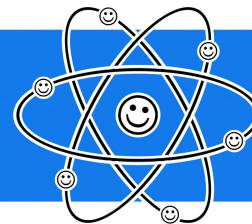
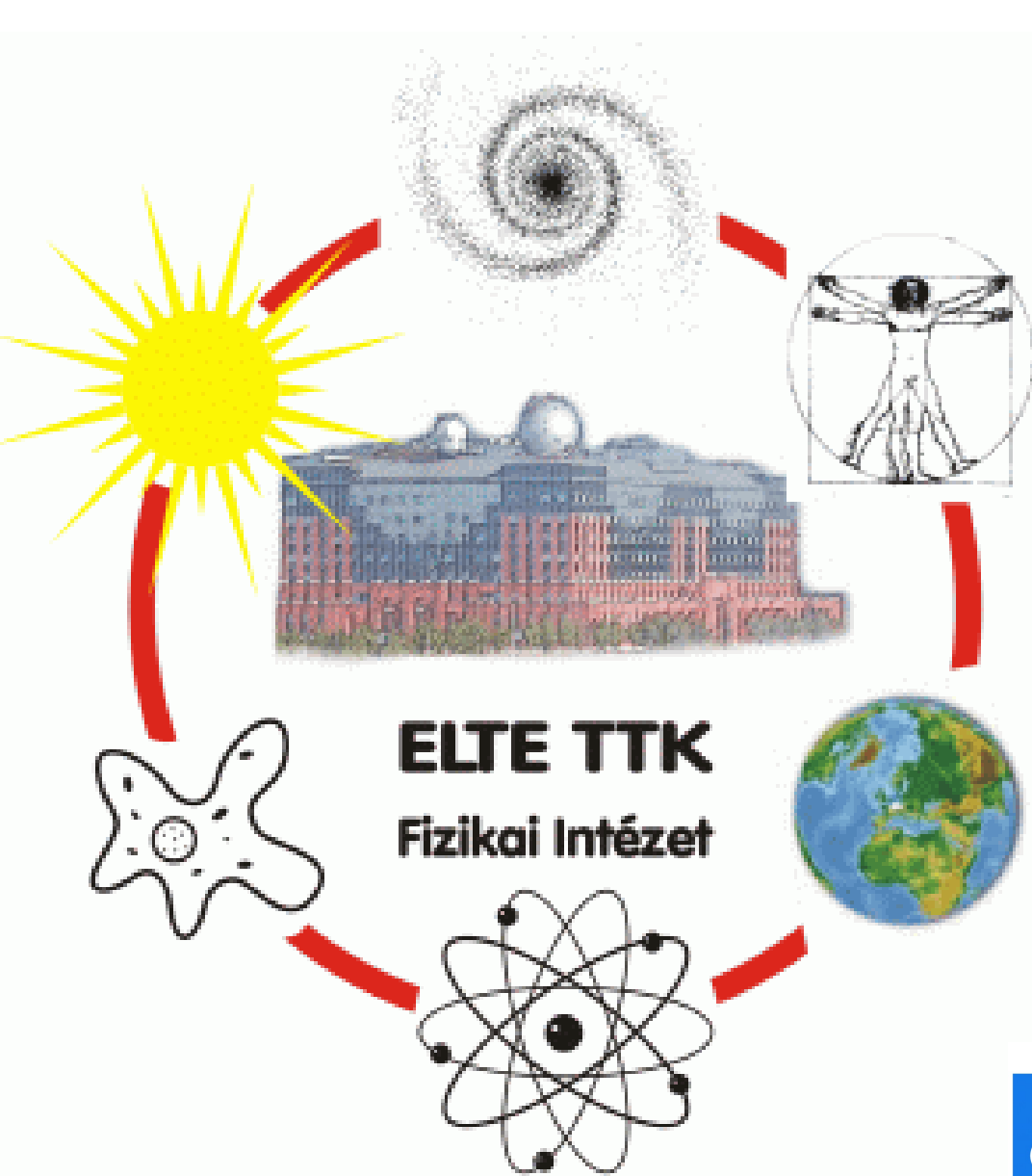




Az atomoktól a csillagokig

200.

ELTE TTK
Fizikai Intézet



A fizika mindenkié





Struktúrák térben, időben és téridőben 1.

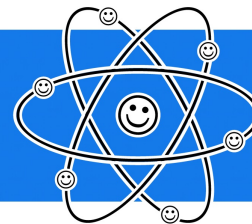
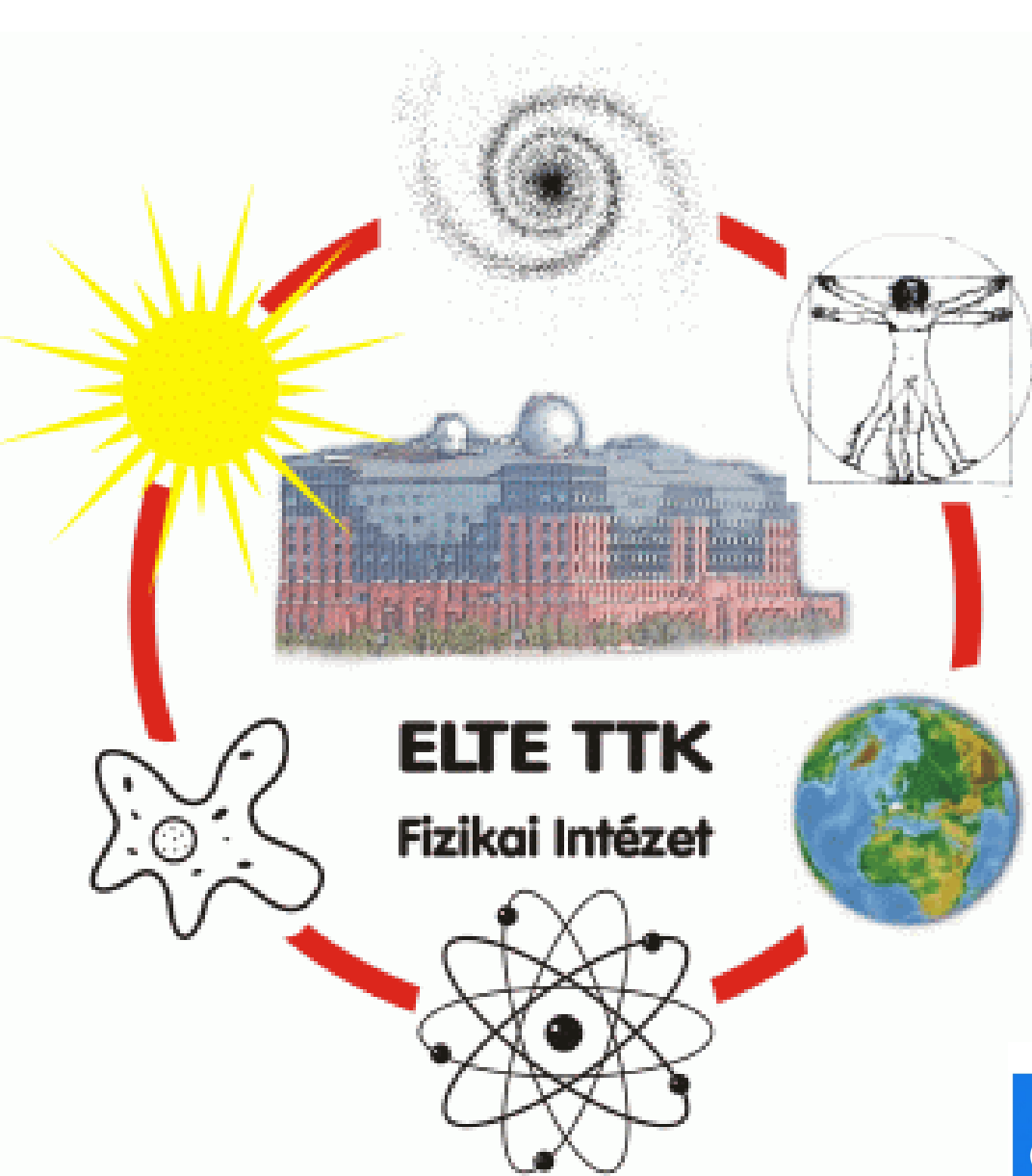


Dávid Gyula
2019. 10. 10.

Az atomoktól a csillagokig

200.

ELTE TTK
Fizikai Intézet



A fizika mindenkié



Az építészek térbeli struktúrákat hoznak létre



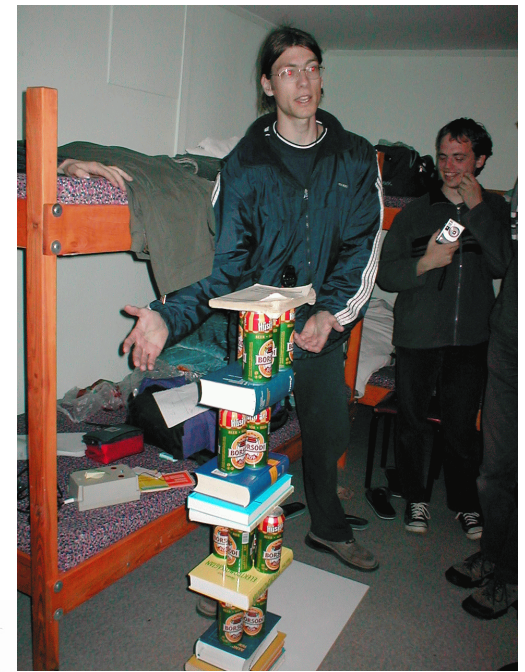
Uraniborg main building. Copper etching from Blaeu's Atlas Major, 1663.



A szobrászok is...



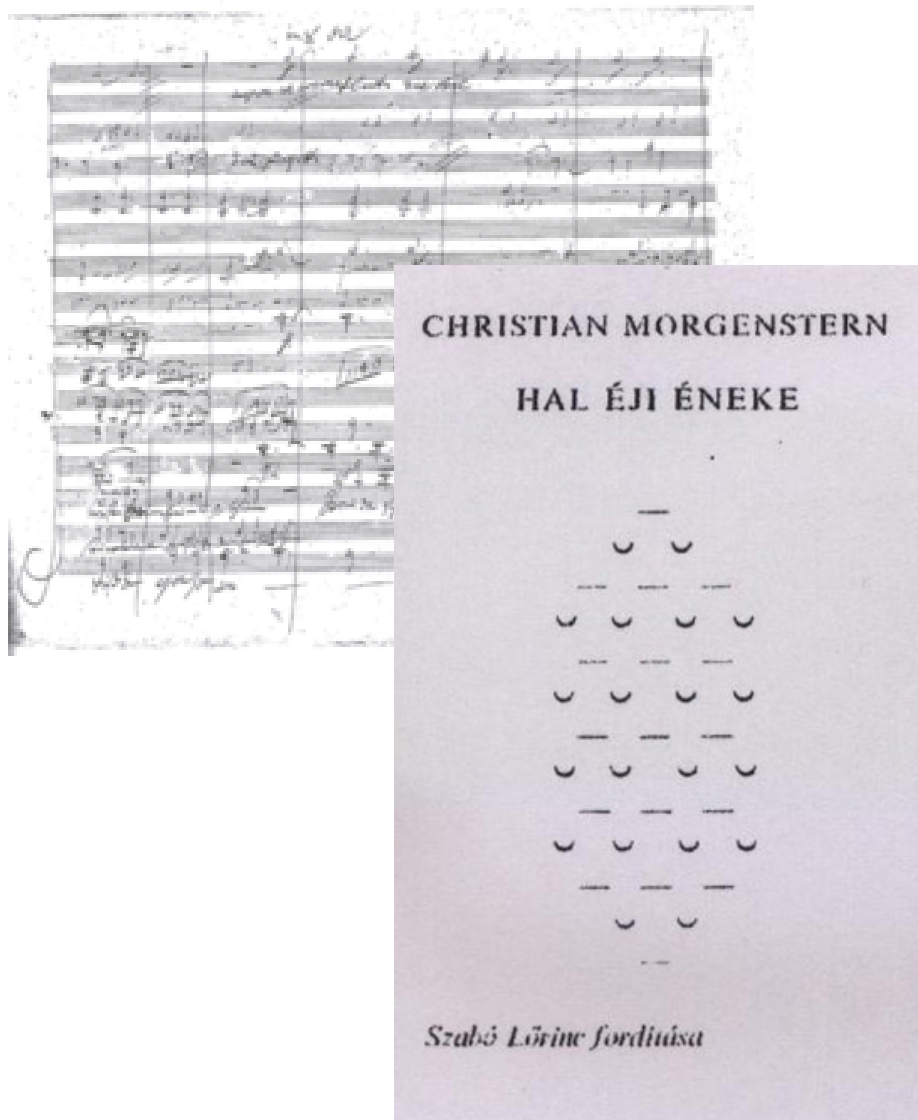
Olykor a fizikusok is térbeli struktúrákat hoznak létre



A zenészek és a költők időbeli struktúrákat alkotnak

La Marseillaise
National Anthem of France

Claude Joseph Rouget de Lisle, 1792



1. Al-lons, en-fants de la Pa-tri-e, Le jour de gloire est ar-ri-vé; Con-tre
nous de la ty-ra-ni-e, L'é-tend-dard san-glant est la-vé. L'é-ten-dard san-glant est le
vé. En-ten-dez-vous dons nos cam-pa-gnes mu-gir ces fa-rou-ches sol-dats. Ils
vien-nent jus-que dans nos bras é-gor-ger vos fils, vos com-pag-nes. Aux
ar-mes ci-toy-ens! For-mez vos ba-tail-lons, Mar-chons! Mar-
chons! Qu'un sang im-pur A-breuve nos si-llons.

bethsnotes.com



Vannak térben és időben egyaránt strukturált jelenségek is

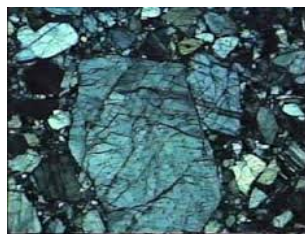


A fizikusok is konstruáltak egyszerre térbeli és időbeli struktúrákat

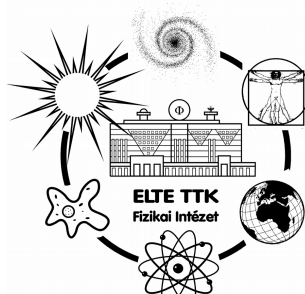


De a természet már jóval korábban létrehozta a maga struktúráit!

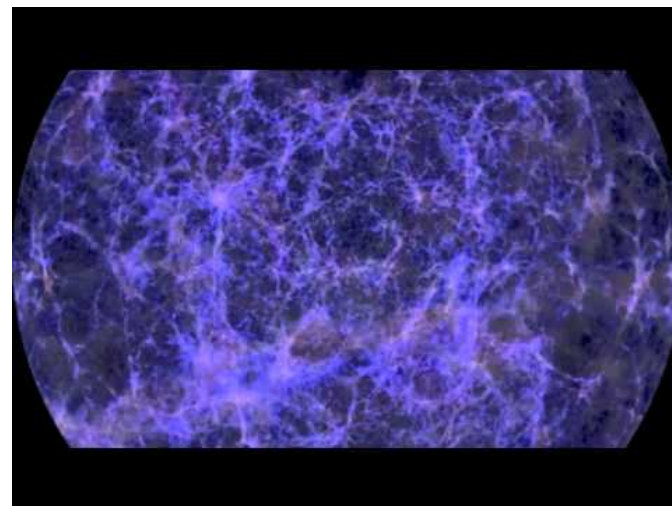
A világ tele van térbeli és időbeli struktúrákkal

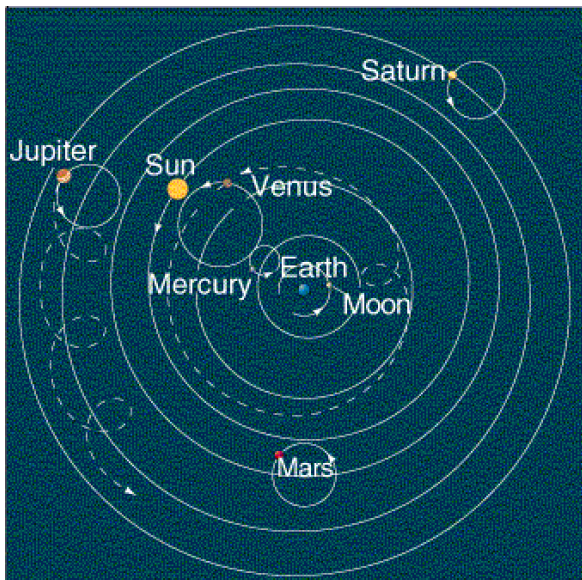


az atomoktól a csillagokig

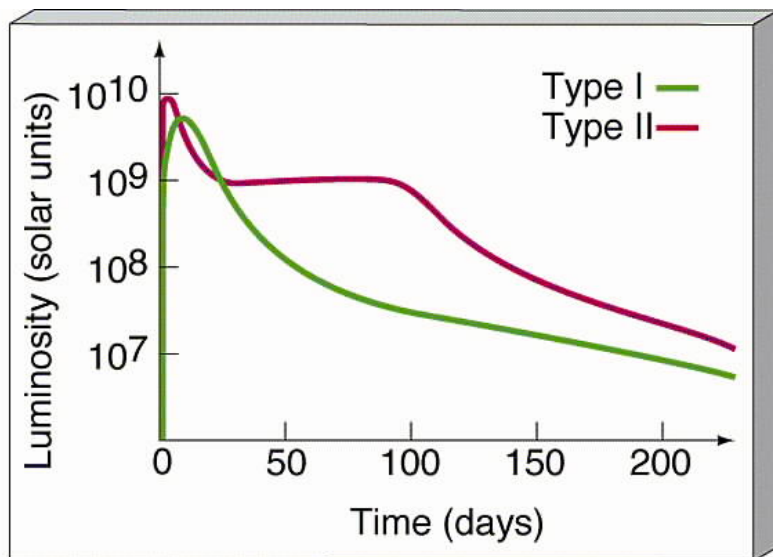


a kvarkoktól a galaxiscsipkéig

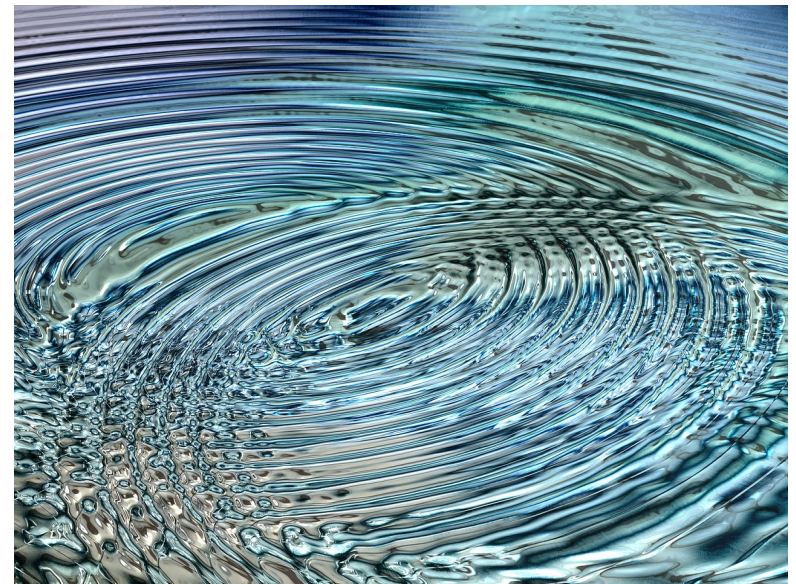
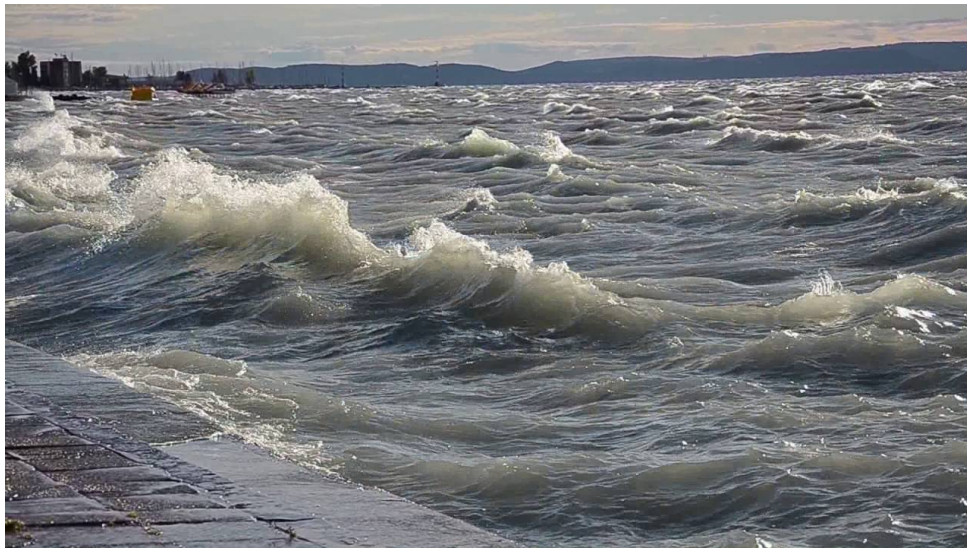
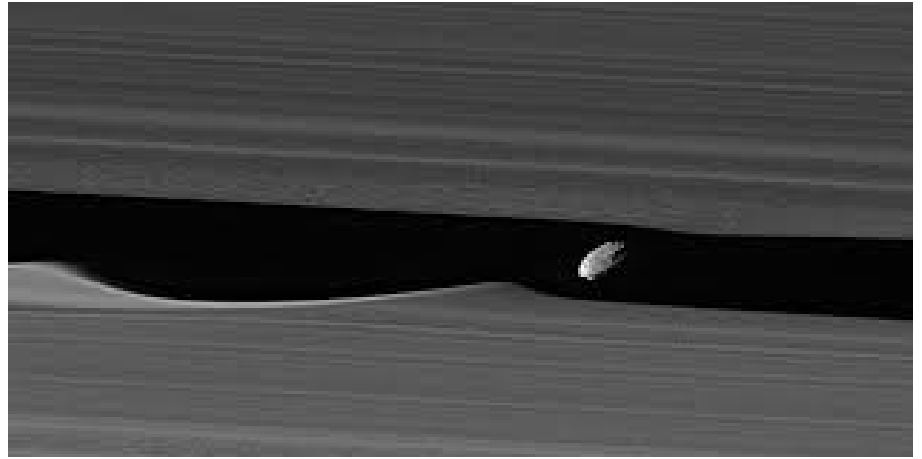




a forgó és keringő bolygóktól a robbanó csillagokig



a hullámok térbeli és időbeli struktúrája összekapcsolódik



Térbeli struktúra: kisebb alakzatok tartósan összekötött rendszere
fizikailag: kötött állapot

Kérdések:

- milyen részekből áll?
- milyen erő tartja össze?
- hogyan lehet szétszedni?
- mennyire stabil?
- meddig marad fenn?
- van-e több lehetséges állapota?
- meddig azonos önmagával?

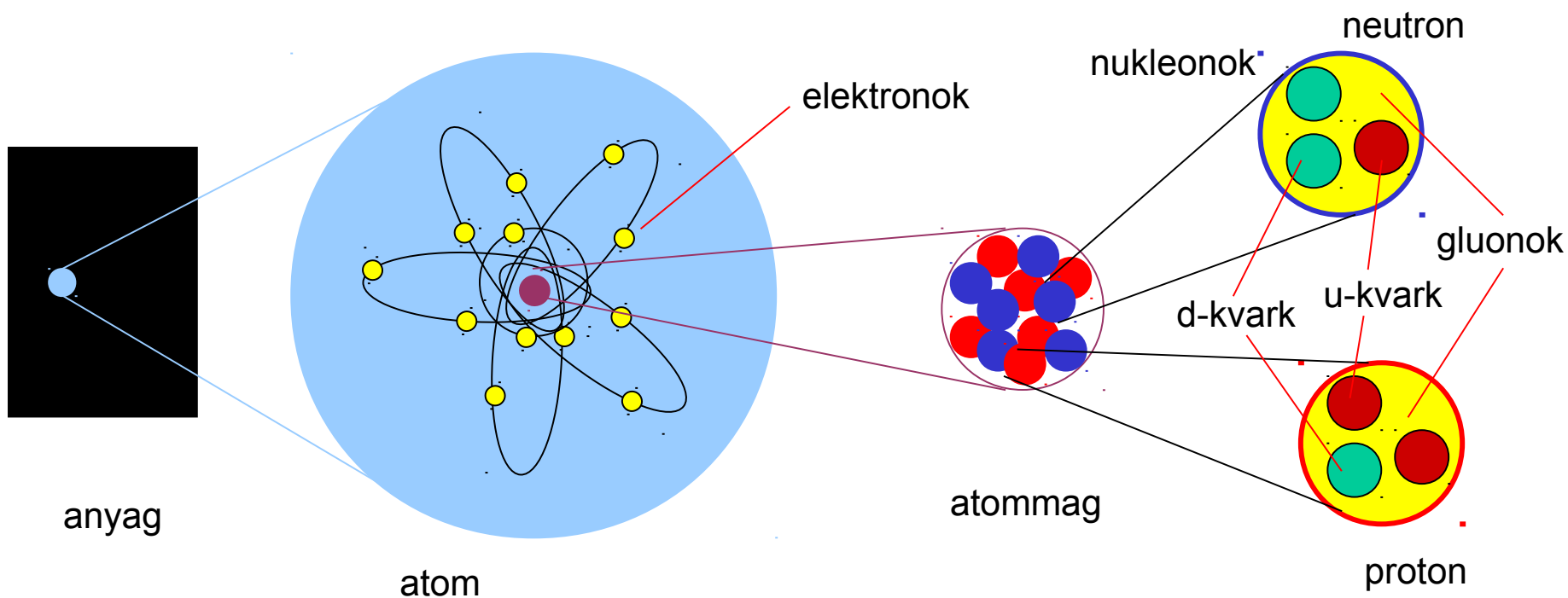
Milyen folyamat hozta létre / pusztítja el?



Térbeli struktúra: kisebb alakzatok tartósan összekötött rendszere

fizikailag: kötött állapot

Jellegzetessége: **minden szinten más a felépítés módja**

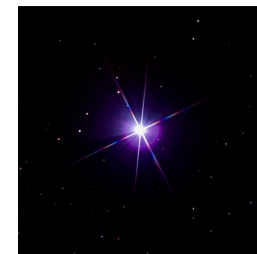
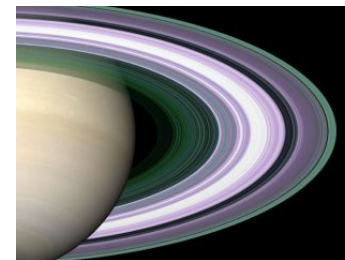
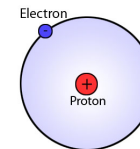


az atom nem Naprendszer!



TÉRBELI STRUKTÚRÁK

- vannak teljesen egyformák, sok-sok példányban
- vannak tipikusan, de nem teljesen egyformák
- vannak teljesen egyediek
(amíg nem találunk másik hasonlót)



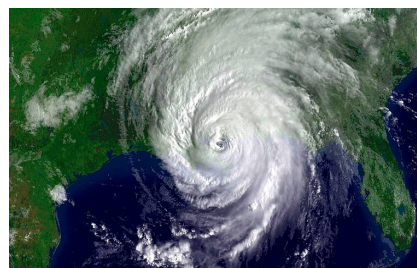
a Szaturnusz gyűrűje

Fajták:

- ideiglenes, véletlenszerű
- ideiglenes, tényleges
- tartósan fennállók



Göncölszekér
avagy Nagy Medve



Katrina hurrikán
élőlények



atomok, molekulák, kövek, Föld, Nap, galaxisok

A magasabb szintű struktúrák felépülésének közös szabályai:

- **kompartment szerkezet** (vö: Csányi Vilmos: Az evolúció általános elmélete)
 - a kisebb struktúrák a belső erők hatására lezárulnak, fix szerkezet
 - **egységként vesznek részt** a nagyobb struktúrák felépítésében

EZÉRT alakulhatott ki és működik a természettudomány!

Az egyes szintek egymástól függetlenül, saját módszerekkel, a többi szint ismerete nélkül vizsgálhatók.

– **energetikai elkülönülés**

- a kisebb egységek szétszedéséhez több energia kell (szemben az ember által alkotott kütyük esetével)

EZÉRT nem működött az alkímia! (atom- és magfizika)

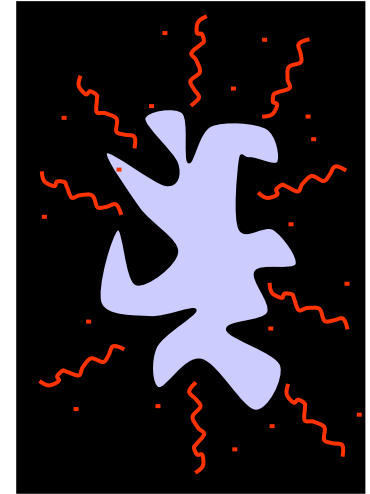


- **a struktúrák** nincsenek elszigetelve, **kölcsönhatásban állnak a környezetükkel**
ennek mértéke a **hőmérséklet** (egy szabadsági fokra jutó átlagos energia)

A környezettel való kölcsönhatás speciális következménye:

- a folyamatok egyirányúsága
- **törekvés a legalacsonyabb energiájú állapot elérésére**
(mert körülöttünk a jéghideg világűr!)

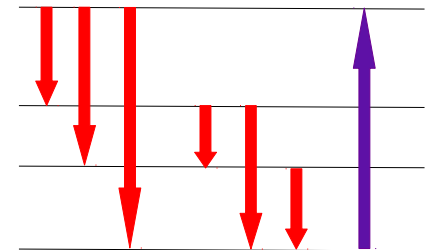
régen, a forró Univerzumban másképp volt!



- **extra fizikai szabály** a kvantumelmélet alapján:

- **a kötött állapotok diszkrét energiaszintjei**

közöttük nincs folytonos átmenet, csak ugrás,
ehhez kell egy minimális energia

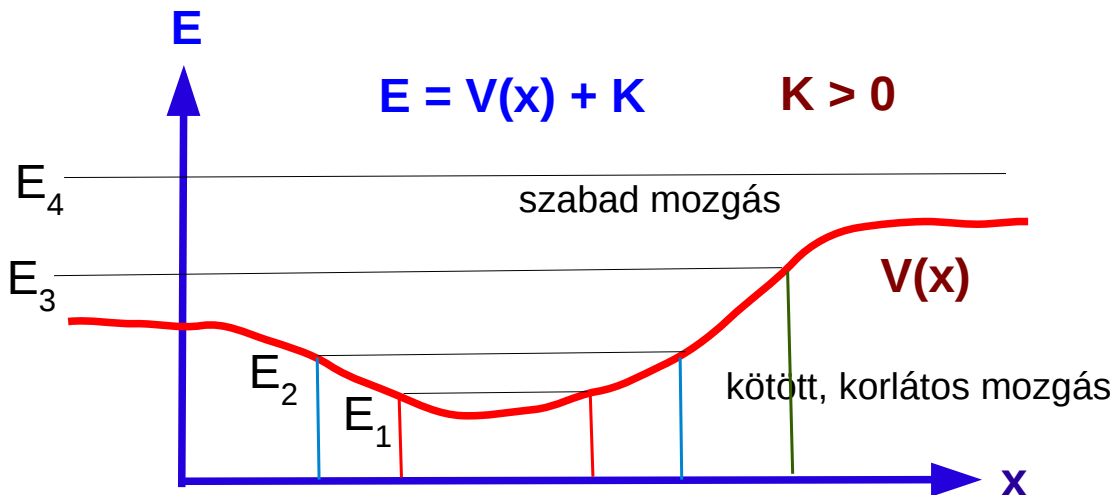
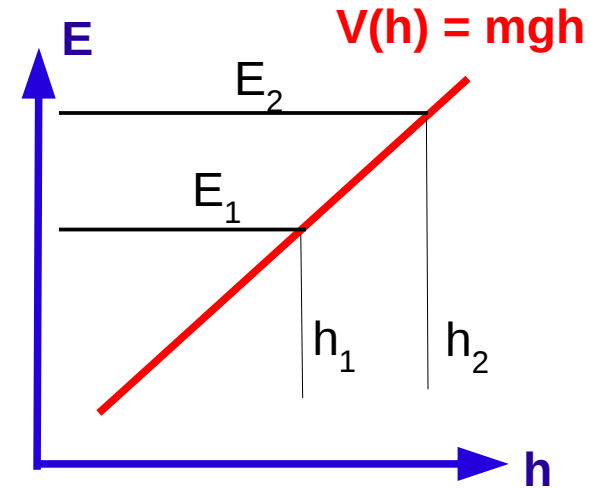


Kötött állapotok fizikai leírása: potenciálgödör

Dobjunk fel egy követ: megáll és visszaesik

Oka: az energia megmaradása:
mozgási + helyzeti energia = teljes energia

$$\left(\frac{1}{2}\right) m v^2 + m g h = E = \text{állandó}$$

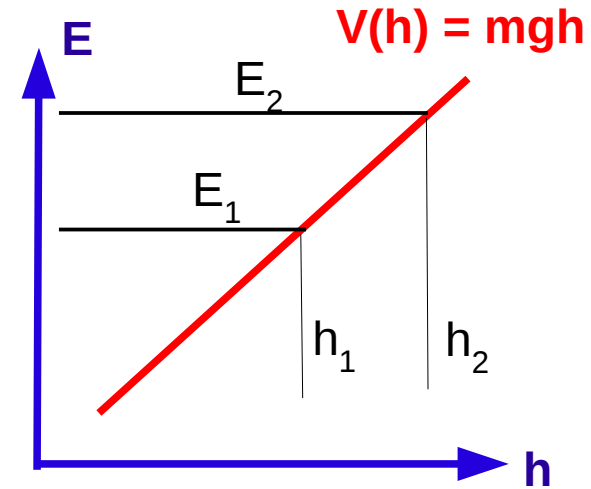


Kötött állapotok fizikai leírása: potenciálgödör

Dobjunk fel egy követ: megáll és visszaesik

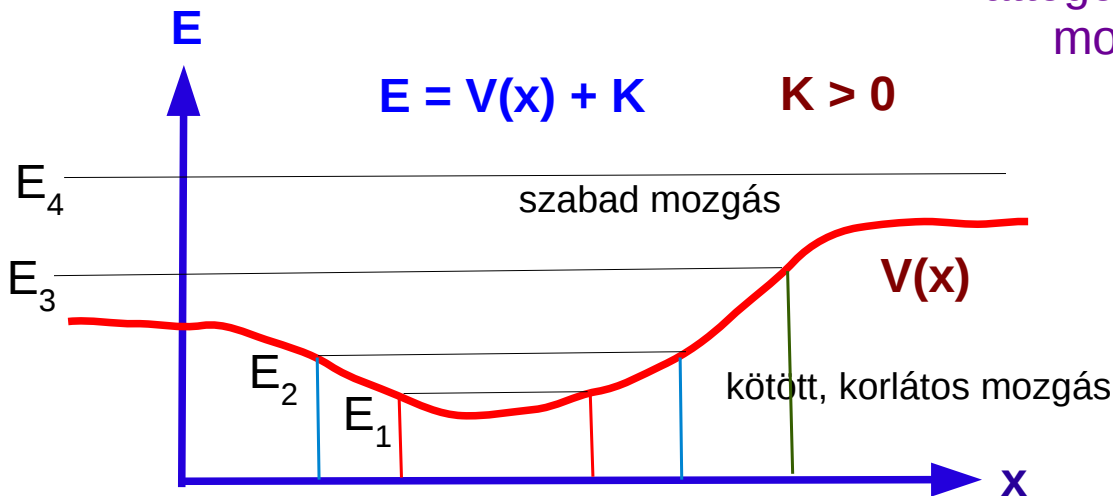
Oka: az energia megmaradása:
mozgási + helyzeti energia = teljes energia

$$\left(\frac{1}{2}\right) m v^2 + m g h = E = \text{állandó}$$

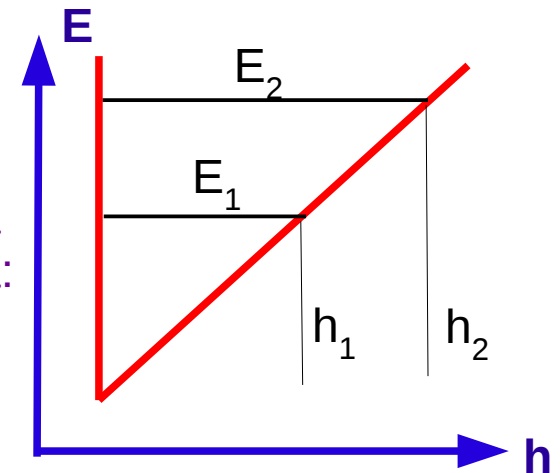


De mi van, ha visszaesik?

A mozgás a másik irányból is korlátos:
zárt potenciálgödör



Pattogó labda mozgása:



Kötött állapotok fizikai leírása: potenciálgödör

Dobjunk fel egy követ: megáll és visszaesik

Oka: az energia megmaradása:
mozgási + helyzeti energia = teljes energia

$$\left(\frac{1}{2}\right) m v^2 + m g h = E = \text{állandó}$$

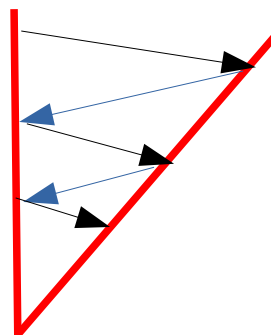
De mi van, ha visszaesik?

A mozgás a másik irányból is korlátos:
zárt potenciálgödör

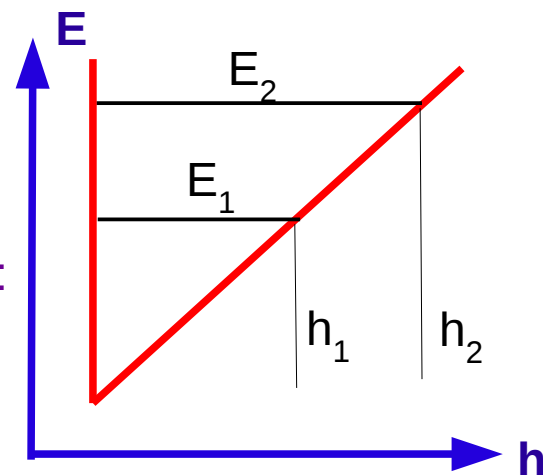
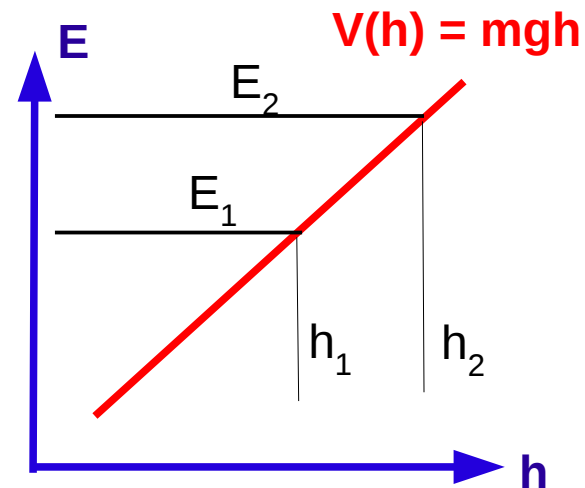
Energiavesztés

(súrlódás, energiaátadás a környezetnek)

a rendszer lassan eléri az alapállapotot,
a legkisebb megengedett energiaszintet

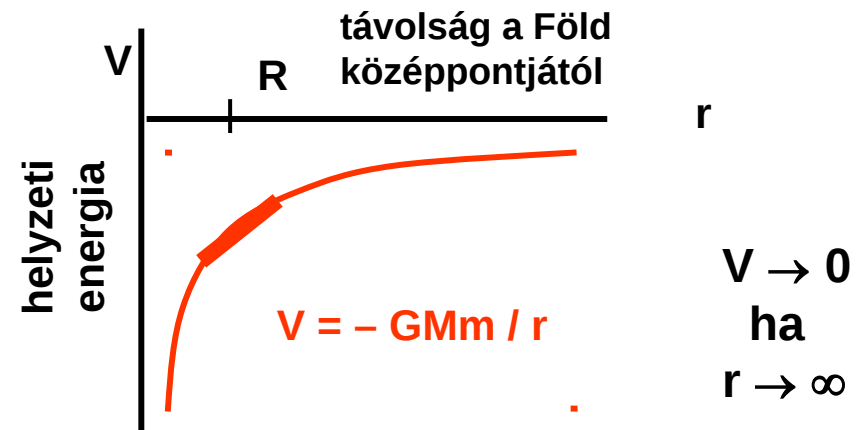
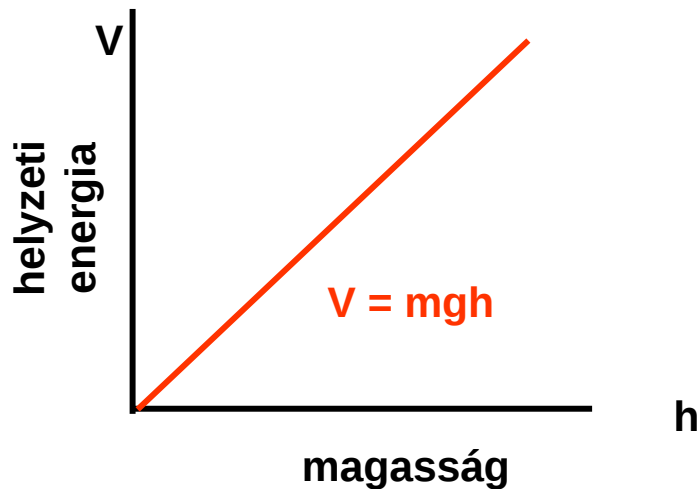
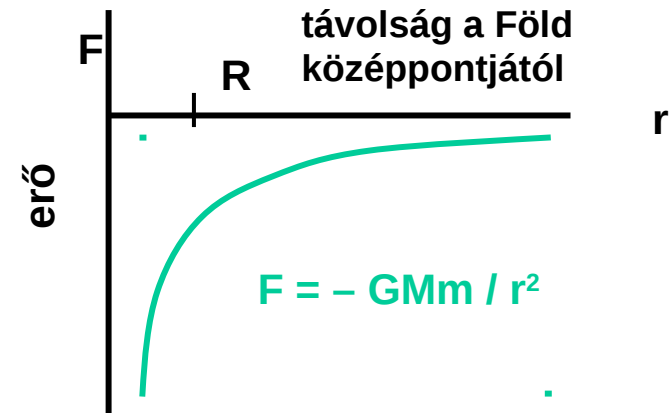
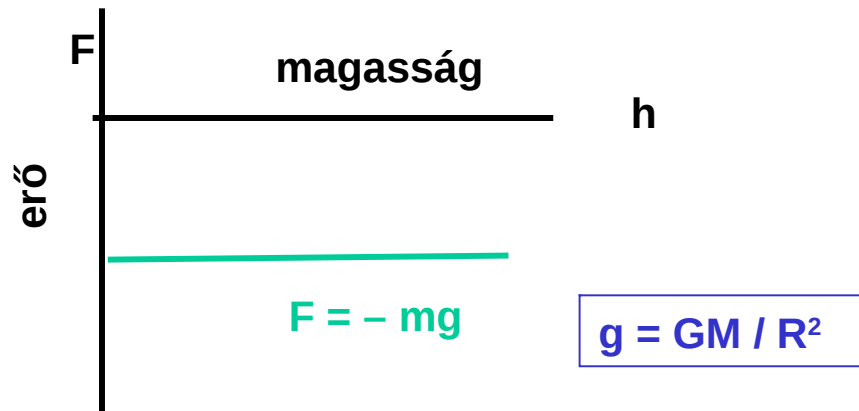


Pattogó labda mozgása:

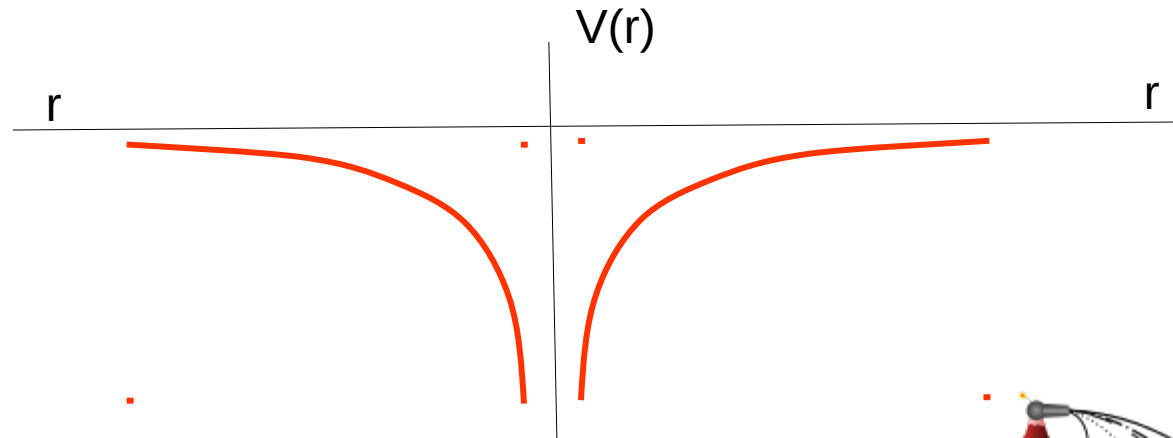


Gravitációs erő és potenciál

Dobjuk magasabbra: feljebb gyengül a g , laposabb a potenciálgörbe

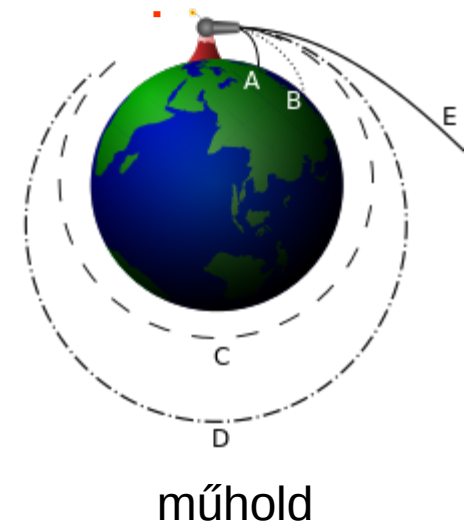


Egy bolygó gravitációs potenciálgödre: a potenciál negatív, a végtelenben nulla

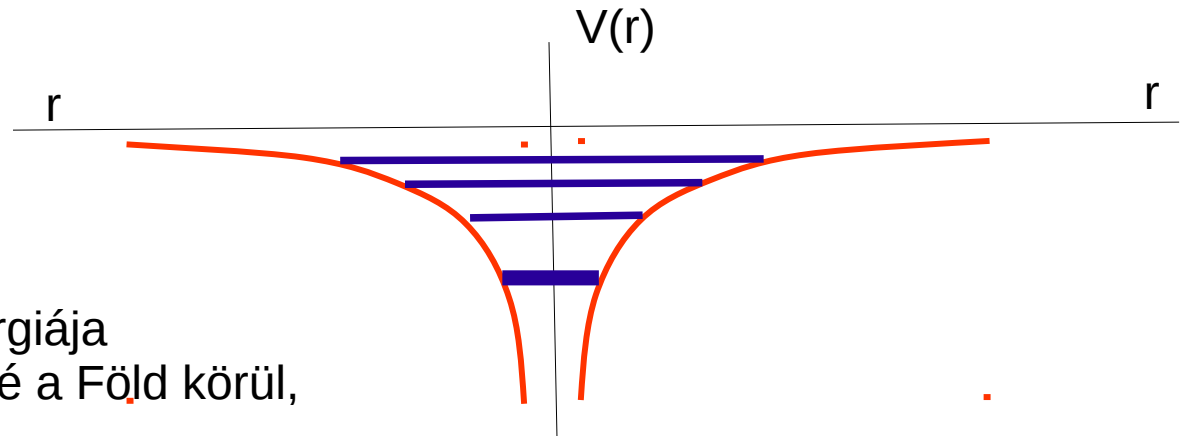


Miért nem esik be a bolygó a centrumba, a végtelen mély gödörbe?

- ott van a Föld $r > R$
- oldalirányú mozgás, keringés, perdületmegmaradás
- ha a légköri súrlódás fékezi, le is eshet



Hogy néz ki ugyanez a kvantumelméletben?



A hidrogénatom magjának elektromos terében az elektron potenciális energiája ugyanolyan, mint a műholdé a Föld körül,

de csak bizonyos megengedett (kvantált) energiaszintek létezhetnek!

köztük van egy legalacsonyabb energiájú: ez az **alapállapot**

$$E_0 = -me^4/2\hbar^2 \approx -13,6 \text{ eV} = -2,2 * 10^{-18} \text{ J}$$

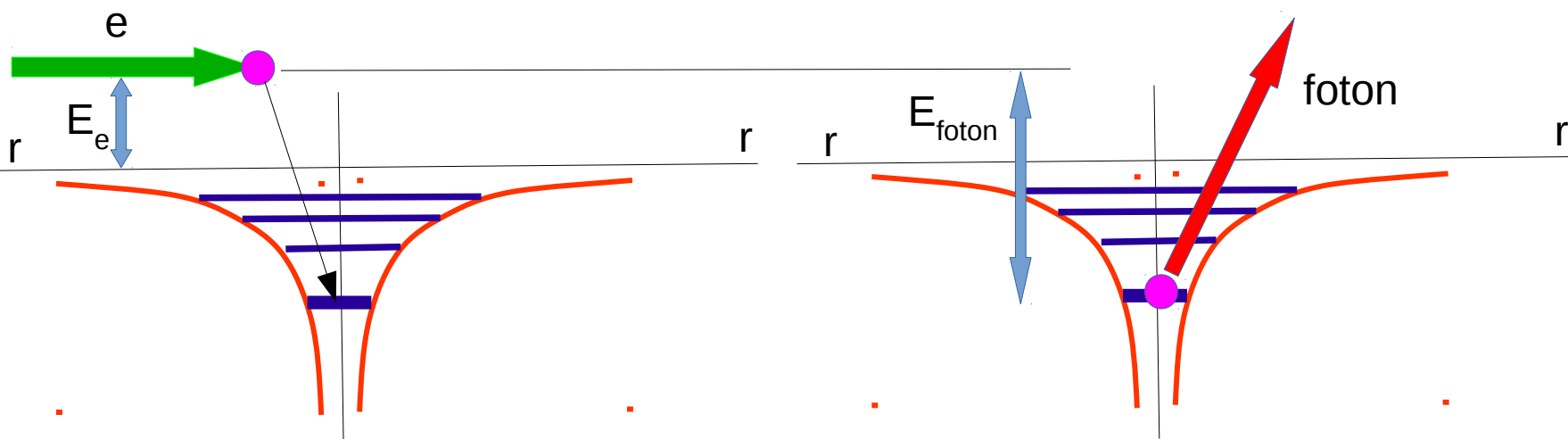
EZÉRT egyforma minden hidrogénatom: ugyanabban az állapotban vannak!

Ha kitérítjük, hamar visszatér...



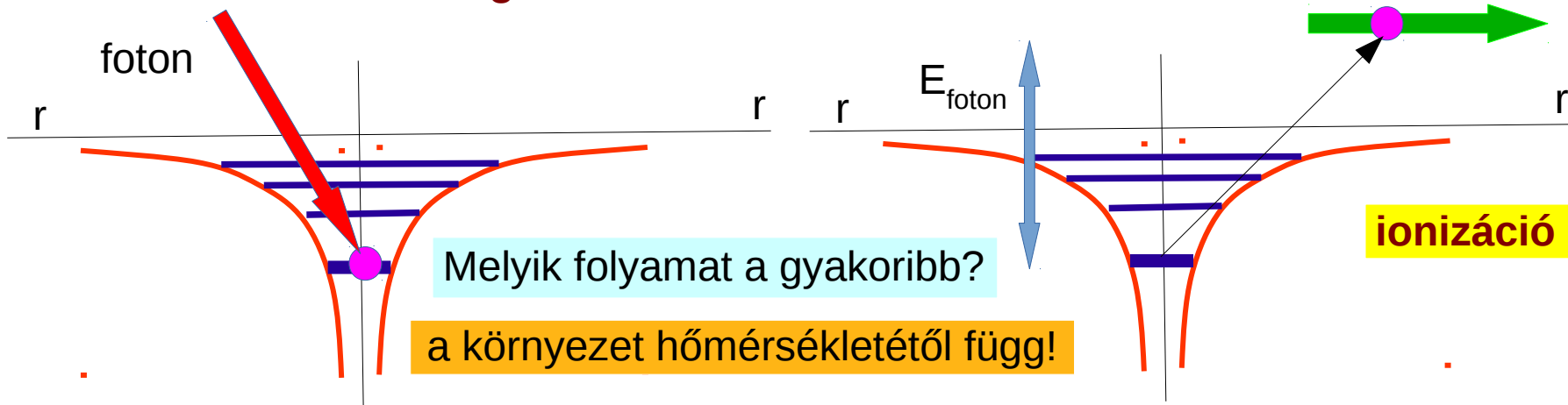
Hogyan kerülhet a szabad elektron a kötött állapotba?

– **energiája egy részének kisugárzásával**



Hogyan szabadulhat ki az elektron a kötött állapotból?

– **külső energiabefektetéssel**



Melyik folyamat a gyakoribb?

a környezet hőmérsékletétől függ!

Ha az átlagos hőmérséklet $kT > E_0$ (kb 100 ezer K), akkor nincsenek atomok, csak szabad töltött részecskék: ionizált plazma

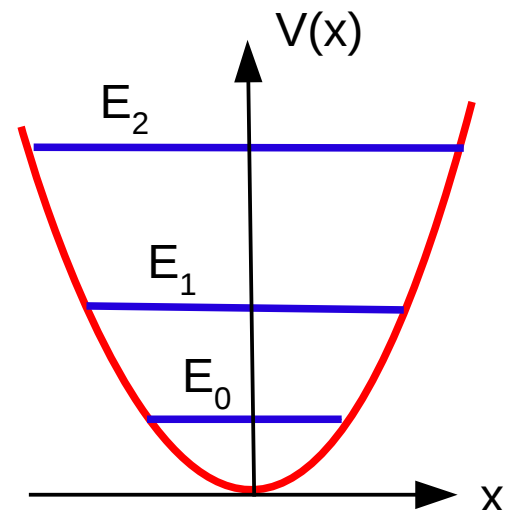


Végtelen mély potenciálgödör:

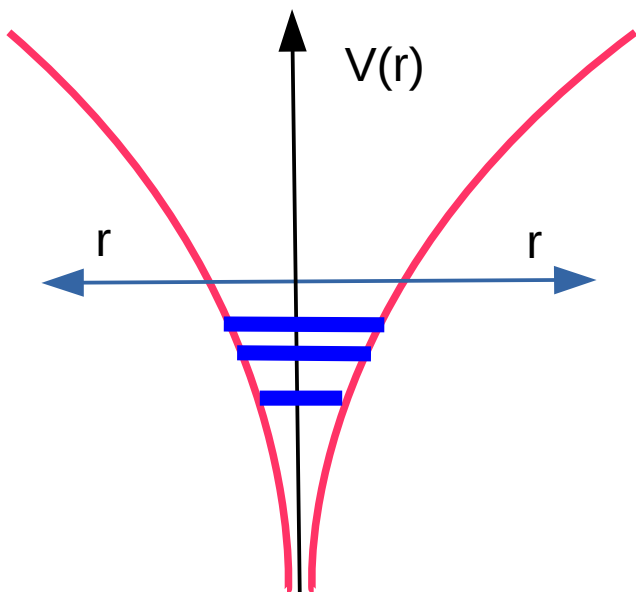
a fizikusok kedvence, a harmonikus oszcillátor

$$F = - Dx \quad V(x) = (1/2) D x^2$$

kvantált energiaszintek: $E_n = \hbar \omega (n+1/2)$



A valóságban a potenciál nem ilyen: a rugó elszakad...



De van ilyen a valóságban is:
a kvarkokat összekötő erő potenciálgödre

**EZÉRT nem lehet
a kvarkokat kiszedni a protonból**

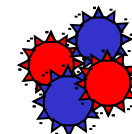
kvark-bezárás (confinement)

Az első bezáródó kompartment tehát a **proton**
(és rokonai, a neutron meg a többi instabil hadron):
belül kvarkok, véglegesen bezárva

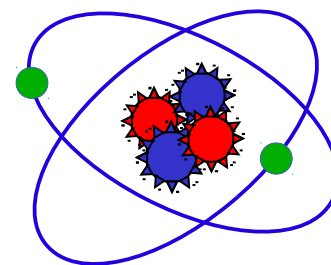


mérete $\hbar/m_p c \approx 10^{-15}$ m

Második lezáródó struktúra az **atommag**:
a kvarkok közti kölcsönhatás maradéka
köti össze



A következő struktúra az **atom**:
elektromos vonzóerő a mag és az elektron között



A következő struktúra az **atom**:
elektromos vonzóerő
a mag és az elektron között

De ez 100 ezerszer (10^5) nagyobb az atommagnál!
Az atom lényegében üres!

(mintha a Föld Holdja kb a Szaturnusz távolságában lenne)

Miért nem megy közelebb az elektron a maghoz?

Heisenberg-féle határozatlansági reláció:

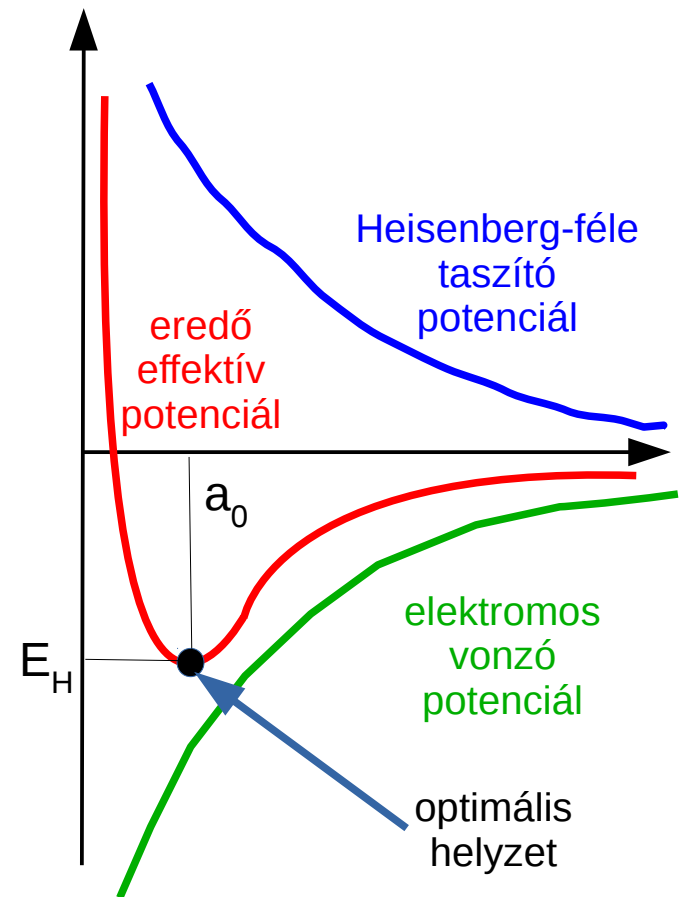
$$\Delta x \Delta p > \hbar$$

Ha az elektront összenyomjuk,
energiát kell befektetni

$$\Delta E > \hbar^2 / (2m \Delta x^2)$$

Az effektív potenciál mélypontja
adja az atom méretét:

$$a_0 \approx \hbar^2 / (m_e e^2) \approx 10^{-10} \text{ m}$$



Új szervezési elv: maradék- avagy másodlagos kölcsönhatás

lezárt kompartmentek – ez jellegzetes **kvantummechanikai** jelenség!

a klasszikus fizikában ilyesmi nem fordul elő!

a Naprendszer mindig be tudna fogadni egy újabb bolygót

egy atom legfeljebb egy vagy két plusz elektront tud befogadni,
és csak gyengén köti meg őket

ezért a lezárt kvantumrendszerek kifelé nem túl aktívak!

mint zárt, **látszólag belső struktúra nélküli egységek** viselkednek

ezen alapul a kompartmentek hierarchiája



Új szervezési elv: maradék- avagy másodlagos kölcsönhatás

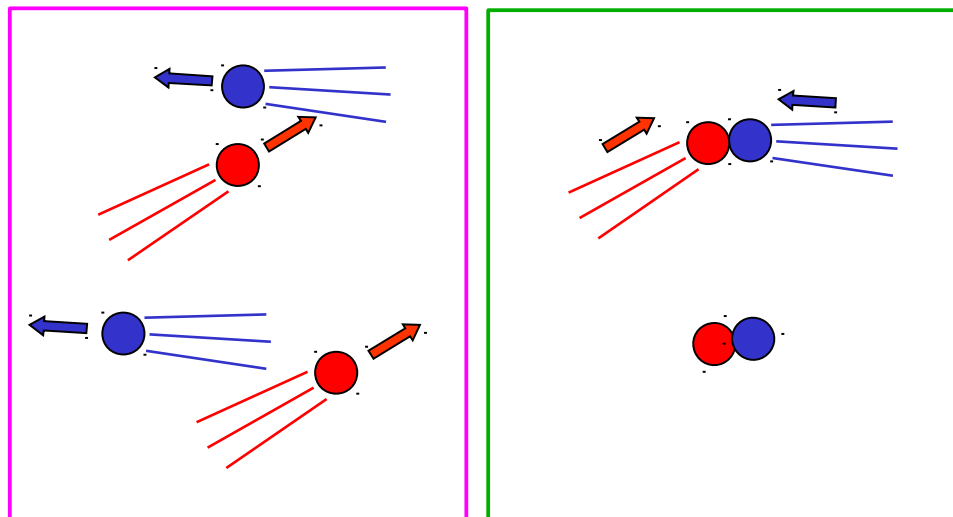
a lezárt kompartmentek egymástól távol
nem érzik egymás hatását

de közel érve beleszimatolnak
egymás belső terébe,
és megzavarják azt

indukált kölcsönhatás

kötött állapot

„bogáncofizika”



ez **sokkal gyengébb** kötés, (egy molekulát már szobahőmérsékleten fel lehet bontani)

de leírása matematikailag sokkal bonyolultabb, mint az elemi összetartó erő!
Ezért olyan nehéz és bonyolult

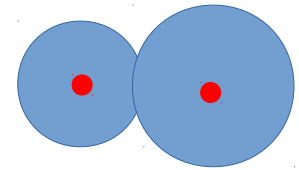
a magfizika
és a kémia

a nukleonok (p és n) közti másodlagos kölcsönhatás
az atomok másodlagos kölcsönhatása
(vegyérték, elektronegativitás, kovalens kötés...)



A következő szint: atomok vagy molekulák aggregátuma
azaz **a szilárd (és folyékony) anyag**

összetartó erők: itt is a maradék-kölcsönhatás, de már harmadlagos
ezek összehúzzák a részecskéket



Meddig? Amíg az elektronfelhők egymásba nem hatolnak!

Új játékos: a Pauli-elv

két fermion (feles spinű részecske, pl az elektron)
nem lehet azonos állapotban,
speciel **nem lehet ugyanott**

Ezért nem esünk át a padlón!

A Pauli-elven alapul

- az atomi elektronhéj szerkezete
- az egész kémia
- a szilárdtest-fizika



Szilárdtestek szerkezete

elektromos vonzóerő, Pauli ellenáll
itt is kialakul egy effektív potenciál

az atomok optimális távolsága

$$d_s \approx a_0 \approx \hbar^2 / (m_e e^2) \approx 10^{-10} \text{ m}$$

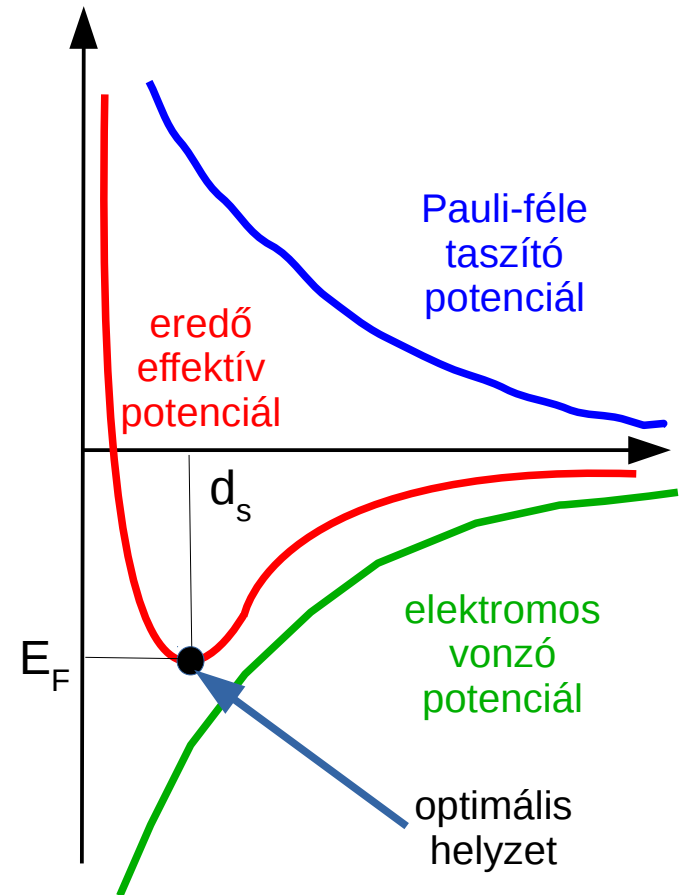
kb. megegyezik az atomok méretével:
az atomok összeérnek!

Mekkora lesz az anyag sűrűsége?

Egy atom (tömege néhány protonnyi) egy a_0 méretű gömbben

$$\rho = m_p / a_0^3 = 10^{-27} \text{ kg} / (10^{-10} \text{ m})^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3 = \text{a víz sűrűsége!}$$

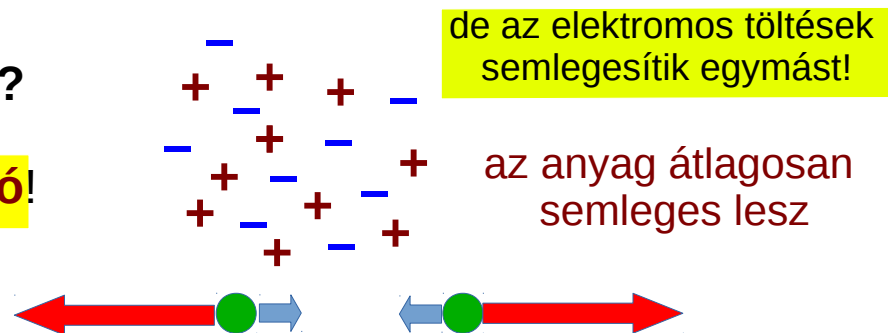
Így lehet elemi atomfizikai állandók alapján megsaccolni a közönséges makroszkópikus anyag tulajdonságait!



Meddig működik ez a szilárdtest-fizika?

Amíg közbeszól egy új hatás, **a gravitáció!**

A gravitáció nagyon gyenge erő:



két elektron közt

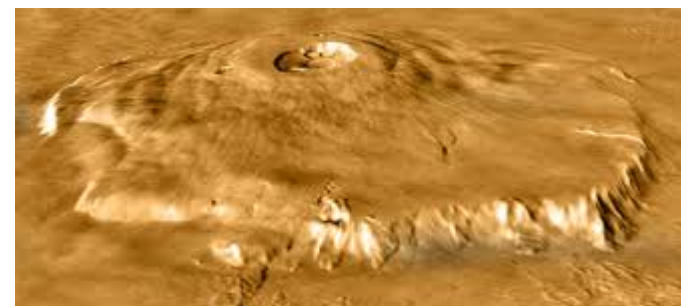
De sok lúd disznót gravitál!

Kozmikus méretekben már a gravitáció dominál.

Egy bolygón álló hegy alján a súly miatti nyomás már akkora, hogy az anyag megfolyik

$$\Delta E \approx 0,1 \text{ eV} \quad H_{\max} \approx 50 \text{ km}$$

És valóban, a Naprendszer legmagasabb hegye a Marson 25 km magas



Olympus Mons

A Pauli-elv további trükkjei

A bolygók belsejében a gravitáció és a Pauli-elv harcol egymással.

A szokásos atommérettel (10^{-10} m) ez nem megy!

Az atomok összenyomódnak, **degenerálódnak**, így a Pauli-nyomás megnő, és ellenáll a gravitációnak.

Milyen állapot van a Föld belsejében? A részleteket még ma is csak találgatjuk...

Ennek a játéknak a végső fokozata:

csillagméretű testek, **kihűlt csillagok** húzódnak össze Föld-méretre
ezek a **fehér törpék**

az atomok századrésznyire mennek össze, a sűrűség **egymilliószeresre** nő

Lehet ezt még fokozni?

Nagyobb csillagban a még nagyobb gravitáció, még nagyobb nyomás hatására az elektronok „belepréselődnek” a protonokba – neutronok jönnek létre.

A neutronok összeérnek. Mint egy nagy atommag.
A méret 10^5 -szörösen csökken, a sűrűség 10^{15} -szörösre nő!

ez a neutroncsillag
mérete 10 km



Nagyobb struktúrák létrejötténél belép egy új paraméter: **a hőmérséklet**

Gázfelhők: a gravitáció összehúzza, munkát végez. **A felhő felmelegszik.**

A hőenergia fele kisugárzódik,
a másik fele bent marad.

A forró gázgömb infravörösen világít.
Ha így marad, ez lesz a **barna törpe.**

Ez csak átmenetileg létezik, végül kihűl...

De ha a gázfelhő elég nagy tömegű,
a belseje olyan meleg lesz,
hogy beindul egy új folyamat:

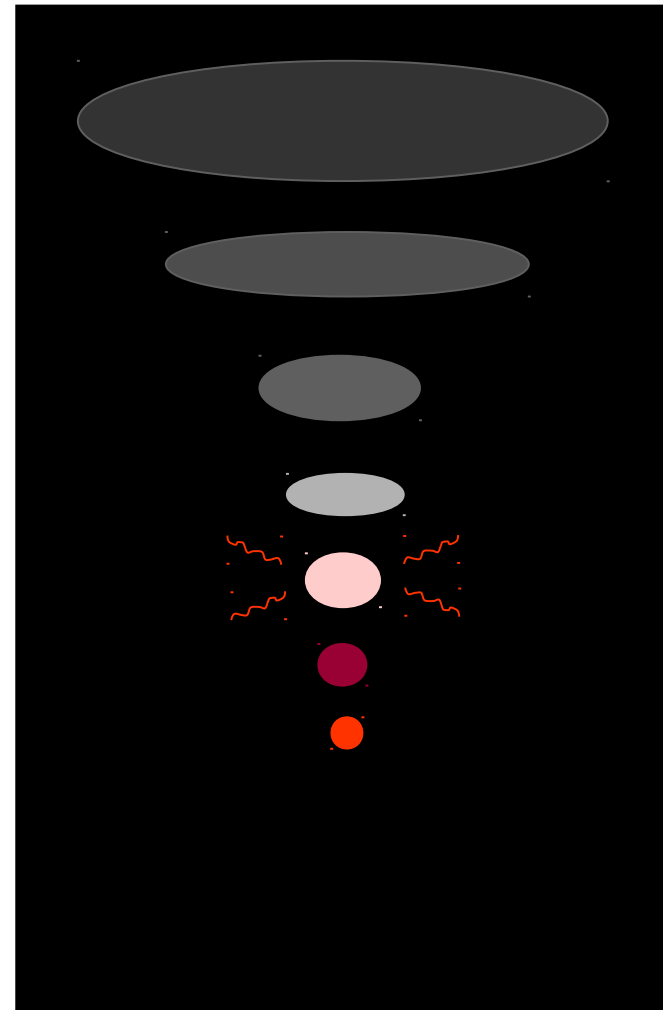
Részletek:

dgy:

A csillagok termodinamikája 1.

A lehűléstől forró sodó téglá

Atomcsill 2012. 01. 19.



Nagyobb struktúrák létrejötténél belép egy új paraméter: **a hőmérséklet**

Gázfelhők: a gravitáció összehúzza, munkát végez. **A felhő felmelegszik.**

A hőenergia fele kisugárzódik, a másik fele bent marad.

A forró gázgömb infravörösen világít. Ha így marad, ez lesz a **barna törpe.**

Ez csak átmenetileg létezik, végül kihűl...

De ha a gázfelhő elég nagy tömegű, a belseje olyan meleg lesz, hogy beindul egy új folyamat:

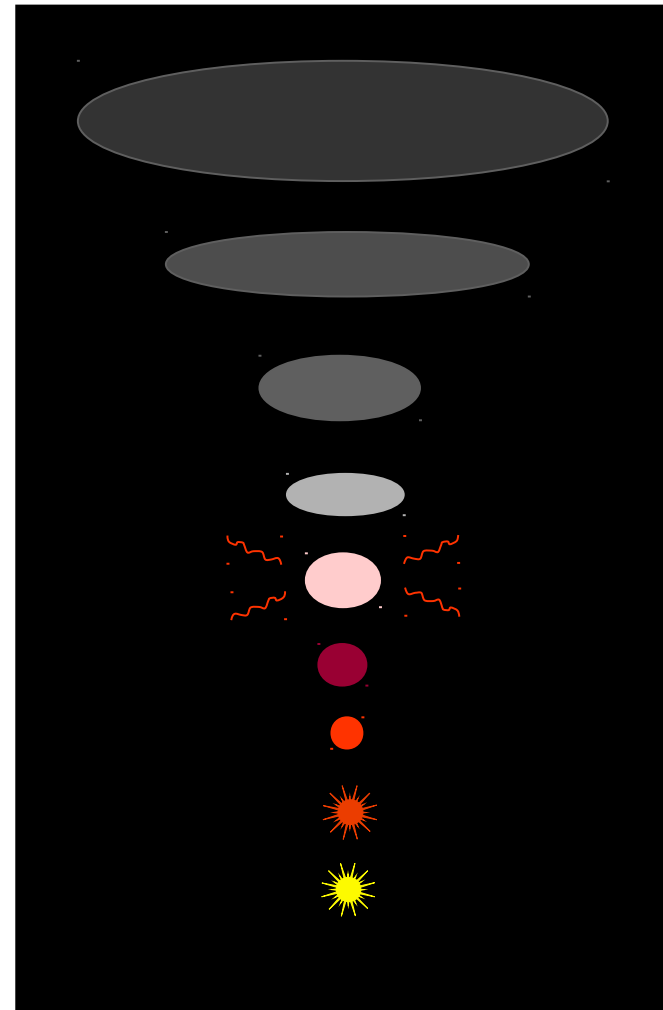
atommagok egyesülése, fúziója

ez energiatermelő folyamat

ehhez kell egy minimális tömeg:

$$M = m_p N \quad N = (\hbar c / G m_p^2)^{3/2} = 10^{57}$$

(a túl nehéz, túl meleg csillag hamar felrobban)

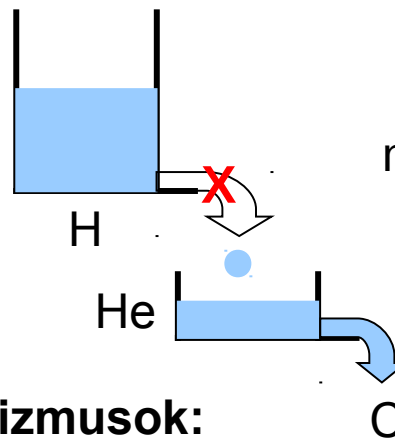


Megszületett a csillag



Csillag:

tartósan fennmaradó
önszabályozó
energiatermelő rendszer

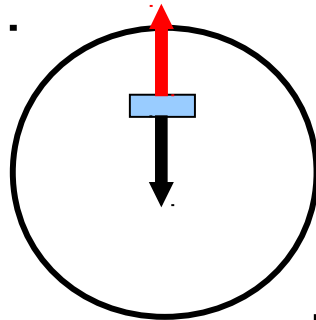


üzemanyag-adagolás
nukleáris biztonsági szeleppel

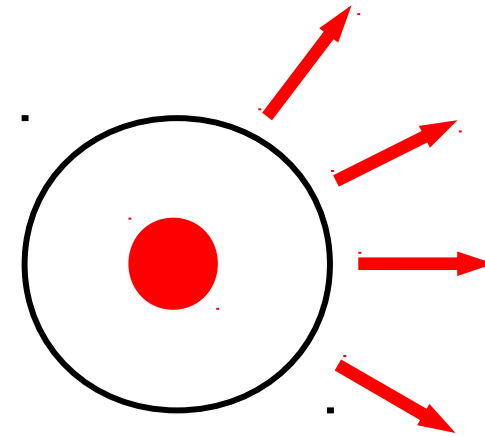
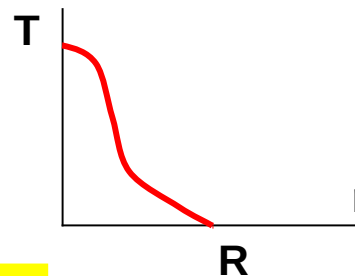
önszabályozási mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár-
+ hidrosztatikai nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



ami befolyik,
az rögtön kifolyik
(rögtön: 1 millió év)

a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

mechanikai, termikus és sugárzási egyensúlyban
(stacionárius állapotban)

Működhet simán vagy pulzálva: változócsillagok.

Részletek:

dgy:

A csillagok termodinamikája 2.

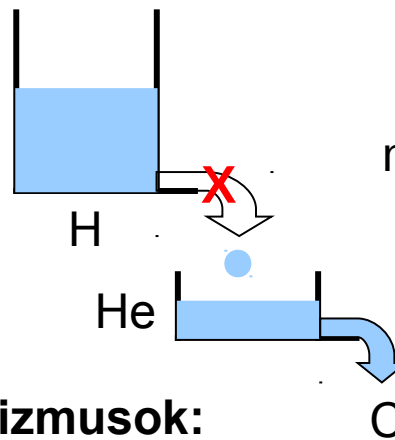
Hamuval fűteni

Atomcsill 2013. 01. 10.



Csillag:

tartósan fennmaradó
önszabályozó
energiatermelő rendszer

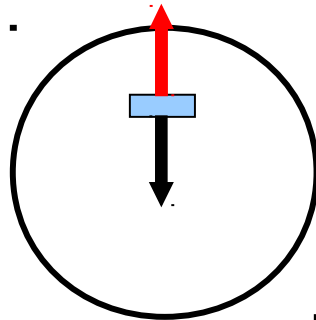


üzemanyag-adagolás
nukleáris biztonsági szeleppel

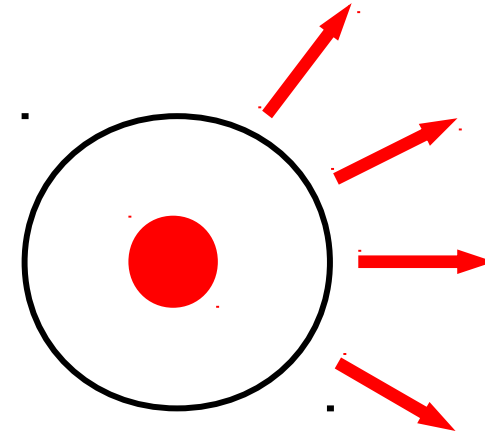
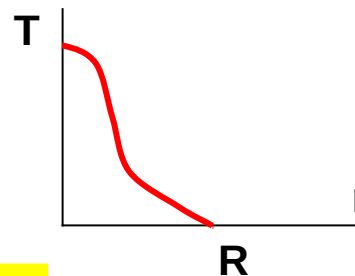
önszabályozási mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár-
+ hidrosztatikai nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



ami befolyik,
az rögtön kifolyik
(rögtön: 1 millió év)

a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

mechanikai, termikus és sugárzási egyensúlyban
(stacionárius állapotban)

Működhet simán vagy pulzálva: változócsillagok.

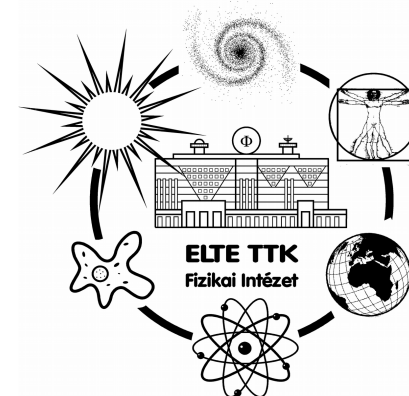
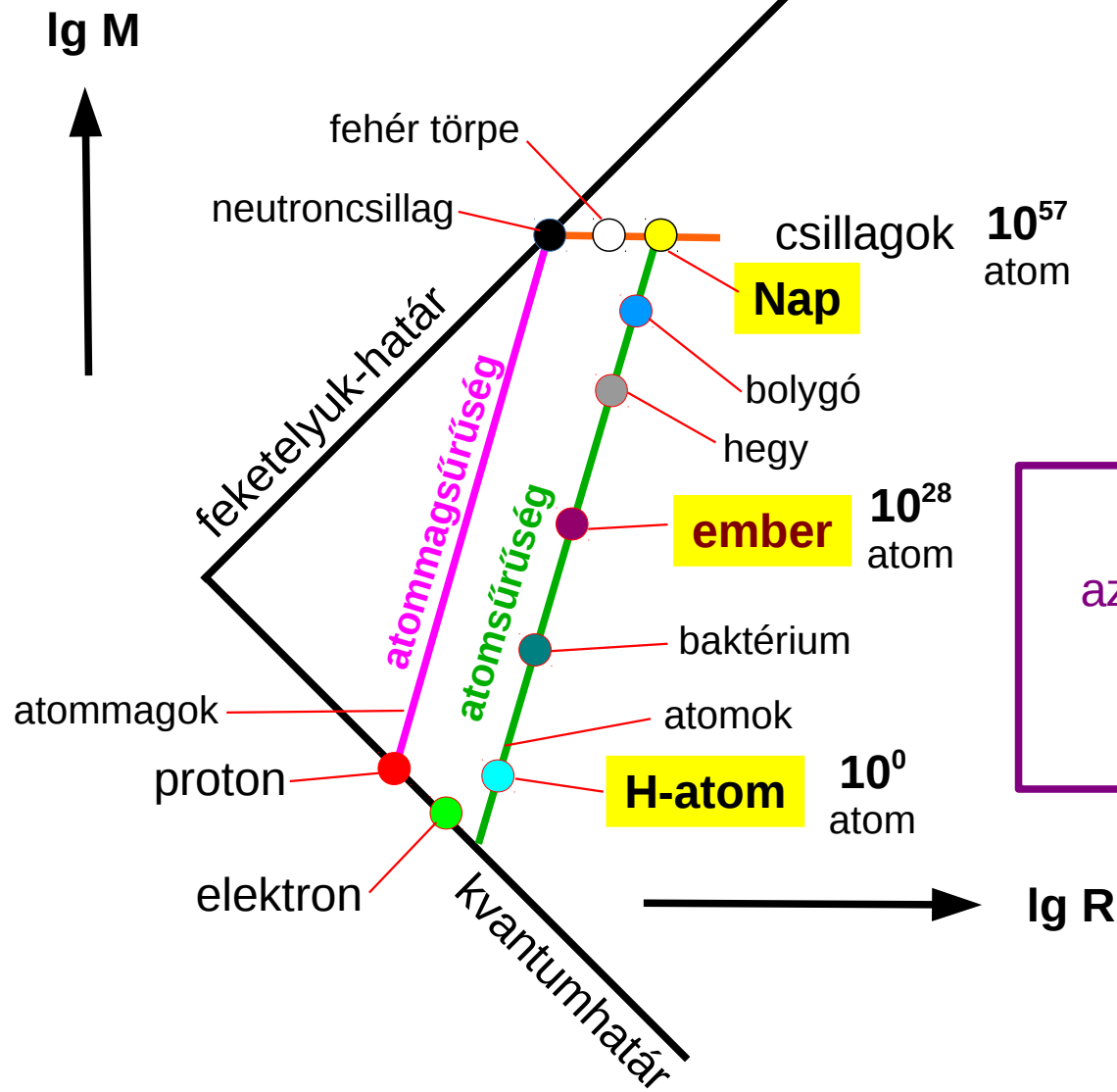
Meddig?

amíg el nem fogy
a hidrogén...

a centrális hőmérséklettől
(azaz a tömegtől) függően
10 millió – 1000 milliárd év



Az Univerzum térbeli struktúrái

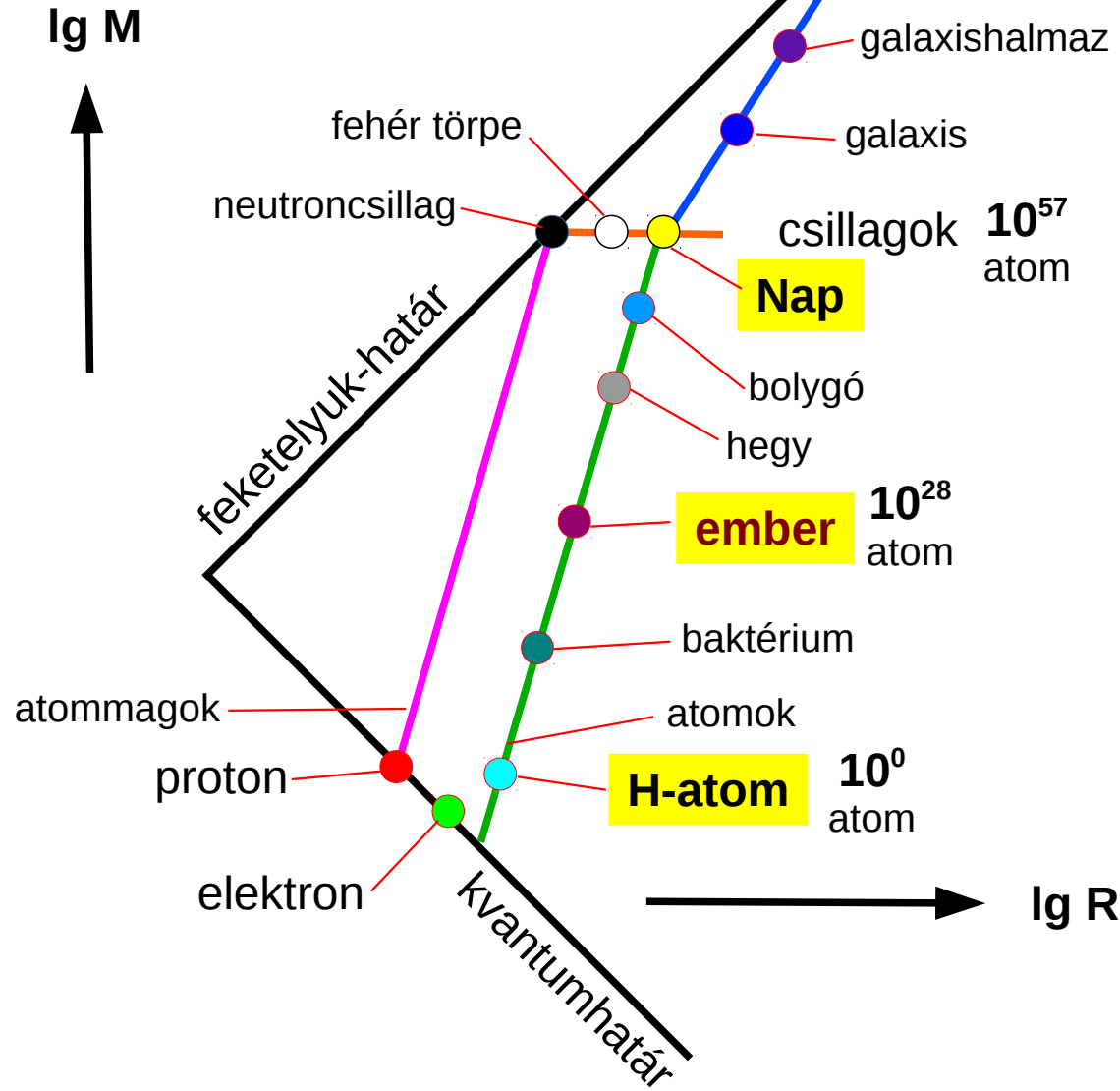


Az atomoktól
a csillagokig

Félúton
az atom és a csillag között
az ember
a világ közepe!



Az Univerzum térbeli struktúrái



Még nagyobb struktúrák: atomokat már nem lehet egymás mellé pakolni!

Hígítsuk fel vákuummal: **csillagrendszerek**

gömbhalmazok
galaxisok
galaxishalmazok

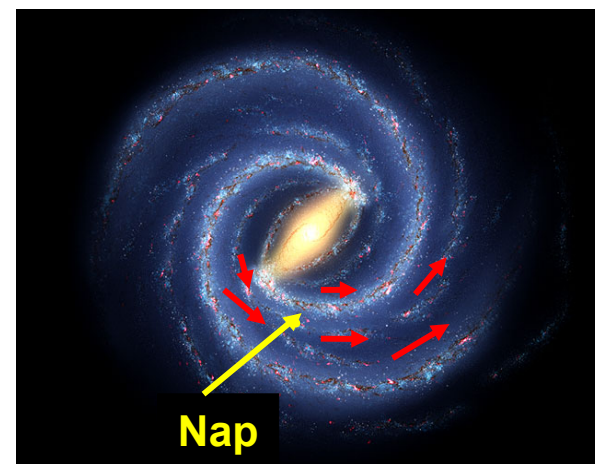
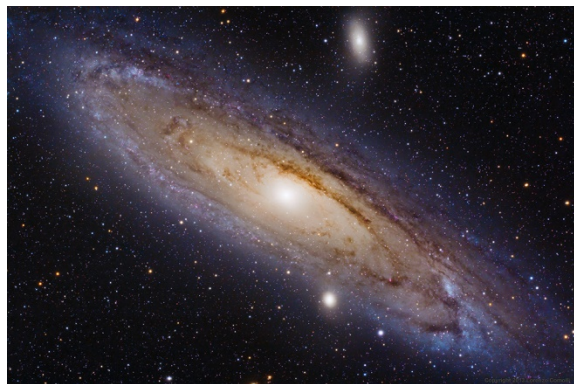
A diagram e szakaszának meredeksége már nem 3, hanem kb 1,2

az Univerzum makroszerkezete fraktál



Csillaghalmaz, csillagváros: galaxis

Stabil struktúra, stacionárius egyensúlyban

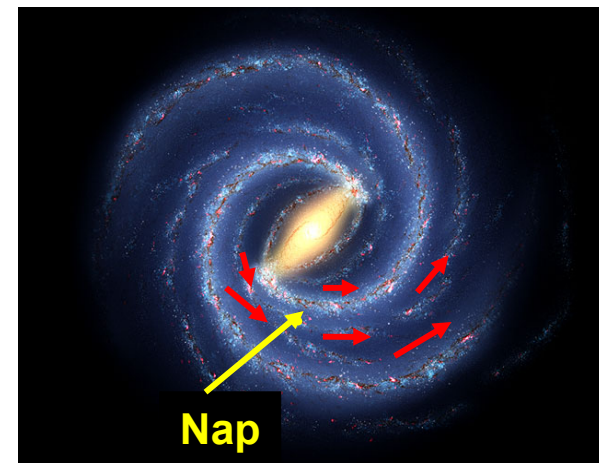


Részletek:
Frei Zsolt:
**Az Univerzum
szerkezete**
Atomcsill 2005. 12. 15.



Csillaghalmaz, csillagváros: galaxis

Stabil struktúra, stacionárius egyensúlyban



Csillaghalmaz, csillagváros: galaxis

Stabil struktúra, stacionárius egyensúlyban

természetes hipotézis:
akárcsak a bolygórendszerénél

összehúzza a gravitáció

ellentart a keringés centrifugális ereje

De ez nem így van: nincs elég anyag a galaxisban,
hogy a szükséges gravitációs vonzóerőt kifejtse!

Kell valami más: ez **a sötét anyag**.

Nem tudjuk, mi az, de biztosan létezik.
Már le is fényképeztük!

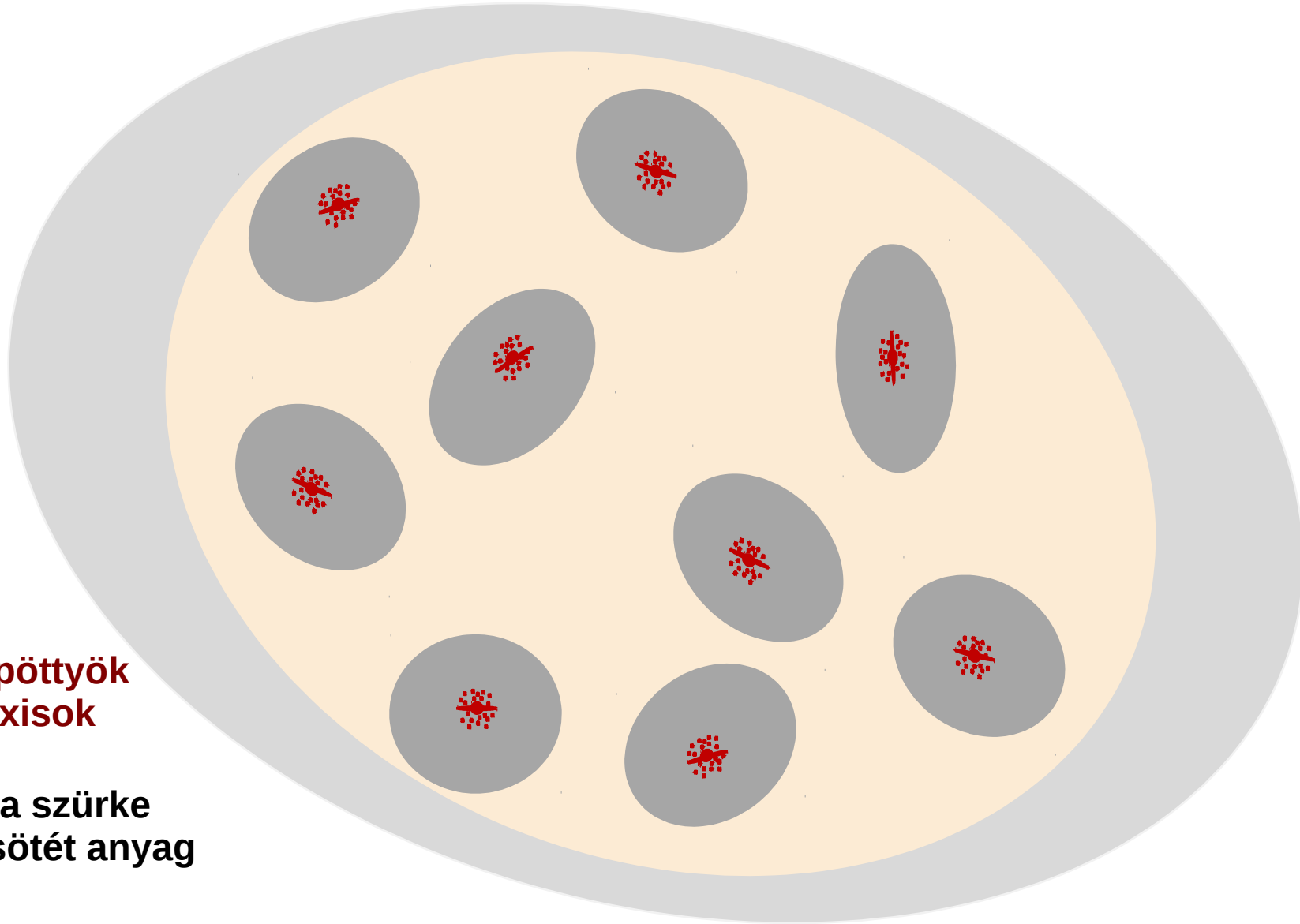
Részletek:

dgy:

A sötét anyag nyomában

Atomcsill 2016. 09. 08.





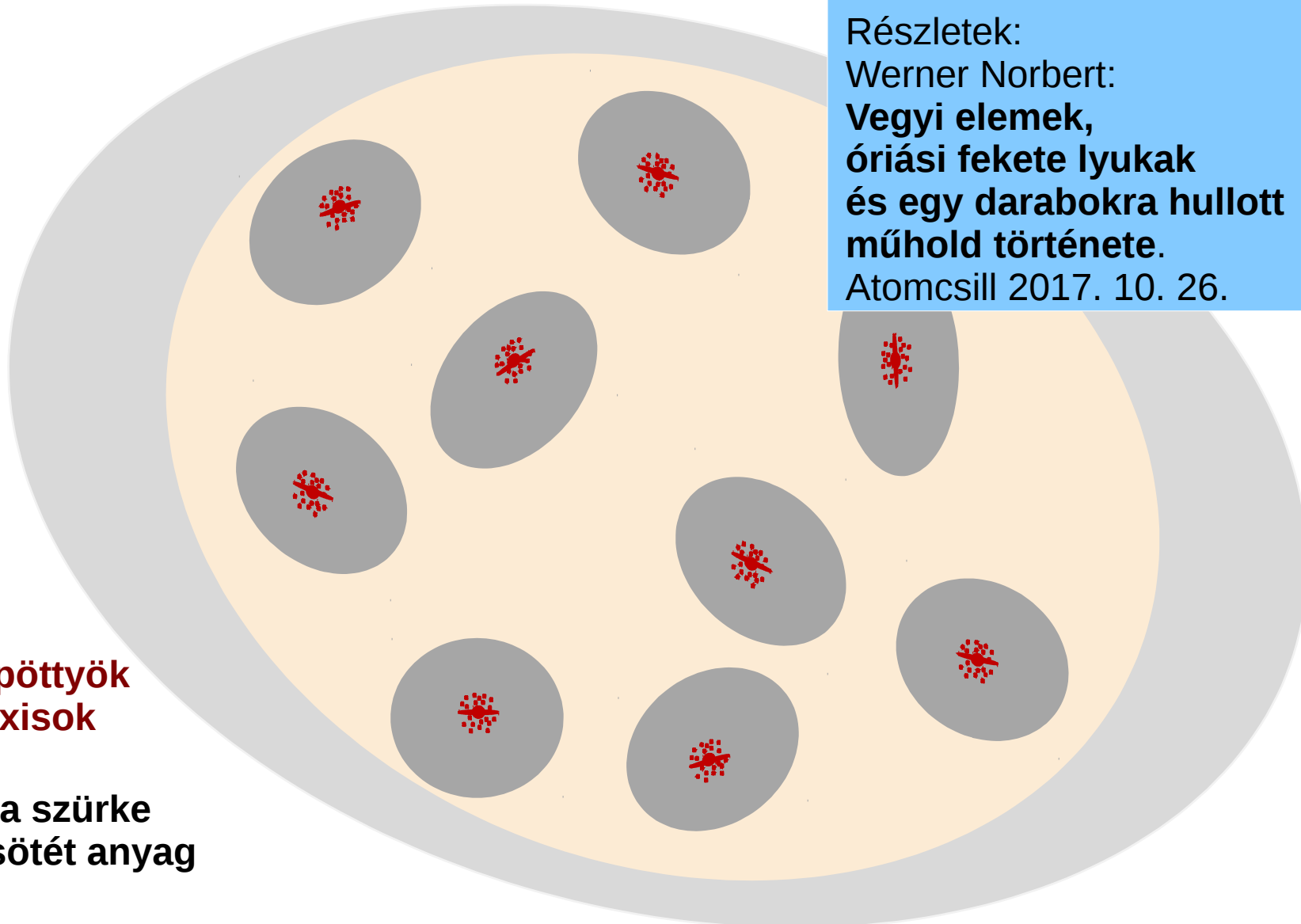
a piros pöttyök
a galaxisok

a szürke
a sötét anyag

Galaxis-szuperhalmaz szerkezete

a sárga: forró hidrogén

Részletek:
Werner Norbert:
**Vegy elemek,
óriási fekete lyukak
és egy darabokra hullott
műhold története.**
Atomcsill 2017. 10. 26.

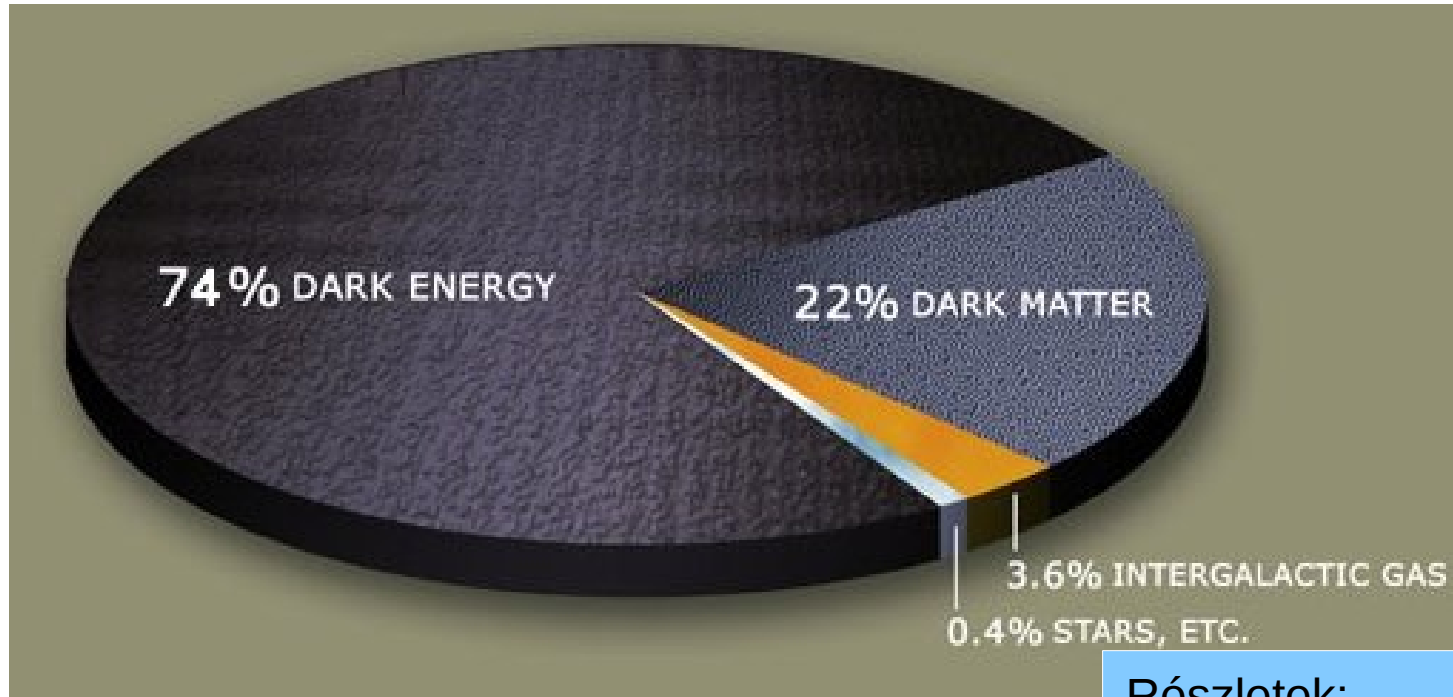


a piros pöttyök
a galaxisok

a szürke
a sötét anyag



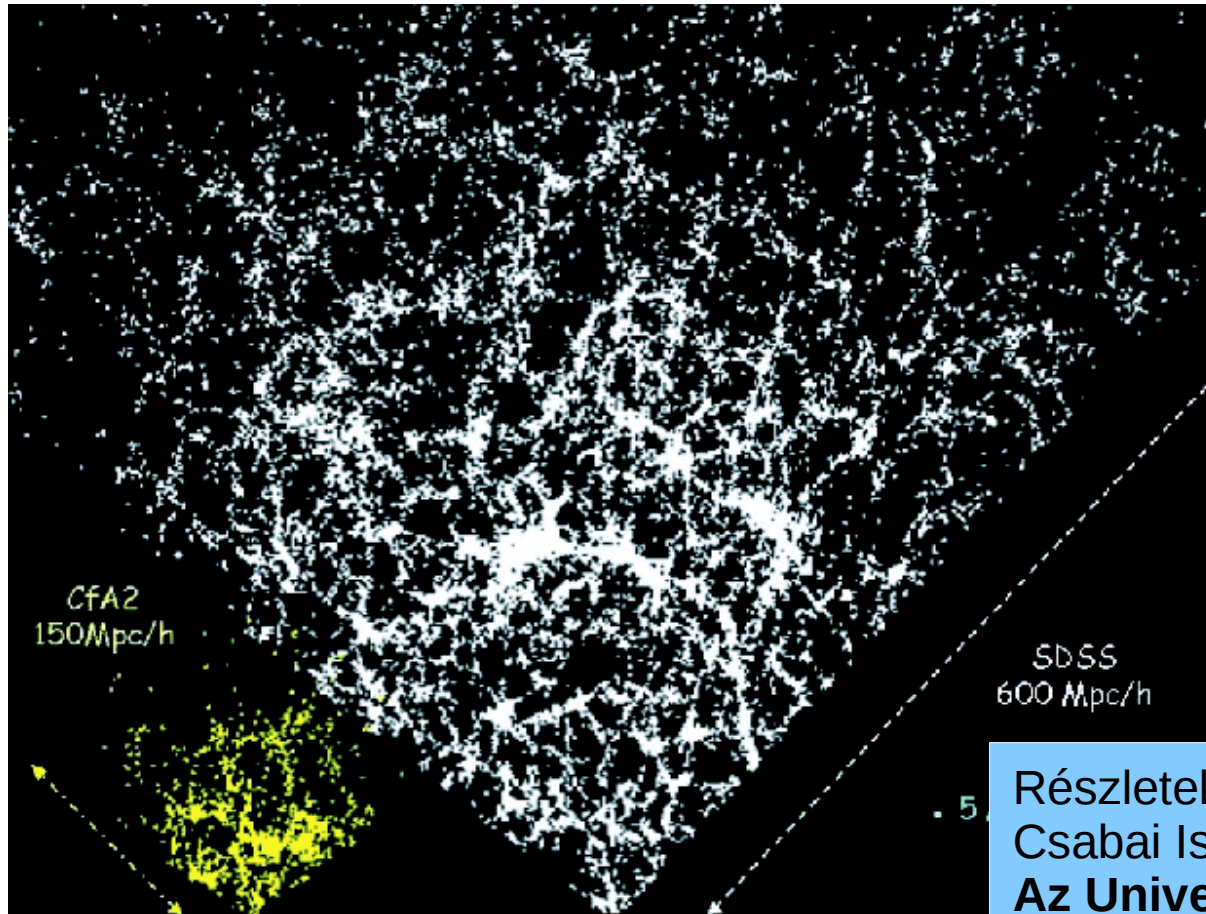
Az Univerzum anyagi összetétele



Részletek:
dgy:
**Az Univerzum
anyagai**
Atomcsill 2010. 09. 30.



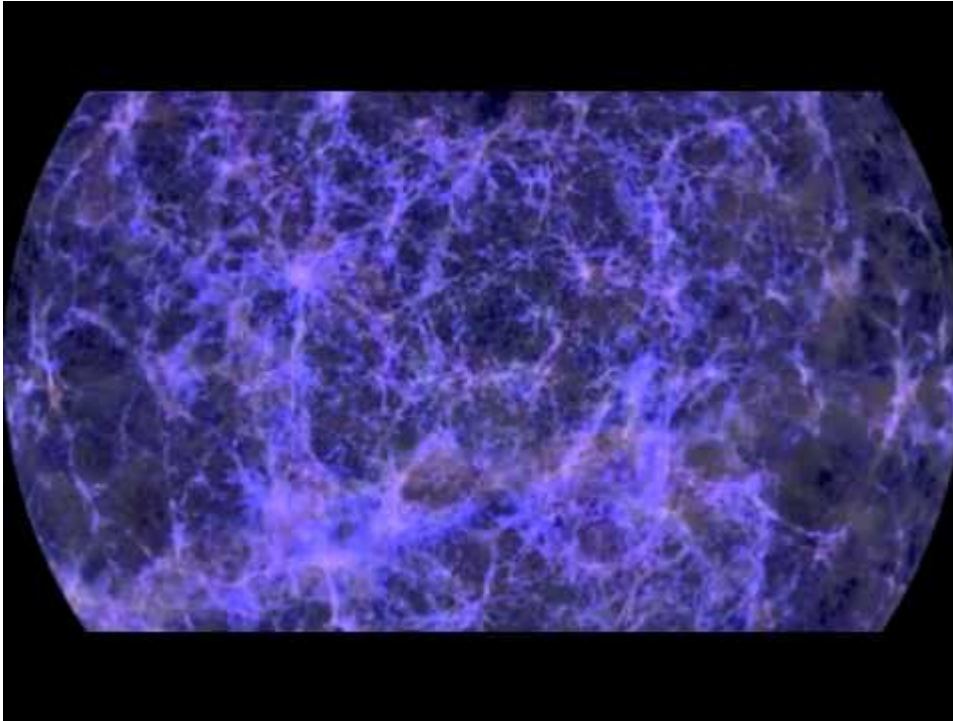
A legnagyobb struktúra: a galaxishalmazok szálás szerkezete



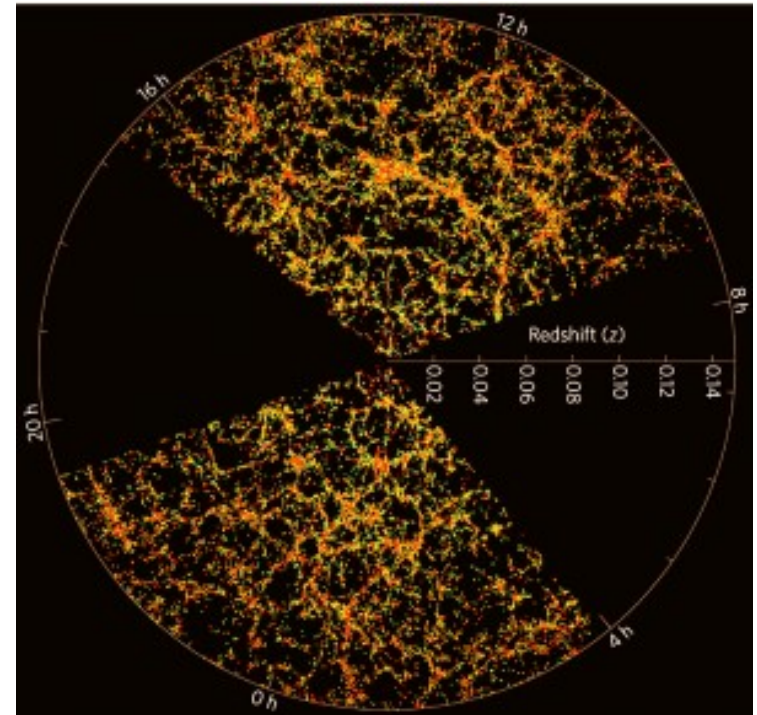
köztük a világ legnagyobb lyukjai

Részletek:
Csabai István:
Az Univerzum
3 dimenziós térképe
Atomcsill 2015. 11. 19.

A mai elmélet szerint a szálak struktúrát a **sötét anyag** alakítja ki!

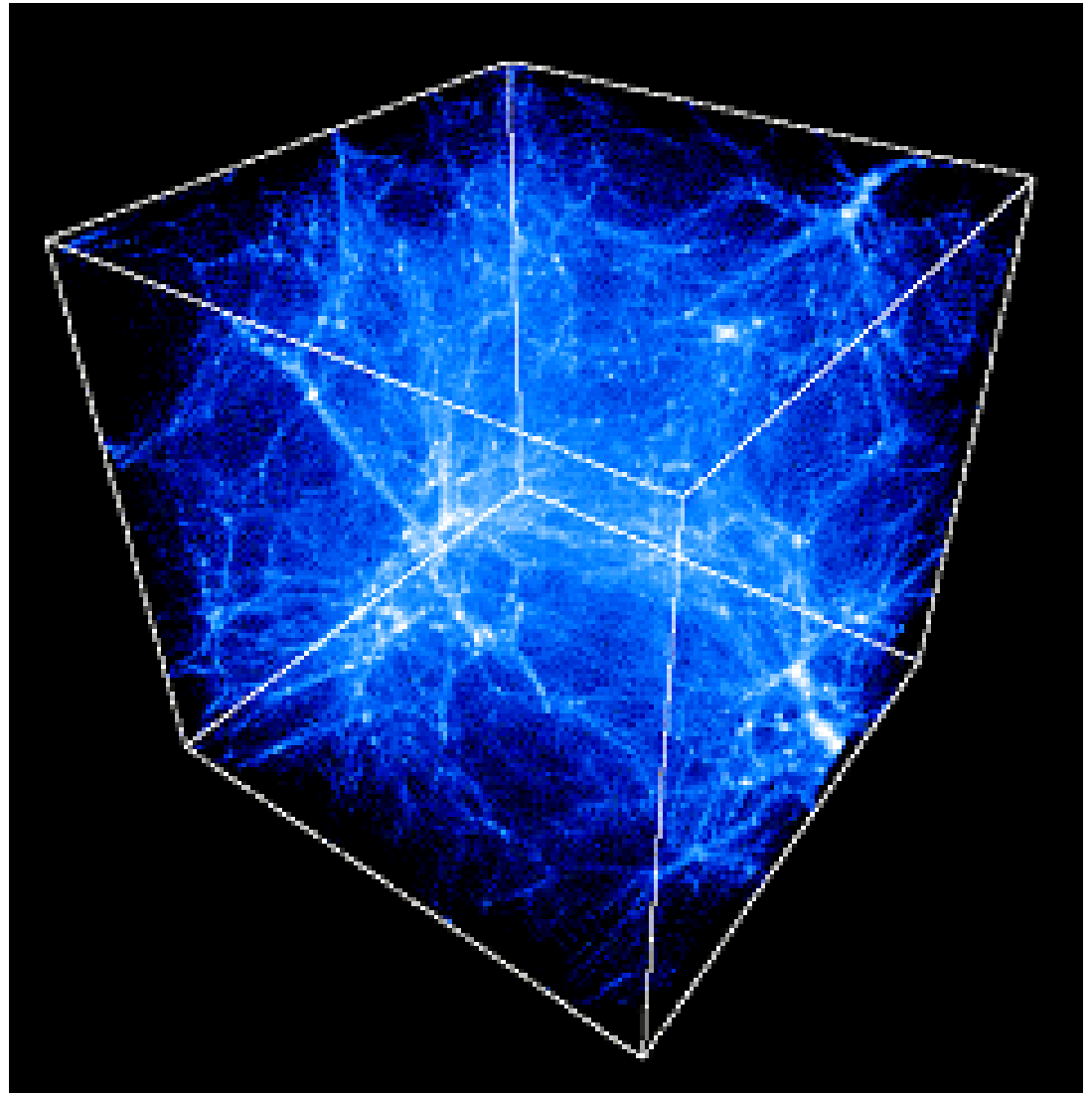


a sötét anyag elmélete alapján
modellezett szerkezet

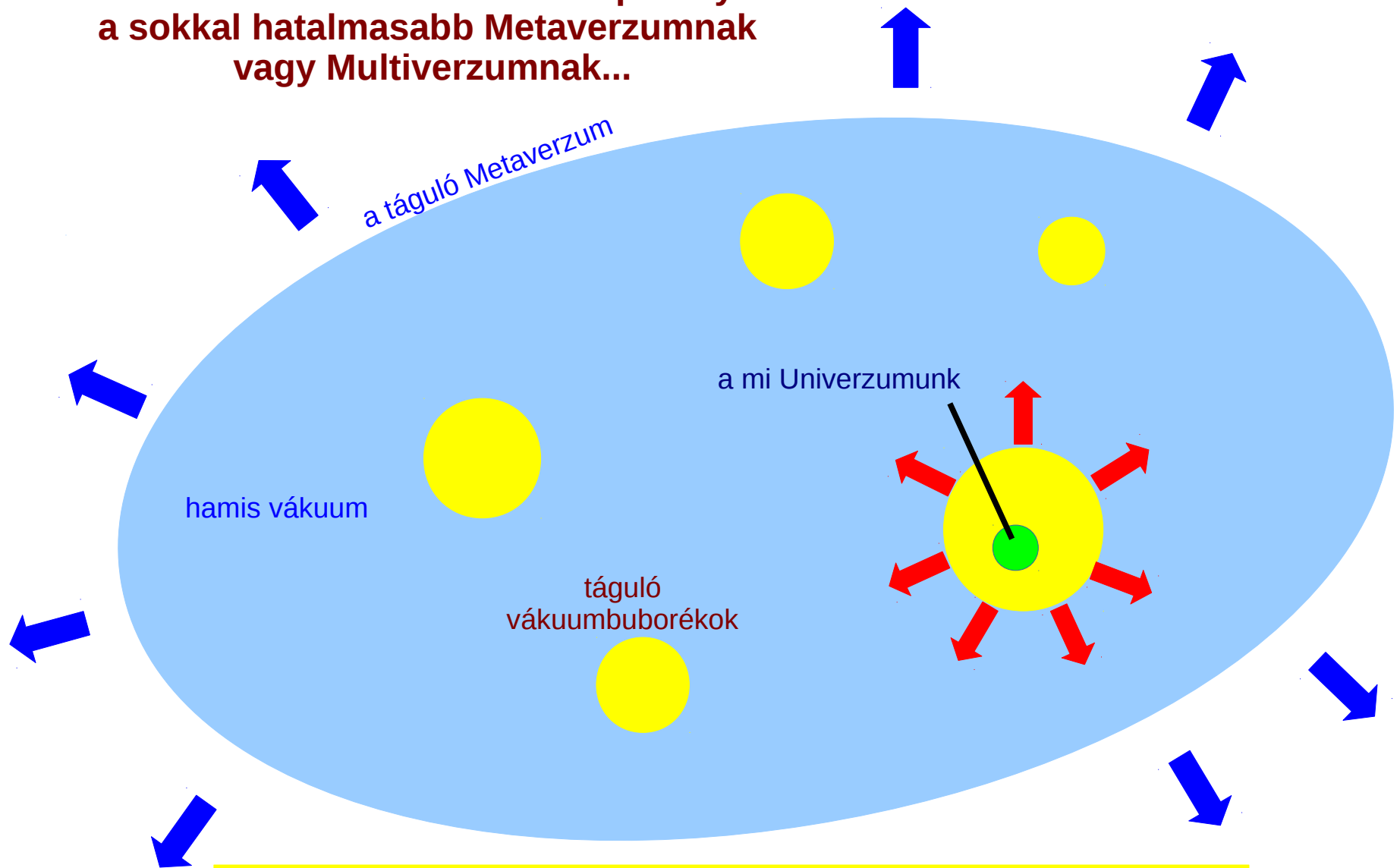


az SDSS által feltérképezett
szerkezet

A szálak struktúra kialakulásának modellezése



De hátha a mi Univerzumunk csak parányi része
a sokkal hatalmasabb Metaverzumnak
vagy Multiverzumnak...



Vajon milyen erők tartják össze a Metaverzum struktúráit?



MOST JÖNNEK AZ IDŐBELI STRUKTÚRÁK...

IDŐVEL...

FOLYTATÁSA KÖVETKEZIK





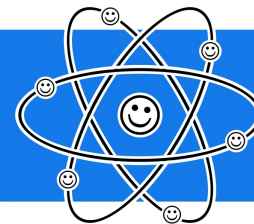
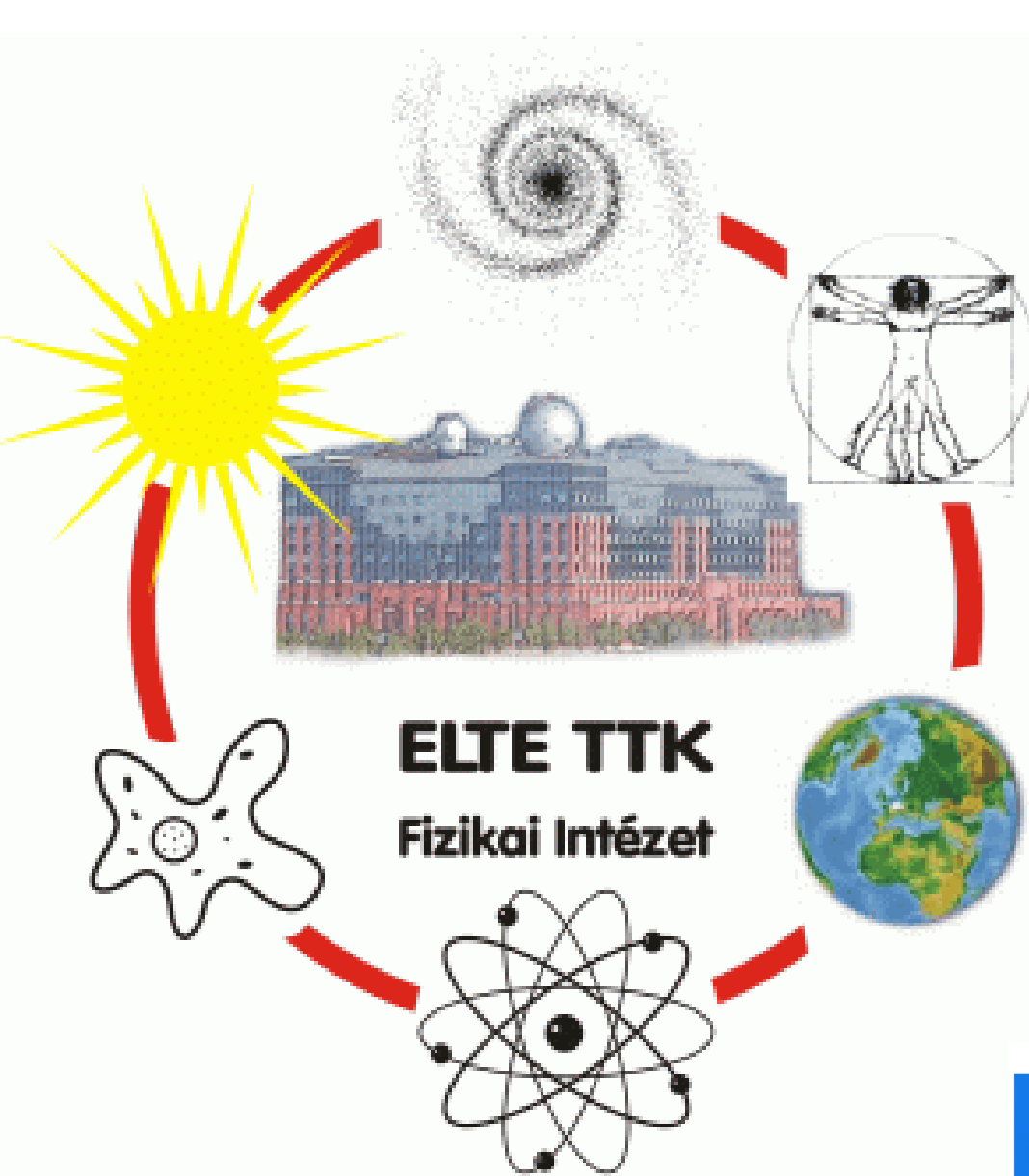
KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



Az atomoktól a csillagokig

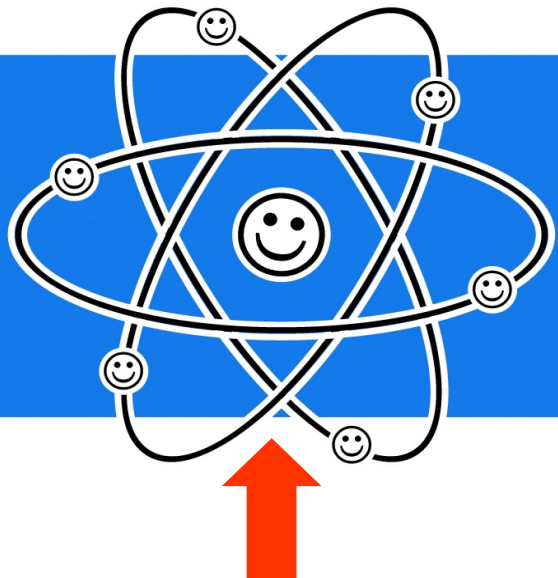
200.

ELTE TTK
Fizikai Intézet



A fizika mindenkié





A fizika mindenké

BONUSKÉRDÉS

Az ábrán az Élethez nélkülözhetetlen,
az Univerzumban Mindenütt
megtalálható **struktúra**, a
 ^{12}C
atom látható

Kérdés: **Hány elemi fermionból
(kvarkból és elektronból)
áll a ^{12}C atom?**



