

Fizika űrmérnököknek

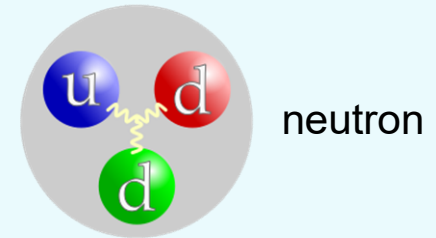
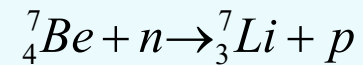
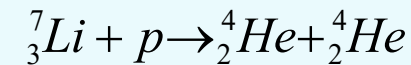
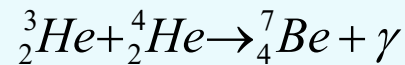
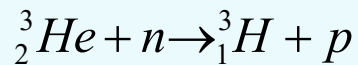
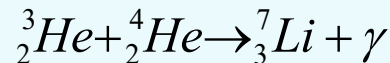
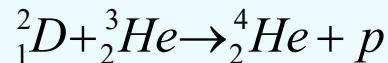
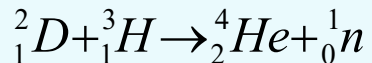
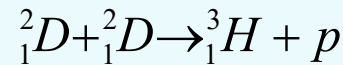
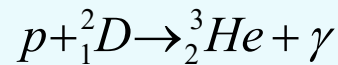
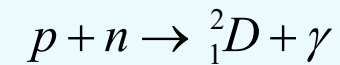
2. A Világegyetem megismerésének eszközei és módszerei

Kémiai elemek keletkezése, csillagok és galaxisok létrejötte és fejlődése, bolygók, fekete lyukak, sugárzások és sugárforrások az űrben. A kozmosz kutatásának eszközei: távcsövek, rádió- és röntgensillagászat, műholdas és űrszondás megfigyelések: Hubble, Chandra, Voyager, New Horizons, NuSTAR, Planck.

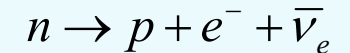
Nukleoszintézis az Ősrobbanásban

- Ősrobbanás után $\Delta t \approx 1-2$ s, $T \approx 10^9$ K \Rightarrow neutronok képződése a hadronizáció során
- 10^9 K hőmérséklet \Rightarrow nagy a részecskék mozgási energiája \Rightarrow a Coulomb-gáton keresztül közel kerülhetnek egymáshoz \Rightarrow érvényesül az erős kölcsönhatás vonzó hatása

- Könnyű elemek képződnek ${}^1_1H \doteq p$ ${}^2_1H \doteq {}^2_1D$ 3_1H 4_2He 7_3Li 7_4Be



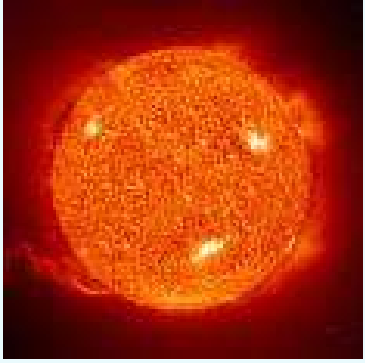
- Folyamat korlátai: (a) szabad neutronok elbomlanak (életidő $\approx 885,7 \pm 0,7$ s)



- (b) hőmérséklet csökken \Rightarrow neutronbefogás valószínűsége növekszik

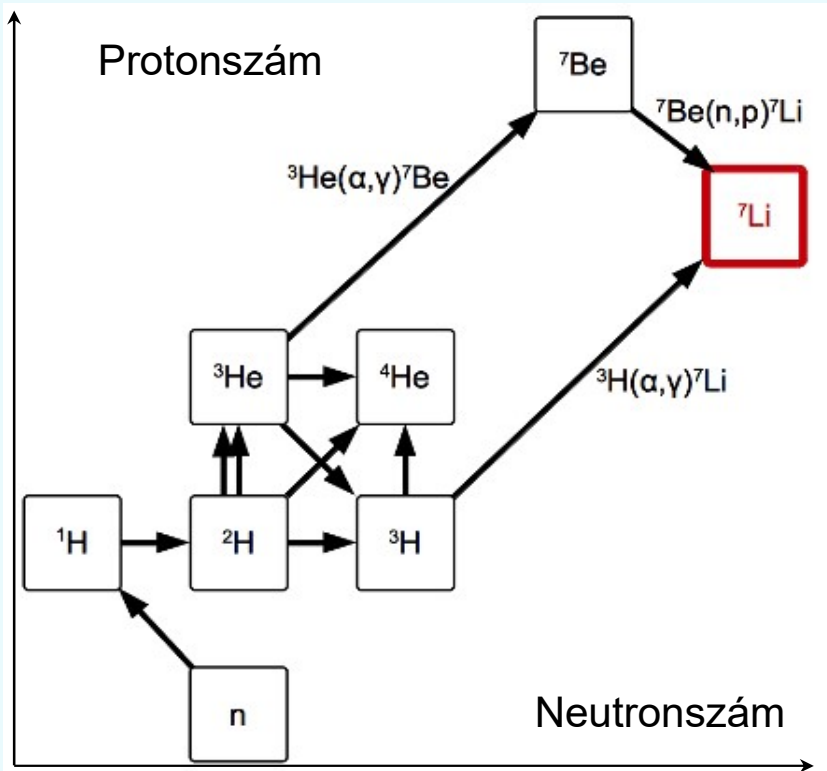
- Ősrobbanás után az elemi összetétel: H ≈ 72 a%, He ≈ 25 a%, D $\approx 0,001$ a%, ...

- Elfogytak a szabad neutronok \Rightarrow leáll a szintézis \Rightarrow nem keletkeztek nehezebb elemek



Kémiai elemek nukleoszintézise az Ősrobbanásban

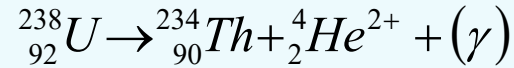
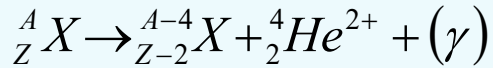
- Ősrobbanás után az Univerzum folyamatosan tágul \Rightarrow csökkent a hőmérséklete
- Li, Be, B és további izotópjai, és nagyobb rendszámú kémiai elemek nem jöttek létre a Világegyetem kialakulásának ebben a periódusában



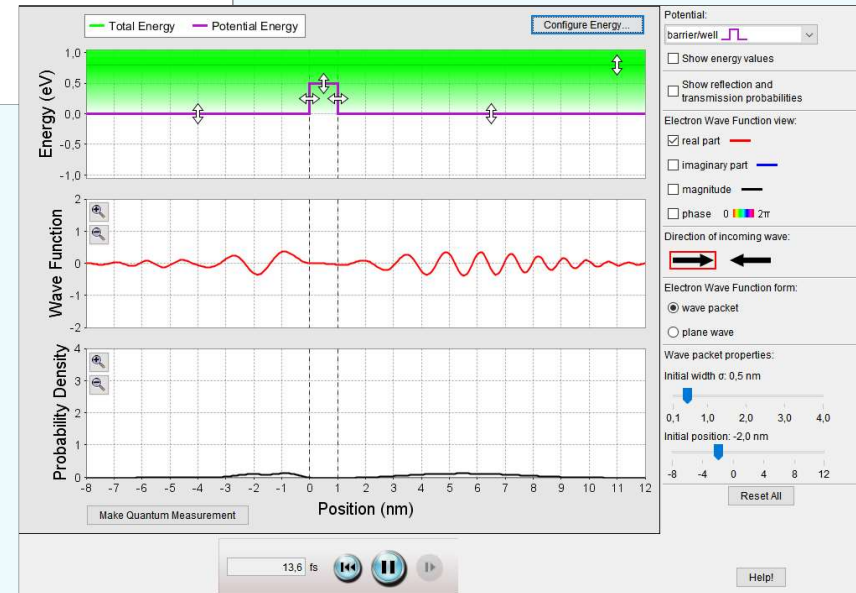
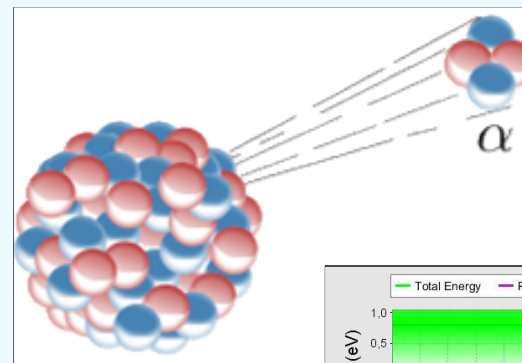
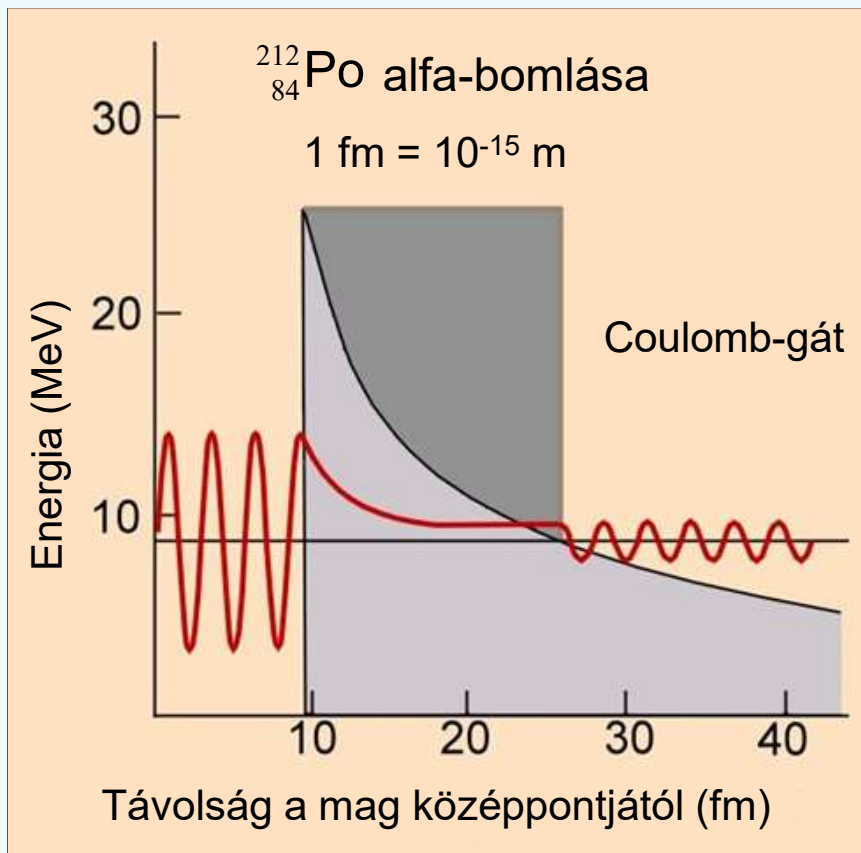
- He és H tartalmú ködök, gázok az Univerzumban
- Gravitáció \Rightarrow tömöríti a gázokat \Rightarrow csillagok keletkezése
- Növekvő hőmérséklet \Rightarrow növekvő nyomás \leftrightarrow gravitációs erő
- Negatív visszacsatolás \Rightarrow egyensúlyi állapot \Rightarrow nagyobb rendszámú kémiai elemek szintézise
- Probléma: Hogyan szintetizálódtak a $Z > 4$ rendszámú kémiai elemek?

Alagúteffektus a kvantummechanikában, alfabomlás

- α bomlás: az atommag kibocsát egy He atommagot (alfa részecske)



Izotóp	$T_{1/2}$
${}^{235}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ év
${}^{226}\text{Ra}$	1600 év
${}^{222}\text{Rn}$	3,8 nap

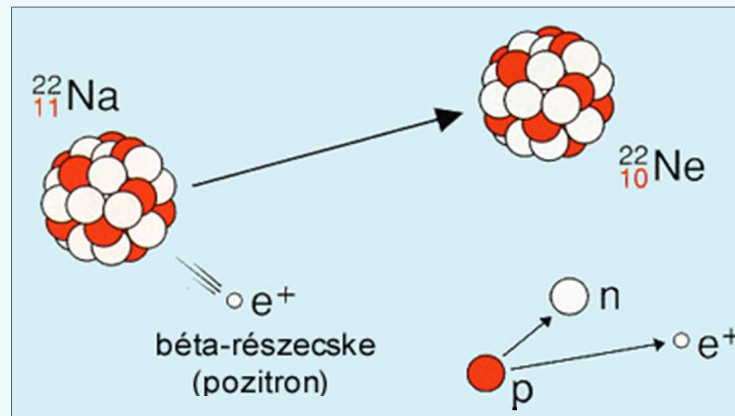
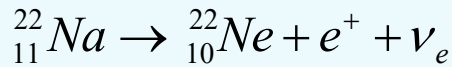
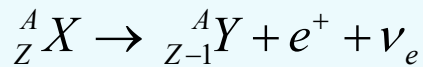


Spontán magátalakulások: β bomlás

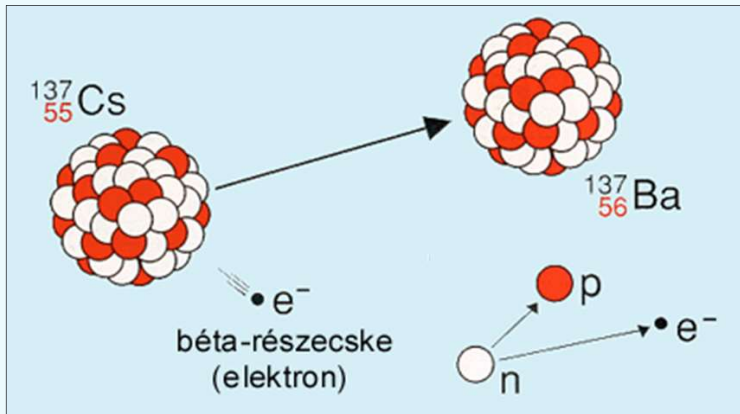
- Gyenge kölcsönhatás: béta bomlások, nukleonok átalakulása

- β^+ bomlás

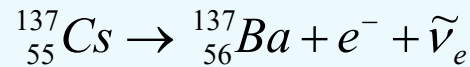
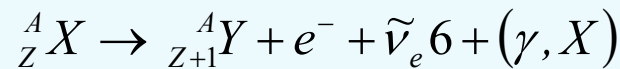
$$E + p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e$$



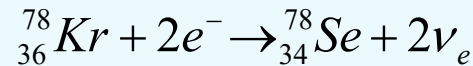
- β^- bomlás



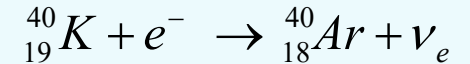
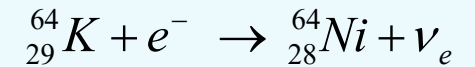
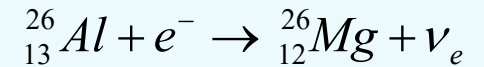
$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}_e$$



- Kettős elektronbefogás



- K-befogás: K elektronhéjról egy elektront befog a mag



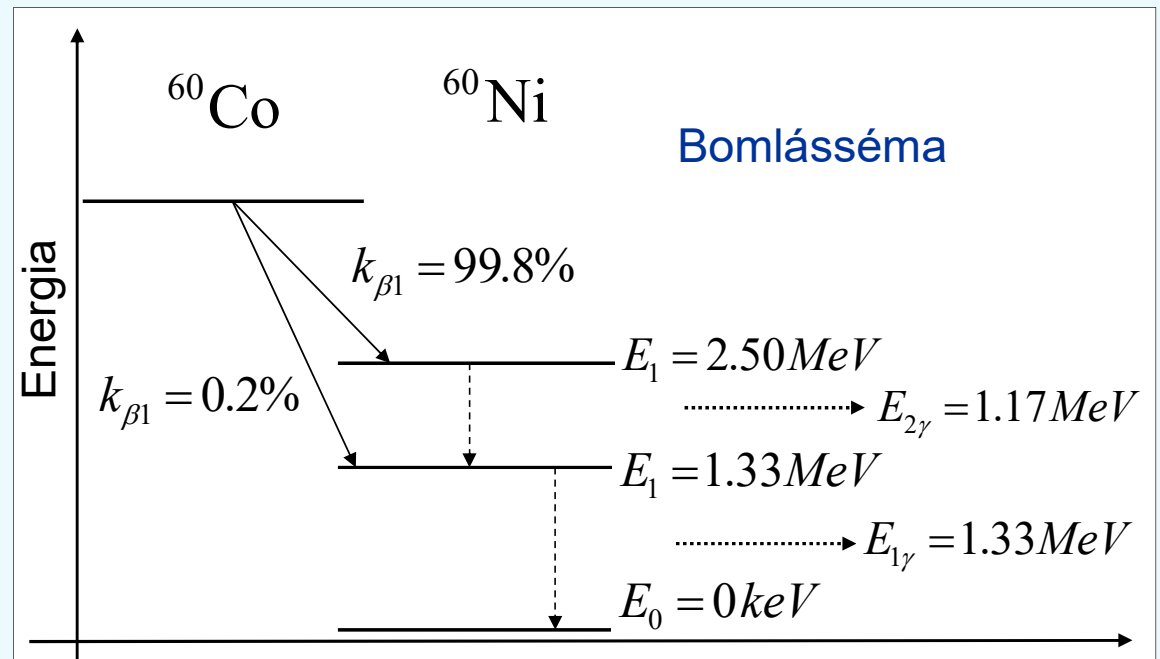
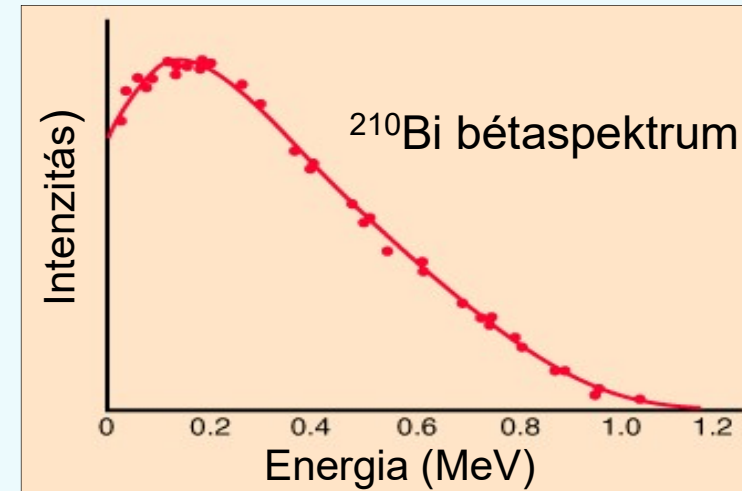
Izotóp	Felezési idő	
${}^7\text{Be}$	53,28	nap
${}^{37}\text{Ar}$	35,0	nap
${}^{41}\text{Ca}$	$1,03 \cdot 10^5$	év
${}^{44}\text{Ti}$	52	év
${}^{49}\text{V}$	337	nap
${}^{51}\text{Cr}$	27,7	nap
${}^{57}\text{Co}$	271,8	nap

Gyenge kölcsönhatás

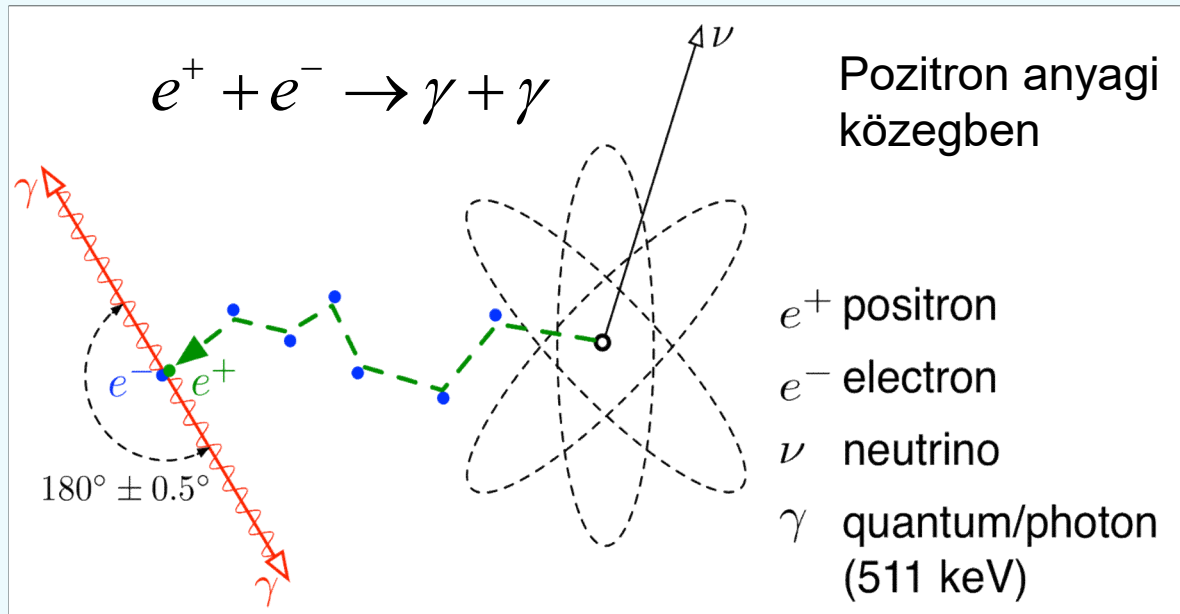
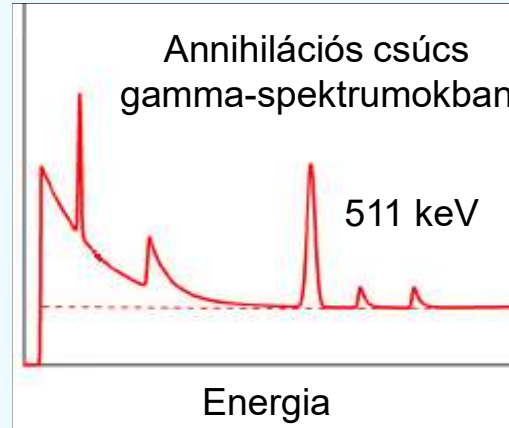
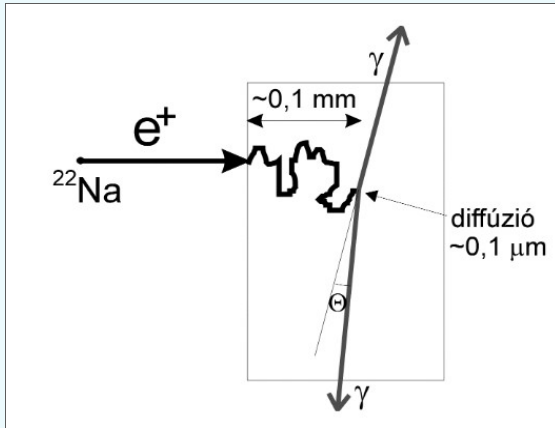
- Nukleonok közötti kölcsönhatás
 $\Delta x \approx 10^{-18}$ m
- Magok legerjesztődése $\Delta t \approx 10^{-14}$ s
- β bomlás 10 nagyságrenddel lassúbb
- Hatótávolság $E=1$ MeV Al
 $d=0,4$ g/cm² \Rightarrow $R=1,08$ cm
- Abszorpció, fékezési sugárzás

Tisztán β -bomló izotópok		
Izotóp	$T_{1/2}$	E_{β} (keV)
³ H	12,3 év	18,6
¹⁴ C	5730 év	156
²⁰⁴ Tl	3,8 év	766
⁹⁰ Sr	28,1 év	546
⁹⁰ Y	64 óra	2270

β/γ sugárzó izotópok	
Izotóp	$T_{1/2}$
⁶⁰ Co	5,27 év
¹³¹ I	8,07 nap
¹³⁷ Cs	30,23 év



Annihilációs jelenség

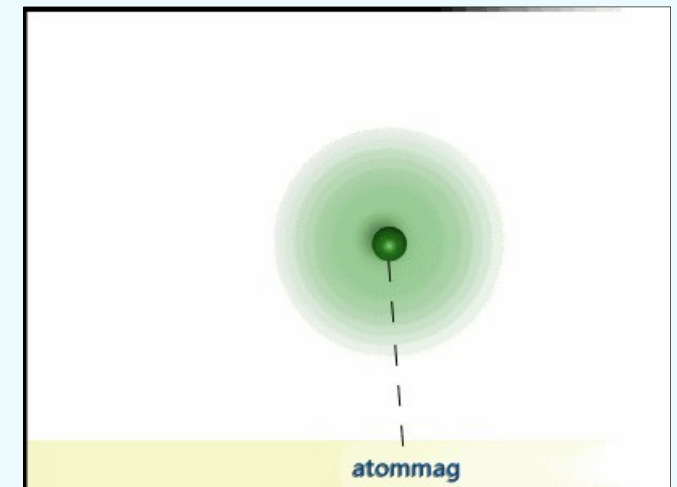


Párkeltés

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

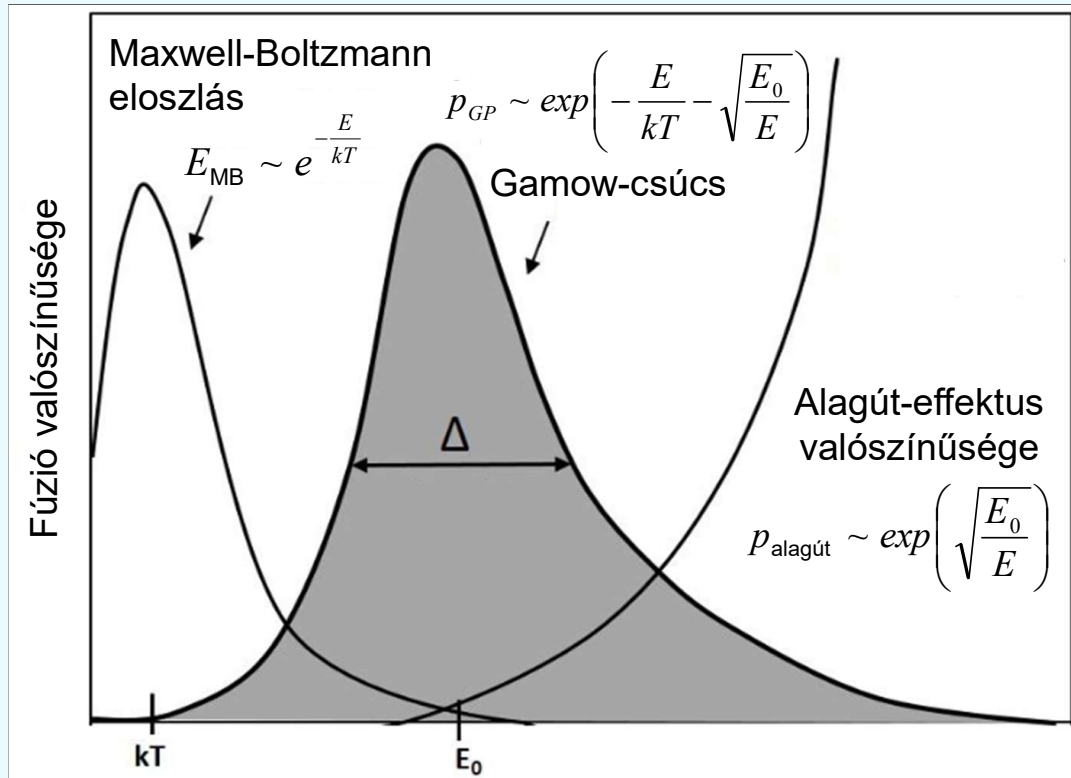
$$m_0 c^2 = 511 \text{ keV} \Rightarrow E_{\min} = 1.02 \text{ MeV}$$

- Gamma-foton \Rightarrow két új részecske
- Foton megszűnik
- Megmaradási törvények miatt egy harmadik részecske környezetében következik be



Kémiai elemek keletkezése a csillagokban

- Nap magja $T \approx 10^6$ K \Rightarrow kevés a protonok mozgási energiája a Coulomb-gát legyőzéséhez
- 1928 G. Gamow: alagúteffektus jelenség \Rightarrow Gamow-ablak teszi lehetővé a további fúziós reakciókat



Letters to the Editor

PUBLICATION of brief reports of important discoveries in physics may be secured by addressing them to this department. The closing date for this department is five weeks prior to the date of issue. No proof will be sent to the authors. The Board of Editors does not hold itself responsible for the opinions expressed by the correspondents. Communications should not exceed 600 words in length.

The Origin of Chemical Elements

R. A. ALPHER*
Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University,
Silver Spring, Maryland
AND
H. BETHE
Cornell University, Ithaca, New York
AND
G. GAMOW
The George Washington University, Washington, D. C.
February 18, 1948

AS pointed out by one of us,¹ various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building up process attended by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, we must imagine the early stage of matter as a highly compressed neutron gas (overheated neutral nuclear fluid) which started decaying into protons and electrons when the gas pressure fell down as the result of universal expansion. The radiative capture of the still remaining neutrons by the newly formed protons must have led first to the formation of deuterium nuclei, and the subsequent neutron captures resulted in the building up of heavier and heavier nuclei. It must be remembered that, due to the comparatively short time allowed for this process,² the building up of heavier nuclei must have proceeded just above the upper fringe of the stable elements (short-lived Fermi elements), and the present frequency distribution of various atomic species was attained only somewhat later as the result of adjustment of their electric charges by β -decay.

Thus the observed slope of the abundance curve must not be related to the temperature of the original neutron gas, but rather to the time period permitted by the expansion process. Also, the individual abundances of various nuclear species must depend not so much on their intrinsic stabilities (mass defects) as on the values of their neutron capture cross sections. The equations governing such a building-up process apparently can be written in the form:

$$\frac{dn_i}{dt} = f(t)(\sigma_{i-1}n_{i-1} - \sigma_i n_i) \quad i=1,2,\dots,238, \quad (1)$$

where n_i and σ_i are the relative numbers and capture cross sections for the nuclei of atomic weight i , and where $f(t)$ is a factor characterizing the decrease of the density with time.

We may remark at first that the building-up process was apparently completed when the temperature of the neutron gas was still rather high, since otherwise the observed abundances would have been strongly affected by the resonances in the region of the slow neutrons. According to Hughes,³ the neutron capture cross sections of various elements (for neutron energies of about 1 Mev) increase exponentially with atomic number halfway up the periodic system, remaining approximately constant for heavier elements.

Using these cross sections, one finds by integrating Eqs. (1) as shown in Fig. 1 that the relative abundances of various nuclear species decrease rapidly for the lighter elements and remain approximately constant for the elements heavier than silver. In order to fit the calculated curve with the observed abundances⁴ it is necessary to assume the integral of ρdt during the building-up period is equal to 5×10^4 g sec./cm³.

On the other hand, according to the relativistic theory of the expanding universe⁴ the density dependence on time is given by $\rho \approx 10^9 / t^3$. Since the integral of this expression diverges at $t=0$, it is necessary to assume that the building-up process began at a certain time t_0 , satisfying the relation:

$$\int_{t_0}^{\infty} (10^9 / t^3) dt \approx 5 \times 10^4, \quad (2)$$

which gives us $t_0 \approx 20$ sec, and $\rho_0 \approx 2.5 \times 10^8$ g sec./cm³. This result may have two meanings: (a) for the higher densities existing prior to that time the temperature of the neutron gas was so high that no aggregation was taking place, (b) the density of the universe never exceeded the value 2.5×10^8 g sec./cm³ which can possibly be understood if we

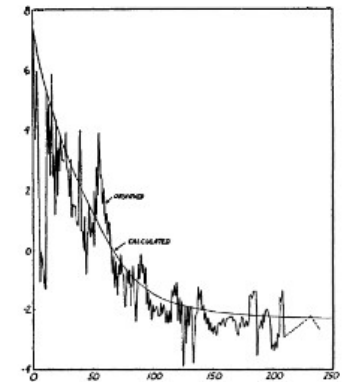


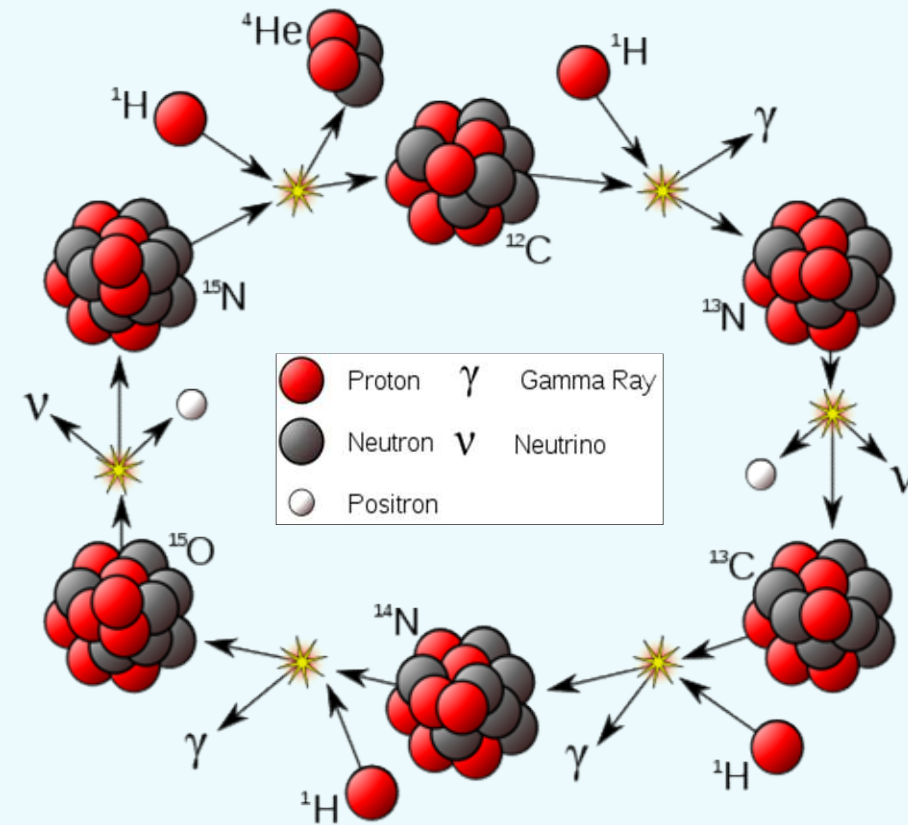
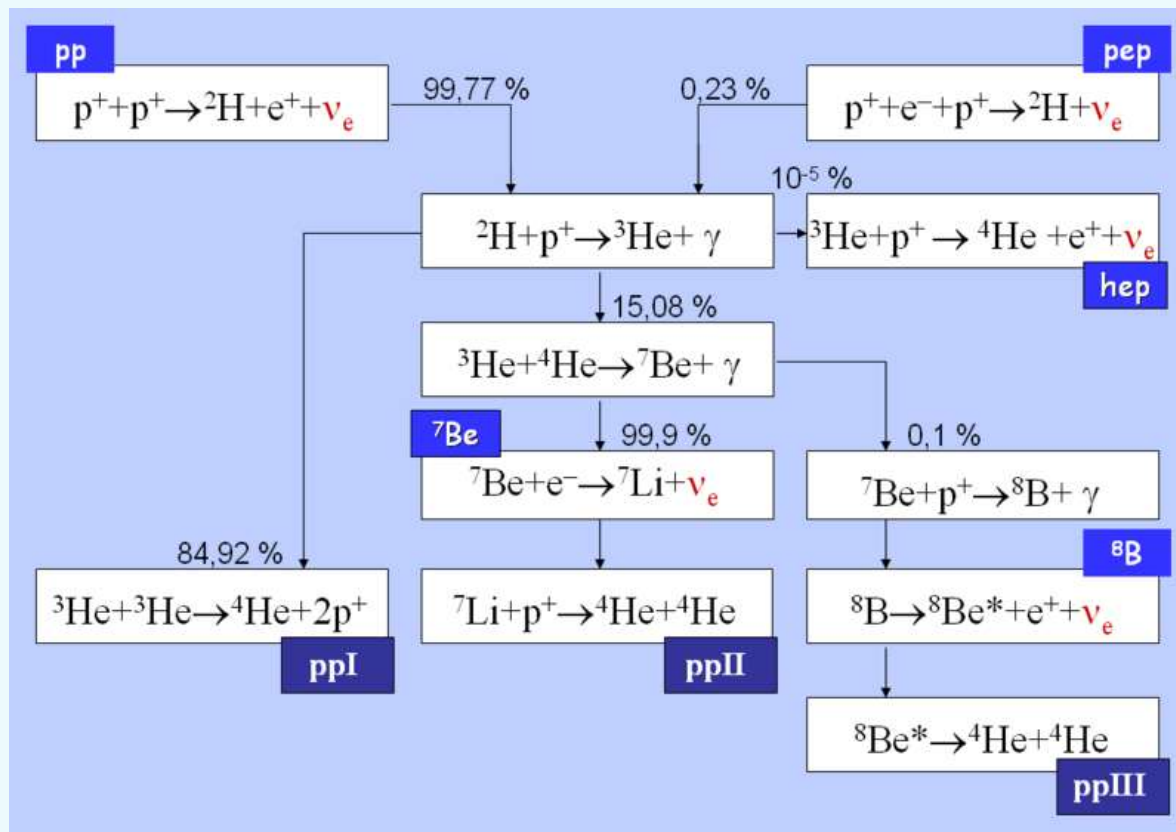
FIG. 1.
Log of relative abundance
Atomic weight

Proton-proton ciklus (hidrogénégés)

CNO-ciklus

1938 Bethe, Weizsäcker

- Hidrogén fúziója hőmérsékletfüggő
- Gravitáció + fúzió \Rightarrow ellentétes hatások \Rightarrow szabályozás (negatív visszacsatolás)



Elemek szintézise a csillagokban

- További fúziós reakciók akadályja a Coulomb-gát
- Napra jellemző hőmérséklet $\Rightarrow Z >$ rendszámú elemek nem jöhetnek létre szintézissel még alagúteffektussal sem (!!!)
- 1932 J. Chadwick, neutron felfedezése \Rightarrow **neutronok forrása**
- Probléma: $A = 5, 8$ elemek nem jönnek létre stabil formában
- 1950 E. Salpeter: hármass He égési folyamat, a ${}^8\text{Be}$ gyengén kötött \Rightarrow elbomlik $\Delta t \approx 10^{-16}$ s

$${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be} \quad {}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma \quad {}^8\text{Be} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He}$$
- Tény: ${}^{12}\text{C}$ a harmadik leggyakoribb elem a világegyetemben
- Fred Hoyle: Kell lennie egy speciális reakciónak a C szintéziséhez!
- Ötlet: **Rezonáns befogás gerjesztett állapotba**
- Siker: Gyorsítókkal létrehozott magreakciókkal megtalálták a ${}^{12}\text{C}$ gerjesztett állapotát!

REVIEWS OF
MODERN PHYSICS

VOLUME 29, NUMBER 4 OCTOBER, 1957

Synthesis of the Elements in Stars*
E. MARGARET BURBIDGE, G. R. BURBIDGE, WILLIAM A. FOWLER, AND F. HOYLE
*Kellogg Radiation Laboratory, California Institute of Technology, and
Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington,
California Institute of Technology, Pasadena, California*

1952
B²FH

"It is the stars, The stars above us, govern our conditions";
(*King Lear*, Act IV, Scene 3)

but perhaps
"The fault, dear Brutus, is not in our stars, But in ourselves,"
(*Julius Caesar*, Act I, Scene 2)

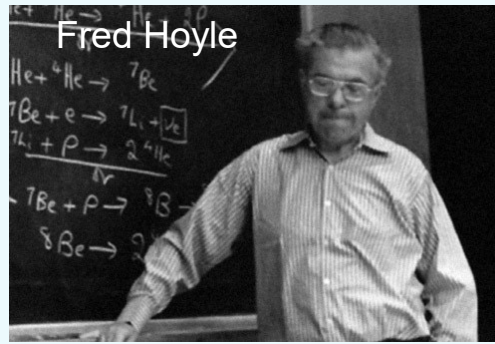
TABLE OF CONTENTS

	Page
I. Introduction	548
A. Element Abundances and Nuclear Structure	548
B. Four Theories of the Origin of the Elements	550
C. General Features of Stellar Synthesis	550
II. Physical Processes Involved in Stellar Synthesis, Their Place of Occurrence, and the Time-Scales Associated with Them	551
A. Modes of Element Synthesis	551
B. Method of Assignment of Isotopes among Processes (i) to (viii)	553
C. Abundances and Synthesis Assignments Given in the Appendix	555
D. Time-Scales for Different Modes of Synthesis	556
III. Hydrogen Burning, Helium Burning, the α Process, and Neutron Production	559
A. Cross-Section Factor and Reaction Rates	559
B. Pure Hydrogen Burning	562
C. Pure Helium Burning	565
D. α Process	567
E. Succession of Nuclear Fuels in an Evolving Star	568
F. Burning of Hydrogen and Helium with Mixtures of Other Elements; Stellar Neutron Sources	569
IV. ϵ Process	577
V. s and r Processes: General Considerations	580
A. "Shielded" and "Shielding" Isobars and the s , r , p Processes	580
B. Neutron-Capture Cross Sections	581
C. General Dynamics of the s and r Processes	583
VI. Details of the s Process	583

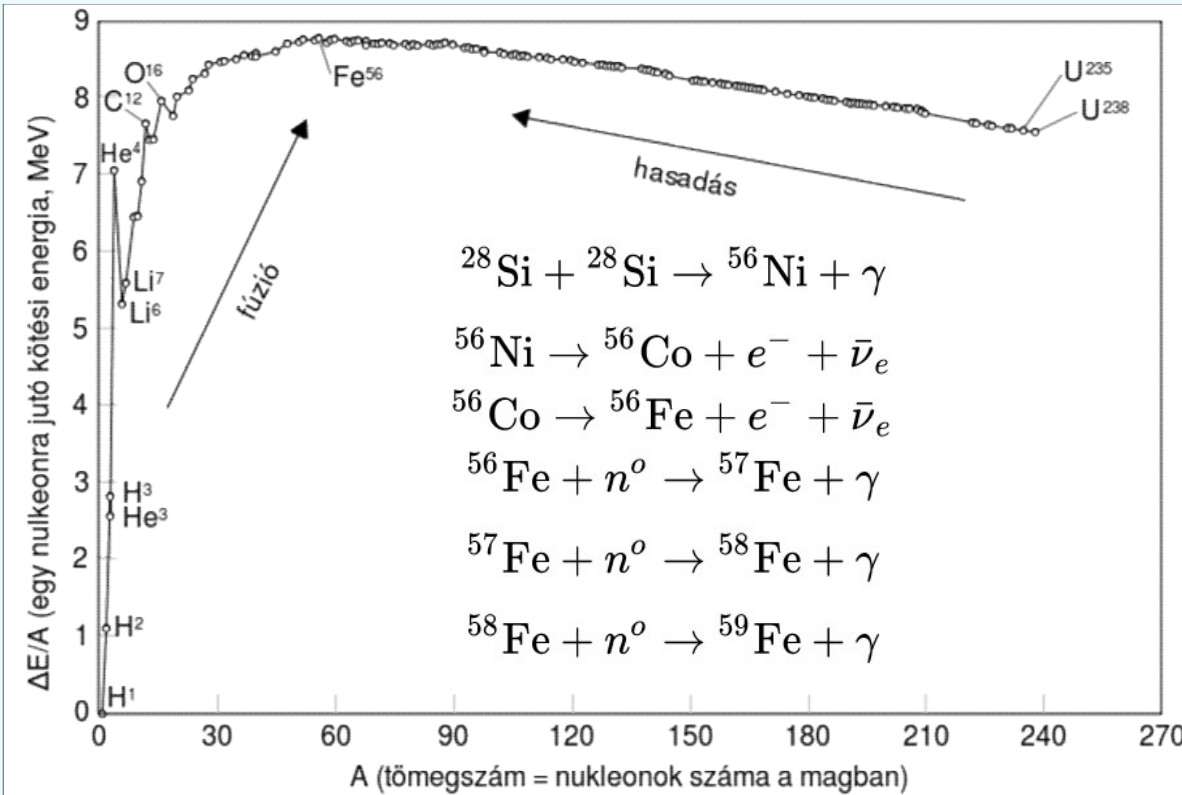
* Supported in part by the joint program of the Office of Naval Research and the U. S. Atomic Energy Commission.
547
Copyright © 1957 by the American Physical Society

Elemek szintézise a csillagokban

- További p, n, α magreakciók **exoterm** folyamatok ⇒ végeredmény ⁵⁶Fe
- Nagyobb (A > 56) tömegszámra a szintézis folyamata már **endoterm**



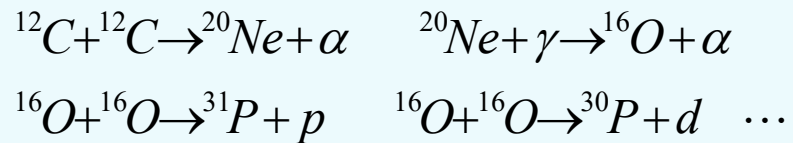
A termonukleáris fúzió lépései (25 M _{Nap})		
Folyamat	Hőmérséklet	Időtartam
H fúzió	4 · 10 ⁷ K	7 · 10 ⁶ év
He fúzió	2 · 10 ⁸ K	5 · 10 ⁵ év
C fúzió	6 · 10 ⁸ K	600 év
Ne fúzió	1,2 · 10 ⁹ K	1 év
O fúzió	1,5 · 10 ⁹ K	6 hónap
Si fúzió	2,7 · 10 ⁹	1 nap



- Exoterm: energia ↑ Endoterm: energia ↓
- A. Einstein $E = mc^2$
- W. Aston (tömegspektrometria $4 m_p < He^{++}$) ⇒ tömegdefektus ⇒ kötési energia
- Kis rendszámú magok egyesülése ⇒ fúzió
- Nagy rendszámú atommagok hasadása
- Mindkét folyamat: **energia felszabadulás**

Elemek szintézise a csillagokban

- Közepes rendszámú elemek fúziója



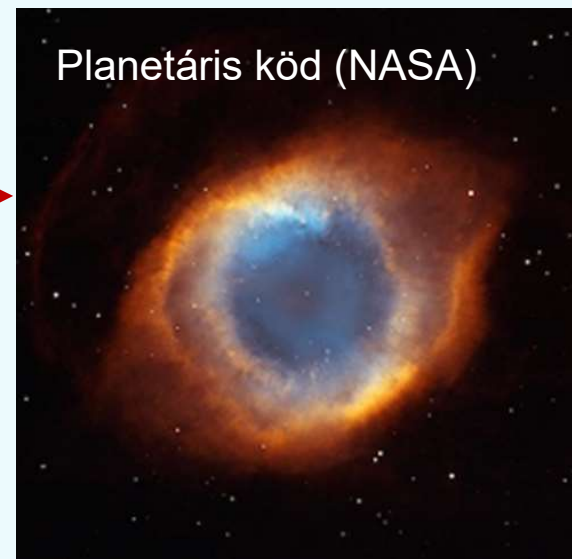
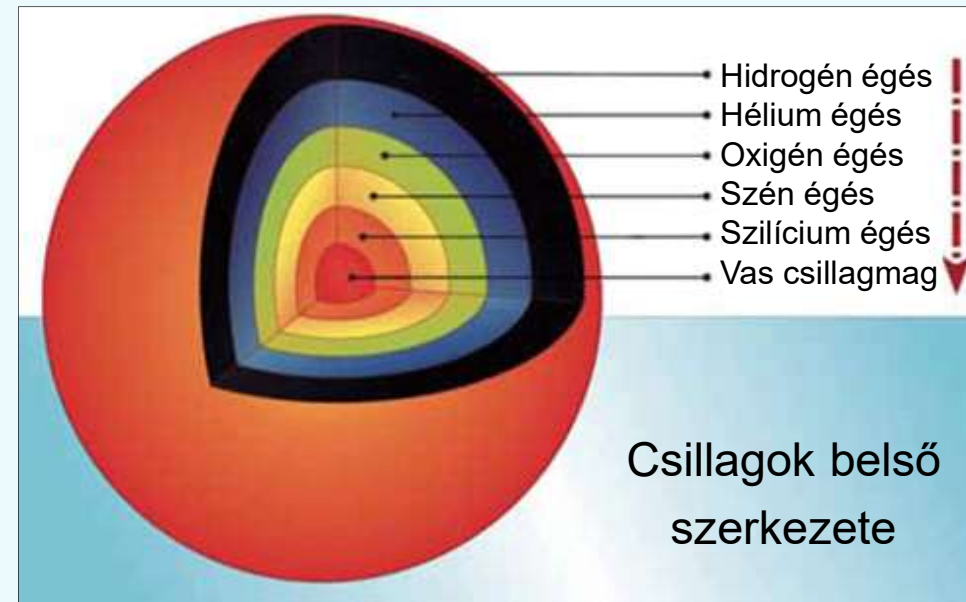
- További atommagok szintézise egészen a vasig

- Hogyan lesz ebből szilárd bolygó?

- Csillagok életciklusa végén \Rightarrow az egyensúlyi állapot megszűnik \Rightarrow szétszóródás az űrben

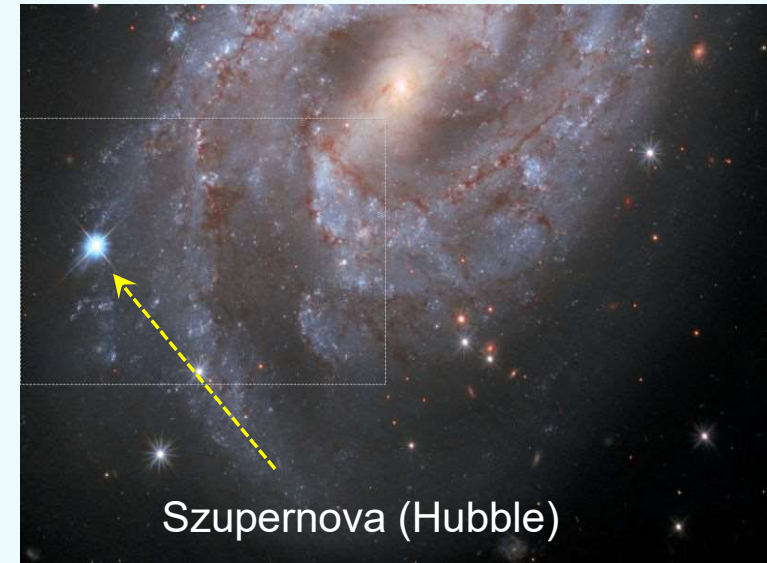
- Különböző csillagtípusok \Rightarrow eltérő végkifejlet

- Milyen csillagászati és nukleáris folyamatok hozzák létre a vastól nagyobb rendszámú elemeket?



Szupernehéz csillag, neutroncsillag, szupernova

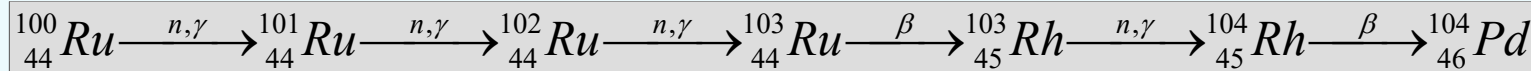
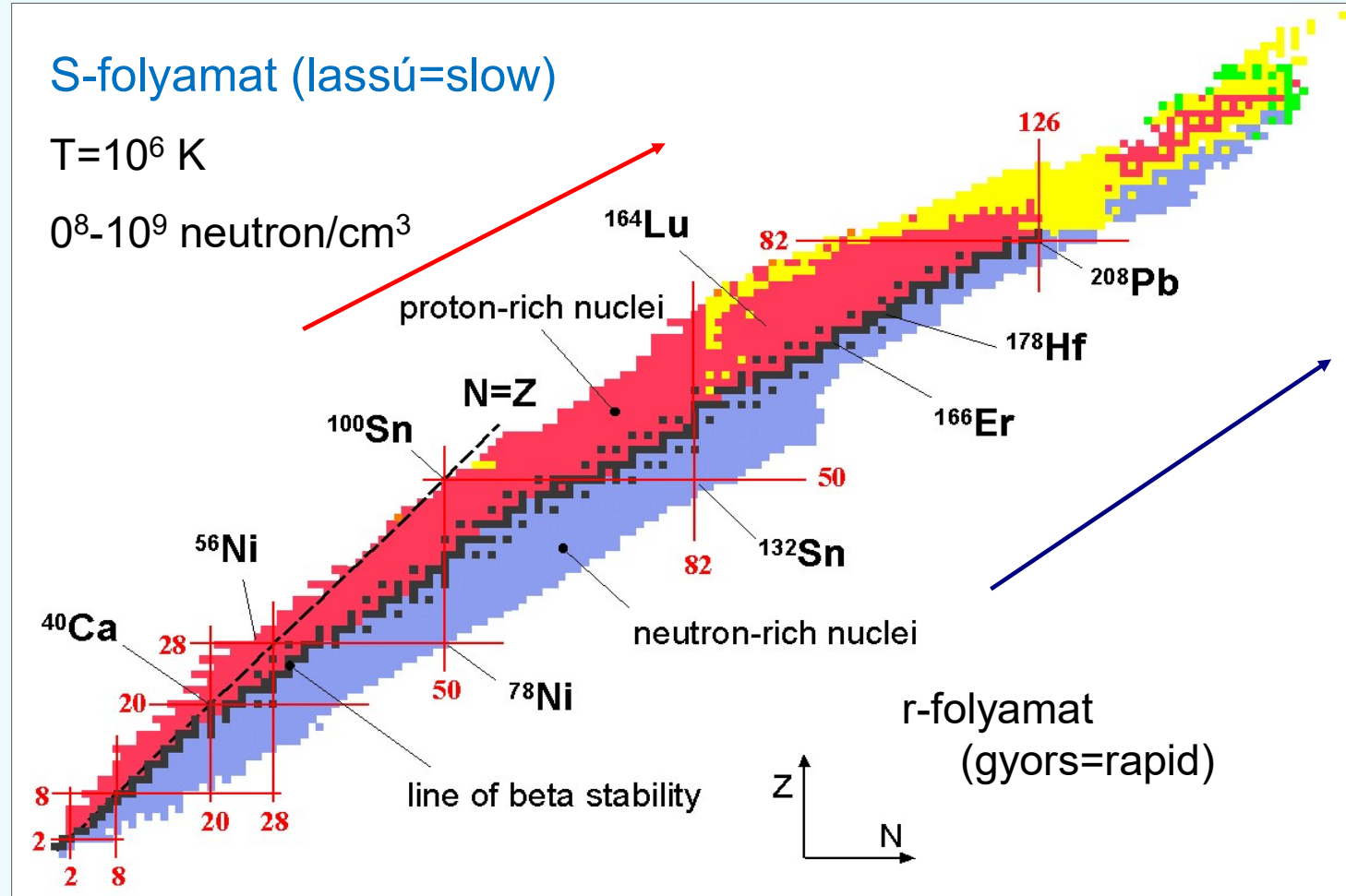
- $M > 4 \cdot M_{\text{nap}}$ \Rightarrow elemek szintézise eljut a ^{56}Fe izotópig
- A ^{56}Fe keletkezése már endoterm folyamat \Rightarrow nem termelődik annyi energia, ami egyensúlyt tartana a gravitációs hatással \Rightarrow a csillag összeroskad
- Hőmérséklete megnő \Rightarrow exoterm magreakciók hatására hatalmas energia ($\sim 10^{44}$ J) szabadul fel \Rightarrow **szupernova robbanás**
- A csillagokban nagy számban és folyamatosan keletkeznek neutronok \Rightarrow nagy valószínűséggel befogódhatnak atommagokba mivel nincs Coulomb-kölcsönhatás
- A szupernova robbanást megelőzheti egy neutroncsillag képződése: $12 \leq A \leq 56$ atommagokra 10^{15} kg/m³ sűrűségnél a szabad elektron + proton \Rightarrow **szabad neutron képződik**
- Legújabb elmélet: az R és S-folyamatok ekkor indulhatnak be, ami a legnagyobb tömegszámú izotópok képződését eredményezi



Lassú (s = slow) folyamat

- 10^8 neutron/cm³
- Neutronbefogás és β bomlás
- Kis neutronsűrűség + gyors β bomlás \Rightarrow stabilitási sáv állítja meg a folyamatot
- Neutronok fotonukleáris reakciókban is keletkezhetnek
- $^2\text{H} + \gamma \Rightarrow ^1\text{H} + n$
 $^{22}\text{Ne} (\alpha, n) ^{25}\text{Mg}$
- Legnehezebben szintetizálódó mag ^{209}Bi
- Az alfabomlás állítja meg a folyamatot

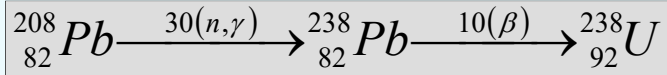
Hogyan jöhetnek létre a rendszámú $26 < Z$ elemek?



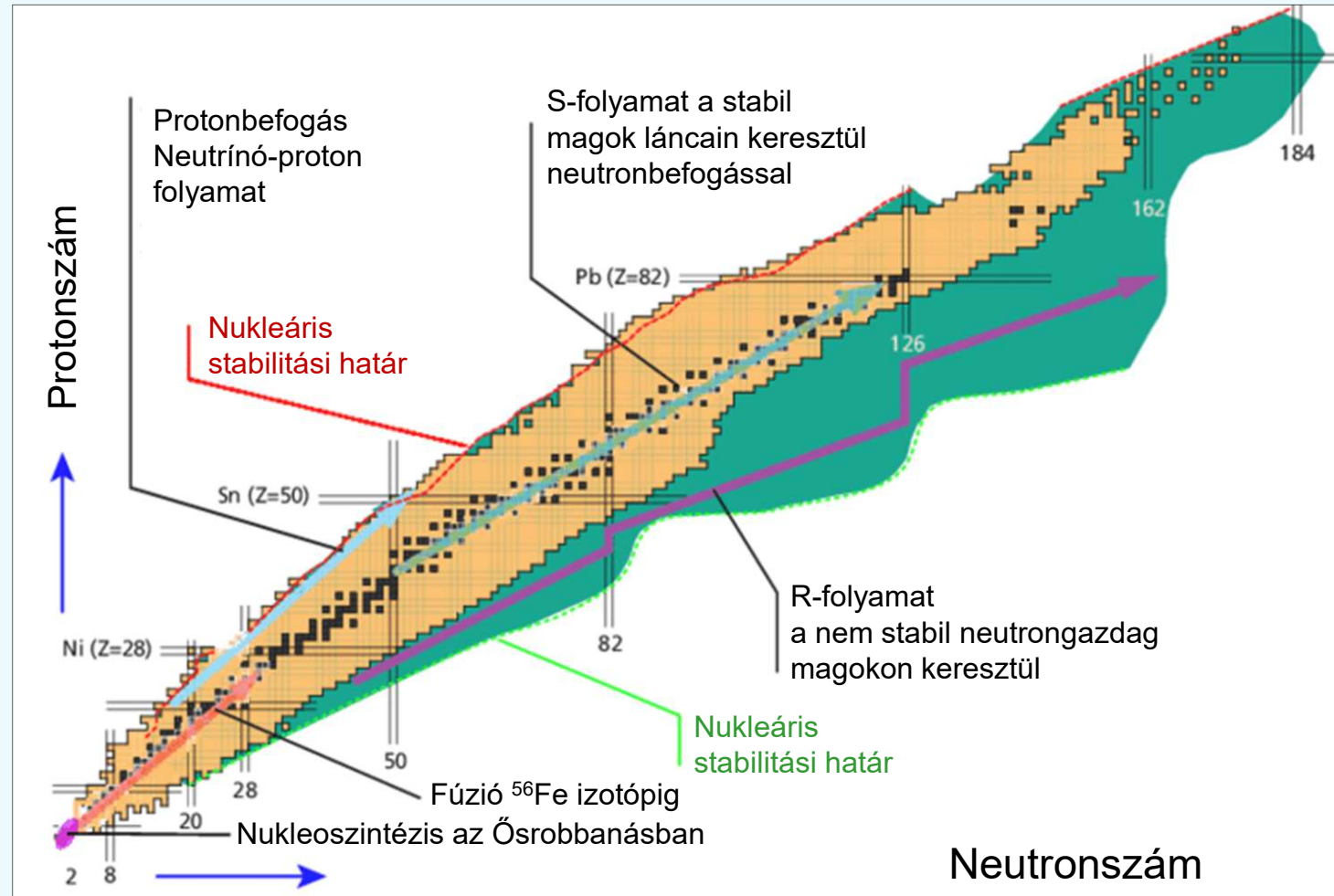
Hogyan jöhetnek létre a rendszámú $26 < Z$ elemek?

Gyors (r = rapid) folyamat

- 10^{22} neutron/cm³
- (n, γ) magreakció és β bomlás
- Nagy neutronfluxus hatására
 $^{56}\text{Fe} + \gamma \Rightarrow 13 \cdot ^4\text{He} + 4n$



- A maghasadás állítja meg az S-folyamatot
- Neutroncsillagok:
 proton-elektron \Rightarrow neutron
- 10-20 km átmérő
- Gyors forgás (600-800 ford/s)



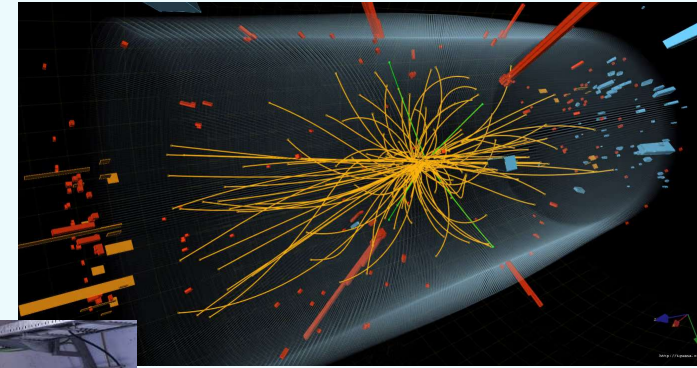
Galaxisok

- Fekete lyuk, csillagok, sötét anyag, por, gáz,...
- Csillagok száma $\approx 10^7 - 10^{12}$, galaxisok száma $\approx 10^{11}$ a látható univerzumban
- Sok galaxis középpontjában egy-egy fekete lyuk található
- Keletkezésük: fekete lyukak és sötét anyag gravitációs hatása
- Formák: spirál, elliptikus, törpe, gyűrű, csak sötétanyagot tartalmazók
- Galaxisok mozgását a sötét anyag feltételezésével lehet leírni
- Galaxisok ütközése, galaxishalmazok
- Tejútrendszer

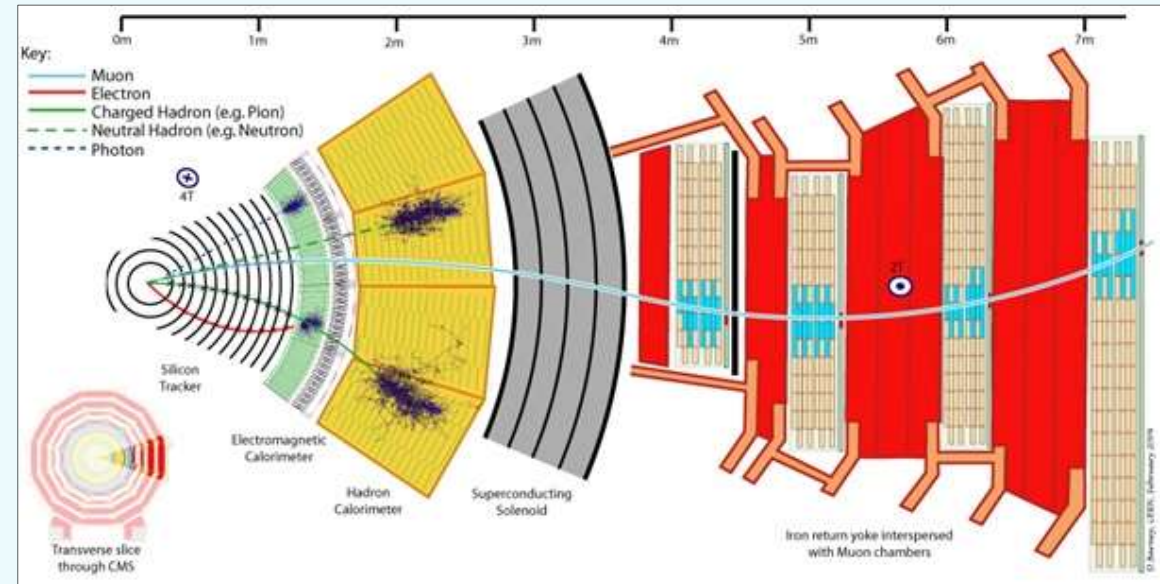
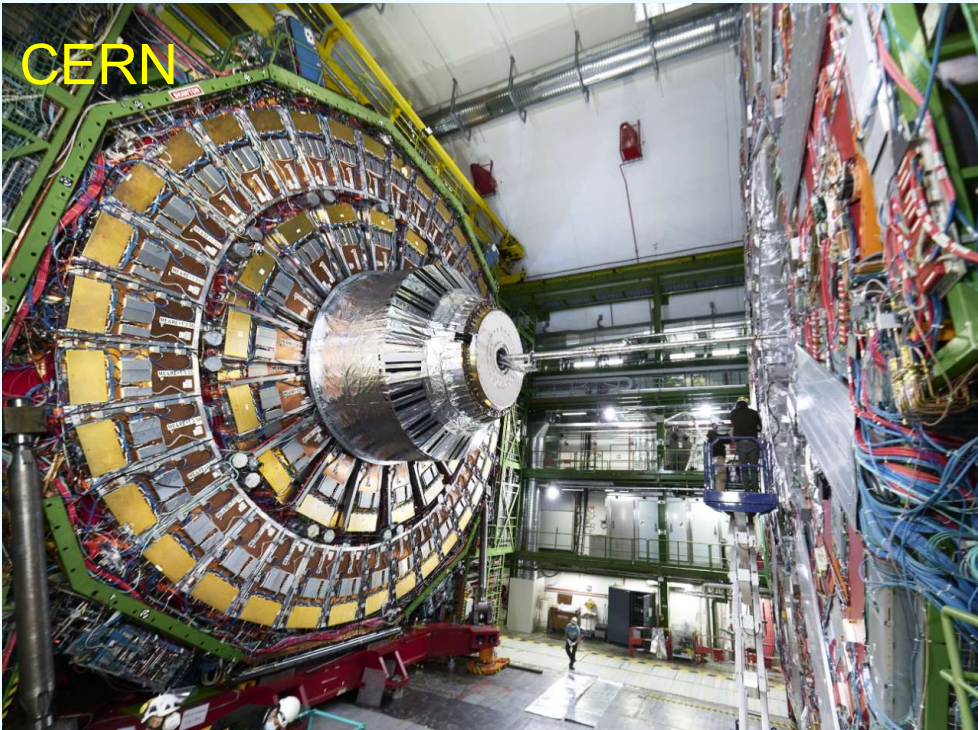


Világegyetem keletkezésének közvetett bizonyítékai

- A kísérleti fizika eszközeivel a világegyetem első másodpercében kialakult fizikai körülményeket nem lehet laboratóriumban vizsgálni. Ok: extrém hőmérséklet és sűrűség
- Modellek \Rightarrow kísérleti vizsgálat gyorsítókkal

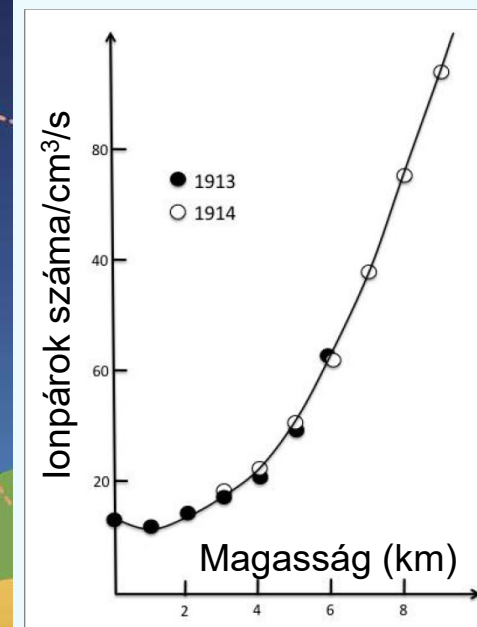
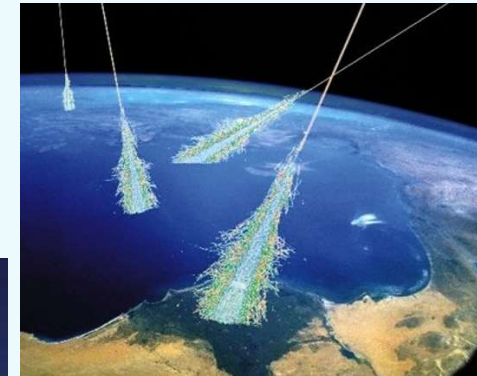
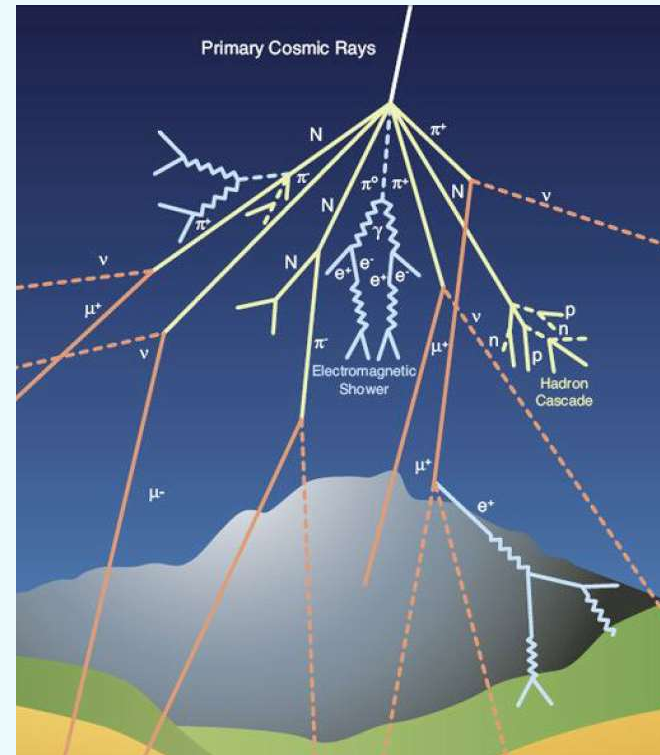


- Proton, antiproton ütközés
- Elemi részek zápora \Rightarrow detektorrendszerek



A világűrben a Földet érő sugárzások: kozmikus sugárzás

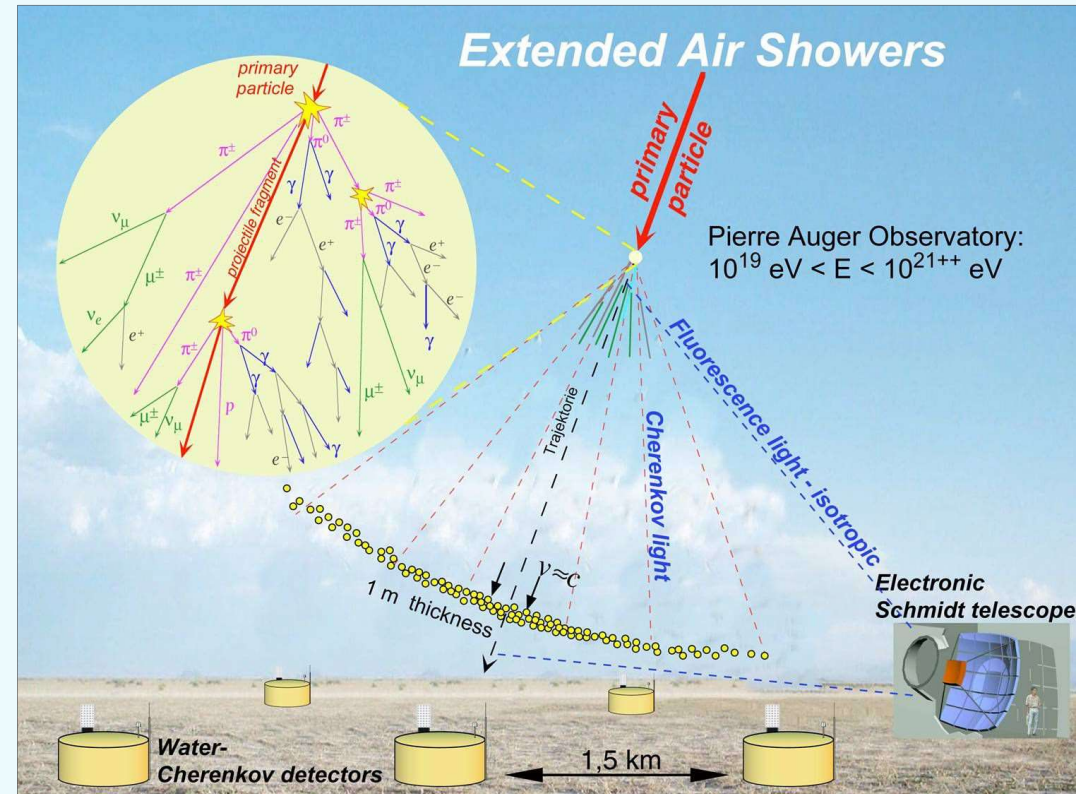
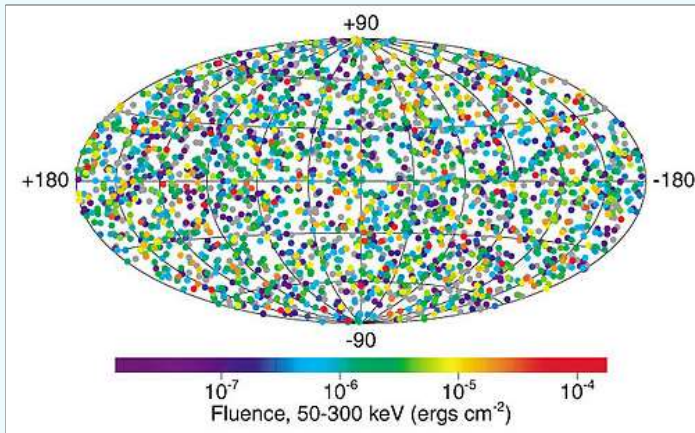
- Elektromágneses sugárzások: optikai, UV, IR, rádióhullámok, röntgen- és gamma-sugárzás
- Elemi részecskék: protonok (90%), He (1 %), nehéz ionok, neutrínók.
- Gravitációs hullámok
- Tapasztalat: magas hegyek, léggömb \Rightarrow nagyobb ionizációs hatás (ionkamra)
- Sarkok felé több a töltött részek száma
- Távoli koincidencia események: részecskezapor
- Elsődleges: p 90%, α 10%, X, γ , magok 1%
- Másodlagos: elektron, foton, müon
- Források: Nap, csillagok, szupernovák, kvazárok
- Auger Observatory: Cserenkov detektor, zápor-mérés, extra nagy energiájú γ ($>10^{18}$ eV)



A világűrben a Földet érő sugárzások: kozmikus sugárzás

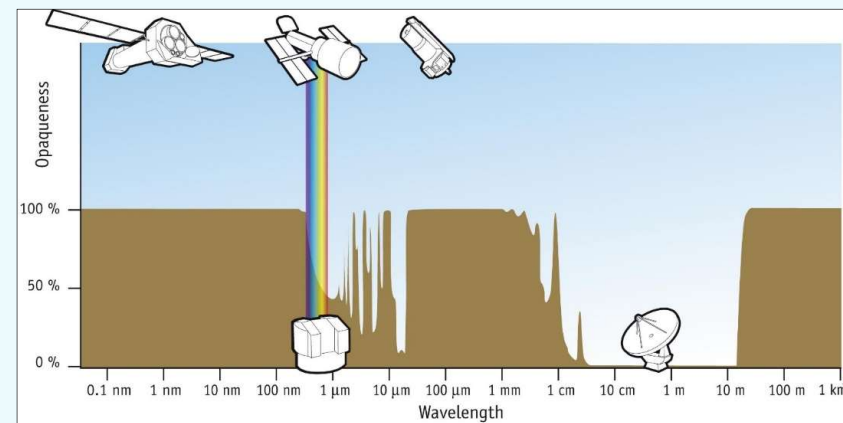
- Részecskezépor és a másodlagos kozmikus sugárzás mérése koincidenca-módban
- Radioaktív elemek képződése a légkörben: trícium $n_{(gyors)} + {}^{14}_7N \Rightarrow {}^{12}_6C + {}^3_1H$
- ${}^{14}C$ ($T_{1/2} = 5715$ év) ${}^1_0n + {}^{14}_7N \Rightarrow {}^{14}_6C + {}^1_1H$ ${}^{14}_6C \Rightarrow {}^{14}_7N + e^- + \tilde{\nu}_e$ Keletkezési gyakoriság: $2,2 \cdot 10^4$ atom/s/m²
- Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) 1991
- Gammakitörések \Rightarrow Swift gammadetektor 2004

- CGRO ΔE 20 keV-30 GeV
- Gamma-kitörések eloszlása

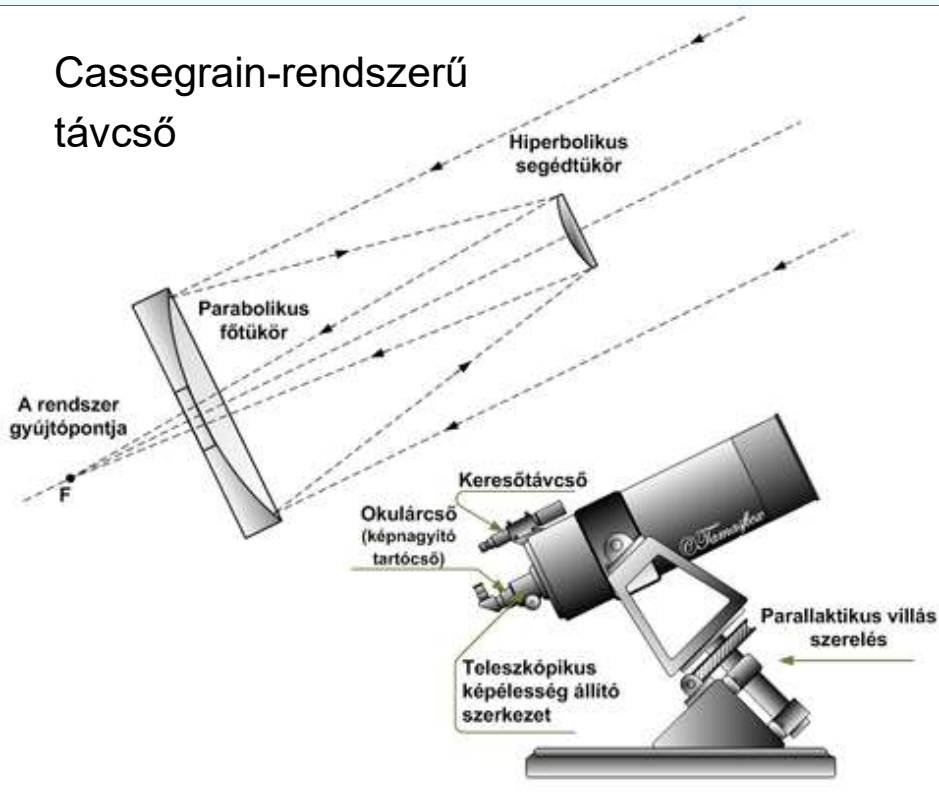


Földi telepítésű távcsövek

- Léggör abszorbeáló hatása
- Palomar obszervatórium, 1949
- Newton-rendszerű $d=508$ cm



Cassegrain-rendszerű távcső



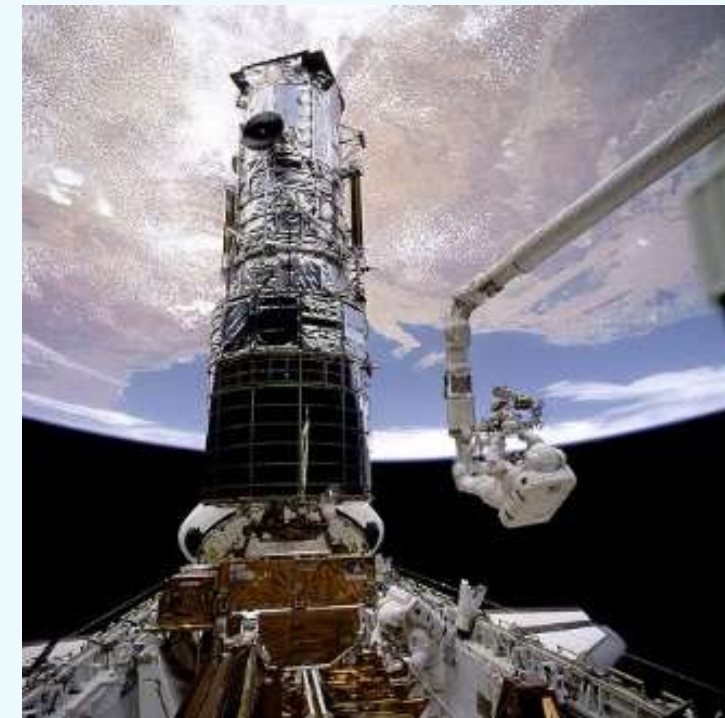
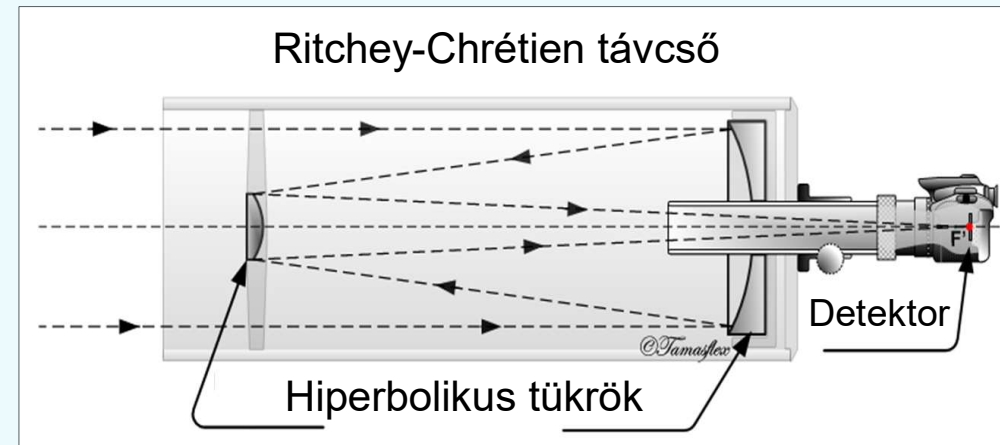
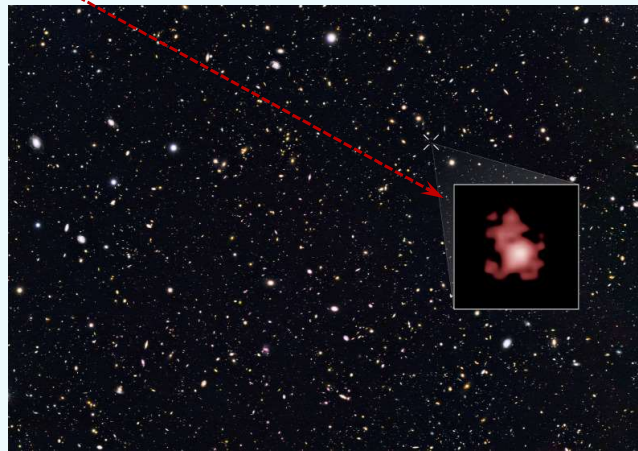
Very Large Telescope (VLT)

- $D=8,2$ m, 4 db. távcső, Atacama sivatag 2600 m
- Kerámia + 18 nm vastag Al réteg
- Interferenciás mérések \Rightarrow 130m átmérőjű tükörnek felel meg



Hubble Space Telescope

- Infravörös, optikai, UV: 115-2500 nm
- Fellövés 1990, többszöri karbantartás
- Nincs a légkör zavaró hatás
- Hossza 13,2 m, átmérő 4,2 m, tükör 2,4 m, tömeg 11,2 t
- Távoli galaxis felfedezése (2003)~ 500 Mév az Ősrobbanás után
- Naprendszer elemeinek fotói
- GN-z11 galaxis 13,2 milliárd év
- Univerzum kora 13,8 Mév
- Hubble Ultra Deep Field fotó
- $z=11,1$; ~400 millió év BB után



Expedíciók a Mars felszínére

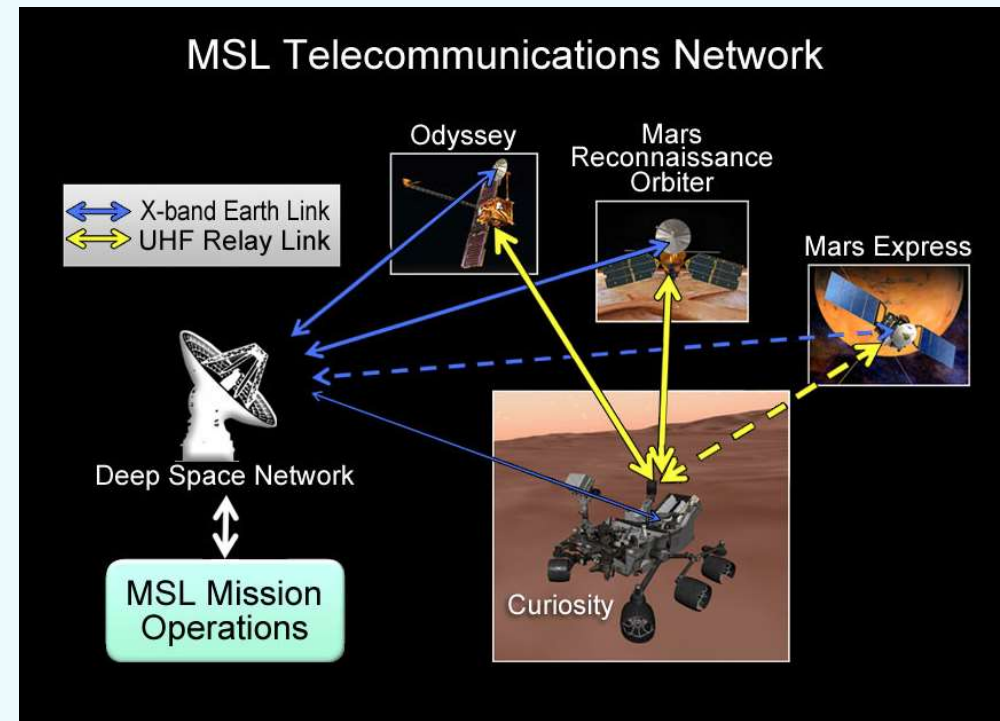
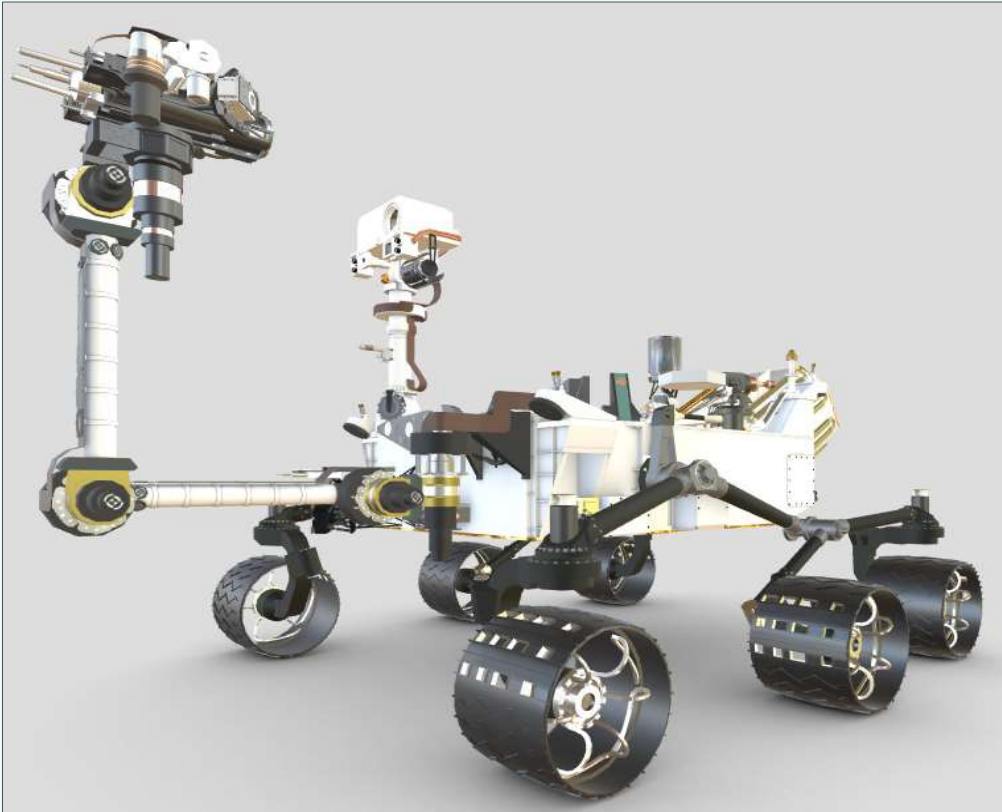
- 1976 Viking 1, 2, nem önjáró berendezések
- XRF spektrométer ^{55}Fe és ^{109}Cd radioaktív forrásokat és gáztöltésű proporcionális detektort használt (Icarus, 20, 153-178, 1973)



- 1997 Pathfinder: ^{244}Cm alfasugárzó izotóp \Rightarrow kémiai elemek gerjesztése talajmintákban
- AMPTEK XR-100T röntgenspektrométer
- J. Geophys. Res., Vol. 102, No. E2, pp. 4027-4044, 1997

Expedíciók a Mars felszínére

- 2012 Curiosity: élet nyomainak keresése
- Marsi klíma történetének felderítése
- A Mars kialakulása folyamatának kutatása

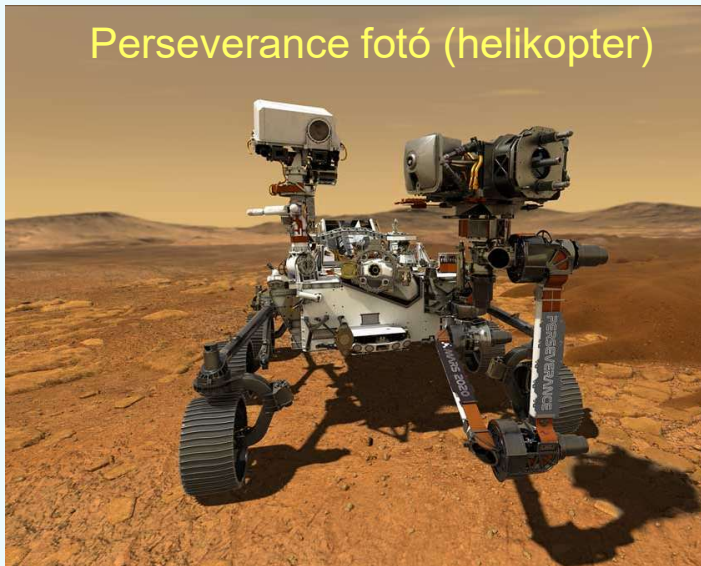


Expedíciók a Mars felszínére

- 2020 Perseverance: élet nyomainak keresése
- Hosszú időtartamú marsi expedíciók lehetősége
- Talaj, kőzet elemzése \Rightarrow oxigén előállítása a Marson
- Mars helikopter: atmoszféra sűrűsége a földinek 1%-a
- Tömege 1,8 kg, hatótávolság \sim 300 m



Perseverance fotó (helikopter)



Landolás a Marson

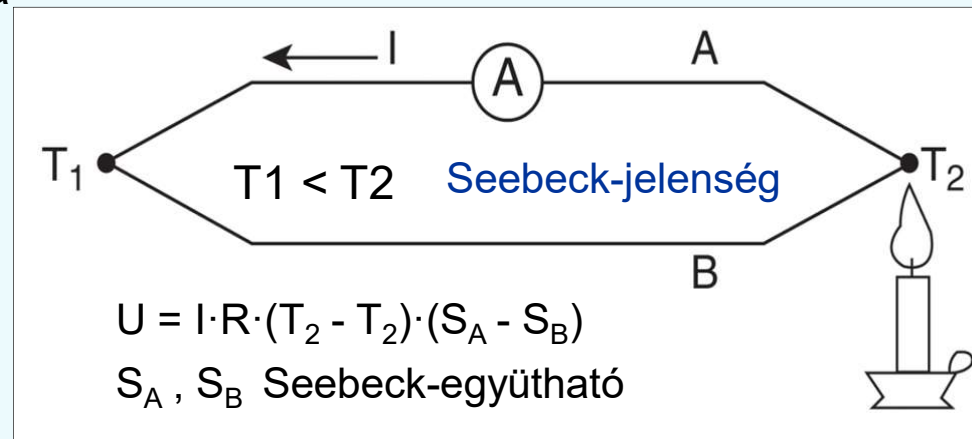


Mars helikopter



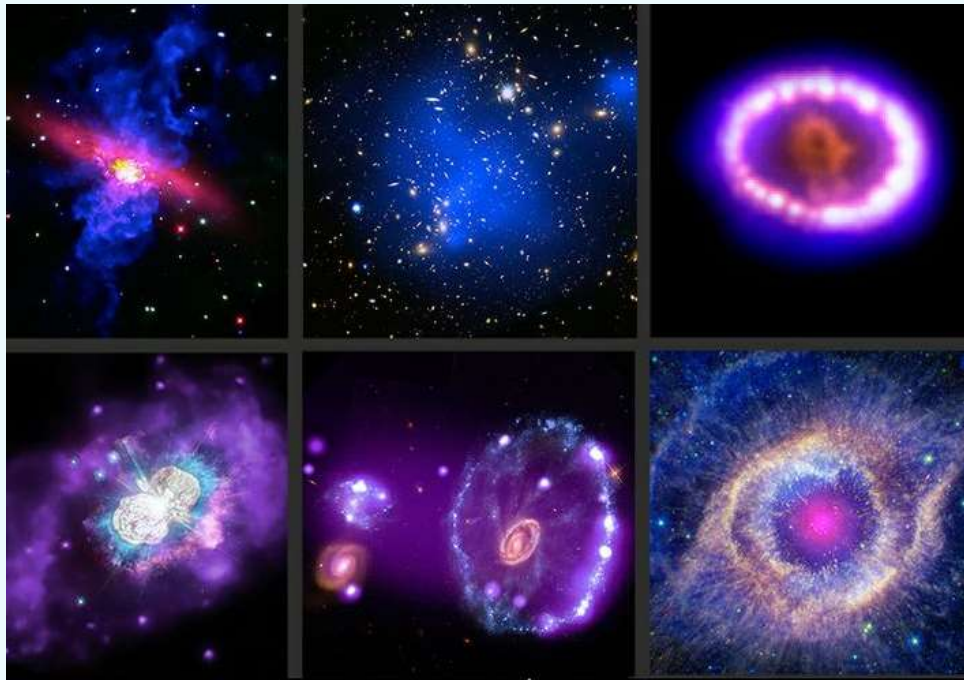
Távoli űrszondák: Voyager 1977

- Jupiter ⇒ gravitációs paritya hatás ⇒ 14 km/s
- Légköri elemzés, Jupiter, Szaturnusz
- Energiaellátás: RTG – Radioisotope Thermoelectric Generator
- 1mg ^{210}Po és 5 g ^{226}Ra ugyanannyi alfa-részecskét emittál
- 1g ^{210}Po 140 W hőenergia
Termoelektromos generátor
- Rendkívül mérgező 50 ng
- 1t uránércben $\sim 100\mu\text{g}$
- ^{238}Pu , ^{90}Sr , ^{210}Po , ^{242}Cm ,
 ^{244}Cm , ^{241}Am

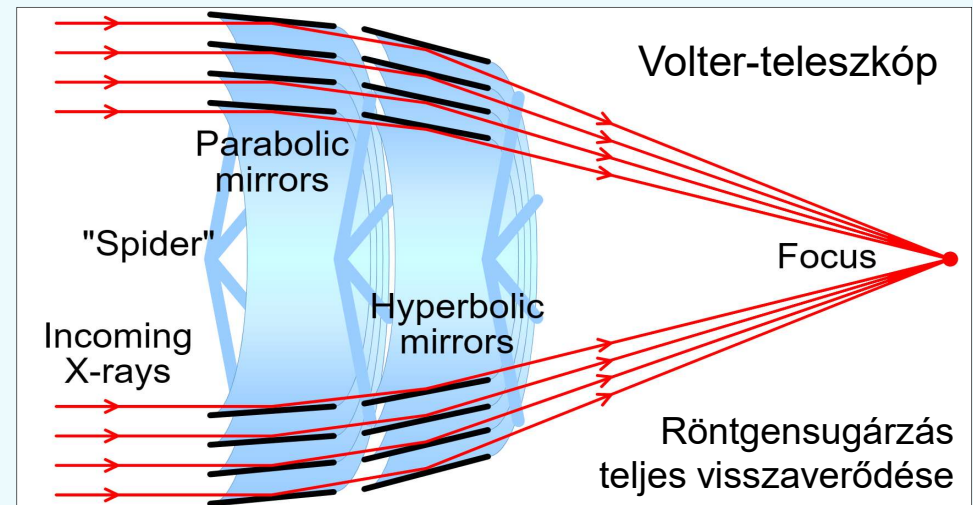


Röntgen- és gamma-sugárzás: Chandra 1999

- EM energiatartomány: 1-10 keV röntgensugárzás
- A Föld légkörében ez a sugárzás abszorbeálódik
- Felépítése: reflexiós felületek \Rightarrow fókusztálás
- Leképezés egy 2D röntgendetektorra;

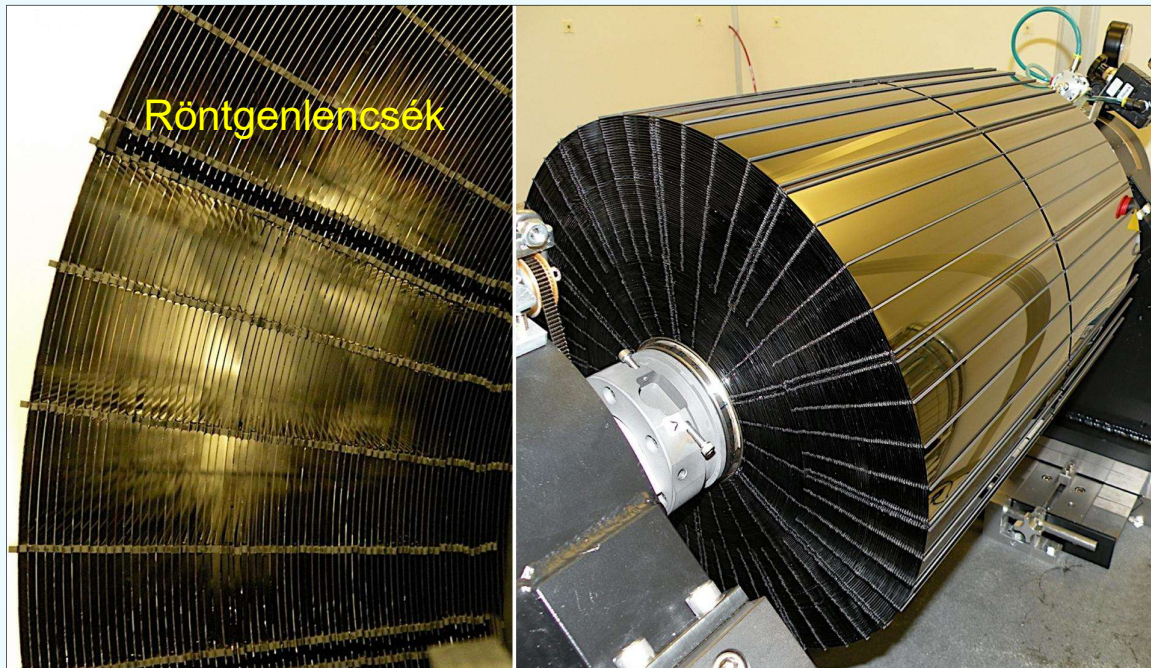
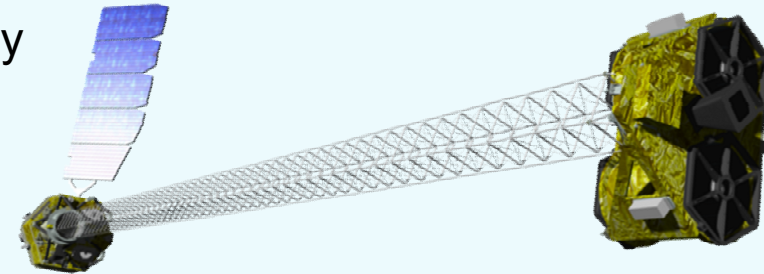


- Kombinált fotók más távcsövekkel



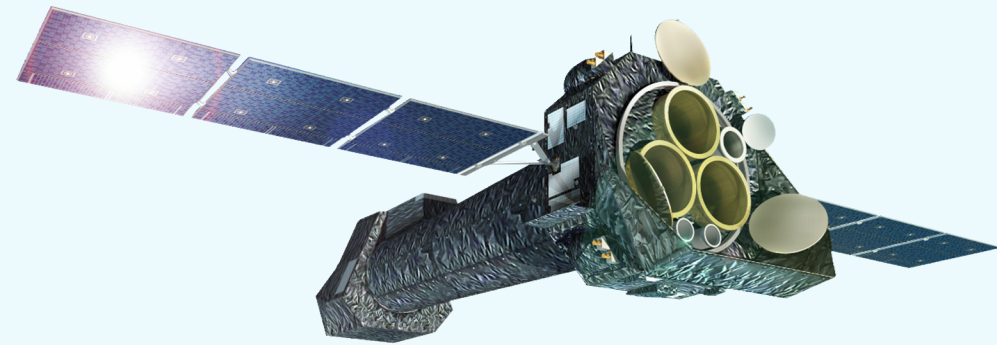
Röntgen-űrszondák: NuSTAR 2012

- Második generációs röntgen-obszervatórium \Rightarrow nagyenergiás X-ray
- Cél: nagytömegű fekete lyukak vizsgálata ($M_{\text{fekete}} > 10^9 M_{\text{nap}}$)
- Elemek keletkezése \Rightarrow galaxisokban, szupernova maradványok



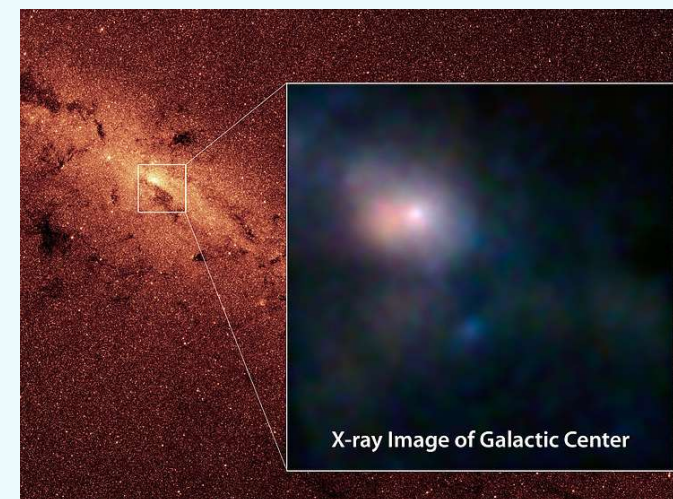
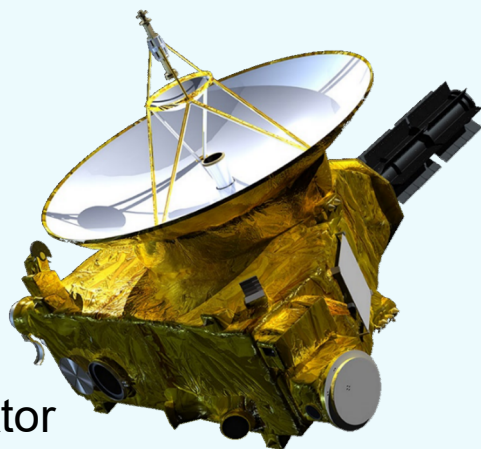
XMM-Newton 1999

- ESA (European Space Agency)
- Guyana Űrközpont \Rightarrow indítási előny
- 3 db. Volter-típusú röntgentávcső



Távoli űrszondák: New Horizons 2006

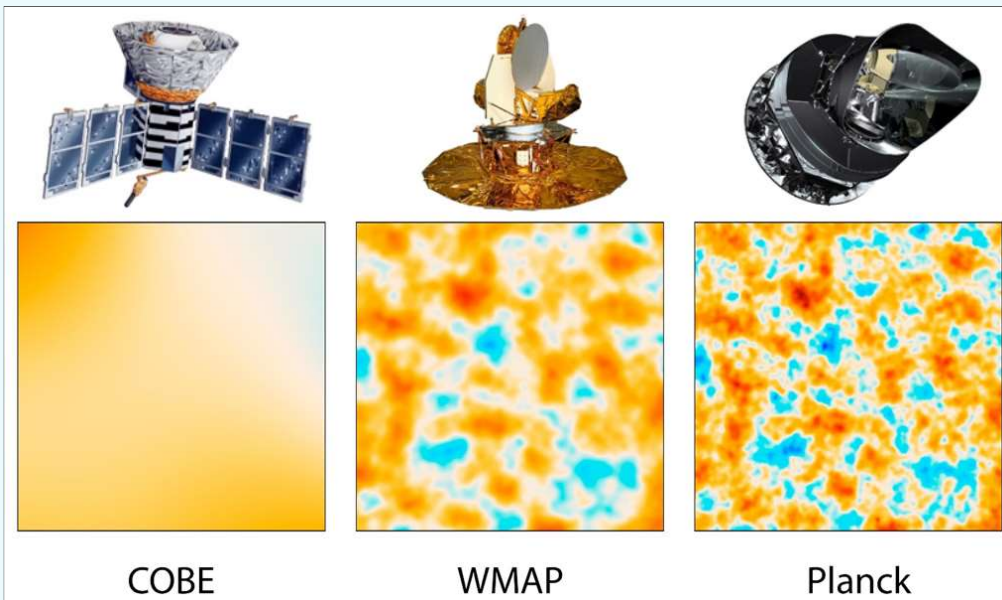
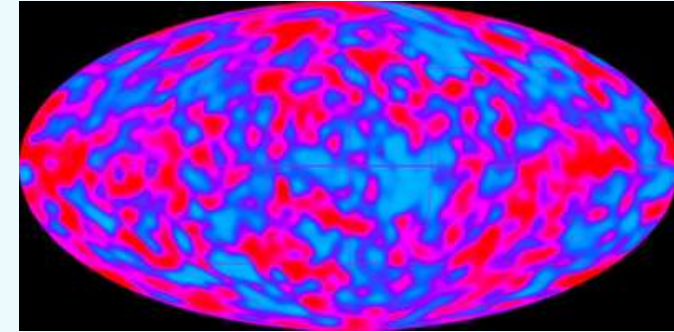
- Célok: Plútó keletkezésének felfedezése
- Információ a korai Naprendszer keletkezéséről
- Adatgyűjtés a külső bolygók atmoszférájáról, felületi formációkról
- 2015 elérte a Plútó bolygót
- Kuiper-öv tanulmányozása 2019, két kisbolygó
- Kirepül a Naprendszerből
- 240 W RTG az energiaforrás
- Fagyott nitrogén, metán szén-dioxid a Plútó felszínén
- CCD kamera, részecskedetektor



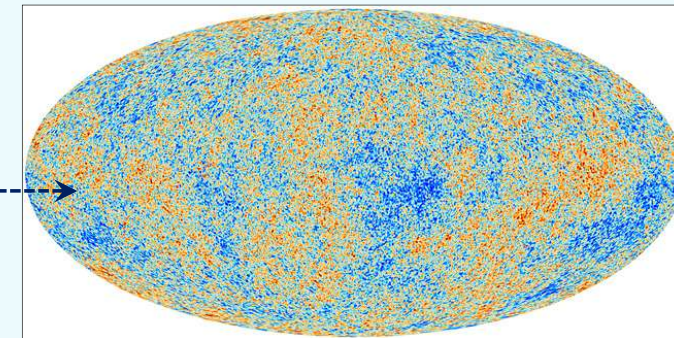
Mikrohullámú háttérsugárzás mérése

Mikrohullámú háttérsugárzás anizotrópiája

- COBE 1989 Cosmic Background Explorer, J. C. Mather és G. Smoot fizikai Nobel-díj
- Kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás feketetest jellege és anizotrópiájának felfedezése
- 2001, WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) szögfelbontás 33-szor jobb, mint a COBE esetén, detektor Pt ellenálláshőmérő

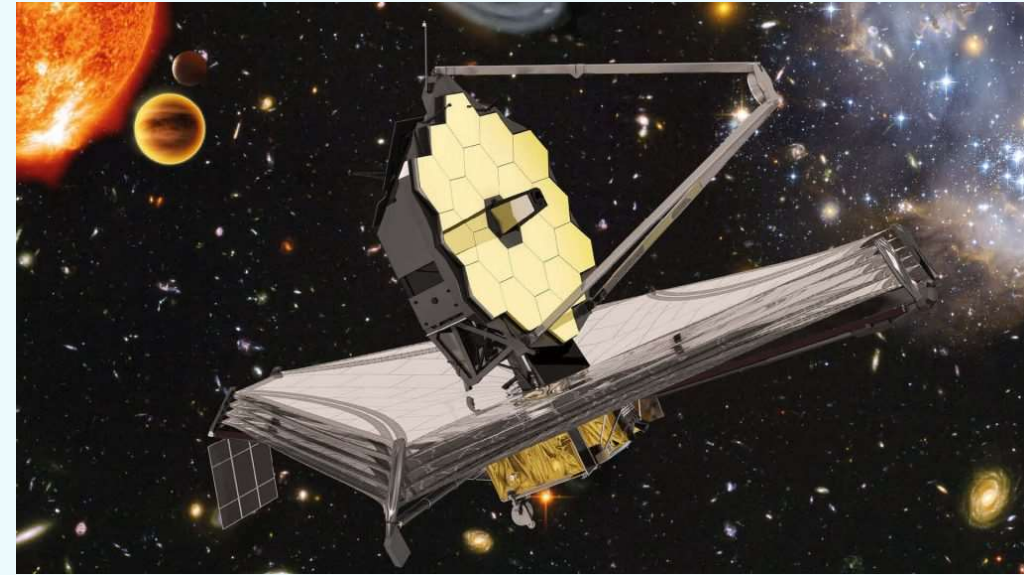


- Planck: standard kozmológiai modell igazolása
- Anyag 4,9%, sötét anyag 26,8%,
- Ősrobbanás utáni $380 \cdot 10^3$ év
- Sötét energia 68,3%
- Planck-szonda mérései

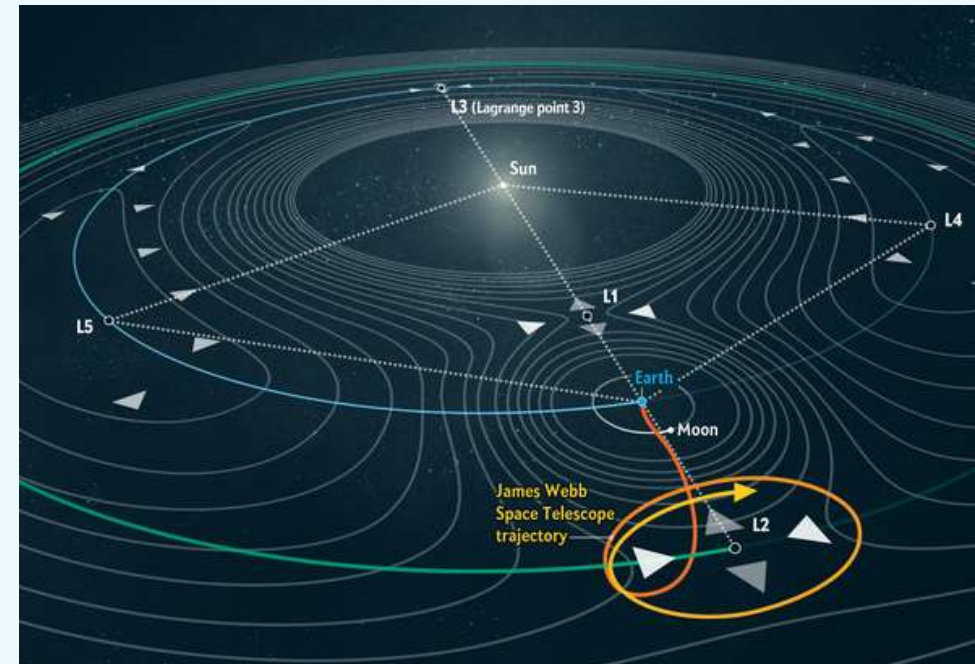
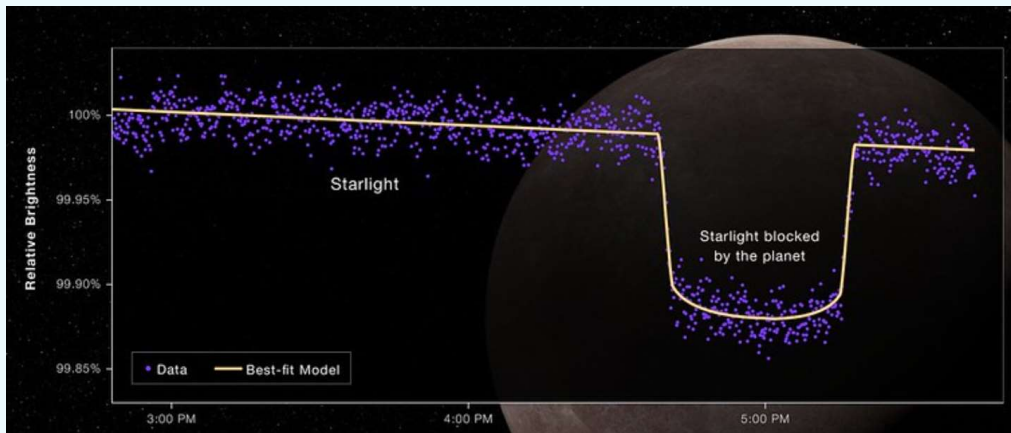


James Webb Space Telescope (JWST) 2022

- Infra-tartomány mérése \Rightarrow távoli galaxisok vizsgálata
- Keringés az L2 Lagrange-pont körül
- 6,5 m átmérő, mikrovezérelt Be tükrök Au borítással
- Nap és a Föld hőszugárzásának árnyékolása



- Világegyetem kialakulása: korai csillagok és galaxisok
- Exobolygók keresése, légkörük elemzése



James Webb űrteleszkóp

- Infravörös EM képes átjutni a csillagközi ködökön
- Optikai tartományban ez nem lehetséges \Rightarrow JWST távolabb lát mint a Hubble ($z \approx 11,1 \Rightarrow 400$ millió év)
- Első csillagok 100-180 millió év BB után ($20 < z < 30$)
- Első galaxisok ~ 270 millió év BB után ($z \approx 15$)

