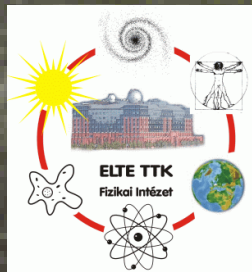




# A csillagok fénye 1.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 01. 21.



**ELTE TTK**  
**Fizikai Intézet**

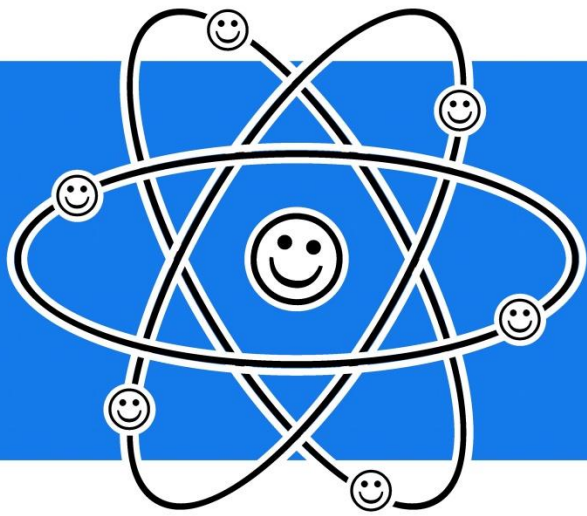
# **Az atomoktól a csillagokig**

**sorozat**

**150.  
előadása**

**2016. 01. 21.**





A fizika mindenké



2015 – A FÉNY  
NEMZETKÖZI ÉVE

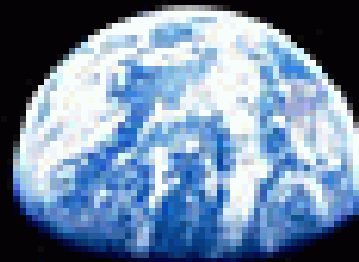


A FÉNY  
NEMZETKÖZI ÉVE  
2015

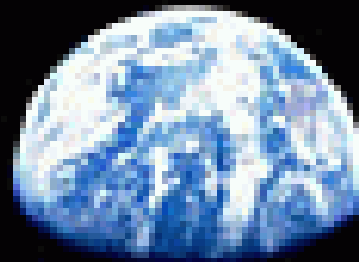
KOZMIKUS  
FÉNY 



**A csillagok  
fénye 1.**



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.





**A csillagok  
fénye 1.**





**A csillagok  
fénye 1.**



**A csillagok  
fénye 1.**



**A csillagok  
fénye 1.**

# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.






# A csillagok fénye 1.

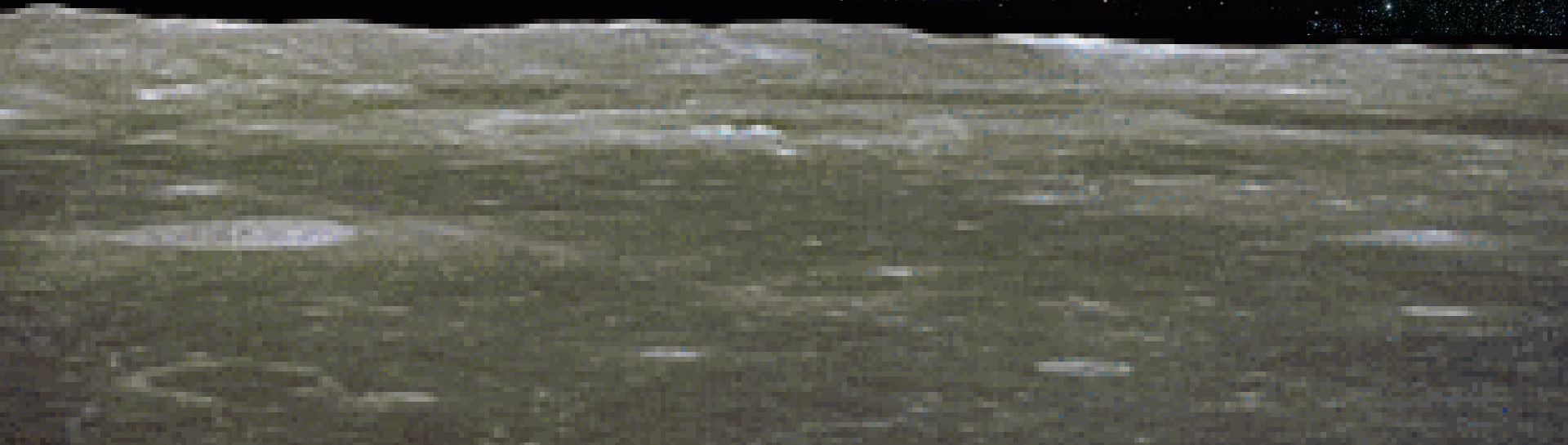


# A csillagok fénye 1.



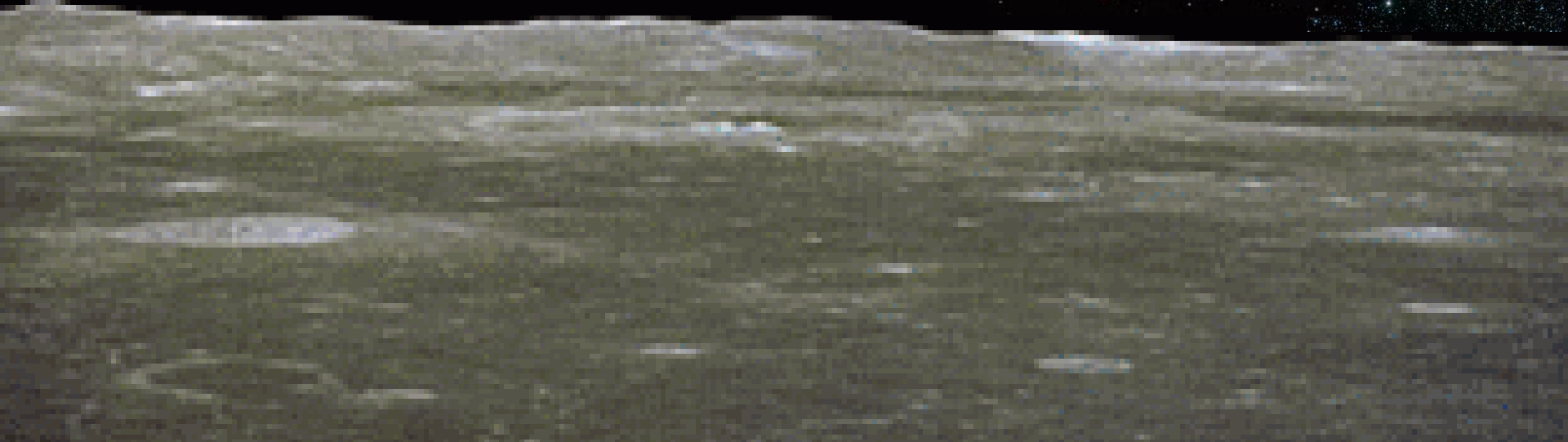


# A csillagok fénye 1.



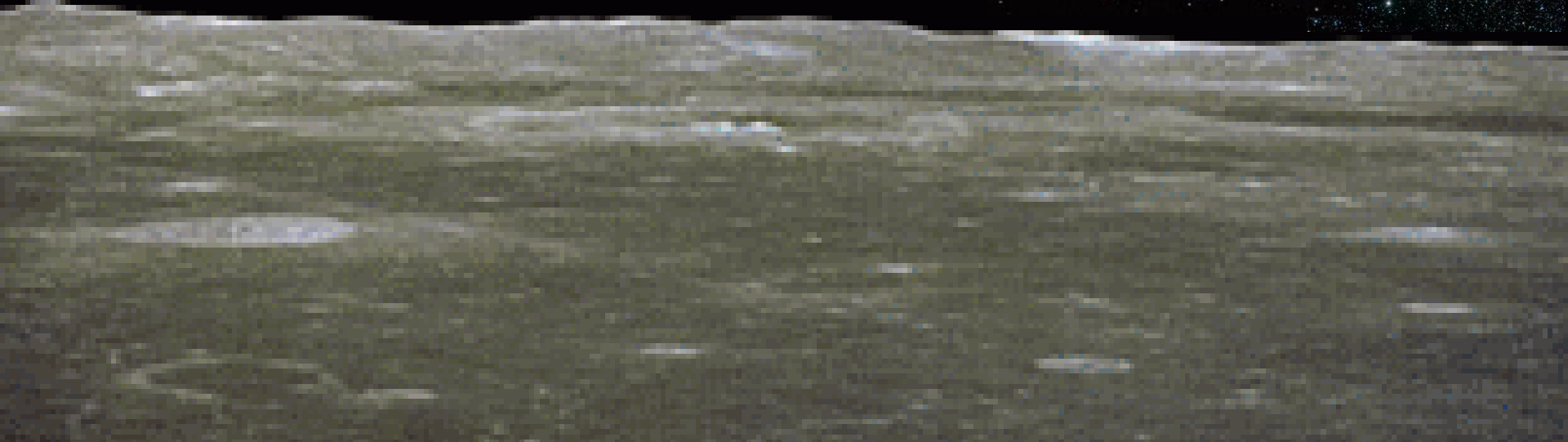


# A csillagok fénye 1.





# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.



# A csillagok fénye 1.

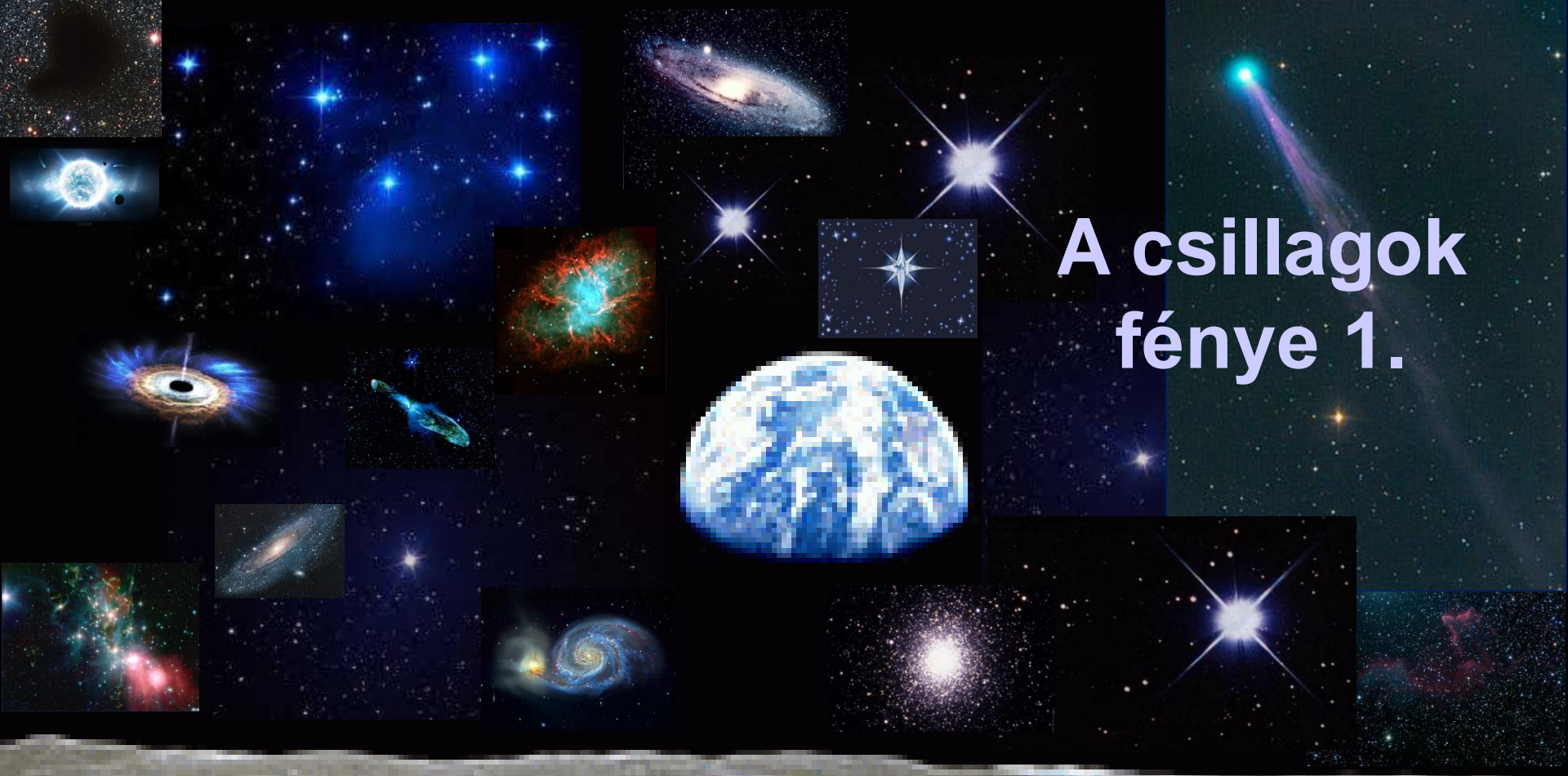






# A csillagok fénye 1.

Az atomoktól a csillagokig



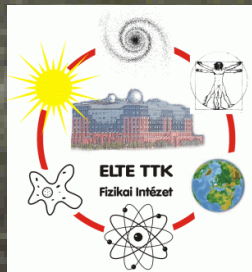
# A csillagok fénye 1.

Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 01. 21.

# A csillagok fénye 1.



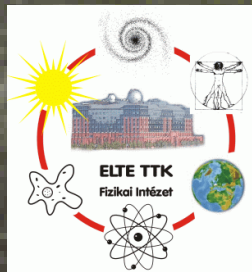
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 01. 21.



# A csillagok fénye 1.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 01. 21.



legyen világosság!

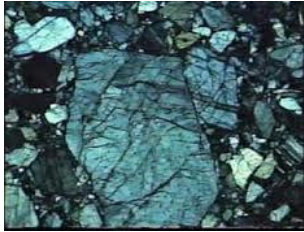
Az Univerzumból hozzánk érkező információ túlnyomó részét

**FÉNY**

(elektromágneses hullám)

hozza.

**Mi van még?**



– holdkőzet

a Teremtés köve  
Apollo-17



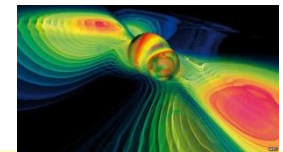
– üstökös

Superkamiokande detektor  
Nobel-díj 2015

– neutrínók



– kozmikus  
sugárzás

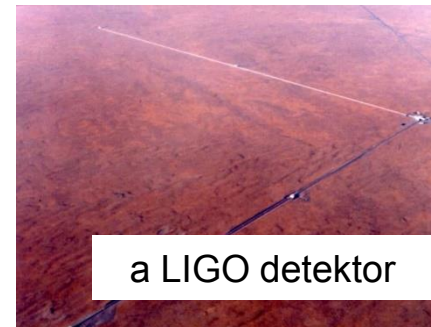


– gravitációs  
hullámok

– tűzgömb Budapest felett  
2016. jan 15.



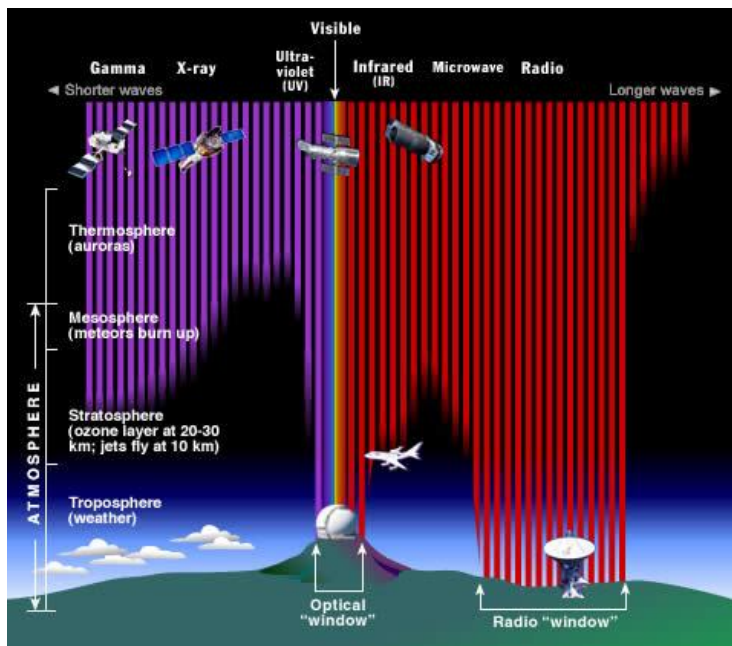
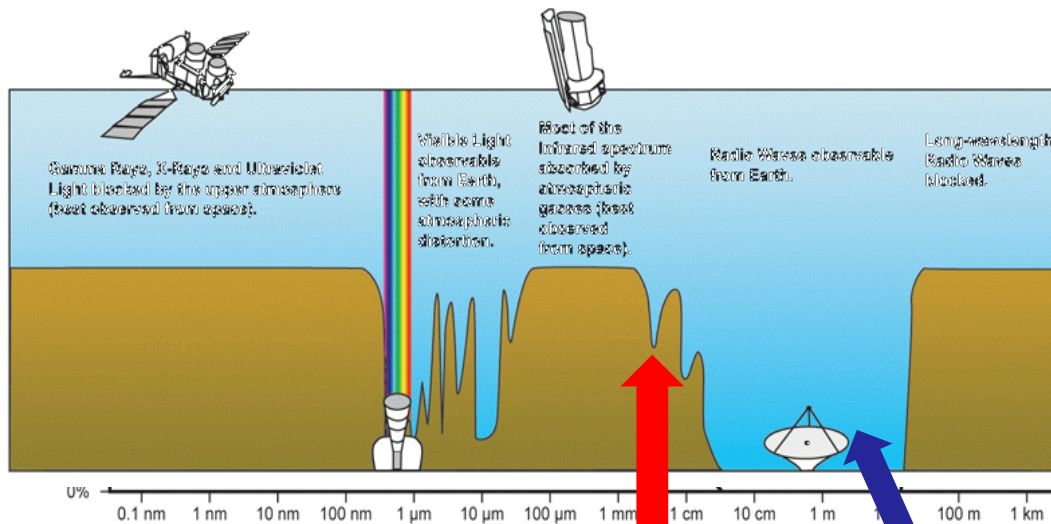
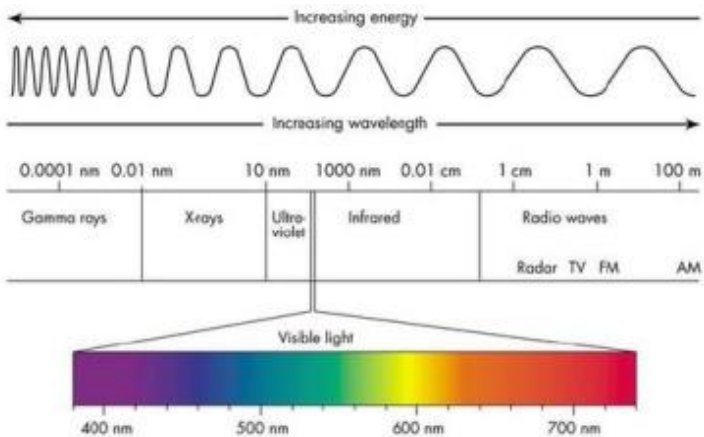
– meteoritok



a LIGO detektor



# Az elektromágneses spektrum és a földi légkör átlátszósága



milliméteres ablak:  
a chilei ALMA-teleszköprendszer

rádiótávcsövek



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



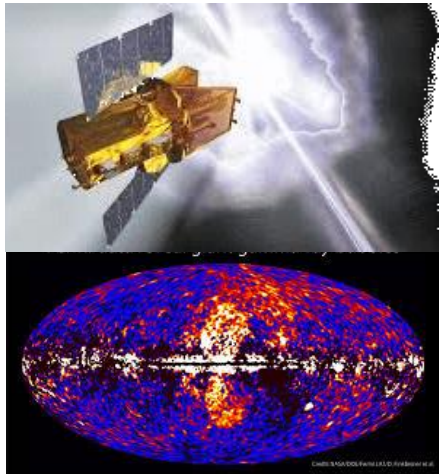


Sokáig kizárólag a **LÁTHATÓ FÉNYT** vizsgálták, földi eszközökkel

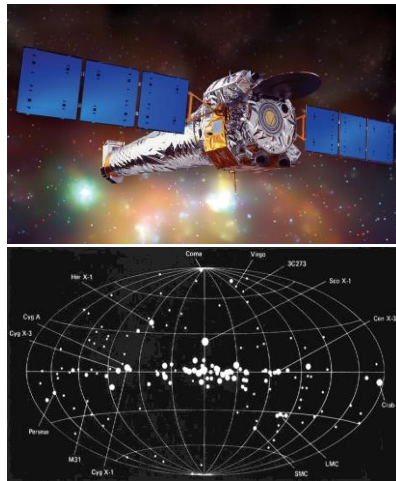
– a 30-as években megnyílt a **RÁDIÓ**ABLAK

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

egy-egy hullámhossz-tartományra szakosodott műholdakkal



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



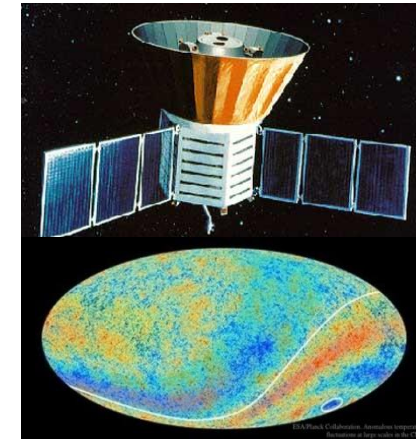
a Chandra **röntgen**-műhold és a röntgen-égbolt



rádiógalaxis



az IUE **ultraibolya** űrteleszkóp



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



a Hubble űrtávcső



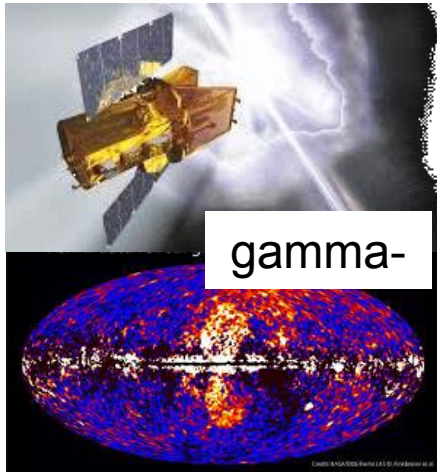
a Herschel **infravörös** űrteleszkóp



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

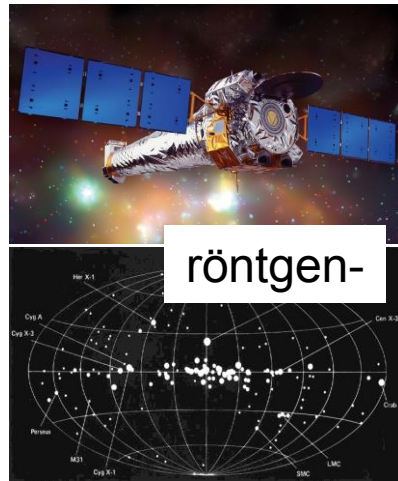
## Tapasztalat:

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



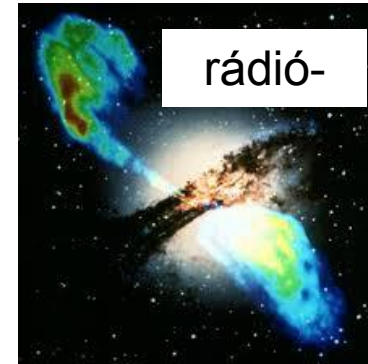
gamma-

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



röntgen-

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



rádió-

rádiógalaxis



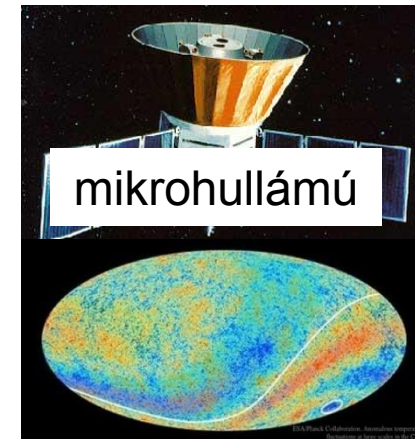
ultraibolya

az IUE **ultraibolya**  
űrteleszkóp



infravörös

az IRAS **infravörös**  
űrteleszkóp

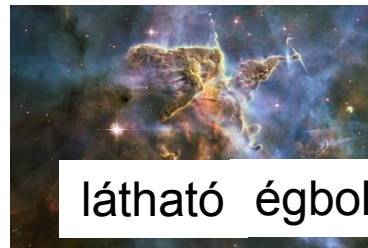


mikrohullámú

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



a Hubble űrtávcső



látható égbolt.



# 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) 
  - Doppler-eltolódás  mozgások
- polarizáció  ezzel most nem foglalkozunk, lásd

**+ mindezek időbeli változása**

ezzel most nem foglalkozunk, lásd  
**Horváth Gábor:**  
**A poláros fény rejtett dimenziói,**  
Atomcsill, 2005. dec. 8.



## Pozíciós csillagászat:

szemmel látható: elkülönült fénypontok az égen

primer tapasztalat: **az égbolt állandósága**



**HA** a napi körforgást  
leválasztjuk!

+ néhány (7) rendellenesen **BOLY(on)GÓ** objektum

**(vajon mi okozza?)**

+ alkalmi **csodák** (üstökösök, vendégcsillagok)

Tájékozódás az égen: **szögméréssel** (mihez képest?!?)

az állandó objektumok nevet kaptak

pozíciójuk már az ókorban katalógusba került

a bolygók mozgását évszázadokig figyelték: **RENDSZERT** találtak benne!

modellek: kristálysférák, epiciklusok...



**sikeres tudományos előrejelzések:**

égi események:  
együttállások, fedések, fogyatkozások

Tájékozódás az égen: **szögméréssel** (mihez képest?!?)

**IRÁNY**

**ÉGI KOORDINÁTARENDSZEREK:** alapsíkok + alapkörök + ezektől mért szögek

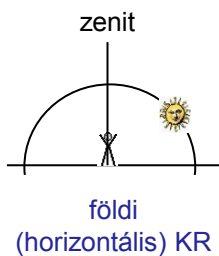


Tájékozódás az égen: **szögméréssel** (mihez képest?!?)

**ÉGI KOORDINÁTARENDSZEREK:** alapsíkok + alapkörök + ezektől mért szögek

———— földi (horizontális)

ebben a rendszerben nézzük az eget



a földi megfigyelő  
"vízszintes" síkja



zenit

Tájékozódás az égen: **szögméréssel** (mihez képest?!?)

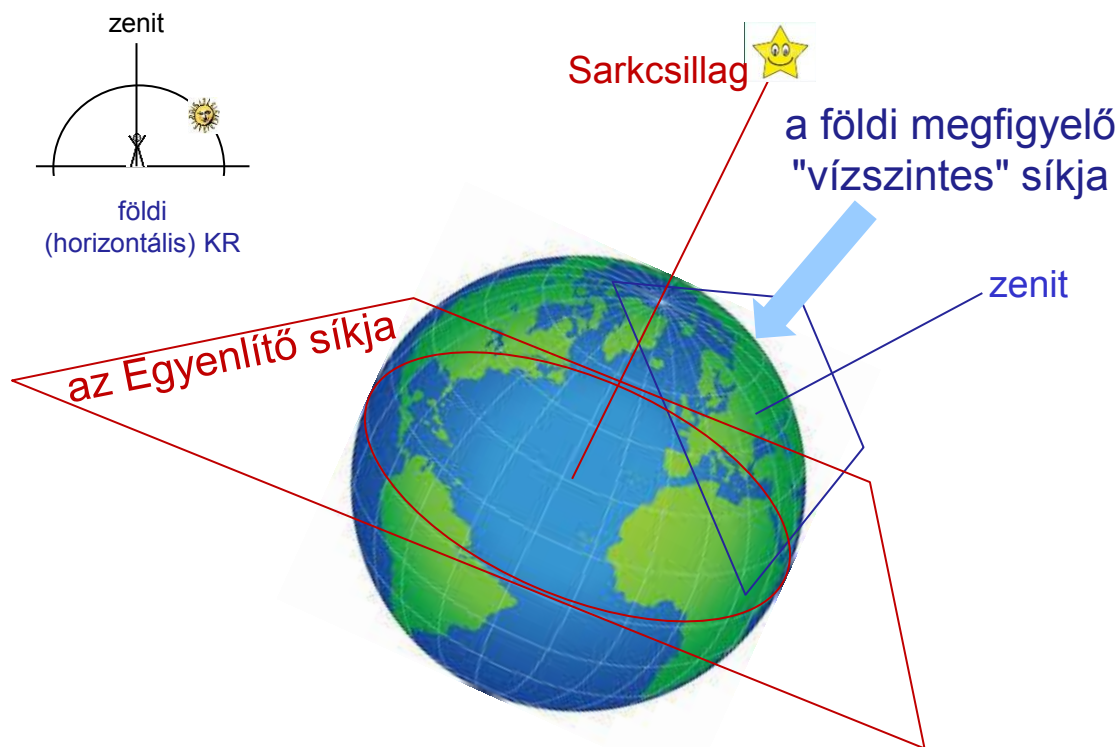
**ÉGI KOORDINÁTARENDSZEREK:** alapsíkok + alapkörök + ezektől mért szögek

— földi (horizontális)

ebben a rendszerben nézzük az eget

— egyenlítői (ekvatoriális)

ebben egyszerű a csillagok napi mozgása



Tájékozódás az égen: **szögméréssel** (mihez képest?!?)

**ÉGI KOORDINÁTARENDSZEREK:** alapsíkok + alapkörök + ezektől mért szögek

— földi (horizontális)

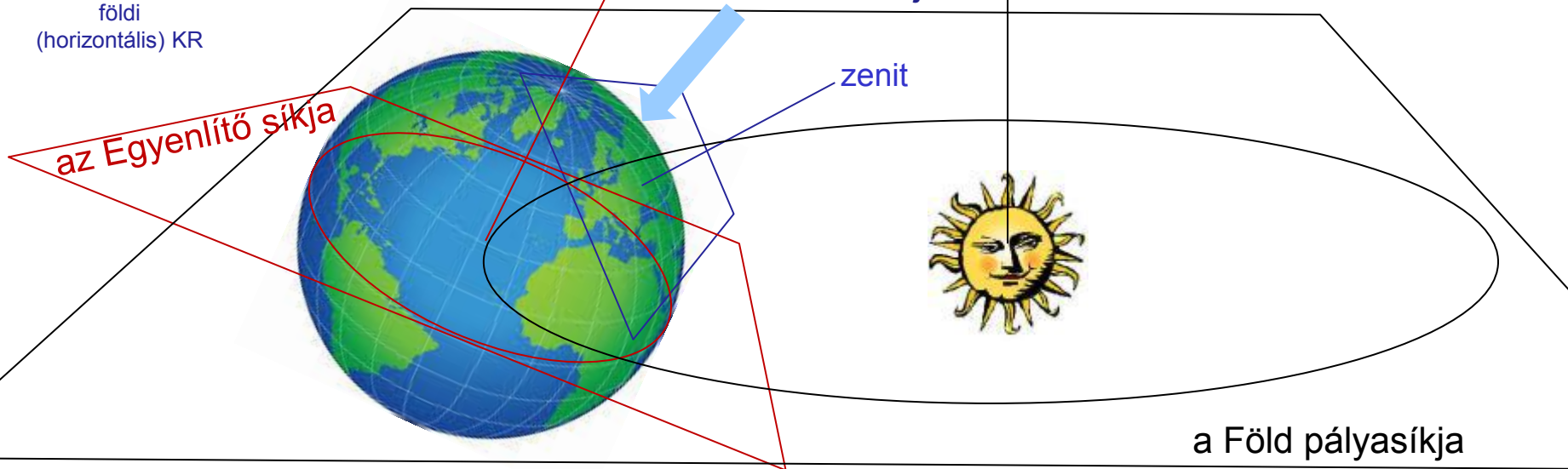
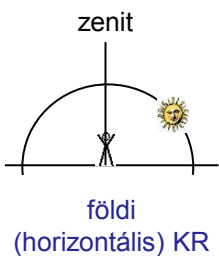
ebben a rendszerben nézzük az eget

— egyenlítői (ekvatoriális)

ebben egyszerű a csillagok napi mozgása

— a Föld pályasíkjához illesztett (ekliptikai)

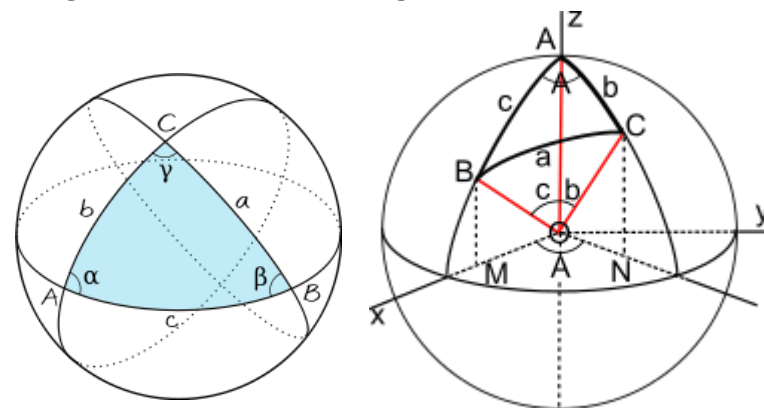
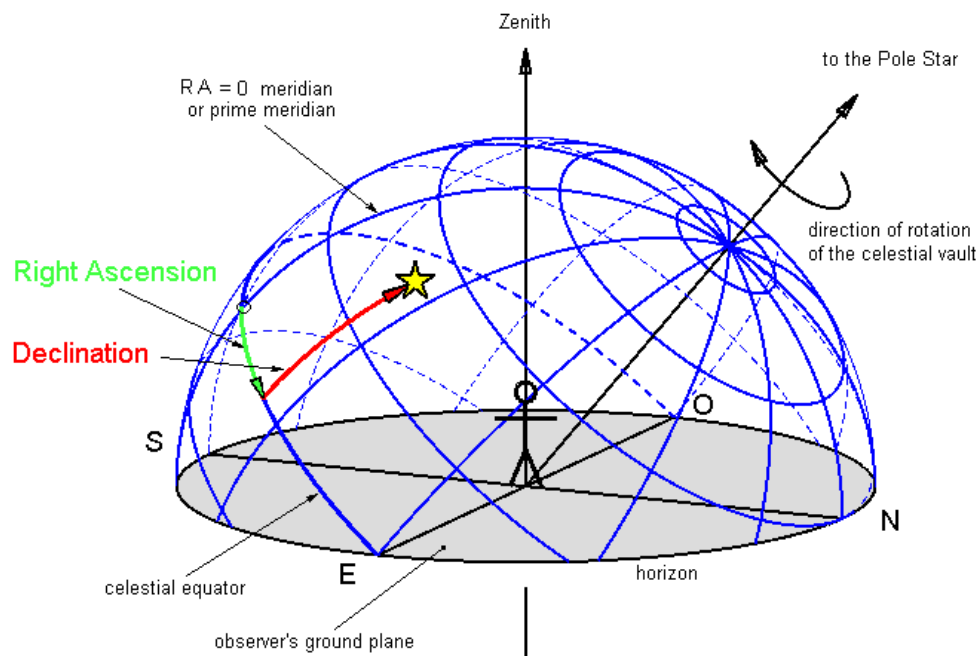
ebben egyszerű a Nap éves mozgása





E koordinátarendszerek adatai egymásba átszámíthatók:

gömbháromszögtan



Common spherical trigonometry formulas

law of sines:  $\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$

$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$

law of cosines:  $\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$

$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$

$\tan\left(\frac{A}{2}\right) = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \sin(s-c)}{\sin s \sin(s-a)}}$

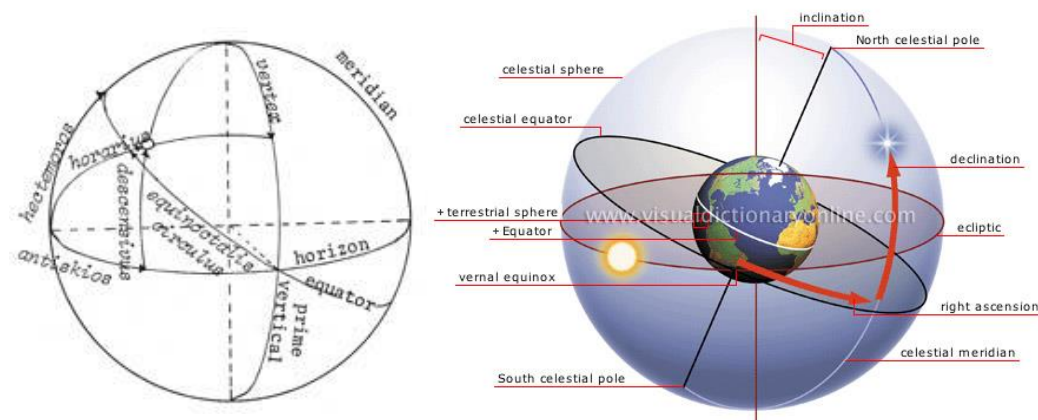
half-angle formulas:  $\tan\left(\frac{B}{2}\right) = \sqrt{\frac{\sin(s-c) \sin(s-a)}{\sin s \sin(s-b)}}$

$\tan\left(\frac{C}{2}\right) = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \sin(s-b)}{\sin s \sin(s-c)}}$ , where  $s = \frac{a+b+c}{2}$

$\tan\left(\frac{a}{2}\right) = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-A)}{\cos(S-B) \cos(S-C)}}$

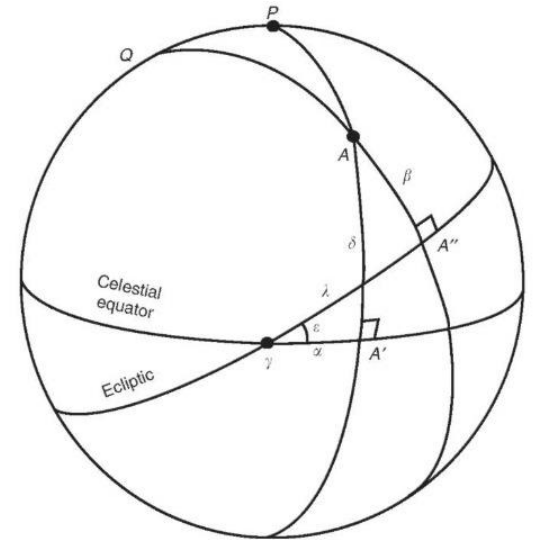
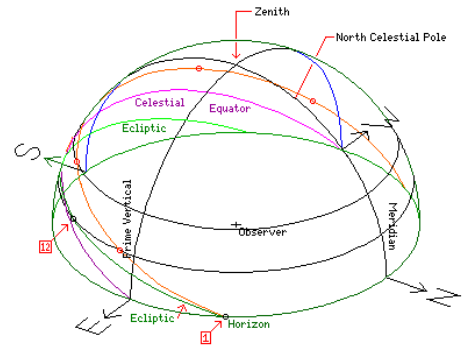
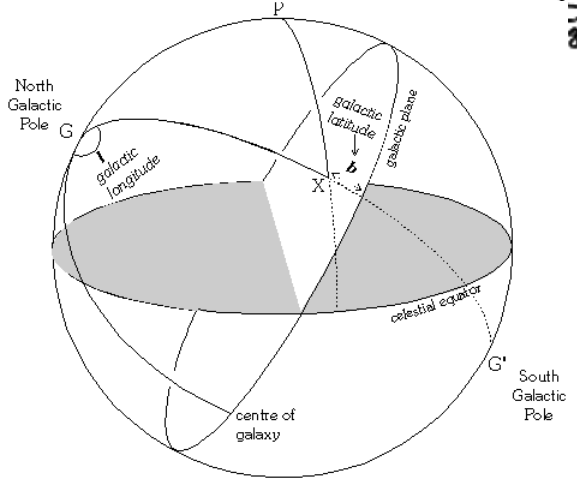
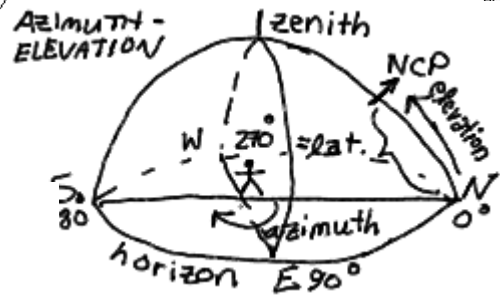
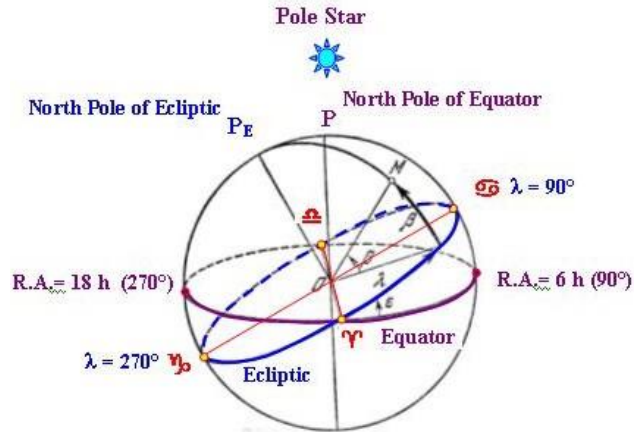
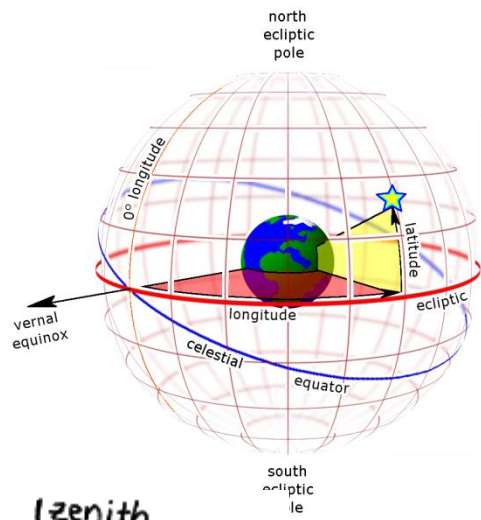
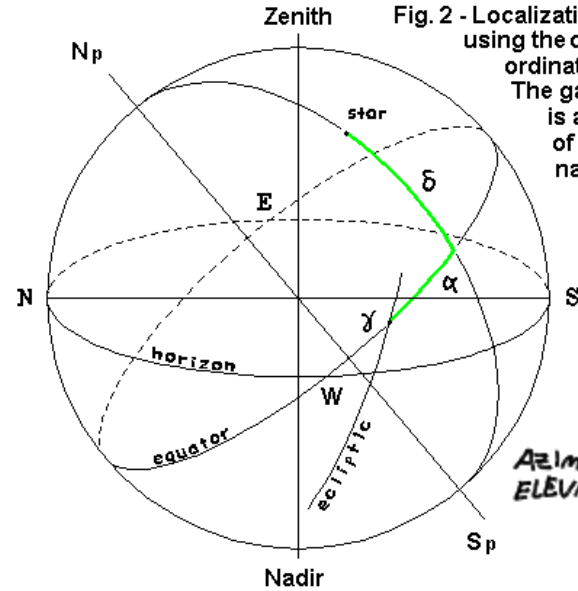
half-side formulas:  $\tan\left(\frac{b}{2}\right) = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-B)}{\cos(S-A) \cos(S-C)}}$

$\tan\left(\frac{c}{2}\right) = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-C)}{\cos(S-A) \cos(S-B)}}$ , where  $S = \frac{A+B+C}{2}$



# E koordinátarendszerek adatai egymásba átszámíthatók:

Fig. 2 - Localization of a star using the celestial coordinates system. The gamma point is at the origin of this coordinates system.

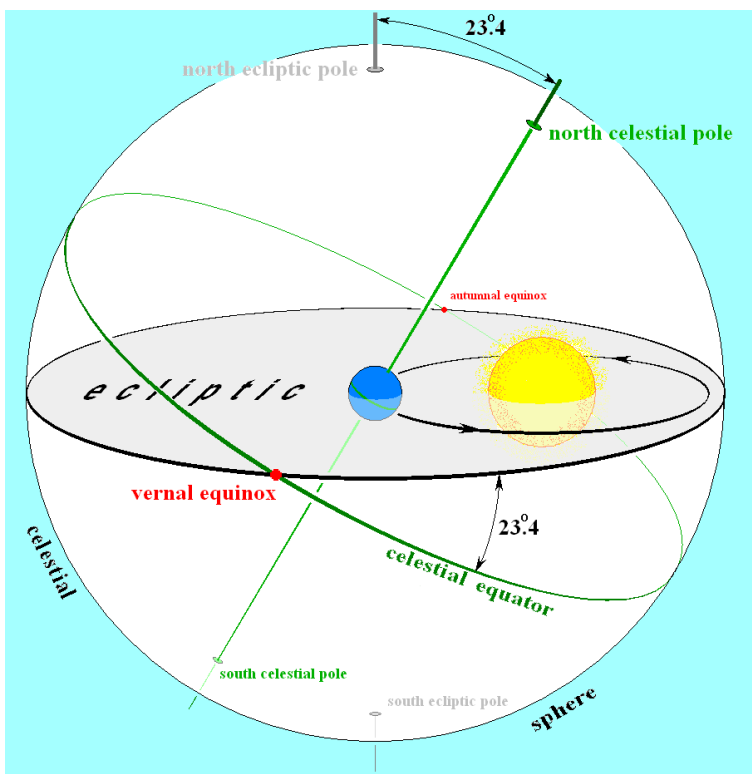


E koordinátarendszerek adatai egymásba átszámíthatók.

De a rendszerek egymáshoz képest lassan forognak:

**az adatok időben változnak!**

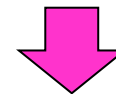
a **tavaszpont** nem egy égitest, hanem egy absztrakt pont, két számított sík metszéspontja az éggömbre vetítve...



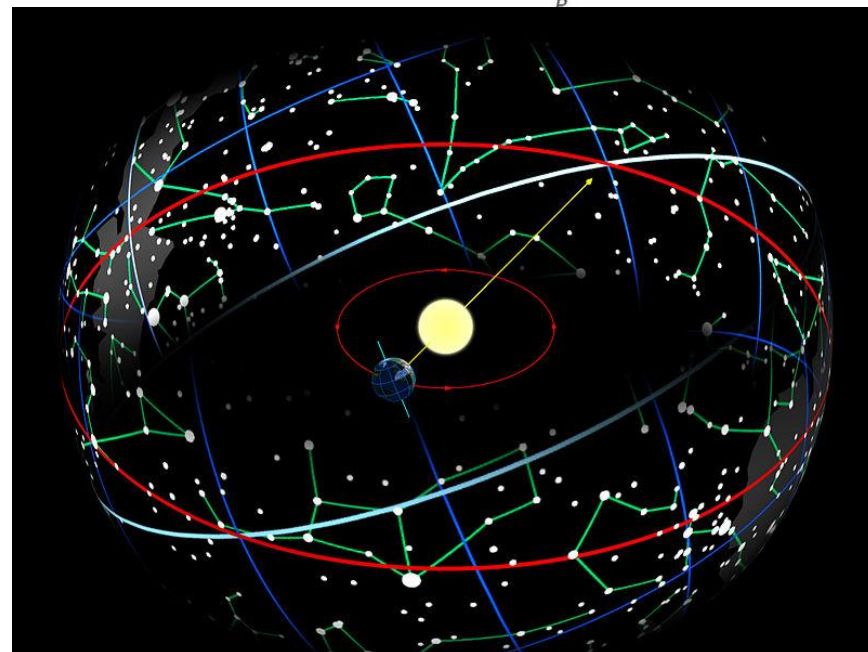
Ezt már a régi görögök is tudták:

pontos megfigyelések, szögmérések, számítások

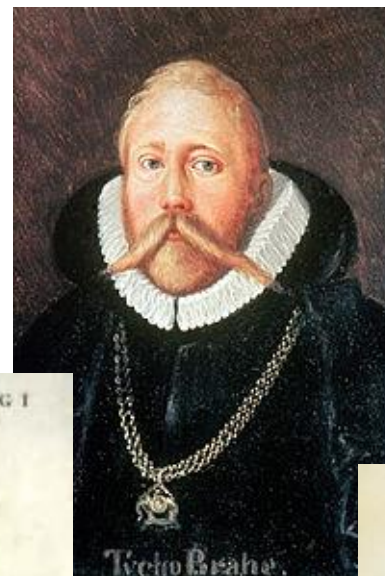
**+ türelem**



Ptolemaiosz (kb +150) jóváhagyta Hipparchosz (-129) 300 éves számításait a tavaszpont vándorlásáról (e számítások korábbi több száz éves megfigyeléseken alapultak...):



# Az első pontos mérések



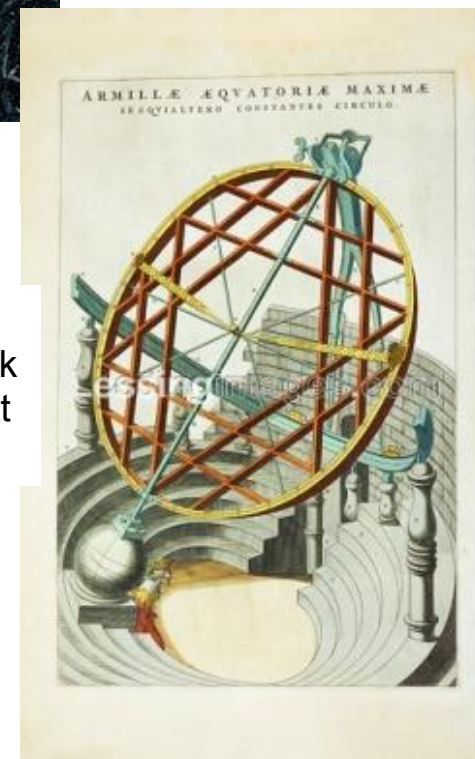
Tycho da Brahe  
(1546-1601)



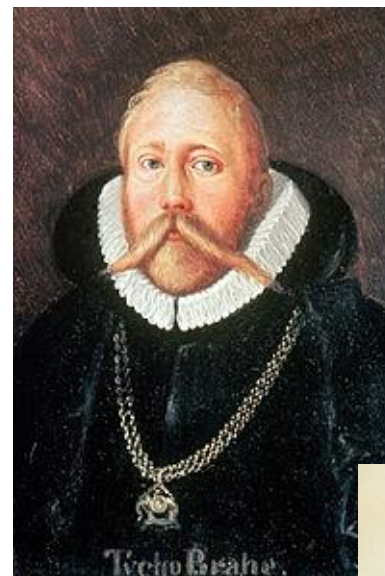
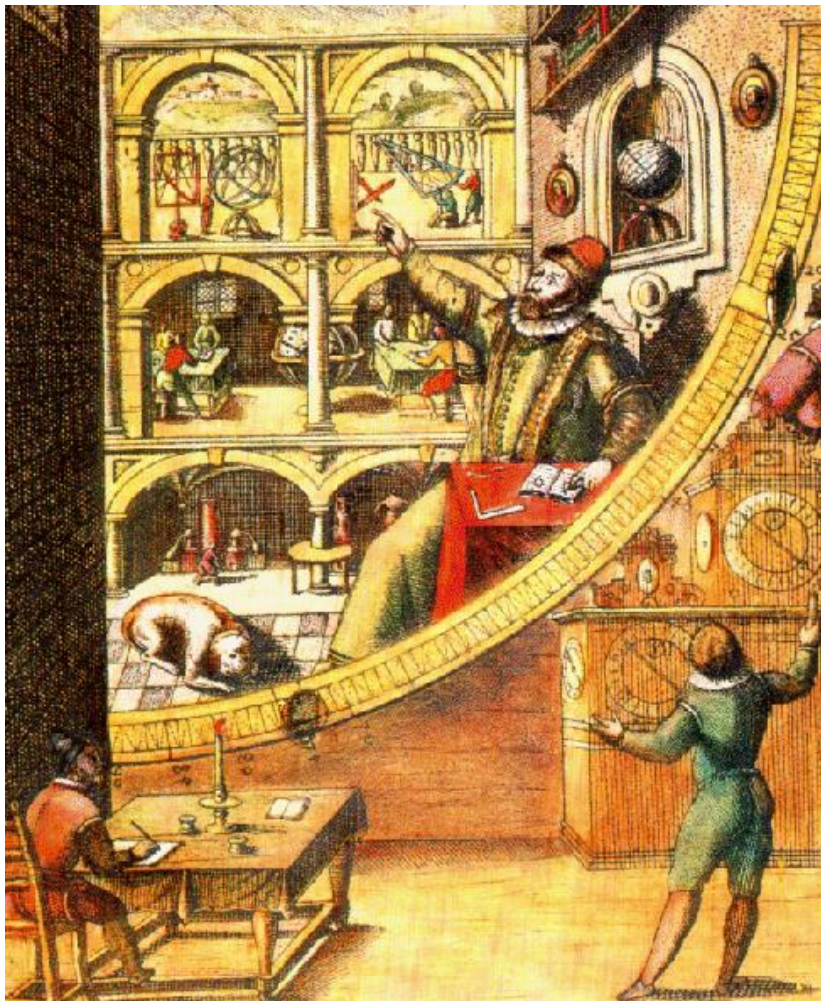
Uraniborg main building. Copper etching from Blaeu's Atlas Major, 1663.

## Uranienborg

a  
csillagvizsgálónak  
berendezett saját  
sziget



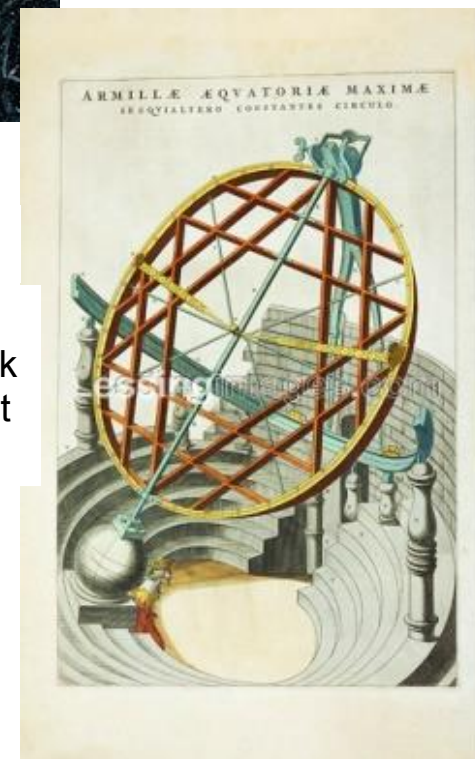
## Az első pontos mérések



Tycho da Brahe  
(1546 – 1601)

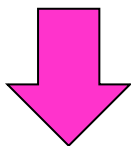
## Uranienborg

a  
csillagvizsgálónak  
berendezett saját  
sziget



Az első pontos mérések

Tycho hosszú adatsora a Marsról

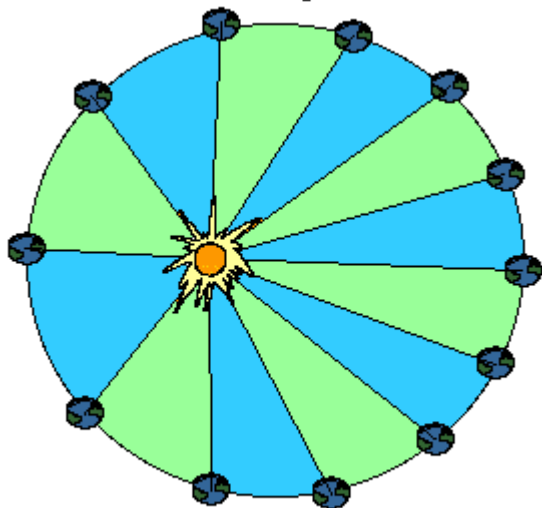


Kepler törvényei a bolygómozgásokról

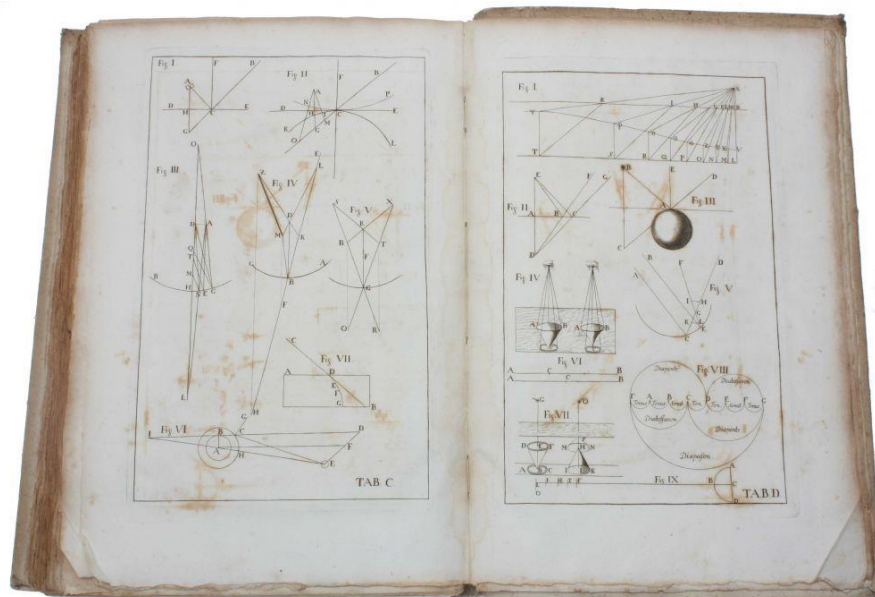


Johannes  
Kepler  
(1571 – 1630)

The Law of Equal Areas



An imaginary line drawn from the sun to any planet sweeps out equal areas in equal amounts of time.



## Az égbolt feltérképezése

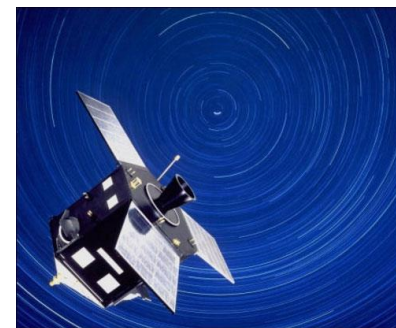
Hipparchosztól Hipparcosig és tovább

- Tycho és Kepler kortársai
- új csillagképek a déli éggömbön (a Dél Keresztjétől a Körzöig)
- TÁVCSŐ: sok új csillag
- FÉNYKÉPEZÉS: még több
- 19-20. század:
  - részletes, pontos pozíciók
  - fotografikus atlaszok
  - a csillagelnevezés szabályai
  - a csillagképek határainak rögzítése
- 20. század második fele: MŰHOLDAK (nem zavar a légkör)
  - Hipparcos műhold (1989 – 1993): több mint **egy millió** csillag pontos pozíciója
  - Gaia műhold (2013 – ): több mint **egy milliárd** csillag pontos pozíciója



Hevelius katalógusa (1660)  
a Nagy-Medve csillagairól

a Hipparcos  
szonda



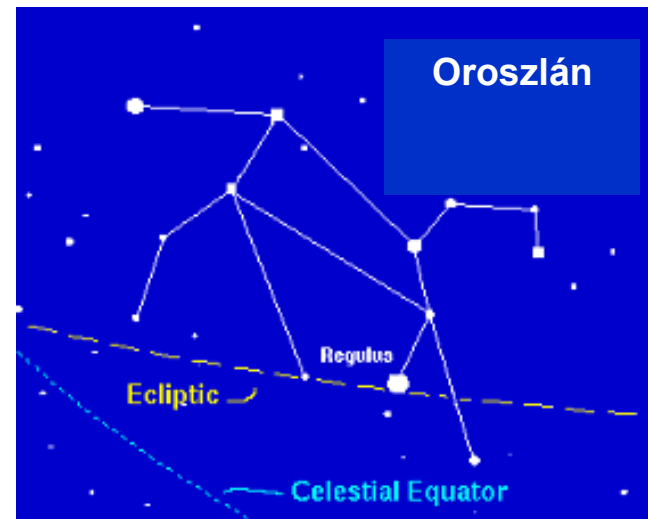
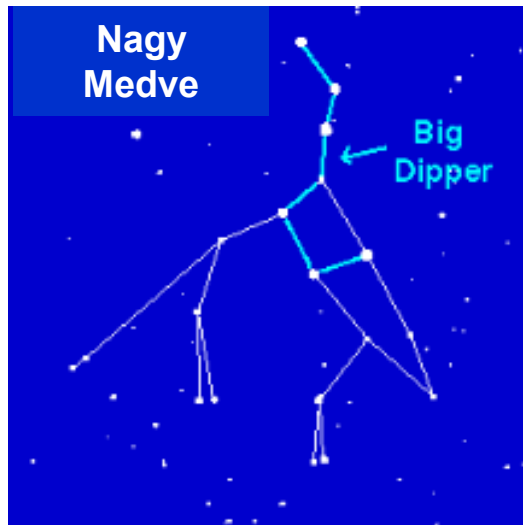
a Gaia  
szonda

Ezek mind a mi galaxisunkban levő csillagok!

Ami igazából nem is létezik:

**a csillagképek**

az emberi szem  
alakzatokat lát bele  
a véletlenszerűen elhelyezkedő  
fénypontokba



**Nagy Medve**

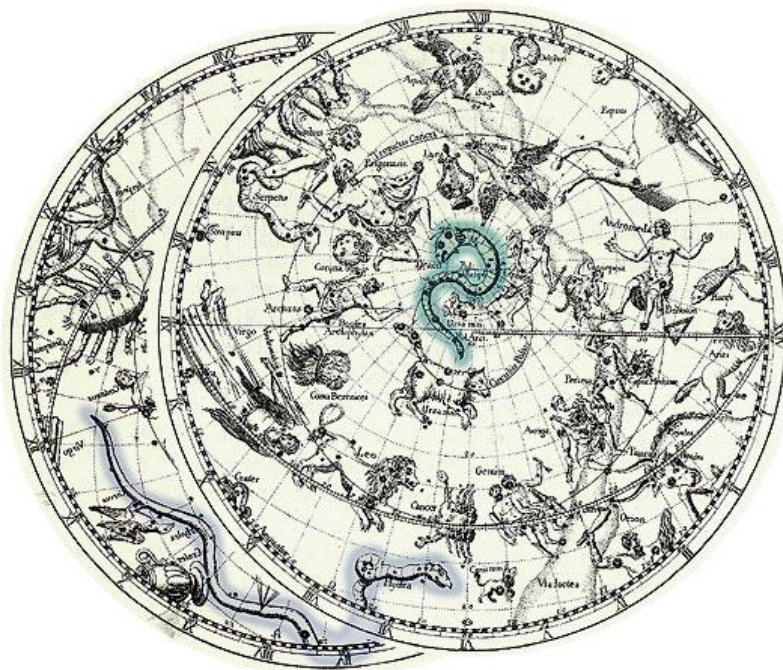
(így ugye már felismerhető?)



Ami igazából nem is létezik:

**a csillagképek**

az emberi szem  
alakzatokat lát bele  
a véletlenszerűen elhelyezkedő  
fénypontokba



a fantáziadús csillagászok  
új vadászterülete:  
a déli égbolt

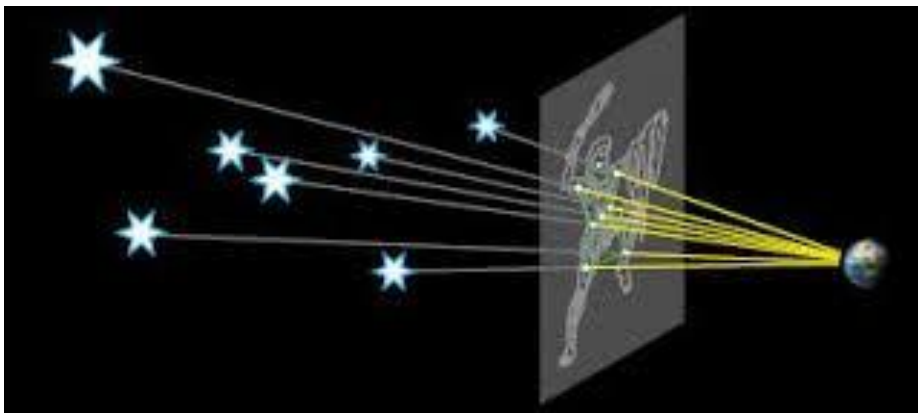


mitológiai figurák az égen

Ami igazából nem is létezik:

**a csillagképek**

a csillagképek egymástól  
térben nagyon távol  
elhelyezkedő csillagok vetületei



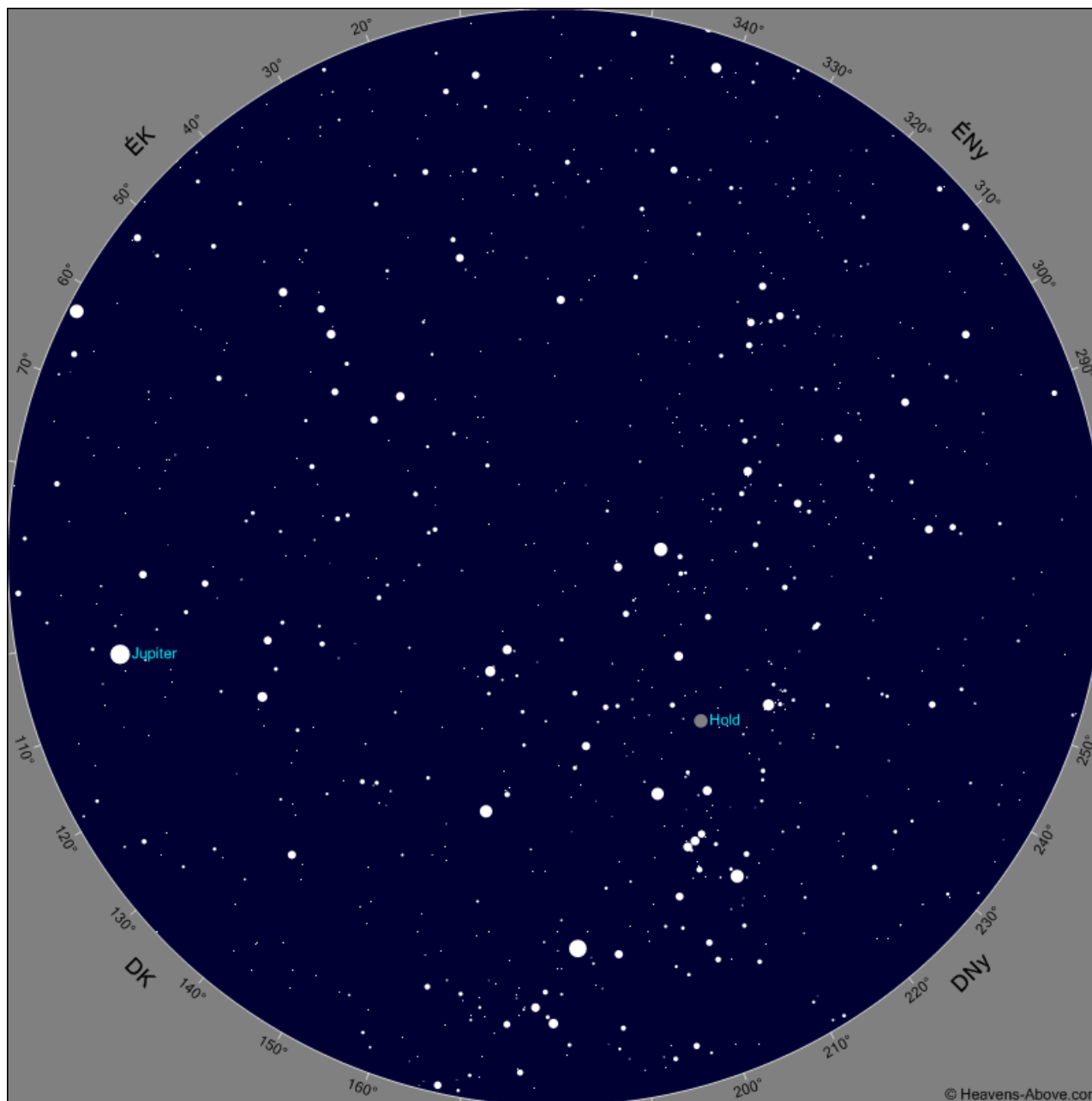
az Orion csillagkép csillagainak  
térbeli elhelyezkedése

a csillagok mozgása következtében  
a csillagképek időben változnak,  
átalakulnak



# IRÁNY

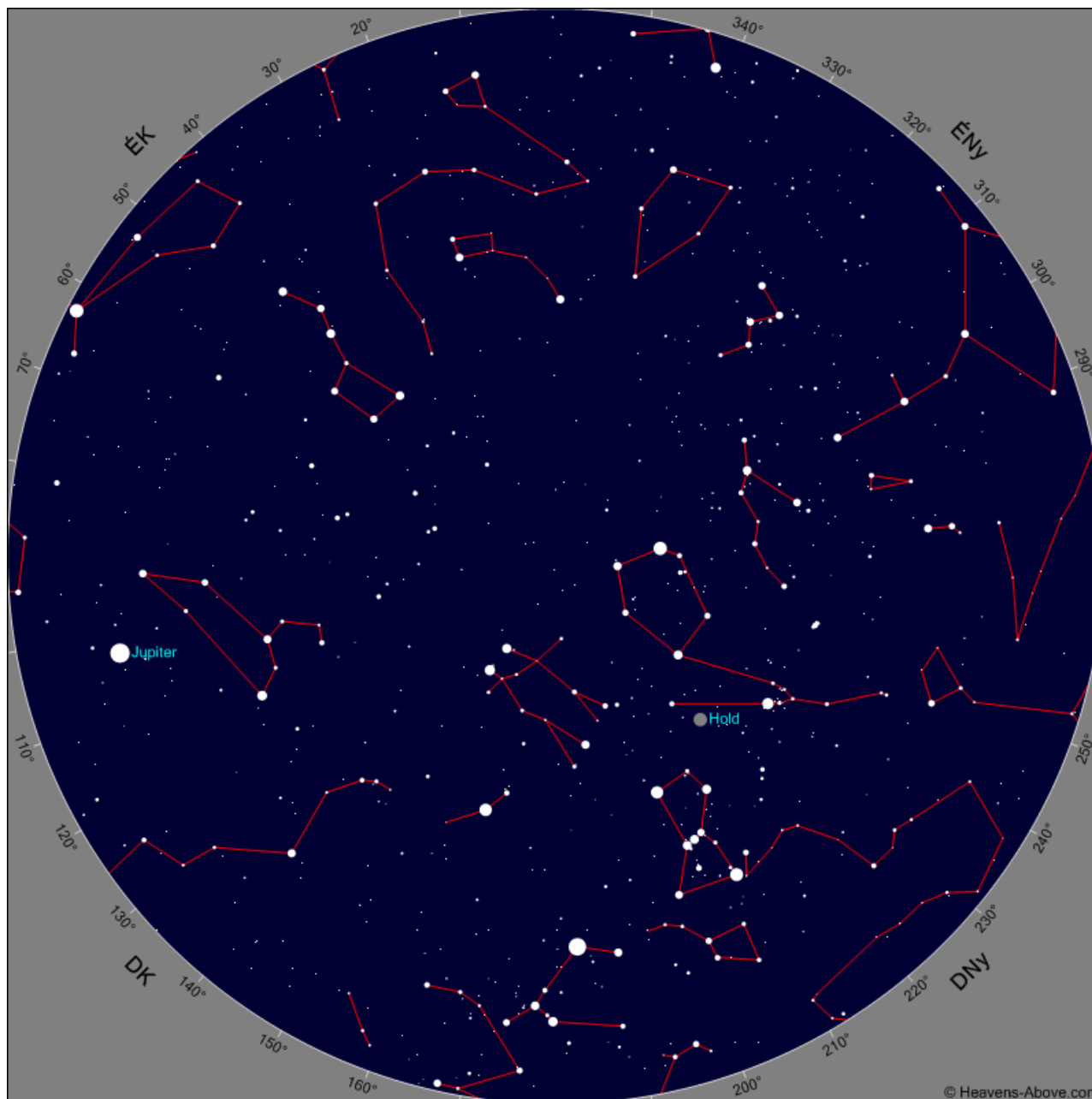
ezt láttuk (volna)  
az égen  
2016. január 20-án  
22:42-kor  
Budapestről  
(ha nem lett volna  
felhőben az ég)



## IRÁNY

ezt láttuk (volna)  
az égen  
2016. január 20-án  
22:42-kor  
Budapestről  
(ha nem lett volna  
felhőben az ég)

az égre képzelt  
csillagképek  
összekötő vonalai

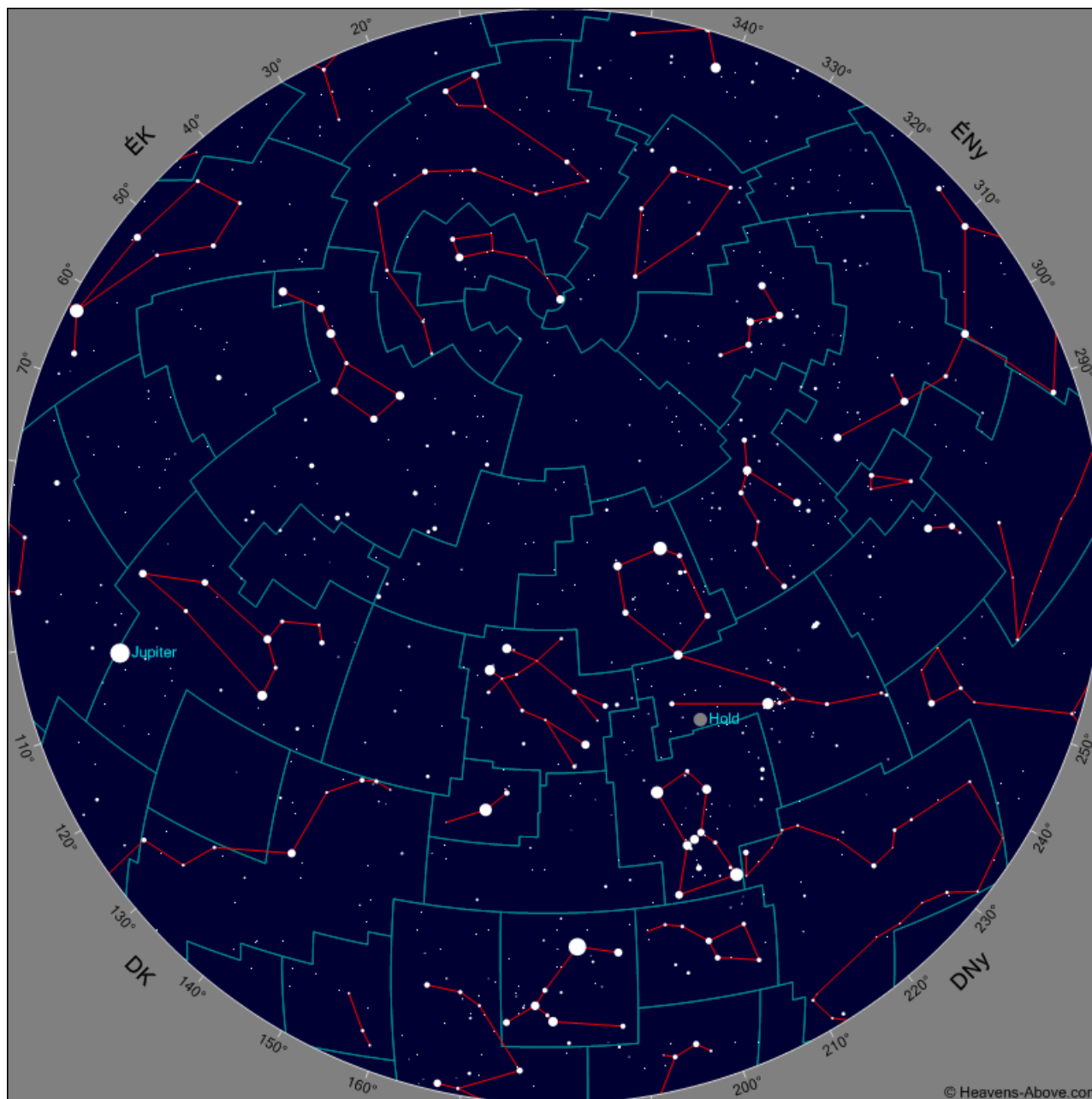


## IRÁNY

ezt láttuk (volna)  
az égen  
2016. január 20-án  
22:42-kor  
Budapestről  
(ha nem lett volna  
felhőben az ég)

az égre képzelt  
csillagképek  
összekötő vonalai

az égre képzelt  
csillagképek  
hivatalos  
határvonalai



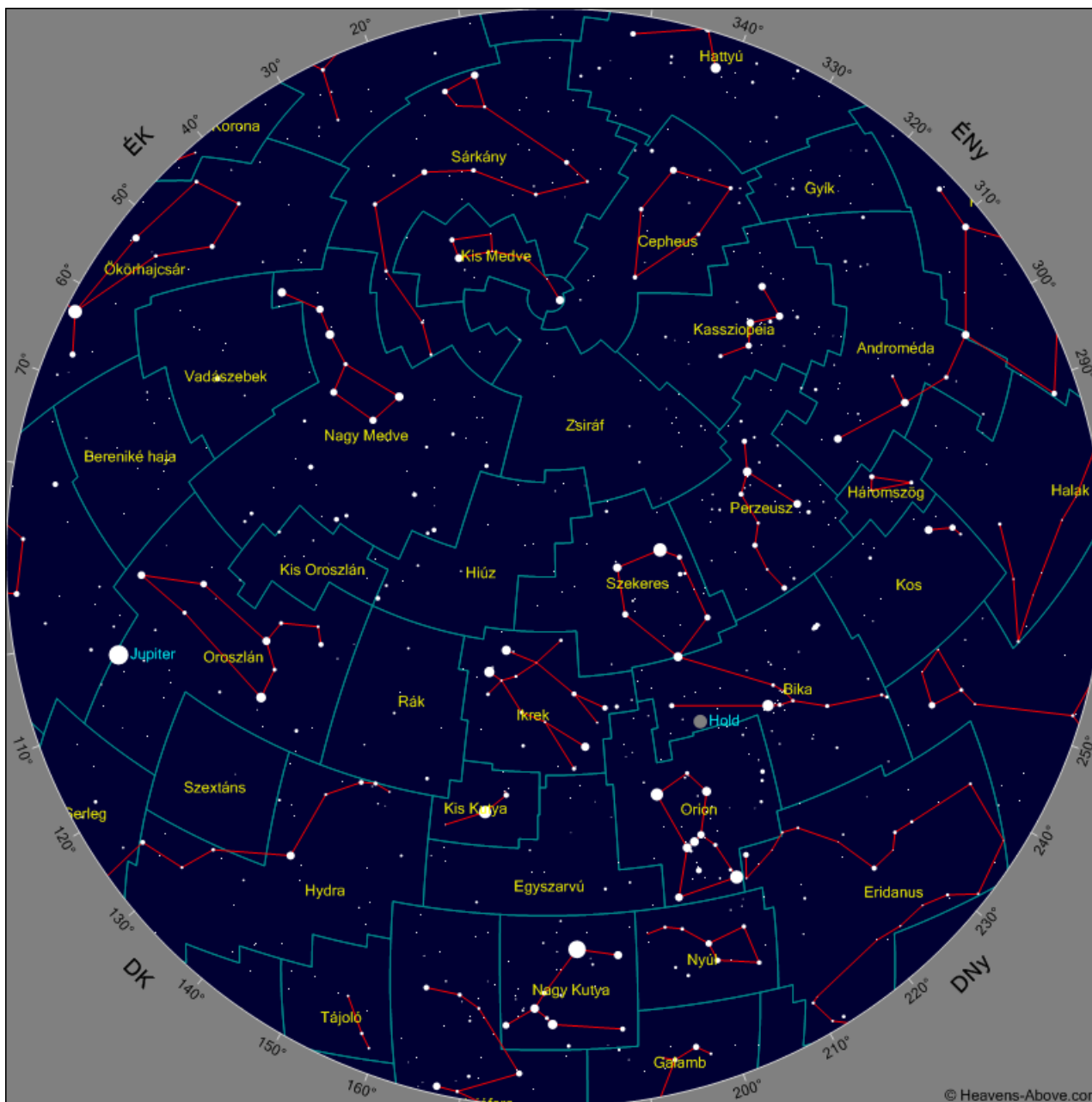
# IRÁNY

ezt láttuk (volna)  
az égen  
2016. január 20-án  
22:42-kor  
Budapestről  
(ha nem lett volna  
felhőben az ég)

az égre képzelt  
csillagképek  
összekötő vonalai

az égre képzelt  
csillagképek  
hivatalos  
határvonalai

az égre képzelt  
csillagképek  
hivatalos  
nevei



© Heavens-Above.com



## IRÁNY

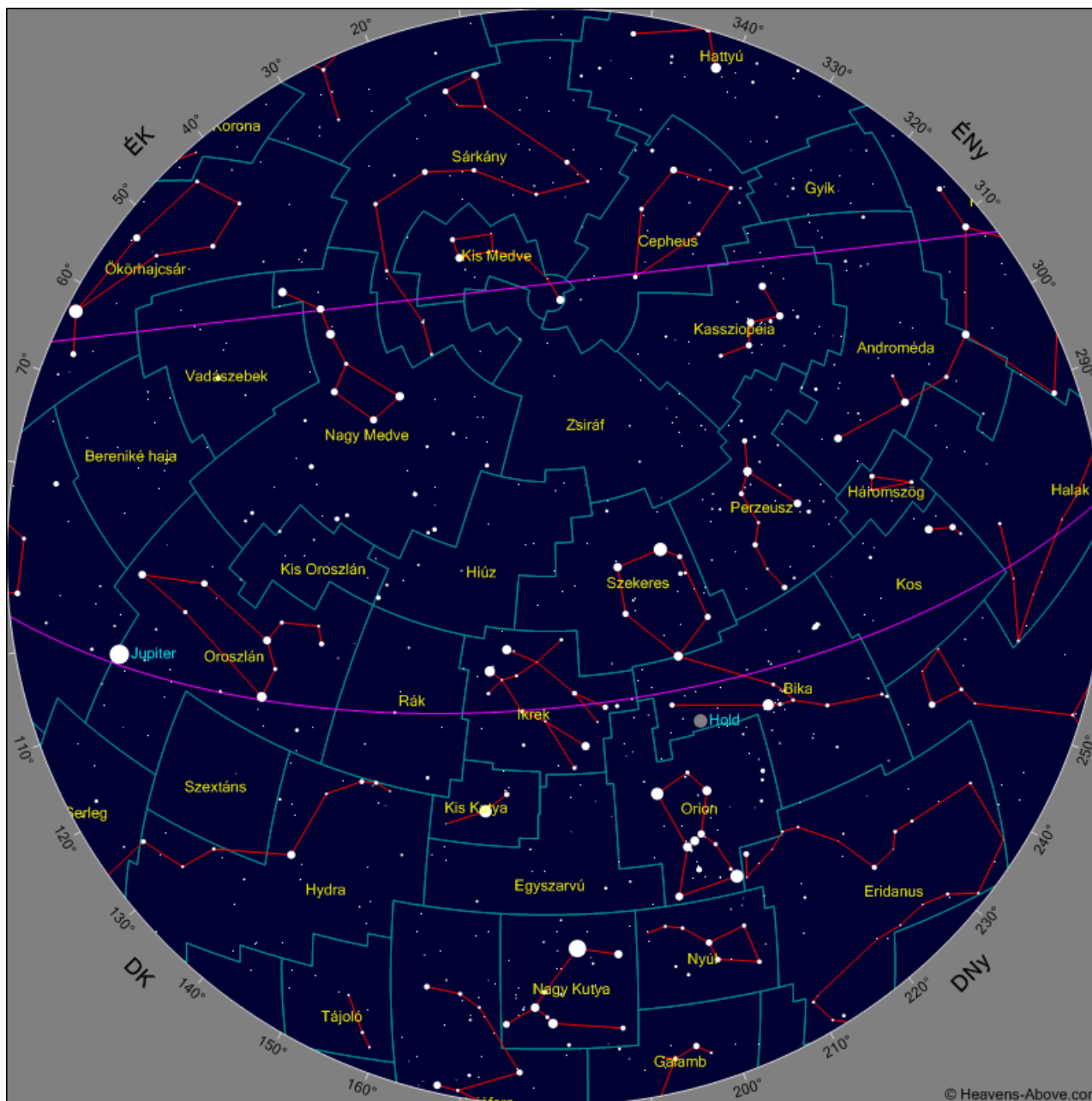
az ekliptika vonala  
(a Nap égi pályája)  
a csillagképek  
között

(persze amikor ott  
jár a Nap, nem  
látszanak a  
csillagok)

ezért e vonal  
felfedezése az ókori  
népek nagy  
csillagászati  
eredménye volt

az Ekliptika mentén  
helyezkednek el a  
nevezetes állatövi  
csillagképek

(és ott járnak a  
bolygók is)



## IRÁNY

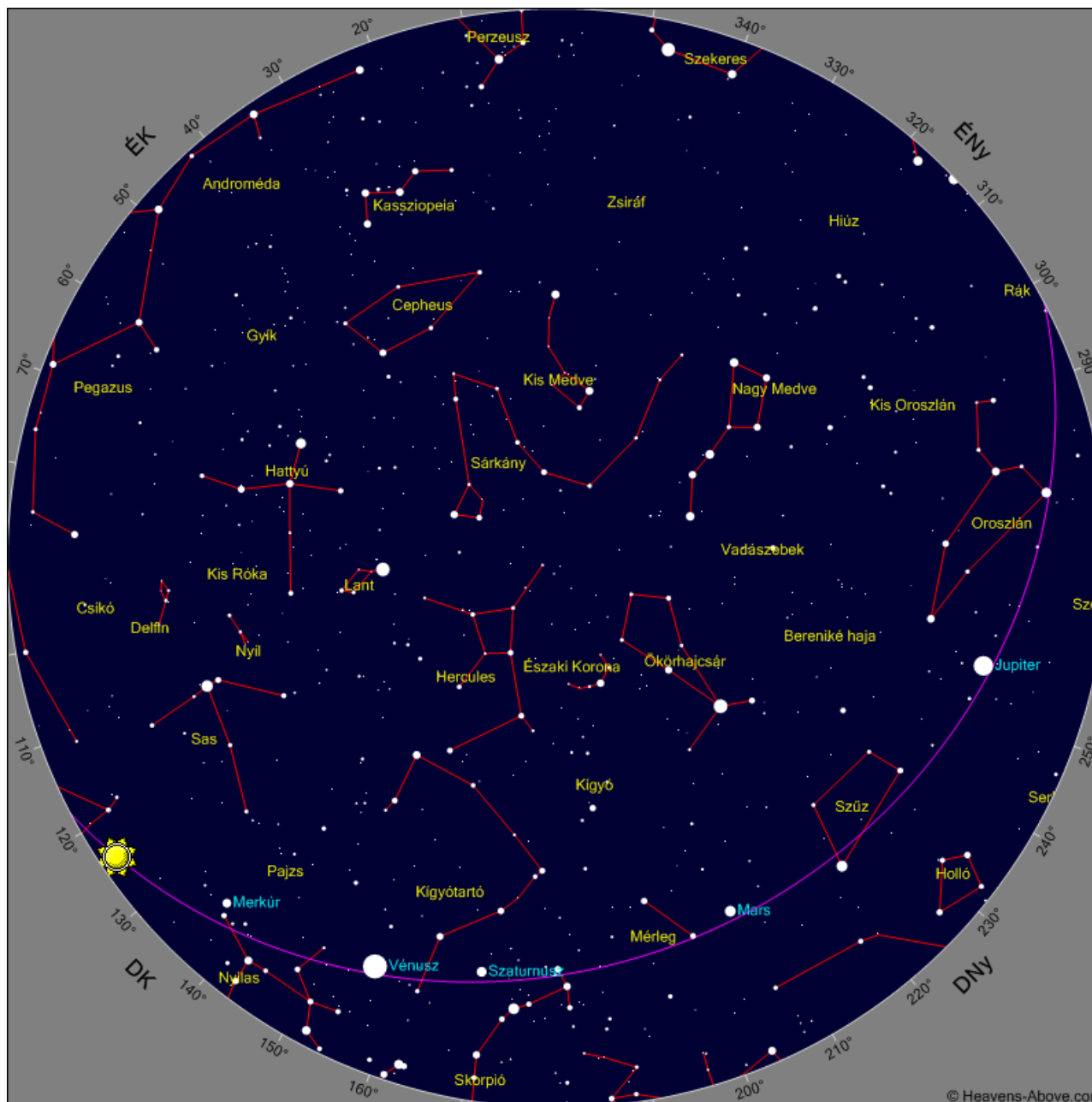
az ekliptika vonala  
(a Nap égi pályája)  
a csillagképek  
között

pl. ma hajnalban

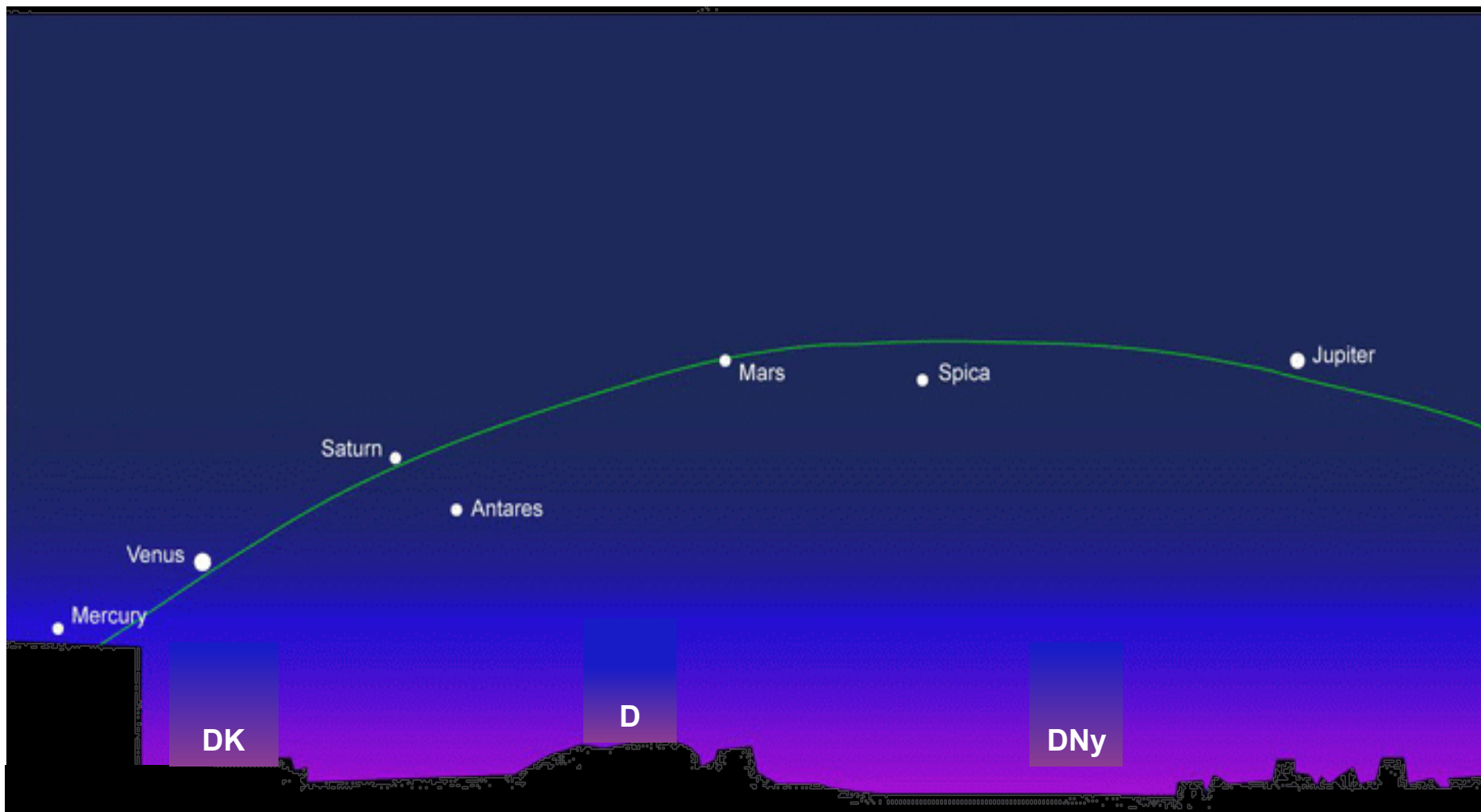
az összes  
szabad szemmel  
látható bolygó  
felsorakozott az  
Ekliptika mentén

ez a ritka látvány  
még egy  
hónapig  
élvezhető  
minden  
hajnalban!

(és ott járnak a  
bolygók is)

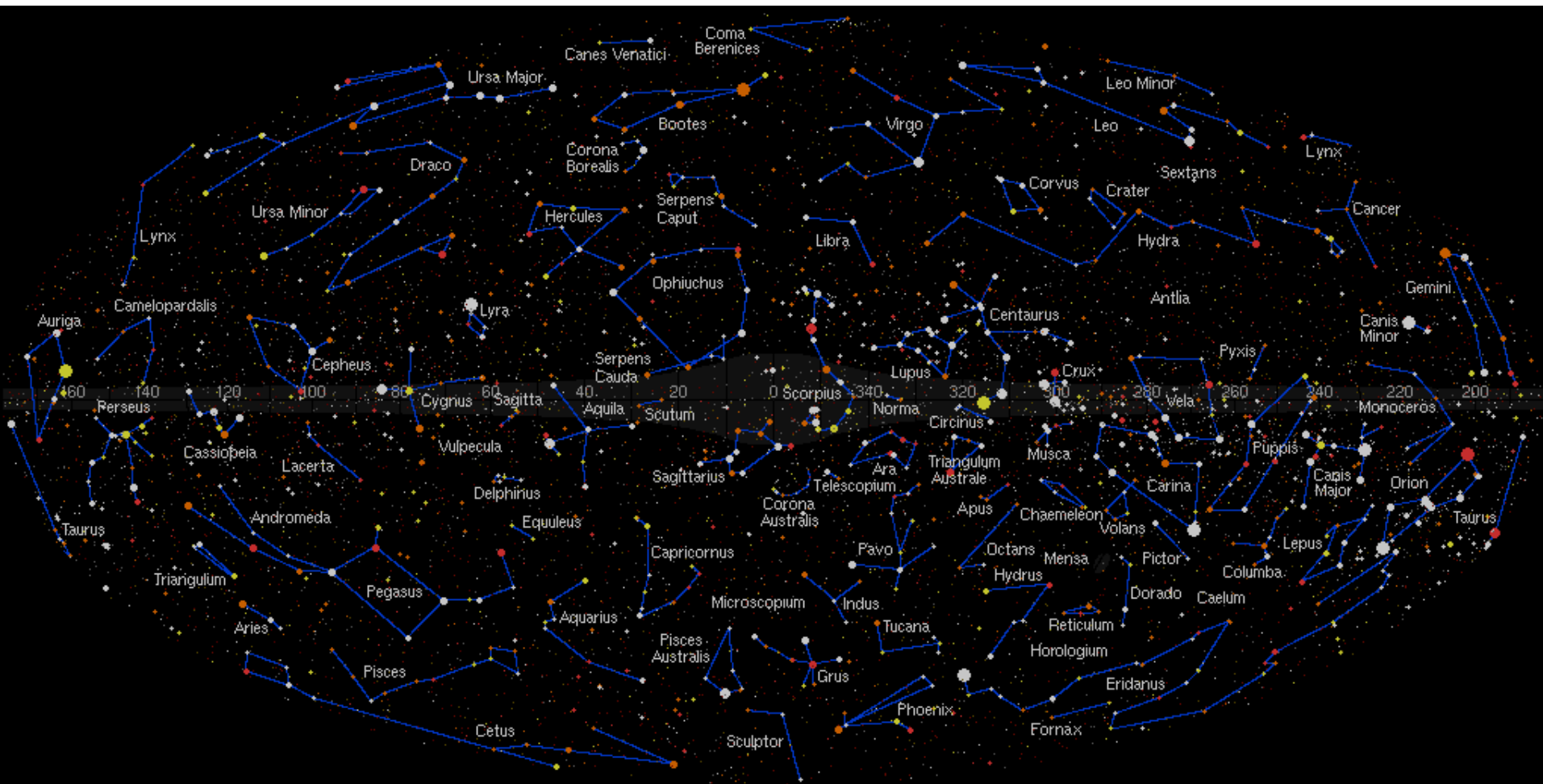






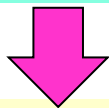
ez a ritka látvány még egy hónapig élvezhető  
minden hajnalban\*!

\* ha nincs köd  
vagy felhő...

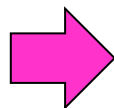


a teljes égbolt csillagképei

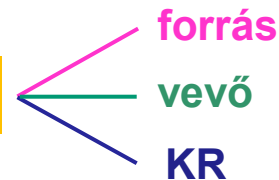
Az égbolt feltérképezése



a pozíciók időnkénti újramérése



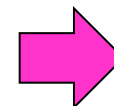
**változások, mozgások**



0/ **a bolygók bolyongása**

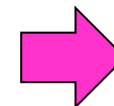
ezt már a babiloniaiak is ismerték

adatgyűjtés



tudományos magyarázat,  
geometriai modell

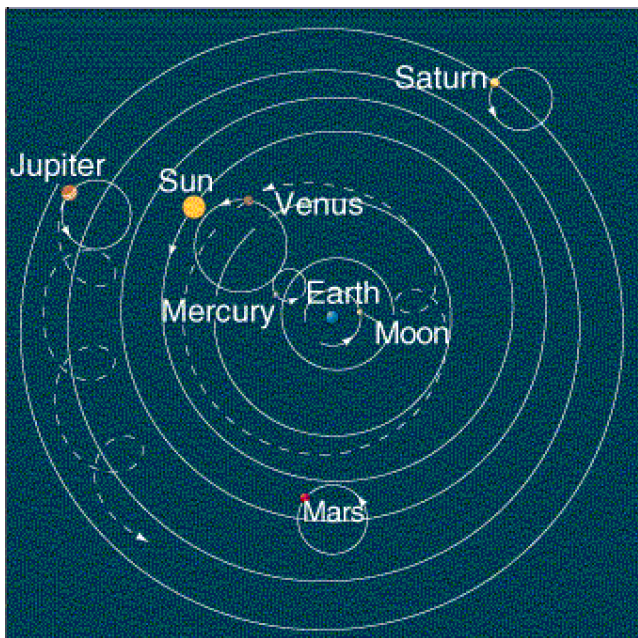
összehasonlítás a  
megfigyelésekkel



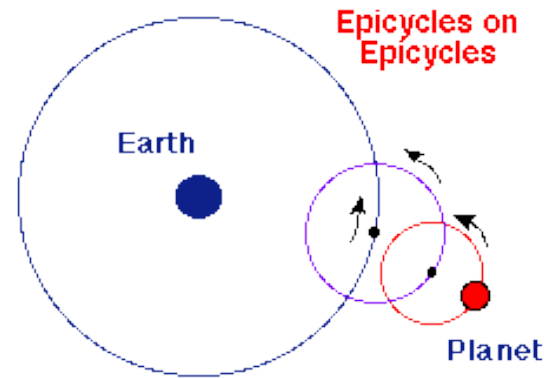
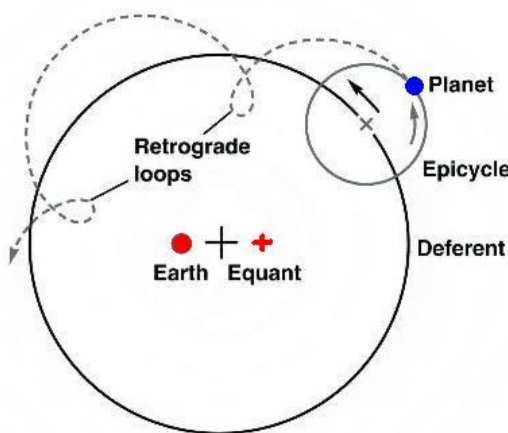
pontosabb,  
részletesebb modell



repeat until...



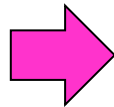
Ptolemaiosz geocentrikus modellje



Az égbolt feltérképezése



a pozíciók időnkénti újramérése



változások, mozgások

**AZ IRÁNY  
VÁLTOZÁSA**

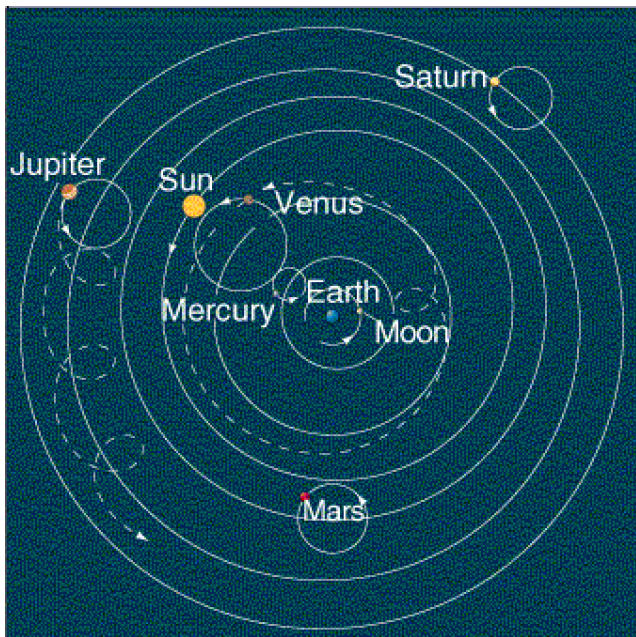
forrás

vevő

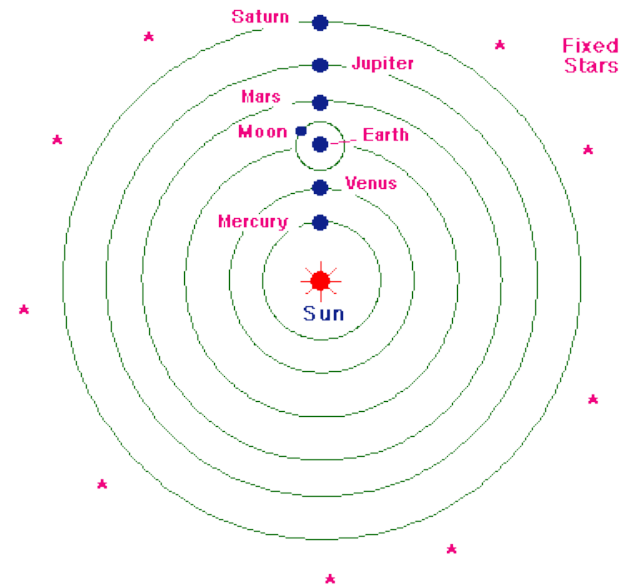
KR

0/ **a bolygók bolyongása**

a kopernikuszi óvatos forradalom



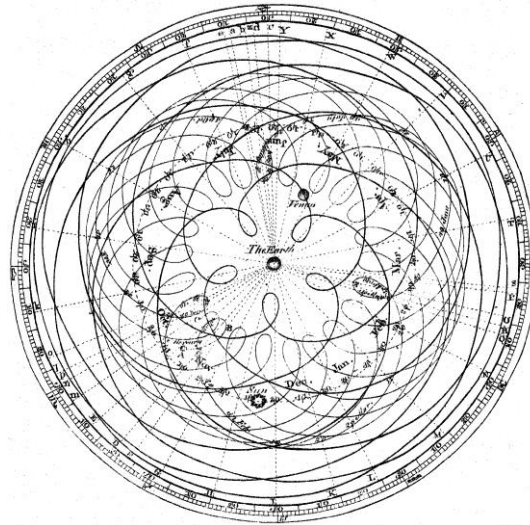
Ptolemaiosz geocentrikus modellje



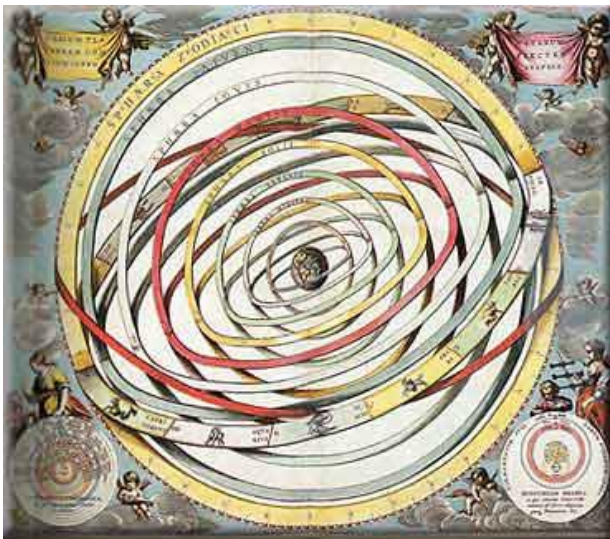
Kopernikusz heliocentrikus modellje



0/ **a bolygók bolyongása**  
pontosabb,  
részletesebb modell



lehet cifrázni:  
epikus  
epiciklus hátán...

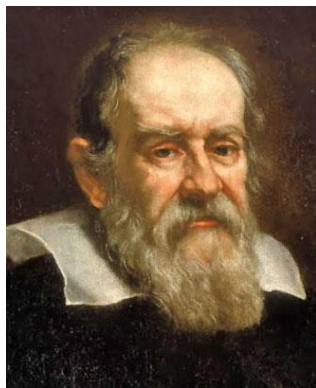


Ptolemaiosz geocentrikus modellje



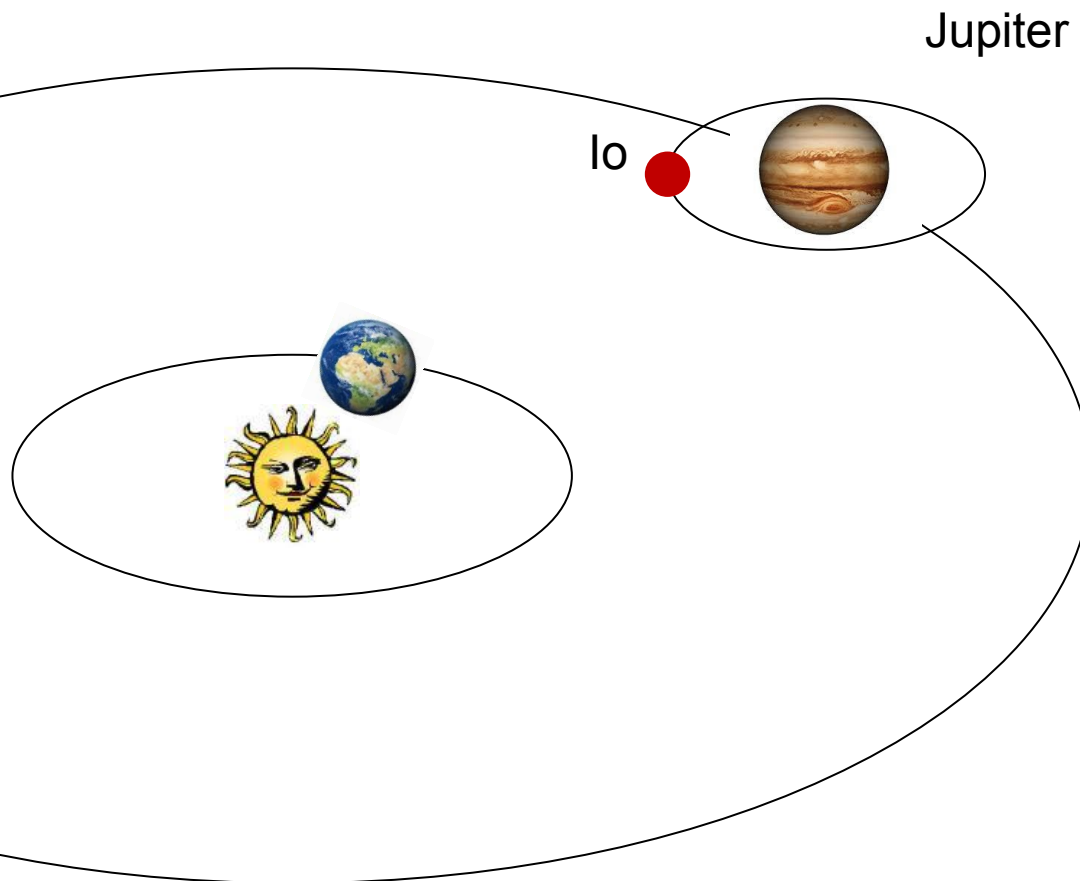
Kopernikusz heliocentrikus modellje

# 1/ mozgó objektumok: az elromlott óramű



Galileo Galilei  
1610-ben

felfedezte a Jupiter  
4 holdját,  
és szabályos  
keringésüket

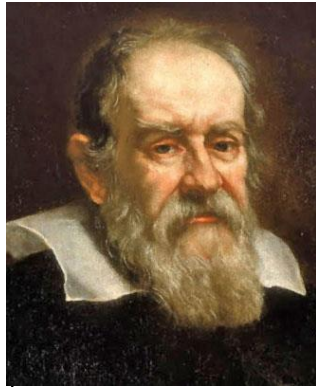


**1/ mozgó objektumok: az elromlott óramű**

**DE** kiderült, hogy

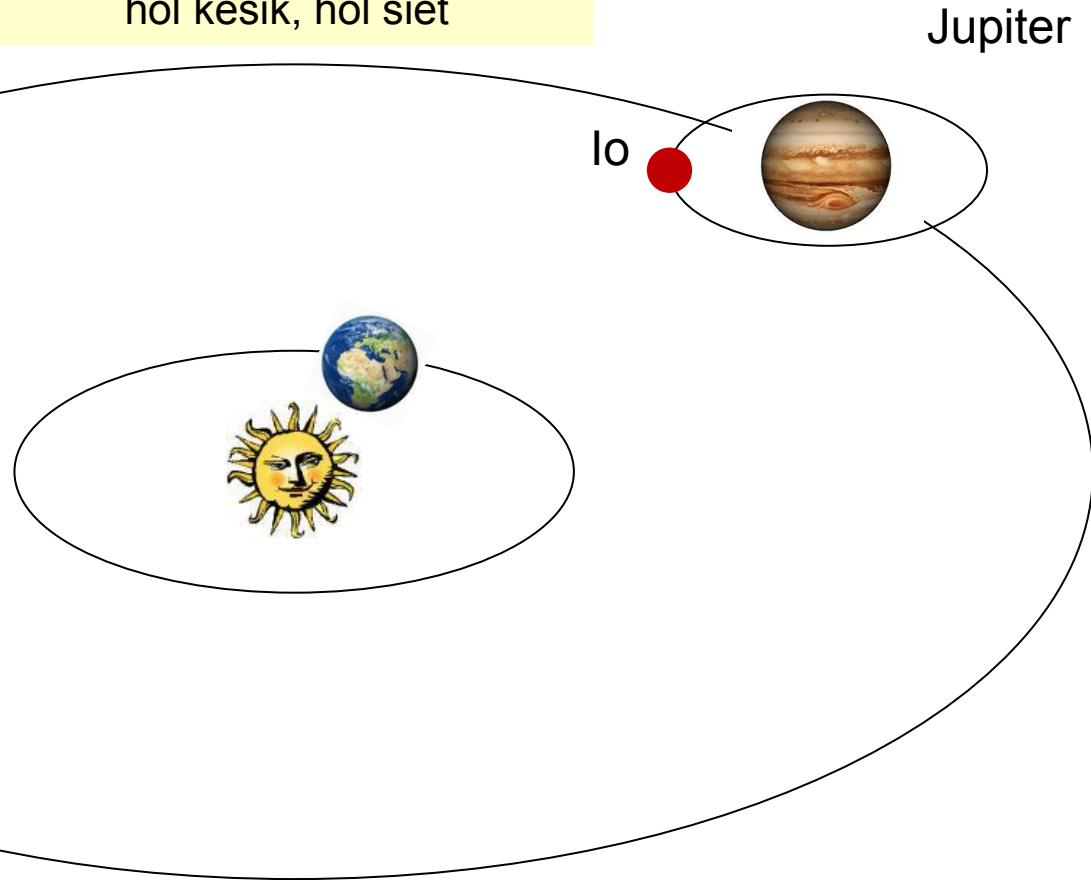


a Jupiter holdjainak keringése  
hol késik, hol siet



Galileo Galilei  
1610-ben

felfedezte a Jupiter  
4 holdját,  
és szabályos  
keringésüket



**1/ mozgó objektumok: az elromlott óramű**

**DE** kiderült, hogy



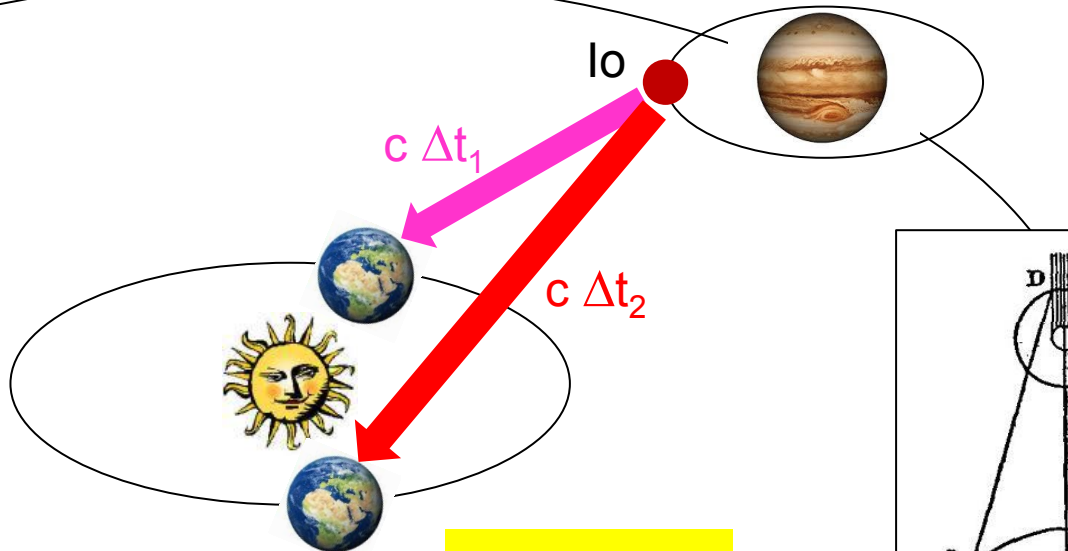
a Jupiter holdjainak keringése  
hol késik, hol siet



Ole Roemer  
1676-ban

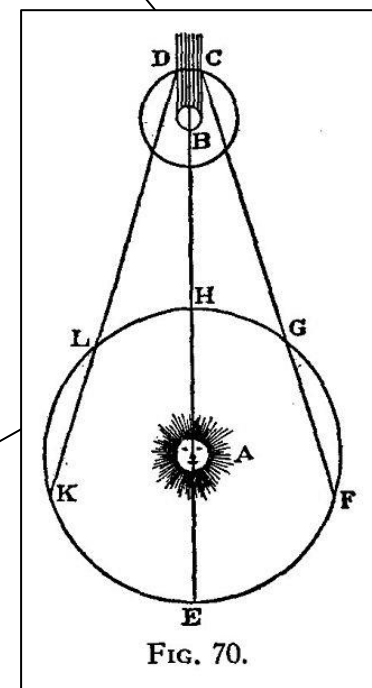
e jelenség  
vizsgálatával elsőként  
mérte meg

**a fény sebességét**



$\Delta t_2 > \Delta t_1$

Jupiter



Roemer saját ábrája

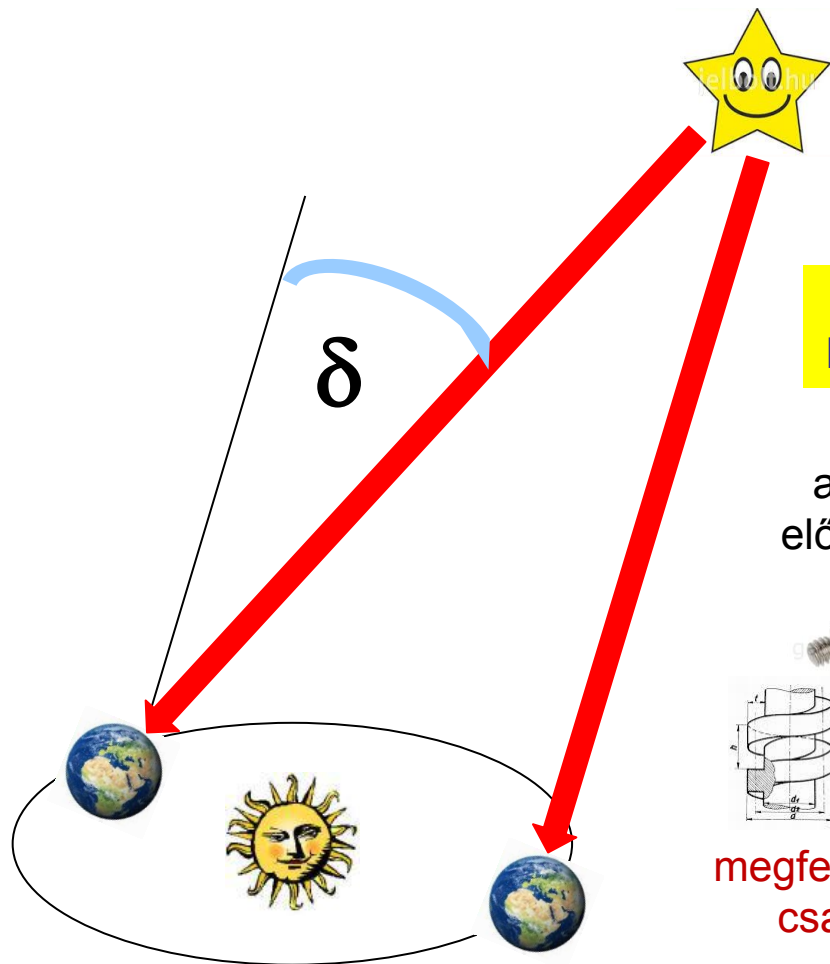




## 2/ a megjósolt parallaxis

ellenérv Kopernikusz elmélete ellen:

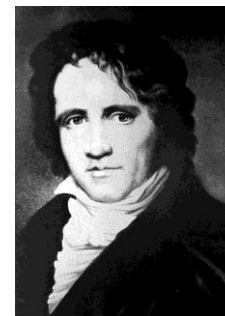
ha a Föld mozogna a Nap körül,  
akkor a csillagokat mindig  
**más irányban kellene látnunk!**




A frappáns válasz:

ez így is van,  
csak a  $\delta$  szög roppant kicsi!

első mérés:  
Bessel, 1838



 = Hattyú 61:  
 $\delta = 0,72''$

ezért távolsága  
11 fényév

a mérés  
előfeltétele:



megfelelően pontos  
csavarmenet

hogy ne lötyögjön  
a távcső!

új csillagászati távolságegység:

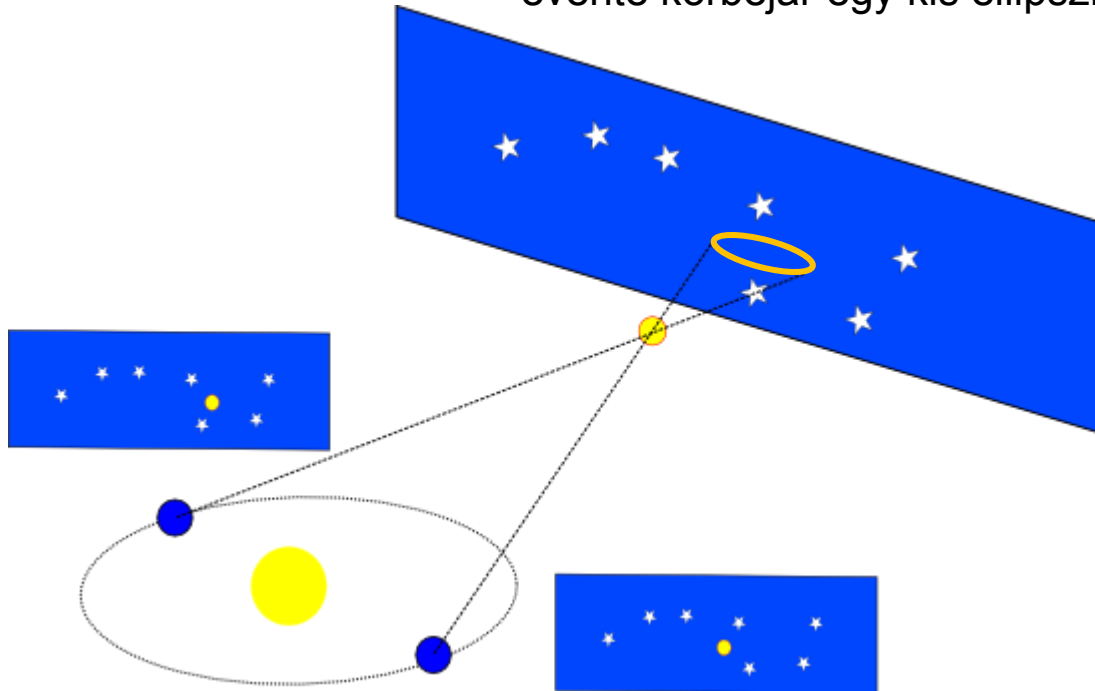
1 **parsec**, ha:  $\delta = 2''$

1 parsec = 3,26 fényév

## 2/ a megjósolt parallaxis

Mit látunk?

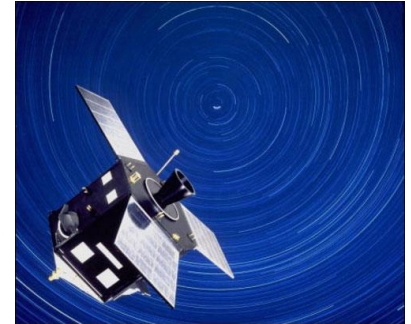
A vizsgált (közele) csillag a háttércsillagokhoz képest elmozdul, évente körbejár egy kis ellipszisen



A Földről legfeljebb  
100 parsecig (kb 300 fényévig)  
tudunk parallaxist mérni.

A Gaia szonda  
kb. 1 milliárd csillag  
parallaxisát méri  
(most is!),  
kb 10 000 parsecig

A Hipparcos szondát  
nem zavarta a légkör:  
1 millió csillag  
parallaxisát mérte meg,  
kb. 1000 parsecig



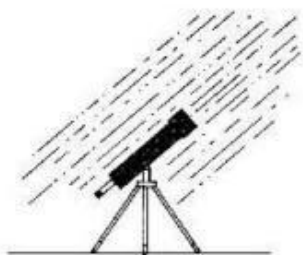
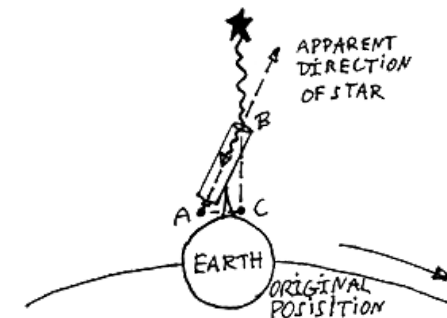
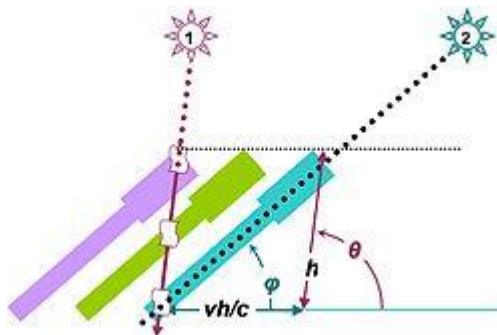
## 3/ mérés a mozgó Földről: aberráció



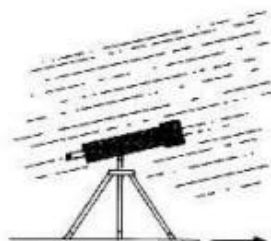
álló



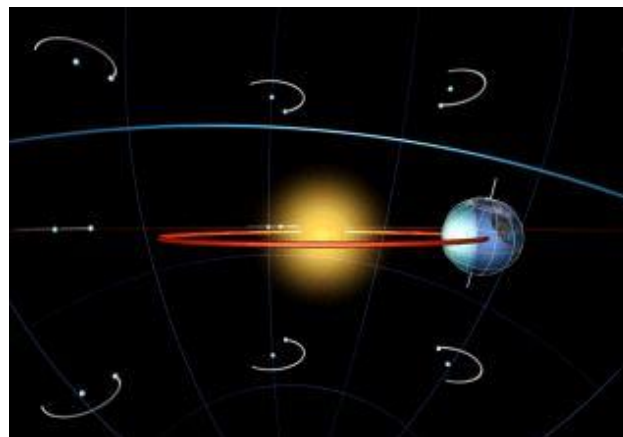
futva



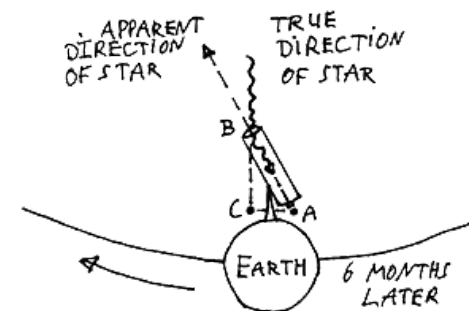
álló távcső



távcső a mozgó Földön



Az aberráció miatt egy év alatt minden csillag egyforma méretű köröket ír le az égen!



Ennek mérete a Föld nap körüli keringésének sebessége ( $v = 30 \text{ km/s}$ ) és a fénysebesség ( $c = 300\,000 \text{ km/s}$ ) viszonyától függ.



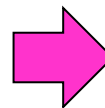
James Bradley  
1727

## 4/ a csillagok sajátmozgása

az égbolt mégsem állandó...

oldalirányú mozgás: elmozdulás az éggömbön

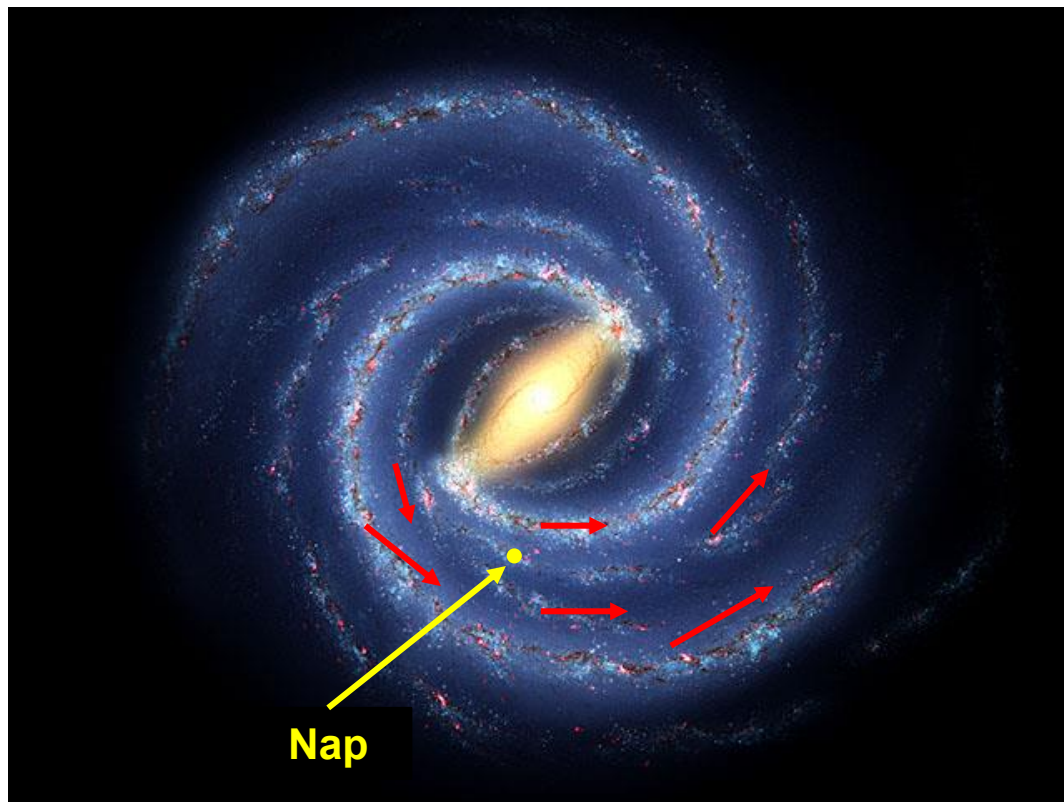
(kissé sokáig kell várni rá...)



a csillagképek csak ideiglenes képződmények...

sugárirányú mozgás: sebessége Doppler-effektussal

közvetlenül mérhető



a sajátmozgás oka:

a csillagok keringése a Tejútrendszerben

plusz erre rakódó helyi szabálytalanságok (a szomszéd vonzása...)

## 4/ a csillagok sajátmozgása

az égbolt mégsem állandó...

a leggyorsabban mozgó csillag:

vörös törpe

6 fényévre van

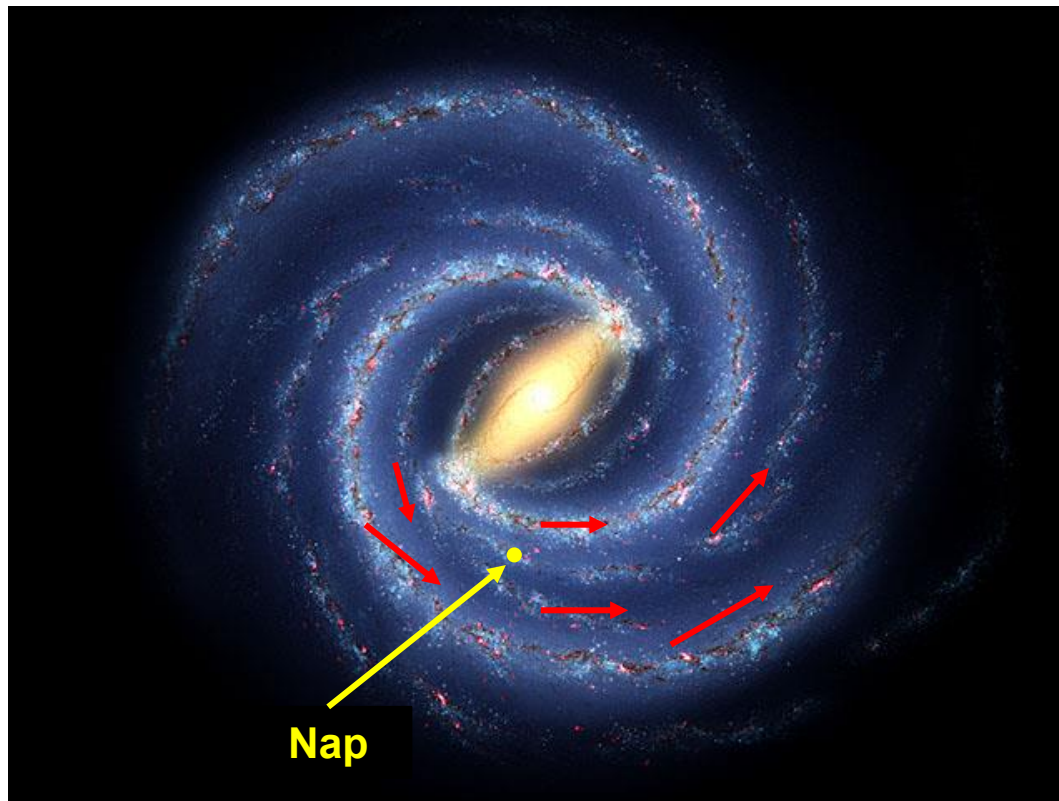
relatív sebesség 143 km/s

oldalirányú sebesség 90 km/s

a Barnard-féle Nyílcsillag



elmozdulás:  
10,3 " / év



4/ **a csillagok sajátmozgása**

az égbolt mégsem állandó...

a leggyorsabban mozgó csillag:

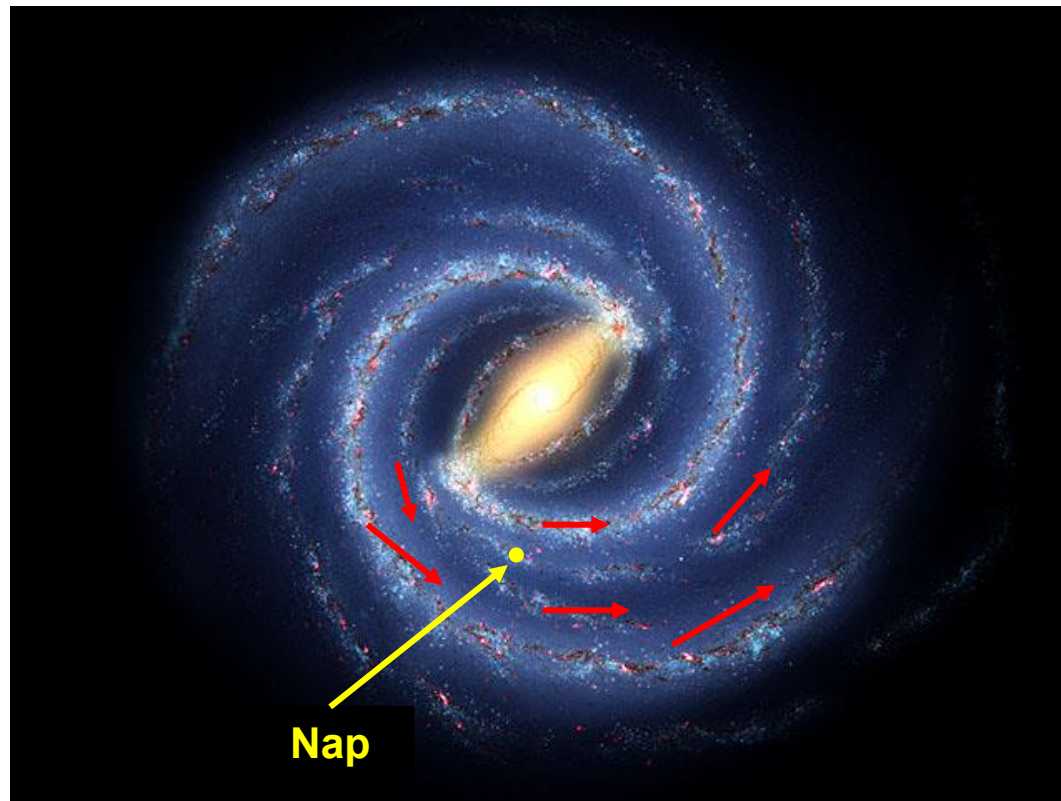
vörös törpe

6 fényévre van

relatív sebesség 143 km/s

oldalirányú sebesség 90 km/s

a Barnard-féle Nyílcsillag



elmozdulás:  
10,3 " / év

## 4/ a csillagok sajátmozgása

az égbolt mégsem állandó...

a leggyorsabban mozgó csillag:

vörös törpe

6 fényévre van

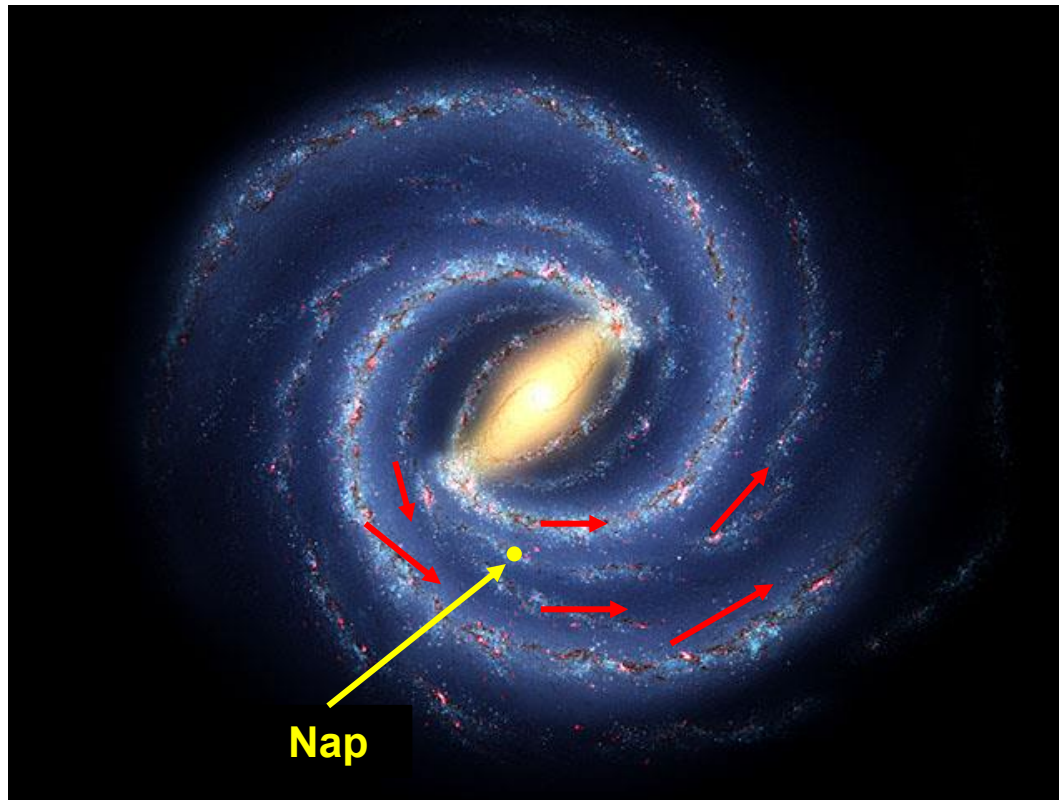
relatív sebesség 143 km/s

oldalirányú sebesség 90 km/s

a Barnard-féle Nyílcsillag



elmozdulás:  
10,3 " / év



## 4/ a csillagok sajátmozgása

az égbolt mégsem állandó...

a leggyorsabban mozgó csillag:

vörös törpe

6 fényévre van

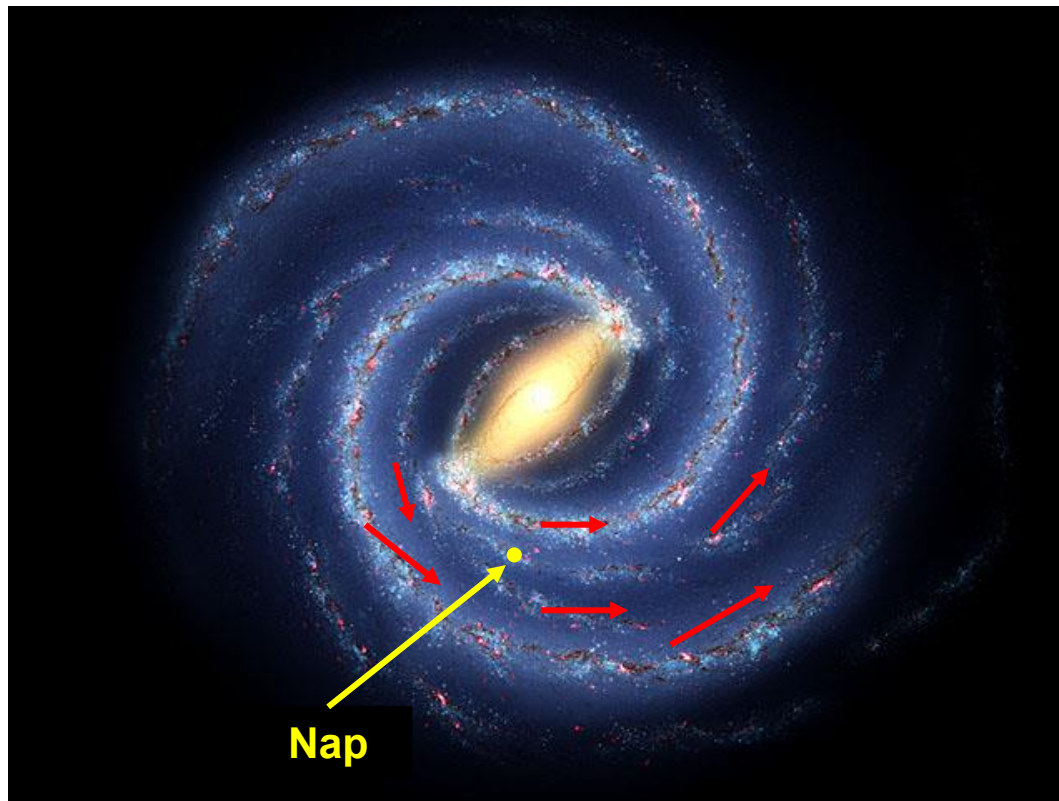
relatív sebesség 143 km/s

oldalirányú sebesség 90 km/s

a Barnard-féle Nyílcsillag



elmozdulás:  
10,3 " / év





4/ **a csillagok sajátmozgása**

az égbolt mégsem állandó...

a leggyorsabban mozgó csillag:

vörös törpe

6 fényévre van

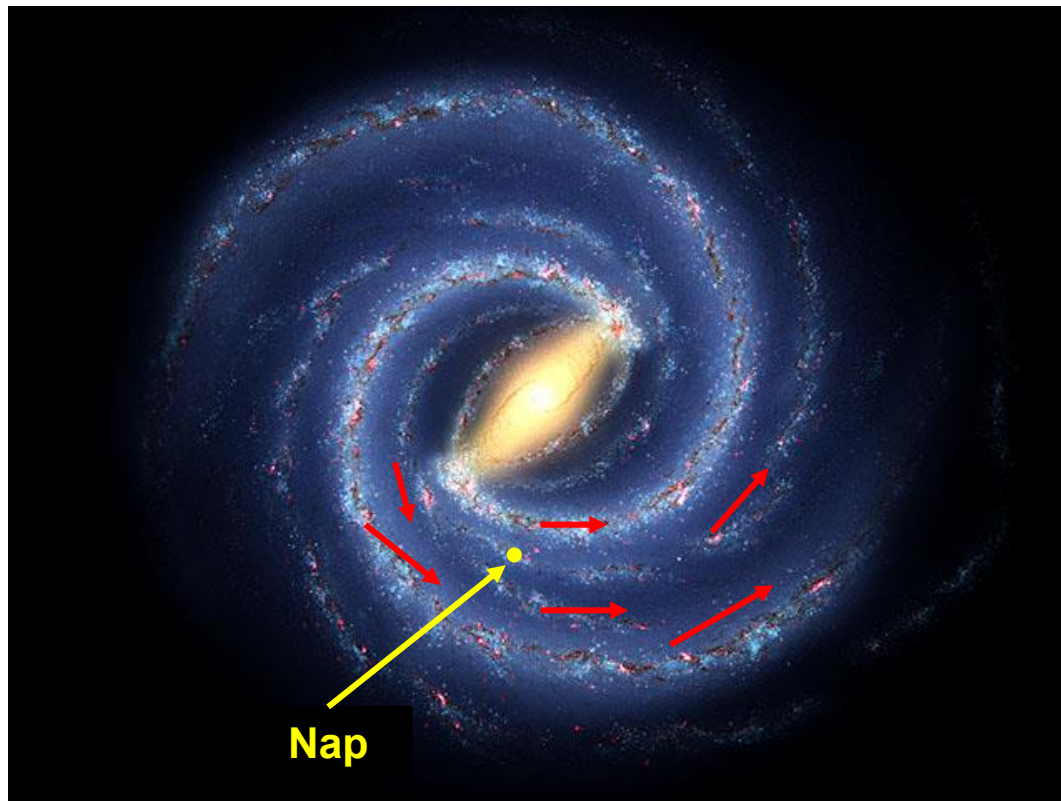
relatív sebesség 143 km/s

oldalirányú sebesség 90 km/s

a Barnard-féle Nyílcsillag



elmozdulás:  
10,3 " / év



## 5/ Új csillagok: Nóvák, szupernóvák

az égbolt mégsem állandó...

Ilyen nincs! – mondták az okosok

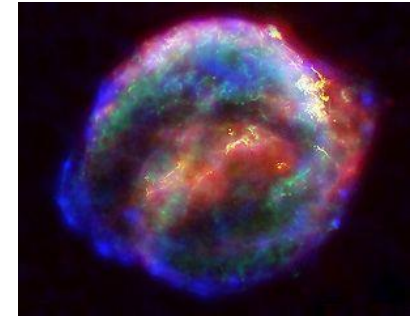
Szerencsére Tycho (1572)  
és Kepler (1604) is látott  
egy-egy szupernóvát

ma így néz ki a maradványuk:

Ezek a mi galaxisunkban robbantak



SN1572

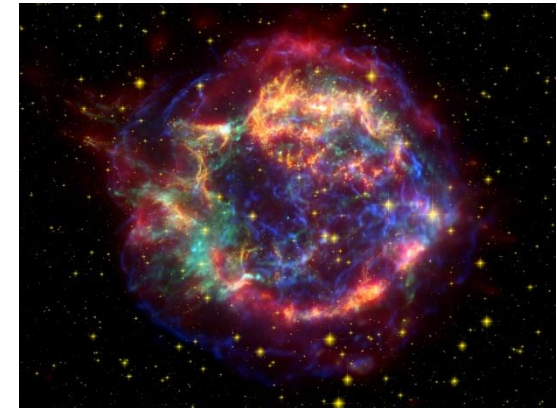
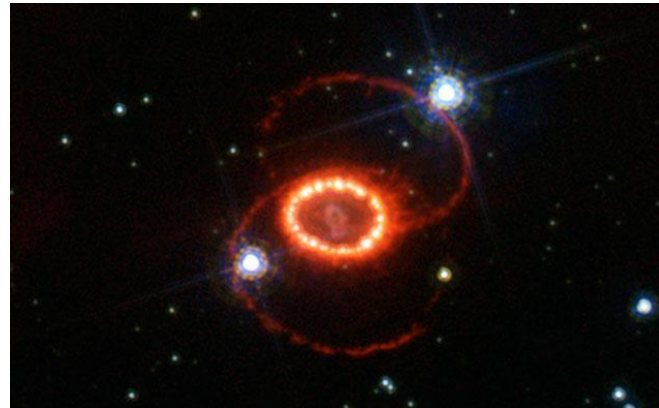


SN1604

Mi már csak távoli galaxisokban látunk szupernóvát

A legközelebbi a "szomszédban", a Nagy Magellán-felhőben  
robbant 1987. február 23-án (mínusz 170 000 év)

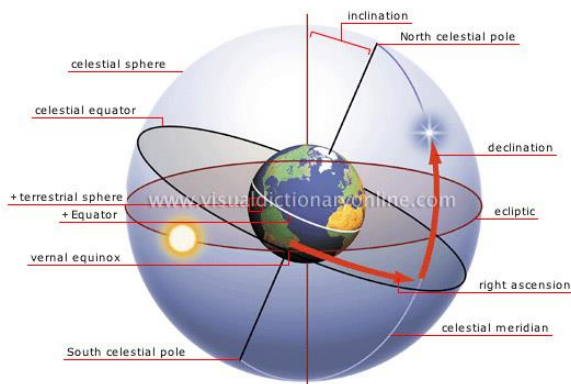
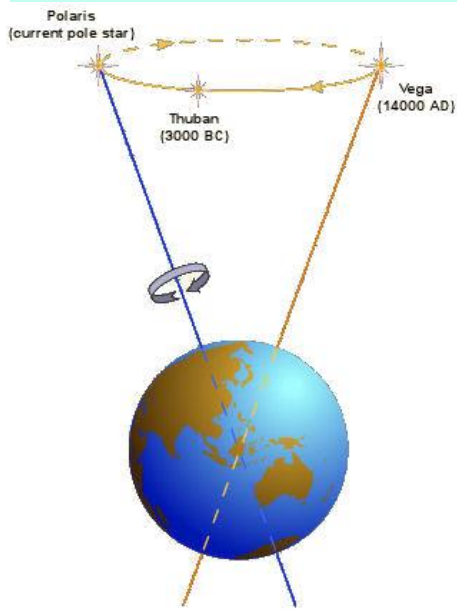
**dgy: Szupernova,  
avagy a felrobbanó hűtőgép**  
Atomcsill, 2013. szeptember 19.



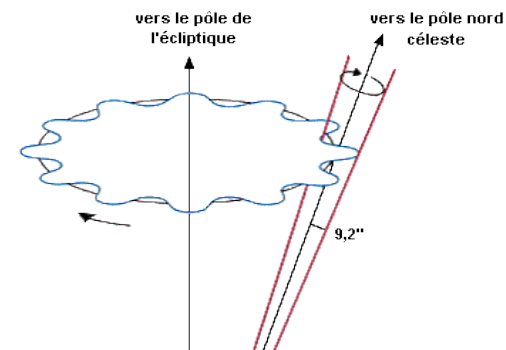
## 6/ Az összes csillag pozíciójának szisztematikus változása

oka: a Föld tengelyének precessziója

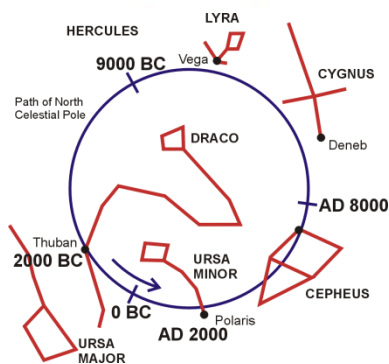
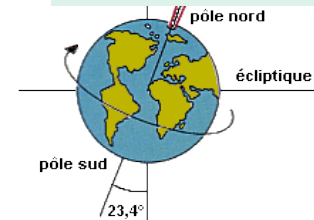
periódusidő: 26 000 év



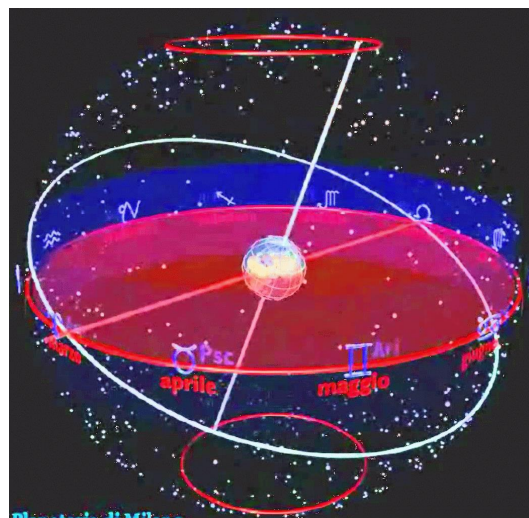
egyenlítői koordinátarendszer



a helyzet még egy kicsit bonyolultabb...



a Föld tengelyének útja a csillagok között



a tavaszpont vándorlása

A koordinátarendszer kezdőpontja, a tavaszpont az ekliptika és az egyenlítő síkjának metszésvonalán van. A precesszió miatt ez a pont elmozdul, ezért minden csillag koordinátái megváltoznak.

## 6/ Az összes csillag pozíciójának szisztematikus változása

oka: a Föld tengelyének precessziója

periódusidő: 26 000 év

az egyiptomiak esete a precesszióval



Ré napisten imádása

a Szóthisz csillag együtt kel a Nappal – ez jelzi a Nílus áradását

mindenki tudja:

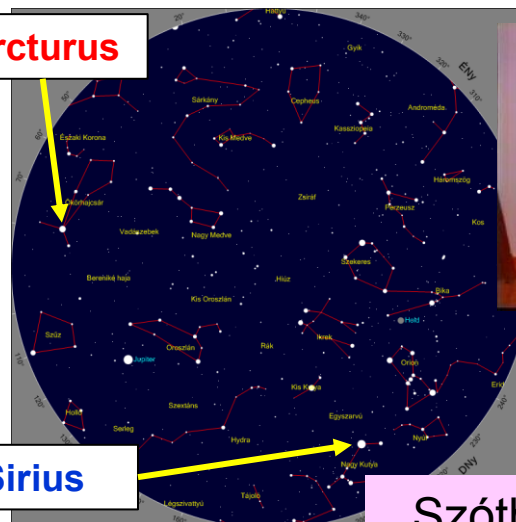
Szóthisz = Szíriusz

mert a Szíriusz július végén együtt kel a Nappal

**DE CSAK MA!** 4000 éve **a precesszió miatt** más volt az ég állása!

ezért mindenki rosszul tudja!

Arcturus



Sirius

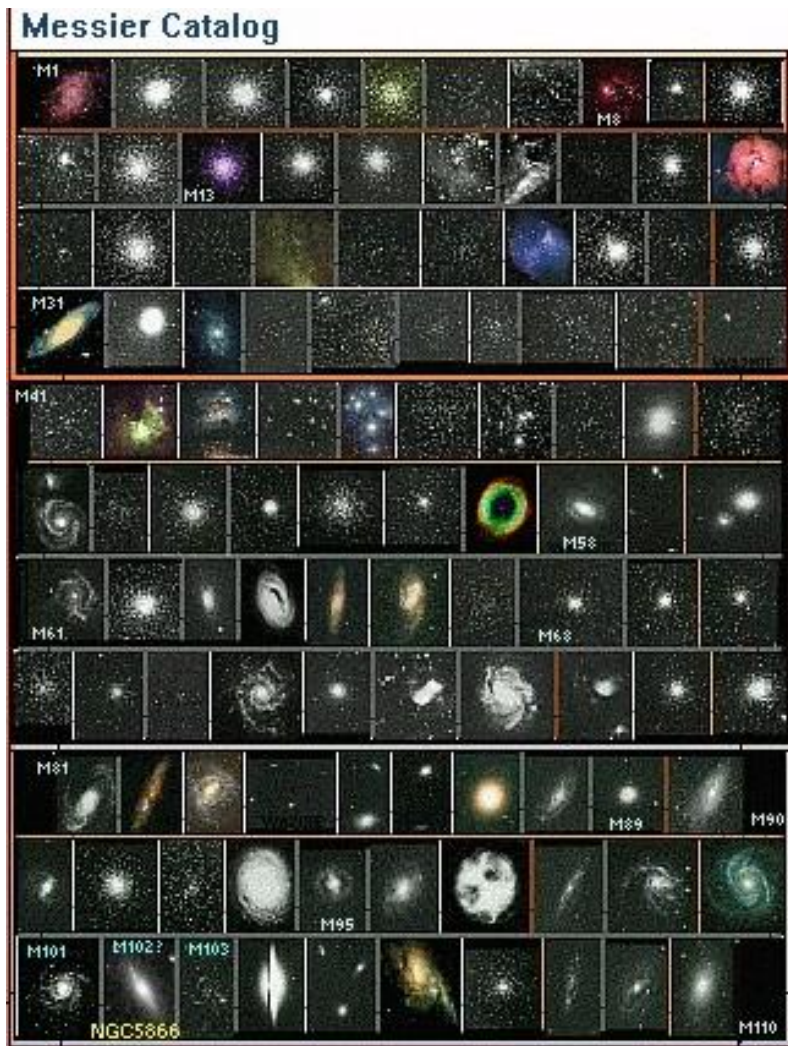


Szalai Tamás  
fizikus + régész  
1985

Szóthisz = **Arcturus**

De miért csak a **CSILLAGOK** pozícióját mérjük?

Van még más is az égen?



mindenféle  
homályos foltok,  
**KÖDÖK**

Messier:  
103 köd katalógusa  
(1758–1782)



Charles Messier  
(1730–1817)

Ma már tudjuk:  
ezek egy része

- csillaghalmaz
- planetáris köd  
(csillag által kifújt gázfelhő)
- szupernóva-maradvány
- porfelhő
- gázfelhő

a mi  
Tejútunkon  
belüli  
objektum

a többi: **extragalaxis**

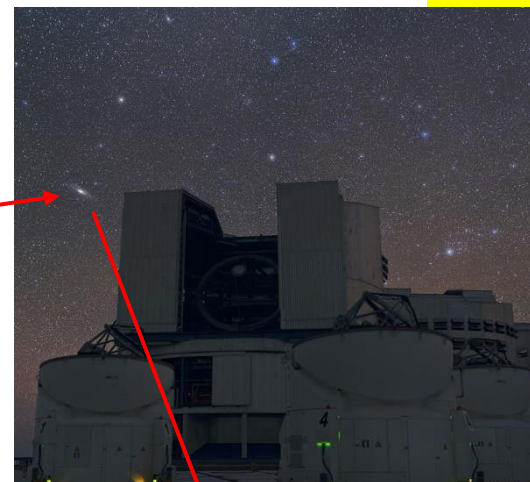
azaz a Tejúton kívüli, ahhoz hasonló csillagrendszer



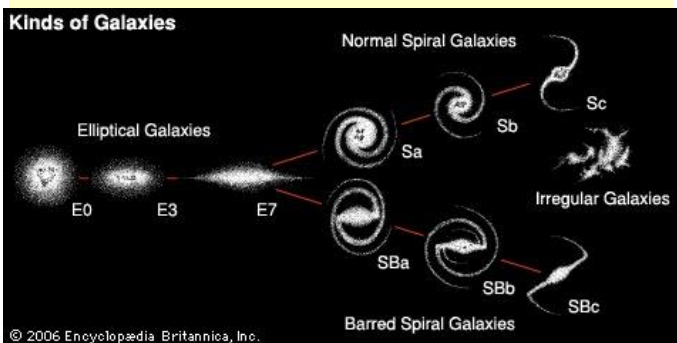
# GALAXISOK

pacák az égen: felbontás 1900 körül  
 az első távolságmeghatározás (Hubble 1925):

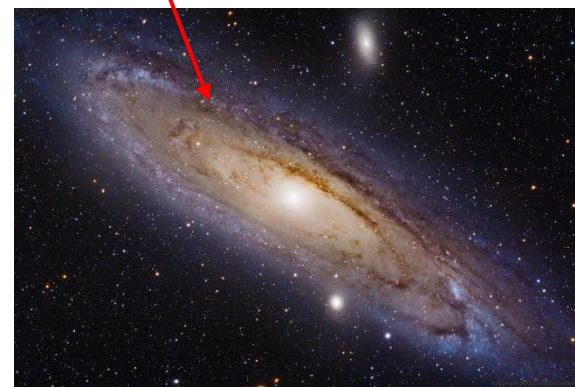
cefeidák az Androméda-ködben



## a galaxisok osztályozása



Edwin Hubble  
(1889-1953)



Hubble 1929:  
 a galaxisok távolódása

Hubble-törvény:  
 $v = H r$

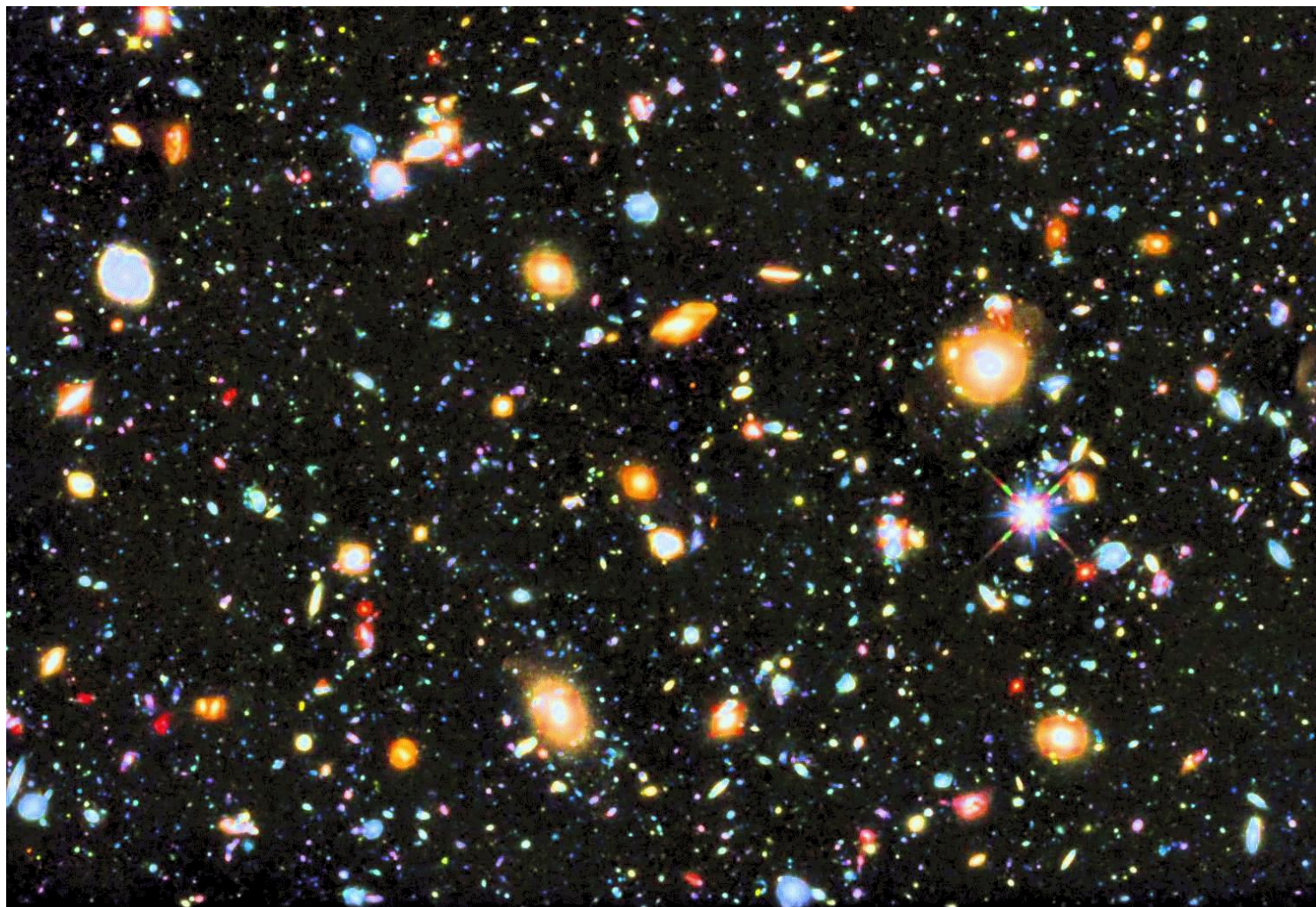
a Nagy Bumm  
 első bizonyítéka



**GALAXISOK** nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field



**GALAXISOK** nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field





**GALAXISOK** nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field



galaxisok milliárdjai  
mindenütt

# GALAXISOK

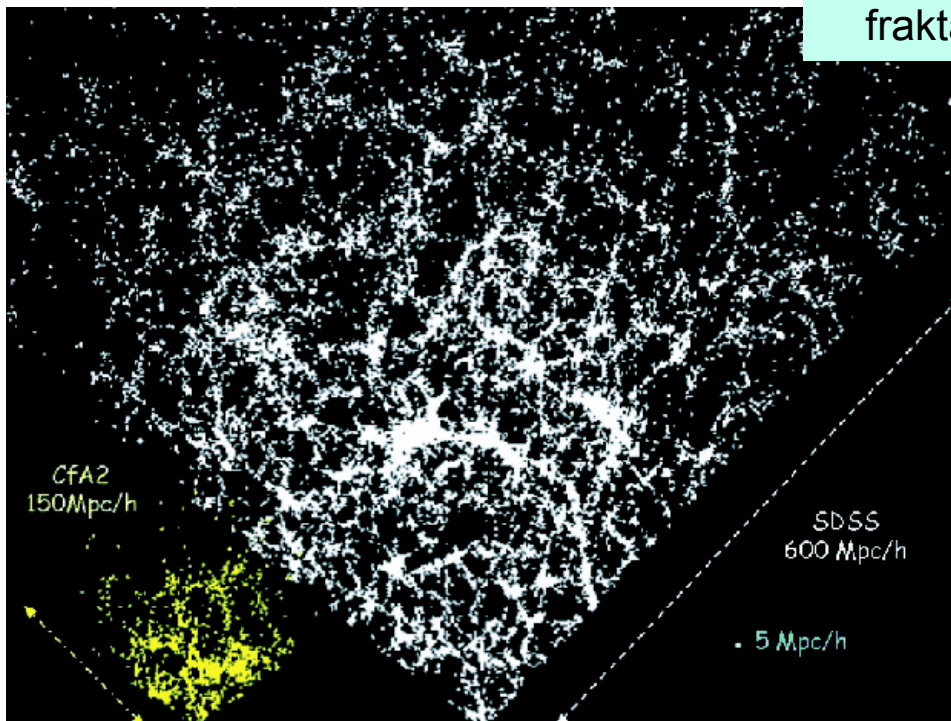
ma kb. 100 milliárd galaxist látunk magunk körül  
egy 13,8 milliárd fényév sugarú gömbben

a galaxisok eloszlása nagyjából  
egyenletes, de nem véletlenszerű

pókhálószerű,  
szálas struktúrák,  
fraktálszerkezet

a korrelációk  
keresése:

Szalay A. Sándor  
(ELTE, majd Johns Hopkins Univ),  
1980 körül



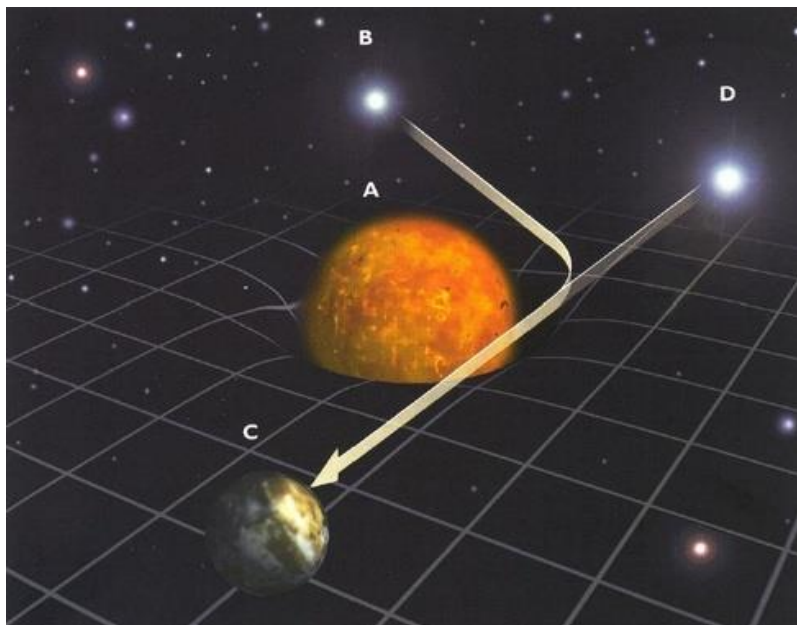
a galaxisok térbeli eloszlásának feltérképezése:

**SDSS: Sloan Digital Sky Survey**

a csillagászati Big Science kezdete:

**Csabai István:**  
**Az Univerzum 3 dimenziós térképe**  
Atomcsill, 2015. november 19.

## Amikor a fény nem jó irányból érkezik

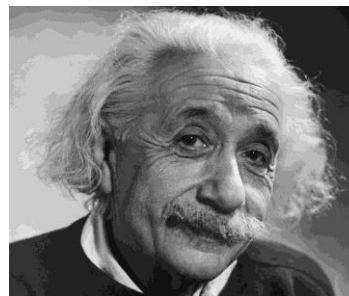


a nagy tömegű testek gravitációs hatása eltéríti a fénysugarat

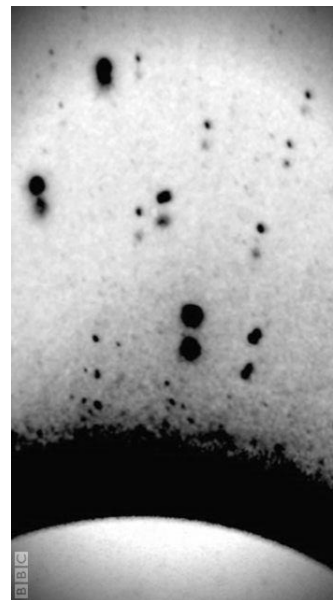
ezért a pontszerű forrásokat rossz irányban látjuk

a kiterjedt objektumok képe pedig eltorzul

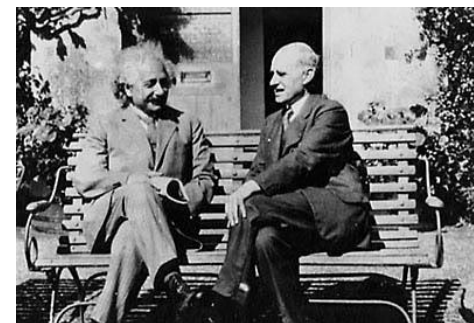
ezt a jelenséget Einstein általános relativitáselmélete jósolta meg



először Arthur Eddington mérte meg 1919-ben



csillagok képe eredeti és a Nap által eltérített pozícióban



ezt megbeszéltük!



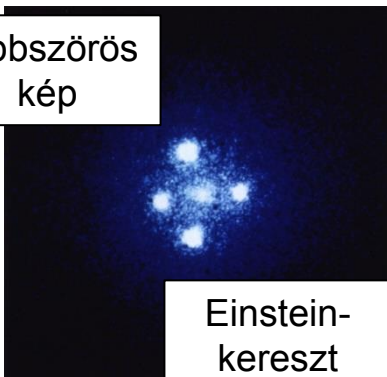
# Amikor a fény nem jó irányból érkezik példák a gravitációs lencsehatásra

**IRÁNY**

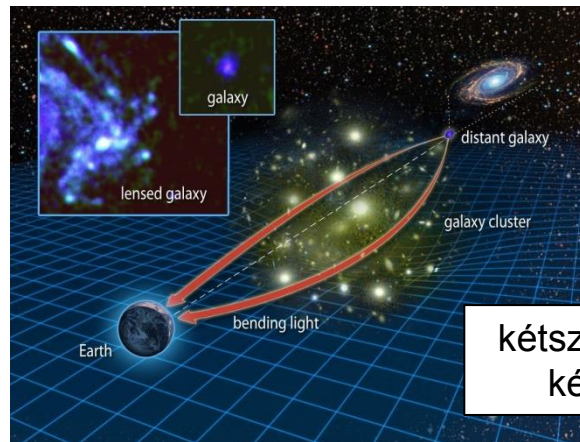
Einstein-  
gyűrű



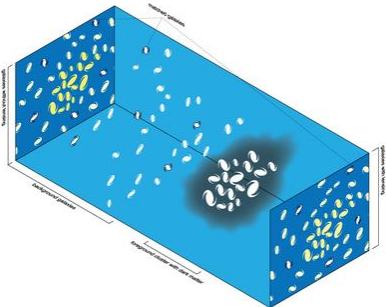
többszörös  
kép



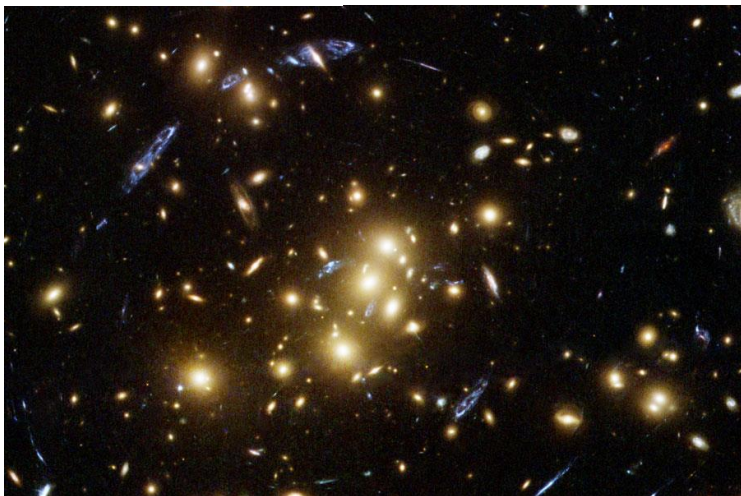
Einstein-  
kereszt



kétszeres  
kép



a háttérgalaxisok  
ívéssé torzítása



# Amikor a fény nem jó irányból érkezik

...és ezért azt is látjuk,  
amit nem láthatunk

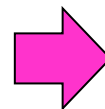
Az Univerzum anyagának kb. 24 %-a

**sötét anyag**

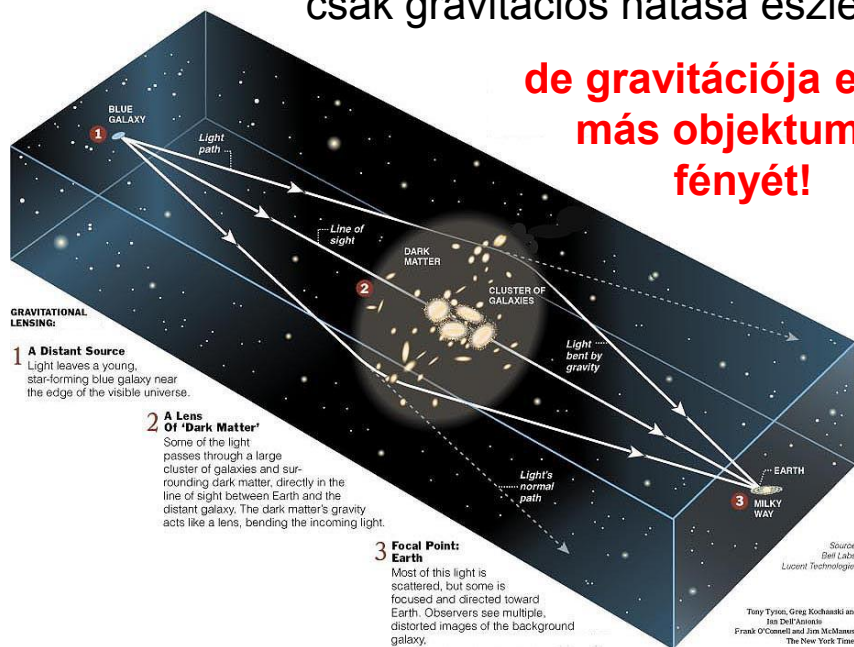
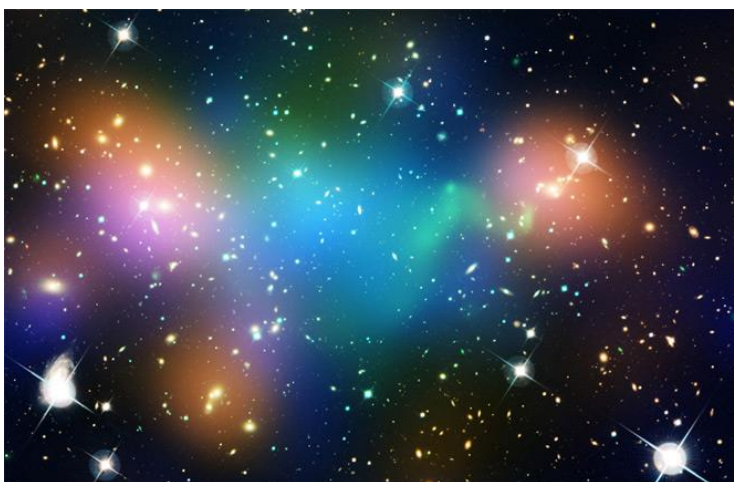
A sötét anyag nem bocsát ki fényt,  
tehát nem látható

csak gravitációs hatása érzékelhető

de gravitációja eltéríti  
más objektumok  
fényét!



a láthatatlan sötét anyag  
eloszlásának feltérképezése



**Amikor a fény nem jó irányból érkezik**

**...és ezért azt is látjuk,  
amit nem láthatunk**

**két galaxis ütközése**

a pirossal jelölt világító anyag  
(csillagok és gáz) megtorpant,  
a késsel jelölt sötét anyag  
kölcsonhatás nélkül továbbhaladt

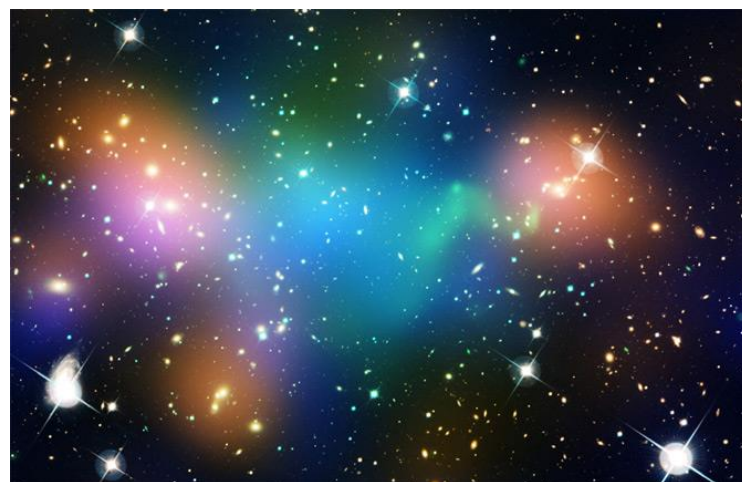


a sötét anyag eloszlását  
a háttérgalaxisok eltérített fénye  
alapján rekonstruálták

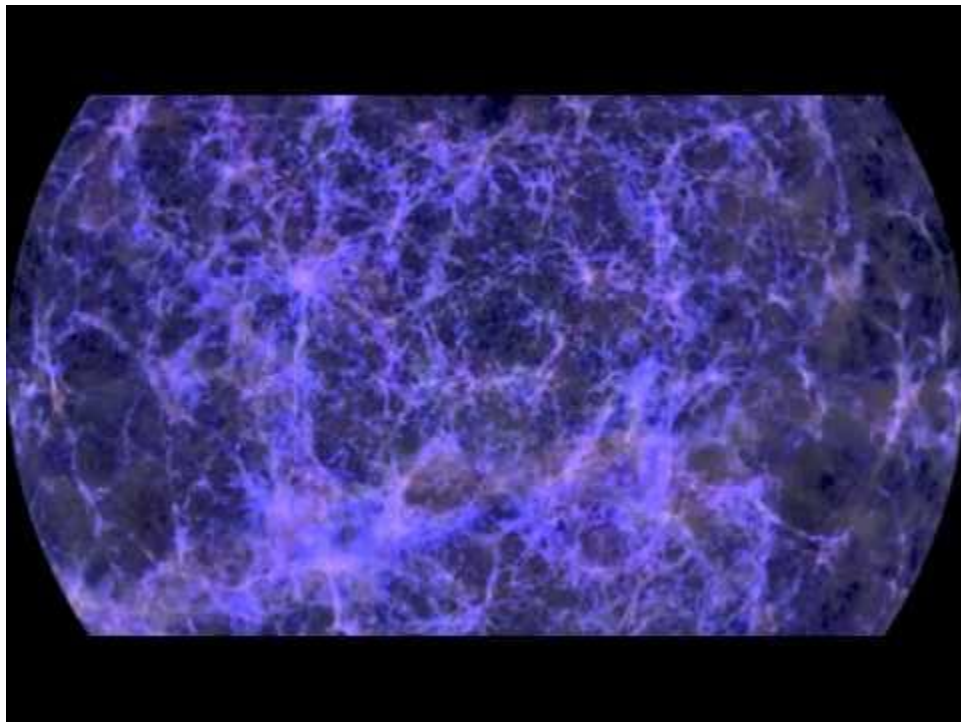
**a láthatatlan sötét anyag  
eloszlásának feltérképezése**

**galaxishalmaz**

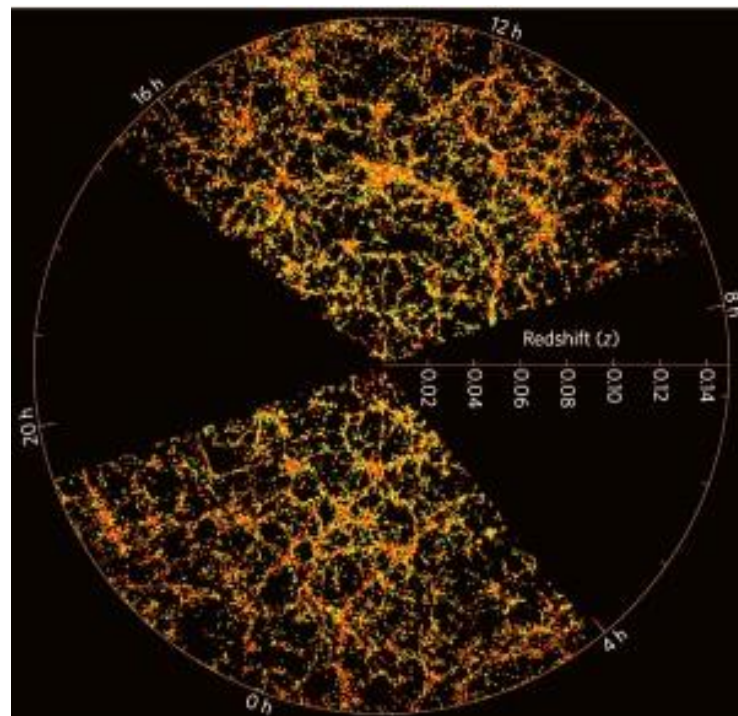
a rendszert a középén elhelyezkedő  
(késsel jelölt) sötét anyag  
gravitációs hatása stabilizálja



## A látható és a láthatatlan



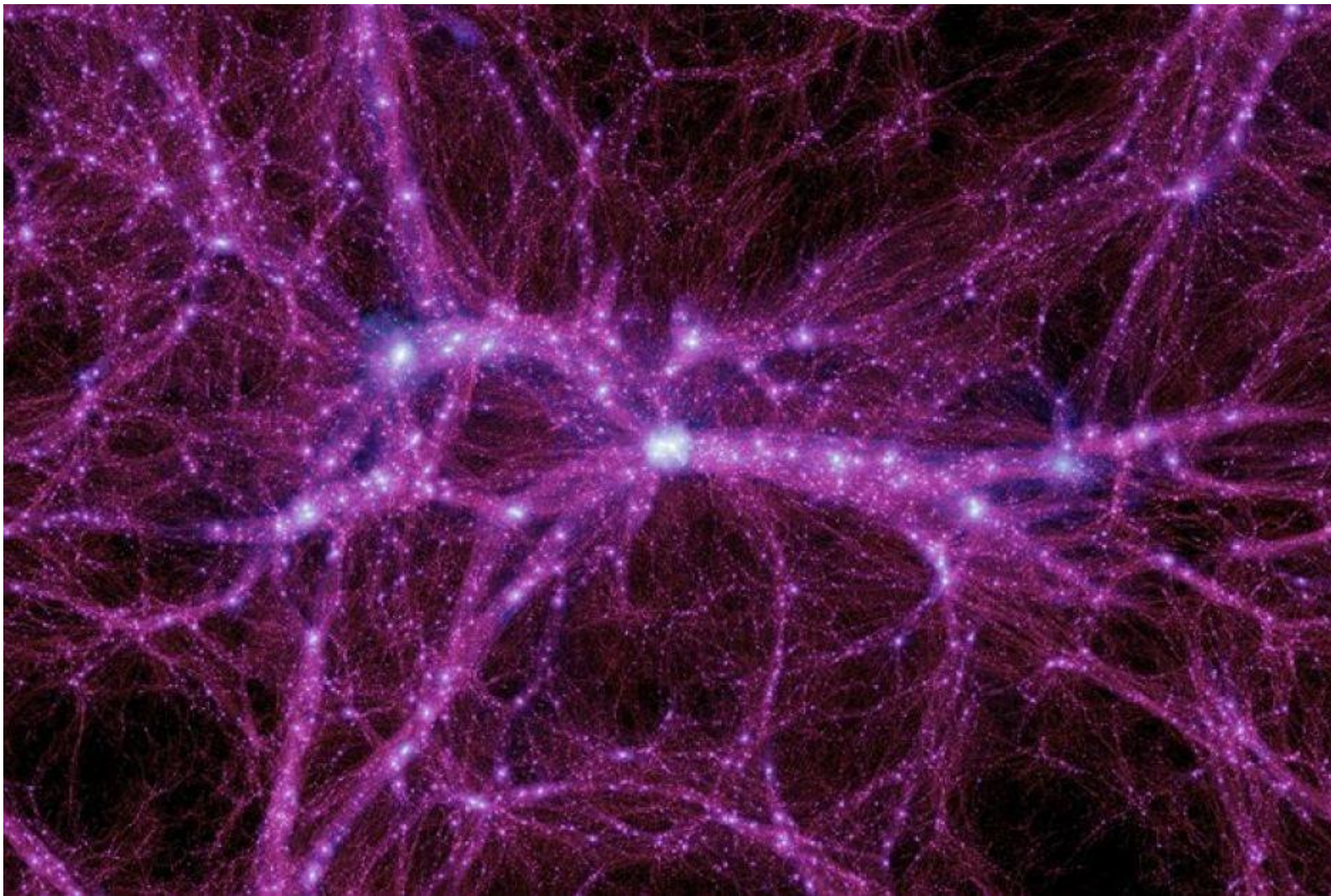
a sötét anyag  
eloszlásának szimulációja



az SDSS térképe a  
galaxisok eloszlásáról

Lehet, hogy a sötét anyag alakítja ki azt a szálak struktúrát,  
amit a világító anyag neonreklámként kirajzol?

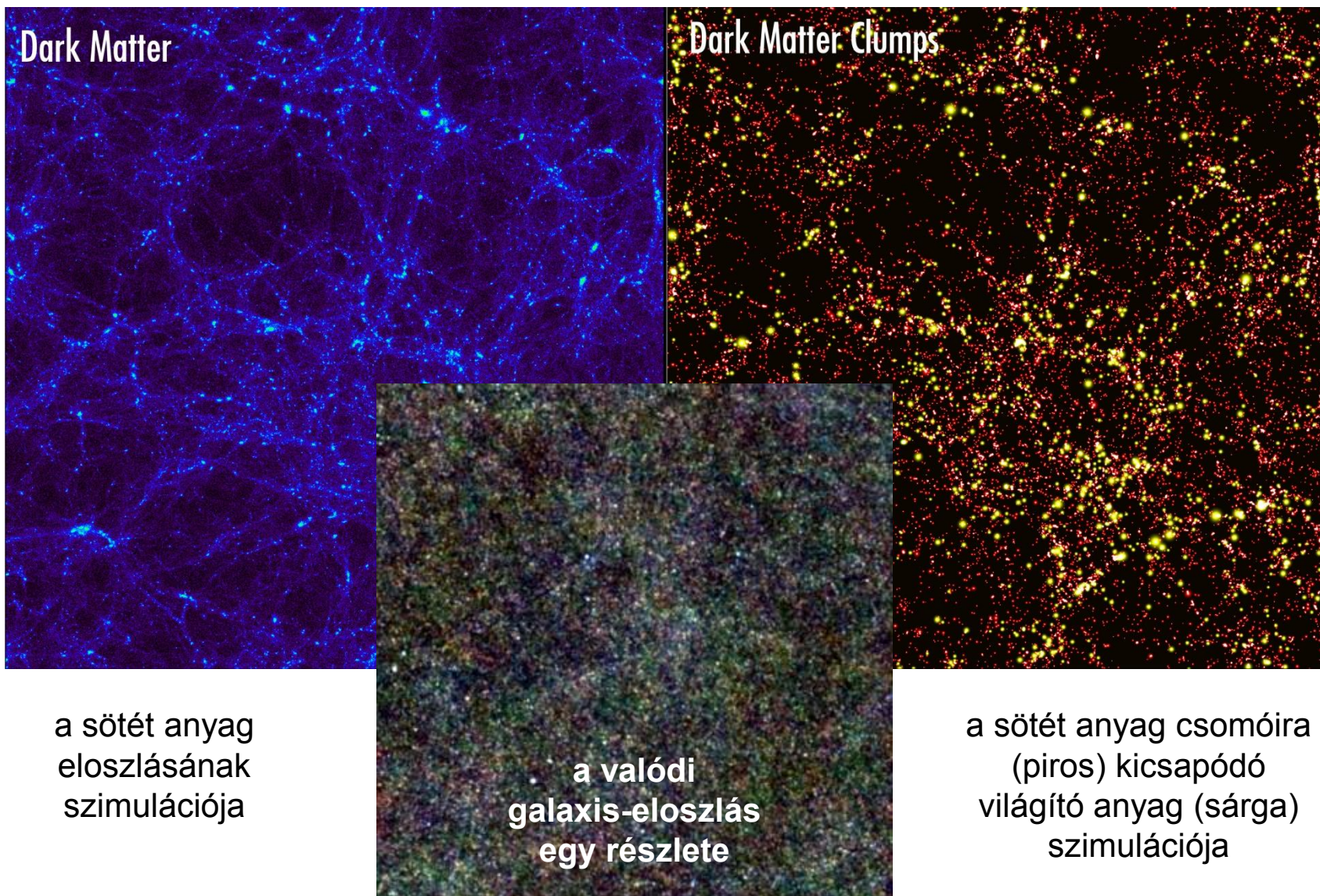
# A látható és a láthatatlan



a sötét anyag eloszlásának szimulációja



## A látható és a láthatatlan



**FÉNYERŐSSÉG**

**SPEKTRUM**

De tulajdonképpen miért világítanak a csillagok?

Miért fényesebb egyik csillag, mint a másik?

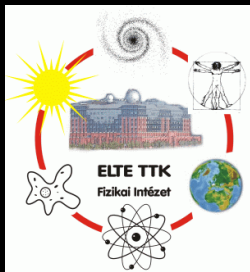
Mi határozza meg a csillagok színét?

Hogyan tudjuk kiolvasni a csillagok fényéből anyagi összetételüket és mozgásukat?

Tud-e világítani a szupernóvák mágneses terében felgyorsult elektron?

# A csillagok fénye 2.

Ezekről a kérdésekről szól az előadás második része



**Az atomoktól a csillagokig**

**Dávid Gyula**

**2016. 09. 15.**

**FÉNYERŐSSÉG**

**SPEKTRUM**

De tulajdonképpen miért világítanak a csillagok?

Miért fényesebb egyik csillag, mint a másik?

Mi határozza meg a csillagok színét?

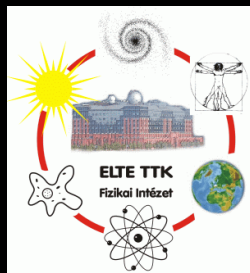
Hogyan tudjuk kiolvasni a csillagok fényéből anyagi összetételüket és mozgásukat?

Tud-e világítani a szupernóvák mágneses terében felgyorsult elektron?

# A csillagok fénye 2.

Ezekről a kérdésekről szól az előadás második része

## Köszönöm a figyelmet!



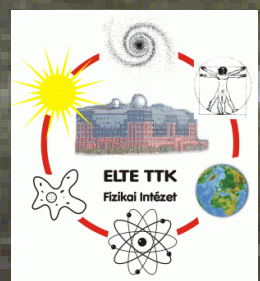
**Az atomoktól a csillagokig**

**Dávid Gyula**

**2016. 09. 15.**



# A csillagok fénye 1–2.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula  
2016. 01. 21.