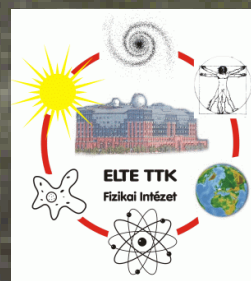
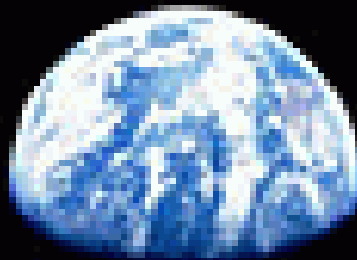




A csillagok fénye 2.

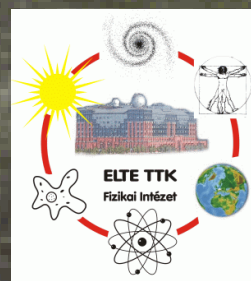
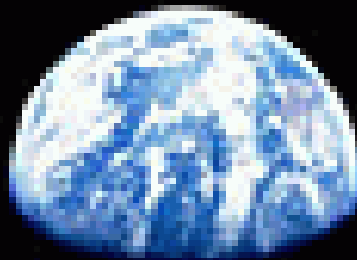


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2017. 01. 12.



A sötét anyag nyomában



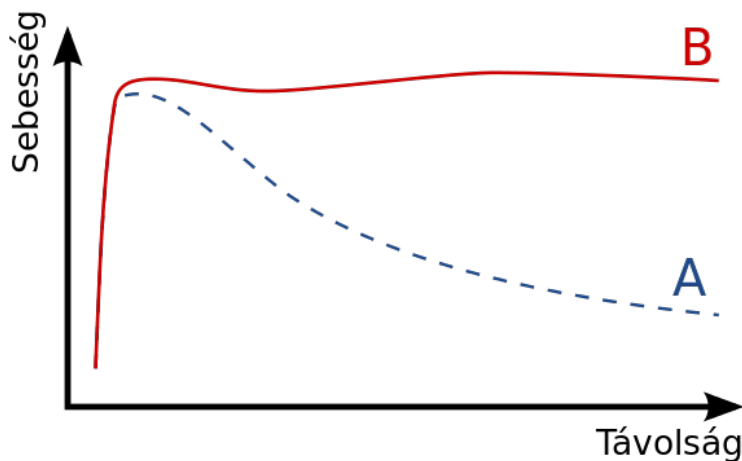
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 09. 08.



Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

új spektroszkóp, 1970:
az Androméda-galaxis
sok száz csillagának
sebességét mérte meg
Dopplerrel

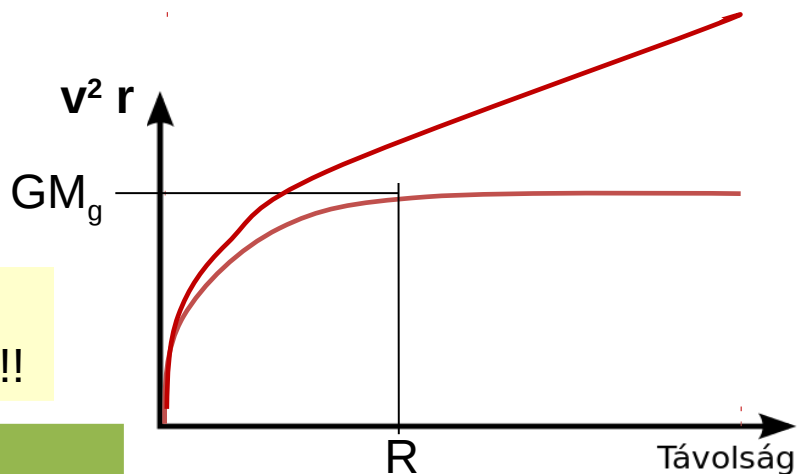


Vera Rubin (1928 -)



a valódi görbe
nagyon eltért
az elméleti
várakozásoktól!

a galaxis anyaga
nem akart véget érni!!



Technikai kérdés:
hogyan mérjük meg
a csillagok sebességét
ott, ahol már nincs
csillag?

- 1/ néhány csillag még van ott is
- 2/ a galaxis "holdjai":
kísérő galaxisok
- 3/ az eltérés már beljebb elkezdődik.

**Az összes anyag kb.
tízszer annyi, mit a látható!**






Vera Rubin, a sötét anyag felfedezője
2016 karácsonyán elhunyt.



Vera Rubin (1928 - 2016)



Science is competitive, aggressive,
demanding. It is also imaginative,
inspiring, uplifting.

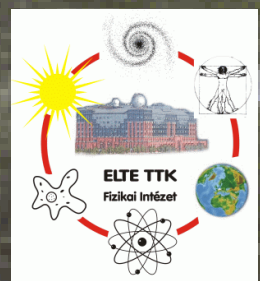
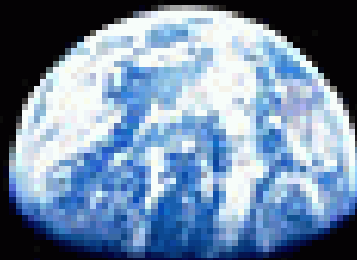
— Vera Rubin —

AZ QUOTES



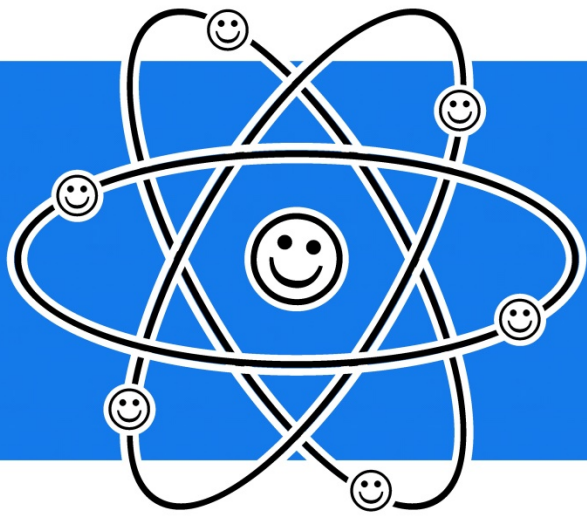


A csillagok fénye 2.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2017. 01. 12.

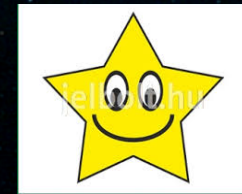


A fizika mindenké

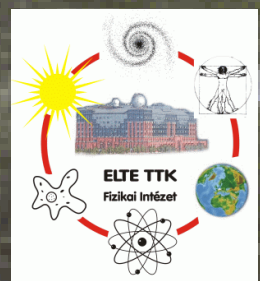


2015 – A FÉNY
NEMZETKÖZI ÉVE





A csillagok fénye 2.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2017. 01. 12.

legyen világosság!

And God said

$$\oiint_{\partial V} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\oiint_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_s + \mu_0 \epsilon_0 \iint_S \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

and *then* there was light.



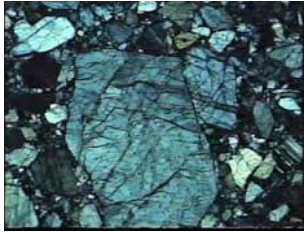
Az Univerzumból hozzánk érkező információ túlnyomó részét

FÉNY

(elektromágneses hullám)

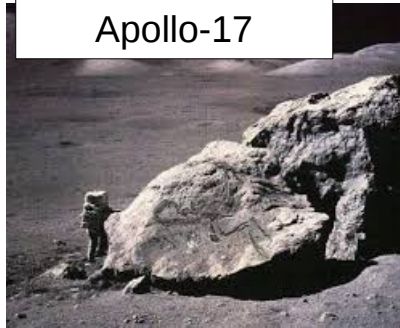
hozza.

Mi van még?



– holdkőzet

a Teremtés köve
Apollo-17



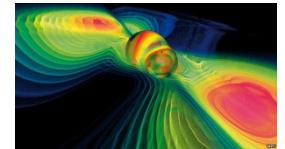
– üstökös

Superkamiokande detektor
Nobel-díj 2015

– neutrínók



– kozmikus
sugárzás

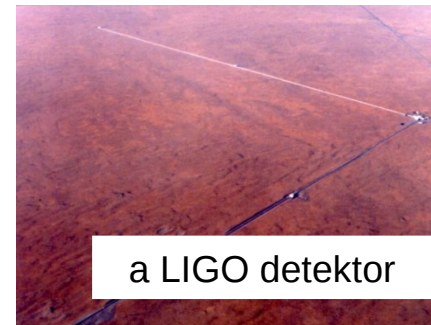


– gravitációs
hullámok

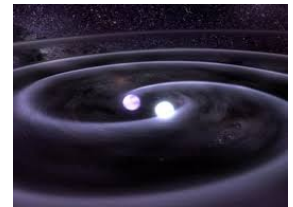
– tűzgömb Budapest felett
2016. jan 15.



– meteoritok



a LIGO detektor



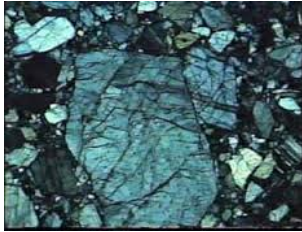
Az Univerzumból hozzánk érkező információ túlnyomó részét

FÉNY

(elektromágneses hullám)

hozza.

Mi van még?



– holdkőzet

a Teremtés köve
Apollo-17



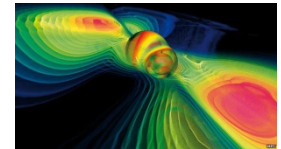
– üstökös

Superkamiokande detektor
Nobel-díj 2015

– neutrínók



– kozmikus
sugárzás



– gravitációs
hullámok

– tűzgömb Budapest felett
2016. jan 15.

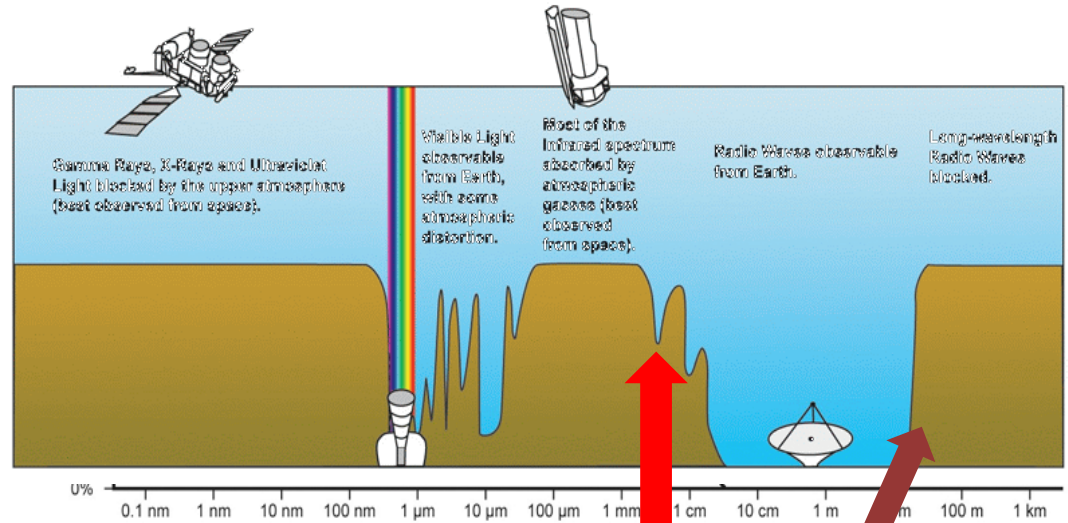
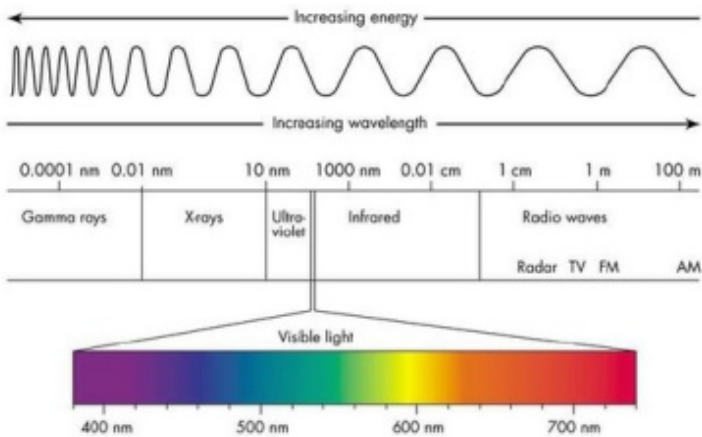


– meteoritok

Frei Zsolt, az LIGO-együttműködés magyar csoportjának (Eötvös Gravity Group) vezetője:
Új ablak az Univerzumra – a gravitációs hullámok felfedezése
Atomcsill, 2016. március 3.



Az elektromágneses spektrum és a földi légkör átlátszósága

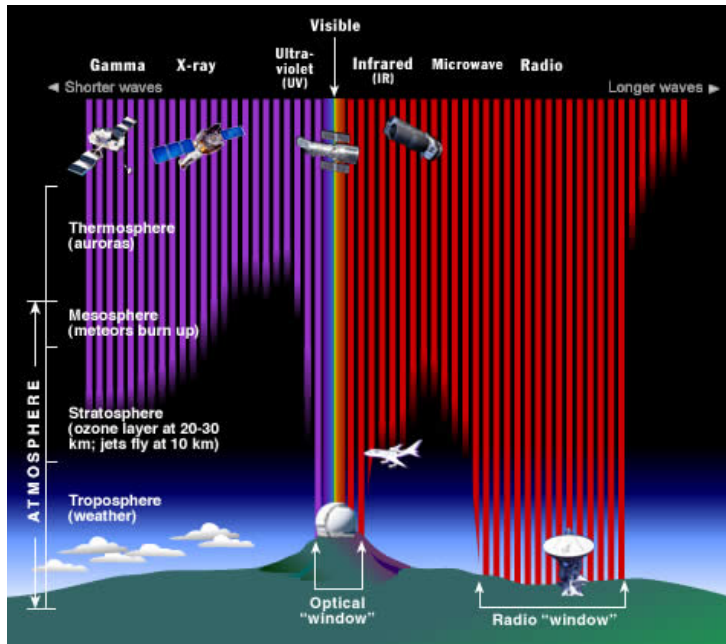


milliméteres ablak:
a chilei ALMA-teleszkóprendszer

rádiótávcsövek



Kóspál Ágnes, az ALMA-együttműködés magyar Lendület-csoportjának vezetője:
Milyen titkokat rejt a születő csillagok fénye?
Atomcsill, 2016. március 31.

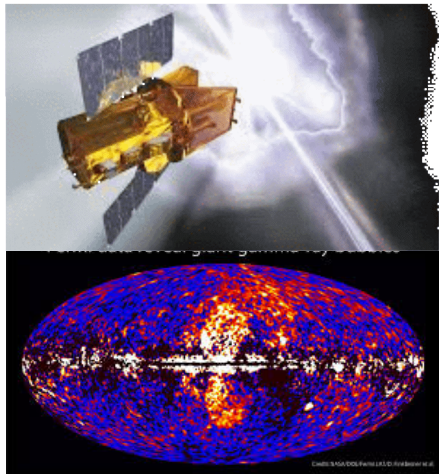


Sokáig kizárólag a **LÁTHATÓ FÉNYT** vizsgálták, földi eszközökkel

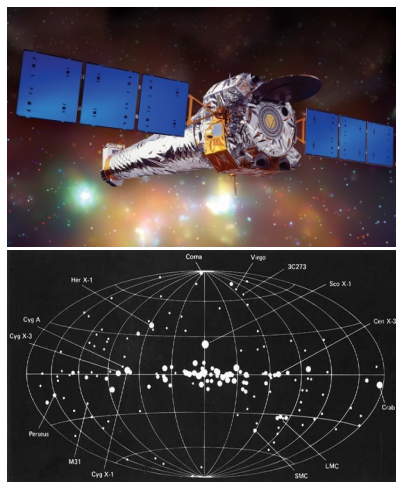
– a 30-as években megnyílt a **RÁDIÓ**ABLAK

– a 60-as évektől: **légkörön túli csillagászat**

egy-egy hullámhossz-tartományra szakosodott műholdakkal



a Swift **gamma**-műhold és a gamma-égbolt



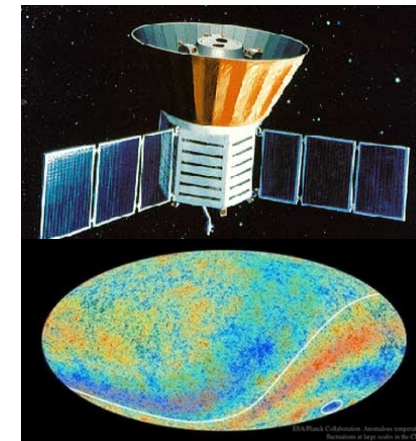
a Chandra **röntgen**-műhold és a röntgen-égbolt



rádiógalaxis



az IUE **ultraibolya** űrteleszkóp



a COBE **mikrohullámú** űrteleszkóp és a kozmikus mikrohullámú háttér



a Hubble űrtávcső



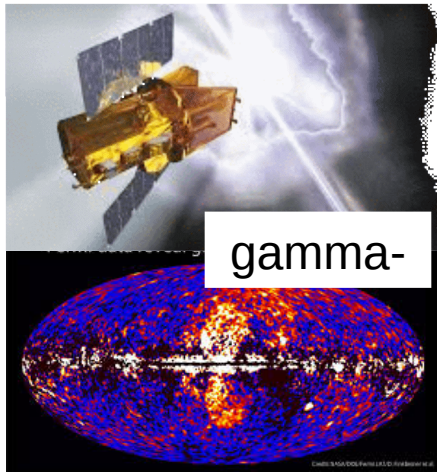
a Herschel **infravörös** űrteleszkóp



– a 60-as évektől: **légkörön túli csillagászat**

Tapasztalat:

néhány fényes objektum megtalálható minden hullámhosszon, de többnyire nagyon eltér a

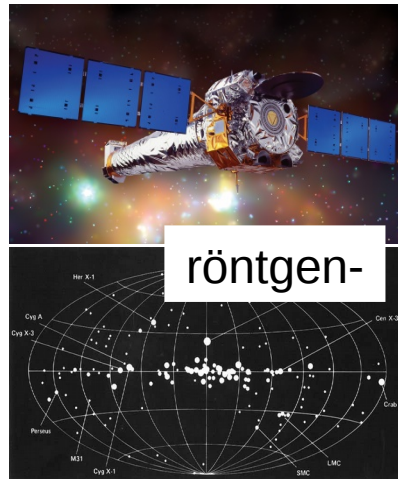


gamma-

a Swift **gamma**-műhold és a gamma-égbolt



a Hubble űrtávcső

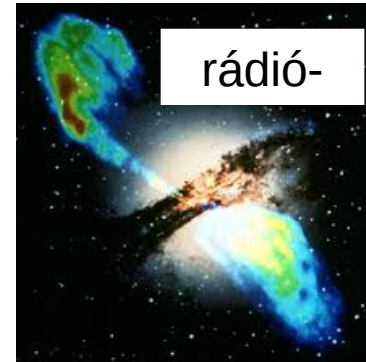


röntgen-

a Chandra **röntgen**-műhold és a röntgen-égbolt



látható égbolt.



rádió-

rádiógalaxis



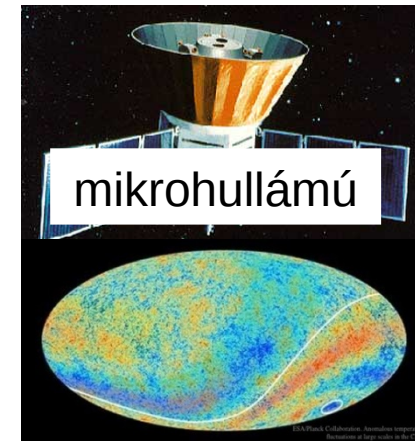
ultraibolya

az IUE **ultraibolya** űrteleszkóp



infravörös

az IRAS **infravörös** űrteleszkóp



mikrohullámú






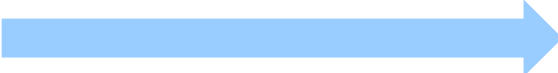
a COBE **mikrohullámú** űrteleszkóp és a kozmikus mikrohullámú háttér

Milyen információt hordoz a **FÉNY**?

FÉNY
mostantól kezdve
=
tetszőleges hullámhosszú
elektromágneses sugárzás

- **közvetlen:** – a beérkező sugárzás fizikai tulajdonságai
- **közvetett:** – ki küldte, és milyen volt a küldő? (az egyenes fénysugár másik végén...)
 - merre járt útközben, mi módosította a jellemzőit?

A sugárzás mérhető tulajdonságai:

- irány  pozíciós csillagászat 
 - (nagyobb objektumok esetén): alak
- intenzitás (fényerősség)  fényrend, láthatóság
- spektrum (frekvencia-eloszlás)  anyagi összetétel
 - Doppler-eltolódás  mozgások
- polarizáció  ezzel most nem foglalkozunk, lásd

+ mindezek időbeli változása

Horváth Gábor:
A poláros fény rejtett dimenziói,
Atomcsill, 2005. dec. 8.



Pozíciós csillagászat:

szemmel látható: **elkülönült fénypontok az égen**

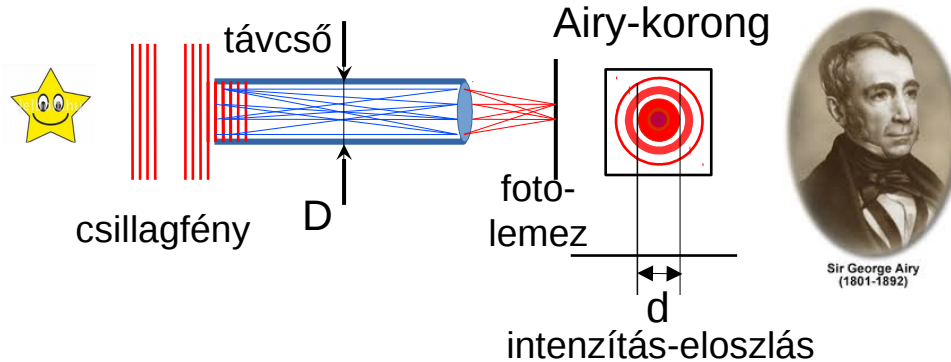
Pontosabban: **nem is pontokat látunk az égen!**

Bolygó: folt, részletekkel:



Csillag: elvileg pontszerű –

gyakorlatilag a távcső karimájának elhajlási képét fényképezzük le!

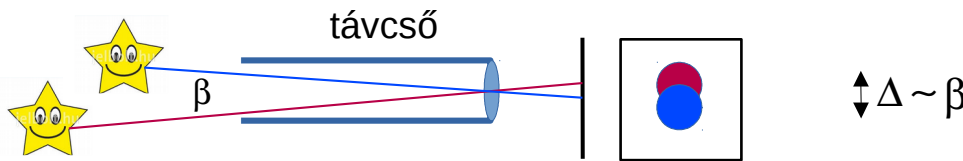


$$d \sim \frac{1}{D}$$

Felbontóképesség:
az elkülöníthető szomszédos objektumok szögtávolsága

Az emberi szem felbontóképessége:
fekete-fehérben kb. 0,1 ívperc
színesben kb. 10 ívperc
25 cm-ről nézve kb. 0,1 mm

Két közeli csillag Airy-korongja akkor különíthető el, ha

$$\Delta > d$$


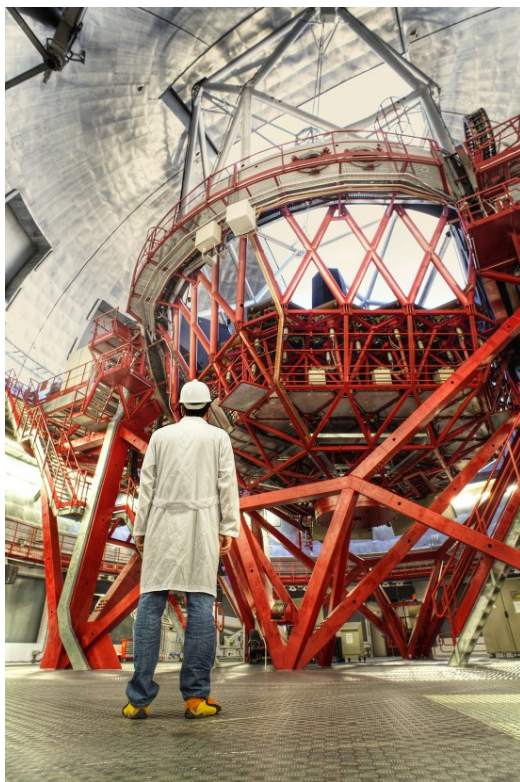
Két közeli csillag megkülönböztetése, „felbontása”

Azaz a távcső feloldóképessége fordítva arányos a D átmérővel!



A távcső feloldóképessége fordítva arányos a D átmérővel

Jó felbontáshoz építsünk
óriástávcsövet!

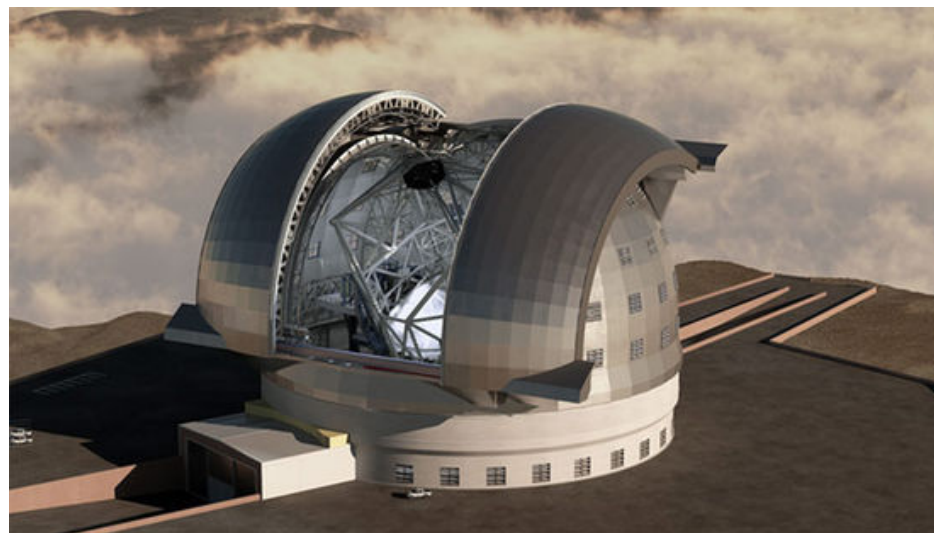


$D = 10 \text{ m}$



$D = 25 \text{ m}$

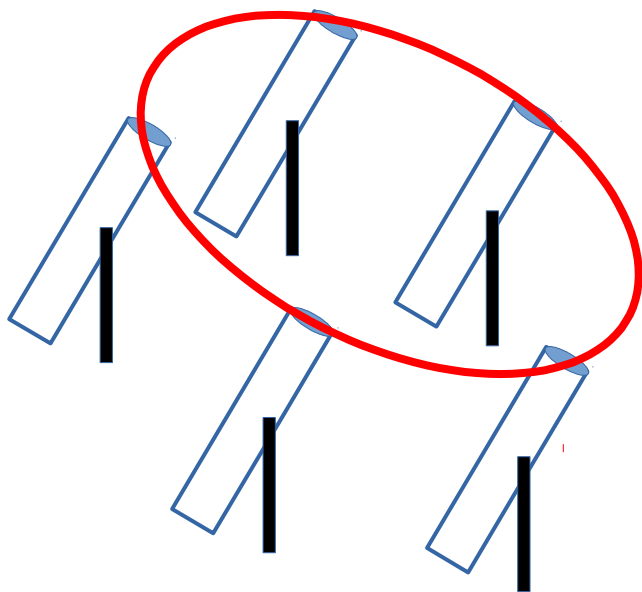
$D = 42 \text{ m}$



A távcső feloldóképessége fordítva arányos a D átmérővel

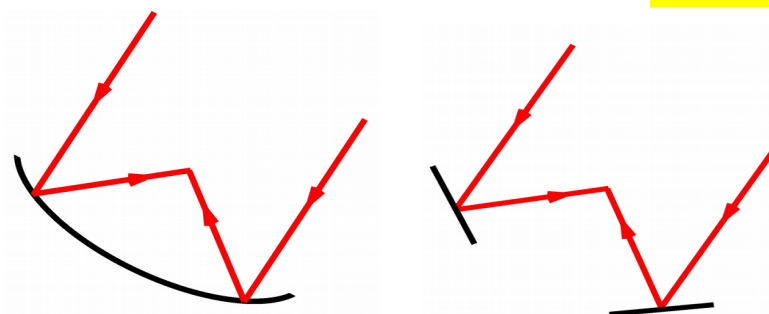
Még jobb felbontáshoz építsünk

VIRTUÁLIS óriástávcsövet!



Mintha egyetlen hatalmas tükör lenne!

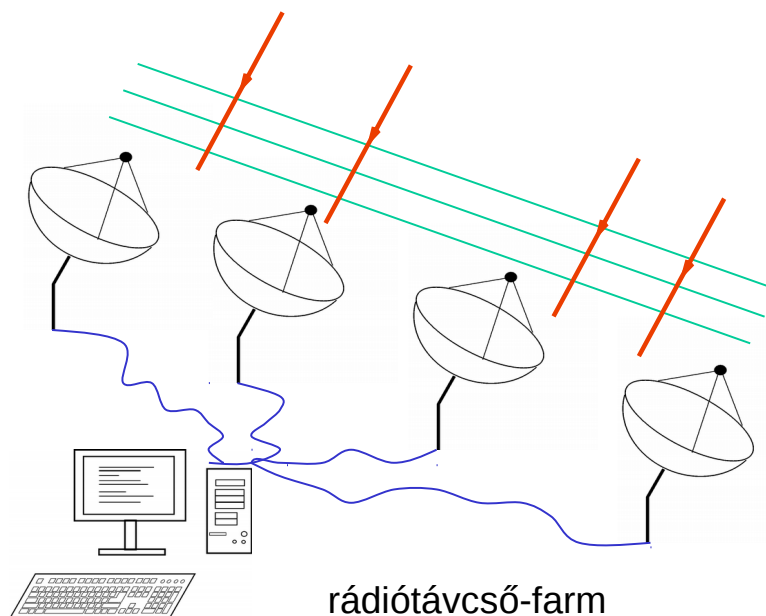
Feltétel: szinkronizálás,
közös elektronikus vezérlés,
nagyon pontos beállítás



egy nagy
antenna

két kis
antenna

Rádiótávcsöveket könnyebb szinkronizálni

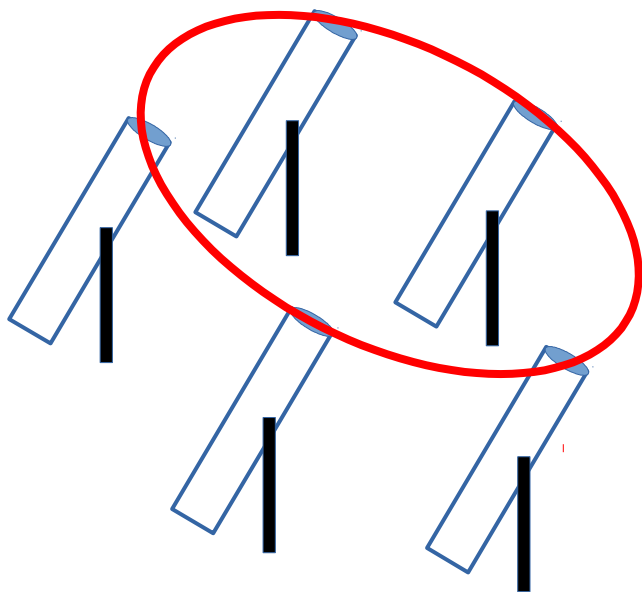


rádiótávcső-farm

A távcső feloldóképessége fordítva arányos a D átmérővel

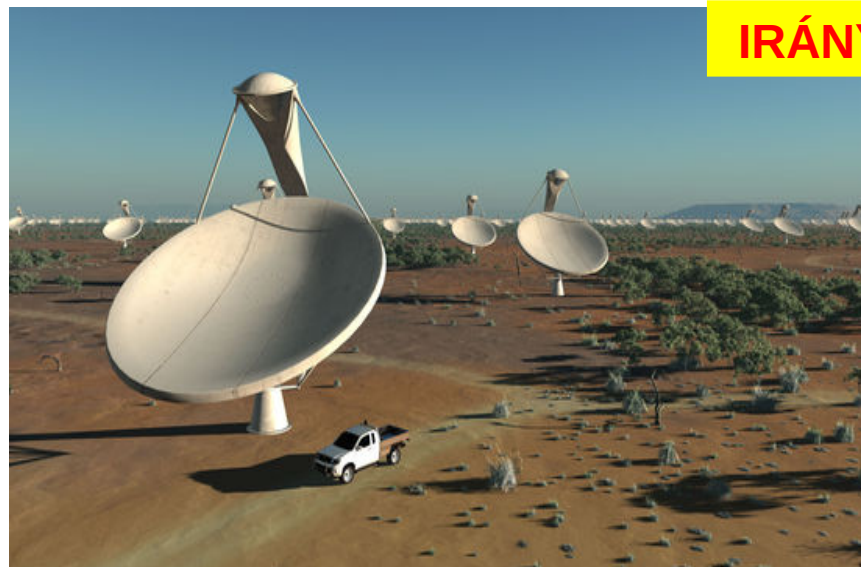
Még jobb felbontáshoz építsünk

VIRTUÁLIS óriástávcsövet!



Mintha egyetlen hatalmas tükör lenne!

Feltétel: szinkronizálás,
közös elektronikus vezérlés,
nagyon pontos beállítás



Rádiótávcsöveket könnyebb szinkronizálni



a chilei ALMA infravörös teleszkóprendszer:

Kóspál Ágnes:
Milyen titkokat rejt a születő csillagok fénye?

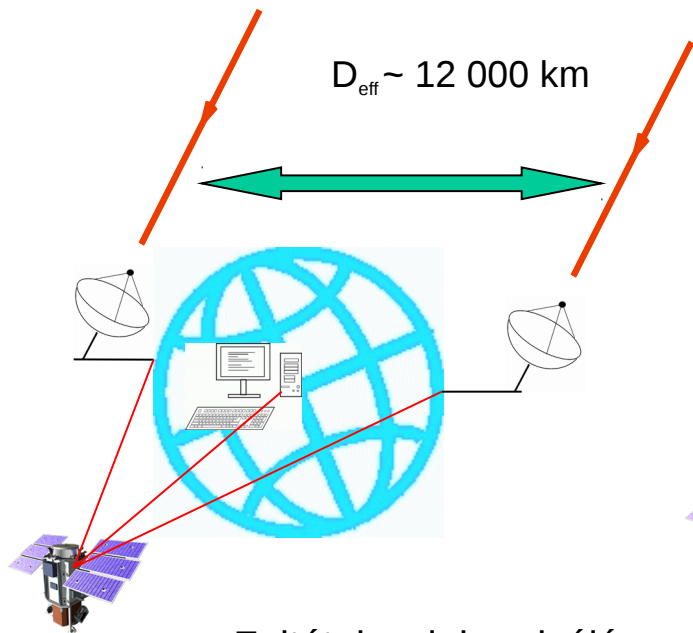
Atomcsill, 2016. márc. 31.

A távcső feloldóképessége fordítva arányos a D átmérővel

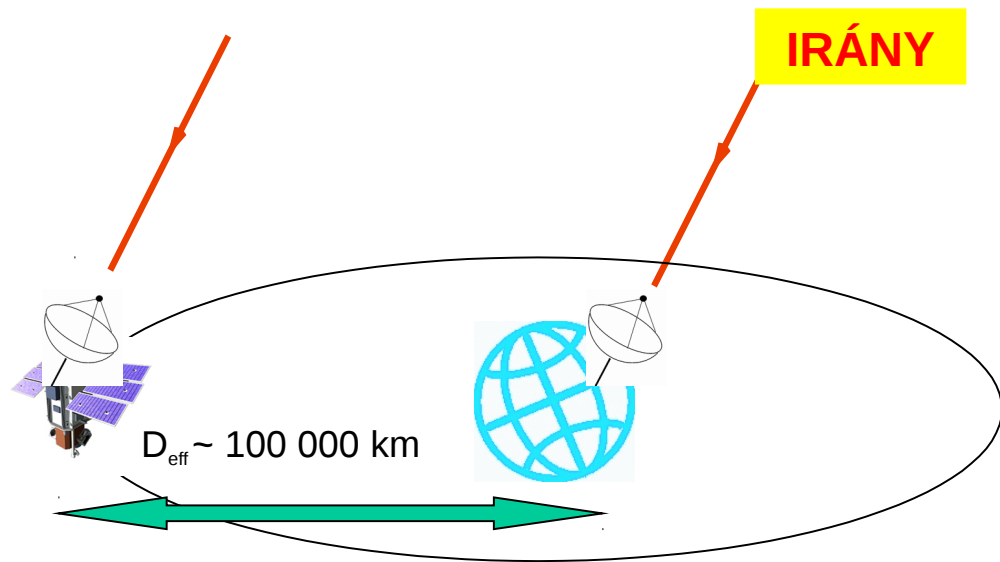
Még jobb felbontáshoz építsünk

VIRTUÁLIS óriástávcsövet!

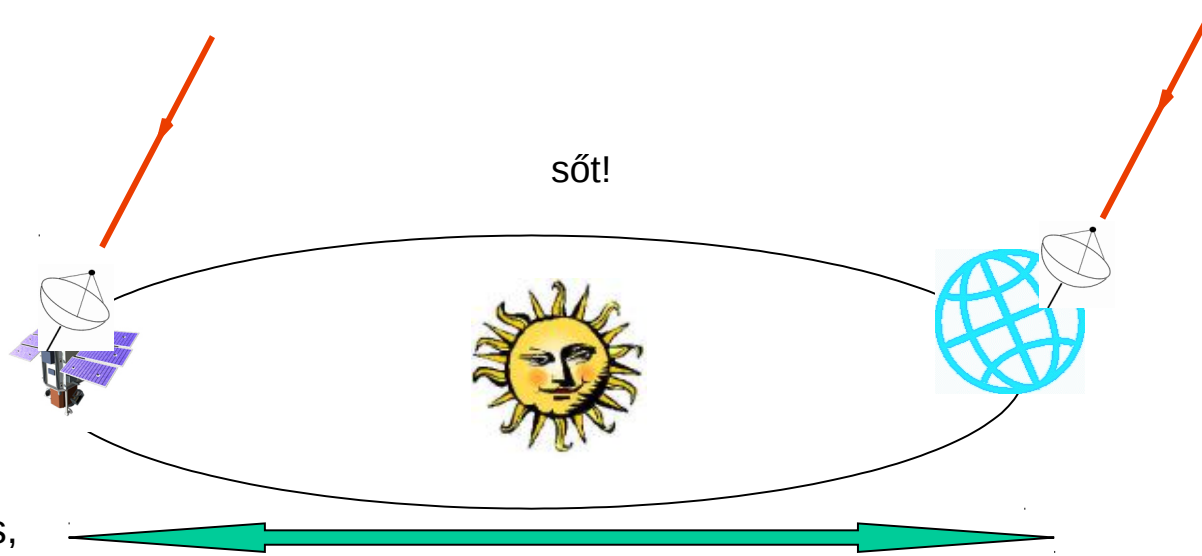
VLBI Very Large Baseline Interferometer



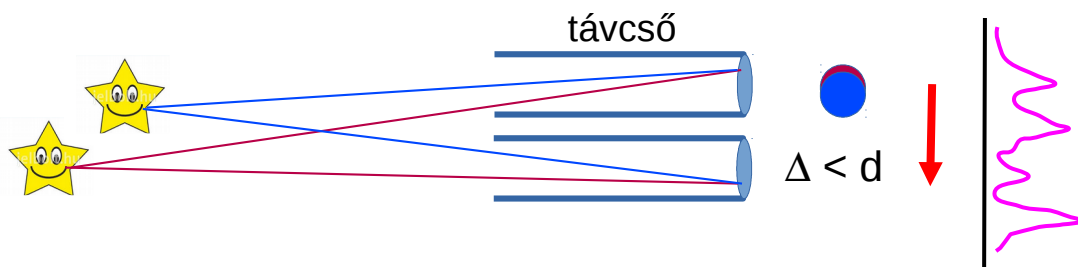
Feltétel: szinkronizálás,
közös elektronikus vezérlés,
nagyon pontos beállítás



...és ha a Föld NEM ELÉG nagy...

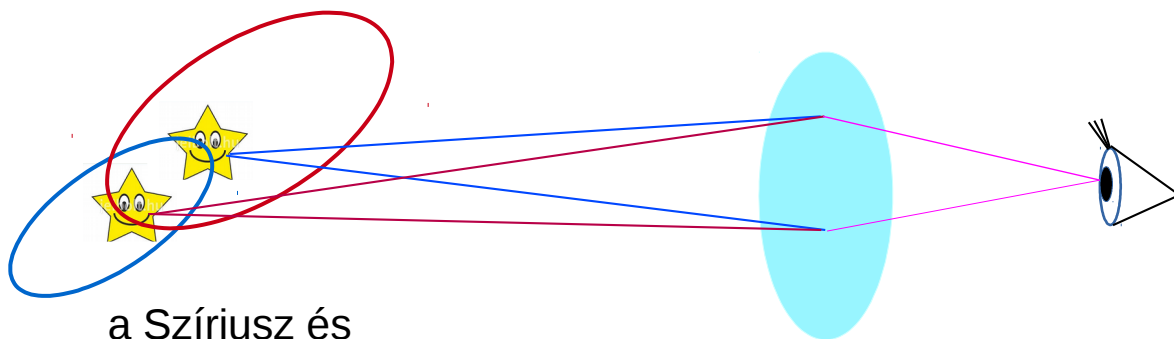


Nagyon közeli objektumok felbontása: **INTERFERENCIÁVAL**



A távcső oldalirányú elmozgatása megváltoztatja **a két fénysugár útkülönbségét** (sok fényéves úthosszt egy-két fényhullámhosszal!), ezért az eredő intenzításban **interferencia-mintázat** észlelhető.

Egy „spontán” interferométer:



gyors időbeli intenzitás- és frekvencia-változás:

a Szíriusz fénye
SZIPORKÁZIK

a Szíriusz és fehér törpe kísérője

szabad szemmel nem tudjuk őket elkülöníteni

a kavargó, fluktuáló földi légkör:

gyorsan változó, frekvenciafüggő lencsehatás

kis kézi távcső, elállított fókusszal:
a Szíriusz tűzijátéka

A pozíciós csillagászat tulajdonképpen a helyfüggő fényerősséget, fényintenzitást vizsgálja

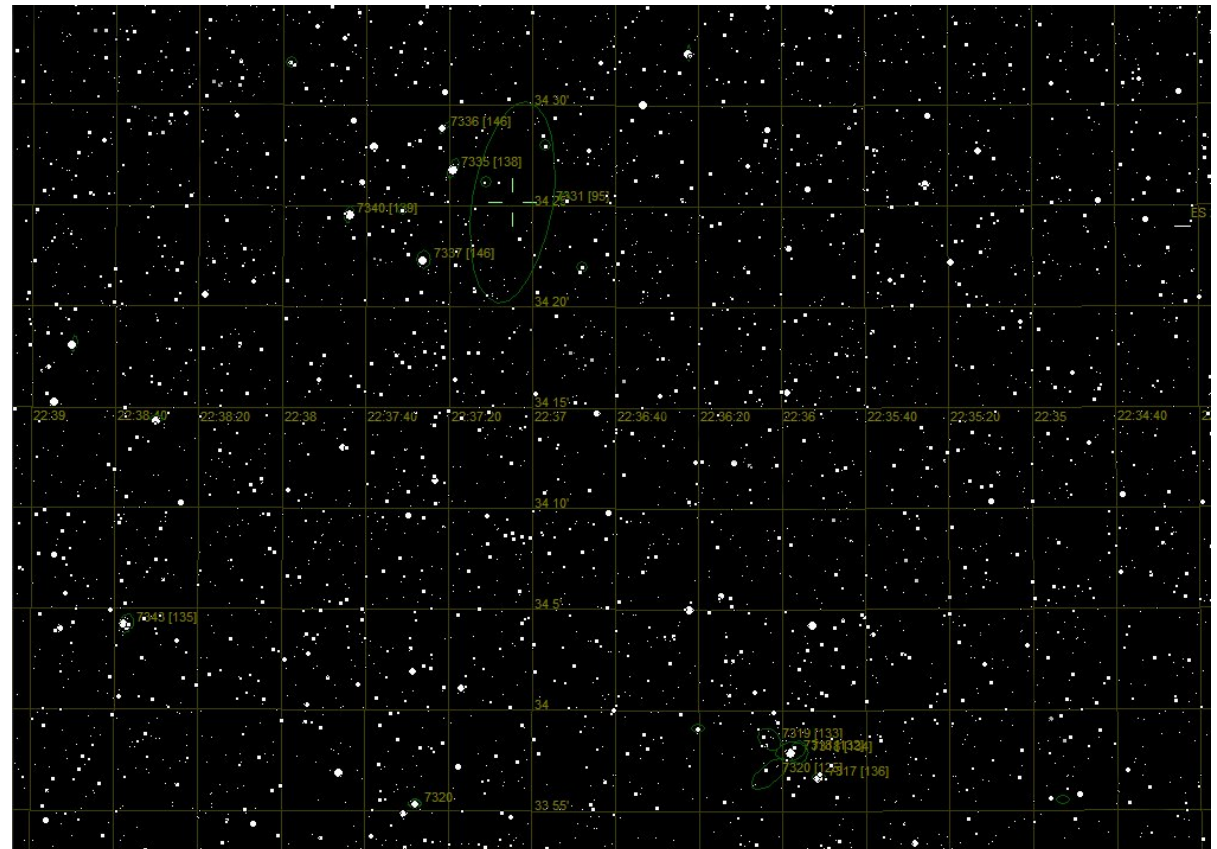
Ezért mindenképpen fontos információt hordoz

A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

Már a régi görögök is... (de tényleg!)

hat osztályba sorolták a csillagokat fényességük szerint:

elsőrendű, másodrendű, ... hatodrendű csillagok



A pozíciós csillagászat tulajdonképpen a helyfüggő fényerősséget, fényintenzitást vizsgálja

Ezért mindenképpen fontos információt hordoz

A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

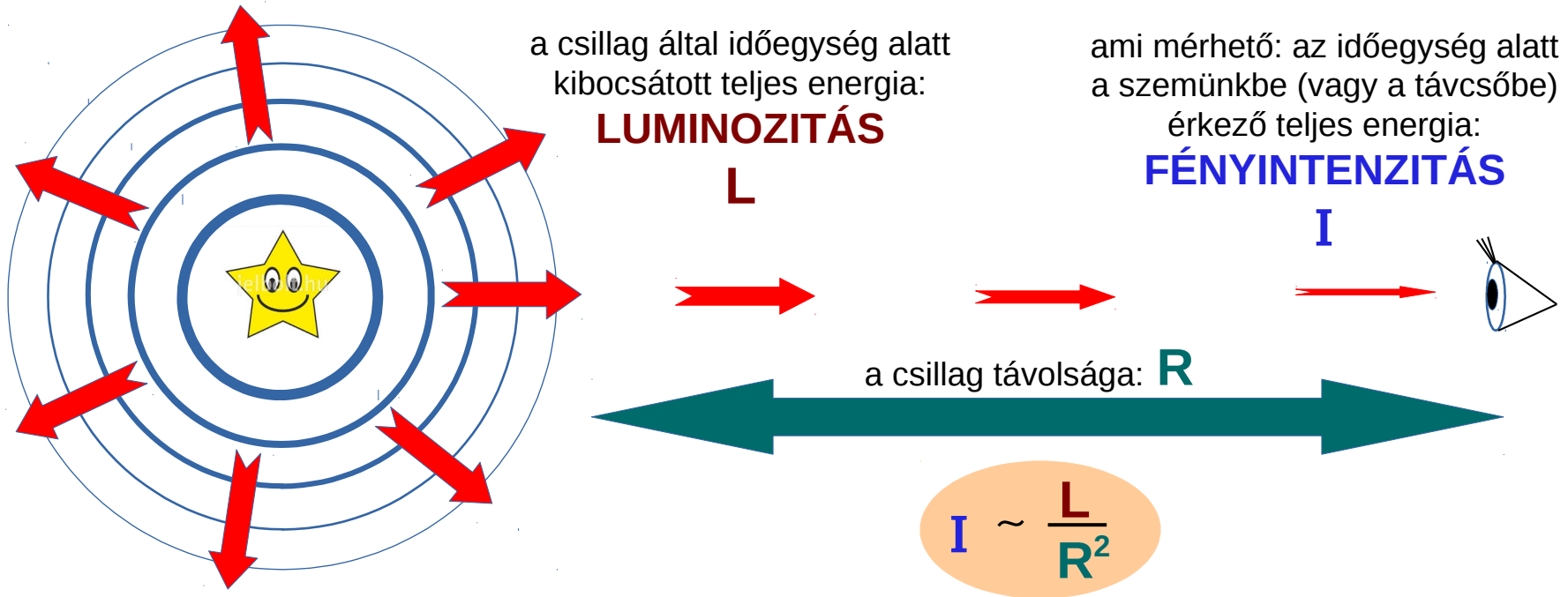
Már a régi görögök is... (de tényleg!)

hat osztályba sorolták a csillagokat fényességük szerint:

elsőrendű, másodrendű, ... hatodrendű csillagok

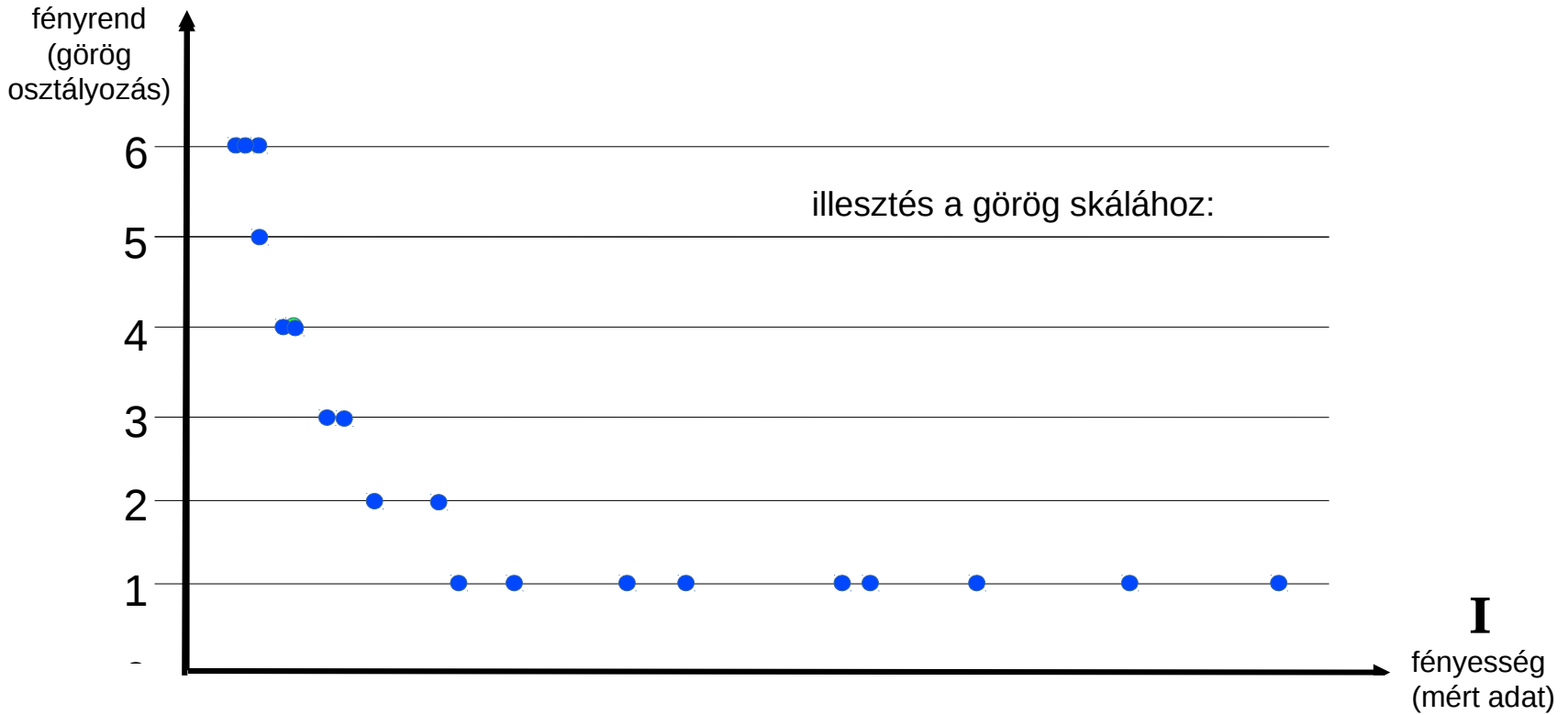
Fényképlemez, fotodetektorok: objektív fényességmérés

fényesség: az objektumról időegység alatt beérkező fényenergia – ez műszerrel mérhető



A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

Fényképlemez, fotodetektorok: **objektív fényességmérés**

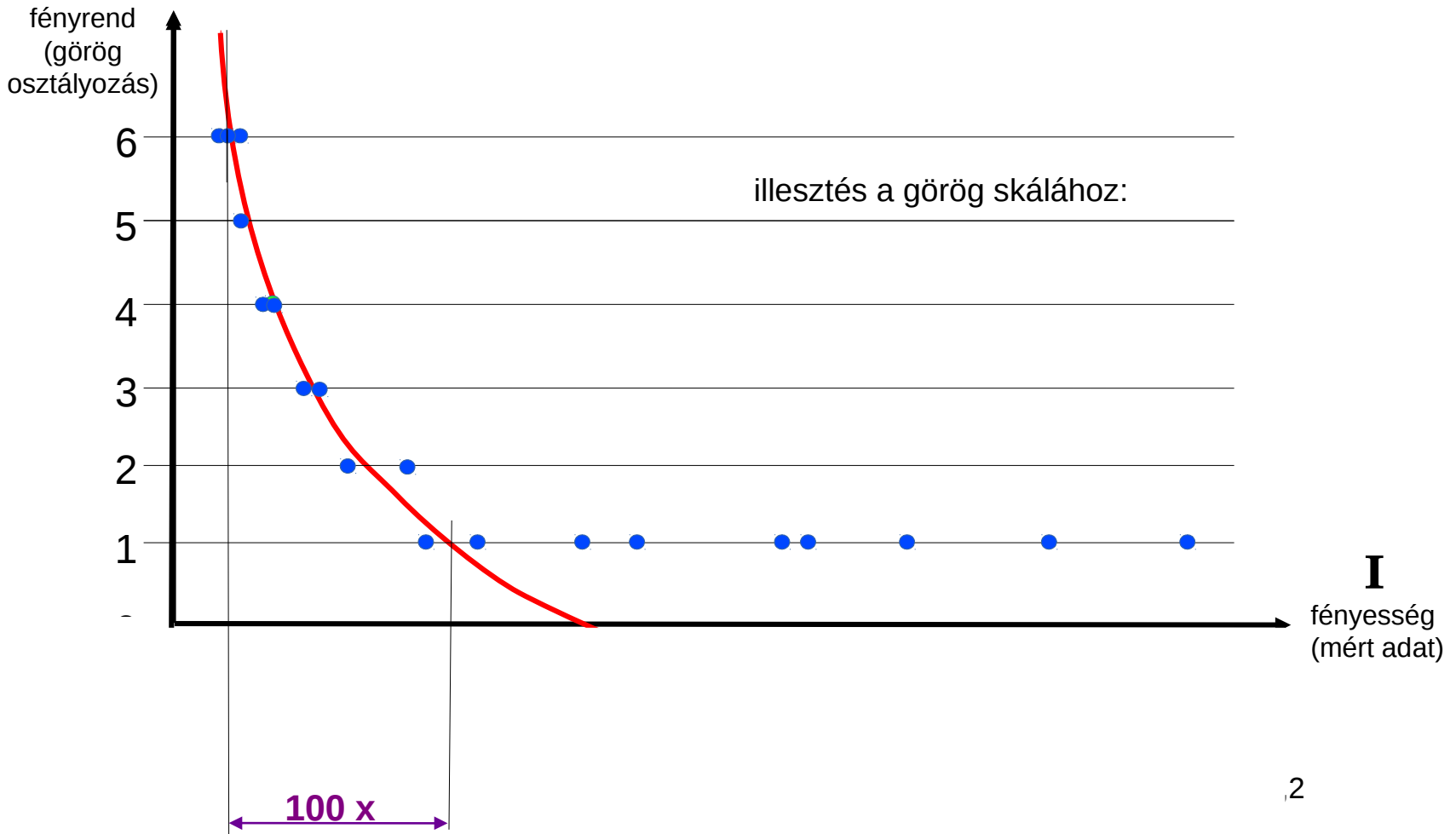


2



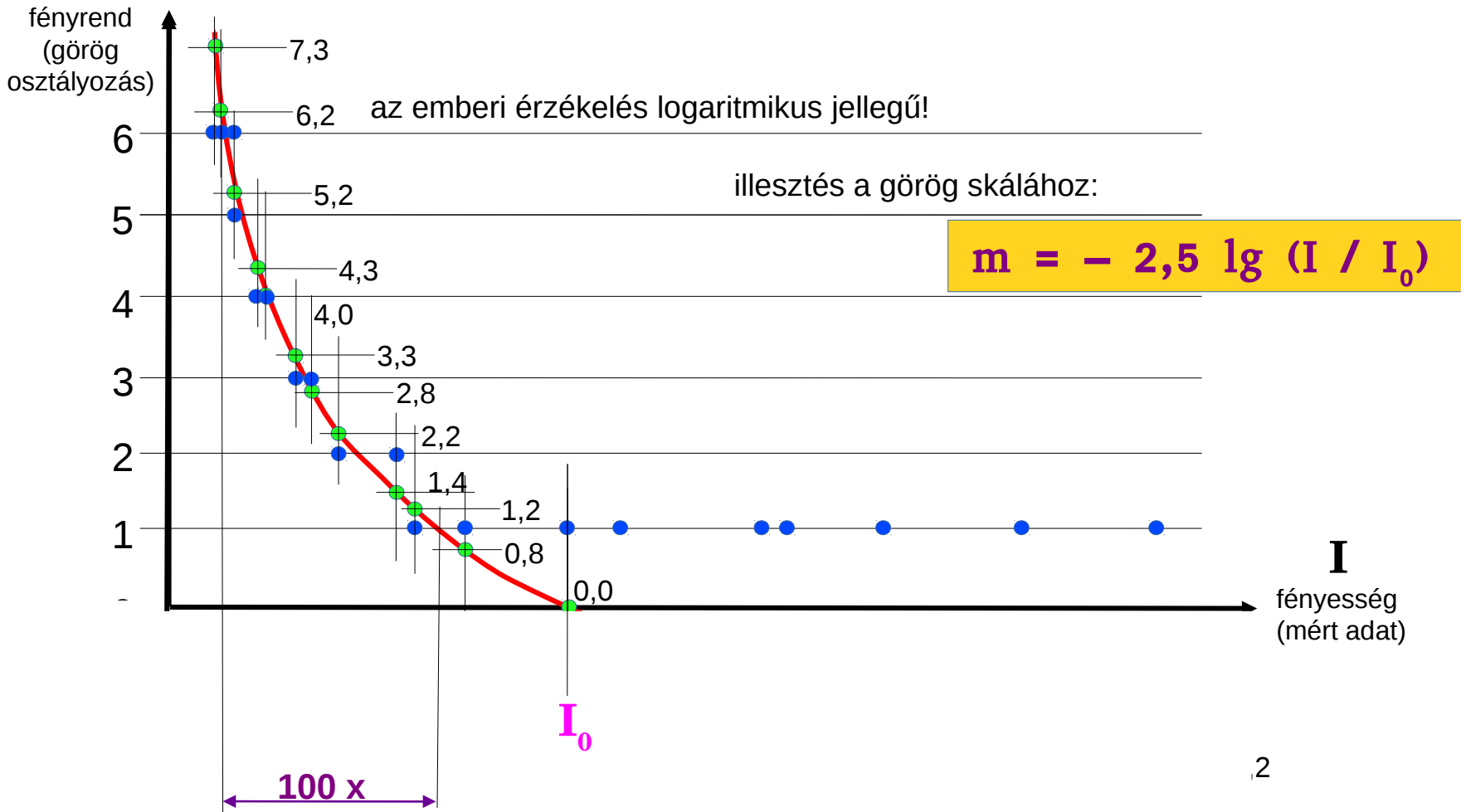
A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

Fényképlemez, fotodetektorok: **objektív fényességmérés**



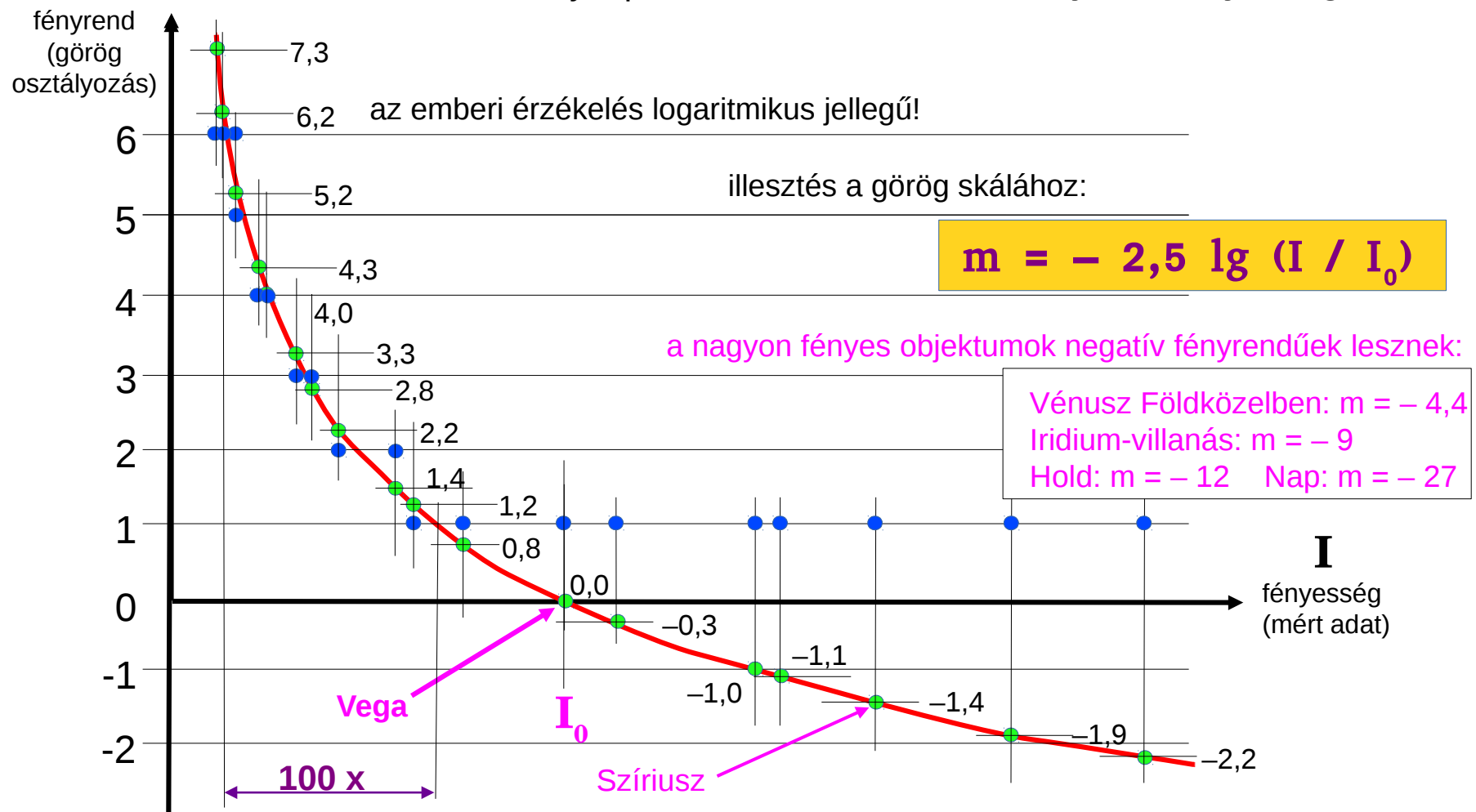
A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

Fényképlemez, fotodetektorok: **objektív fényességmérés**



A CSILLAGOK FÉNYESSÉGE

Fényképlemez, fotodetektorok: **objektív fényességmérés**



Az égbolt háttérfényessége

Minden irányból érkező, a halvány csillagok fényét elnyomó sugárzás



Az egyik lehetséges megoldás:

ŰRTÁVCSÖVEK



Fényszennyezés – a környezetszennyezés egyik kevésbé közismert formája

Az egyre szaporodó, egyre erősebb és nem ellenőrzött mesterséges fényforrások következtében

a halványabb égi objektumok egyre kevesebb helyről láthatók

Korábban szabad szemmel kb. 3600 csillag volt látható, ma kb. 36. Régen mindenki minden éjjel látta az Tejútát és az Androméda-ködöt... Városból 2 magnitúdó felett semmi sem látható.



Marad (ha valaki egyáltalán felnéz az égre...): Nap, Hold, Vénusz, Jupiter, Szíriusz, Arcturus, Betelgeuse...

Pedig: A csillagos égbolt az emberiség közös kulturális öröksége! (UNESCO)

A fényszennyezés egyben komoly biológiai probléma is.

Megoldás: a fényszennyezés radikális csökkentése

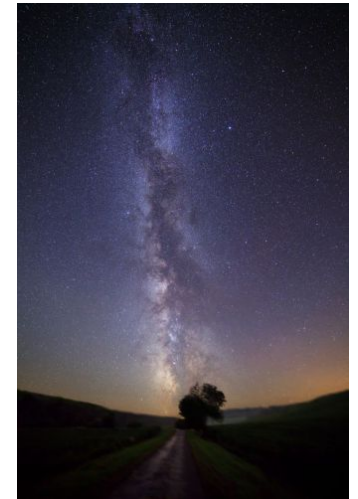


Addig is:

**védett
csillagos ég parkok**

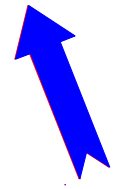
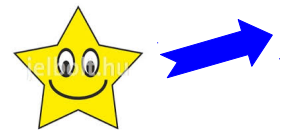
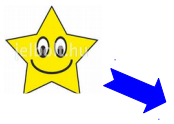


Magyarországon:
Zselic, Hortobágy



Részletesen: **Kolláth Zoltán:**
A fényszennyezés és a csillagos ég parkok
Atomcsill, 2017-18-as évad

Látzólagos és abszolút fényesség



Látzólagos és abszolút fényesség



$$I \sim \frac{L}{R^2}$$

A csillagok látzólagos fényessége a távolságtól is függ.

Szabaduljunk meg ettől a hatástól!



„Vonszoljuk” a csillagokat egy standard R_0 távolságra!

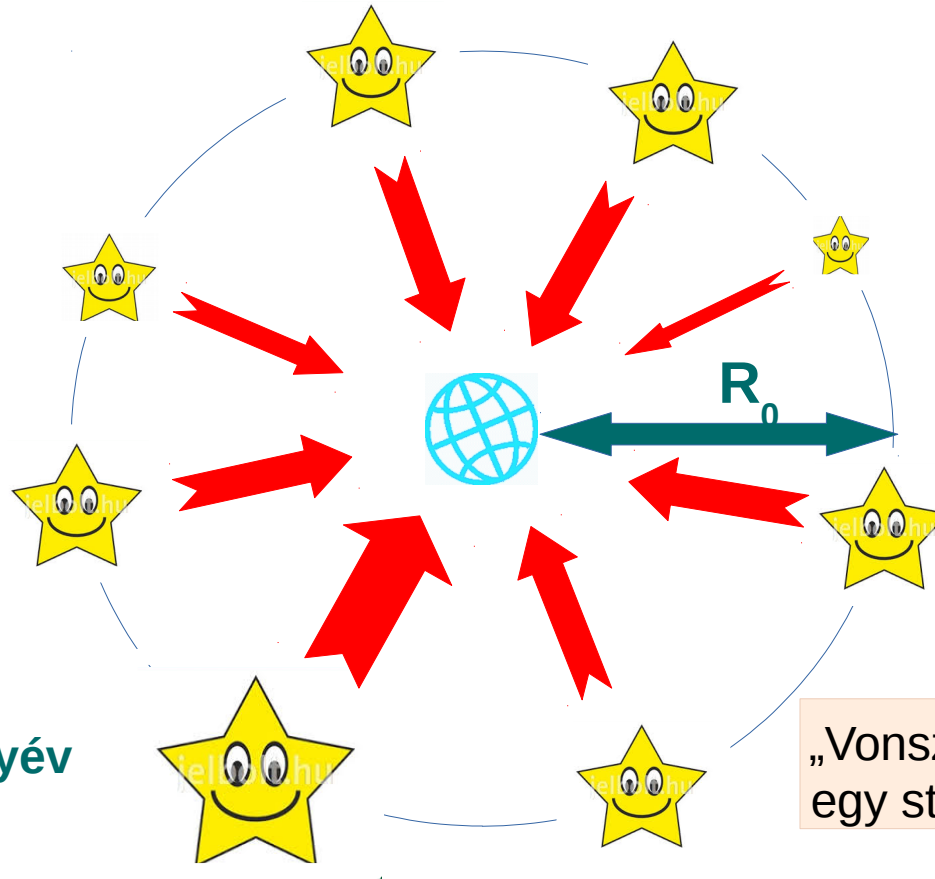


Látzólagos és abszolút fényesség

$$I \sim \frac{L}{R^2}$$

A csillagok látzólagos fényessége a távolságtól is függ.

Szabaduljunk meg ettől a hatástól!



$R_0 = 10 \text{ pc} \cong 33 \text{ fényév}$

„Vonszoljuk” a csillagokat egy standard R_0 távolságra!

Az így kapott **VALÓDI vagy ABSZOLÚT FÉNYESSÉG** már csak a csillag saját tulajdonságaitól függ



Látszólagos és abszolút fényesség

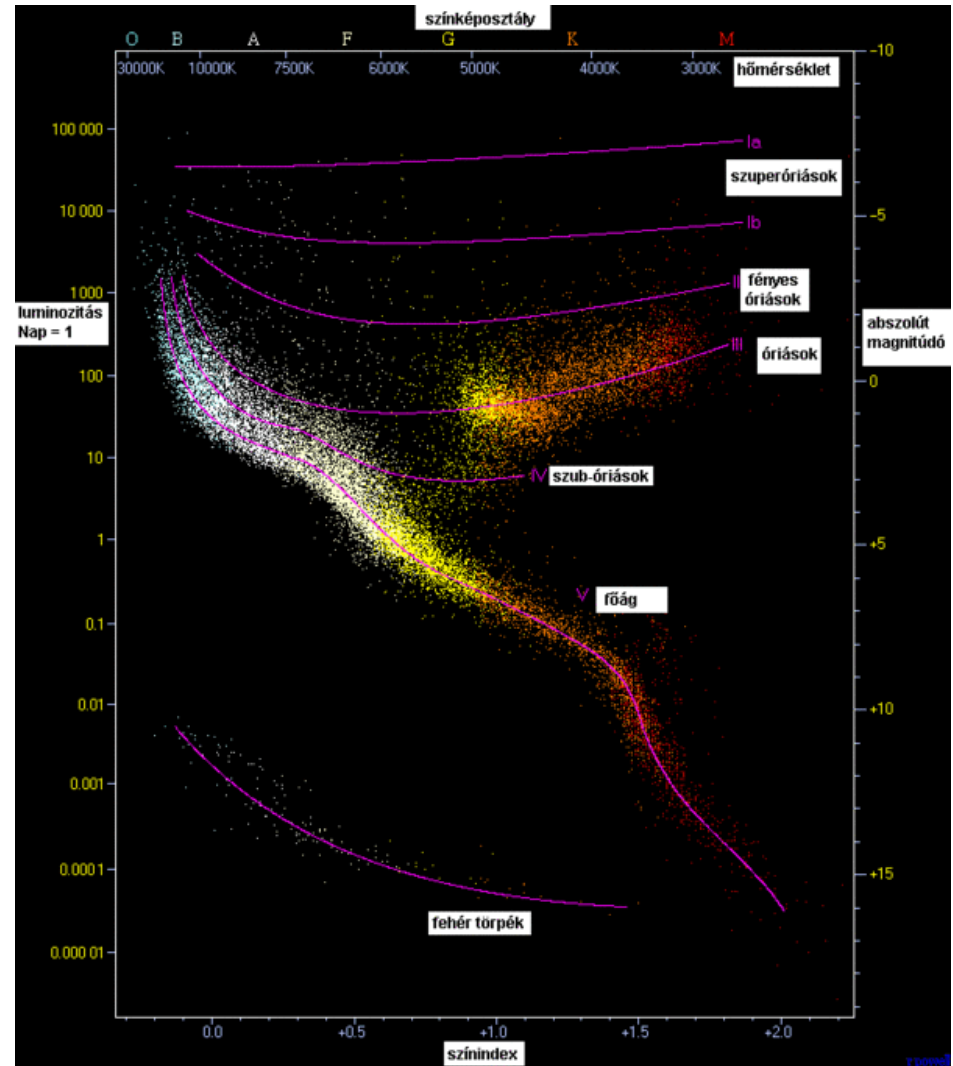
Mitől függ a csillagok valódi fényessége?

Fizikai tulajdonságaitól:

tömeg
méret (átmérő)
felületi hőmérséklet
kémiai összetétel
energiatermelő folyamat
életkor
stb.

Érdekes tapasztalat:

a szín és a valódi fényesség összefüggése: Hertzsprung–Russel-diagram



Változó fényességű csillagok

A 21. századi csillagászat (a Kepler-űrtávcső) egyik legfontosabb eredménye:

gyakorlatilag minden csillag változó!

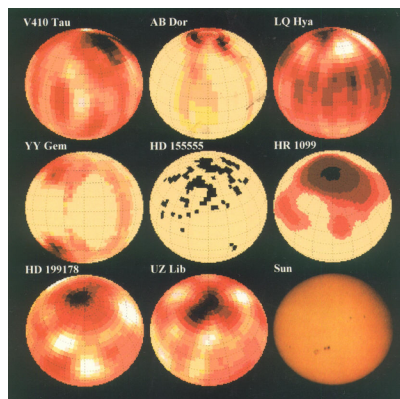
mikrováltozások

csak űrtávcsővel észlelhetők

csillagrendések

mikropulzációk, oszcillációk

„Naptevékenység”, csillagfoltok



Kiss László:

Csillagrendések kutatása: hogyan tekinthetünk be a csillagok belsejébe?

Atomcsill, 2016. febr. 18.

„hagyományos” fényességváltozások

földi távcsővel, esetleg szabad szemmel is észlelhetők

fizikai változók

optikai változók

visszatérő
esemény

gyors vagy lassú
pulzálás
kifényesedés

egyszeri
esemény

kitörések,
nóva- vagy
szupernóva-
robbanás

egyszeri
esemény

elvonul előtte
egy objektum
(barna törpe):
mikrolencsézés

visszatérő
esemény

rendszeresen
elvonul előtte
egy kísérő
(csillag vagy bolygó)

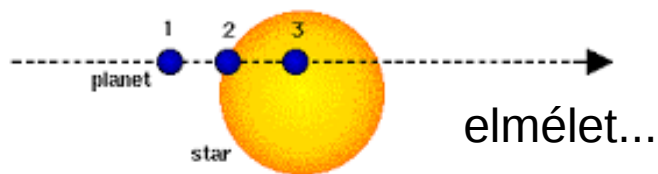
Dávid Gyula:

Szupernóva, avagy a felrobbanó hűtőgép

Atomcsill, 2013. szept. 19.



Exobolygók keresése a csillag fényességének változása alapján



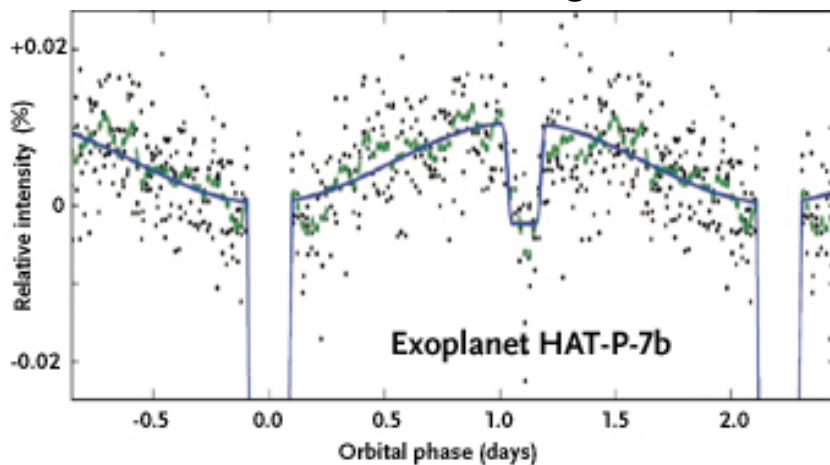
elmélet...



a Vénusz a Nap előtt



...és valóság



az egyik **HAT** távcső
(Hungarian
Automated
Telescope),
és építője:
Bakos Gáspár

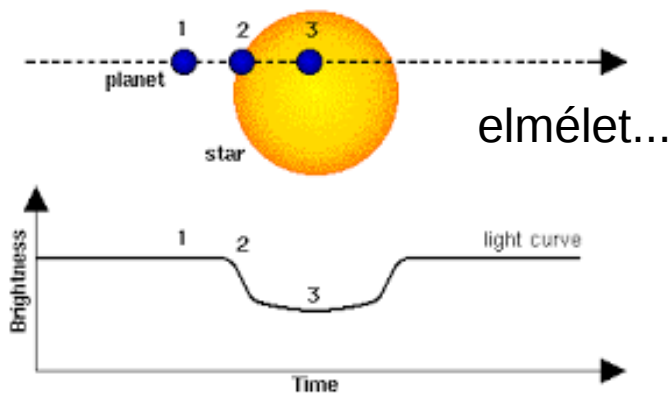
2004. 02. 25.
az első magyar
exobolygó

Sipőcz Brigitta:
Exobolygók
Atomcsill, 2008. márc 13.

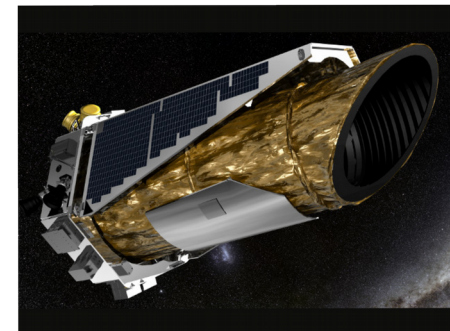
Bakos Gáspár:
Felfedezések a HAT teleszkóppal
Atomcsill, amikor Gazsi erre jár



Exobolygók keresése a csillag fényességének változása alapján

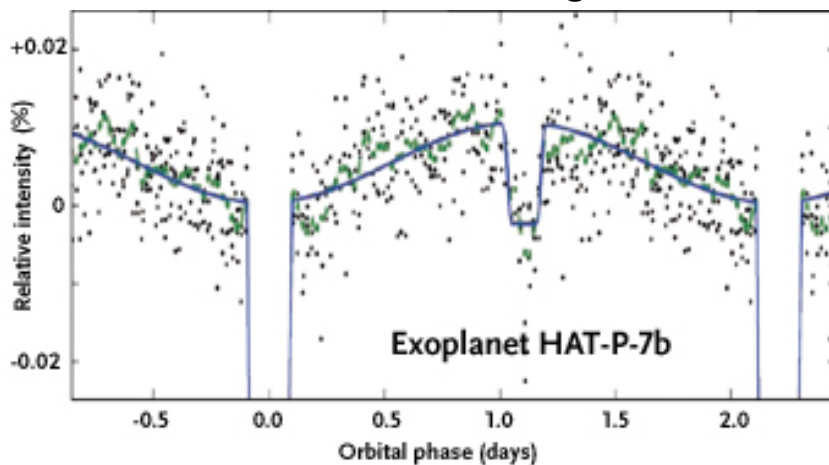


a Vénusz a Nap előtt



a Kepler űrtávcső

...és valóság



az egyik **HAT** távcső (Hungarian Automated Telescope), és építője: Bakos Gáspár

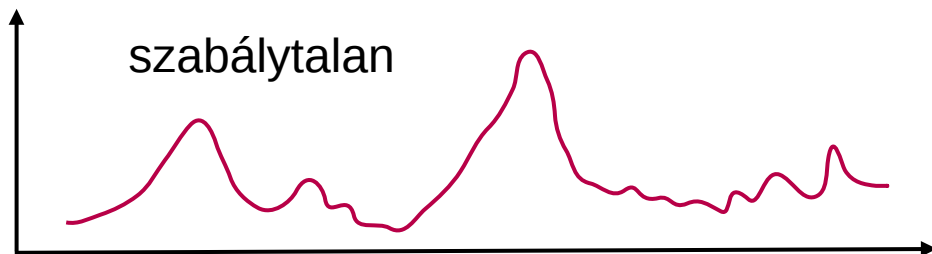
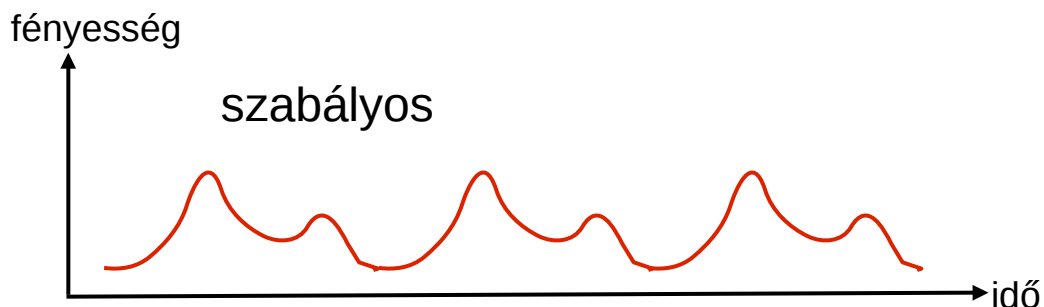
2004. 02. 25.
az első magyar
exobolygó

Sipőcz Brigitta:
Exobolygók
Atomcsill, 2008. márc 13.

Bakos Gáspár:
Felfedezések a HAT teleszkóppal
Atomcsill, amikor Gazsi erre jár



Változó fényességű csillagok fénygörbéi



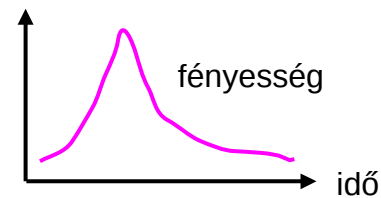
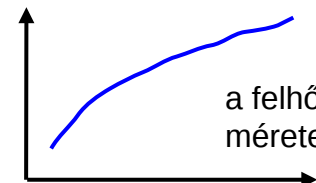
nóva- vagy szupernóva-kitörés
(volt ott korábban valami érdekes?)

a fénygörbe menetét meghatározza:

- a sugárzó felület térbeli mérete
- a sugárzás időbeli lefutása



egy robbanás
táguló
gázfelhője



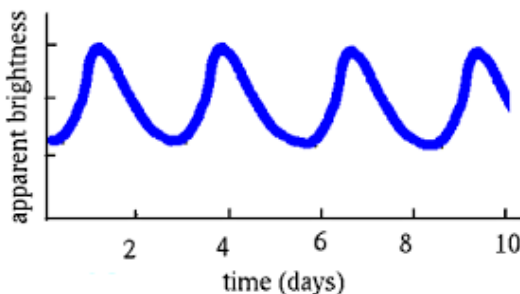
Standard gyertyák

megleppő tapasztalat:
Leavitt 1912

bizonyos típusú
változócsillagok („cefeidák”)

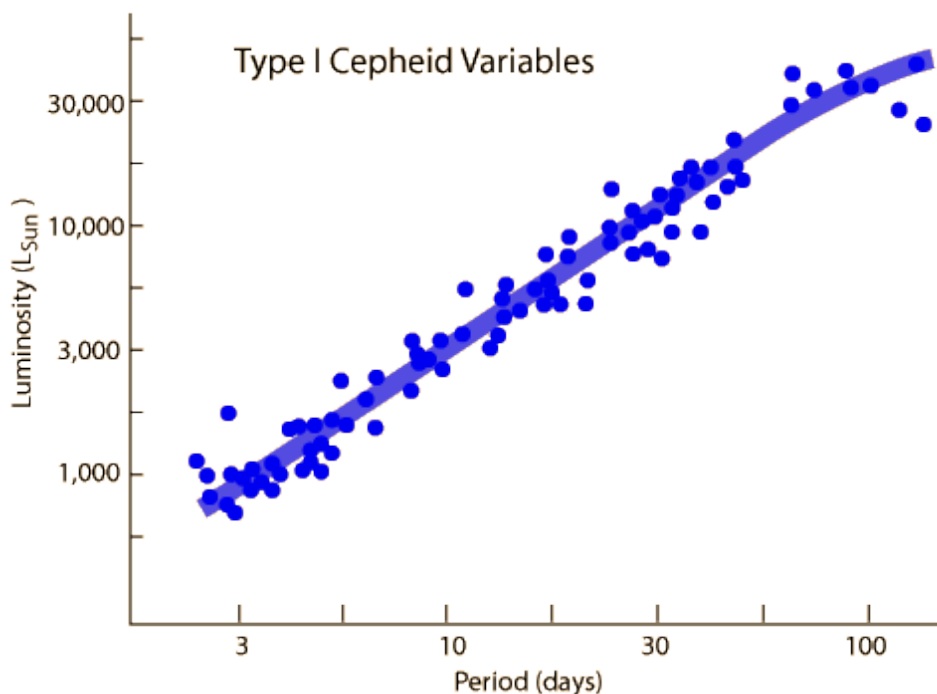
**periódusideje
és abszolút fényessége
összefügg**

a „bizonyos típus”
a fénygörbe alapján
határozható meg



Henrietta Swan Leavitt
(1868–1921)

Mire jó ez?
Távolságmérésre!

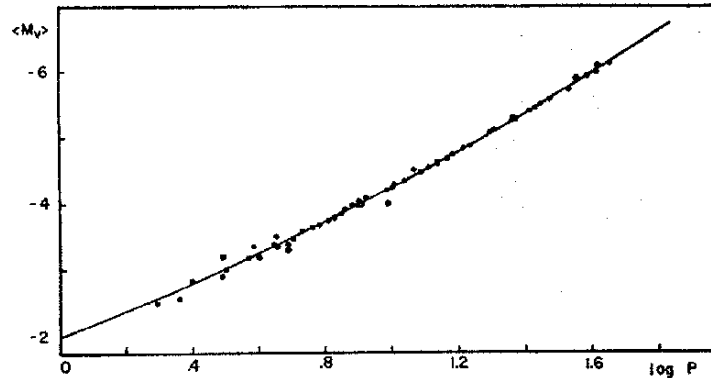


- vedd fel a csillag fénygörbéjét!
- azonosítsd a változó típusát!
- ha cefeida, mérd meg a periódusidejét!
- olvasd le a görbéről az abszolút fényességét!
- mérd meg a csillag látszólagos fényességét!
- **a látszólagos és az abszolút fényesség alapján kiszámíthatod a csillag távolságát!**

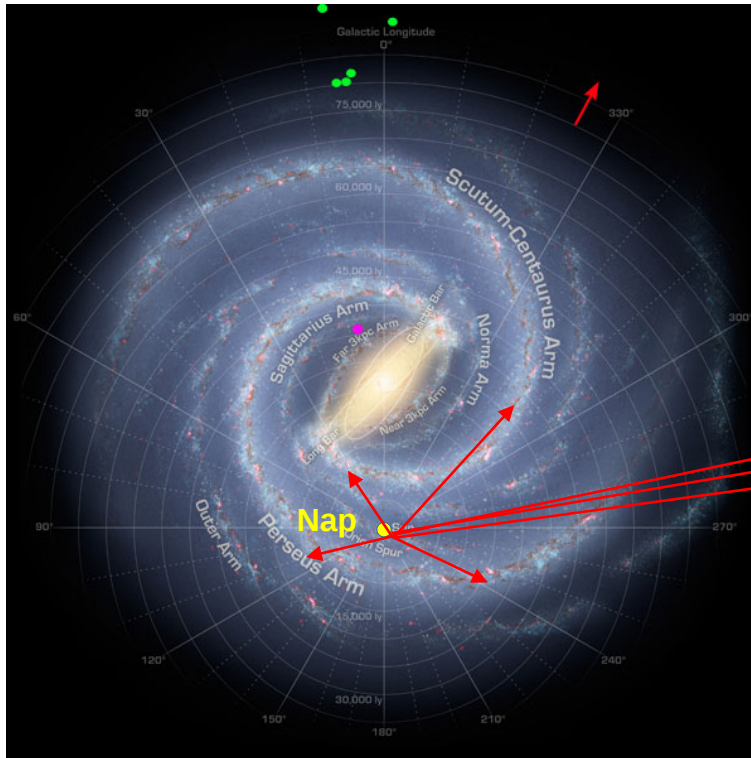


Standard gyertyák

Leavitt sok száz cefeidát vizsgált meg a Tejútrendszerben és a Magellán-felhőben.



Henrietta Swan Leavitt (1868–1921)



Az ismert távolságú közeli cefeidák alapján kalibrálta a görbét.

Ennek alapján számolták ki a Magellán-felhő távolságát (170 000 fényév).



Ma a Hubble-űrtávcső ezzel a módszerrel már 60 millió fényév távolságig tud mérni.

Standard gyertyák

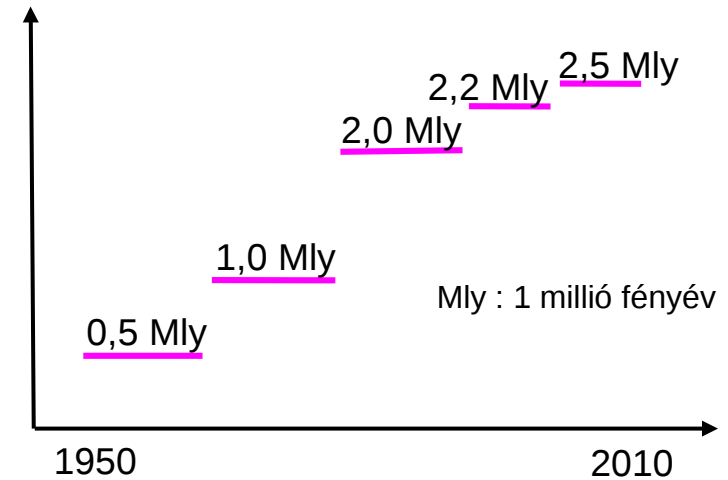
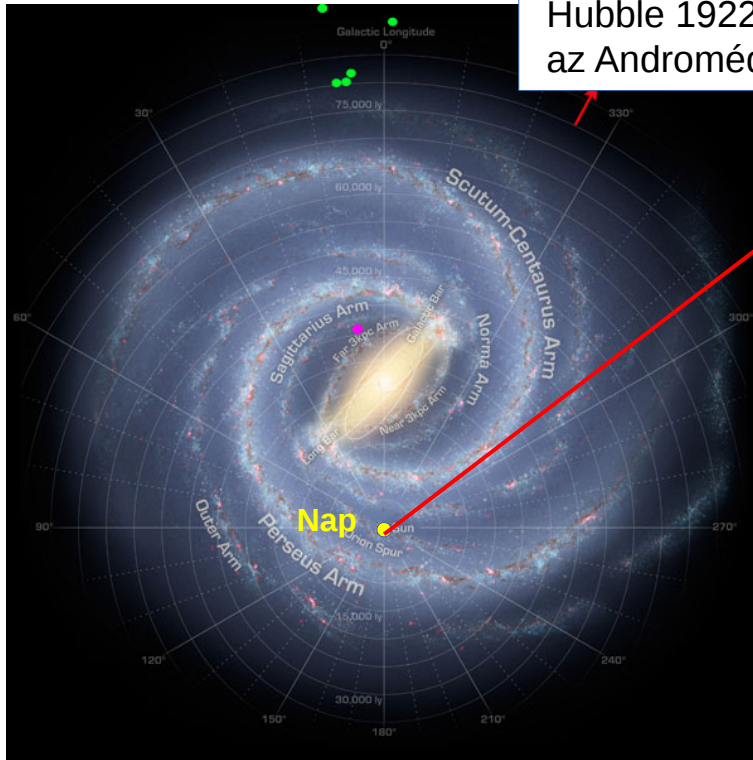
Azóta más típusú kalibrálható speciális változócsillagokat „standard gyertyákat” is találtak.

Ezek segítségével feltérképezték a Tejútrendszert és megmérték más galaxisok távolságát.



Androméda-galaxis

Hubble 1922: cefeidák az Androméda-ködben



Az Androméda-köd „távolodása” a Földtől a távolságmérési módszerek újralibrálása következtében



Milyen információt hordoz a **FÉNY**?

FÉNY
mostantól kezdve
=
tetszőleges hullámhosszú
elektromágneses sugárzás

- **közvetlen:** – a beérkező sugárzás fizikai tulajdonságai
- **közvetett:** – ki küldte, és milyen volt a küldő? (az egyenes fénysugár másik végén...)
 - merre járt útközben, mi módosította a jellemzőit?

A sugárzás mérhető tulajdonságai:





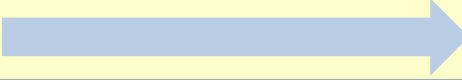
- | | | | |
|---|---|-----------------------|---|
| – irány | → | pozíciós csillagászat | ✓ |
| – (nagyobb objektumok esetén): alak | | | |
| – intenzitás (fényerősség) | → | fényrend, láthatóság | ✓ |
| – spektrum (frekvencia-eloszlás) | → | anyagi összetétel | ? |
| – Doppler-eltolódás | → | mozgások | |

Milyen információt hordoz a **FÉNY**?

FÉNY
mostantól kezdve
=
tetszőleges hullámhosszú
elektromágneses sugárzás

- **közvetlen:** – a beérkező sugárzás fizikai tulajdonságai
- **közvetett:** – ki küldte, és milyen volt a küldő? (az egyenes fénysugár másik végén...)
 - merre járt útközben, mi módosította a jellemzőit?

A sugárzás mérhető tulajdonságai:

– irány		pozíciós csillagászat	
– (nagyobb objektumok esetén): alak			
– intenzitás (fényerősség)		fényrend, láthatóság	
– spektrum (frekvencia-eloszlás)		anyagi összetétel	
– Doppler-eltolódás		mozgások	

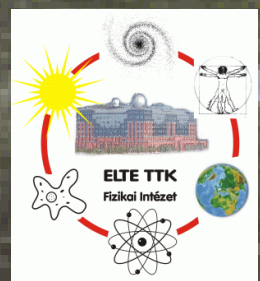
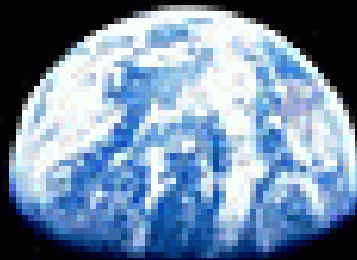
Dávid Gyula:
A csillagok fénye 3.
Atomcsill, 2017. szeptember 14.

Köszönöm a figyelmet!





A csillagok fénye 2.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2017. 01. 12.