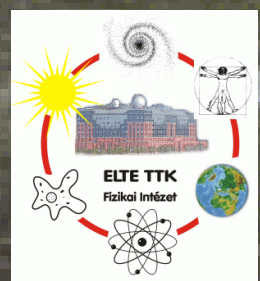


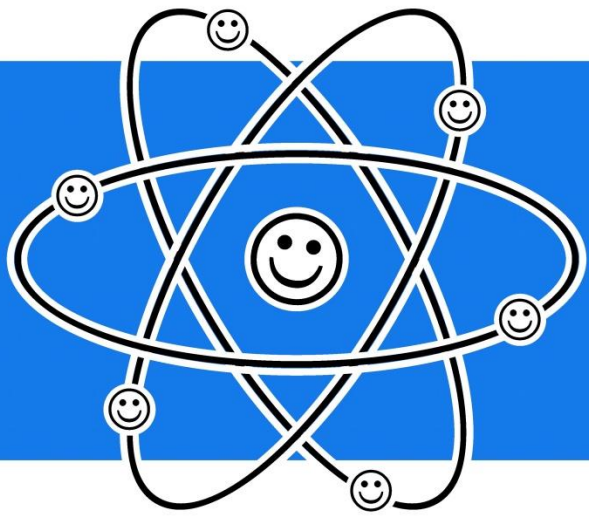


A sötét anyag nyomában



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 09. 08.

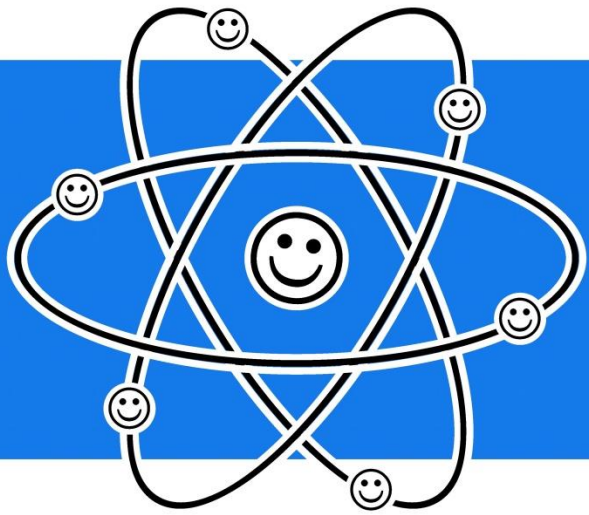


A fizika mindenké



2015 – A FÉNY
NEMZETKÖZI ÉVE





A fizika

A sötét anyag nyomában

KUS

ENY

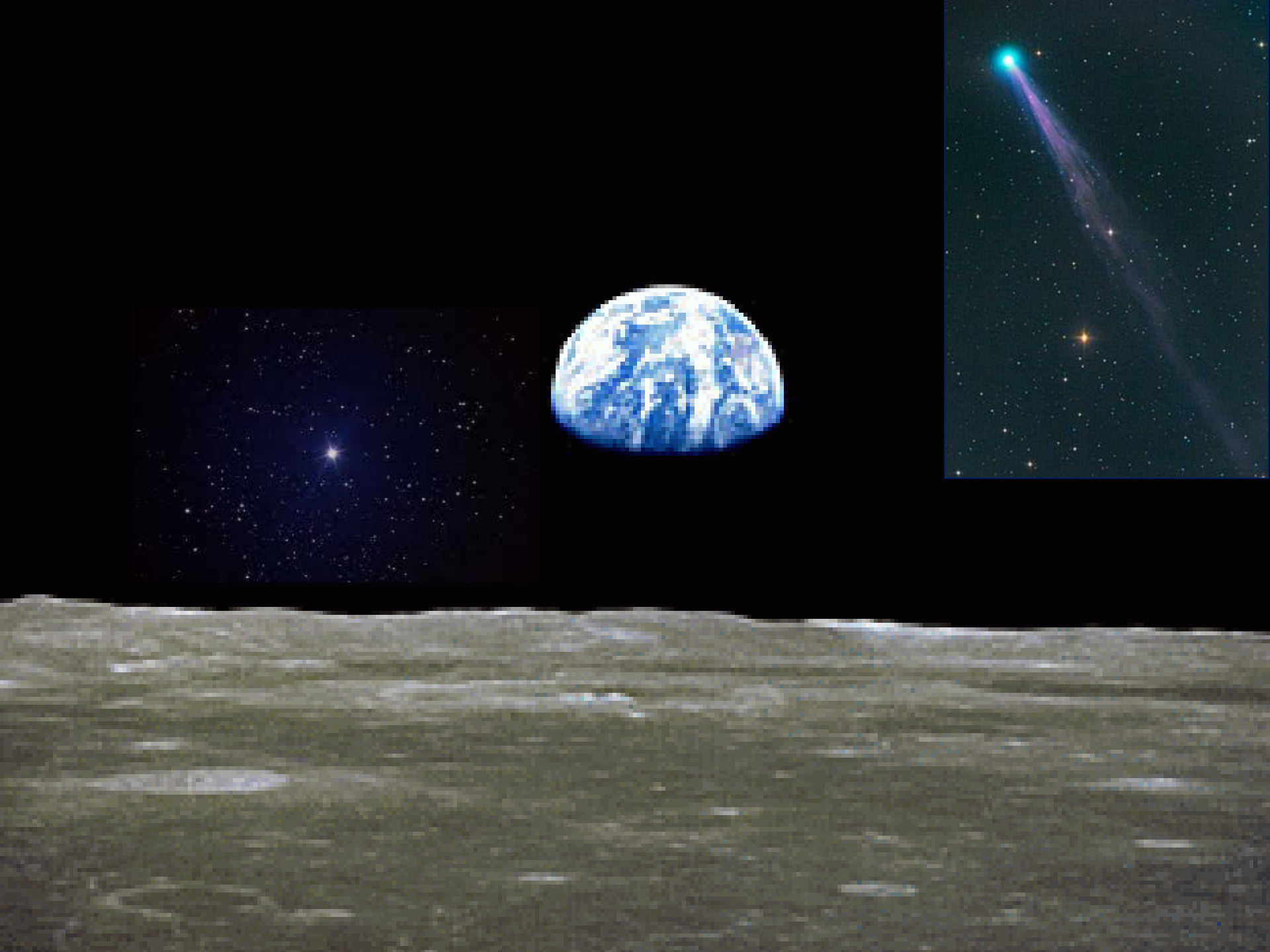
TAU

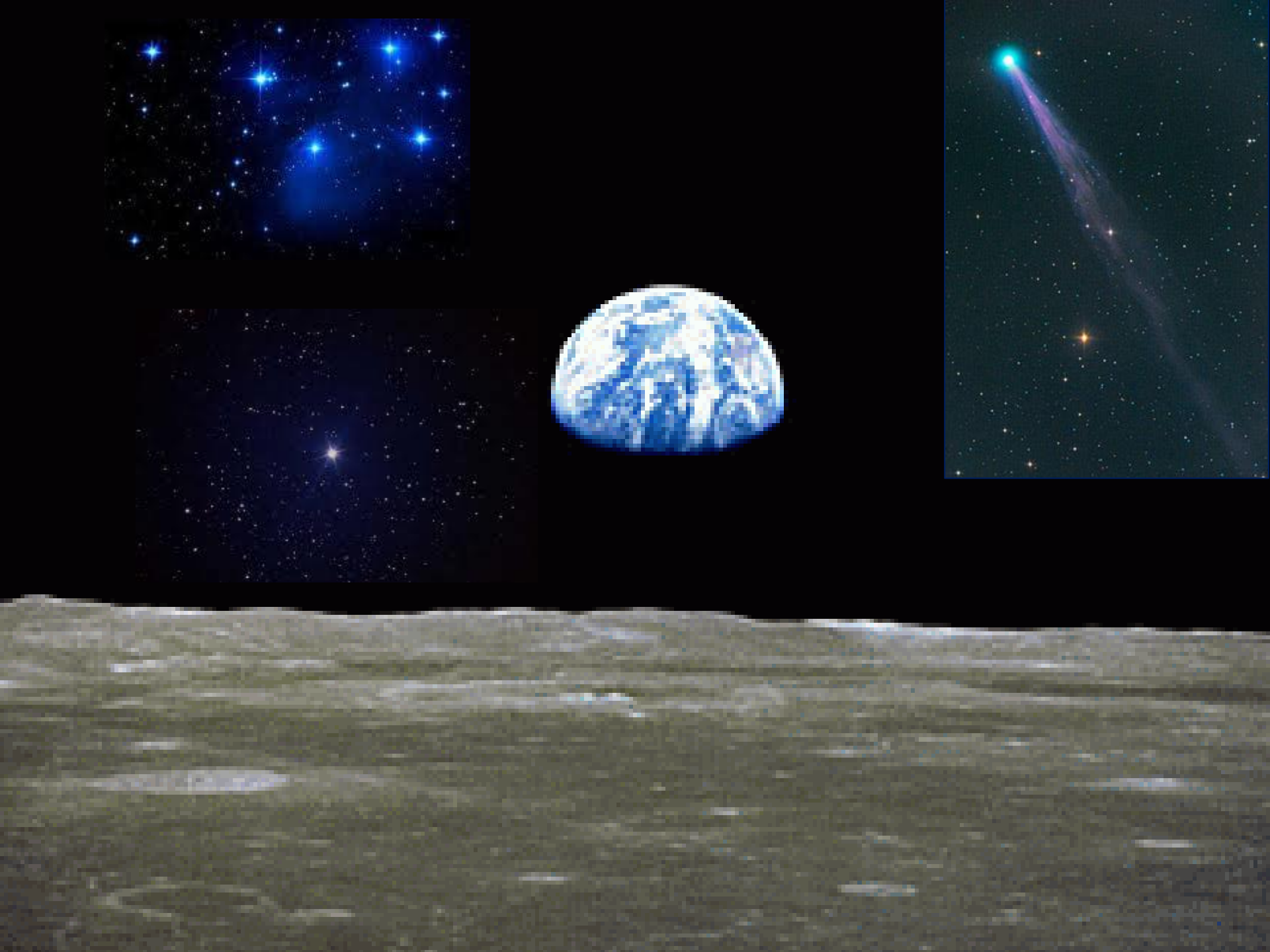
NEVE

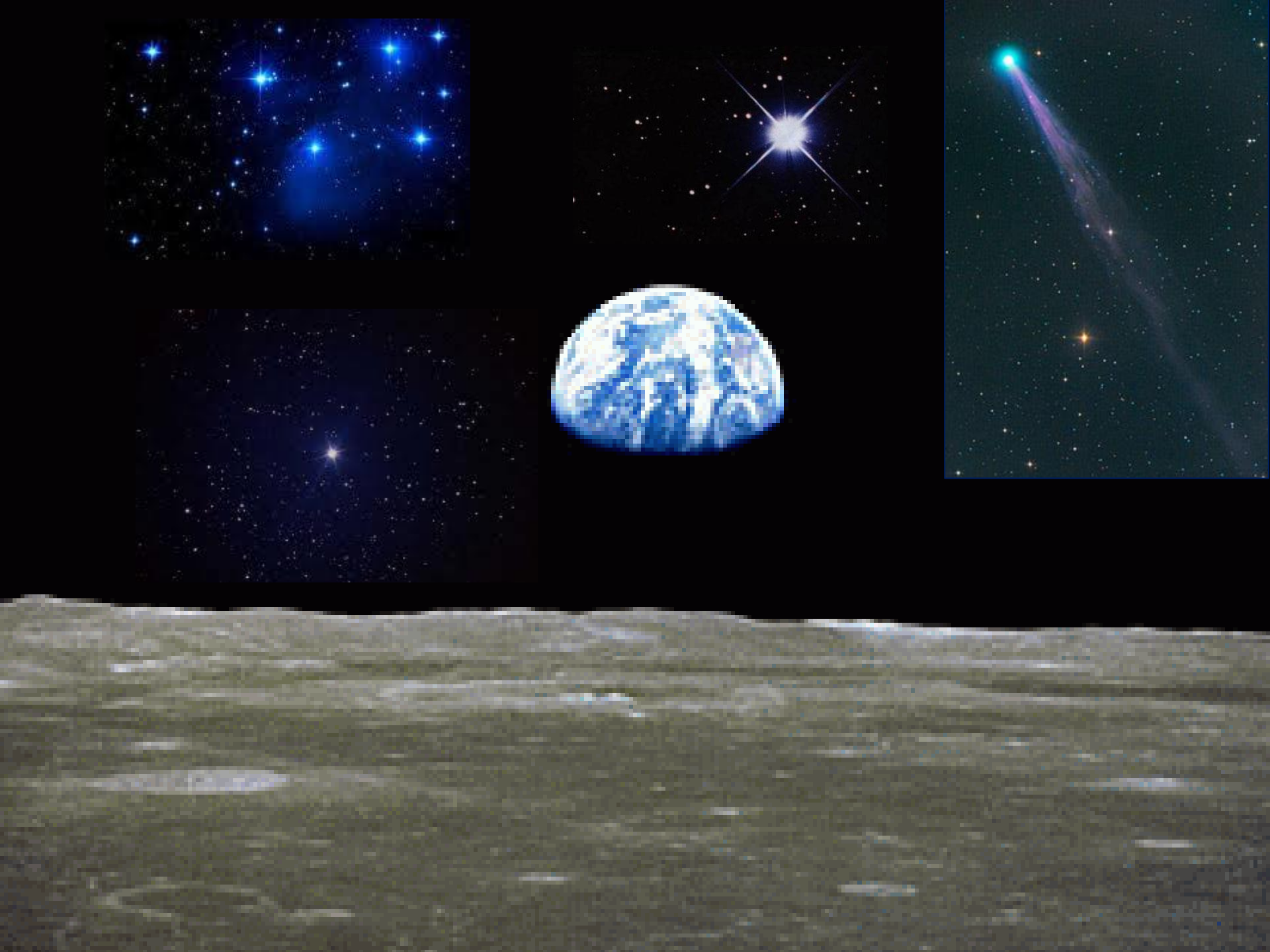
legyen világosság!

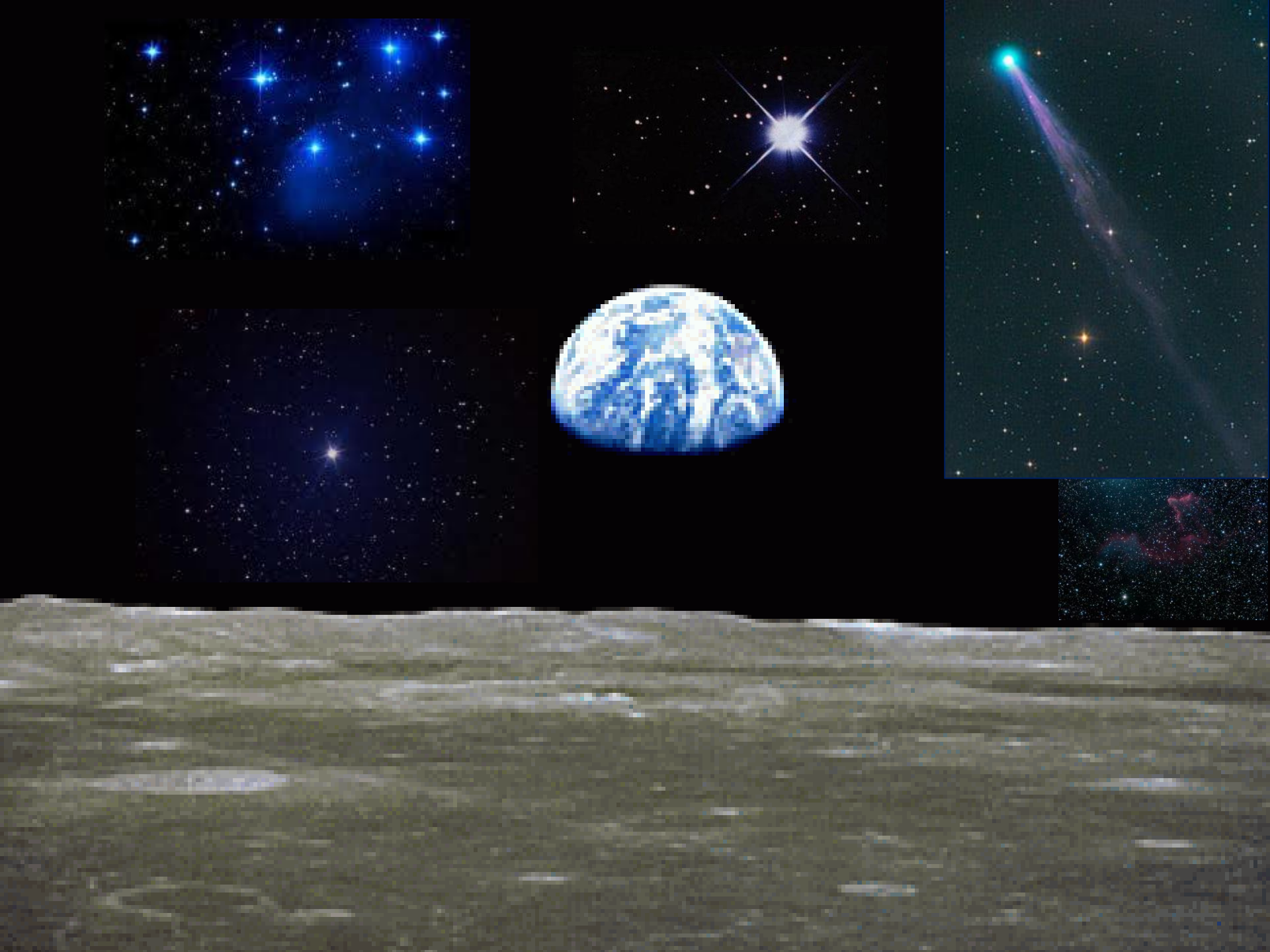


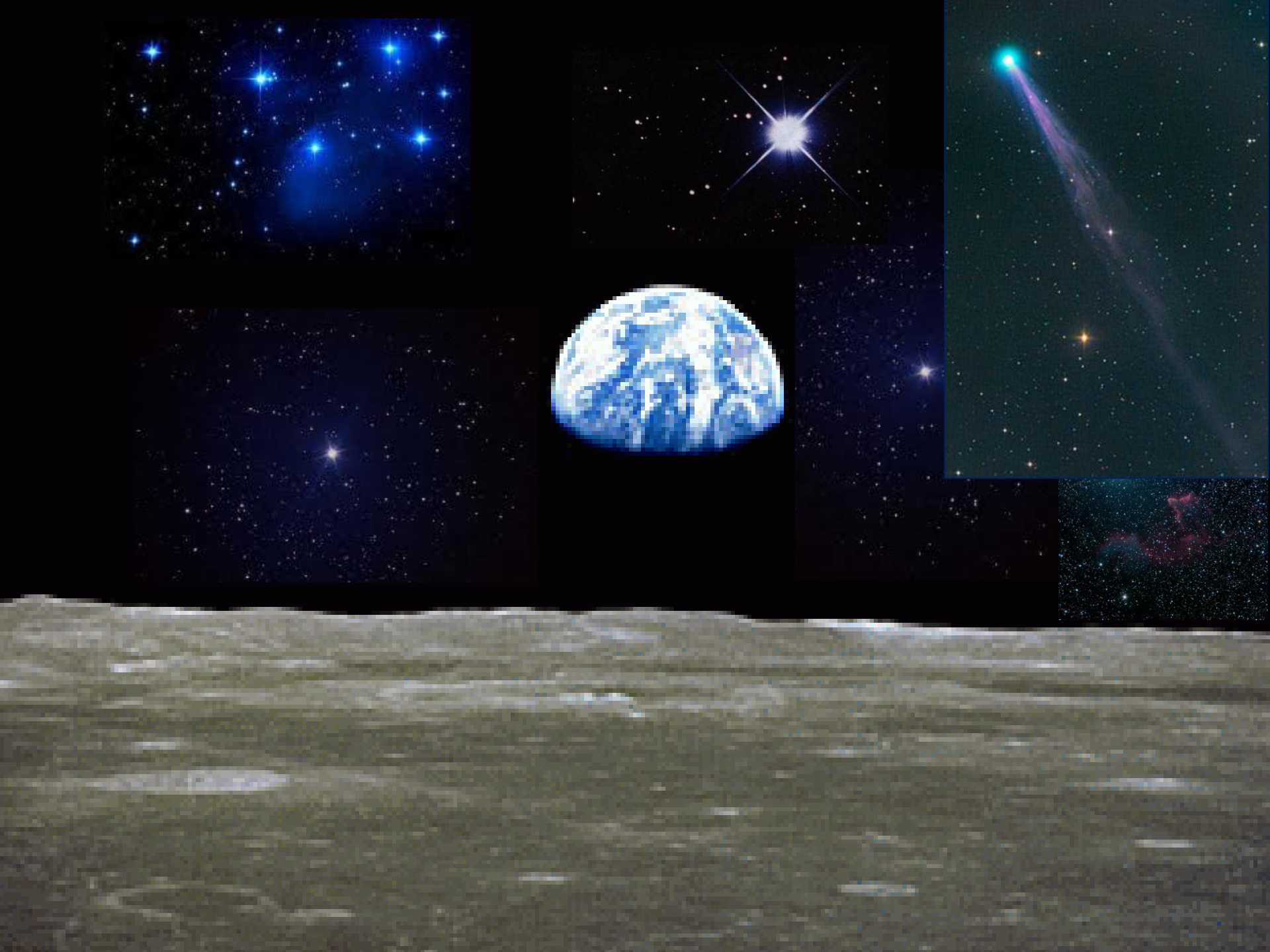


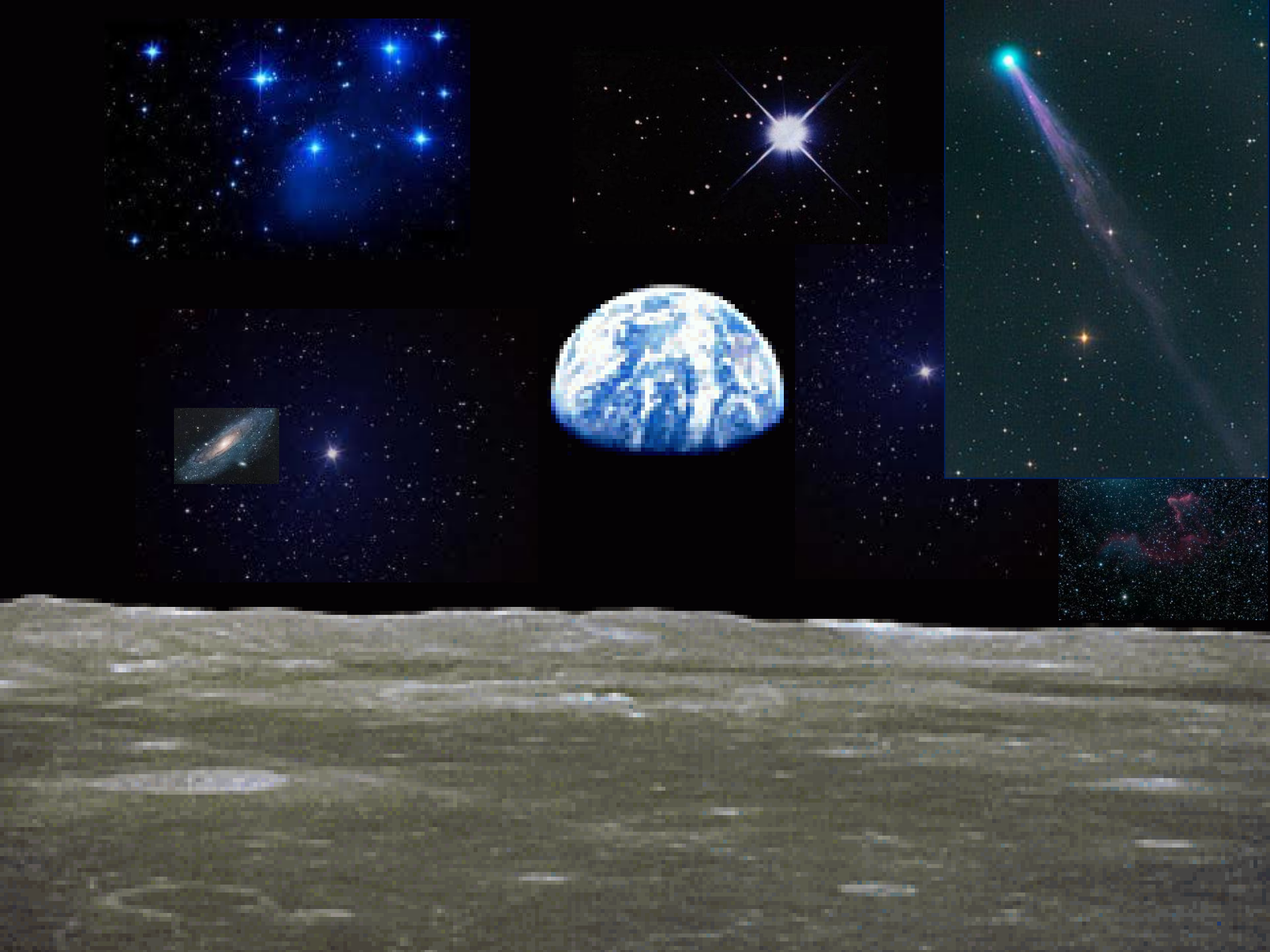


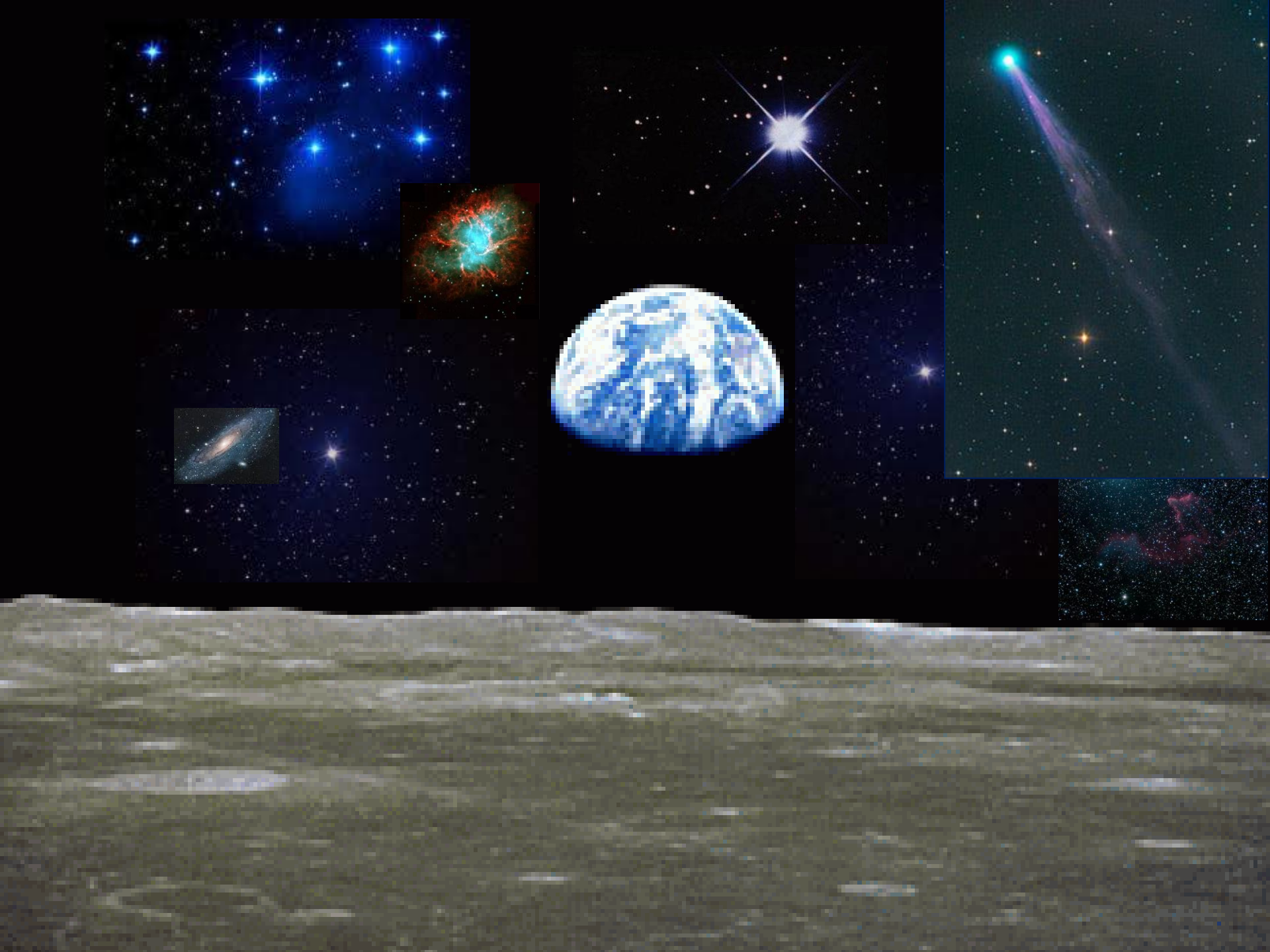






















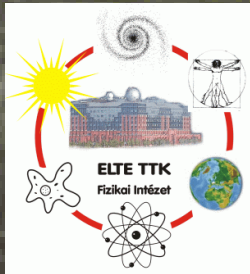


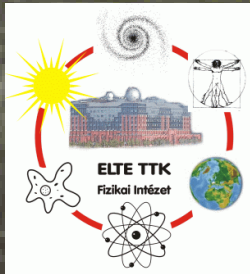




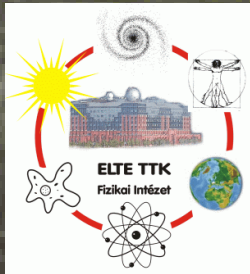








Az atomoktól a csillagokig

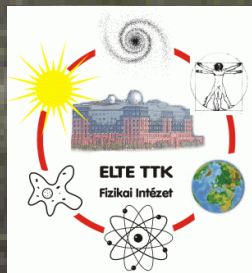


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula



A csillagok fénye 1.

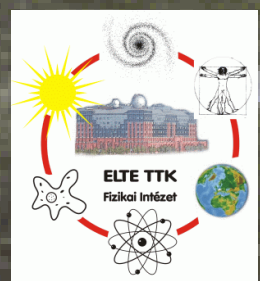


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula



A csillagok fénye 1.

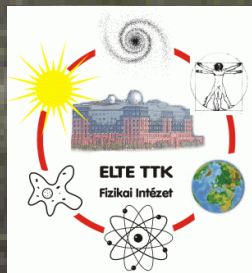


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 01. 21.



A csillagok fénye 1.



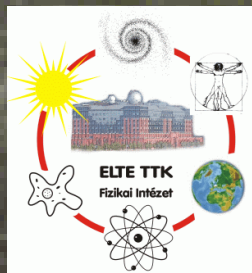
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



A csillagok fénye 2.



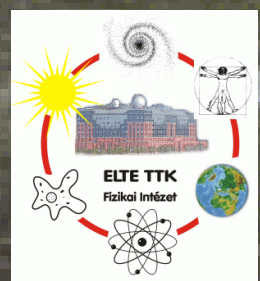
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



A csillagok fénye 2

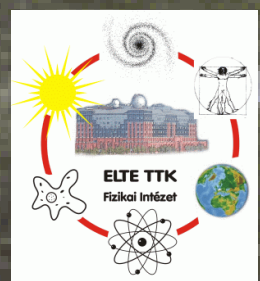


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 09. 08.

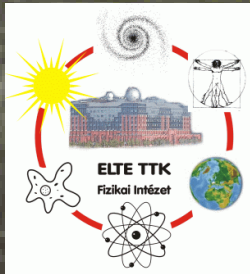
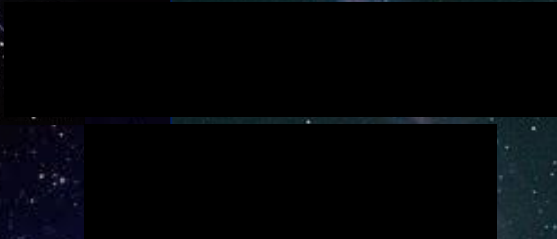
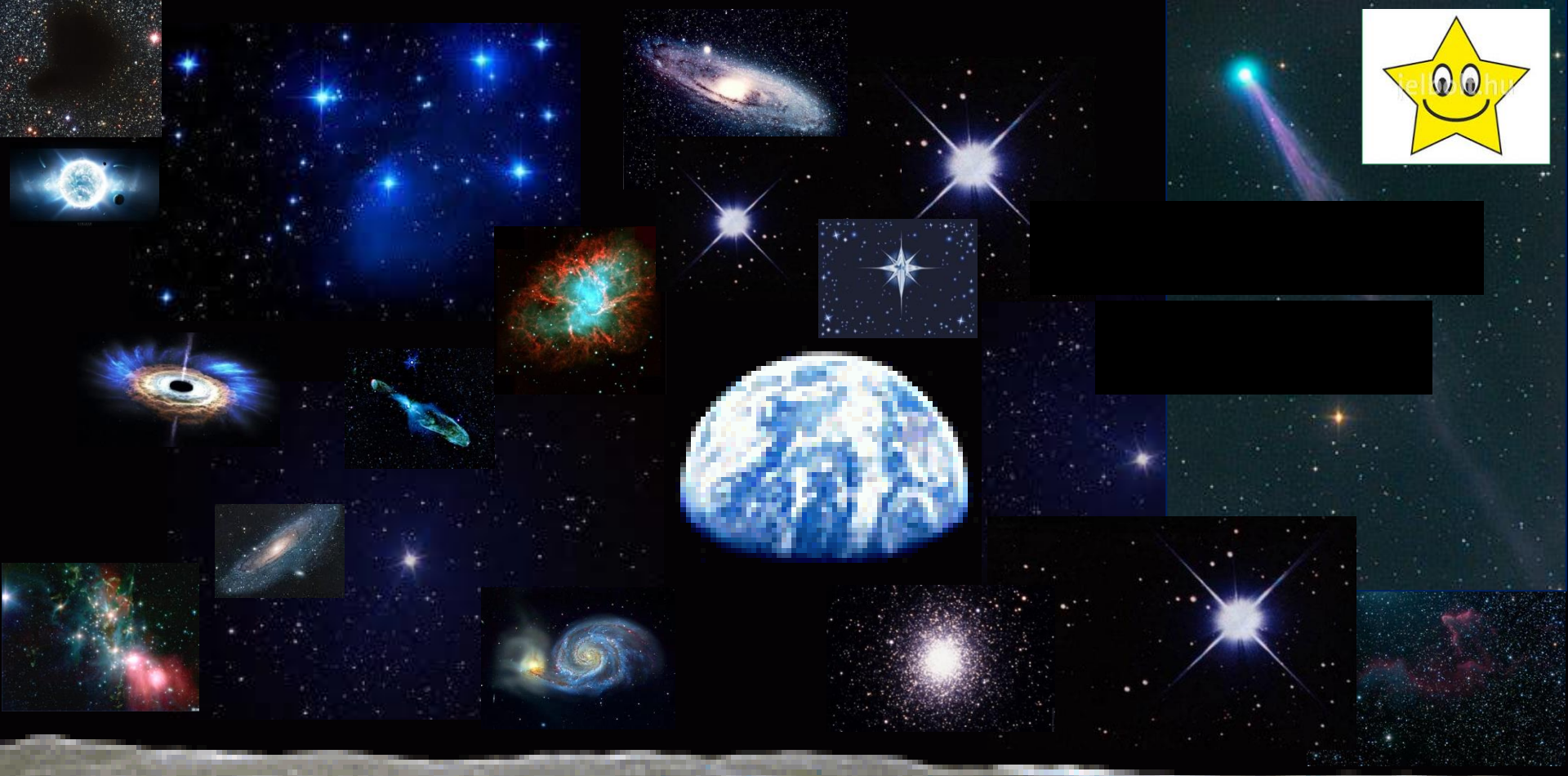


A csillagok



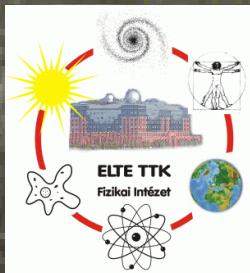
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 09. 08.



Az atomoktól a csillagokig

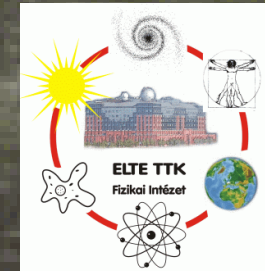
Dávid Gyula
2016. 09. 08.



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



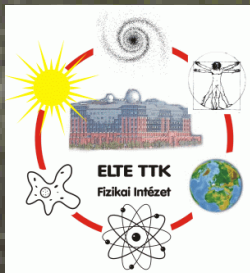
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



az Erő
sötét oldala



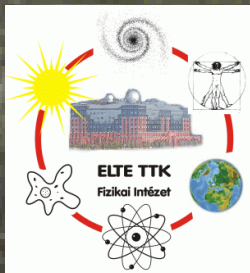
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



az Anyag sötét oldala



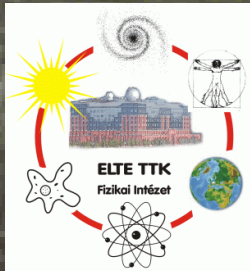
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2016. 09. 08.



Iyag
aldala

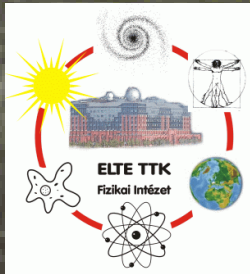


Az atomoktól

David Gyula
2016. 09. 08.



A sötét anyag nyomában

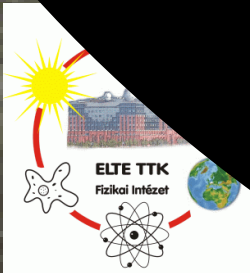


Az atomoktól

David Gyula
2016. 09. 08.



A sötét anyag nyomában



A sötét anyag nyomában

A sötét anyag nyomában

a sötét anyag problémája:

egy elméleti hiány

és

egy kísérleti felesleg

sikeres találkozása



a sötét anyag problémája:

egy elméleti hiány

és

egy kísérleti felesleg

sikeres (vagy sikertelen?) találkozása



a sötét anyag problémája:

egy elméleti hiány

és

egy kísérleti felesleg

sikeres (vagy sikertelen?) találkozása

Nem először a fizika történetében!

a fizikai felfedezések forgatókönyvei:

1/ a kísérletezők találnak egy jelenséget, az elméletiek nem értik

2/ az elméletiek megjósolnak valamit, a kísérletezők sokáig keresik, míg megtalálják

3/ időben nagyjából egybeesik az elméleti magyarázat és a kísérleti felfedezés

- a radioaktivitás felfedezése 1896
- a gravitációs hullámok előrejelzése (1915) és felfedezése (2015)
- Higgs-bozon (1964 – 2012)
- Lamb-shift (QED, 1950)
- kvarkok és partonok (1964 – 73)
- kozmikus háttérsugárzás (1965)



a sötét anyag problémája:

egy elméleti hiány

és

egy kísérleti felesleg

sikeres (vagy sikertelen?) találkozása

Nem először a fizika történetében!

a fizikai felfedezések forgatókönyvei:

1/ a kísérletezők találnak egy jelenséget, az elméletiek nem értik

2/ az elméletiek megjósolnak valamit, a kísérletezők sokáig keresik, míg megtalálják

3/ időben nagyjából egybeesik az elméleti magyarázat és a kísérleti felfedezés

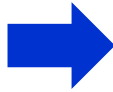
- a radioaktivitás felfedezése 1896
- a gravitációs hullámok előrejelzése (1915) és felfedezése (2015)
- Higgs-bozon (1964 – 2012)
- Lamb-shift (QED, 1950)
- kvarkok és partonok (1964 – 73)
- kozmikus háttérsugárzás (1965)

A mostani kísérleti felfedezés különlegessége:
a felfedezett új dolgot **nem látni!!**

láttál te már elektront?!



Mi is ez a "kísérleti felesleg"?



sok olyan anyag az Univerzumban,
amiről nem tudjuk, hogy miből áll,
honnan származik, hogyan került oda,
milyen kölcsönhatásokban vesz részt...

Egyebek között sötét
(nem fekete, hanem "láthatatlan"),
mert nem világít.



Mi is ez a "kísérleti felesleg"?



No de akkor honnan tudjuk, hogy ez az anyag egyáltalán létezik?

Van egy kölcsönhatás, amiben minden anyag részt vesz:

ez a gravitáció!

Gravitációs hatása a legláthatatlanabb anyagot is elárulja!

Jó tanács bújócskázóknak és rendőröknek: ne bottal, hanem gravitációs detektorokkal üssék a hűlt nyomokat...



sok olyan anyag az Univerzumban, amiről nem tudjuk, hogy miből áll, honnan származik, hogyan került oda, milyen kölcsönhatásokban vesz részt...

Egyebek között sötét (nem fekete, hanem "láthatatlan"), mert nem világít.

Mi is ez a "kísérleti felesleg"?



No de akkor honnan tudjuk, hogy ez az anyag egyáltalán létezik?

Van egy kölcsönhatás, amiben minden anyag részt vesz:

ez a gravitáció!

Gravitációs hatása a legláthatatlanabb anyagot is elárulja!

Jó tanács bújócskázóknak és rendőröknek: ne bottal, hanem gravitációs detektorokkal üssék a hűlt nyomokat...



sok olyan anyag az Univerzumban, amiről nem tudjuk, hogy miből áll, honnan származik, hogyan került oda, milyen kölcsönhatásokban vesz részt...

Egyebek között sötét (nem fekete, hanem "láthatatlan"), mert nem világít.

Megjegyzés:

Newton szerint az anyag gravitációs hatása a **tömegétől** függ.

Einstein általános relativitáselmélete szerint más mennyiségek is beleszólnak (energiaáram, nyomás, nyírófeszültség),

Normál körülmények között ezek elhanyagolhatók, tehát lényegében a **sötét anyag tömegének** a nyomát látjuk.



Honnan ismerjük a testek tömegét?

Melyik tömeget?

$$m a = F = m g = m (GM/r^2)$$



tehetetlen
tömeg



passzív súlyos
tömeg



aktív súlyos
tömeg



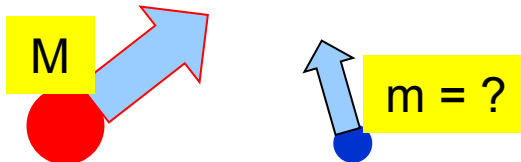
a háromféle tömeg minden testre azonos!

ez az általános relativitáselmélet kiindulópontja

lásd: **dgy: Gravitáció és geometria**
Atomcsill, 2014. szeptember 18.

a tehetetlen
tömeg mérése:

ütközési
kísérlet:



Honnan ismerjük a testek tömegét?

Melyik tömeget?

$$m a = F = m g = m (GM/r^2)$$



tehetetlen
tömeg



passzív súlyos
tömeg



aktív súlyos
tömeg



a háromféle tömeg minden testre azonos!

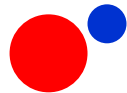
ez az általános relativitáselmélet kiindulópontja

lásd: **dgy: Gravitáció és geometria**
Atomcsill, 2014. szeptember 18.

a tehetetlen
tömeg mérése:

ütközési
kísérlet:

M



m = ?



Honnan ismerjük a testek tömegét?

Melyik tömeget?

$$m a = F = m g = m (GM/r^2)$$



tehetetlen
tömeg



passzív súlyos
tömeg



aktív súlyos
tömeg

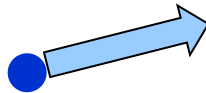
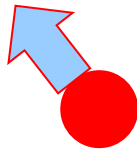


a háromféle tömeg minden testre azonos!

ez az általános relativitáselmélet kiindulópontja

lásd: **dgy: Gravitáció és geometria**
Atomcsill, 2014. szeptember 18.

a tehetetlen
tömeg mérése:



ütközési
kísérlet:

M

m = ?



Honnan ismerjük a testek tömegét?

Melyik tömeget?

$$m a = F = m g = m (GM/r^2)$$



tehetetlen
tömeg



passzív súlyos
tömeg



aktív súlyos
tömeg



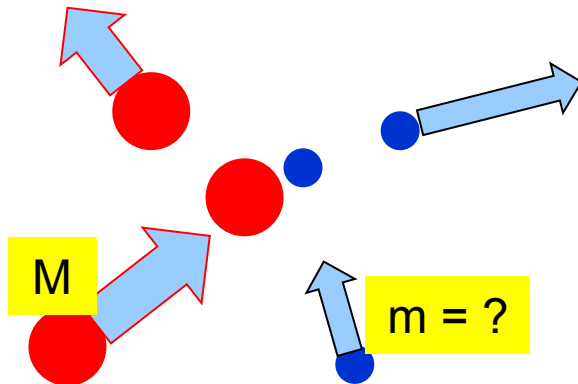
a háromféle tömeg minden testre azonos!

ez az általános relativitáselmélet kiindulópontja

lásd: **dgy: Gravitáció és geometria**
Atomcsill, 2014. szeptember 18.

a tehetetlen
tömeg mérése:

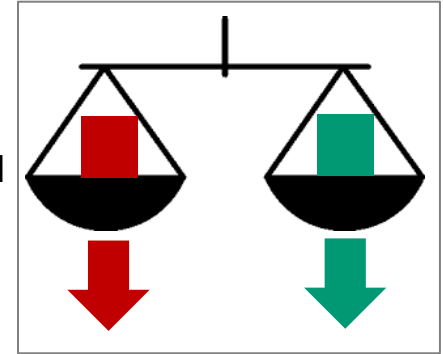
ütközési
kísérlet:



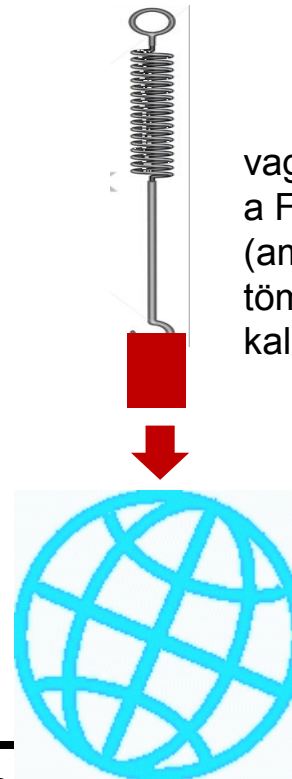
Hát megmérjük mérlegen!

(ez a passzív súlyos tömeg
mérésének módszere)

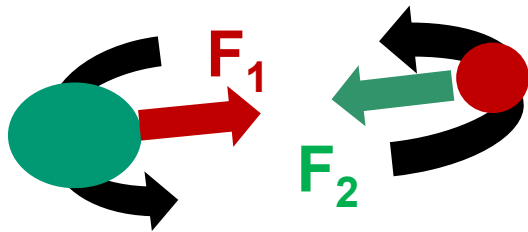
vagy
egyensúlyba
hozzuk
egy standard
tömegeg



vagy kölcsönhatásba hozzuk
a Föld ismert gravitációs terével
(amit előzőleg egy standard
tömegeg, a párizsi szabvány kg-mal
kalibráltunk)



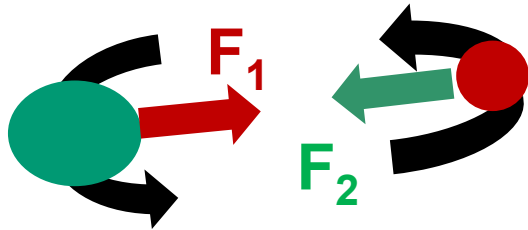
Mi a helyzet **az űrben**,
alátámasztás, ütközés
és standard tömegek nélkül?



a testek egymás gravitációs hatására
görbe pályákon haladnak

**e pályák vizsgálatából következtetni lehet
a ható erőkre,
ezzel a forrásukra, a tömegekre**

Mi a helyzet **az űrben**,
alátámasztás, ütközés
és standard tömegek nélkül?



a testek egymás gravitációs hatására
görbe pályákon haladnak

**e pályák vizsgálatából következtetni lehet
a ható erőkre,
ezzel a forrásukra, a tömegekre**



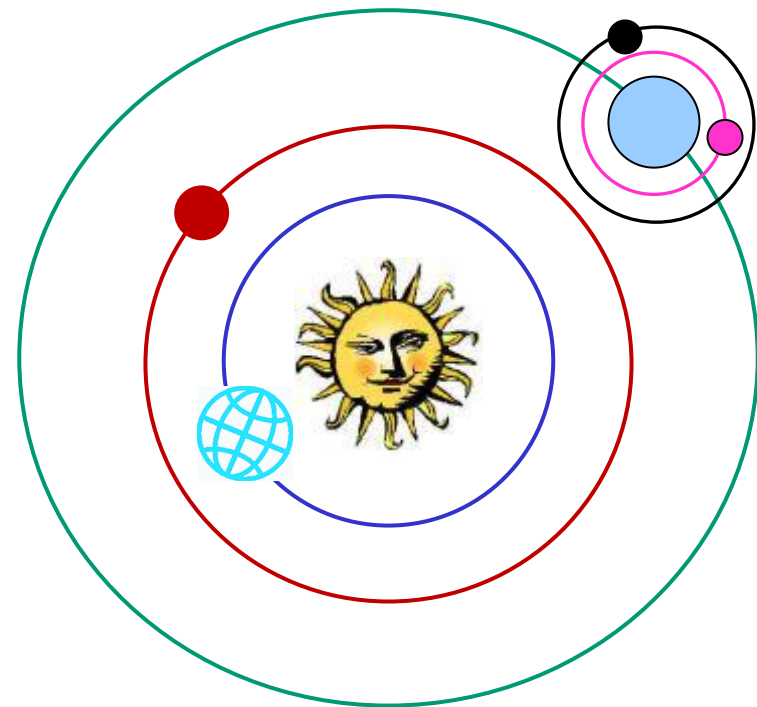
az első tapasztalati szabály:

Kepler harmadik törvénye

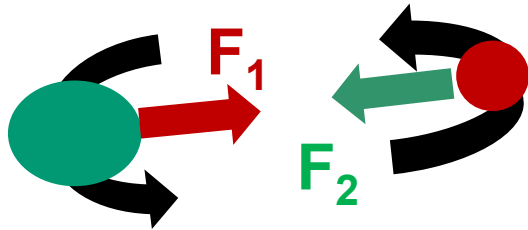
körpályára r a pályasugár
és T a keringési idő

ha $M \gg m_1, m_2$

r^3 arányos T^2 -vel



Mi a helyzet **az űrben**,
alátámasztás, ütközés
és standard tömegek nélkül?



a testek egymás gravitációs hatására
görbe pályákon haladnak

**e pályák vizsgálatából következtetni lehet
a ható erőkre,
ezzel a forrásukra, a tömegekre**

Számoljunk!

$$v = 2\pi r / T$$

$$T = 2\pi r / v$$

ezért r^3 arányos

$$T^2 = (2\pi r / v)^2 = 4\pi^2 r^2 / v^2 \text{-tel}$$

Tehát Kepler szerint
a különböző bolygókra

$$v^2 r = \text{állandó}$$



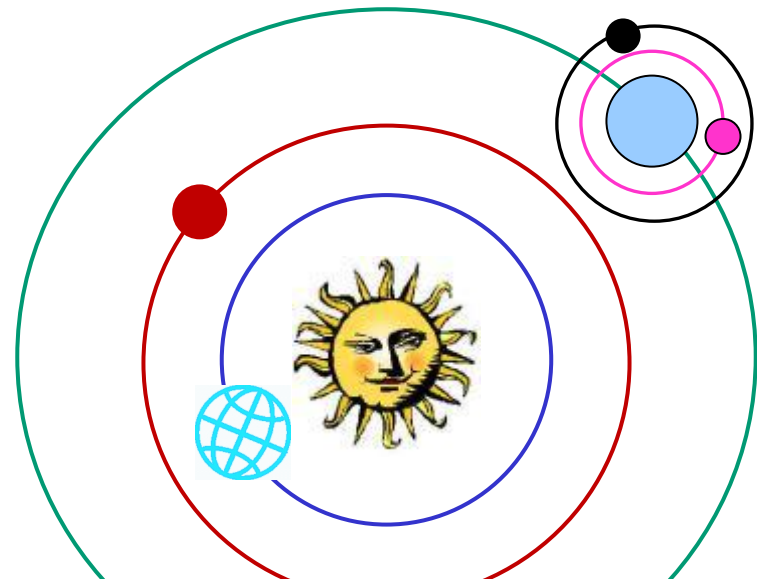
az első tapasztalati szabály:

Kepler harmadik törvénye

körpályára r a pályasugár
és T a keringési idő

ha $M \gg m_1, m_2$

r^3 arányos T^2 -vel

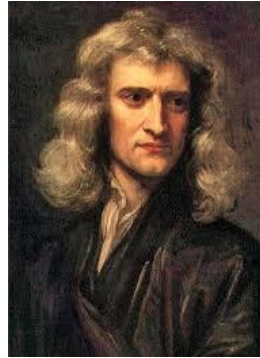


**Ez az állandó más a Napra és a Jupiterre:
valószínűleg a vonzócentrumtól függ!**

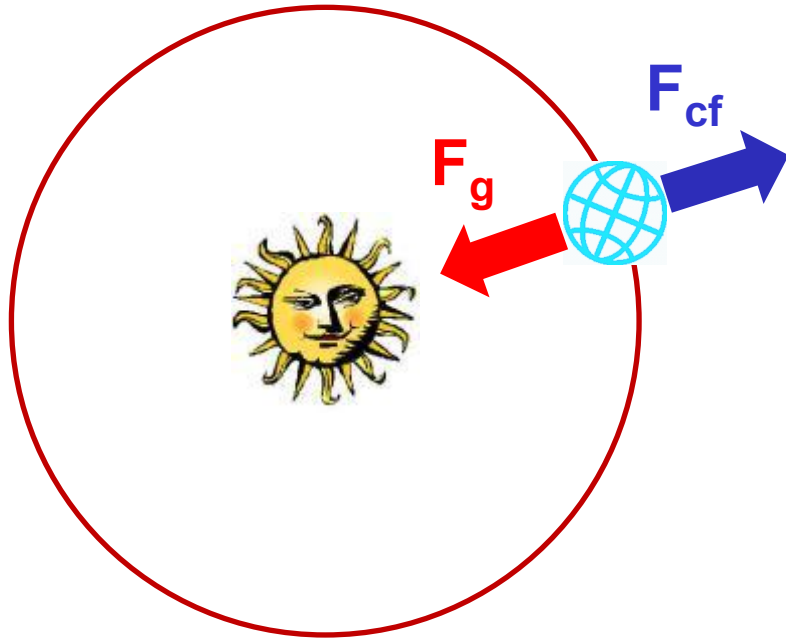




Kepler törvényeit
az égről "olvasta le"

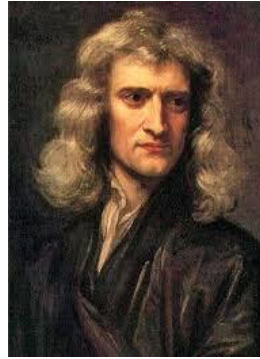


Newton viszont
ugyanezeket levezette
a dinamika és a gravitáció
törvényeiből!



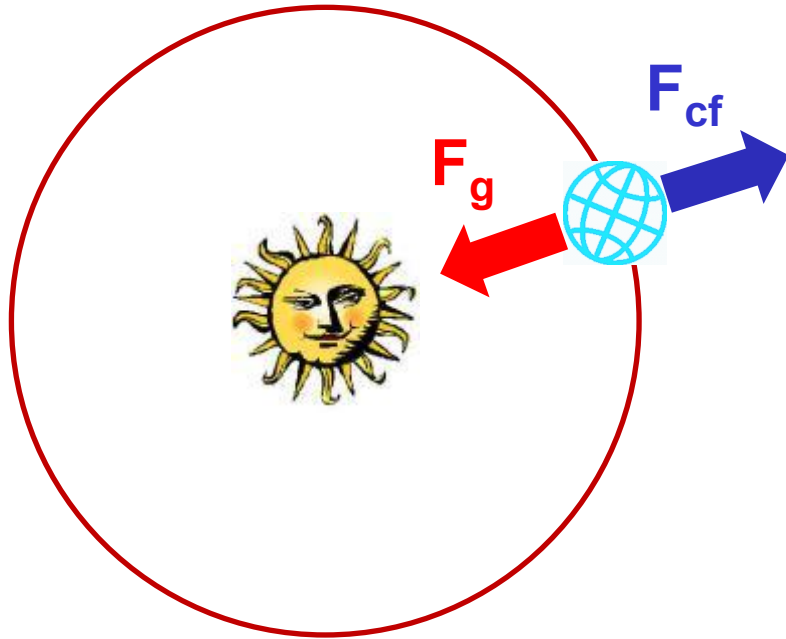


Kepler törvényeit
az égről "olvasta le"



Newton viszont
ugyanezeket levezette
a dinamika és a gravitáció
törvényeiből!

a körpályán a centripetális erőt
a gravitáció biztosítja:



$$ma = mv^2/r = F_{cp} = F_g = GMm/r^2$$

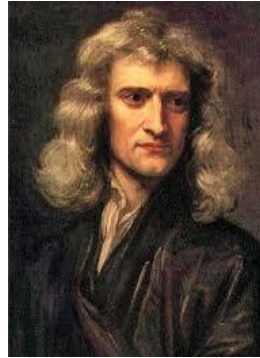
ezért

$$v^2 r = GM$$

ahol **G** az univerzális gravitációs állandó,
M pedig a vonzócentrum tömege

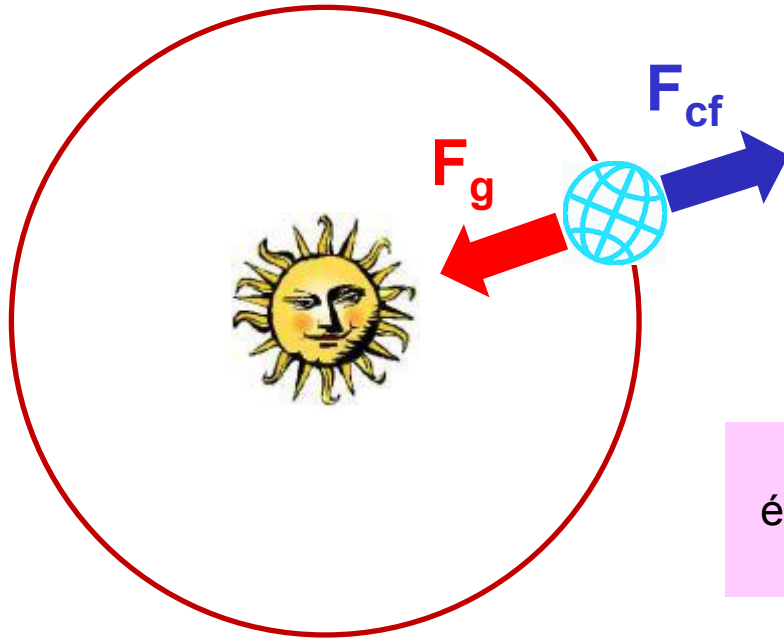


Kepler törvényeit
az égről "olvasta le"



Newton viszont
ugyanezeket levezette
a dinamika és a gravitáció
törvényeiből!

a körpályán a centripetális erőt
a gravitáció biztosítja:



$$ma = mv^2/r = F_{cp} = F_g = GMm/r^2$$

ezért

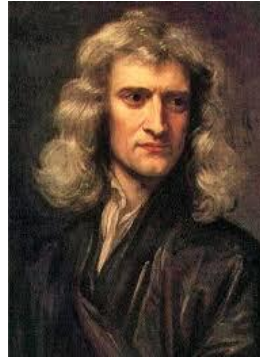
$$v^2 r = GM$$

ahol **G** az univerzális gravitációs állandó,
M pedig a vonzócentrum tömege

ha tehát megmérjük a bolygó **r** pályasugarát
és **v** pálya menti sebességét (vagy **T** keringési idejét),
kiszámíthatjuk a vonzócentrum **M** tömegét

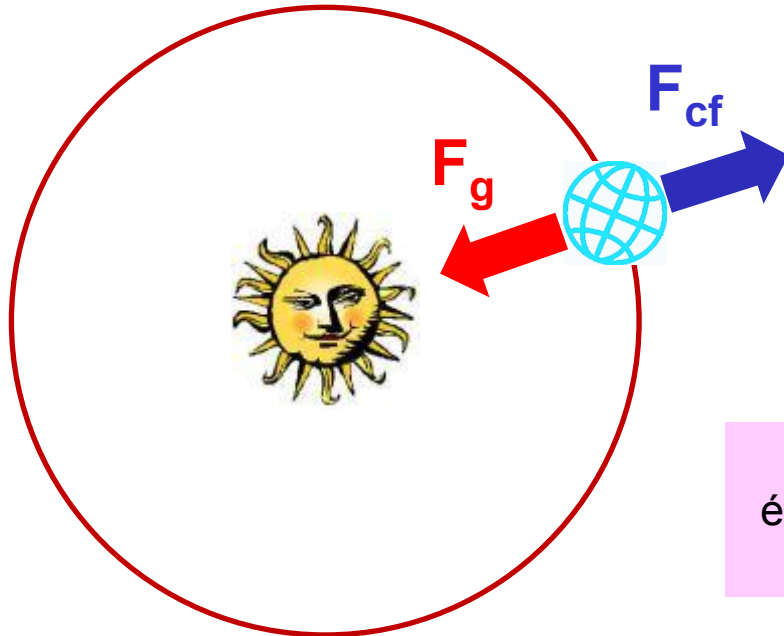


Kepler törvényeit az égről "olvasta le"



Newton viszont ugyanezeket levezette a dinamika és a gravitáció törvényeiből!

a körpályán a centripetális erőt a gravitáció biztosítja:



$$ma = mv^2/r = F_{cp} = F_g = GMm/r^2$$

ezért

$$v^2 r = GM$$

ahol **G** az univerzális gravitációs állandó, **M** pedig a vonzócentrum tömege

ha tehát megmérjük a bolygó **r** pályasugarát és **v** pálya menti sebességét (vagy **T** keringési idejét), kiszámíthatjuk a vonzócentrum **M** tömegét

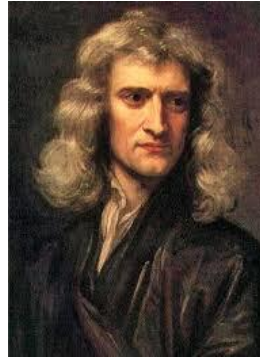
a Naprendszer vizsgálatából kiszámíthatjuk a Nap és a Jupiter tömegének hányadosát, de magukat a tömegeket nem!

$$M_N / M_J = (v^2 r)_N / (v^2 r)_J \cong 1000$$



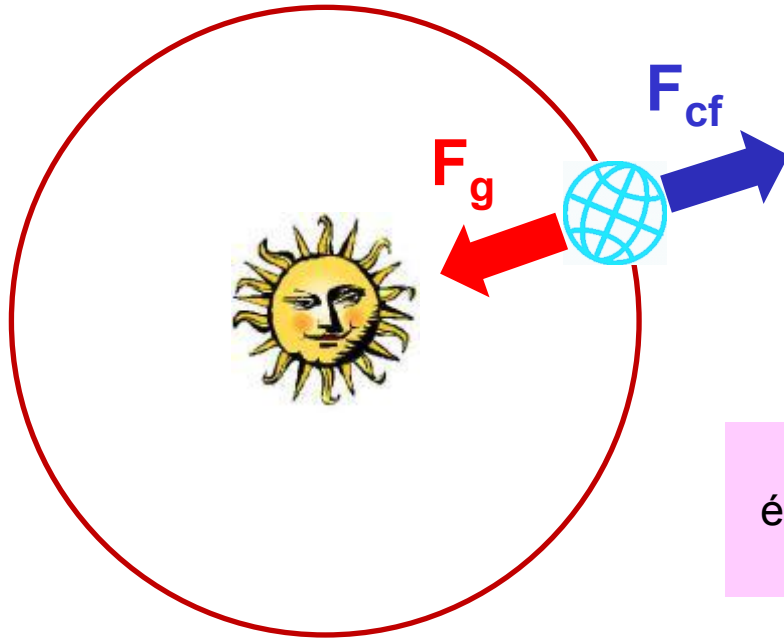


Kepler törvényeit az égről "olvasta le"



Newton viszont ugyanezeket levezette a dinamika és a gravitáció törvényeiből!

a körpályán a centripetális erőt a gravitáció biztosítja:



$$ma = mv^2/r = F_{cp} = F_g = GMm/r^2$$

ezért

$$v^2 r = GM$$

ahol **G** az univerzális gravitációs állandó, **M** pedig a vonzócentrum tömege

ha tehát megmérjük a bolygó **r** pályasugarát és **v** pálya menti sebességét (vagy **T** keringési idejét), kiszámíthatjuk a vonzócentrum **M** tömegét

a Naprendszer vizsgálatából kiszámíthatjuk a Nap és a Jupiter tömegének hányadosát, de magukat a tömegeket nem!

$$M_N / M_J = (v^2 r)_N / (v^2 r)_J \cong 1000$$

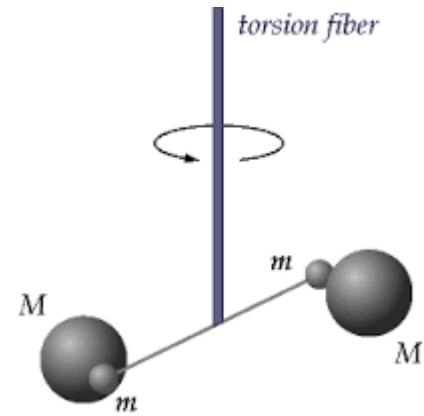
De honnan ismerjük a **G** gravitációs állandót?

Meg kell mérni a Földön!



De honnan ismerjük
a **G** gravitációs állandót?

Meg kell mérni a Földön!

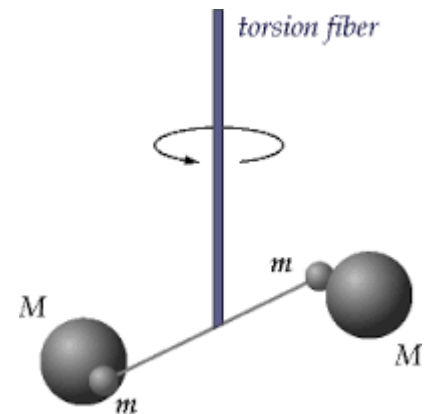


H. Cavendish

Henry Cavendish (1731 – 1810)
G mérése torziós ingával: 1798

De honnan ismerjük
a **G** gravitációs állandót?

Meg kell mérni a Földön!



H. Cavendish

G nagyon kicsi –
nagy tömegek
kis elmozdulásának
pontos mérése
szükséges



ennek
nagy mestere volt
Eötvös Loránd
(1848 – 1919)

Henry Cavendish (1731 – 1810)

G mérése torziós ingával: 1798

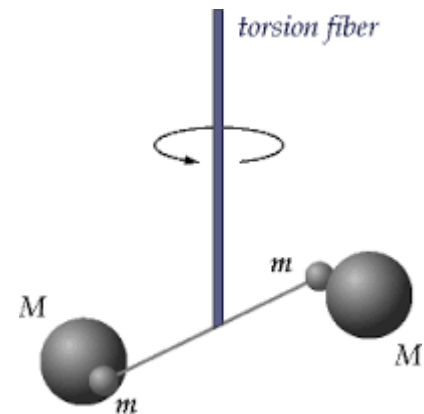
lásd: **Cserti József:**
Eötvös Loránd és a gravitáció
Atomcsill, 2014. szeptember 11.

lásd: **Skrapits Lajos:**
A gravitációs kút és az inga
Atomcsill, 2010. október 14.



De honnan ismerjük
a **G** gravitációs állandót?

Meg kell mérni a Földön!



H. Cavendish

G nagyon kicsi –
nagy tömegek
kis elmozdulásának
pontos mérése
szükséges



ennek
nagy mestere volt
Eötvös Loránd
(1848 – 1919)

Henry Cavendish (1731 – 1810)

G mérése torziós ingával: 1798

$$G = 6,67408 * 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$$

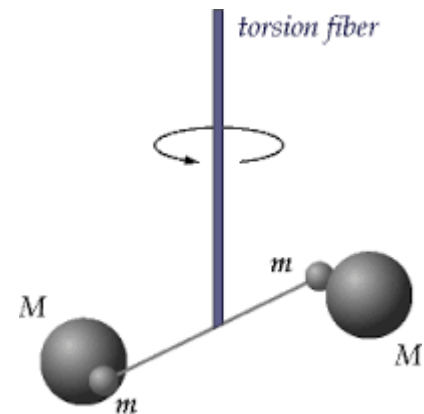
lásd: **Cserti József:**
Eötvös Loránd és a gravitáció
Atomcsill, 2014. szeptember 11.

lásd: **Skrapits Lajos:**
A gravitációs kút és az inga
Atomcsill, 2010. október 14.



De honnan ismerjük
a **G** gravitációs állandót?

Meg kell mérni a Földön!



H. Cavendish

G nagyon kicsi –
nagy tömegek
kis elmozdulásának
pontos mérése
szükséges



ennek
nagy mestere volt
Eötvös Loránd
(1848 – 1919)

Henry Cavendish (1731 – 1810)

G mérése torziós ingával: 1798

$$G = 6,67408 * 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$$

ennek alapján már kiszámíthatjuk a
Nap, a Jupiter és bármely más
gravitációs vonzócentrum tömegét

$$M_{\text{Nap}} = 1,99 * 10^{30} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Jupiter}} = 1,90 * 10^{27} \text{ kg}$$

lásd: **Cserti József:**
Eötvös Loránd és a gravitáció
Atomcsill, 2014. szeptember 11.

lásd: **Skrapits Lajos:**
A gravitációs kút és az inga
Atomcsill, 2010. október 14.



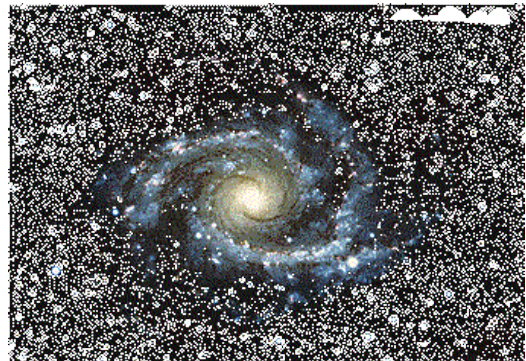
ezzel a módszerrel számítják ki
az exobolygók pályájából
a csillaguk tömegét



Még nagyobb objektumok:

Galaxisok

Csillagok százmilliárdjai,
egymás kölcsönös
gravitációs terében





Még nagyobb objektumok:

Galaxisok

Csillagok százmillárdjai,
egymás kölcsönös
gravitációs terében



Mennyi a tömege
egy galaxisnak?

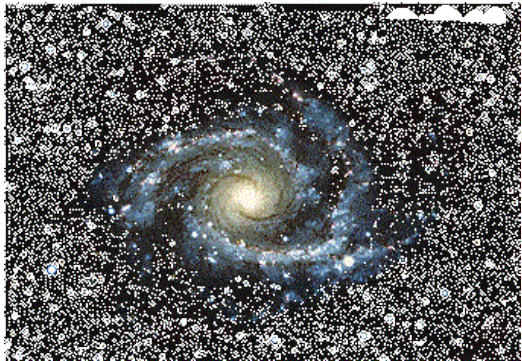
Számoljuk meg
az alkotórészeket
(csillagok, bolygók)
és szorozzuk meg
egy csillag tömegét
a számukkal!



ez a látható
(avagy világító)
anyag tömege

vagy alkalmazzuk
(megfelelő módosítással)
Kepler 3. törvényét!

utána hasonlítsuk össze a kétféle eredményt!



Mennyi a látható anyag egy galaxisban?

A csillagok tömege

$$M_{\text{Nap}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Nap}} = 1,2 \cdot 10^{57} m_{\text{proton}}$$



Mennyi a látható anyag egy galaxisban?

A csillagok tömege

$$M_{\text{Nap}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Nap}} = 1,2 \cdot 10^{57} m_{\text{proton}}$$

elméleti számítás: egy csillag kb.

$$N = \left(\frac{h c}{G m^2} \right)^{3/2} \approx 10^{57}$$

darab H-atomból áll

plusz/mínusz egy nagyságrend



Mennyi a látható anyag egy galaxisban?

A csillagok tömege

$$M_{\text{Nap}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Nap}} = 1,2 \cdot 10^{57} m_{\text{proton}}$$

A galaxisokban a csillagok sűrűsége
megbecsülhető,
így az összes csillag száma is:

kb. 100 – 1000 milliárd
azaz $10^{11} - 10^{12}$

elméleti számítás: egy csillag kb.

$$N = \left(\frac{h c}{G m^2} \right)^{3/2} \approx 10^{57}$$

darab H-atomból áll

plusz/mínusz egy nagyságrend

Mennyi a látható anyag egy galaxisban?

A csillagok tömege

$$M_{\text{Nap}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Nap}} = 1,2 \cdot 10^{57} m_{\text{proton}}$$

A galaxisokban a csillagok sűrűsége
megbecsülhető,
így az összes csillag száma is:

kb. 100 – 1000 milliárd
azaz $10^{11} - 10^{12}$

elméleti számítás: egy csillag kb.

$$N = \left(\frac{h c}{G m^2} \right)^{3/2} \approx 10^{57}$$

darab H-atomból áll

plusz/mínusz egy nagyságrend

Van még benne gáz, por,
bolygók, kialudt csillagok,
fekete lyukak...

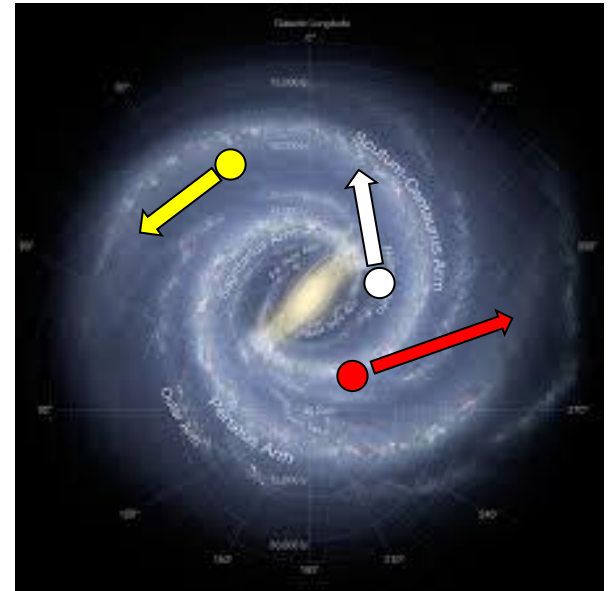
ezért egy galaxis becsült tömege
kb. $10^{41} - 10^{42} \text{ kg}$



Hogyan alkalmazhatjuk
Kepler 3. törvényét,
ha a vonzócentrum
nem pontszerű,
hanem kiterjedt objektum?

Esetleg túlnyúlik
a keringő test pályáján?

Ez a helyzet
a galaxisok esetében!



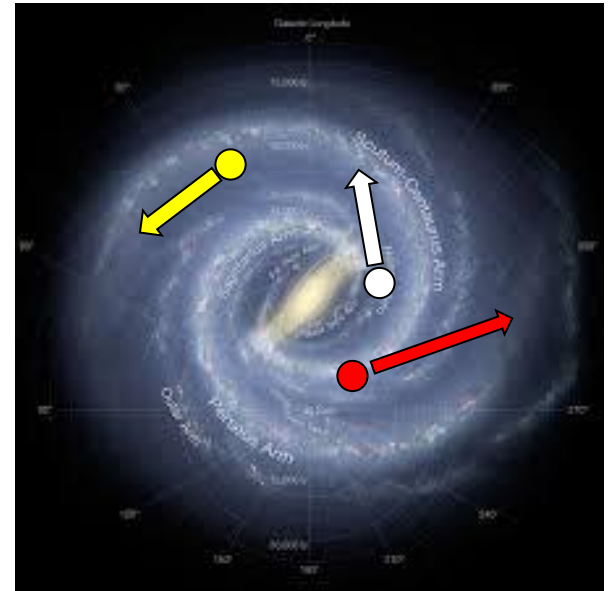
Hogyan alkalmazhatjuk
Kepler 3. törvényét,
ha a vonzócentrum
nem pontszerű,
hanem kiterjedt objektum?

Esetleg túlnyúlik
a keringő test pályáján?

Ez a helyzet
a galaxisok esetében!

Newton gravitációs törvénye most is segít!

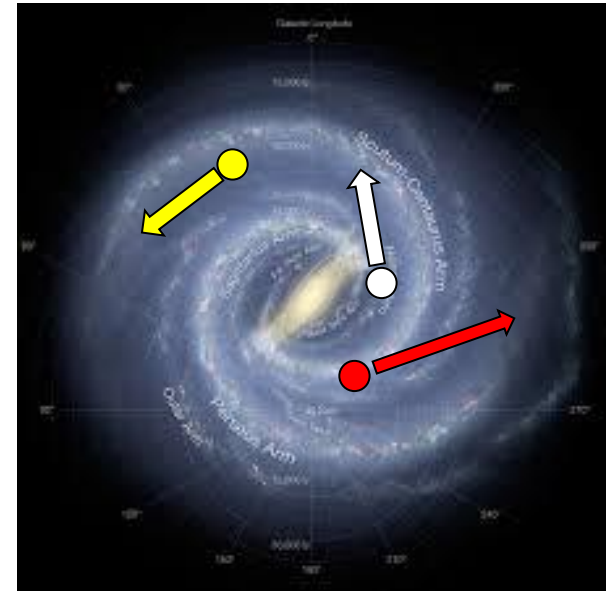
Két közvetlen következménye:



Hogyan alkalmazhatjuk Kepler 3. törvényét, ha a vonzócentrum nem pontszerű, hanem kiterjedt objektum?

Esetleg túlnyúlik a keringő test pályáján?

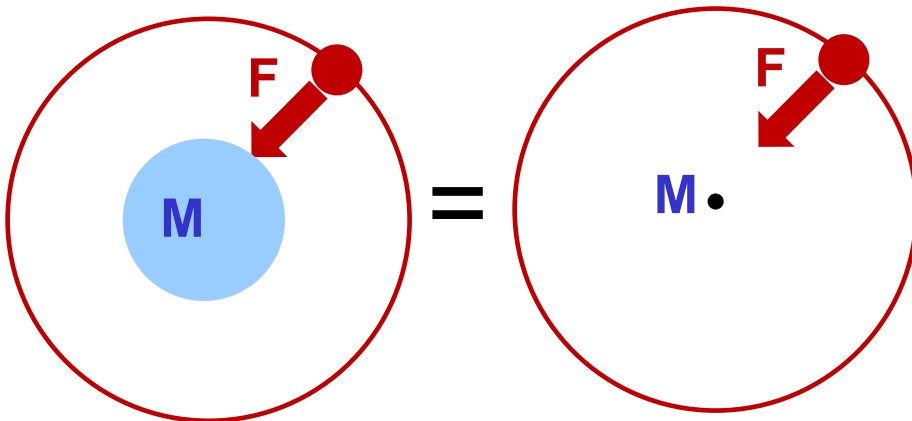
Ez a helyzet a galaxisok esetében!



Newton gravitációs törvénye most is segít!

Két közvetlen következménye:

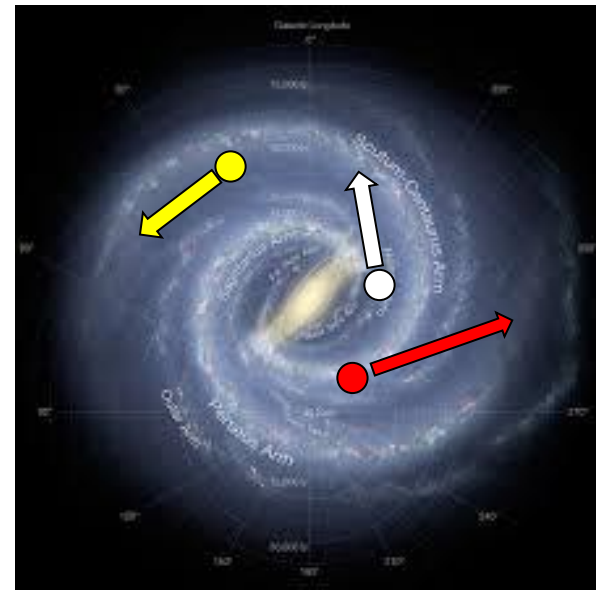
1/ Kiterjedt gömbszimmetrikus testen kívül a gravitációs tér **PONTOSAN** olyan, mint egy ugyanakkora tömegű, pontszerű test körül



Hogyan alkalmazhatjuk Kepler 3. törvényét, ha a vonzócentrum nem pontszerű, hanem kiterjedt objektum?

Esetleg túlnyúlik a keringő test pályáján?

Ez a helyzet a galaxisok esetében!

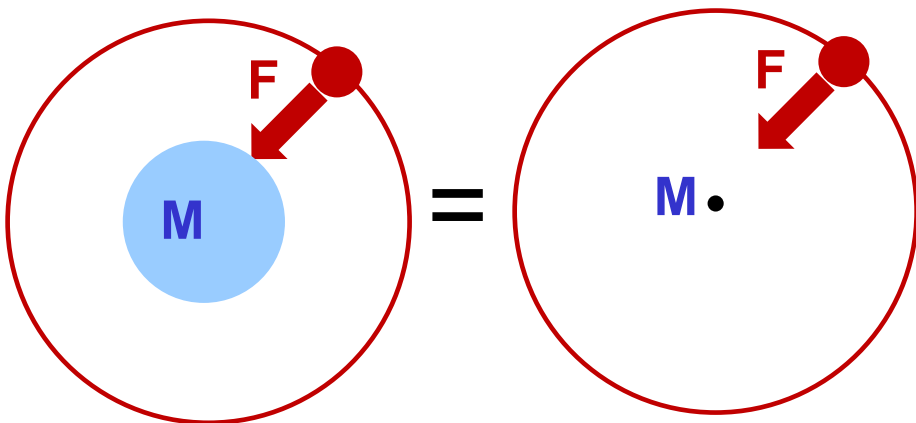
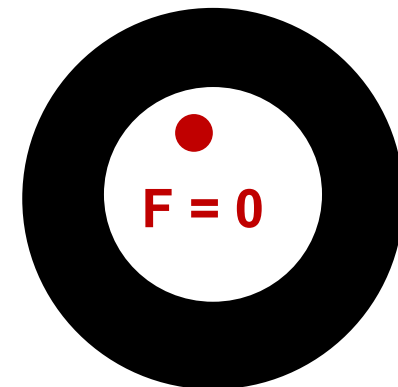


Newton gravitációs törvénye most is segít!

Két közvetlen következménye:

1/ Kiterjedt göbbszimmetrikus testen kívül a gravitációs tér **PONTOSAN** olyan, mint egy ugyanakkora tömegű, pontszerű test körül

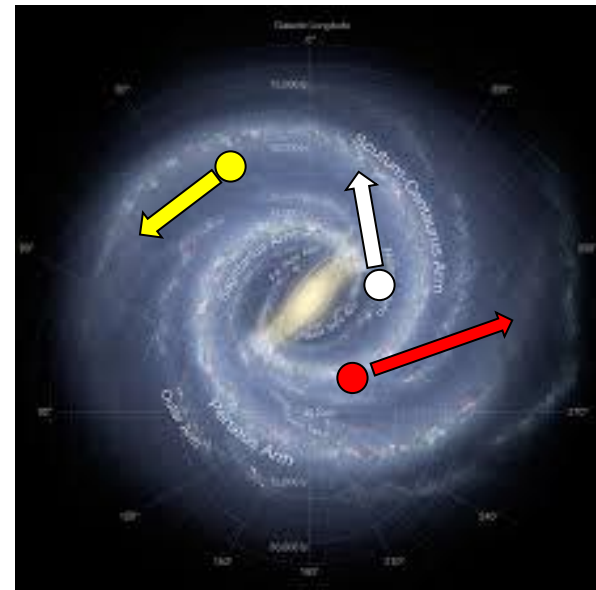
2/ Gömbhéjon belül a gravitációs tér nulla



Hogyan alkalmazhatjuk Kepler 3. törvényét, ha a vonzócentrum nem pontszerű, hanem kiterjedt objektum?

Esetleg túlnyúlik a keringő test pályáján?

Ez a helyzet a galaxisok esetében!

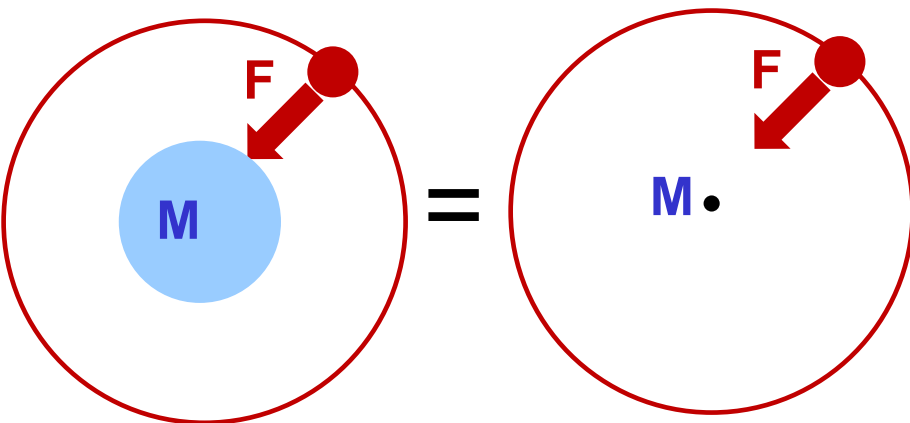
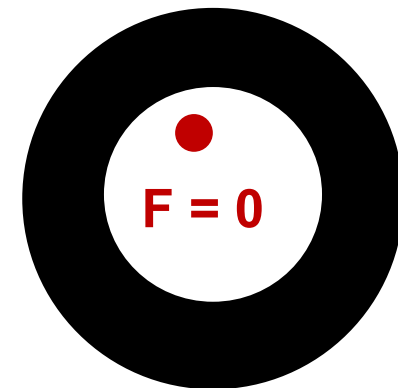


Newton gravitációs törvénye most is segít!

Két közvetlen következménye:

1/ Kiterjedt göbbszimmetrikus testen kívül a gravitációs tér **PONTOSAN** olyan, mint egy ugyanakkora tömegű, pontszerű test körül

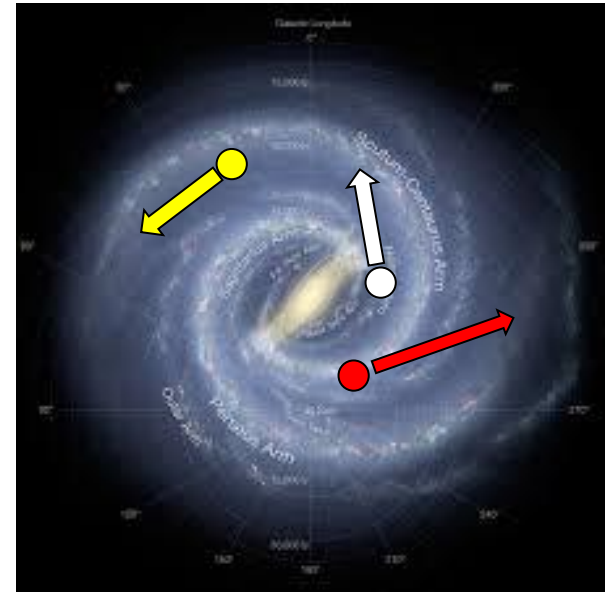
2/ Gömbhéjon belül a gravitációs tér nulla



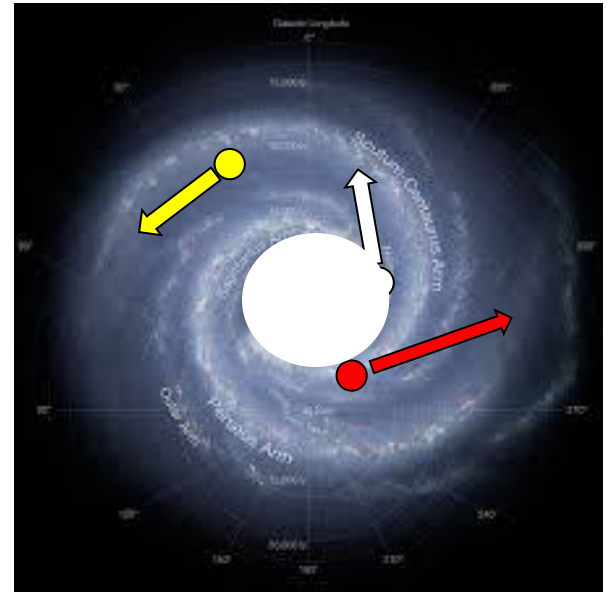
Következmény:
göbbszerű felhőben keringő testre csak a pályán belüli anyag vonzása hat



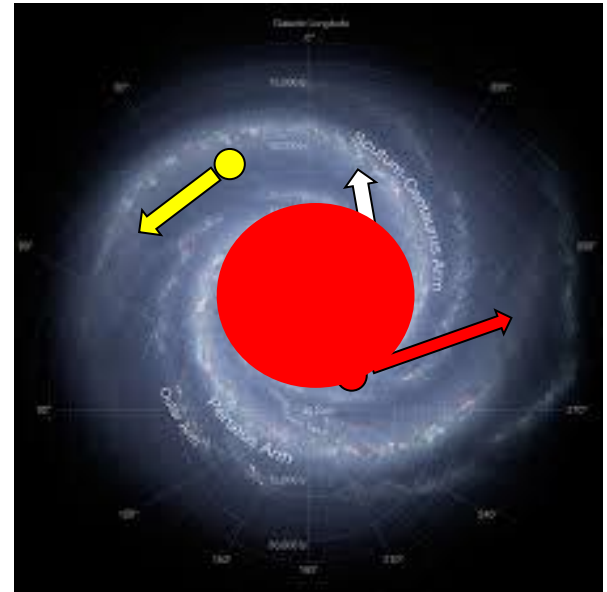
Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat

az ördög ügyvédje:
a galaxisok nem gömbszimmetrikusok...
én: kicsire nem nézünk!



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat

az ördög ügyvédje:
a galaxisok nem gömbszimmetrikusok...
én: kicsire nem nézünk!

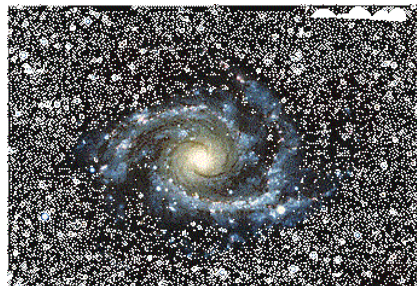
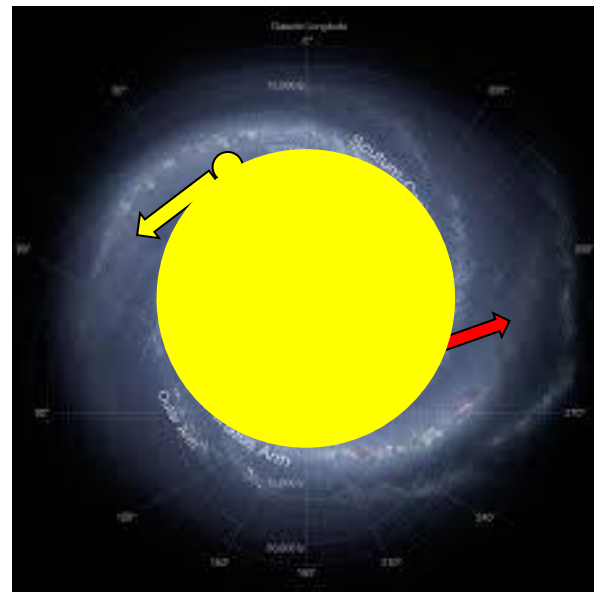
Ha tehát a galaxisban különböző csillagokra
megmérjük a $v^2 r$ mennyiséget, ezzel megkapjuk
az r sugarú pályán belüli tömeget, $M(r)$ -et –
így feltérképezhetjük a galaxisok tömegeloszlását!



Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat

az ördög ügyvédje:
a galaxisok nem gömbszimmetrikusok...
én: kicsire nem nézünk!

Ha tehát a galaxisban különböző csillagokra
megmérjük a $v^2 r$ mennyiséget, ezzel megkapjuk
az r sugarú pályán belüli tömeget, $M(r)$ -et –
így feltérképezhetjük a galaxisok tömegeloszlását!



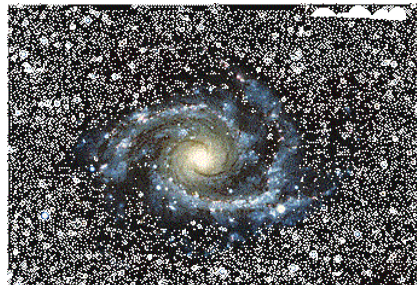
Technikai nehézségek:

- a csillag keringési ideje?
túl hosszú.. (Nap: 200 millió év):
- a csillag keringési sebessége
Doppler-effektussal jól mérhető
- de csak a felénk mutató komponens!
- a csillag keringési pályájának sugara:
csak merőleges rálátással mérhető jól

Következmény:
gömbszerű felhőben keringő testre
csak a pályán belüli anyag vonzása hat

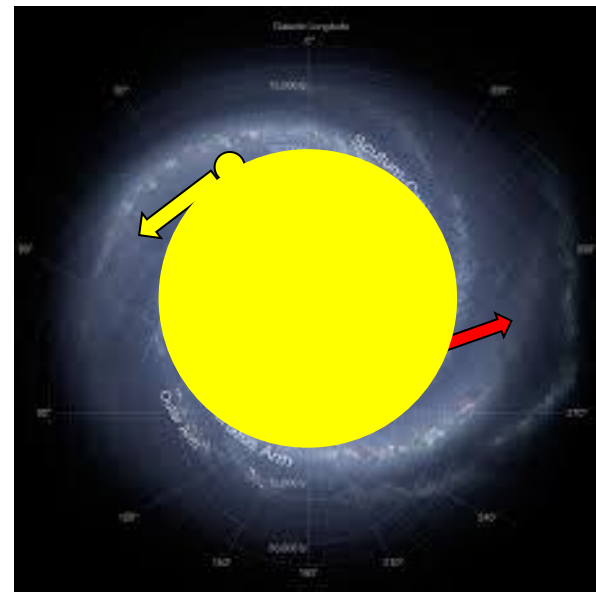
az ördög ügyvédje:
a galaxisok nem gömbszimmetrikusok...
én: kicsire nem nézünk!

Ha tehát a galaxisban különböző csillagokra
megmérjük a $v^2 r$ mennyiséget, ezzel megkapjuk
az r sugarú pályán belüli tömeget, $M(r)$ -et –
így feltérképezhetjük a galaxisok tömegeloszlását!



Technikai nehézségek:

- a csillag keringési ideje?
túl hosszú.. (Nap: 200 millió év):
- a csillag keringési sebessége
Doppler-effektussal jól mérhető
- de csak a felénk mutató komponens!
- a csillag keringési pályájának sugara:
csak merőleges rálátással mérhető jól



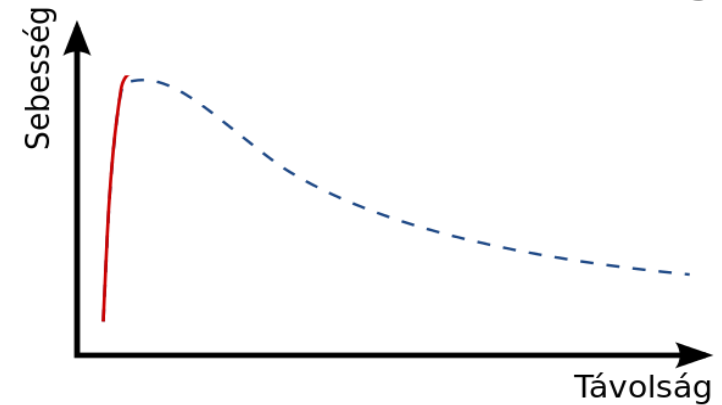
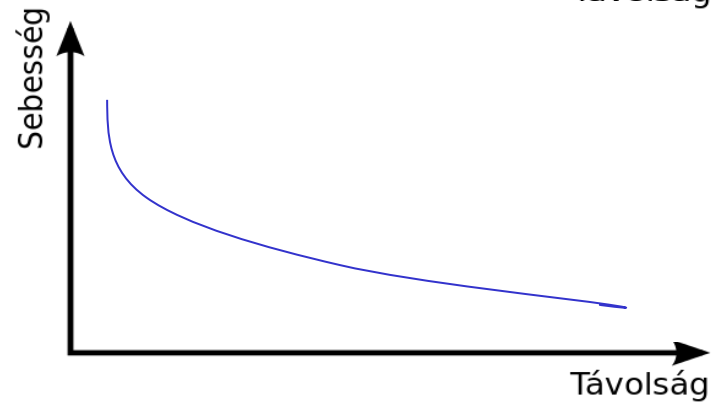
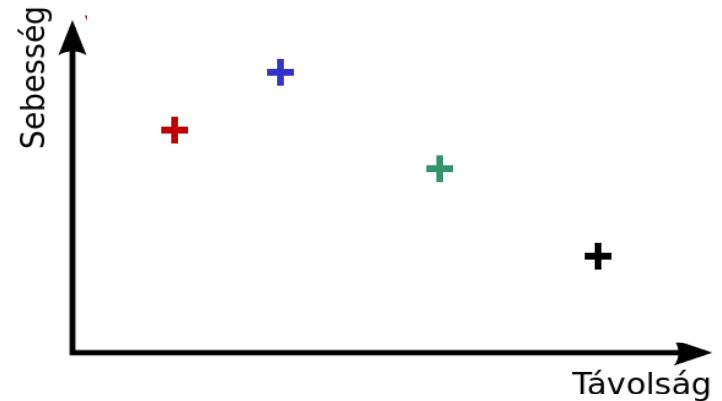
Kompromisszum: **ferde rálátás**
a dőlésszög az ellipszisnek látszó
korongból számolható ki



túl a technikai nehézségeken:
megvan a $v(r)$ diagram

pontszerű centrum esetén:
 $v^2 = GM/r$

elméletileg számolt görbe
galaxisok csillageloszlására

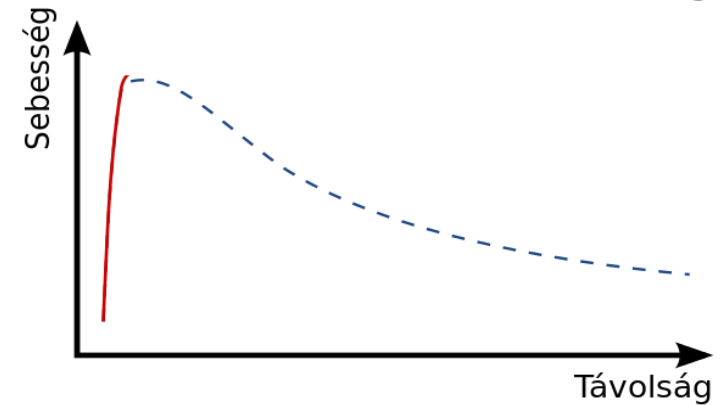
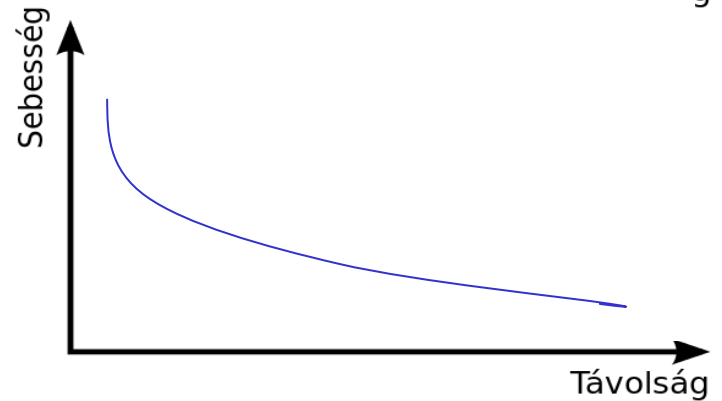
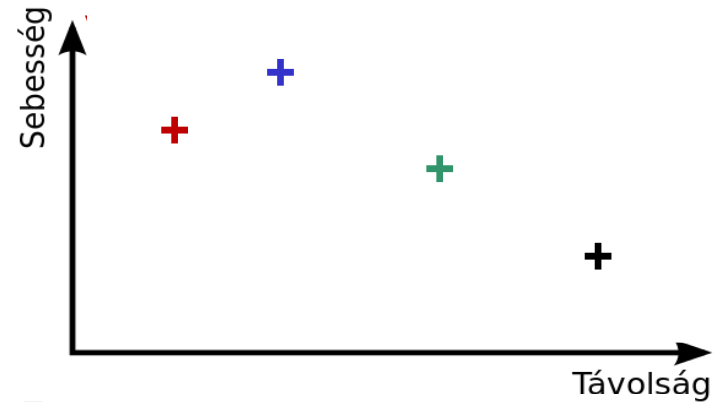


túl a technikai nehézségeken:
megvan a $v(r)$ diagram

pontszerű centrum esetén:
 $v^2 = GM/r$

elméletileg számolt görbe
galaxisok csillageloszlására

**De hogyan olvassuk le az $M(r)$
tömegeloszlást?**



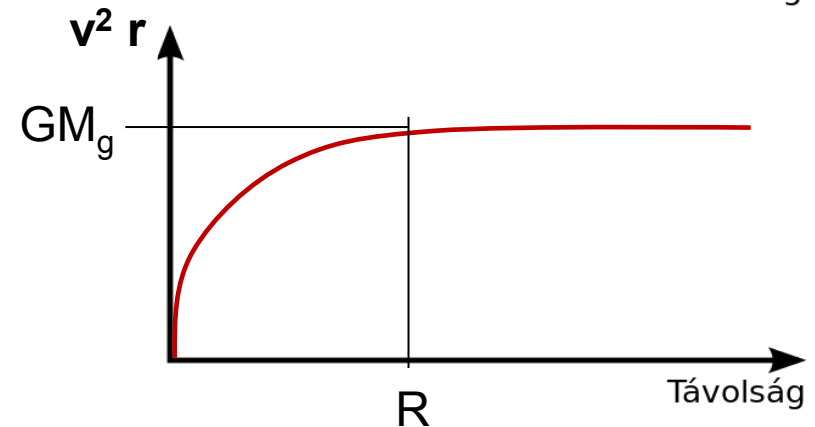
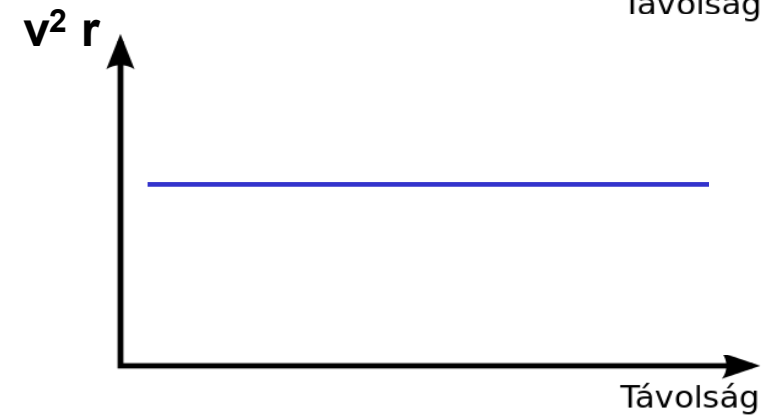
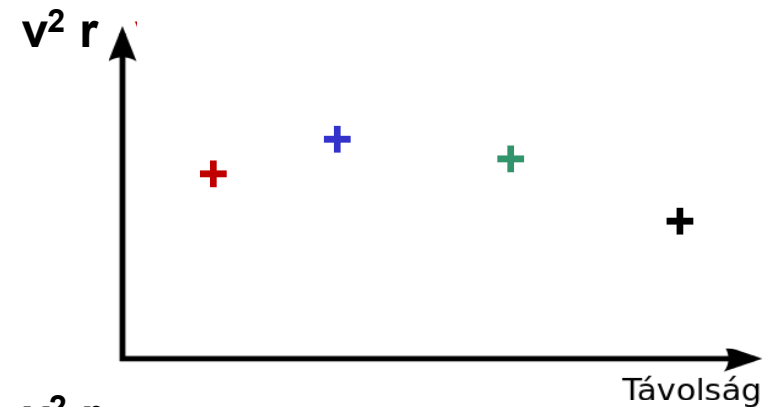
Trükk: ábrázoljuk $v^2 r$ -et
r függvényében

ez arányos az $M(r)$ tömegeloszlással

pontszerű centrum esetén:

$$v^2 r = GM = \text{állandó}$$

elméletileg számolt görbe
galaxisok csillageloszlására



Trükk: ábrázoljuk $v^2 r$ -et
r függvényében

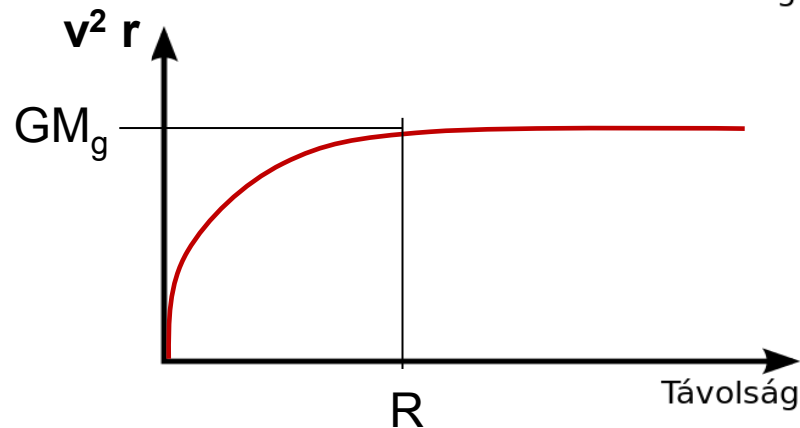
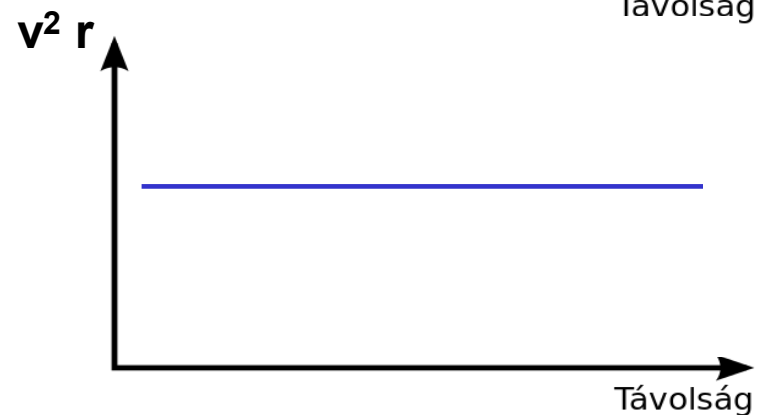
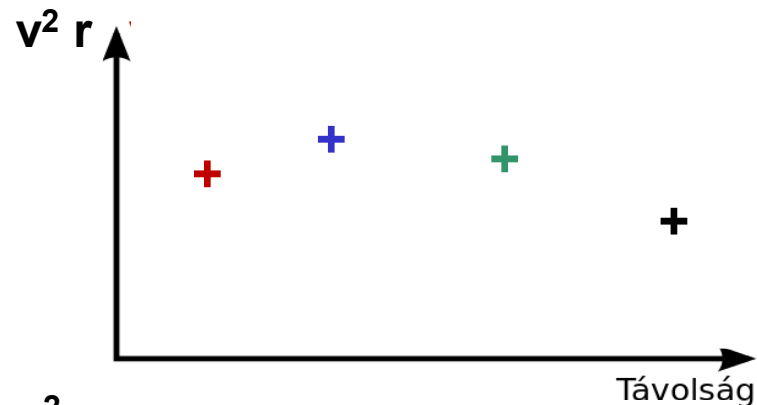
ez arányos az $M(r)$ tömegeloszlással

pontszerű centrum esetén:

$$v^2 r = GM = \text{állandó}$$

elméletileg számolt görbe
galaxisok csillageloszlására

**R a galaxis sugara, ezen túl a
tömeg nem nő tovább!**





Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

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

Vera Rubin (1928 -)



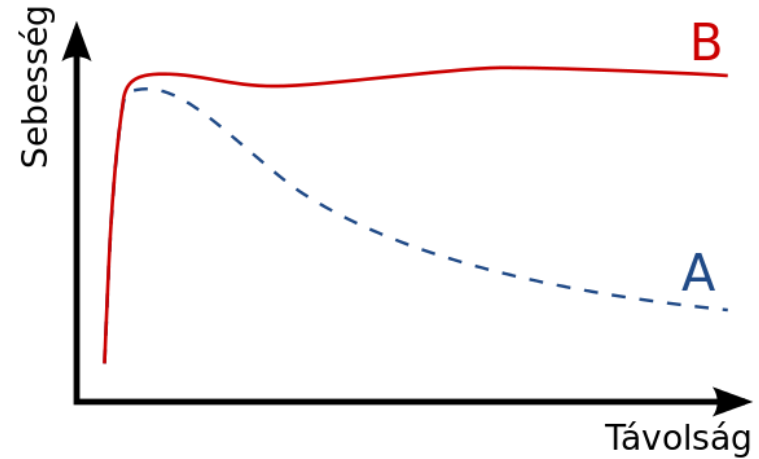
a valódi görbe
nagyon eltért
az elméleti
várakozásoktól!



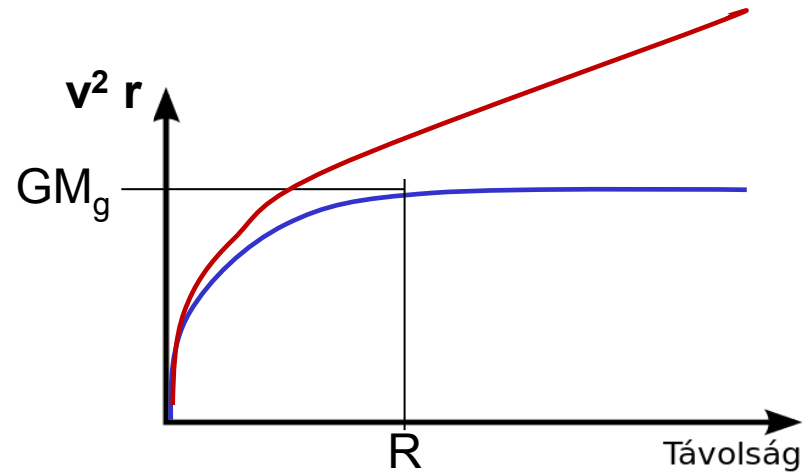
Vera Rubin (1928 -)

Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

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



a valódi görbe
nagyon eltért
az elméleti
várakozásoktól!

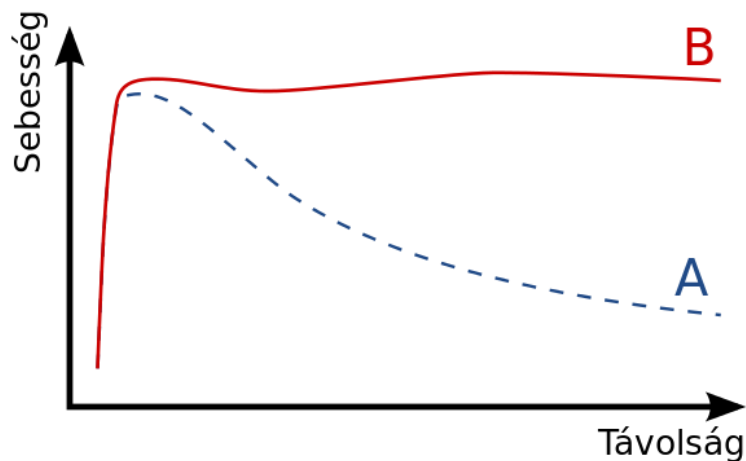




Vera Rubin (1928 -)

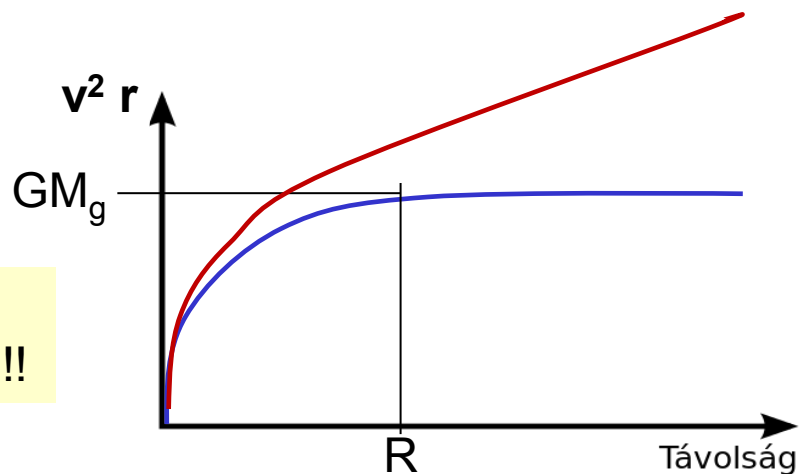
Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

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



a valódi görbe
nagyon eltért
az elméleti
várakozásoktól!

a galaxis anyaga
nem akart véget érni!!

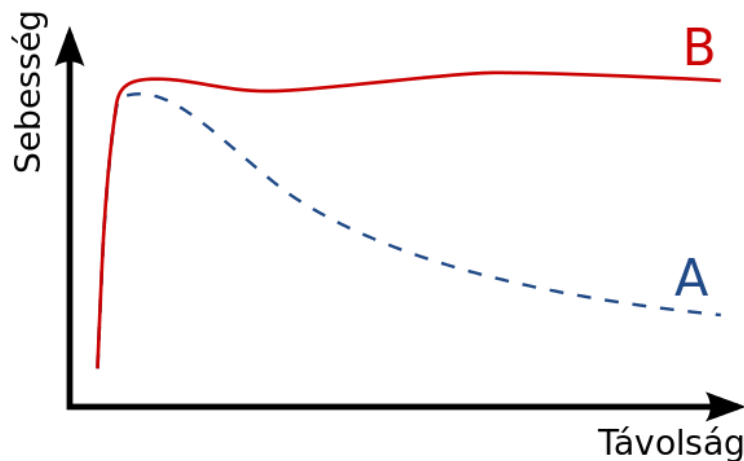




Vera Rubin (1928 -)

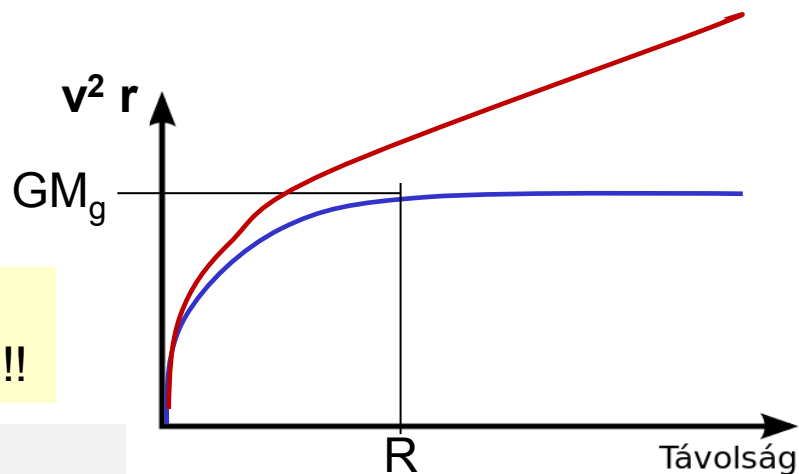
Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

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



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.

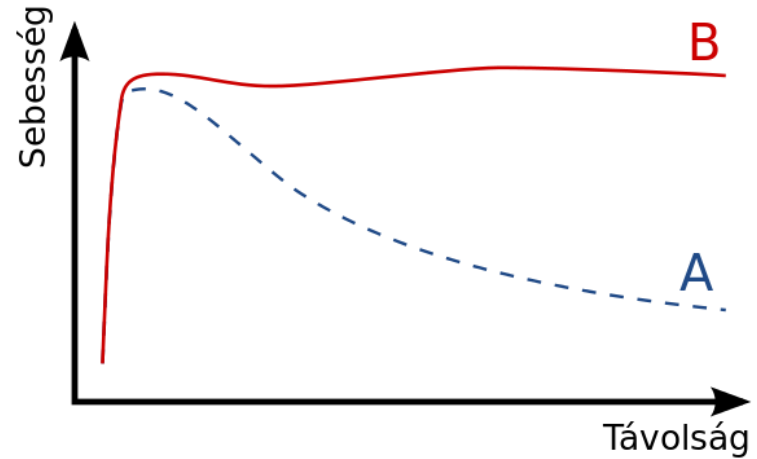




Vera Rubin (1928 -)

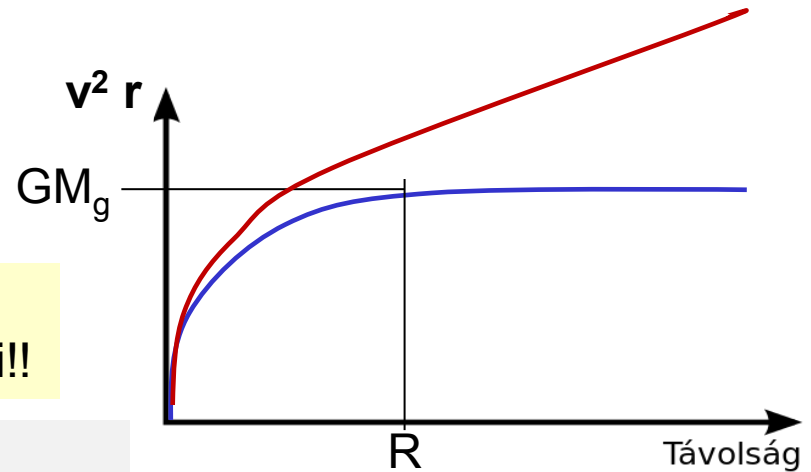
Nagy meglepetés a hetvenes évek elején

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



a valódi görbe nagyon eltért az elméleti várakozásoktól!

a galaxis anyaga nem akart véget érni!!



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

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

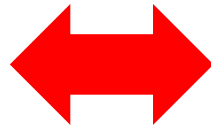
- 1/ néhány csillag még van ott is
- 2/ a galaxis "holdjai": kísérő galaxisok
- 3/ az eltérés már beljebb elkezdődik.



A galaxis teljes tömege
kb tízszer annyi, mint
amennyi világít!



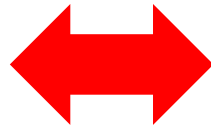
A galaxis teljes tömege
kb tízszer annyi, mint
amennyi világít!



alternatíva:
nem igaz Newton gravitációs törvénye!
Ajjaj...



A galaxis teljes tömege
kb tízszer annyi, mint
amennyi világít!

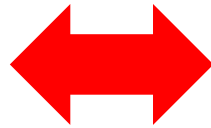


alternatíva:
nem igaz Newton gravitációs törvénye!
Ajjaj...

a "maradék":
a sötét anyag



A galaxis teljes tömege
kb tízszer annyi, mint
amennyi világít!



alternatíva:
nem igaz Newton gravitációs törvénye!
Ajjaj...

a "maradék":
a sötét anyag

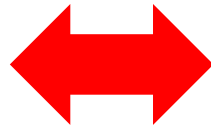
Ez igazából nem is
"maradék"!

**A galaxis lényegében
sötét anyagból van,**
és – mint tortán a hab –
van benne egy kis
világító anyag is...

a csillagok a sötét
anyag felhőjének
"tajtékjai"...



A galaxis teljes tömege
kb tízszer annyi, mint
amennyi világít!



alternatíva:
nem igaz Newton gravitációs törvénye!
Ajjaj...

a "maradék":
a sötét anyag

Ez igazából nem is
"maradék"!

**A galaxis lényegében
sötét anyagból van,**
és – mint tortán a hab –
van benne egy kis
világító anyag is...

a csillagok a sötét
anyag felhőjének
"tajtékjai"...



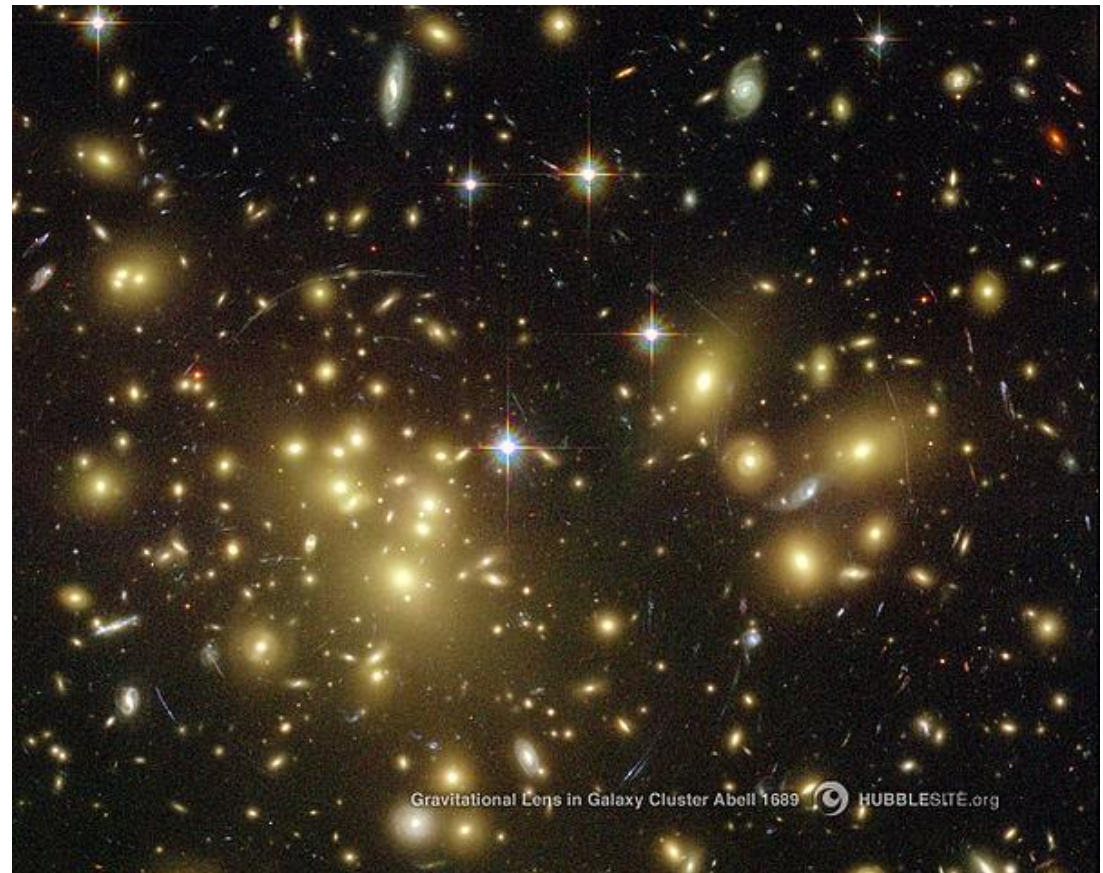
Később lényegében minden
galaxisra hasonló adatokat mértek.

Ez a felfedezés
alapján változtatta meg
a galaxisképződés elméletét is!

De a sötét anyag
létezésének gondolata
nem ekkor merült fel először!

Még nagyobb struktúra:
galaxishalmaz
10 – 1000 galaxis

ezt is a gravitáció tartja
össze: az összes tömeg
vonzása



De a sötét anyag
létezésének gondolata
nem ekkor merült fel először!

Még nagyobb struktúra:
galaxishalmaz
10 – 1000 galaxis

ezt is a gravitáció tartja
össze: az összes tömeg
vonzása

Ha a galaxisok összes mozgási
energiája nagyobb,
mint a gravitációs vonzás
helyzeti energiája,
akkor a rendszer szétesik!

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

analógia: a feldobott kő



De a sötét anyag
létezésének gondolata
nem ekkor merült fel először!

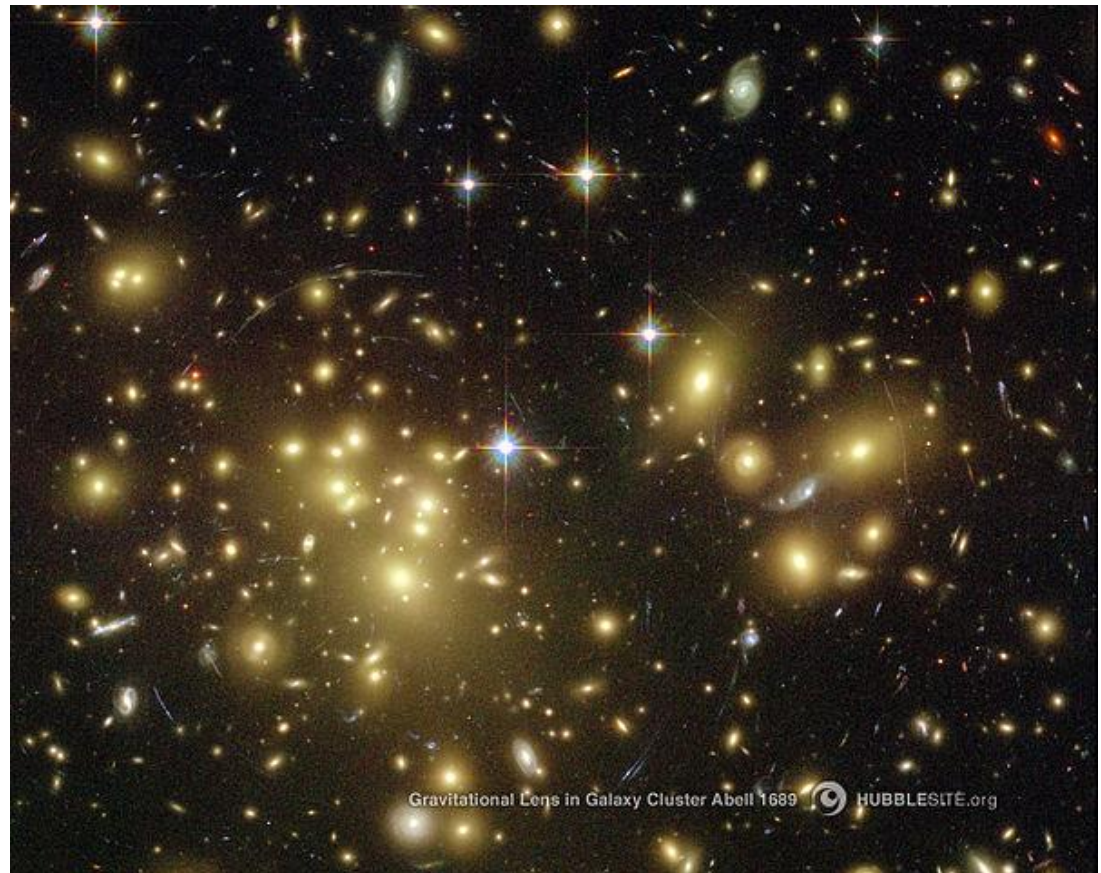
Még nagyobb struktúra:
galaxishalmaz
10 – 1000 galaxis

ezt is a gravitáció tartja
össze: az összes tömeg
vonzása

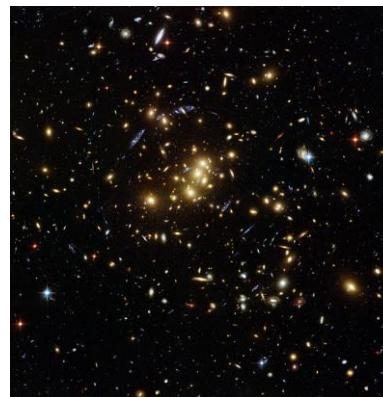
Ha a galaxisok összes mozgási
energiája nagyobb,
mint a gravitációs vonzás
helyzeti energiája,
akkor a rendszer szétesik!

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

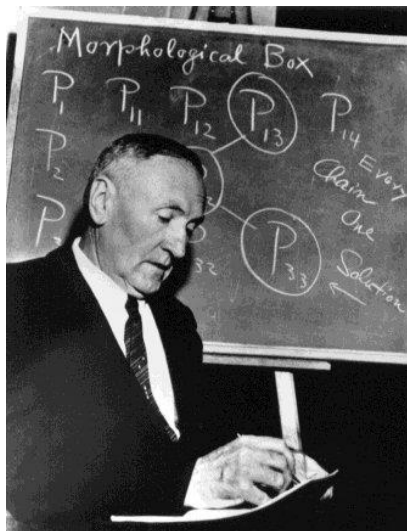
analógia: a feldobott kő



Gravitational Lens in Galaxy Cluster Abell 1689  HUBBLESITE.org



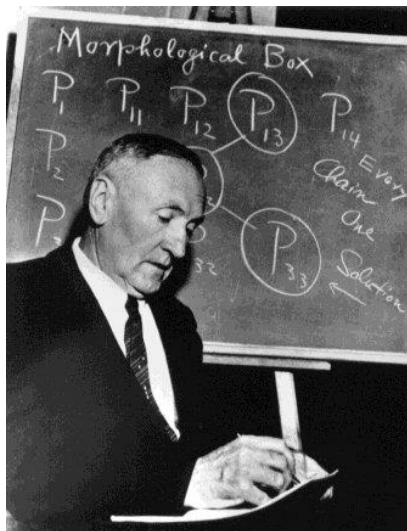
márpedig ez
az összefüggés
minden halmazra
fennáll!



Fritz Zwicky
(1898 – 1974)

Zwicky 1934:

egy galaxishalmazban
megmérte a sebességeket
és a távolságokat



Fritz Zwicky
(1898 – 1974)

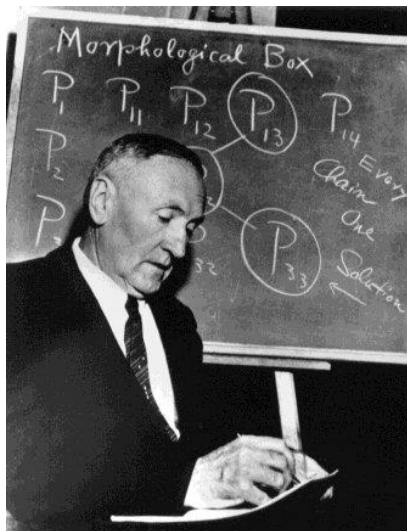
Zwicky 1934:

egy galaxishalmazban
mégmérte a sebességeket
és a távolságokat

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

a halmaznak szét kellene repülnie!

de láthatóan egyben van...



Fritz Zwicky
(1898 – 1974)

Zwicky 1934:

egy galaxishalmazban
megtérte a sebességeket
és a távolságokat

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

a halmaznak szét kellene repülnie!

de láthatóan egyben van...

Miért nem esik szét a galaxishalmaz?

frissen keletkezett

- ez nem lehet, mert vannak
benne nagyon öreg csillagok





Fritz Zwicky
(1898 – 1974)

Zwicky 1934:
egy galaxishalmazban
megmérte a sebességeket
és a távolságokat

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

a halmaznak szét kellene repülnie!

de láthatóan egyben van...

Miért nem esik szét a galaxishalmaz?



a látható anyagon kívül van
benne még valami,
ami hozzájárul a vonzáshoz

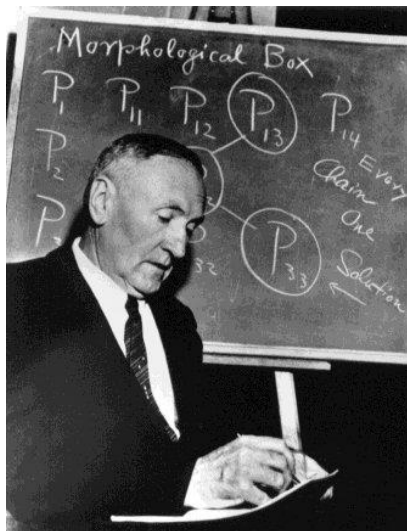
ez a sötét anyag!



frissen keletkezett

- ez nem lehet, mert vannak
benne nagyon öreg csillagok





Zwicky 1934:

egy galaxishalmazban
mégmérte a sebességeket
és a távolságokat

$$\sum \frac{mv^2}{2} > \sum G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

a halmaznak szét kellene repülnie!

de láthatóan egyben van...

Miért nem esik szét a galaxishalmaz?

Fritz Zwicky
(1898 – 1974)

a látható anyagon kívül van
benne még valami,
ami hozzájárul a vonzáshoz

ez a sötét anyag!

A sötét anyag mennyisége
százszorosan meghaladja a
galaxishalmaz látható
anyagának mennyiségét!

A galaxisok igazából
a sötét anyag felhőjében
úsznak, mint mazsolák a
pudingban...

frissen keletkezett

- ez nem lehet, mert vannak
benne nagyon öreg csillagok



Ezt figyelembe nem venni
akkora tévedés, mintha a
Naprendszerből valaki csak a
bolygókat látná, és nem venné
észre a Napot...



"Felfedezték-e" a csillagászok a sötét anyagot?

Zwickynek 1934-ben senki sem hitt
Rubinnak 1970-ben már többen

Új, pontosabb mérések nyomán
ma már mindenki elfogadja

"Felfedezték-e" a csillagászok a sötét anyagot?

Zwickynek 1934-ben senki sem hitt
Rubinnak 1970-ben már többen

Új, pontosabb mérések nyomán
ma már mindenki elfogadja

végző érv:
precíziós kozmológiai mérések
1990 – 2010

lásd **Csabai István:**
Az Univerzum háromdimenziós térképe
Atomcsill, 2015. november 19.

lásd **dgy:** **Az Univerzum anyagai**
Atomcsill, 2010. szeptember 30.



"Felfedezték-e" a csillagászok a sötét anyagot?

Zwickynek 1934-ben senki sem hitt
Rubinnak 1970-ben már többen

Új, pontosabb mérések nyomán
ma már mindenki elfogadja

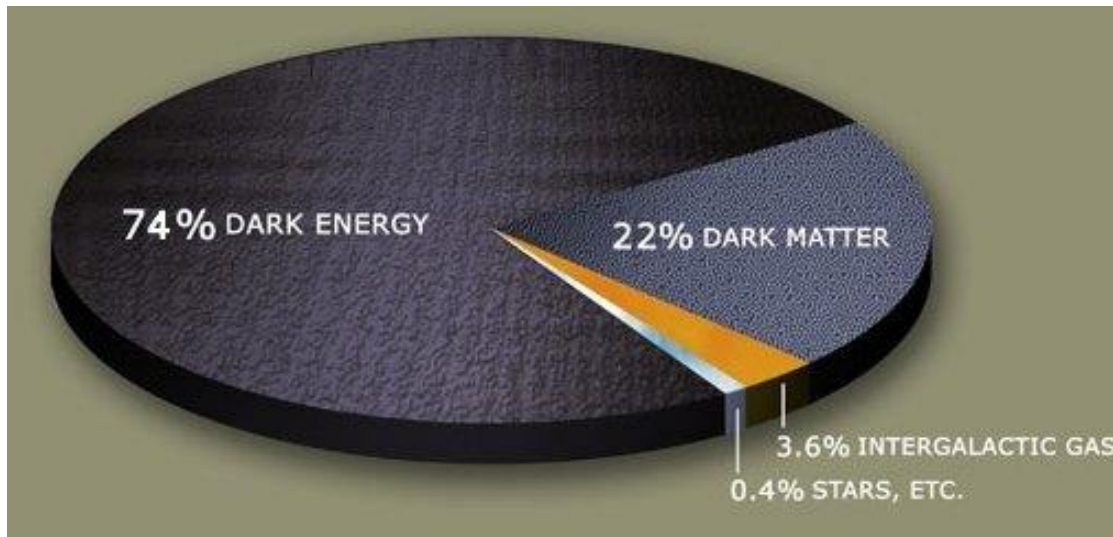
végző érv:
precíziós kozmológiai mérések
1990 – 2010

lásd **Csabai István:**
Az Univerzum háromdimenziós térképe
Atomcsill, 2015. november 19.

lásd **dgy:** **Az Univerzum anyagai**
Atomcsill, 2010. szeptember 30.

Az Univerzum anyagának
összetétele:

74 % "sötét energia"
22 % sötét anyag
4 % "közönséges anyag"

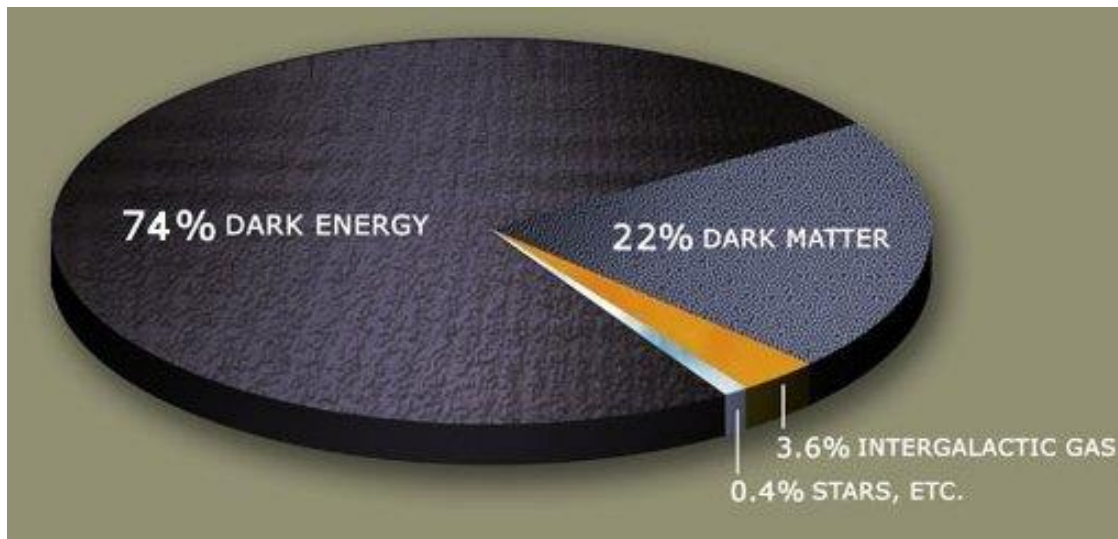


"Felfedezték-e" a csillagászok a sötét anyagot?

Zwickynek 1934-ben senki sem hitt
Rubinnak 1970-ben már többen

Új, pontosabb mérések nyomán
ma már mindenki elfogadja

végző érv:
precíziós kozmológiai mérések
1990 – 2010



lásd **Csabai István:**
Az Univerzum háromdimenziós térképe
Atomcsill, 2015. november 19.

lásd **dgy:** **Az Univerzum anyagai**
Atomcsill, 2010. szeptember 30.

Az Univerzum anyagának
összetétele:

74 % "sötét energia"
22 % sötét anyag
4 % "közönséges anyag"

a sötét energiáról
majd később...

"Felfedezhettek-e" valamit,
amit senki sem látott?

látott már valaki elektront?

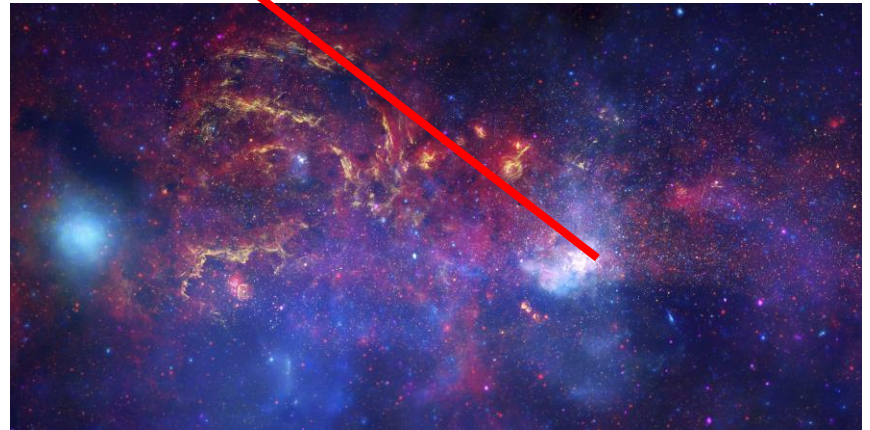
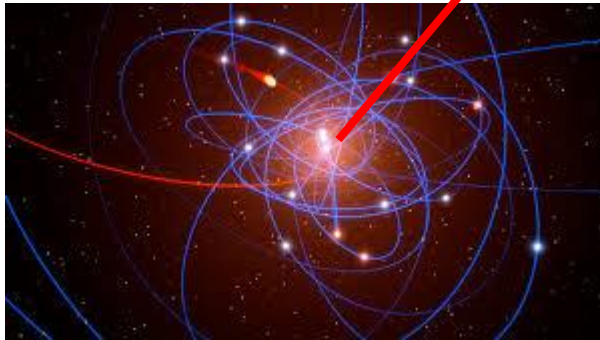




"Felfedezhettek-e" valamit,
amit senki sem látott?

látott már valaki elektront?

És látta már valaki a
szupernehéz fekete lyukat
a Galaxis közepén?



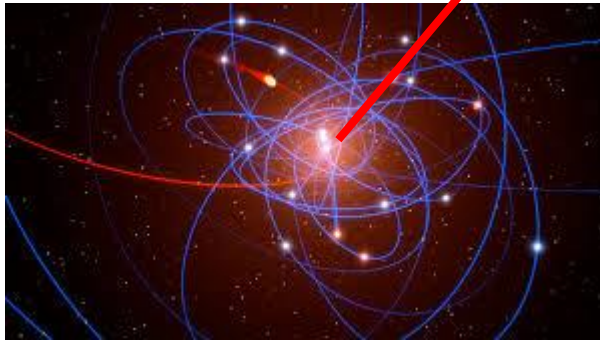
a fekete lyuknak
csak a gravitációs
hatása észlelhető



"Felfedezhettek-e" valamit,
amit senki sem látott?

látott már valaki elektront?

És látta már valaki a
szupernehéz fekete lyukat
a Galaxis közepén?

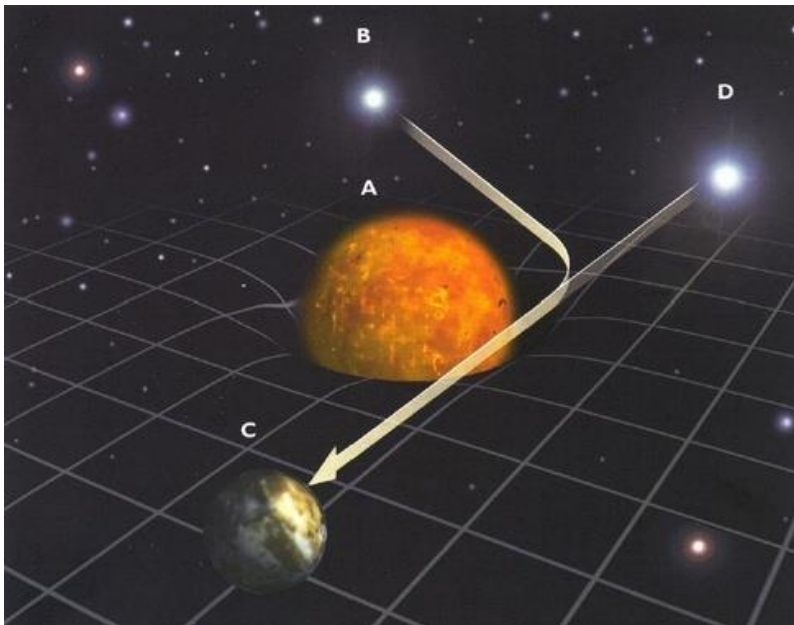


a fekete lyuknak
csak a gravitációs
hatása észlelhető

akárcsak a sötét
anyagnak!

Különbség: a sötét anyag
esetén nem egy láthatatlan
centrum, hanem láthatatlan
eloszlott anyagfelhő szerepel

Hogyan lehet lefényképezni a láthatatlan sötét anyagot?

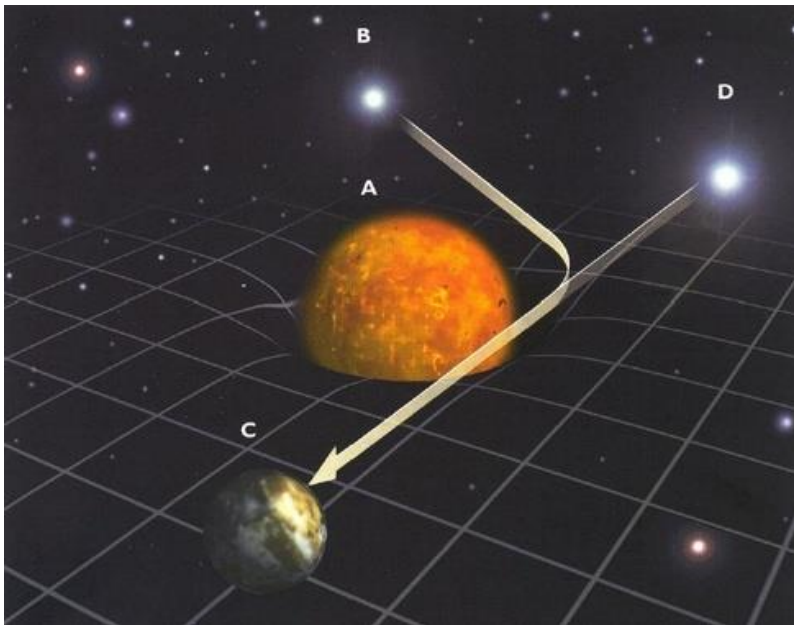


a nagy tömegű testek
gravitációs hatása eltéríti a fénysugarat

ezért a pontszerű forrásokat rossz
irányban látjuk

a kiterjedt objektumok képe pedig
eltorzul

Hogyan lehet lefényképezni a láthatatlan sötét anyagot?

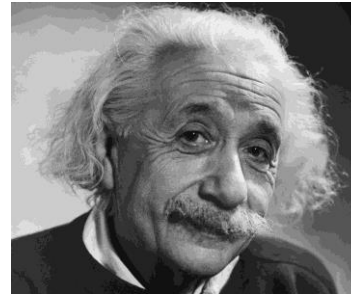


a nagy tömegű testek gravitációs hatása eltéríti a fénysugarat

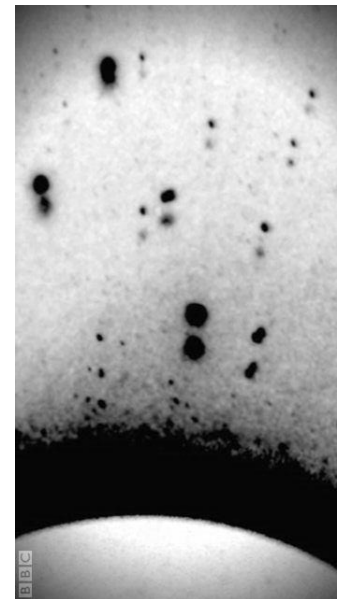
ezért a pontszerű forrásokat rossz irányban látjuk

a kiterjedt objektumok képe pedig eltorzul

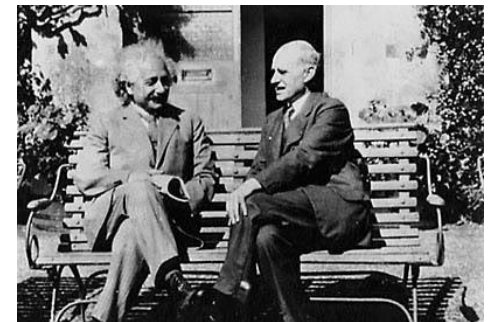
ezt a jelenséget Einstein általános relativitáselmélete jósolta meg



először Arthur Eddington mérte meg 1919-ben



csillagok képe eredeti és a Nap által eltérített pozícióban



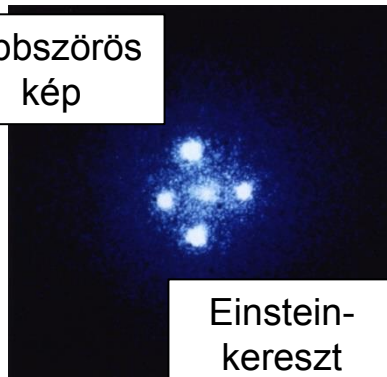
ezt megbeszéltük!

Példák gravitációs lencsehatásra

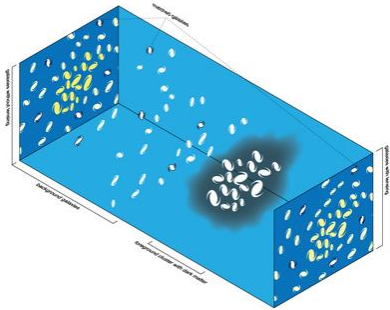
Einstein-gyűrű



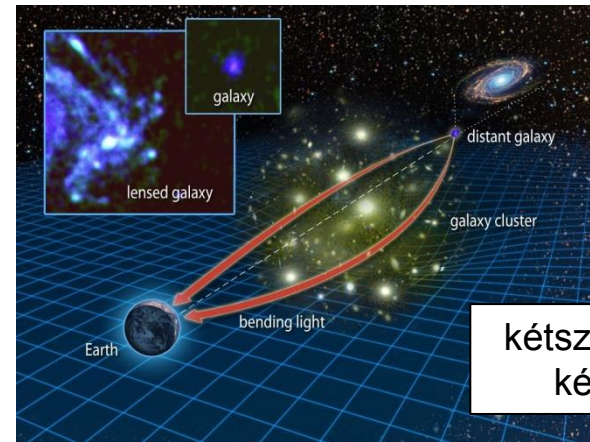
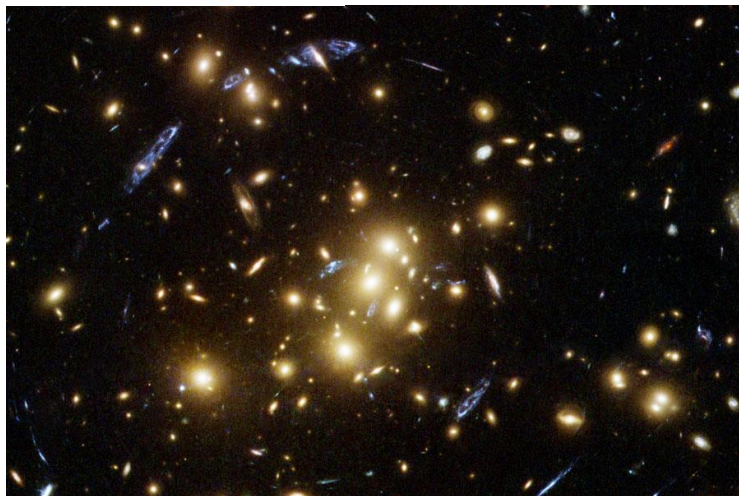
többszörös kép



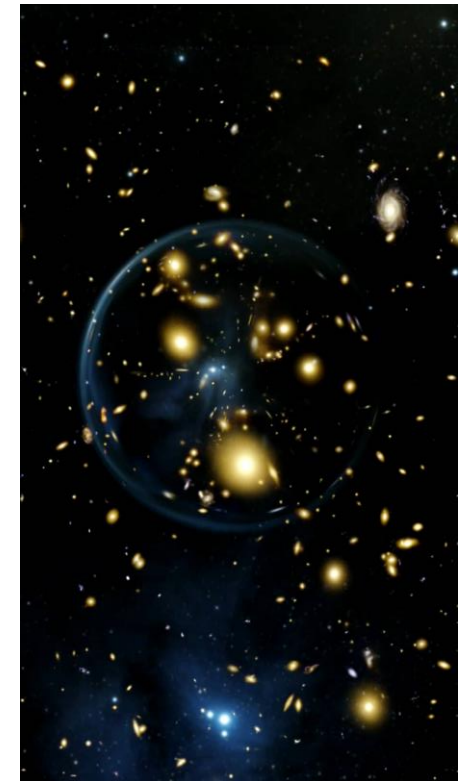
Einstein-kereszt



a háttérgalaxisok ívessé torzítása



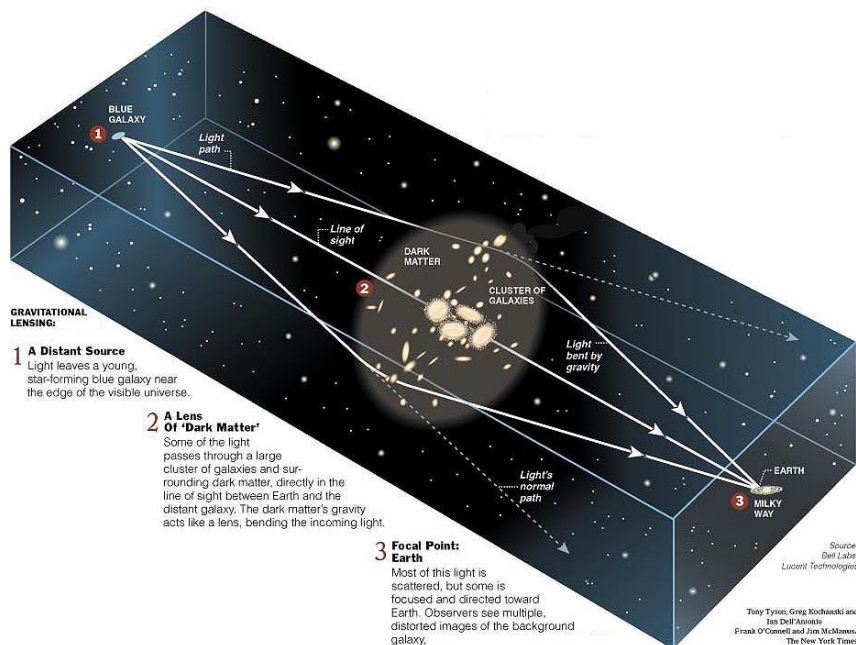
kétszeres kép



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

A gravitációs lencsehatás az anyag
tömegére érzékeny

a fényt ezért a
sötét anyag
is eltéríti



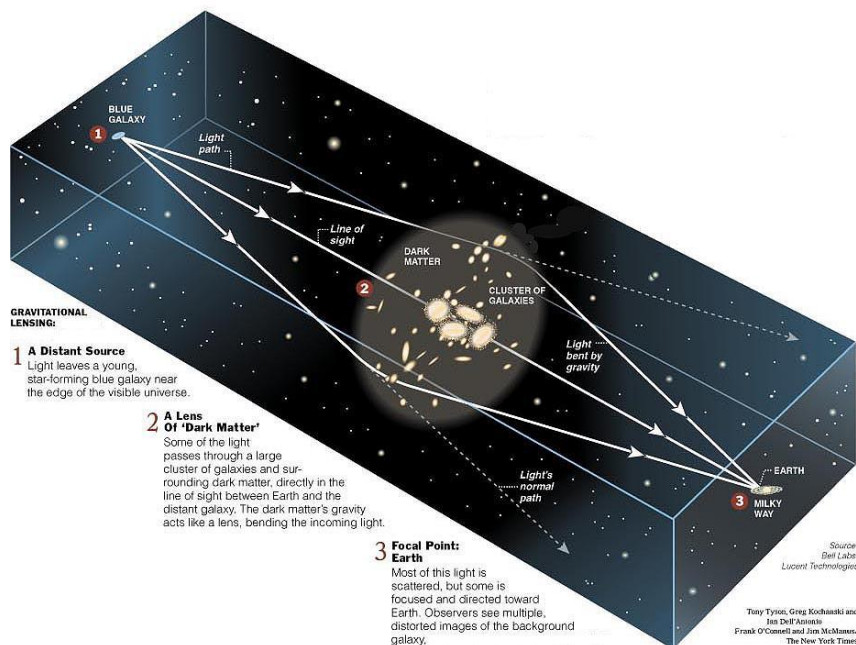
...és ezért azt is látjuk,
amit nem láthatunk

A gravitációs lencsehatás az anyag
tömegére érzékeny

a fényt ezért a
sötét anyag
is eltéríti



a láthatatlan sötét anyag
eloszlásának feltérképezése



**...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 láthatatlan sötét anyag
eloszlásának feltérképezése**

a sötét anyag eloszlását
a háttérgalaxisok eltérített fénye
alapján rekonstruálták

**...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 középben elhelyezkedő
(kékkel jelölt) sötét anyag
gravitációs hatása stabilizálja



Vajon tekinthető-e
ez az ábra
"fényképnek"?

hiszen a kék
foltokat a
háttérgalaxisok
eltérített fénye
alapján
számítógép
konstruálta...



Vajon tekinthető-e
ez az ábra
"fényképnek"?

hiszen a kék
foltokat a
háttérgalaxisok
eltérített fénye
alapján
számítógép
konstruálta...



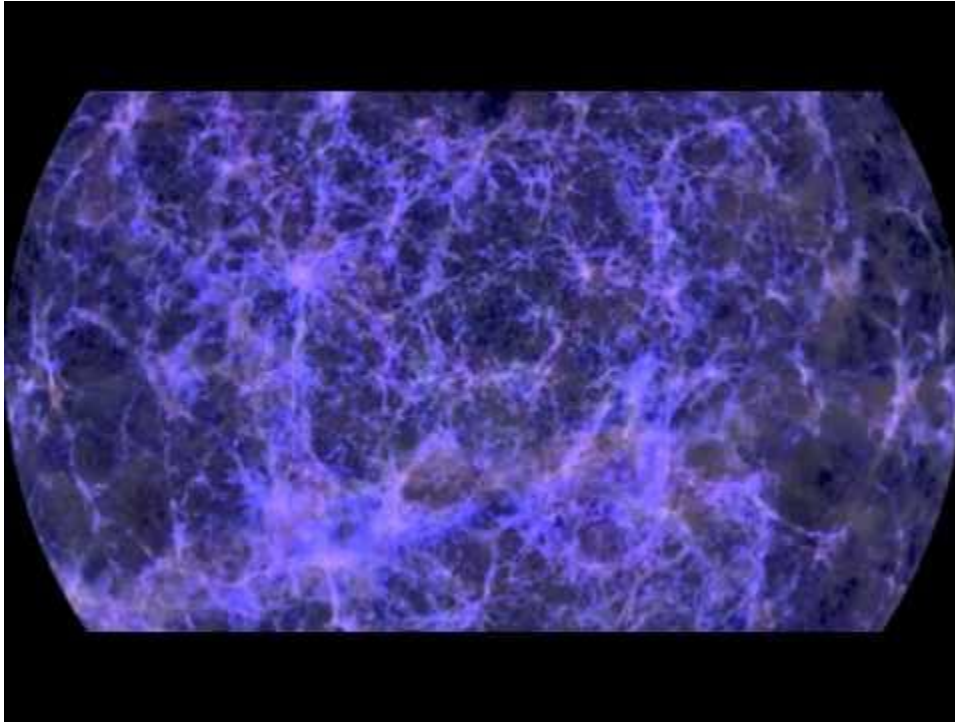
Igen, ez fénykép!

Fénykép: az anyaggal kölcsönható
sugárzás eltérülése alapján
technikai eszközökkel előállított,
vizuálisan észlelhető és
értékelhető ábra

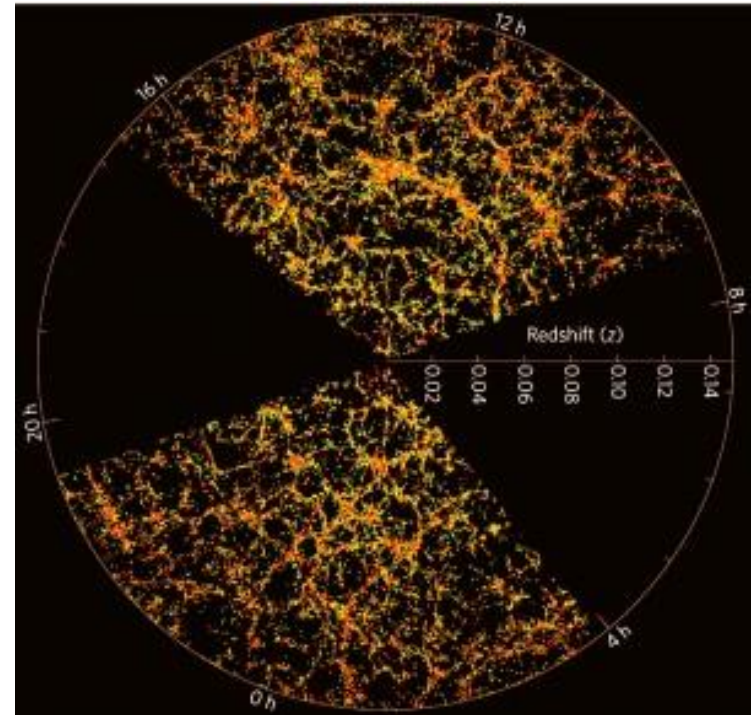
ez éppen olyan fénykép, mint

- egy röntgenfelvétel,
- egy elektronmikroszkópos kép,
- egy CT-felvétel,
- egy panorámafotó,
- a DNS diffraktogrammja
- vagy a kvarkok protonbeli eloszlásának
feltérképezése neutrínókkal

A látható és a láthatatlan



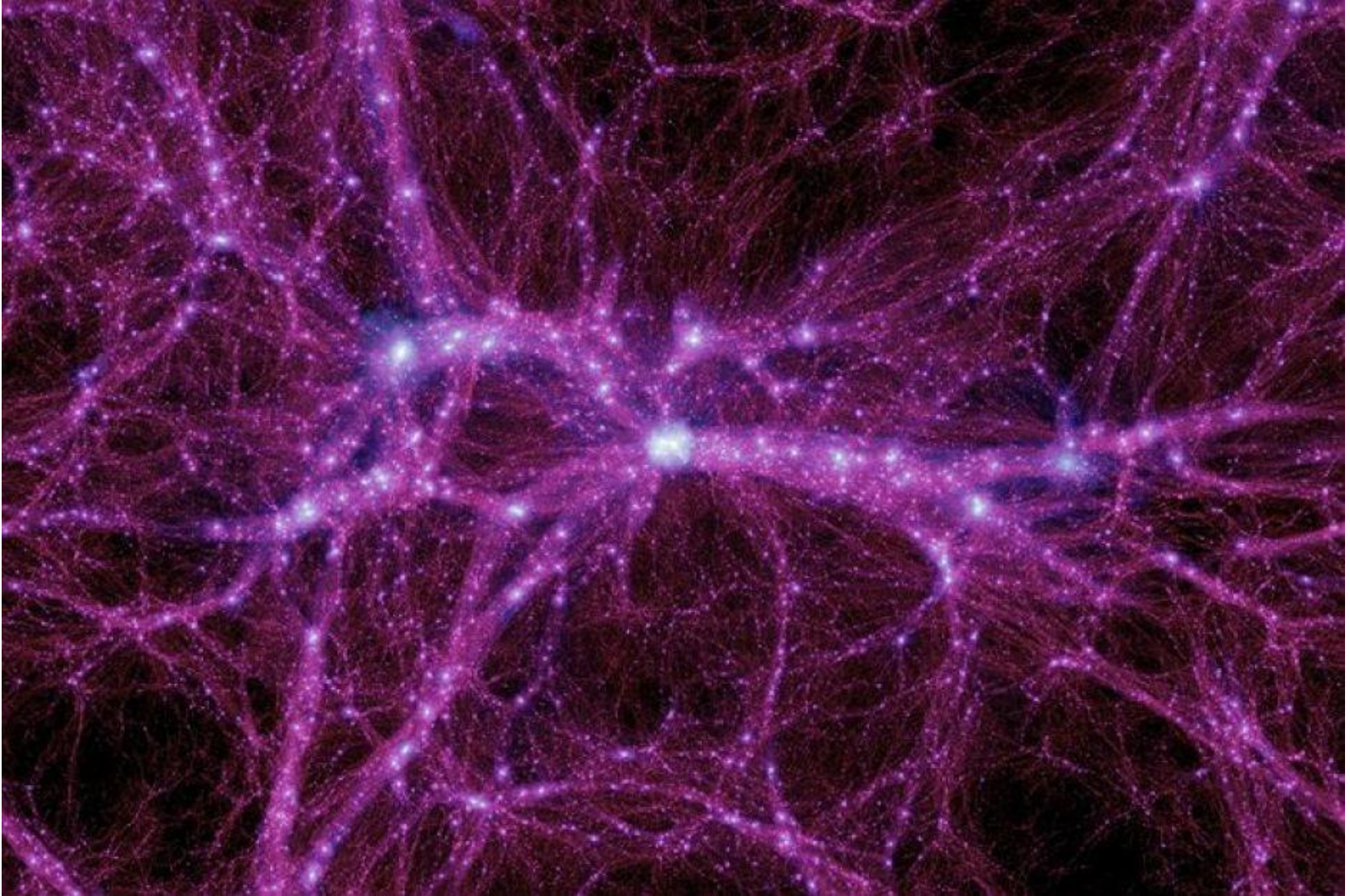
a sötét anyag
eloszlásának szimulációja



az SDSS térképe a
galaxisok eloszlásáról

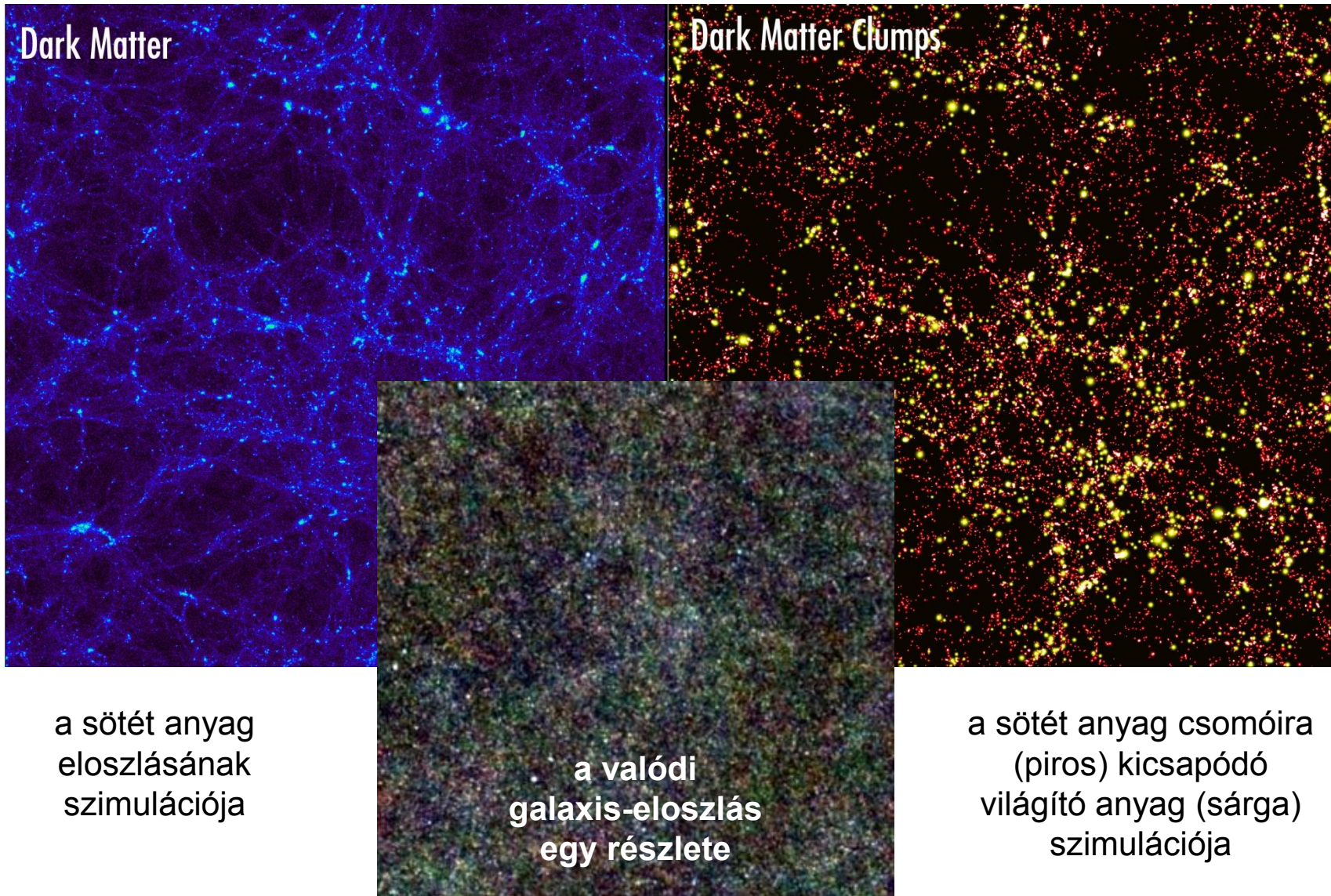
Lehet, hogy a sötét anyag alakítja ki azt a szálak struktúrát,
amit a világító anyag neonreklámként kirajzol?

A látható és a láthatatlan



a sötét anyag eloszlásának szimulációja

A látható és a láthatatlan



Vajon mi alkotja a sötét anyagot?

két alapvető jelölt, és néhány csendes pályázó



Vajon mi alkotja a sötét anyagot?

két alapvető jelölt, és néhány csendes pályázó

MACHO

Massive Compact Halo Object

nehéz kompakt galaktikus halo objektumok

közönséges anyagból van, de nem látszik

kialudt csillagok, bolygók, por- és gázfelhők stb

felső korlát: az Univerzum bariontartalma

He/H arány = 25 %

ezért a sötét anyag
NEM ATOMOS!



Vajon mi alkotja a sötét anyagot?

két alapvető jelölt, és néhány csendes pályázó

MACHO

Massive Compact Halo Object

nehéz kompakt galaktikus halo objektumok

közönséges anyagból van, de nem látszik

kialudt csillagok, bolygók, por- és gázfelhők stb

felső korlát: az Univerzum bariontartalma

He/H arány = 25 %

ezért a sötét anyag
NEM ATOMOS!

primordiális fekete lyukak ?

gravitációs hullámok?

téridő-diszlokációk?

nem lehet kizárni...!



Vajon mi alkotja a sötét anyagot?

két alapvető jelölt, és néhány csendes pályázó

MACHO

Massive Compact Halo Object

nehéz kompakt galaktikus halo objektumok

közönséges anyagból van, de nem látszik

kialudt csillagok, bolygók, por- és gázfelhők stb

felső korlát: az Univerzum bariontartalma

He/H arány = 25 %

ezért a sötét anyag
NEM ATOMOS!

WIMP

Weakly Interactive Massive Particles

nem barionos anyag!

valamilyen még nem ismert, elektromosan semleges (ezért nem világító) részecskefajta

~~EMOS~~
elektro-
mágneses

marad:

gyenge +
gravitációs
(+ ötödik erő?)

primordiális
fekete lyukak ?

gravitációs hullámok?

téridő-diszlokációk?

nem lehet kizárni...!

van még ilyen felfedezetlen
elemi részecske?

a részecskefizikusok
kórusának válasza:

hajaj...!



Idézet: a Higgs-részecske felfedezése
megkoronázta és beteljesítette
a részecskefizika Standard Modelljét... (2012)

akkor mit csinálnak most a részecskefizikusok?

lásd: **Pásztor Gabriella:**
Új Fizika: az ismeretlen
nyomában a Nagy
Hadronütköztetővel
Atomcsill, 2016. október 6

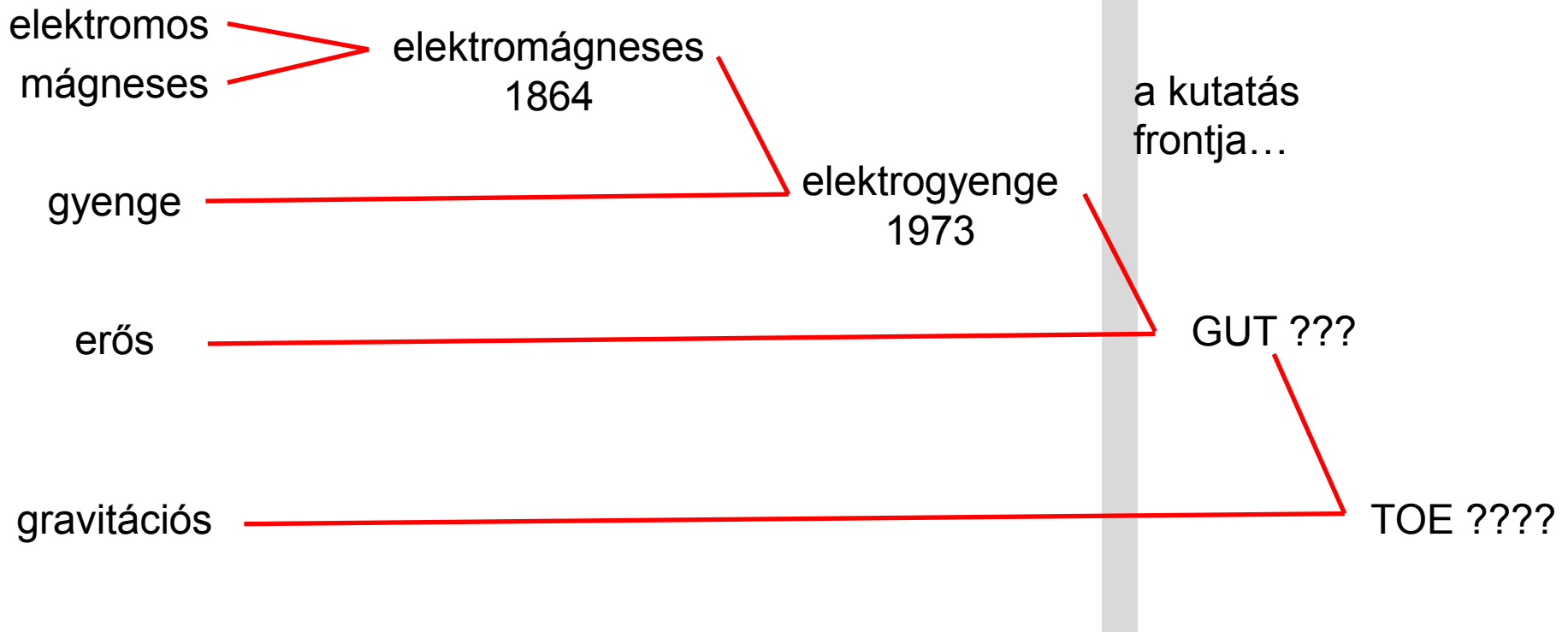


Idézet: a Higgs-részecske felfedezése
megkoronázta és beteljesítette
a részecskefizika Standard Modelljét... (2012)

lásd: **Pásztor Gabriella:**
Új Fizika: az ismeretlen
nyomában a Nagy
Hadronütköztetővel
Atomcsill, 2016. október 6

akkor mit csinálnak most a részecskefizikusok?

a kölcsönhatások egyesítése

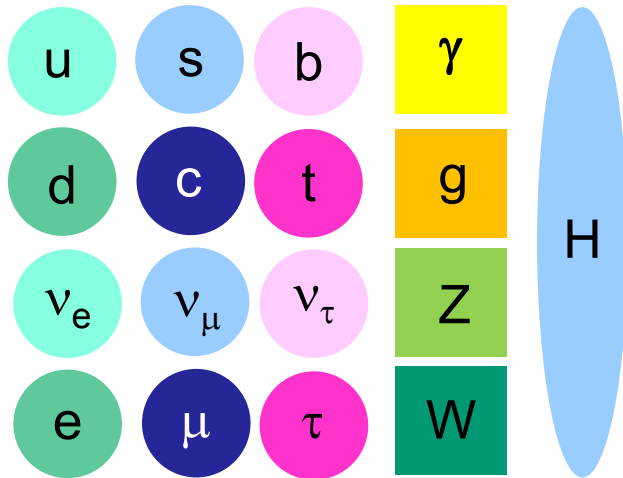




A Standard Modell:

kész, komplett építőköcka
a jövő még nagyobb
rejtvényeinek kirakásához
(kvantumgravitáció,
sötét anyag, stb...)

A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

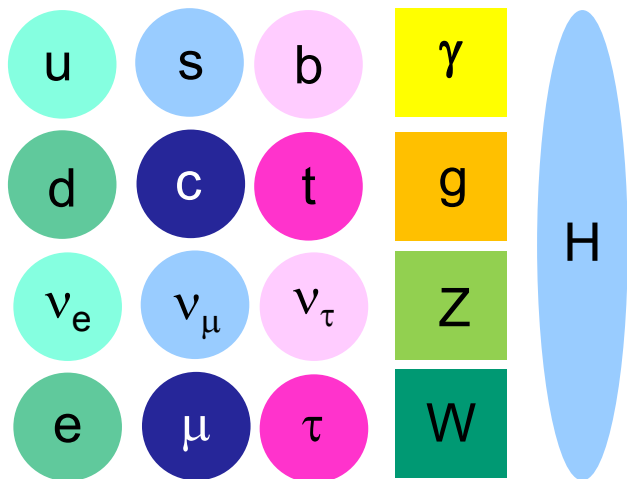


lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.

A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai



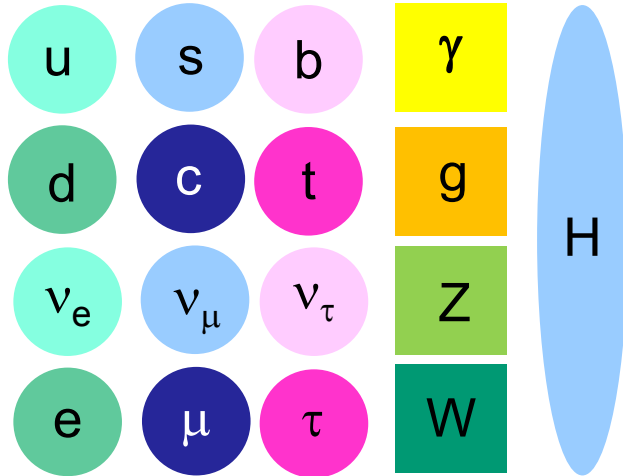
A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

u	s	b	γ	
d	c	t	g	
ν_e	ν_μ	ν_τ	Z	H
e	μ	τ	W	

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.

A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

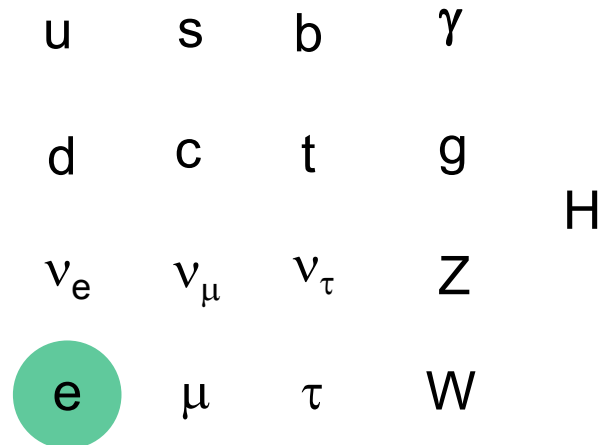


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

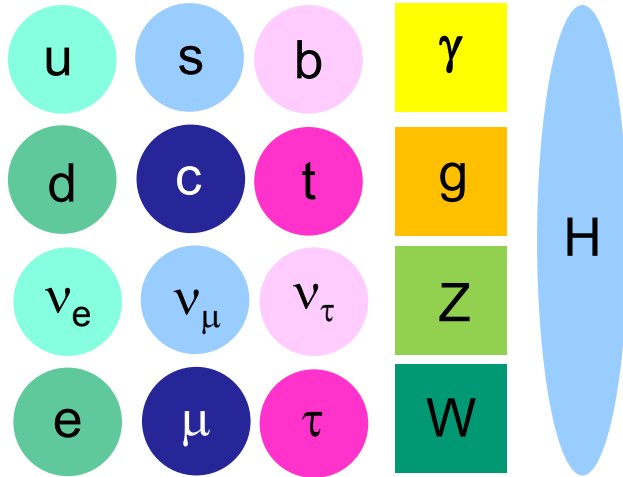
1897

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

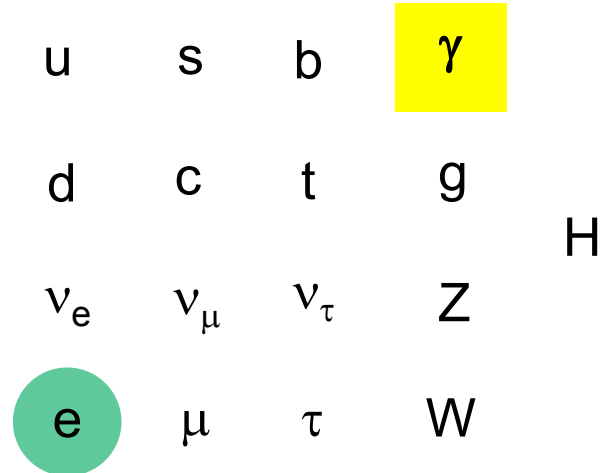


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

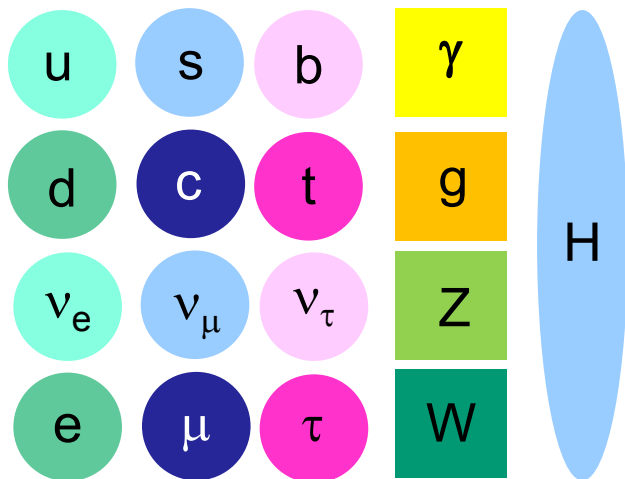
1905

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

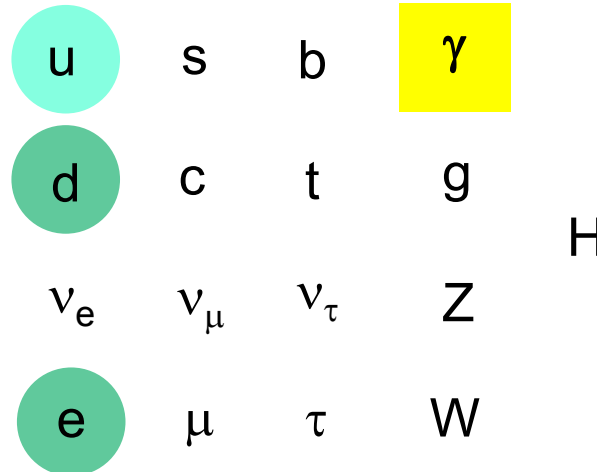


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

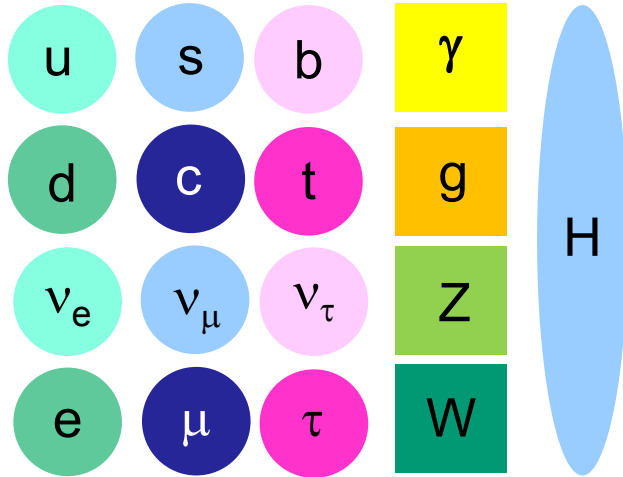
1911 – 32 – 68

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

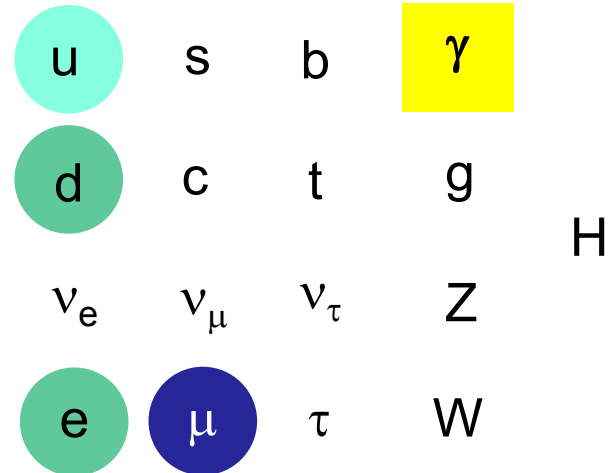


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

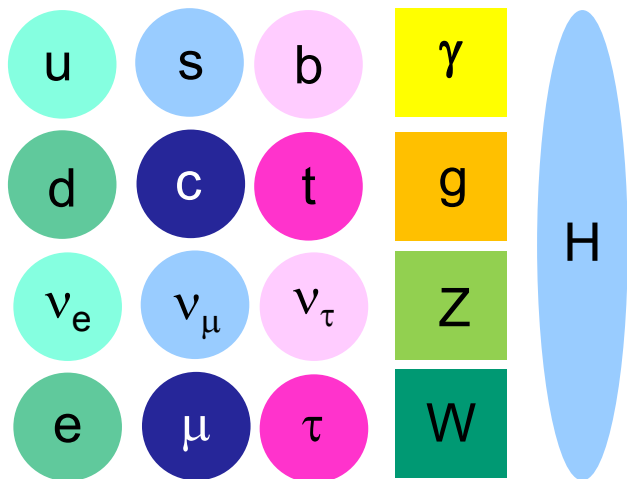
1936

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

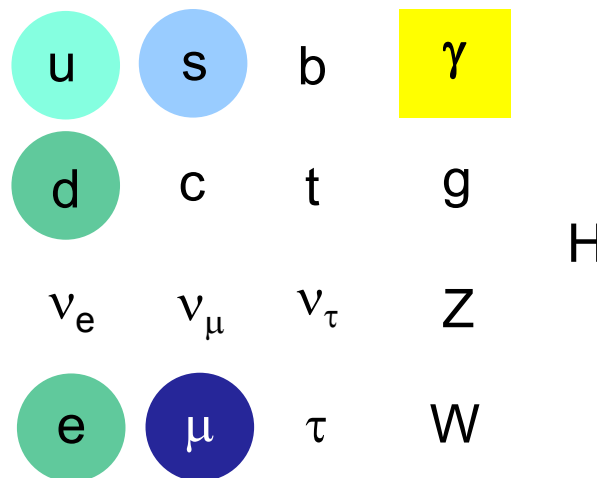


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

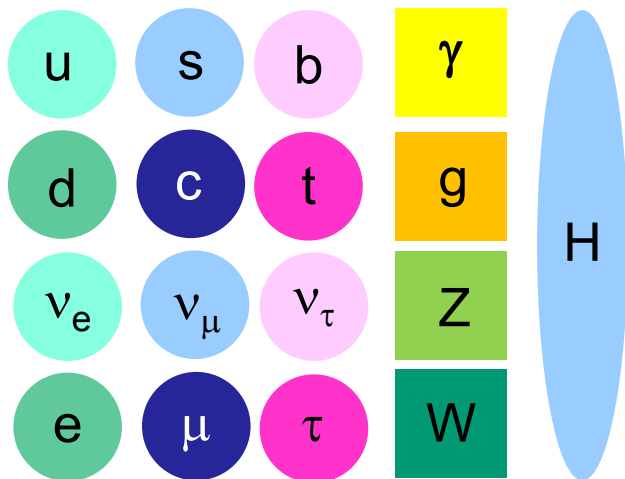
1947 – 68

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

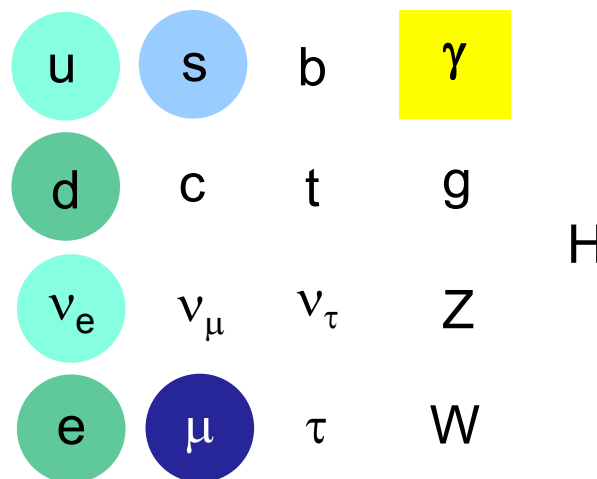


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

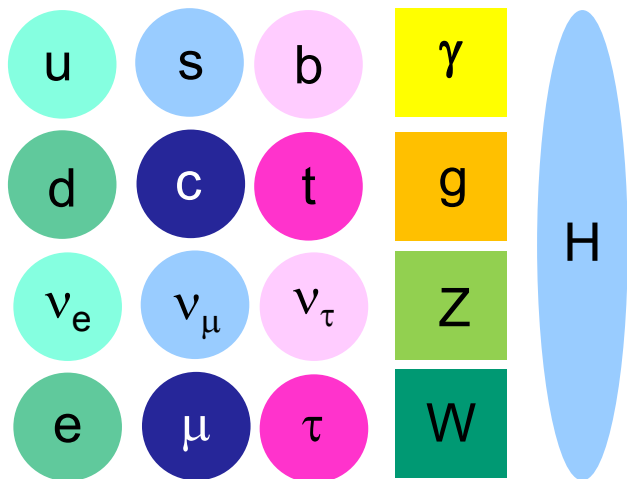
1955

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

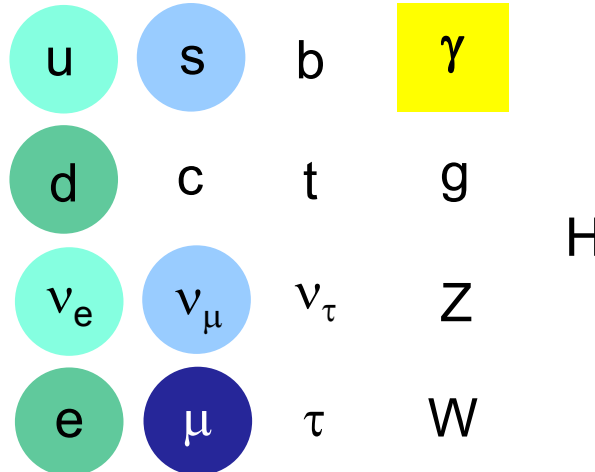


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

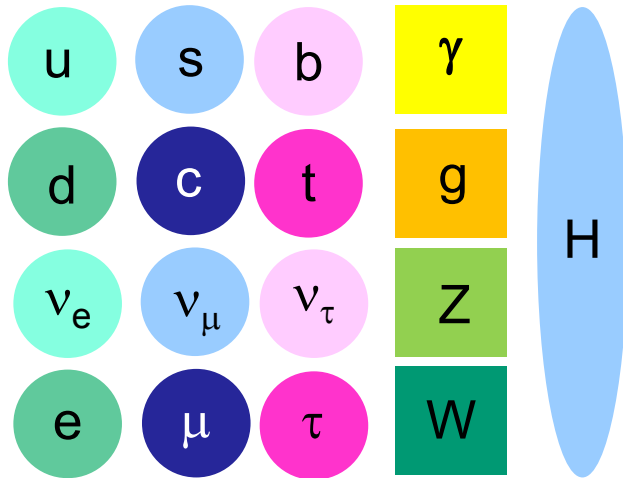
1962

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

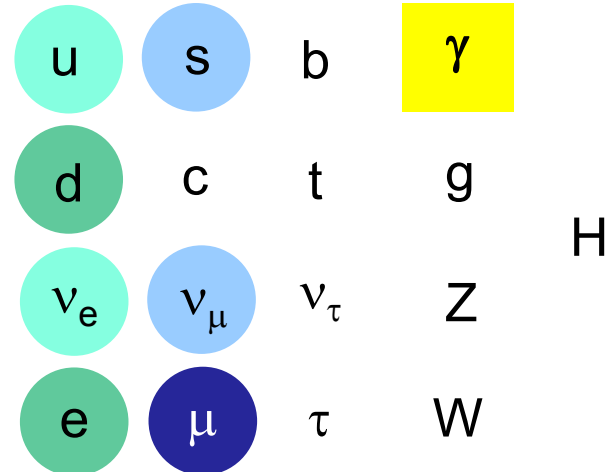


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

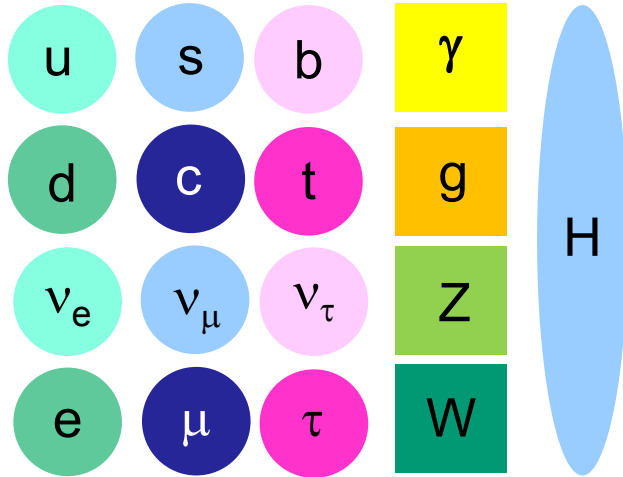
1973: a Standard Modell
születése

lásd: **Katz Sándor:**
**Az elemi részek fizikája és az
anyag eredete az Univerzumban**
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
**A legkisebb részecskék a világ
legnagyobb gyorsítójában**
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

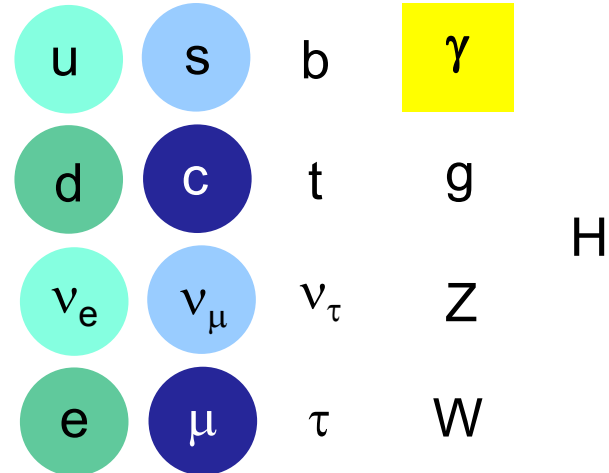


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

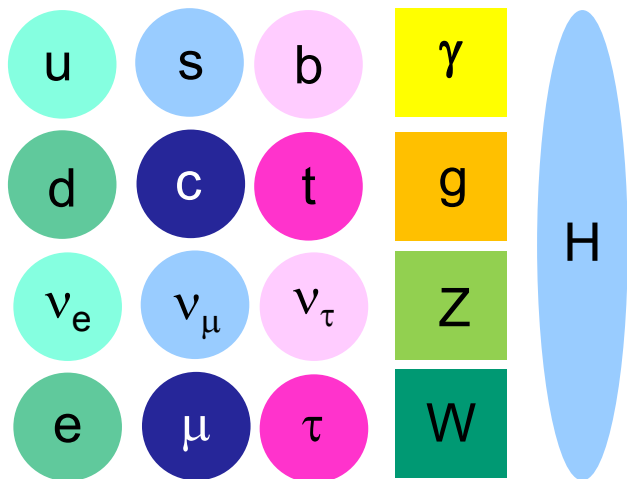
1974

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

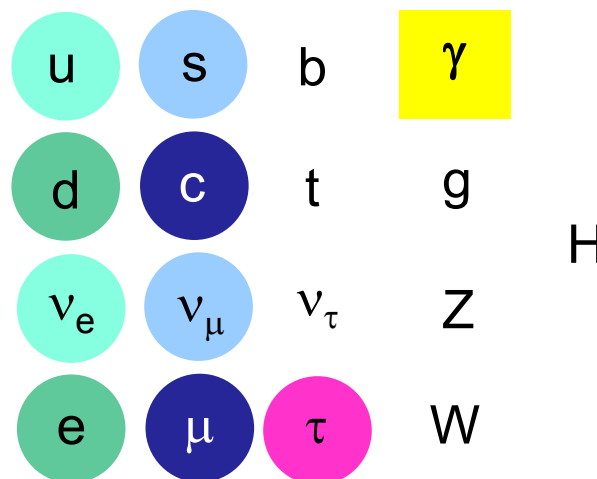


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

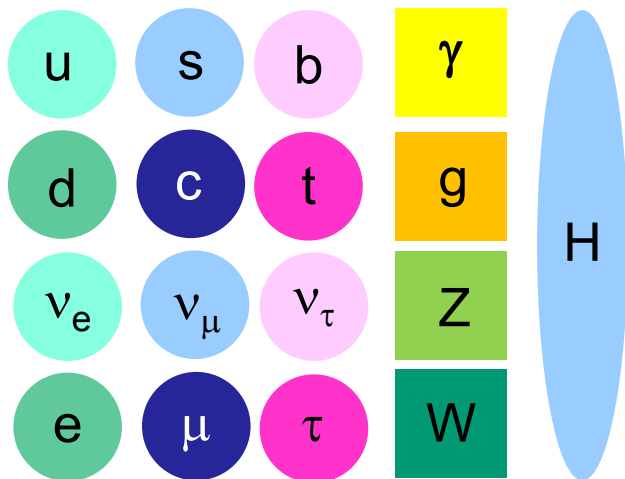
1976

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

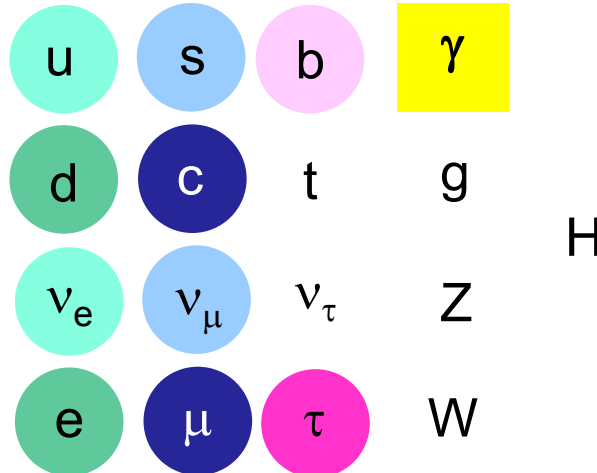


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

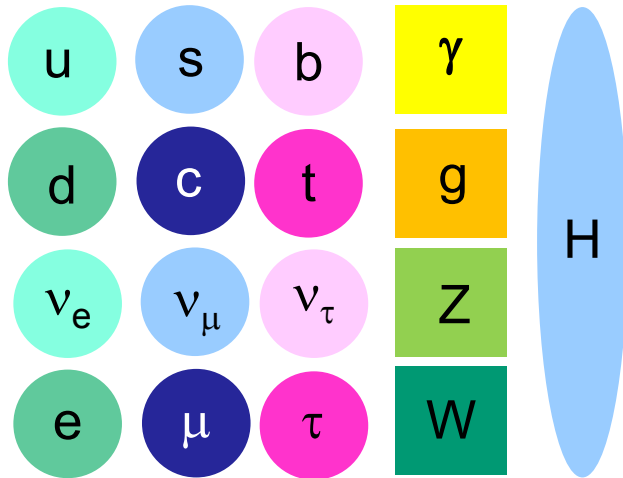
1977

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

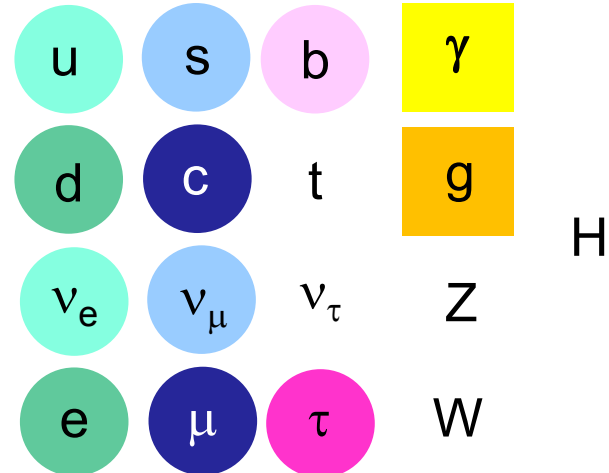


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

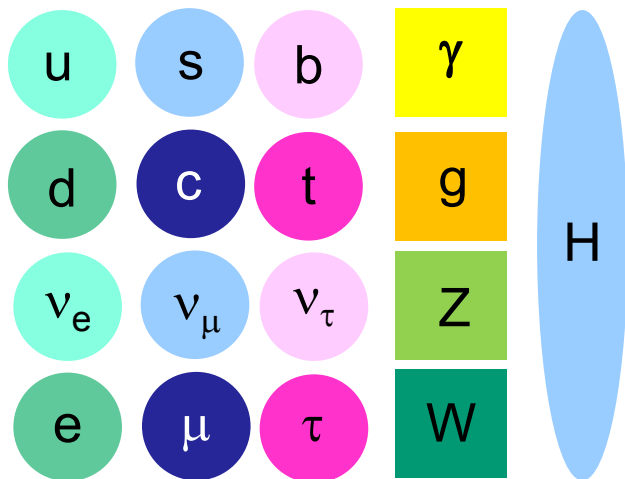
1978

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

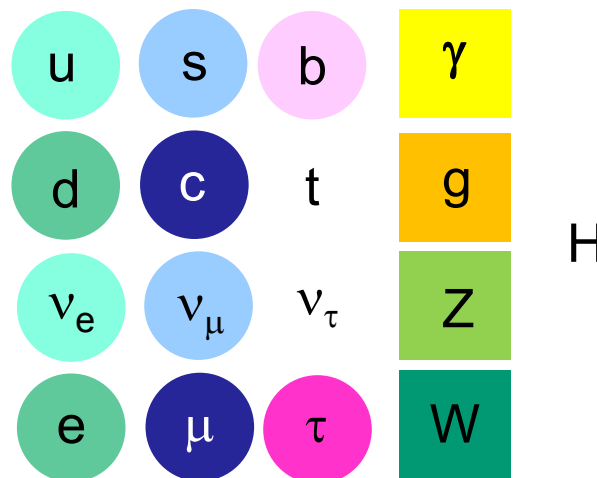


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

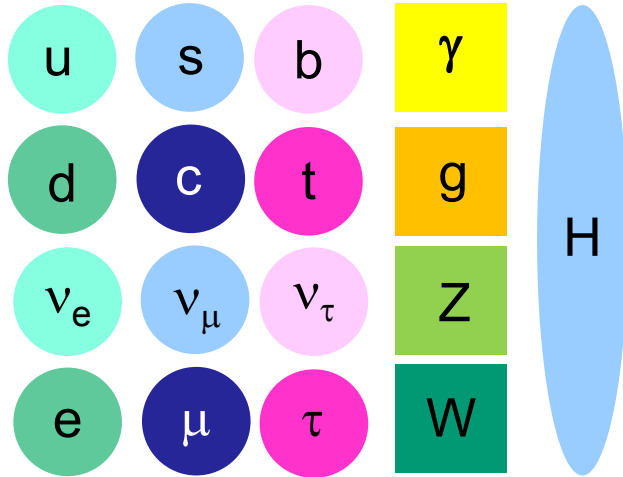
1980

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

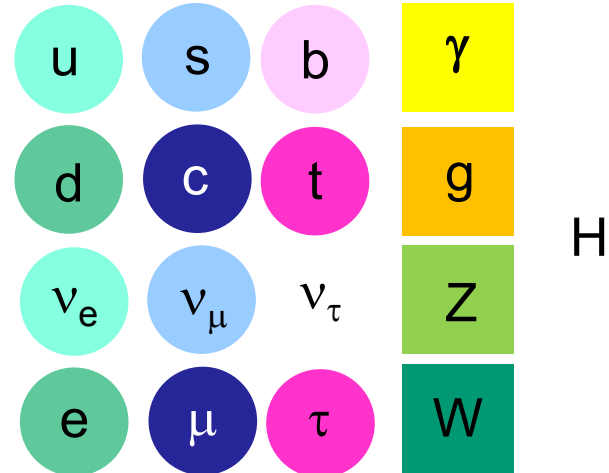


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

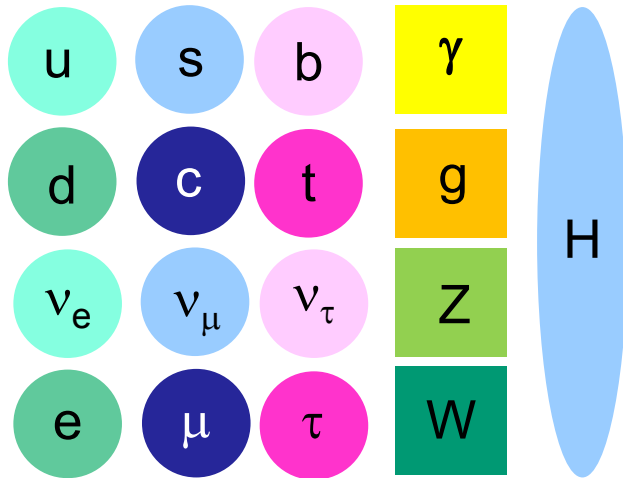
1995

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

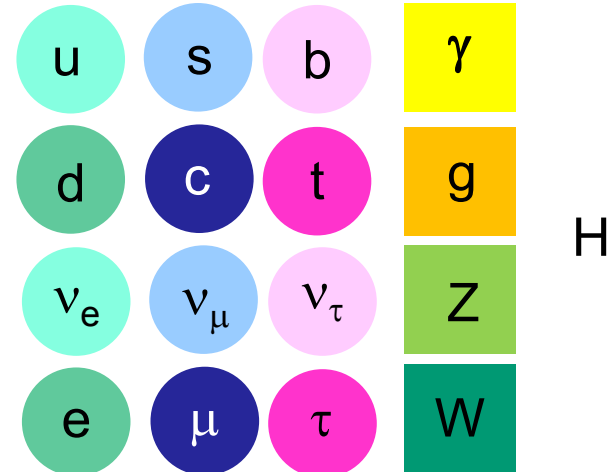


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

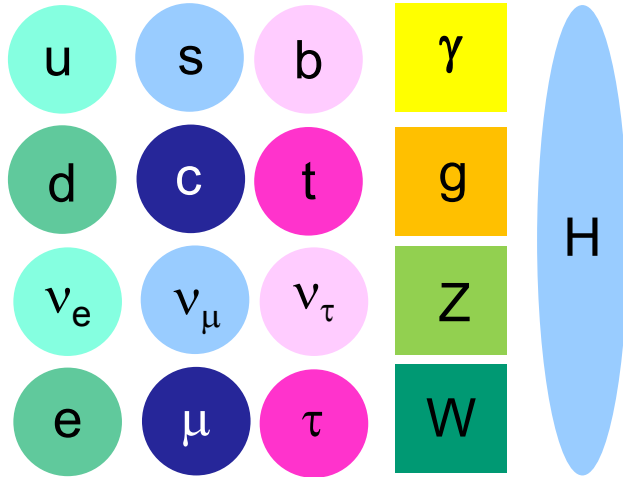
2000

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

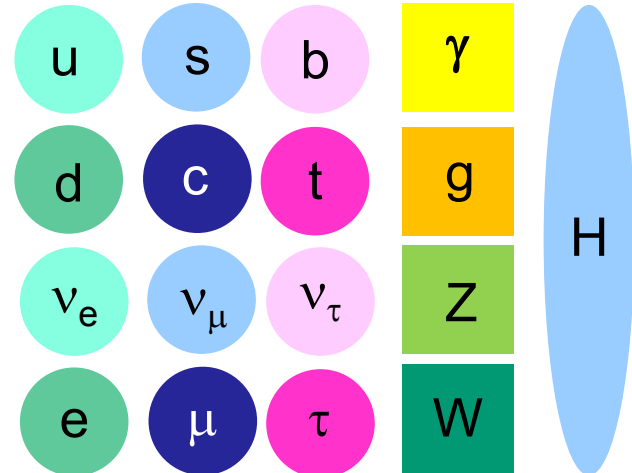


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

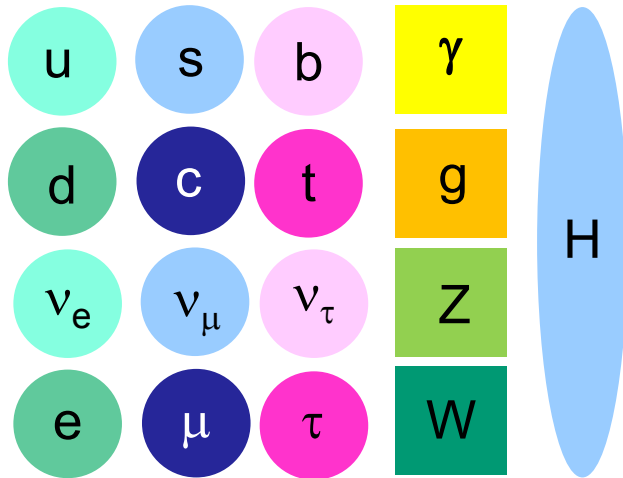
2012

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai

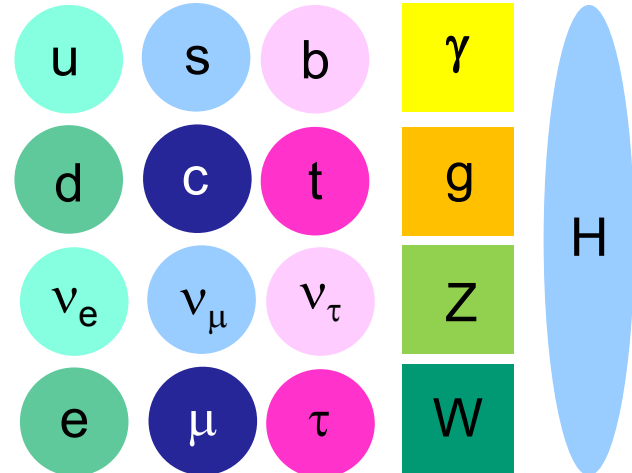


A felfedezések története
(á la Mengyelejev)

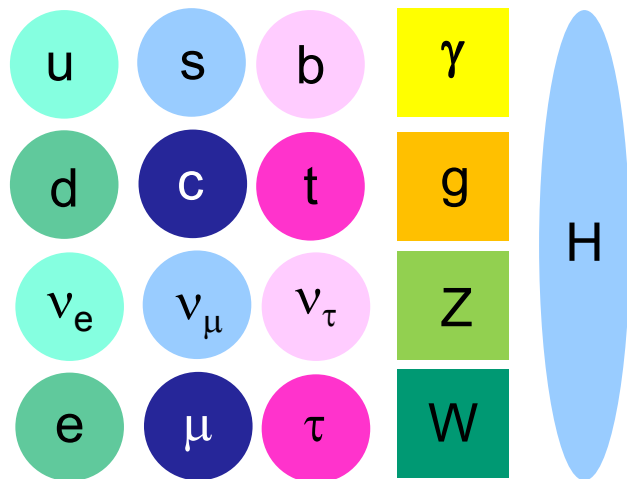
2012-re kész lett!

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.



A Standard Modell részecskéi és kölcsönhatásai



De az SM nem a végső szó:

- még nem magyaráz meg mindent
 - túl sok (18) szabad paraméter
 - kissé összefércelt,
- még nem eléggé egységes elmélet

Továbbfejlesztendő!

lásd: **Katz Sándor:**
Az elemi részek fizikája és az anyag eredete az Univerzumban
Atomcsill, 2007. szeptember 27.

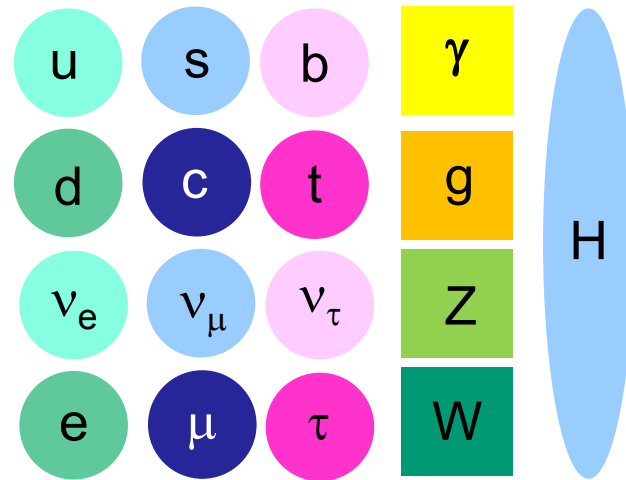
lásd: **Varga Dezső:**
A legkisebb részecskék a világ legnagyobb gyorsítójában
Atomcsill, 2010. november 18.

Csakhogy az SM túl gömbölyű,
nem lehet csak úgy kiegészíteni
egy vagy két újabb részecskével...

Hogyan lehet továbbfejleszteni?

Ismerjük fel a szimmetriákat!

anyag – antianyag!
lepton – kvark
színszimmetria
(kvarkok és gluonok)
generációk



a szimmetriák nem tökéletesek:
"sérülnek"

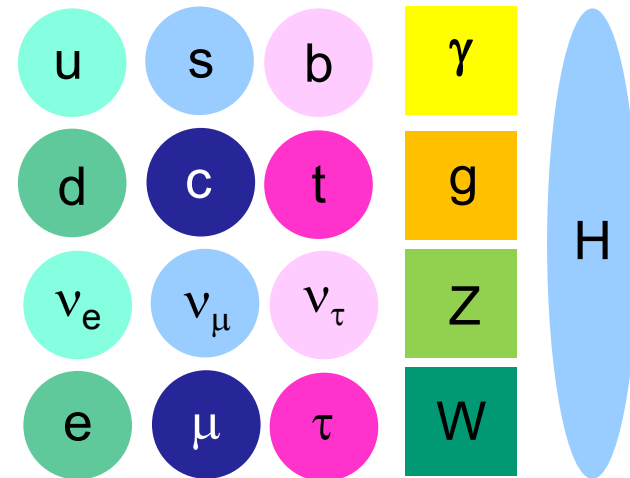
a szimmetrikus objektumok
nem teljesen egyformák!

pl más a tömegük

Hogyan lehet továbbfejleszteni?

Ismerjük fel a szimmetriákat!

anyag – antianyag!
lepton – kvark
színszimmetria
(kvarkok és gluonok)
generációk



létezhet-e további szimmetria?

(bizonyára nem tökéletes (sértett) szimmetria)

a szimmetriák nem tökéletesek:
"sérülnek"

a szimmetrikus objektumok
nem teljesen egyformák!

pl más a tömegük

kettőzzük meg újból a sémát!

szuperszimmetria (SUSY)
árnyékanyag

húrelmélet

sok új részecske!

eddig nem láttuk őket...!

**mert nagyobb a tömegük,
mint amit a gyorsítók elérnek**



sok új részecske!

eddig nem láttuk őket...!

**mert nagyobb a tömegük,
mint amit a gyorsítók elérnek**

hol lehetnek, hol
keressük?

**építsünk nagyobb
gyorsítókat!**

politikusok kórusa:
annyi pénz nincs!



sok új részecske!

eddig nem láttuk őket...!

**mert nagyobb a tömegük,
mint amit a gyorsítók elérnek**

hol lehetnek, hol
keressük?

**építsünk nagyobb
gyorsítókat!**

politikusok kórusa:
annyi pénz nincs!

egy csendes
csillagász:

én látok az égen rengeteg
felesleges anyagot,
és nem tudom, mi az...



sok új részecske!

eddig nem láttuk őket...!

mert nagyobb a tömegük,
mint amit a gyorsítók elérnek

egy csendes
csillagász:

én látok az égen rengeteg
felesleges anyagot,
és nem tudom, mi az...

hol lehetnek, hol
keressük?

**építsünk nagyobb
gyorsítókat!**

politikusok kórusa:
annyi pénz nincs!

a sötét anyag problémája:

egy kísérleti felesleg

és

egy elméleti hiány

sikeres találkozása

Nem először a fizika történetében!



sok új részecske!

eddig nem láttuk őket...!

mert nagyobb a tömegük,
mint amit a gyorsítók elérnek

egy csendes
csillagász:

én látok az égen rengeteg
felesleges anyagot,
és nem tudom, mi az...

hol lehetnek, hol
keressük?

**építsünk nagyobb
gyorsítókat!**

politikusok kórusa:
annyi pénz nincs!

a sötét anyag problémája:

egy kísérleti felesleg

és

egy elméleti hiány

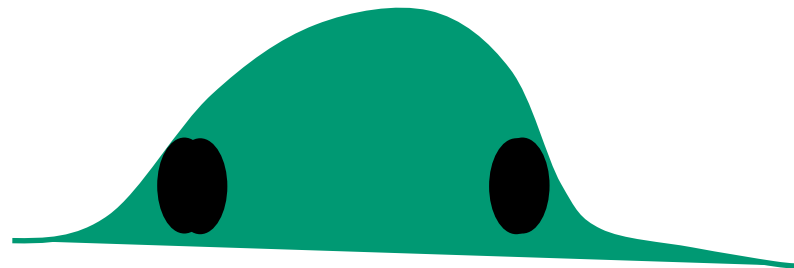
sikeres (vagy sikertelen?) **találkozása**

Nem először a fizika történetében!



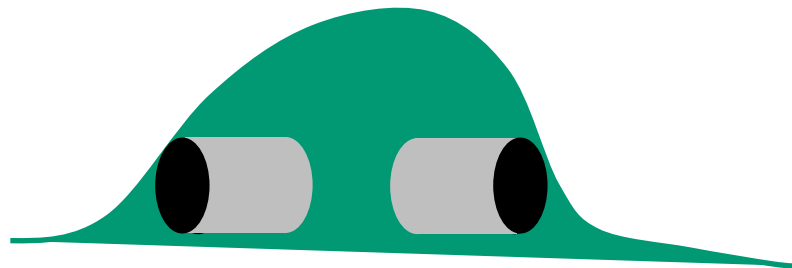
Hogy fúrják az alagutat?

két csoport kezdi a két végén



Hogy fúrják az alagutat?

két csoport kezdi a két végén



Hogy fúrják az alagutat?

két csoport kezdi a két végén

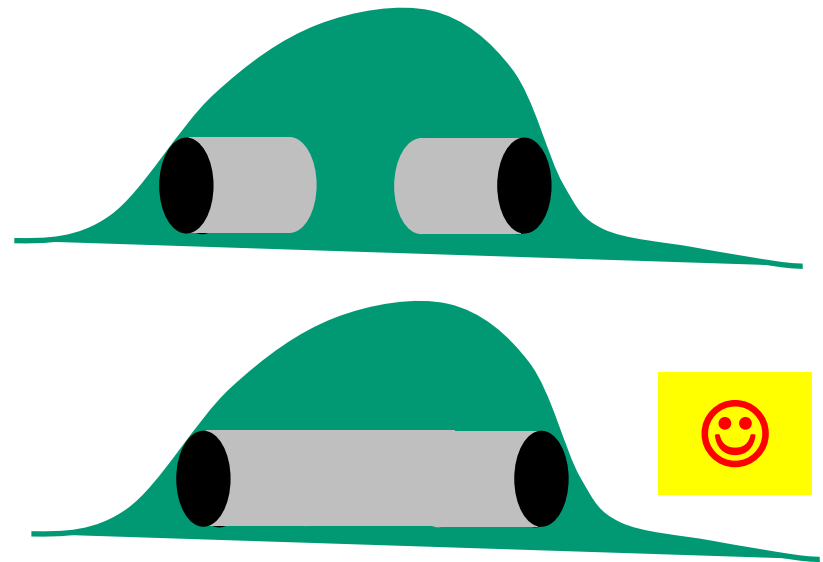
Vajon összetalálkozik-e az alagút két vége?

Tényleg a GUT vagy a SUSY új, megjósolt részecskéi alkotják a sötét anyagot??

Nem tudjuk!

De szeretnénk...

Minden fizikus álma:



egységes, egymást alátámasztó
szép elmélet és kísérlet

Hogy fúrják az alagutat?

két csoport kezdi a két végén

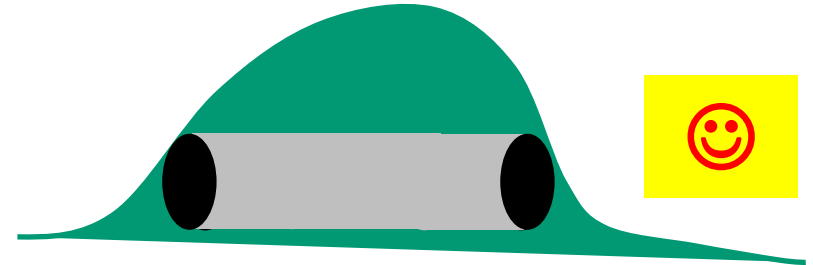
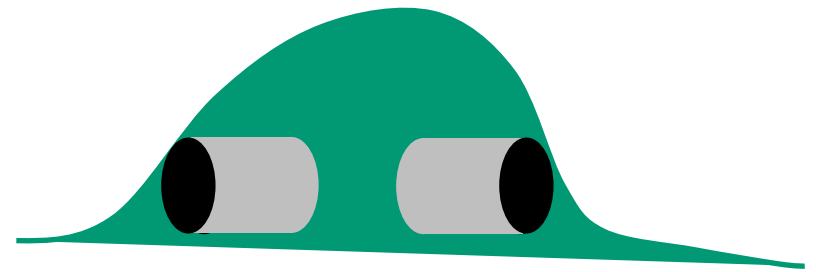
Vajon összetalálkozik-e az alagút két vége?

Tényleg a GUT vagy a SUSY új, megjósolt részecskéi alkotják a sötét anyagot??

Nem tudjuk!

De szeretnénk...

Minden fizikus álma:



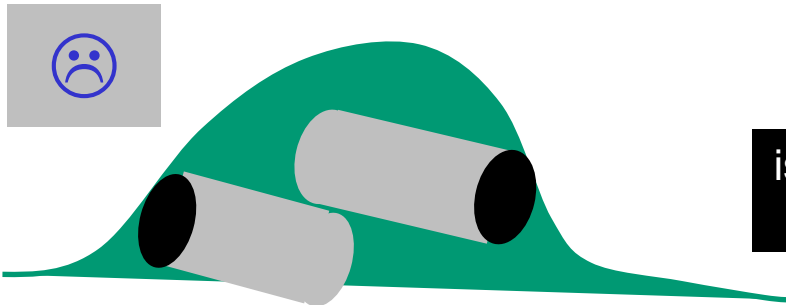
egységes, egymást alátámasztó
szép elmélet és kísérlet

de ha mégsem...:

Két befejezetlen projekt:

ismeretlen sötét anyag
az Univerzumban

terméketlen elméletek,
megjósolt, de nem észlelt
részecskékkal



Tényleg a GUT vagy a SUSY új,
megjósolt részecskéi alkotják
a sötét anyagot??

Hogyan lehet ezt eldönteni?

**Menjünk oda, ahol a sötét anyag van:
ki az Univerzumba, a galaxisok közé,
a galaxisokba, azaz**

IDE A FÖLDRE!

Mi is az Univerzum részei vagyunk!
Ha a sötét anyag mindenhol ott van,
akkor a Földön is van belőle!

csakhogy:

ritka, híg

nagyon gyengén
hat kölcsön
a közönséges anyaggal

de hátha beleszól földi jelenségekbe...



Tényleg a GUT vagy a SUSY új,
megjósolt részecskéi alkotják
a sötét anyagot??

Hogyan lehet ezt eldönteni?

**Menjünk oda, ahol a sötét anyag van:
ki az Univerzumba, a galaxisok közé,
a galaxisokba, azaz**

IDE A FÖLDRE!

Mi is az Univerzum részei vagyunk!
Ha a sötét anyag mindenhol ott van,
akkor a Földön is van belőle!

csakhogy:

ritka, híg

nagyon gyengén
hat kölcsön
a közönséges anyaggal

de hátha beleszól földi jelenségekbe...

Aktív keresési stratégiák:

összpontosítsunk sok energiát!
részecskegyorsítósok, figyelem!

Kvantum-Murphy első törvénye:
ami létrejöhet, az létre is jön!

végrehajtási utasítás:
esetleg nagyon sokáig kell rá várni...

Kvantum-Murphy második törvénye:
ami létrejöhet, az kis energián is létrejön!

végrehajtási utasítás:
még többet kell rá várni,
vagy nagyon sokat kell keresgélni...

pénzünk nincs, időnk van...



2015 – 16 két reménysége

2015 őszén az LHC adatai között észrevettek valamit, ami egy új részecske jele lehet

Az extra izgalom oka:
1972 óta mindig csak a SM által megjósolt részecskét kerestek és találtak a gyorsítóknban...

de ha a Standard Modell összes részecskéje már megvan,
akkor ez csak egy
ÚJ,
az SM-en túli részecske lehet!

talán a SUSY egyik megjósolt részecskéje?

talán a sötét anyag egyik alkotóeleme?



2015 – 16 két reménysége

2015 őszén az LHC adatai között észrevettek valamit, ami egy új részecske jele lehet

Az extra izgalom oka:
1972 óta mindig csak a SM által megjósolt részecskét kerestek és találtak a gyorsítóknban...

de ha a Standard Modell összes részecskéje már megvan,
akkor ez csak egy
ÚJ,
az SM-en túli részecske lehet!

talán a SUSY egyik megjósolt részecskéje?

talán a sötét anyag egyik alkotóeleme?

a további fejleményekről egy hónap múlva:

lásd: **Pásztor Gabriella:**
Új Fizika: az ismeretlen nyomában a Nagy Hadronütköztetővel
Atomcsill, 2016. október 6

(...addig lehet izgulni...)



Szegény ember kis energián keresgél:

közönséges, kis energiájú folyamatok
(pl atommag-átalakulások) között:

hátha az új részecskék ezekbe is beleszólnak...:

pl a sötét anyag legkönnyebb részecskéje,
a sötét foton (már ha létezik)

a közönséges foton tömege nulla:
a kölcsönhatás végtelen hatótávú

de a sötét foton tömege nem nulla:
ezért rövid hatótávú

így a sötét anyag nem világít messzire...

(vigyázz, ez csak egy igen egyszerű
modell a sötét anyagra!)



**Krasznahorkay Attila,
ATOMKI, Debrecen**

Szegény ember kis energián keresgél:

közönséges, kis energiájú folyamatok
(pl atommag-átalakulások) között:

hátha az új részecskék ezekbe is beleszólnak...:

pl a sötét anyag legkönnyebb részecskéje,
a sötét foton (már ha létezik)

a közönséges foton tömege nulla:
a kölcsönhatás végtelen hatótávú

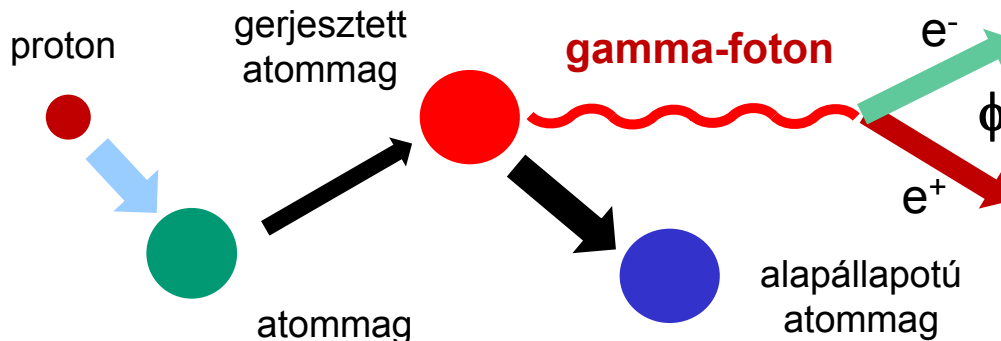
de a sötét foton tömege nem nulla:
ezért rövid hatótávú

így a sötét anyag nem világít messzire...

(vigyázz, ez csak egy igen egyszerű
modell a sötét anyagra!)



Krasznahorkay Attila,
ATOMKI, Debrecen



Szegény ember kis energián keresgél:

közönséges, kis energiájú folyamatok
(pl atommag-átalakulások) között:

hátha az új részecskék ezekbe is beleszólnak...:

pl a sötét anyag legkönnyebb részecskéje,
a sötét foton (már ha létezik)

a közönséges foton tömege nulla:
a kölcsönhatás végtelen hatótávú

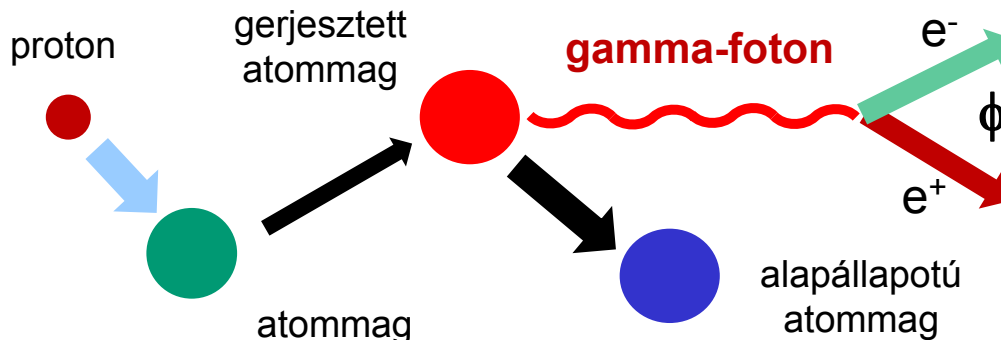
de a sötét foton tömege nem nulla:
ezért rövid hatótávú

így a sötét anyag nem világít messzire...

(vigyázz, ez csak egy igen egyszerű
modell a sötét anyagra!)



Krasznahorkay Attila,
ATOMKI, Debrecen



A gamma-foton helyett nagyon ritkán **sötét foton** keletkezhet.
Ekkor a ϕ szög megváltozik



Szegény ember kis energián keresgél:

közönséges, kis energiájú folyamatok
(pl atommag-átalakulások) között:

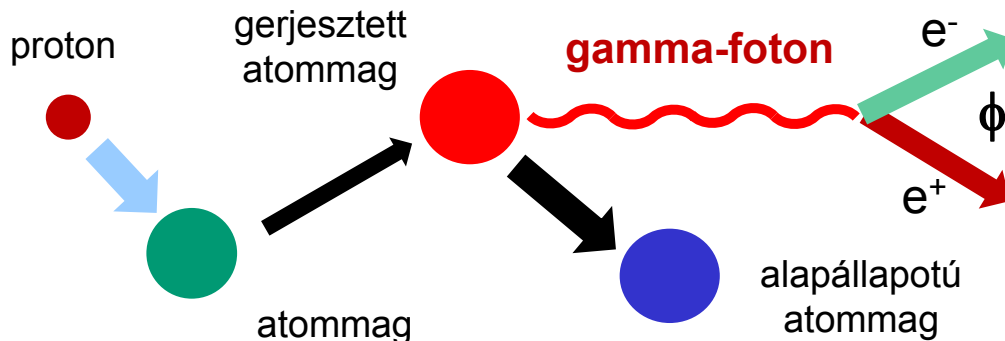
hátha az új részecskék ezekbe is beleszólnak...:

pl a sötét anyag legkönnyebb részecskéje,
a sötét foton (már ha létezik)

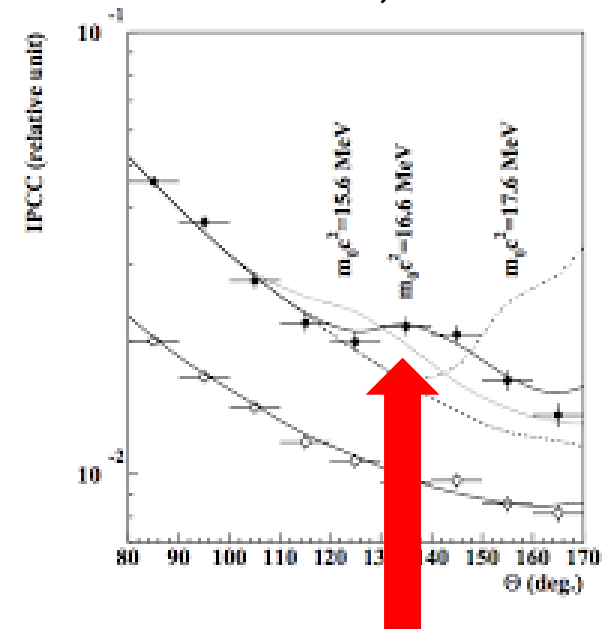
a közönséges foton tömege nulla:
a kölcsönhatás végtelen hatótávú

de a sötét foton tömege nem nulla:
ezért rövid hatótávú
így a sötét anyag nem világít messzire...

(vigyázz, ez csak egy igen egyszerű
modell a sötét anyagra!)



Krasznahorkay Attila,
ATOMKI, Debrecen



A gamma-foton helyett nagyon ritkán **sötét foton** keletkezhet.
Ekkor a ϕ szög megváltozik

Még nem – de lehetséges!

A kísérlet szerint létezik egy új részecske

De ez még nagyon sok különböző
(köztük sok, még nem létező)
elméletbe is beleillik!

A kísérlet motivációja a sötét foton
egy előzetes elmélete volt.

Ezt a kísérlet megerősítette.

Azóta (2016) egy amerikai csoport
felvetett egy egészen más elméletet:
ez itt az ötödik kölcsönhatás...

ebből lett a sajtószenzáció...

a két elmélet éppen ugyanannyira
(azaz alig) megalapozott...

Felfedezték-e Debrecenben 2015-ben a sötét fotont?

Még nem – de lehetséges!

A kísérlet szerint létezik egy új részecske

De ez még nagyon sok különböző
(köztük sok, még nem létező)
elméletbe is beleillik!

A kísérlet motivációja a sötét foton
egy előzetes elmélete volt.

Ezt a kísérlet megerősítette.

Azóta (2016) egy amerikai csoport
felvetett egy egészen más elméletet:
ez itt az ötödik kölcsönhatás...

ebből lett a sajtószenzáció...

a két elmélet éppen ugyanannyira
(azaz alig) megalapozott...

Mi a teendő?

a kísérlet megisméltése
más csoportok által,
más berendezésekkel

további hasonló jellegű kísérletek

a jelenség (és az új részecske)
alapos körüljárása,
körbetapogatása

az elmélet alapos kiépítése,
új hasonló jelenségek megjósolása,
kísérleti ellenőrzése

**De hát épp így
működik a tudomány!**



Lehetséges kimenetek:

- mérési hiba volt...



- nem új részecske,
hanem valami más magfizikai effektus

- olyan részecske,
ami mégis beleillik a Standard Modellbe

- a Standard Modellen túli,
de semmilyen eddigi elméletbe
bele nem illő részecske
(pl az **Ötödik Erő** kvantuma)

- a Standard Modellen túli,
a SUSY-ba vagy más, már létező
elméletbe beleillő részecske

- a Standard Modellen túli részecske,
ami egyben a sötét anyag első részecskéje

**- ez egyben a sötét anyag
első földi kimutatása lenne!**



Lehetséges kimenetek:

- mérési hiba volt...



- nem új részecske,
hanem valami más magfizikai effektus

- olyan részecske,
ami mégis beleillik a Standard Modellbe

- a Standard Modellen túli,
de semmilyen eddigi elméletbe
bele nem illő részecske
(pl az **Ötödik Erő** kvantuma)

- a Standard Modellen túli,
a SUSY-ba vagy más, már létező
elméletbe beleillő részecske

- a Standard Modellen túli részecske,
ami egyben a sötét anyag első részecskéje

**- ez egyben a sötét anyag
első földi kimutatása lenne!**

**A Sötét Anyag
jövője
most kezdődik!**



Lehetséges kimenetek:

- mérési hiba volt...



- nem új részecske,
hanem valami más magfizikai effektus

- olyan részecske,
ami mégis beleillik a Standard Modellbe

- a Standard Modellen túli,
de semmilyen eddigi elméletbe
bele nem illő részecske
(pl az **Ötödik Erő** kvantuma)

- a Standard Modellen túli,
a SUSY-ba vagy más, már létező
elméletbe beleillő részecske

- a Standard Modellen túli részecske,
ami egyben a sötét anyag első részecskéje

**- ez egyben a sötét anyag
első földi kimutatása lenne!**

**A Sötét Anyag
jövője
most kezdődik!**

még minden
folyékony,
minden változhat!



Lehetséges kimenetek:

- mérési hiba volt...



- nem új részecske,
hanem valami más magfizikai effektus

- olyan részecske,
ami mégis beleillik a Standard Modellbe

- a Standard Modellen túli,
de semmilyen eddigi elméletbe
bele nem illő részecske
(pl az **Ötödik Erő** kvantuma)

- a Standard Modellen túli,
a SUSY-ba vagy más, már létező
elméletbe beleillő részecske

- a Standard Modellen túli részecske,
ami egyben a sötét anyag első részecskéje

**- ez egyben a sötét anyag
első földi kimutatása lenne!**

**A Sötét Anyag
jövője
most kezdődik!**

még minden
folyékony,
minden változhat!

legyen világosság!



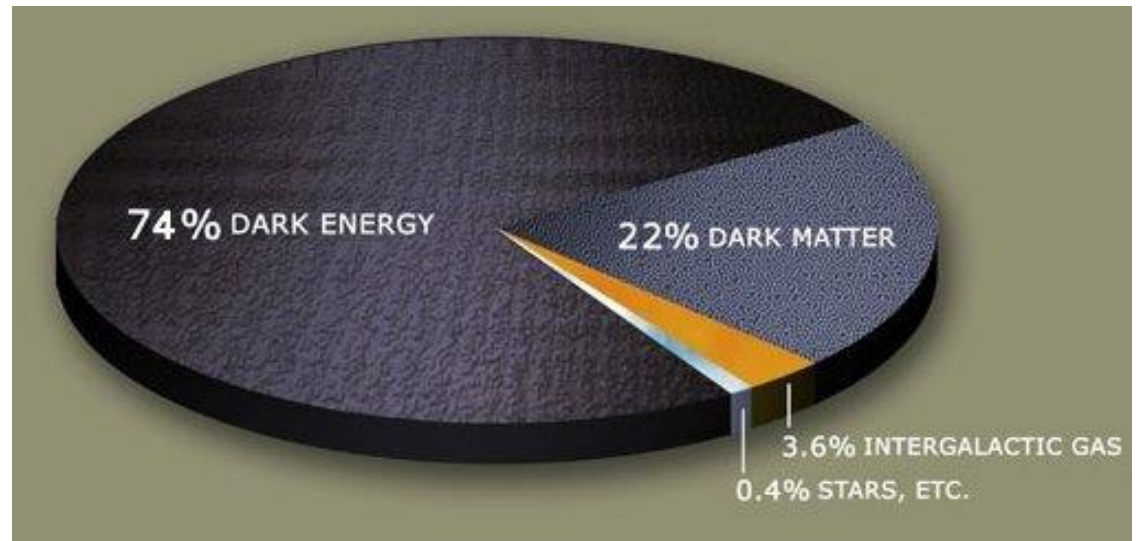
**Ja igen, a sötét
energia...**



Ja igen, a sötét energia...

ami az
Univerzum
anyagának
74 %-át adja

más néven
inflaton
vagy
kvintesszencia



lánykori nevén
kozmológiai
állandó

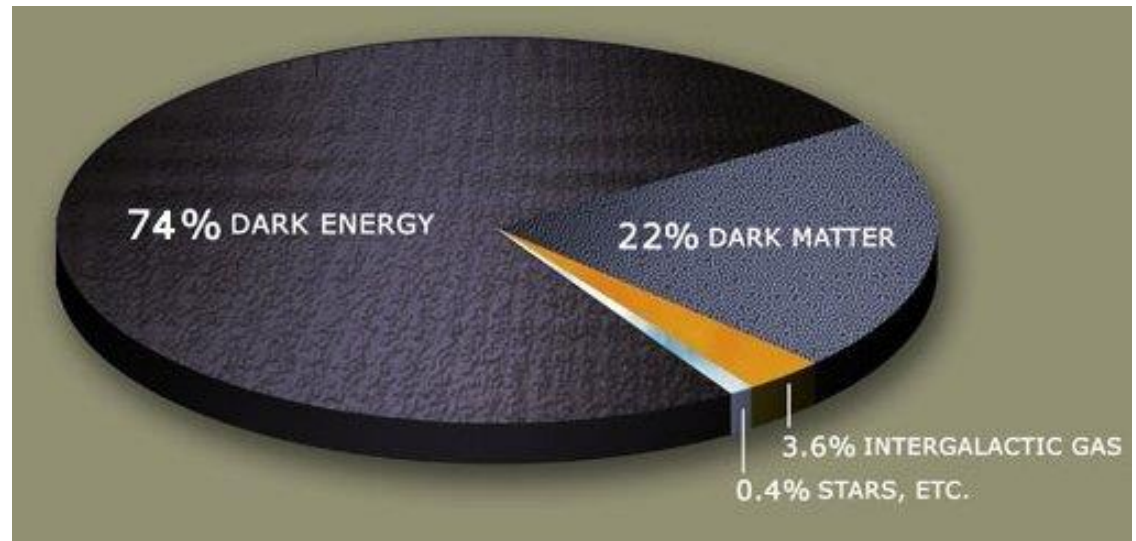
avagy Einstein
legnagyobb
tévedése...

Ja igen, a sötét energia...

ami az
Univerzum
anyagának
74 %-át adja

más néven
inflaton
vagy
kvintesszencia

Róla majd jövőre...



lánykori nevén
kozmológiai
állandó

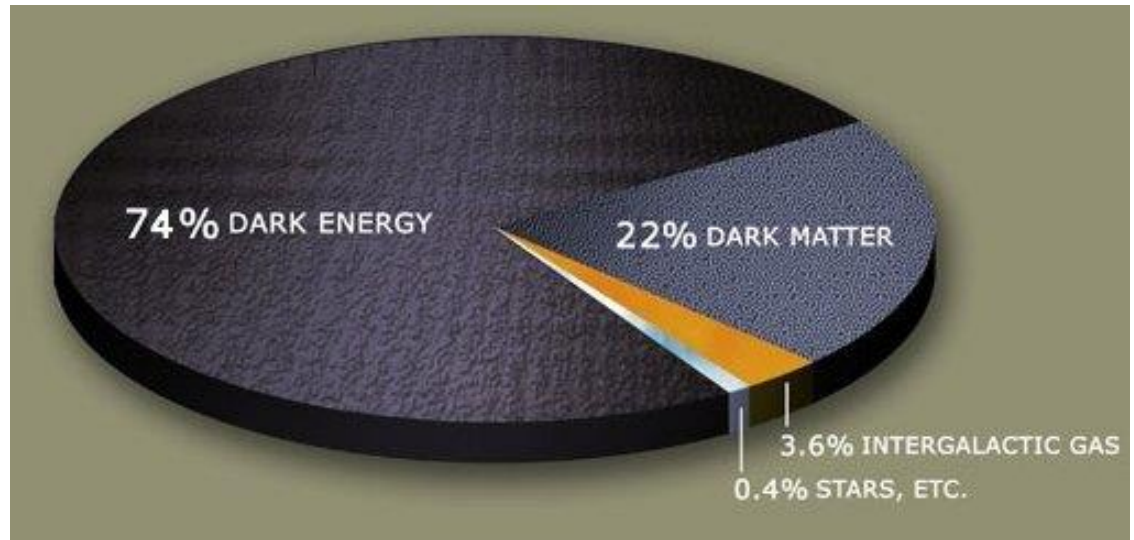
avagy Einstein
legnagyobb
tévedése...

Ja igen, a sötét energia...

ami az Univerzum anyagának 74 %-át adja

más néven inflaton vagy kvintesszencia

Róla majd jövőre...



lánykori nevén kozmológiai állandó

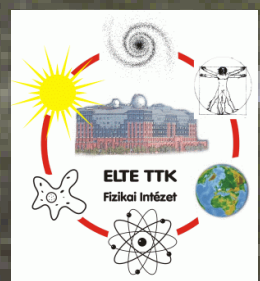
avagy Einstein legnagyobb tévedése...

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!





A sötét anyag nyomában



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2016. 09. 08.