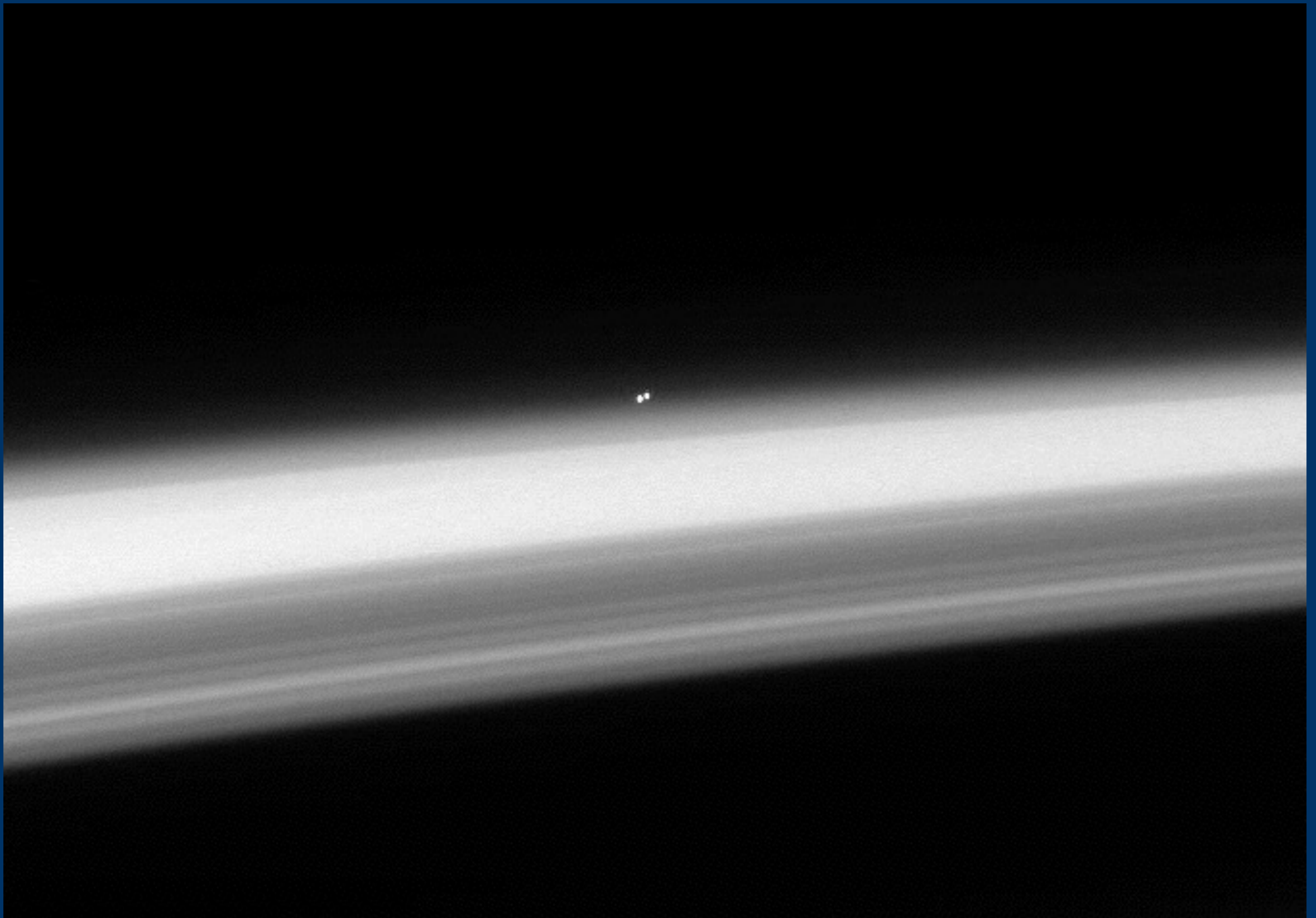


Kettős változócsillagok - változó kettőscsillagok

Kiss László

MTA CSFK KTM CSI





(alfa Cen A&B a Cassini által)

Kettőscsillagok az asztrofizika számára

- A színeképekből: hőmérséklet, légkör, kémiai összetétel.
- Ismert távolság esetén kiszámítható a sugár és luminozitás.
- Ami viszont nem megoldható: a tömeg becslése.
- Enélkül viszont nincs belső szerkezet, energiatermelés, fejlődési történet.
- A (szoros) kettőscsillagok kulcsfontosságú objektumok, fizikai megértésükig pedig a változékonyság elemzése vezet.
- Statisztikai vizsgálatokból tudjuk: a csillagok kb. fele kettős vagy többes rendszer tagja.

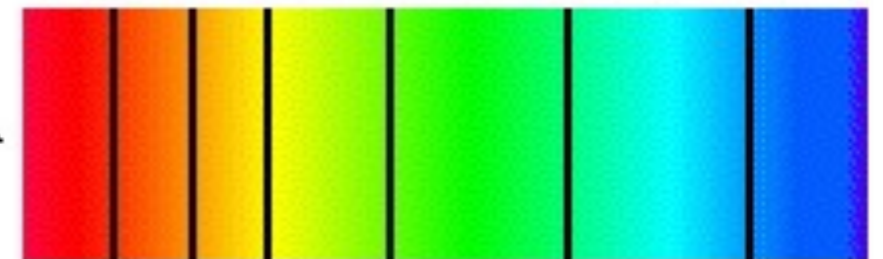
folytonos spektrum



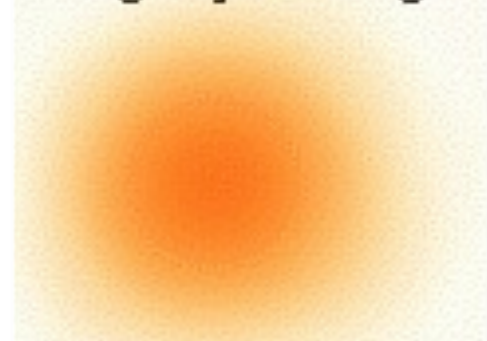
emissziós vonalas spektrum



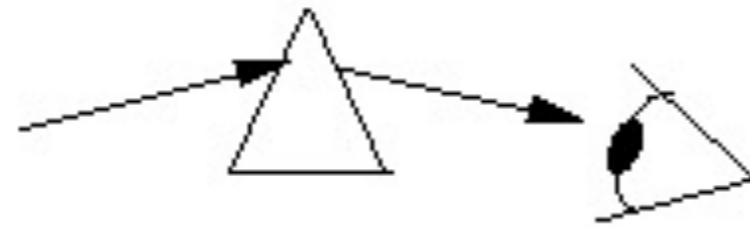
abszorpciós vonalas spektrum



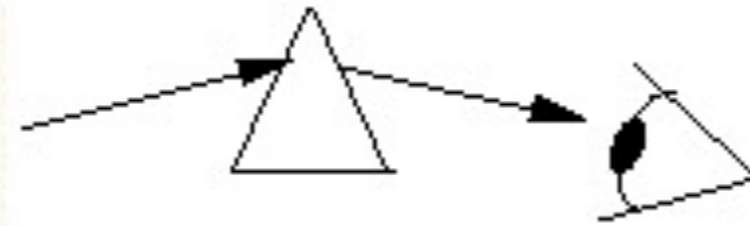
izzó szilárd test vagy
magasnyomású gáz

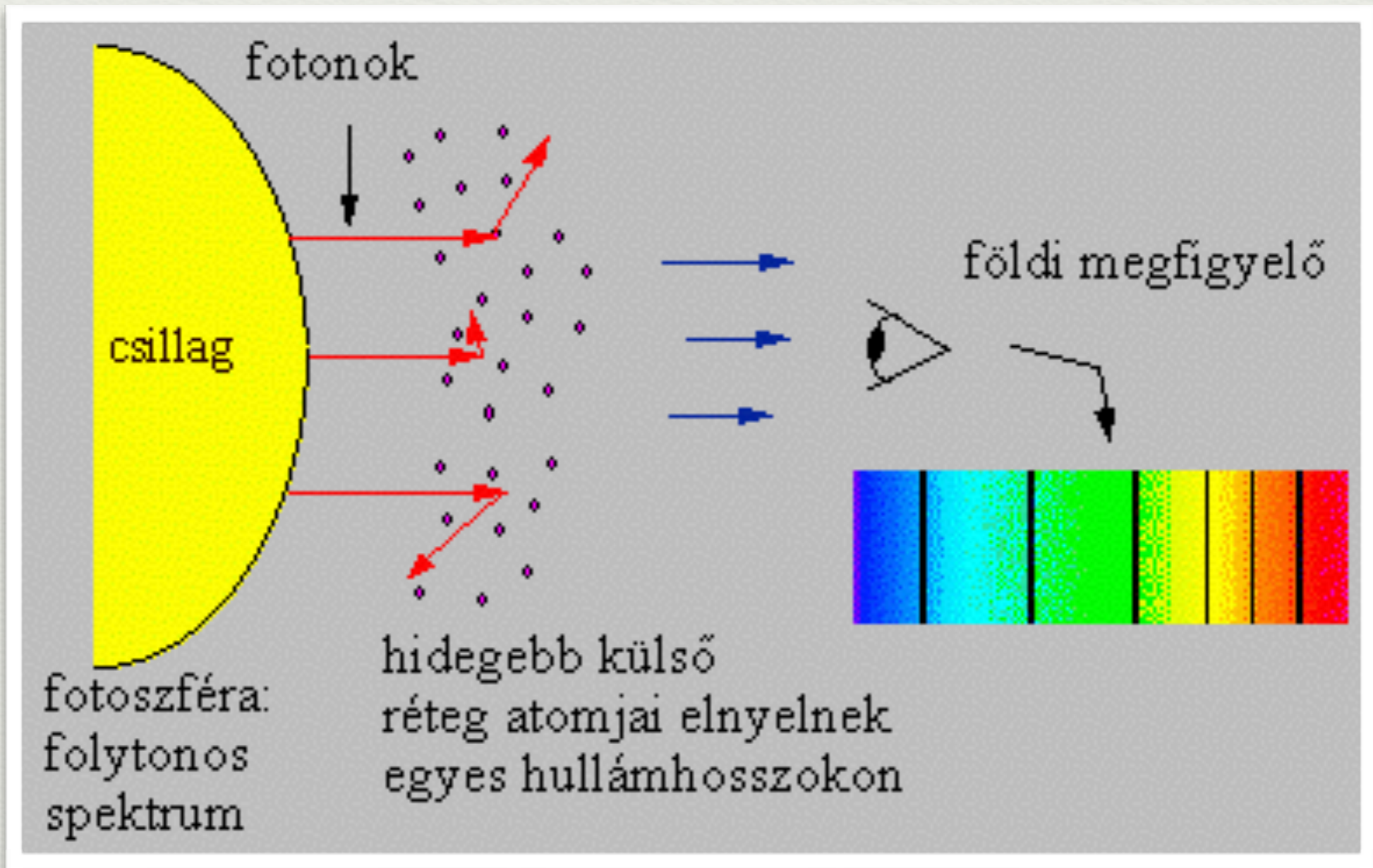


izzó alacsony nyomású gáz



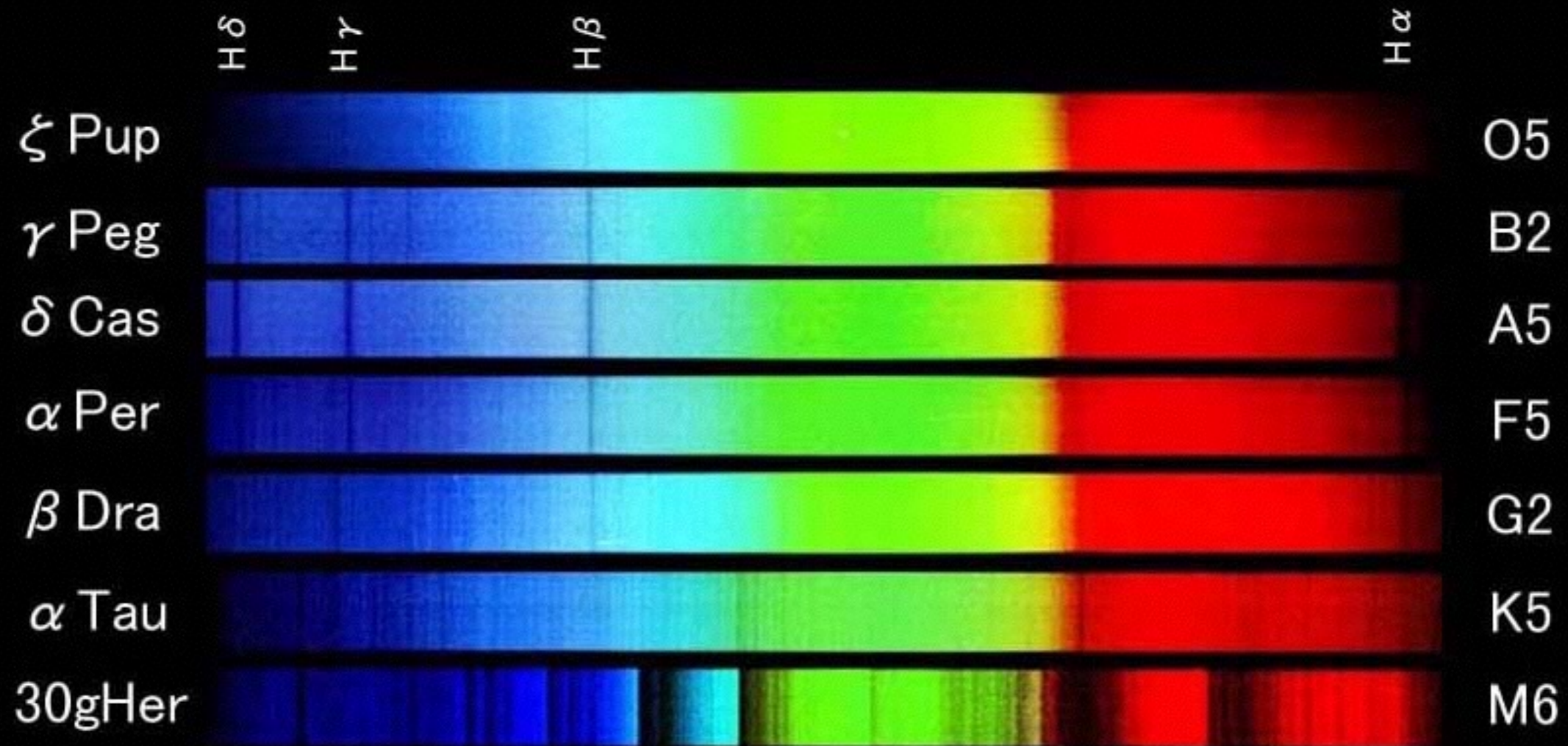
ritka hűvösebb gáz





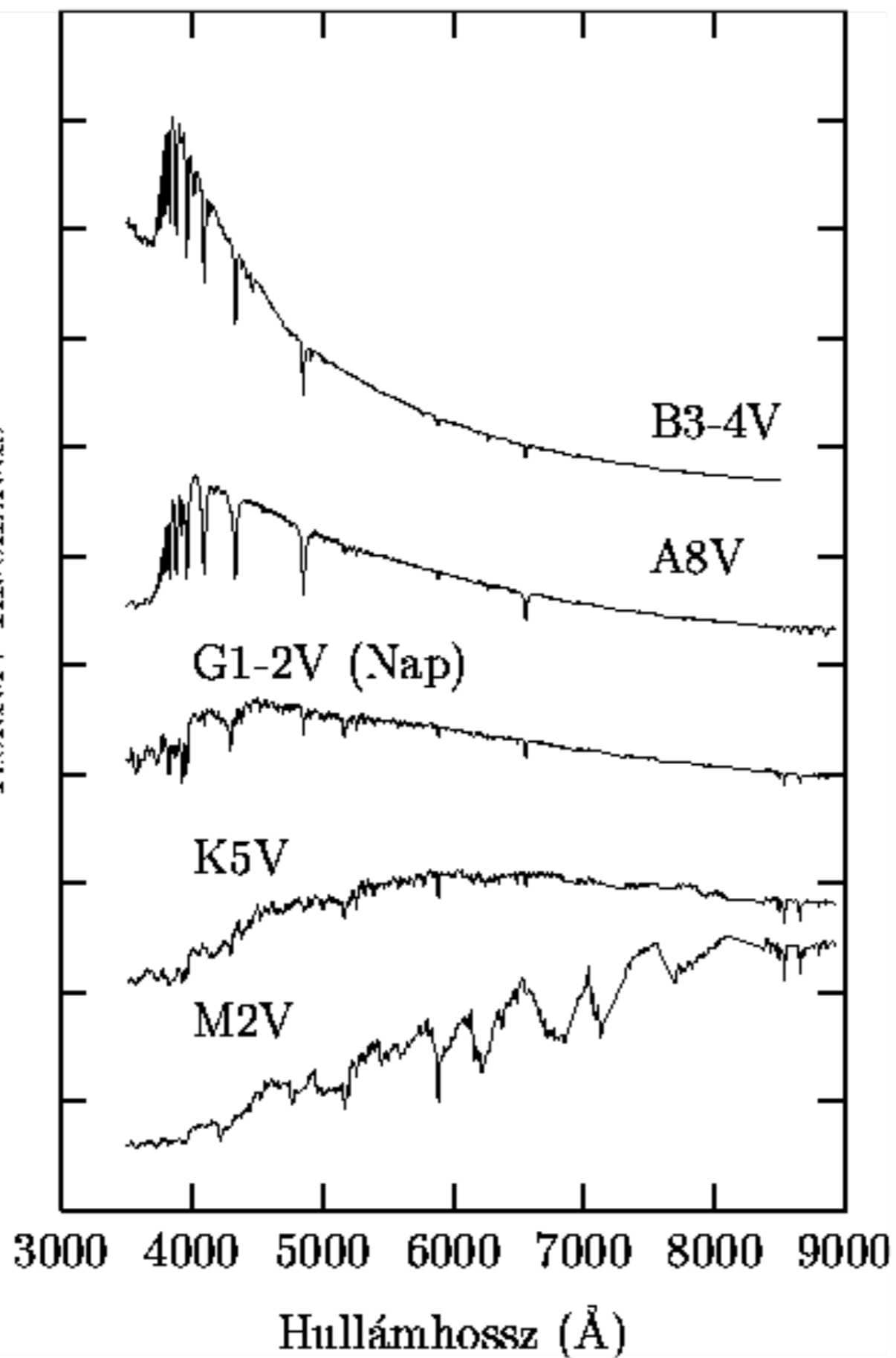
(Meteor Csill. Évk. 1998)

Color Spectral Images



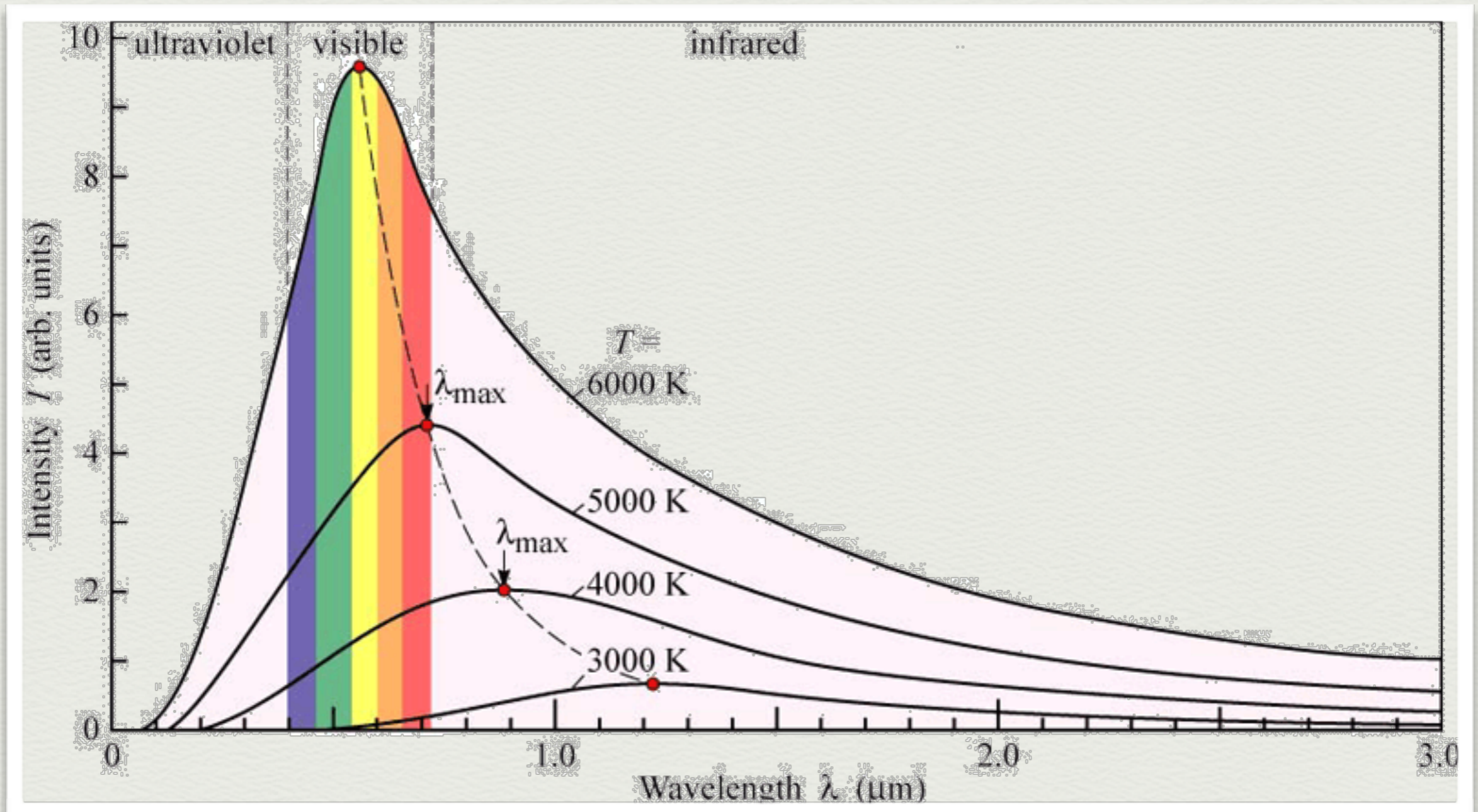
Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ

Relatív Intenzitás



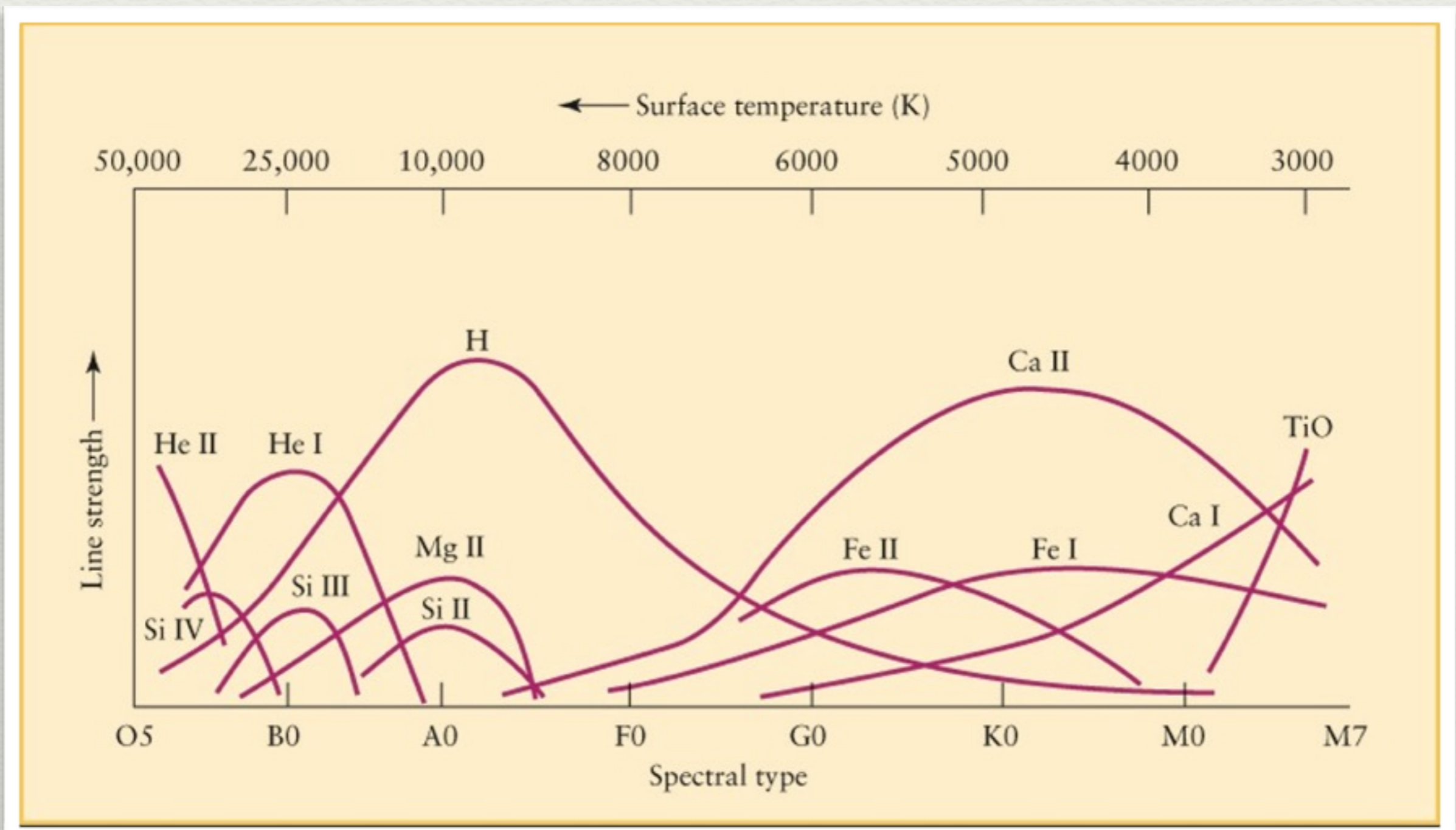
(Meteor Csill. Évk.
1998)

Folytonos színekép: hőmérséklet



(Univ. of Oregon)

Vonalas színkép: hőmérséklet!



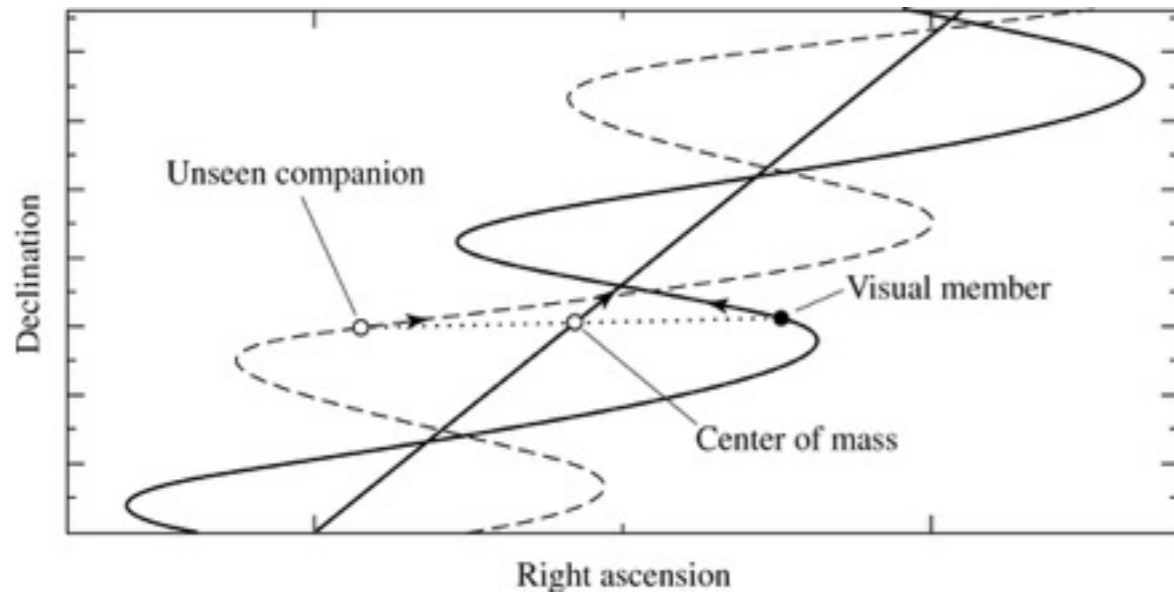
(Univ. of Alberta)

Kettőscsillagok az asztrofizika számára

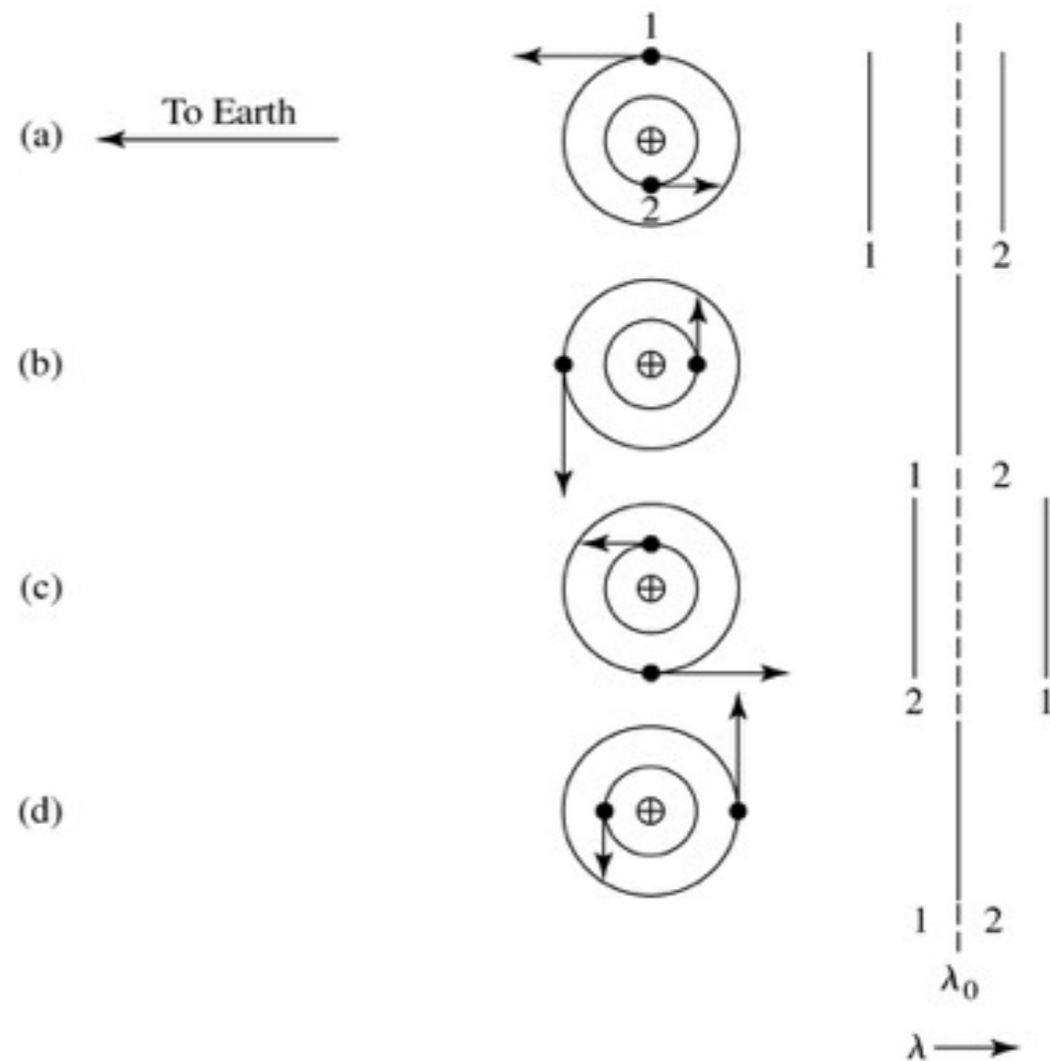
- A színeképekből: hőmérséklet, légkör, kémiai összetétel.
- Ismert távolság esetén kiszámítható a sugár és luminozitás.
- Ami viszont nem megoldható: a tömeg becslése.
- Enélkül viszont nincs belső szerkezet, energiatermelés, fejlődési történet.
- A (szoros) kettőscsillagok kulcsfontosságú objektumok, fizikai megértésükig pedig a változékonyság elemzése vezet.
- Statisztikai vizsgálatokból tudjuk: a csillagok kb. fele kettős vagy többes rendszer tagja.

- **Legfőbb kettőscsillag-típusok**
- **Optikai párok:** véletlen egybeesésként egymás mellett látszó csillagok
- **Vizuális kettősök:** felbonthatók, egyedi komponensek relatív mozgása mérhető
- **Asztrometriai kettősök:** csak egy komponens látszik, amelynek hullámzó sajátmozgása árulja el a láthatatlan kísérő létét.
- **Fedési kettősök:** periodikus elhalványodások kölcsönös fedések következtében.
- **Spektroszkópiai kettősök:** periodikus Doppler-eltolódások a színeképvonalakban. SB2 vs. SB1

Balra: egy asztrometriai kettős sajátmozgása. Hipparcos (1989-1993), Gaia (2013-...)



Jobbra: periodikus Doppler-eltolódások egy SB2 spektroszkópiai kettősben



- Kepler III. törvénye:

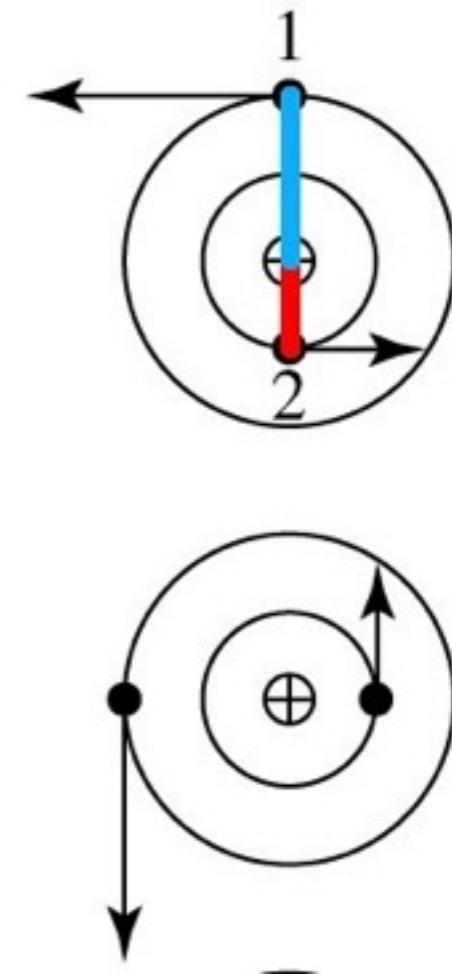
$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(m_1 + m_2)}{4\pi^2}$$

$$a = a_1 + a_2$$

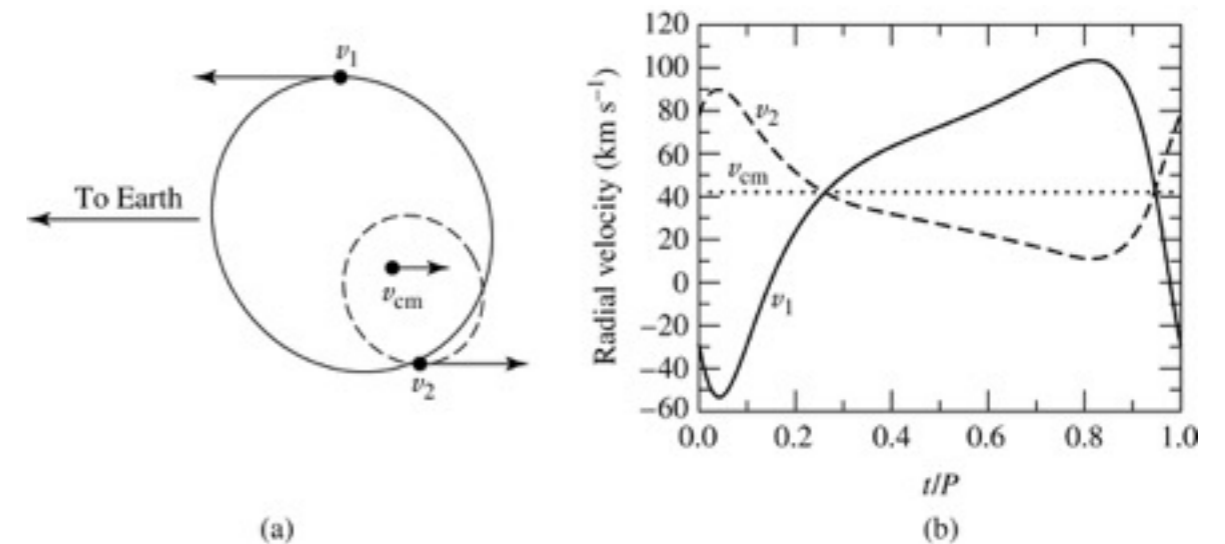
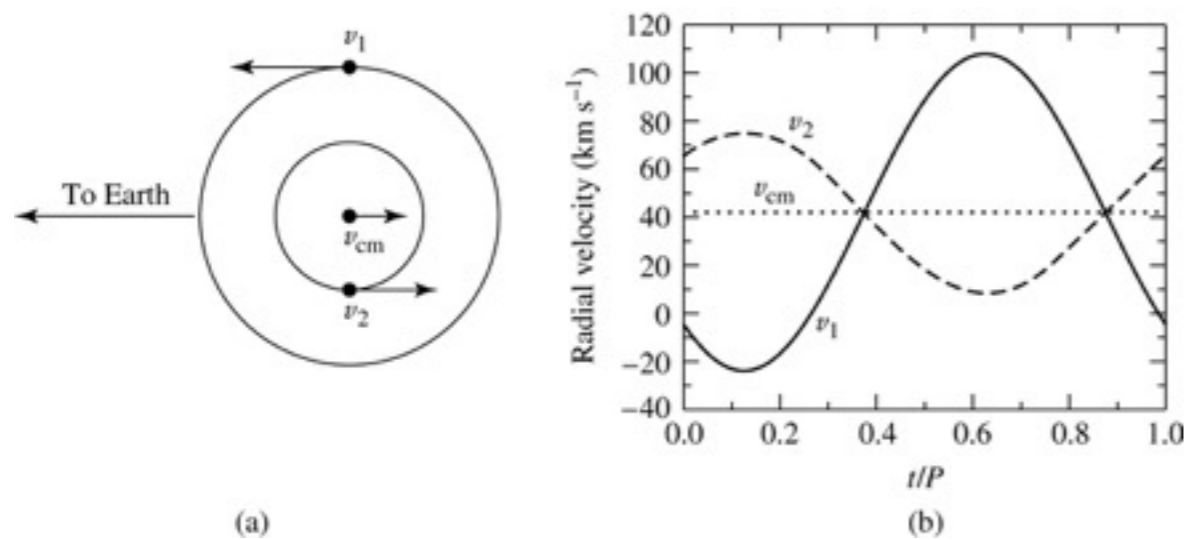
$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

- Egyszerű mértékegységek: ha a félnagy tengely CSE-ben, periódus évben, a jobb oldalon az össztömeg lesz naptömegben

To Earth

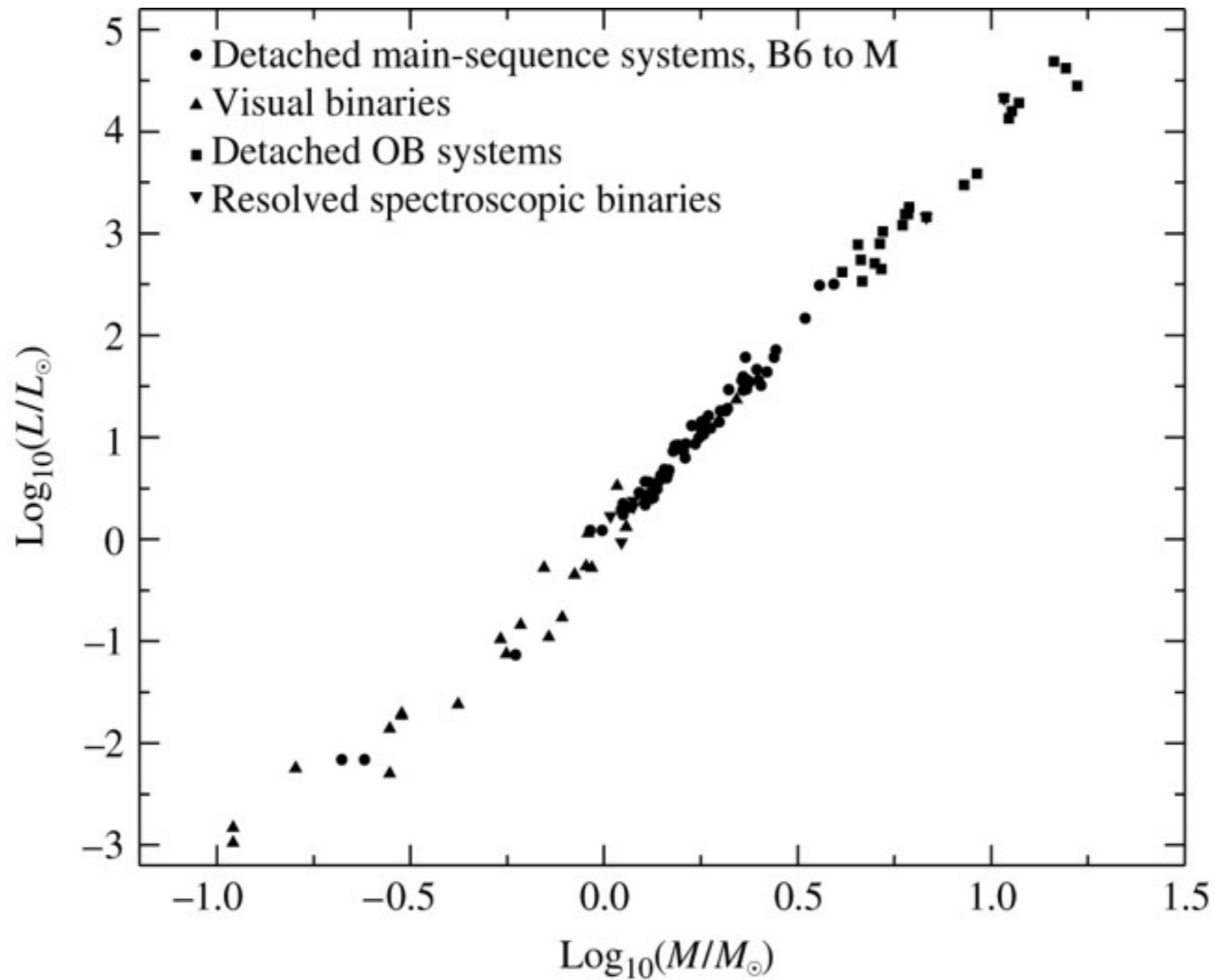



- Fedési, spektroszkópai kettősök: a leghasznosabbak
- SB2 fedési kettősökre teljes megoldás: egyedi tömegek, relatív sugarak, abszolút sugarak, fényességárány, effektív hőmérséklet. Ami kell: fénygörbe és radiálissebesség-görbe.

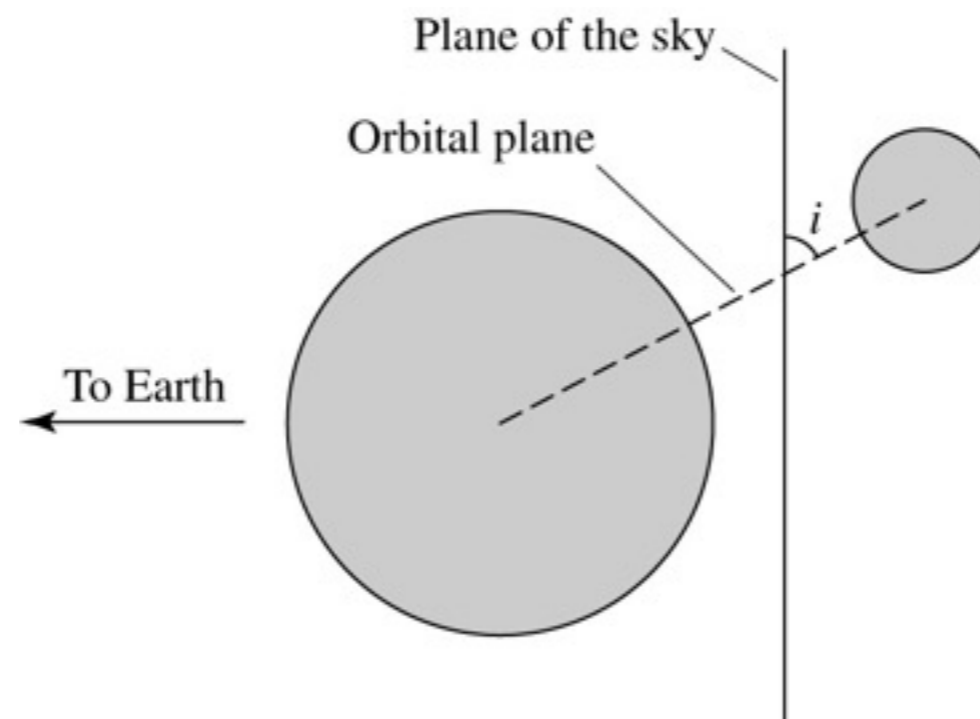


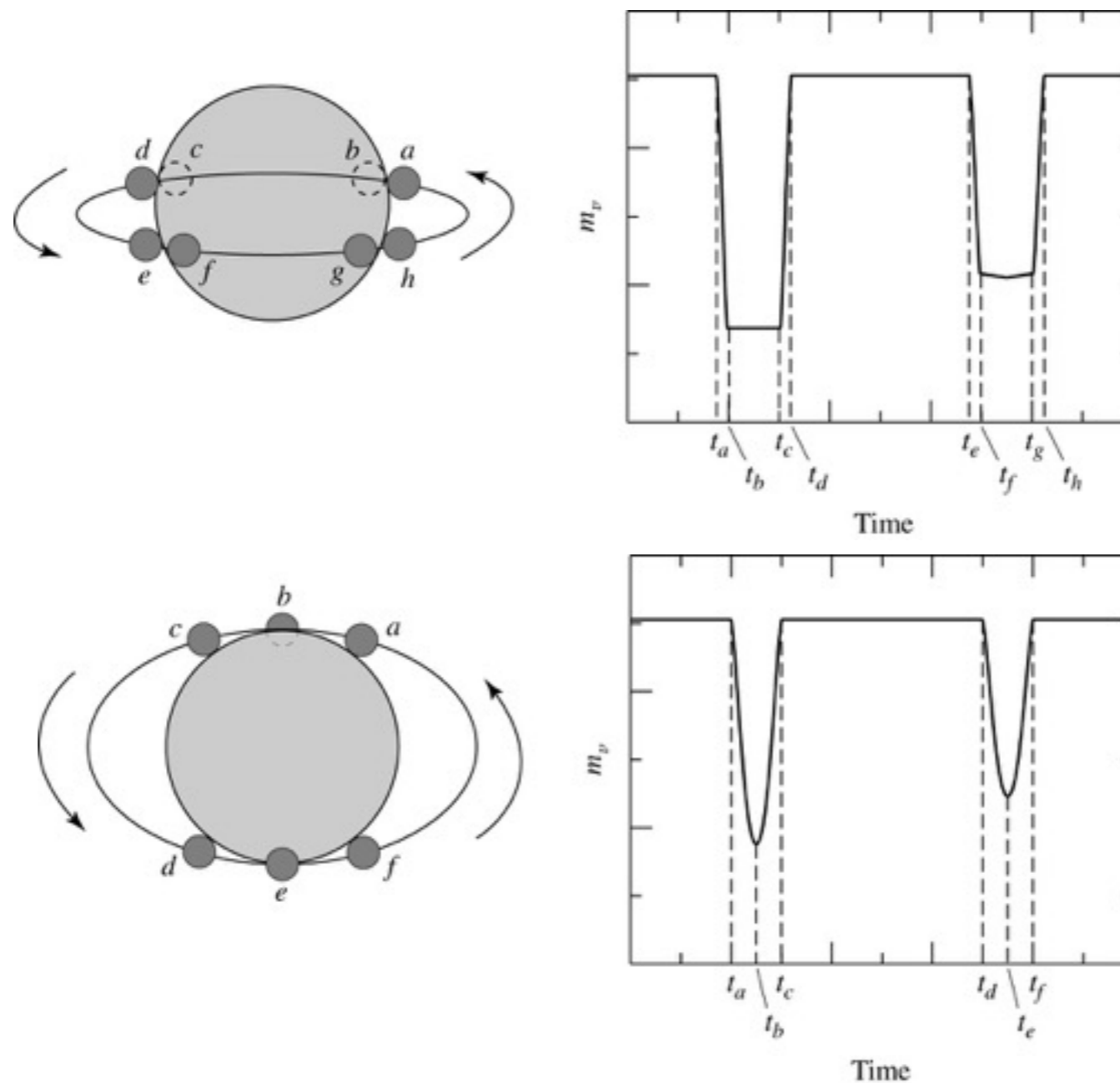
- Balra: körpálya szinuszos sebességek; jobbra: excentrikus pályára torz sebességgörbe.

Ilyen rendszerekkel lehetett kalibrálni
a **tömeg-fényesség** relációt!



- Fedési kettősök
- Nagyon jellegzetes fényességváltozás. A fénygörbék részletes modellezésével a pályahajlást és teljes geometriai leírást meg lehet kapni.





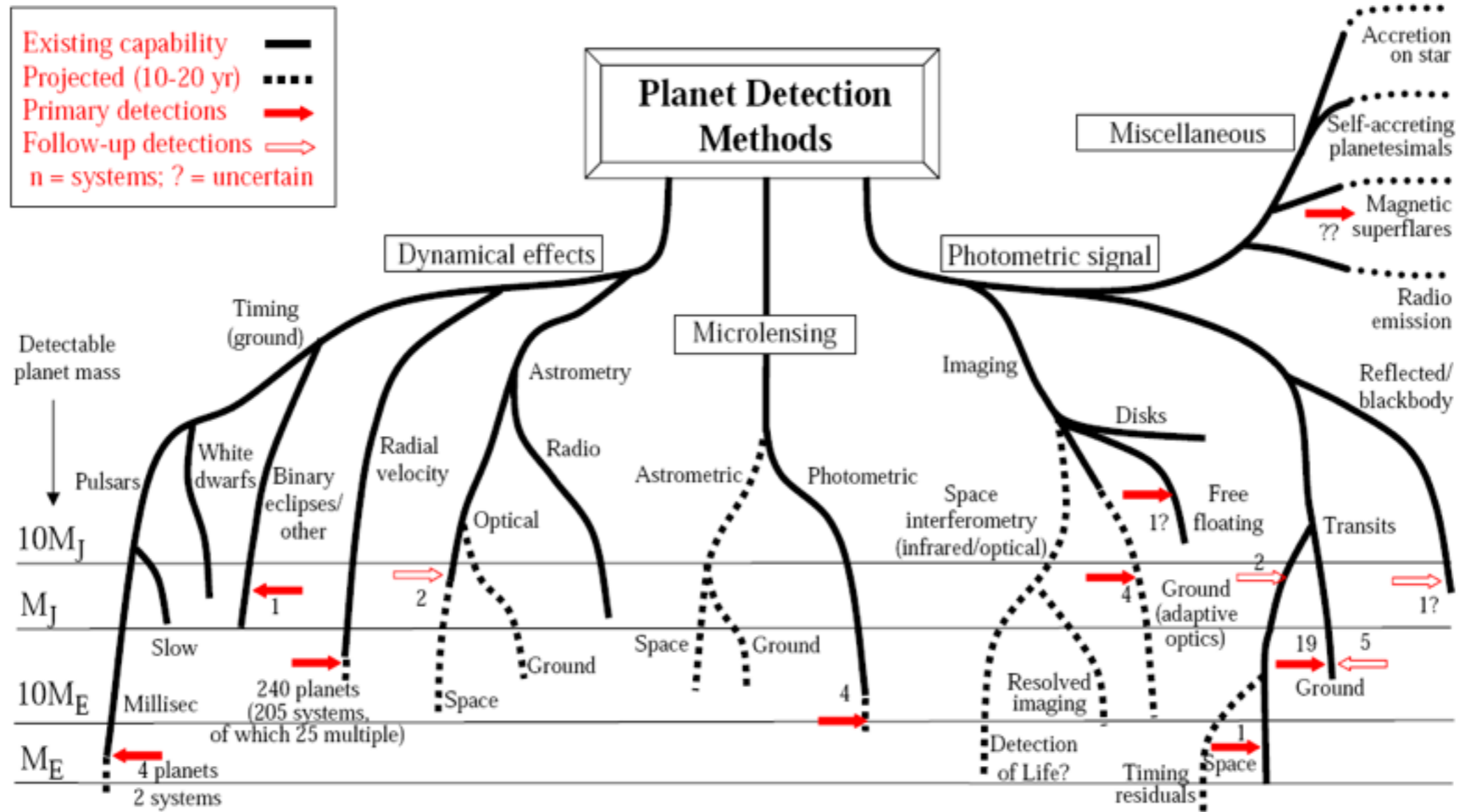
Fedési görbe éléről látszó pálya esetén (felül), illetve részleges fedésekkel (alul). A relatív sebességek és a különböző fázisok időtartama megadja a csillagok abszolút méretét.

- **Exobolygók: kettős rendszerek csillagnál kisebb kísérővel**
- Több módszer a detektálásra
- **Radiálissebesség-módszer:** a csillagot SB1 kettősnek tekintjük
- **Fedési (tranzit) módszer:** a csillagot fedési kettőscsillagnak tekintjük
- **Gravitációs mikrolencsézés:** háttércsillag felfényedésében extra jel
- **Fényidő-effektus periodikusan változót központi csillagokra:** fázismoduláció

...és még egy csomó más.

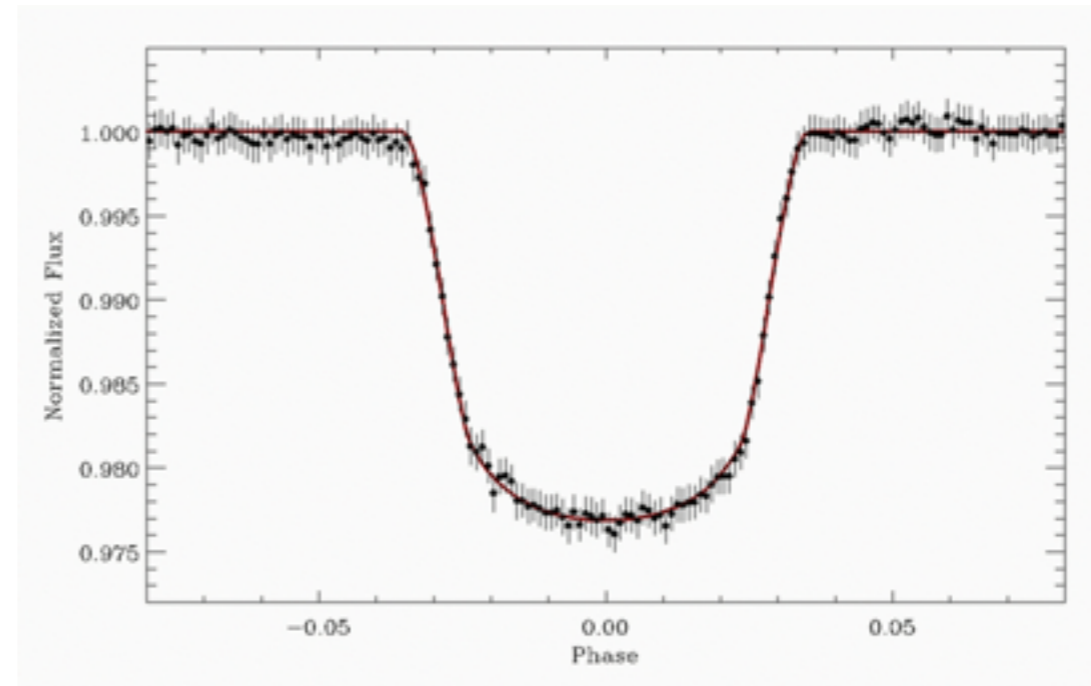
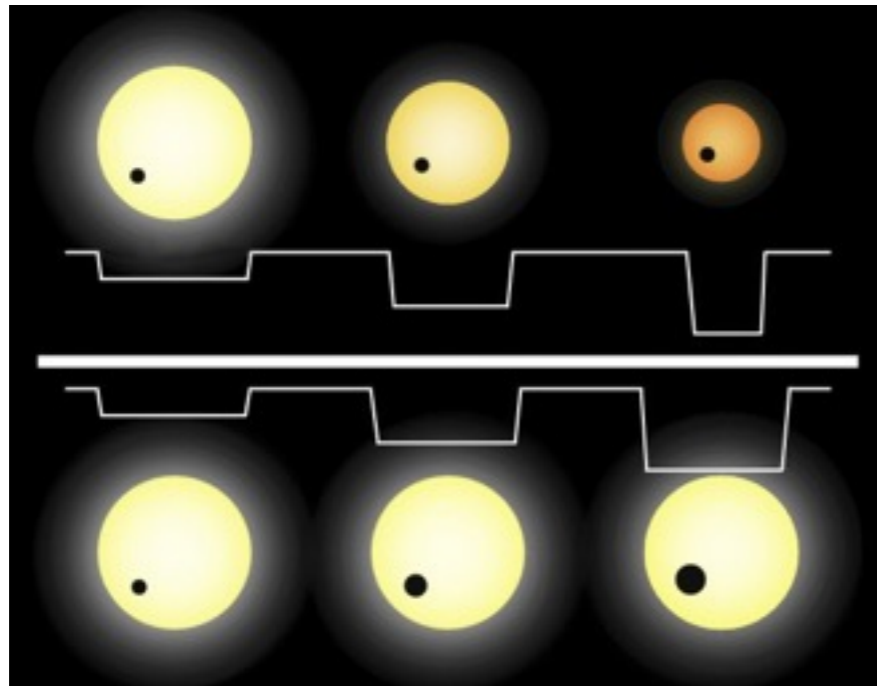
Planet Detection Methods

Michael Perryman, Rep. Prog. Phys., 2000, 63, 1209 (updated 3 October 2007)



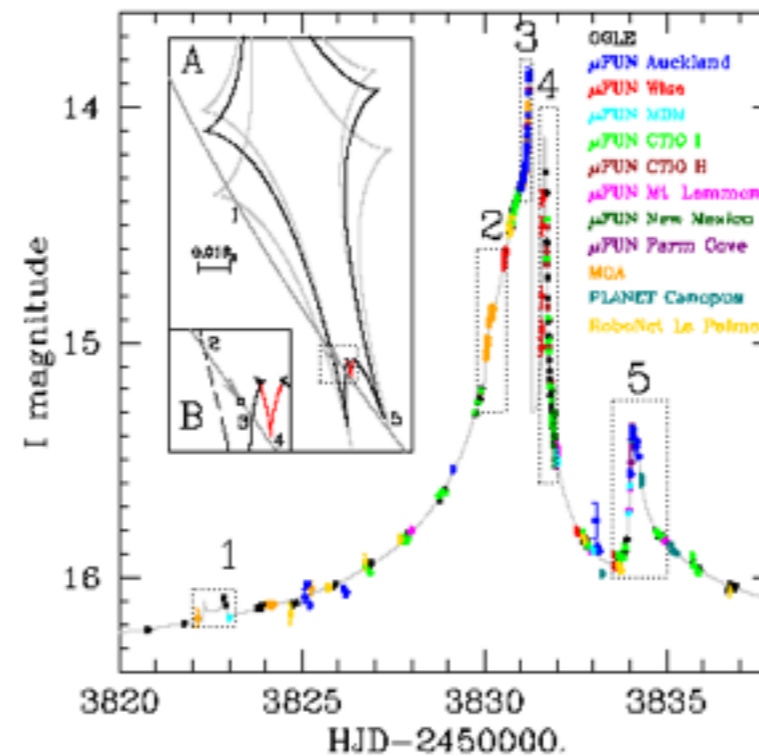
(exoplanet.eu)

- Várható jel
- **Radiális sebesség-módszer:** $\sim 1-100$ m/s; a tömegarányával és a pályasugárral skálázódik
- **Fedési (tranzit) módszer:** $\sim 1\%$ exojupiterekre; 0.01% exoföldrekre
- **Gravitációs mikrolencsézés:** csak egyszer és soha többé nem észlelhető
- **Fényidő-effektus periodikusan változót központi csillagokra:** $\sim 10^{-6}$ relatív frekvenciamoduláció; a pályamérettel skálázódik

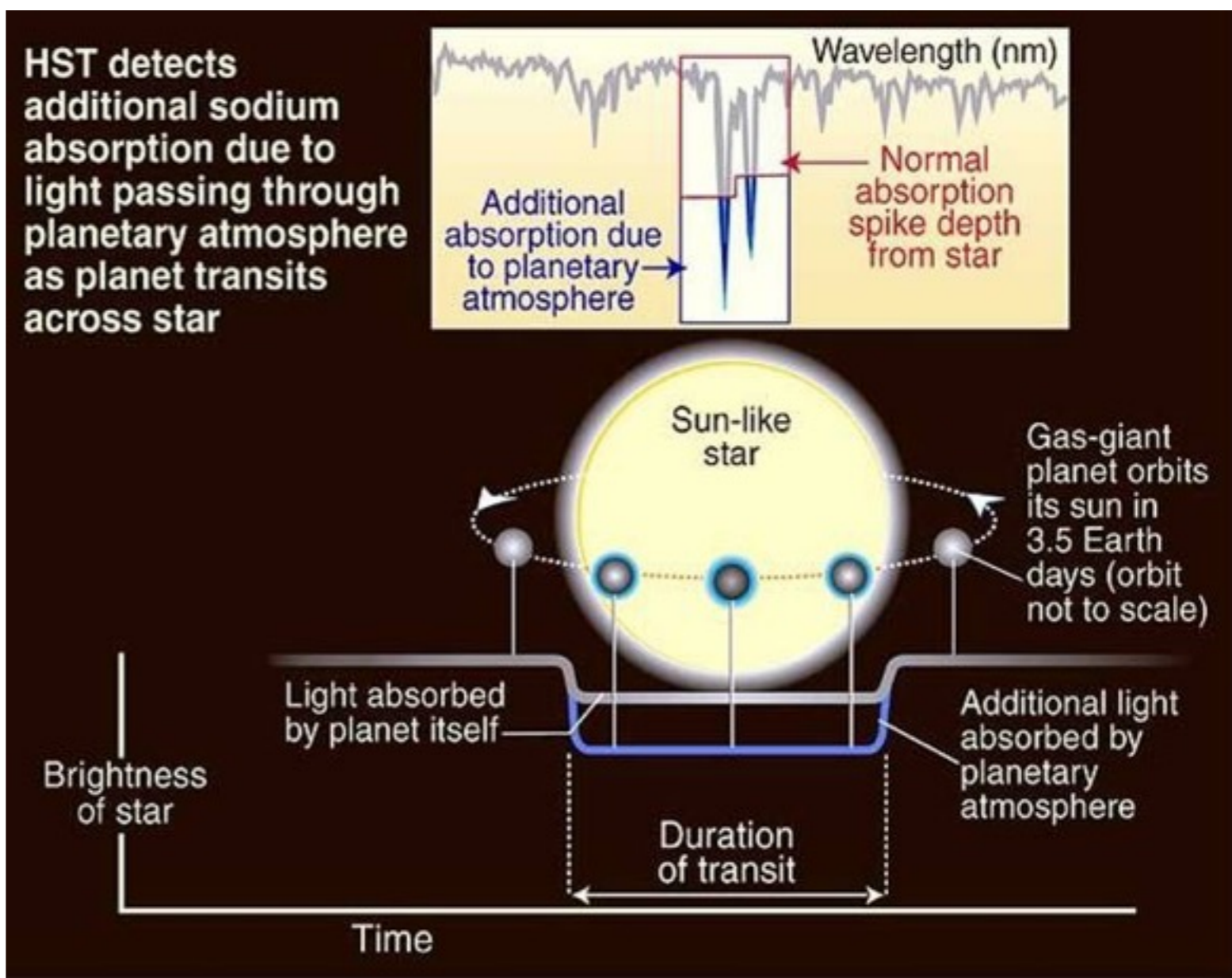
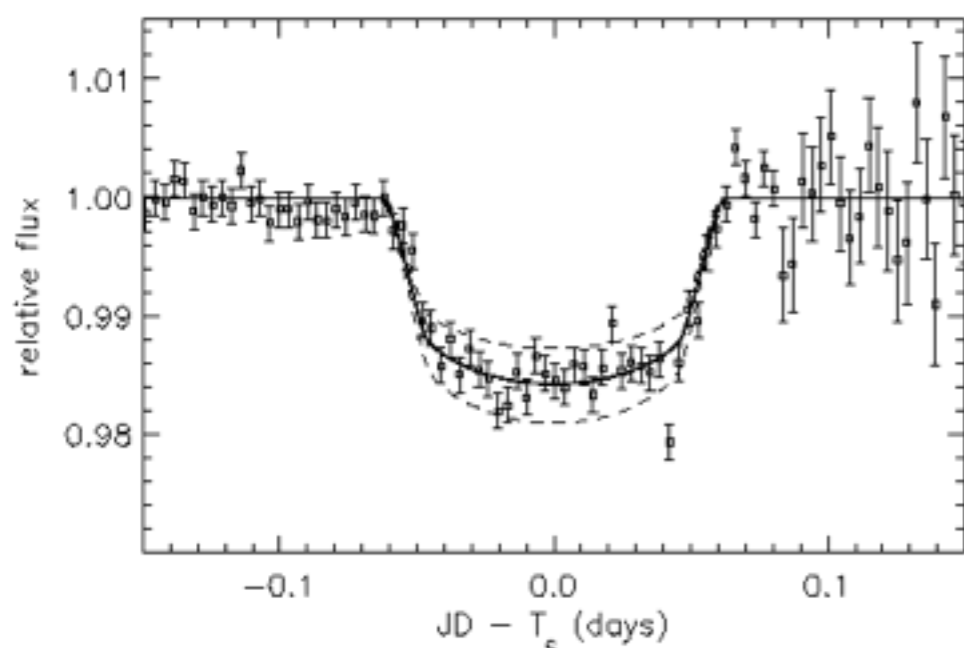
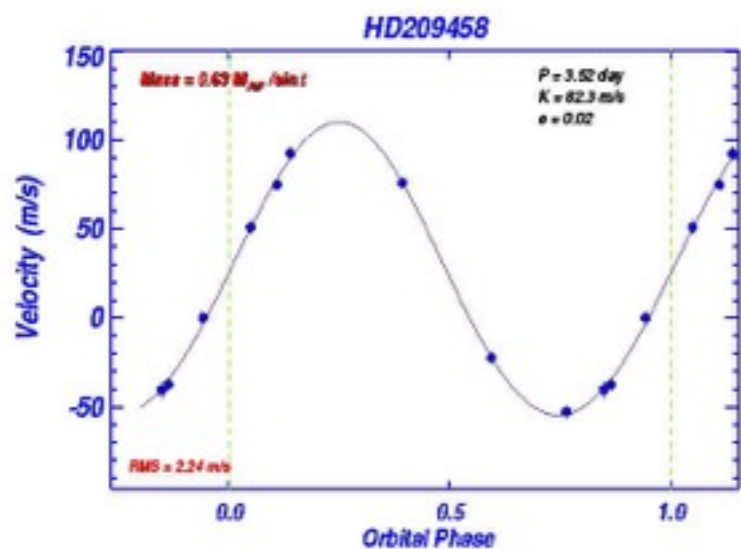


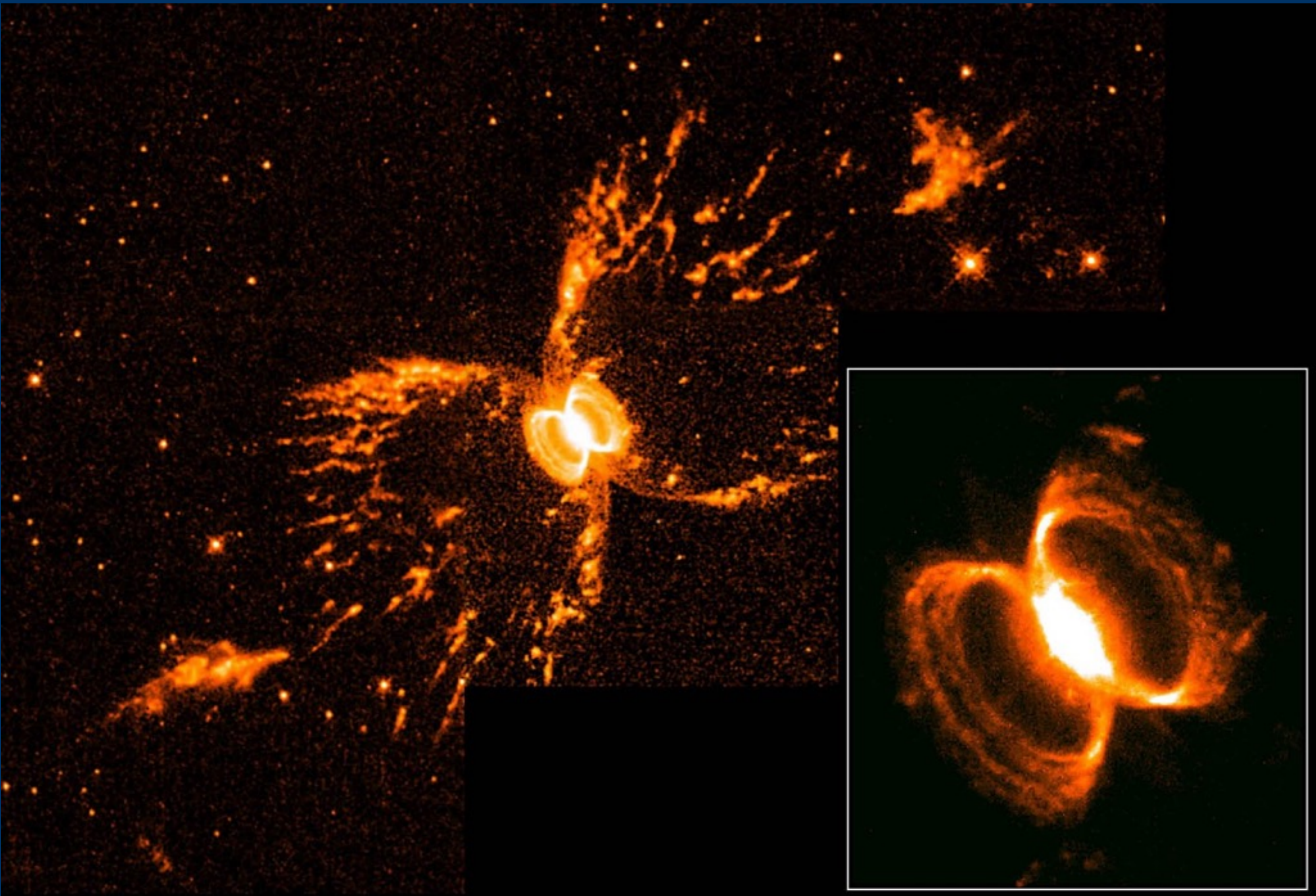
Balra: a fedés mélysége $(R_p/R_s)^2$ -vel skálázódik. Jobbra: a CoRoT-Exo-1b fedése.

A mikrolencse-jelenségek csak egyszer történnek, de nagyon érzékenyek a bolygókra.



HD 209458: a legelső Doppler és fedési bolygó. Bizonyos spektrumvonalakban a fedés mélysége különböző, ami a bolygó kiterjedt légkörére utal.

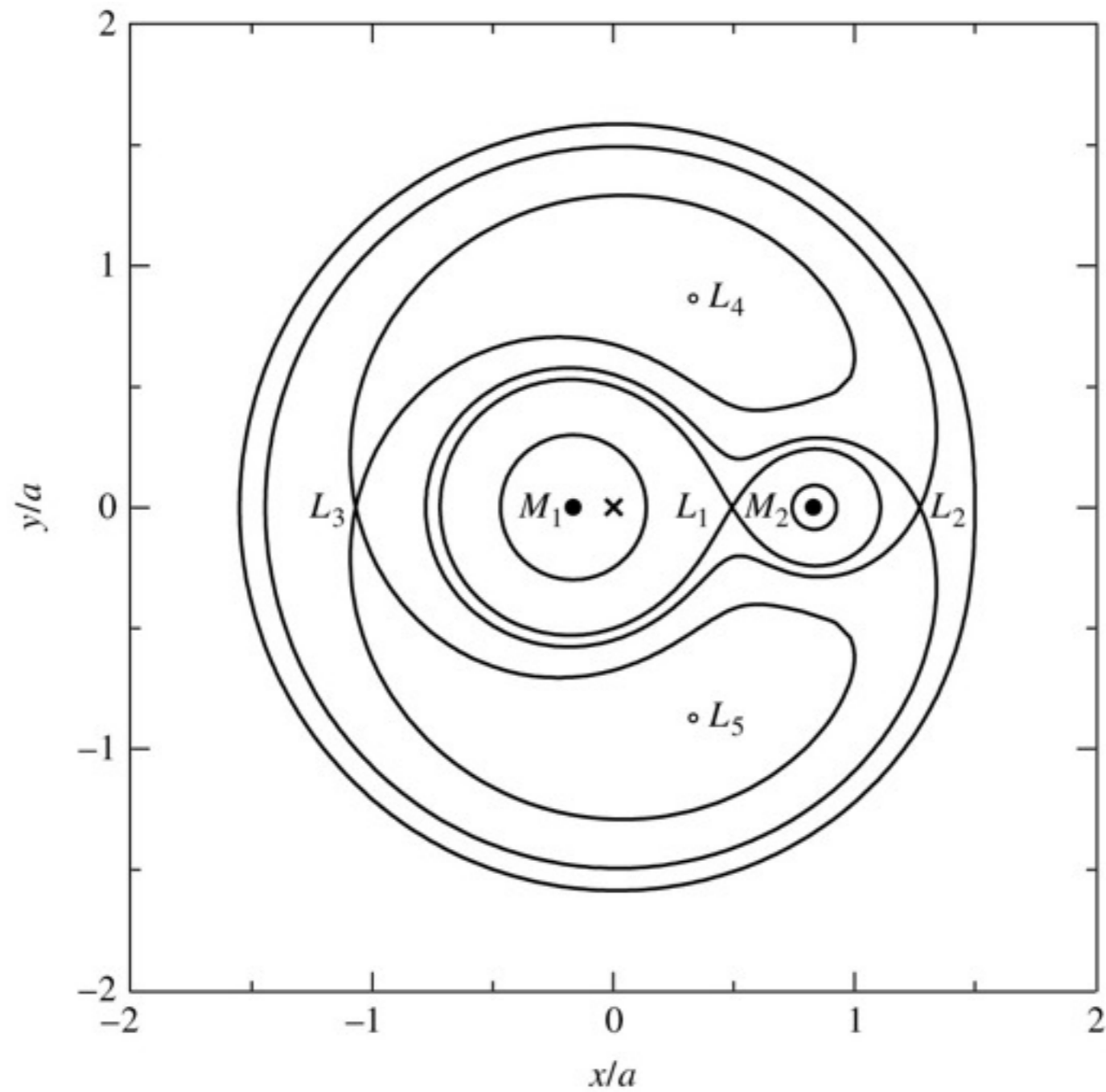




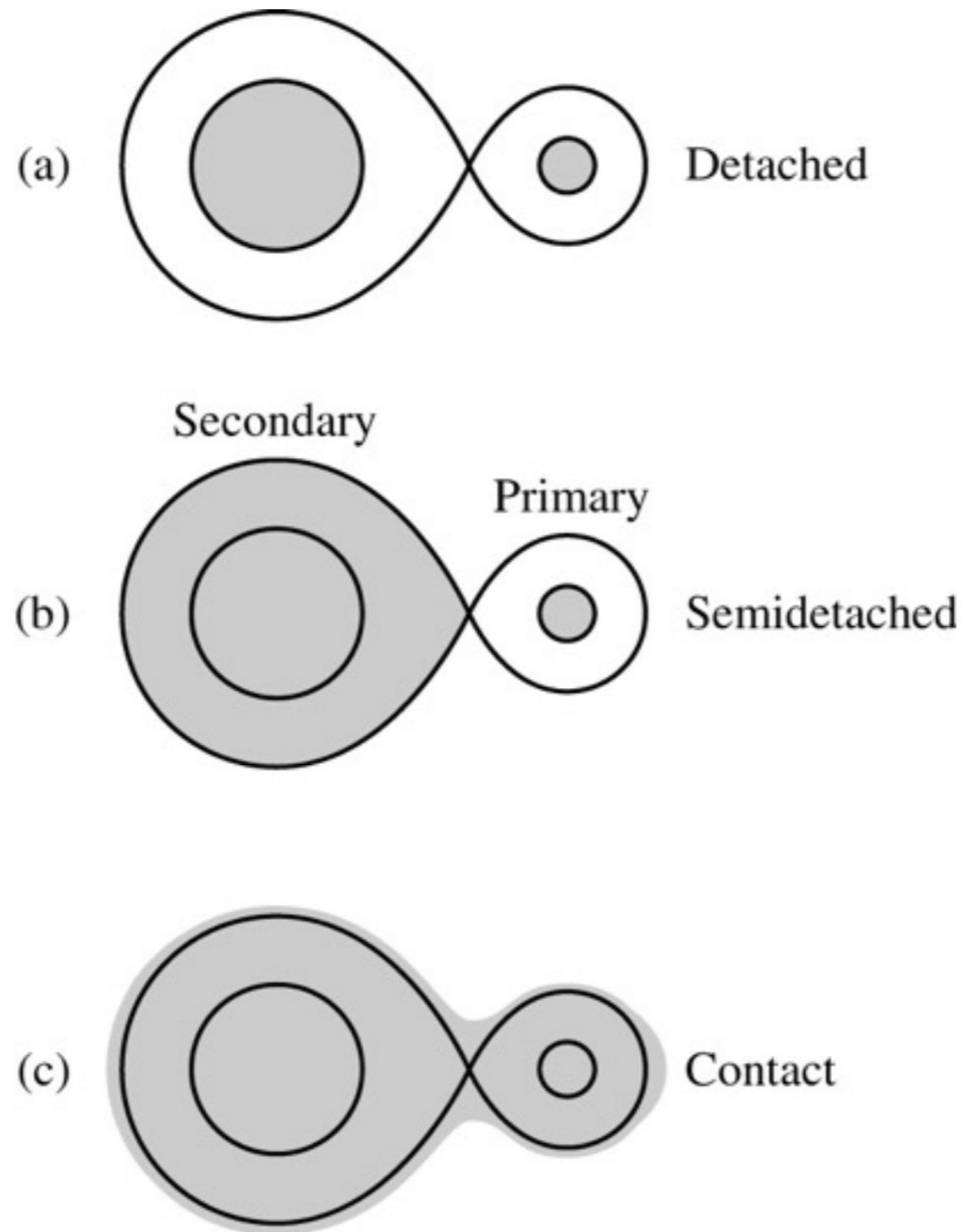
(A Déli Rák-köd, HST)

Szoros kettőscsillagok és akkréciós korongok

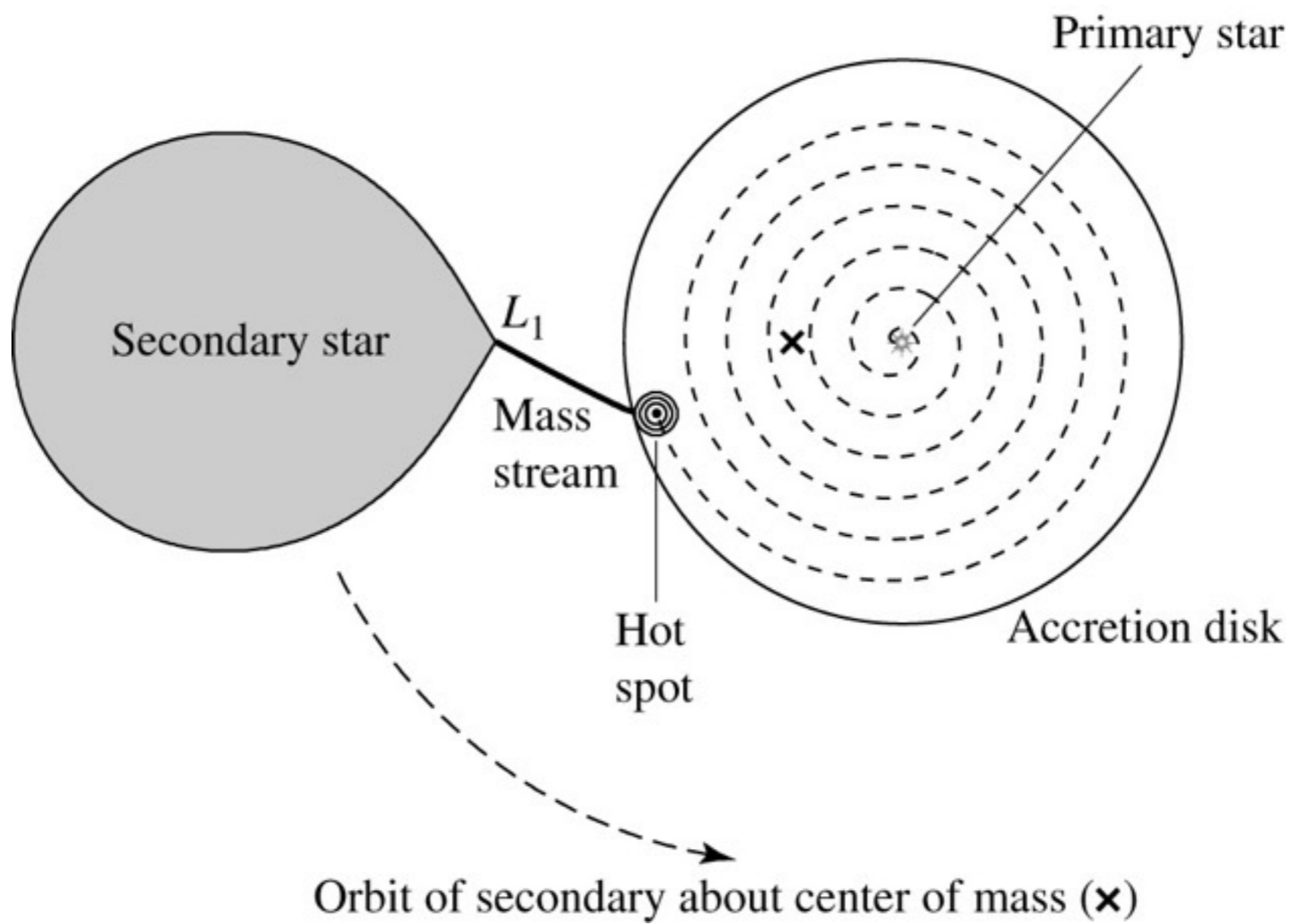
- Szoros kettős rendszerekben a gravitációs kölcsönhatások eltorzítják a csillagok alakját, illetve tömegátadást is előidézhetnek.
- A kölcsönható kettőscsillagokban erős tömegátadás jelentkezik, egyik komponens általában kompakt objektum (fehér törpe, neutroncsillag, fekete lyuk)
- Hirtelen energiafelszabadulások, igazi csillagrobbanások helyszínei



Ekvipotenciális felületek egy szoros kettősben ($M_2/M_1=0.2$). L_i ($i=1..5$) a Lagrange-pontokat jelzi. A Roche-üregek az L_1 pontban érintkező belső térfogatok.

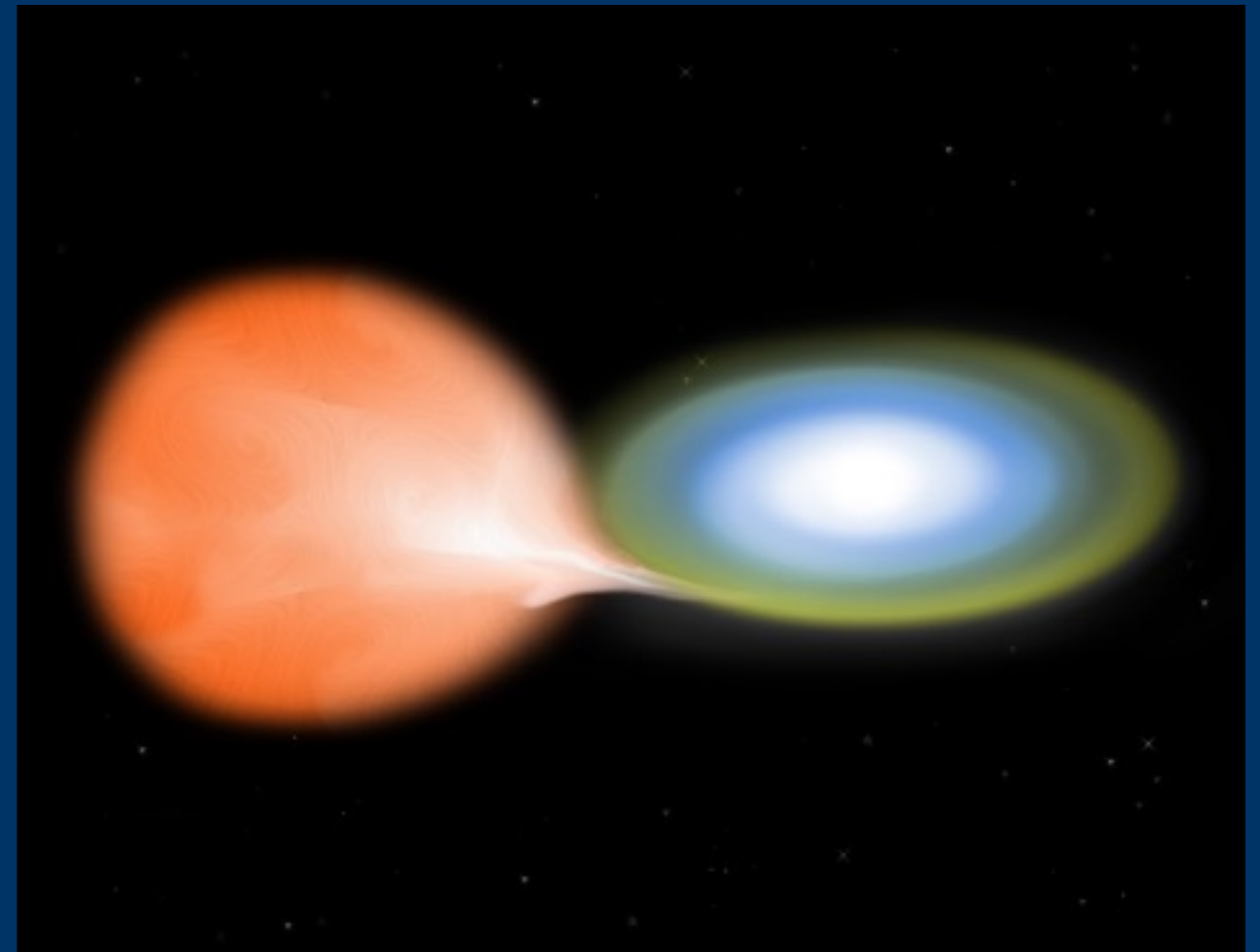


Osztályozás a Roche-térfogat kitöltöttsége alapján



A “nóvák” három típusa

- **Törpe nóvák**
instabil akkréciós korong,
nincsenek termonukleáris
reakciók, ismétlődő jelenség
(5-5000 nap)
- **Klasszikus nóvák**
termonukleáris túlfutás a fehér
törpe felszínén, ismétlődő
jelenség (10-10000 év)
- **(Ia) szupernóvák**
a fehér törpe teljes és
visszafordíthatatlan
megsemmisülése



(Chandra PR)

Klasszikus n6v6ak: “új” csillagok, amikre m6g soha senki nem figyelt fel

- A kit6r6s amplit6d6ja: 7-12 mag (V1500 Cyg: >20 mag!)
- Gyors halv6nyod6s a maximum ut6n (sebess6goszt6lyok t_n alapj6n)
- Abszol6t f6nyesség maximumban: M7 ... M10 mag
- $M_V \sim a_n + b_n \log t_n$
($n=2, 3$)

