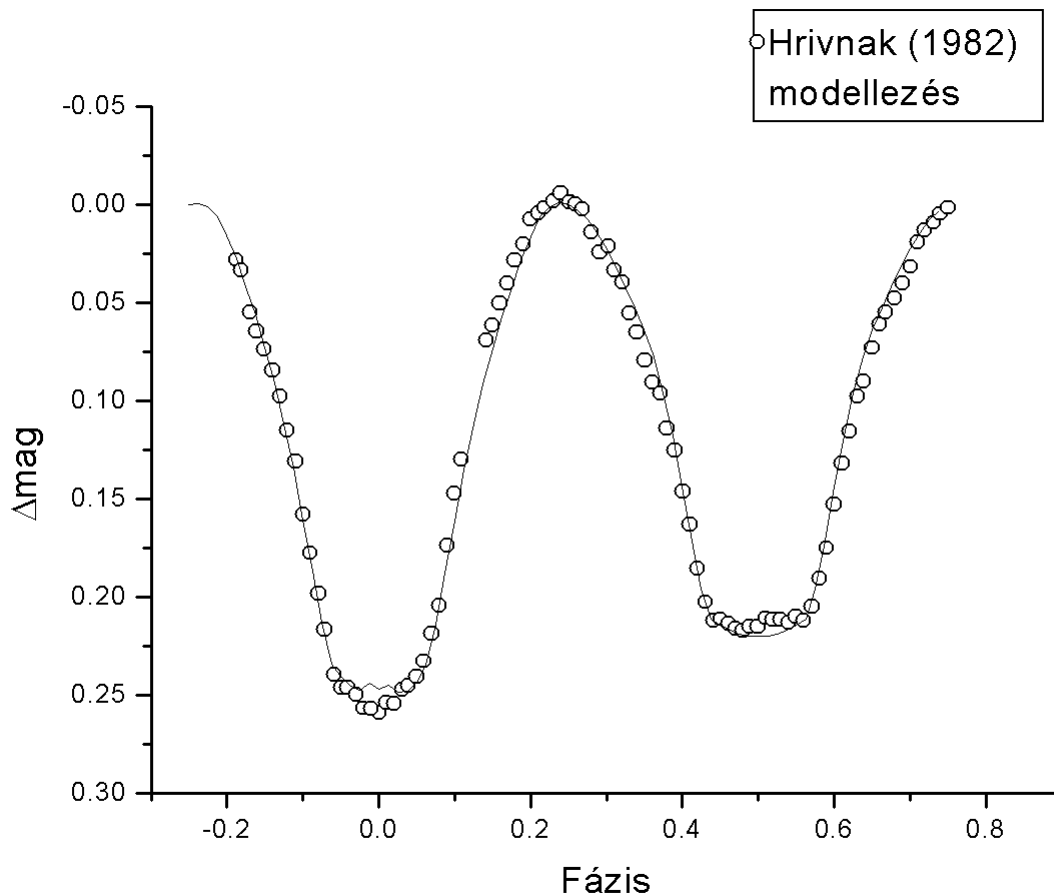
Hrivnak (1982) mérései alapján a megadott intenzitásarányokból magnitúdó értékeket számoltam, majd a kapott fénygörbére illeszttem a modellező program által számolt fénygörbét. Az illesztett paraméterek a pályasík inklinációja ( $i$ ) és a rendszer tömegaránya ( $q$ ) voltak.

A kiindulási paramétereket a 5. táblázat foglalja össze. (A kitöltési faktor mindkét komponensre ugyanaz az érték, ez a Roche-geometriából adódik.)

$q (= m_2 / m_1)$	0,075	illesztett, jelen dolgozat
$i$	79,1°	illesztett, Hrivnak (1982)
F (kitöltési faktor)	1,050	rögzített
$T_{\text{eff}} (1)$	7100 K	Hrivnak (1982)
$T_{\text{eff}} (2)$	6900 K	Hrivnak (1982)
P	0,439 nap	jelen dolgozat
$M (= m_1 + m_2)$	3,5 $M_{\odot}$	Hrivnak (1982)
A	3,687 $R_{\odot}$	jelen dolgozat

5. táblázat: Az AW UMa modellezésekor használt paraméterek

Az illesztés eredményét a 7. ábra mutatja:



7.ábra: Az AW UMa fénygörbe-modellezés eredményének fázisdiagramja

A fénygörbe-illesztés eredményeül kapott tömegarány és az inklináció:

$$q = 0,083 \text{ és } i = 80,66^\circ$$

Ezek a paraméterek nagyon jó egyezést mutatnak a 3. és 4. táblázatban közölt korábbi irodalmi eredményekkel. A folytonos vonallal ábrázolt modell-fénygörbe láthatóan jól illeszkedik a mérési adatokra (a mellékminimumnál teljes fedést mutat a görbe), így a tesztelés során a program érdemesnek bizonyult a kevésbé ismert FU Dra rendszer modellezésére.

### Az FU Dra fénygörbe-modellezése

Az FU Dra általam mért fénygörbéje hiányosságokat mutatott (ismeretlen leszállóág), ezért a teljes fedés kérdéses volt. Így fénygörbe-illesztés segítségével kiegészítettem a méréseimet, és az ismeretlen inklinációt valamint a mellékkomponens effektív hőmérsékletét illesztett paraméterként adtam meg.

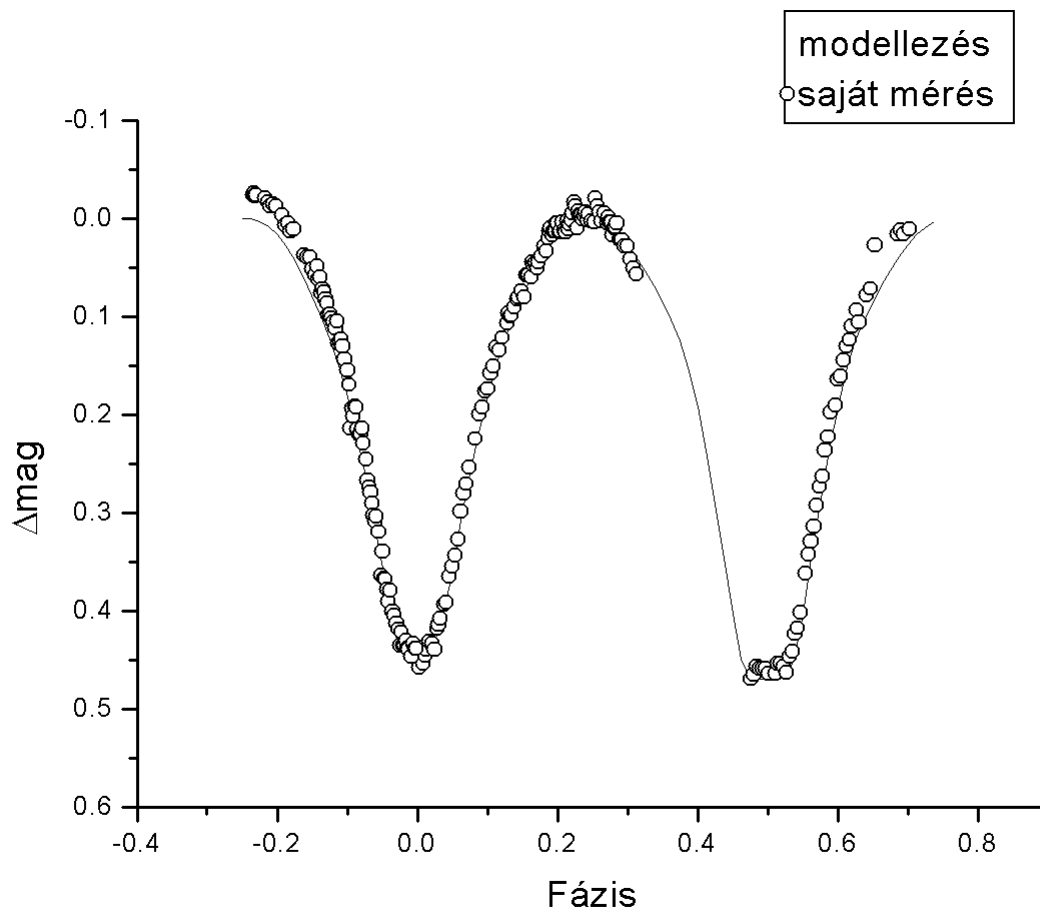
A tömegarányt és a pálya fél nagytengelyét a radiális sebesség görbe analízisének eredményéből számítottam ki. A főkomponens effektív hőmérsékletét úgy választottam meg, hogy az megfeleljen a kettőscsillag mért színindexének ( $B-V = 0.59$ ).

A kapott paramétereket a 6. táblázat foglalja össze.

q	0,25	jelen dolgozat
i	80,8 °	illesztett
F	1,05	rögzített
$T_{\text{eff}} (1)$	6200 K	Hipparcos
$T_{\text{eff}} (2)$	6505 K	illesztett
P	0,307 nap	jelen dolgozat
M	1,44 $M_{\odot}$	jelen dolgozat

6. táblázat: Az FU Dra modellezés során használt paramétereit

Az illesztés eredményét a 8. ábra mutatja:



8. ábra: A FU Dra fénygörbe-modellezés eredményének fázisdiagramja

Az illesztés eredményeül az inklinációra, valamint a mellékkomponens effektív hőmérsékletére a következő értékeket kaptam:

$$i = 80,8^\circ$$

$$T_{\text{eff}} = 6505 \text{ K}$$

Mivel méréseim szűrő nélkül készültek, a modellezésből kapott hőmérséklet nem tekinthető megbízható becslésnek. A rendelkezésre álló adatok alapján csak annyi állítható, hogy a mellékkomponensnek nagyobb kell, hogy legyen a hőmérséklete ahhoz, hogy a fényváltozást megmagyarázzuk.

Kitűnik a diagramból, hogy a főminimumnál ténylegesen totális fedés következik be, valamint az, hogy a mellékkomponens effektív hőmérséklete a magasabb. Mindez a W-típusú kontakt rendszerek jellemzője.

A modell-fénygörbe és a mérések magnitúdói jó egyezést mutatnak, ezáltal bizonyítva a rendszer fizikai paramétereinek konzisztens meghatározását.

### Az FU Dra fizikai paramétereinek meghatározása

Kepler III. törvényét átírva a számomra megfelelő alakba meghatároztam a kettőscsillag össztömegét:

$$(K_1 + K_2)^3 (P/2\pi) = \sin^3(i) G (m_1 + m_2)$$

ahol  $G$  a gravitációs állandó,  $K_1$  és  $K_2$  a sebesség amplitúdói,  $i$  az inklináció (a fénygörbe-modellezésből),  $M = m_1 + m_2$  pedig a komponensek össztömege. Eredményül az alábbi értékeket kaptam:

$$M = 1,44 M_\odot$$

$$m_1 = 0,29 M_\odot$$

$$m_2 = 1,15 M_\odot$$

Ezek a tömegértékek nagyon hasonlóak a legtöbb W UMa típusú rendszerhez.

## Összefoglalás

### I. AW UMa érintkezô kettôscsillag

A régóta ismert fedési kettôsnek 50 évre visszamenôleg összegyűjtöttem a minimumidôpontjait, majd meghatároztam az O - C diagramját. Az illesztett parabola segítségével kiszámoltam a keringési periódusát, valamint meghatároztam a periódusváltozás ütemét. Az eredményül kapott periódus és tömegarány, illetve az irodalomból vett össztömeg segítségével a rendszer fontos fizikai paramétereit meghatároztam. Radiális sebességgörbe-illesztéssel spekt-rozkópiái tömegarányt határoztam meg.

Eredményeimet a 7. táblázat foglalja össze:

P (nap)	0,4387279
---------	-----------

periódusváltozás üteme (nap/ciklus)	$2,38704 \cdot 10^{-10}$
$m_1 (M_{\odot})$	3,2558
$m_2 (M_{\odot})$	0,2442
A ( $R_{\odot}$ )	3,694
$R_1 (R_{\odot})$	2,23
$R_2 (R_{\odot})$	0,57
tömegátadási ráta ( $M_{\odot}$ /év)	$5 \cdot 10^{-8}$
$q$ spektroszkópiái	0,075

7. táblázat: Az AW UMa általam meghatározott fizikai paraméterei

A komponensek effektív hőmérséklete  $T_1 = 7100$  illetve  $T_2 = 6900\text{K}$  körüli érték, ami az irodalomban meghatározott színképtípusnak megfelelő érték. Az adatok alapján a főkomponens felületi fényessége nagyobb, így a rendszer ún. A-típusú. A kapott eredmények jó egyezést mutatnak az irodalmi értékekkel.

A rendszer alapos ismerete nagy motivációt adott egy kevésbé ismert kettős fénygörbéjének modellezéséhez. Az illesztés végeredményeként bebizonyosodott számításaim hitelessége. A modellezés során kapott fázisdiagram jó egyezést mutat a mért fényességváltozással. Így a felhasznált modellező prog-ram megfelelőnek bizonyult a kevésbé ismert rendszer analízisére.

## II. FU Dra érintkező kettőscsillag

Az általam vizsgált kettőscsillagról eddig a Hipparcos katalógusban szereplő adatokon kívül semmilyen mérési eredményt nem publikáltak. A Bajai Obszervatóriumban készített képek kiértékelésével összeállítottam az FU Dra fénygörbéjét, mely alapján a heliocentrikus korrekciót is figyelembe véve új minimum-időpontokat határoztam meg:

$$T_{\min \text{ II}} = 2451722.4762 \text{ HJD}$$

$$T_{\min \text{ II}} = 2451723.3979 \text{ HJD}$$

Az O-C diagram segítségével perióduskorrekciót végeztem, melynek alapján az új korrigált periódus  $P_{\text{új}} = 0,3067169$  nap.

A fázisdiagramról az alábbiak olvashatók le:

1. az amplitudó: 0,47 magnitúdó
2. a két minimum különböző fényességű, az eltérés csak 0,025 magnitúdó értékű, de már kimutatható.
3. 0,5 fázisnál a minimum halványabb, konstans
4. 1,0 fázisnál pedig fényesebb, "hegyes"

Ebből adódóan 0,5 fázisnál totális fedés, 1,0 fázisnál gyűrűs fedés állapítható meg. A kisebb komponens felületi fényessége nagyobb. Tehát gyakorlatilag majdnem merőlegesen látunk rá a forgástengelyre (az inklináció közel  $90^\circ$ ). A fénygörbe-modellezés során meggyőző bizonyítékot kaptam: valóban teljes fedést mutat a rendszer, az inklináció  $80,8^\circ$  (az eltérés azzal magyarázható, hogy a kontaktus miatt már kisebb pályahajlásnál is bekövetkezik a teljes fedés).

A radiális sebesség görbe amplitúdójából kiszámoltam a rendszer spektroszkópai tömegarányát. Ezen érték, az általam korrigált periódus és a fénygörbe-modellezés eredményeül kapott inklináció ismeretében a rendszer össztömegét és a komponensek tömegeit is meghatároztam.

Számításaim eredményeit a 8. táblázat foglalja össze:

$P_{\text{korrigált}}$ (nap)	0,3067178
$i$ ( $^\circ$ )	80,8
$M$ ( $M_\odot$ )	1,44
$m_1$ ( $M_\odot$ )	0,29
$m_2$ ( $M_\odot$ )	1,15
$Q_{\text{spektroszkópai}}$	0,25

8. táblázat: Az FU Dra általam meghatározott fizikai paraméterei

A modellezés eredményeként a komponensek effektív hőmérséklete  $T_1 = 6200$  illetve  $T_2 = 6505$  K körüli érték, azaz a mellékkomponens hőmérséklete kicsit nagyobb, bizonyítva a kontakt rendszer W-típusba történő besorolását.

A tanulmányozott kettős rendszerek fizikai paramétereinek meghatározása közvetlenül felhasználható eredményeket szolgáltat ezen rendszerek csillagfejlődési állapotának tanulmányozásához.

Munkám folytatásaként további kettős rendszerekről szeretnék többszín-fotometriai és spektroszkópai méréseket végezni.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném köszönetemet kifejezni Dr. Vinkó Józsefnek, aki tudományos vezetőként segítette munkámat, Dr. Kiss Lászlónak, a mérendő csillag kiválasztásában valamint a készített képek redukálásában nyújtott segítségével. Köszönettel tartozom Fűrész Gábornak és Csák Balázsnak a mérésekben illetve az adatfeldolgozásban való önzetlen és segítőkész közreműködésükért, valamint Dr. Hegedüs Tibornak, a Bajai Observatórium igazgatójának az észlelésekhez szükséges távcsőidő biztosításáért.



## *Irodalomjegyzék*

- Binnendijk, L. 1970, *Vistas in Astronomy* 12, 217  
Carroll, W., Ostlie, L. 1996, *Introduction to Modern Astrophysics*  
Derman, E., Demircan, O., Müyesseroglu, Z. 1990, *IBVS* No. 3540  
Dupree, A.K. 1983, *Activity in Red Dwarf Stars* (ed. P.B.Byrne, M.Rodono) p. 441  
Eggen, O. 1967, *Mem R.A.S.* 70, 111  
Fűrész, G. 1998, Rövid periódusú változócsillagok keresése galaktikus nyílthalmazokban, TDK-dolgozat, JATE  
Hegedüs, T. 1988, *Bull. Inf. CDS* No.35.  
Hrivnak, B.J. 1982, *ApJ* 260, 744  
Kopal, Z. 1978, *Dynamics of Close Binary Systems* (D.Reidel)  
Kuiper, A. 1941, *ApJ* 93, 133  
Lucy, L.B. 1968, *ApJ* 151, 1123  
Lucy, L.B. 1973, *Astroph. & Sp.Sci.* 22, 381  
McLean, B.J. 1981, *MNRAS* 195, 931  
Mochnecki, S.W., Doughty, N.A.. 1972, *MNRAS* 156, 51  
Nagy T.A. 1974, PhD thesis, University of Pennsylvania  
Paczynski, B. 1964, *AJ* 69, 124  
Rucinksi, S.M., Lu, W., Mochnecki, S.W. 2000, *AJ* 120, 1133  
Wilson, R.E., Devinney, E.J. 1973, *ApJ* 182, 539