



**Tarczay György,
ELTE, Kémiai Intézet**

**Kémia a csillagok között
ALKÍMIA MA – 2007. november 15.**

A Világegyetem

„Az úr nagy. Tényleg nagy. El se hinnéd, milyen hatalmasan, terjedelmesen, észbontóan nagy. Úgy értem, az ember azt gondolná, a patikushoz hosszú az út, de ez csak egy szem mogyoró az úrhöz képest. Figyelj...”

„Space is big. Really big. You just won't believe how vastly, hugely, mind-bogglingly big it is. I mean, you may think it's a long way down the road to the chemist, but that's just peanuts to space. Listen....,

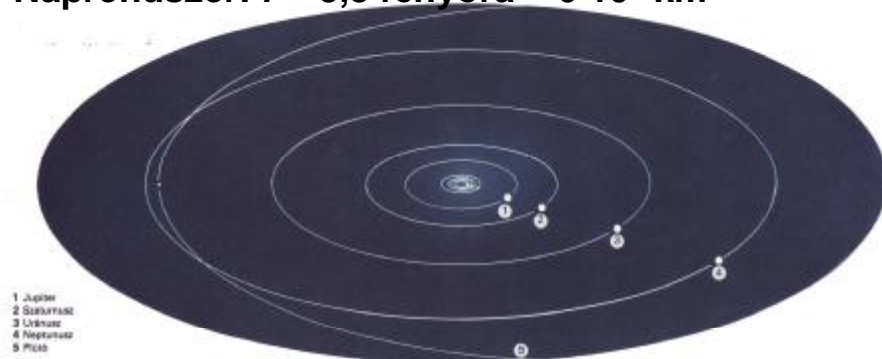
chemist: patikus, vegyész, kémikus

(Douglas Adams: Galaxis útikalauz stopposoknak)

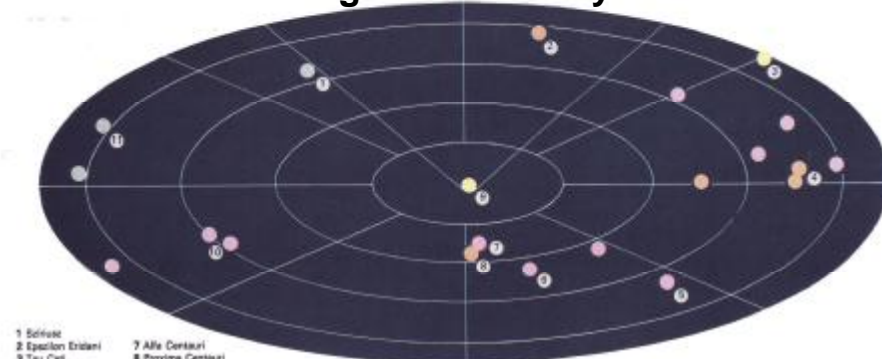
Nagyságrendek a Világegyetemben

Föld: $r = 6 \cdot 10^3$ km

Naprendszer: $r = 5,5$ fényóra = $6 \cdot 10^9$ km



Közeli csillagok: $r = 10$ fényév = $1 \cdot 10^{14}$ km



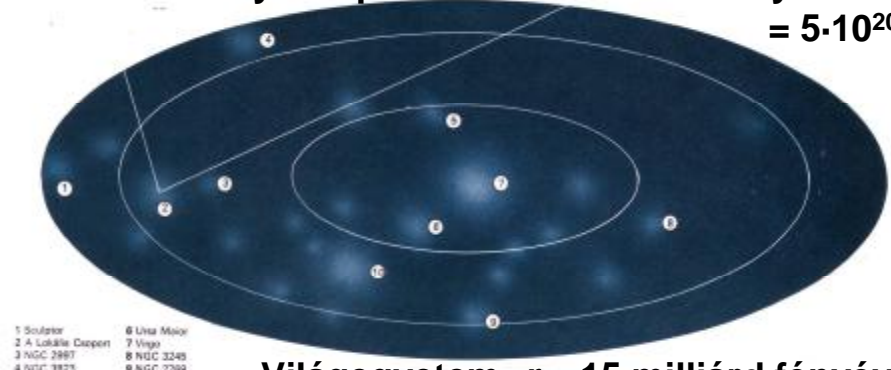
Tejútrendszer: $r = 50\ 000$ fényév
= $5 \cdot 10^{17}$ km



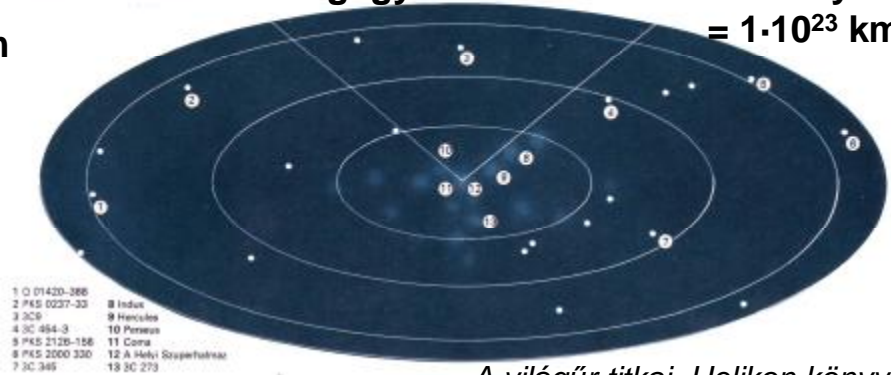
Lokális csoport: $r = 2,5$ millió fényév = $2 \cdot 10^{19}$ km



Helyi superhalmaz: $r = 50$ m fényév
= $5 \cdot 10^{20}$ km



Világegyetem: $r = 15$ milliárd fényév
= $1 \cdot 10^{23}$ km



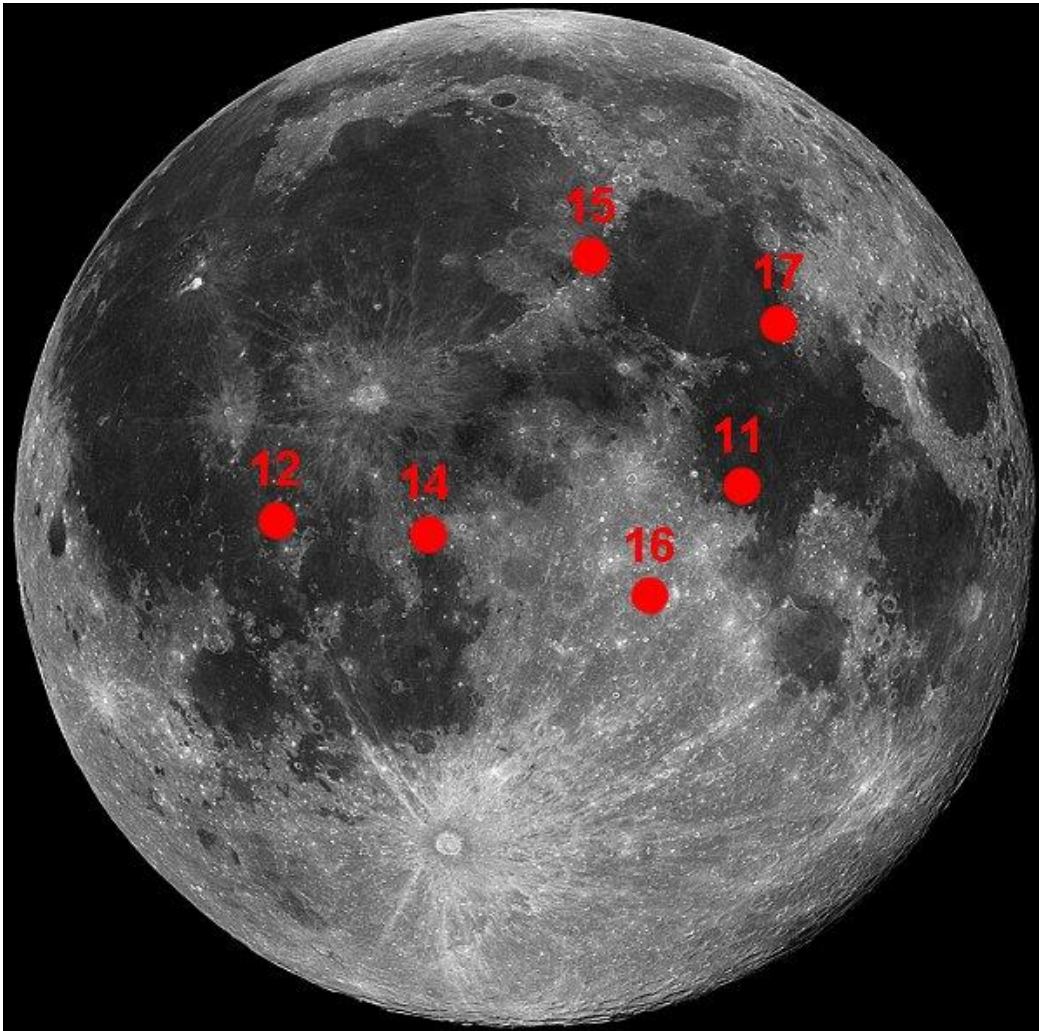
Az ember elhagyja a Földet

„Ezzel az erővel azt is megkérdézhethetnék, hogy miért kell megmászni a legmagasabb hegyet. Miért kellett harmincöt évvel ezelőtt átrepülni az Atlanti-óceánon? Miért játszik meccset Rice Texas ellen? ... Évekkel ezelőtt George Mallorytól, a nagy brit felfedezőtől, aki később a Mount Everesten halt meg, megkérdézték, hogy miért akar felmászni rá. Azt válaszolta: „Mert ott van.” Hát az úr is ott van, és ... a Hold is ott van, a bolygók is ott vannak, és a tudás és a béke iránti új remények is ott vannak.”

„Elhatároztuk, hogy eljutunk a Holdra, véghez viszünk azt, amit elterveztünk. Nem azért, mert ez egyszerű, hanem azért, mert nehéz.”

(John Fitzgerald Kennedy, Rice Egyetem, 1962)

Az Apollo program



1969 júliusa és 1972 decembere között 12 ember járt a Holdon.

Összesen 382 kg kőzetet hoztak a Földre.

Apollo 15 sample: 15415,00



Akik legtávolabbra jutottak



Apollo 13

1970. április 11-17.

A Földtől 401 056 km-re jutottak.
Ezt az utat a fény 1,38 s alatt teszi meg.

James Lovell, parancsnok
Jack Swigert, parancsnoki modul pilótája
Fred Haise, Hold modul pilótája



Szondák bolygókon, holdakon



Titán:

Huygens:
2005 január



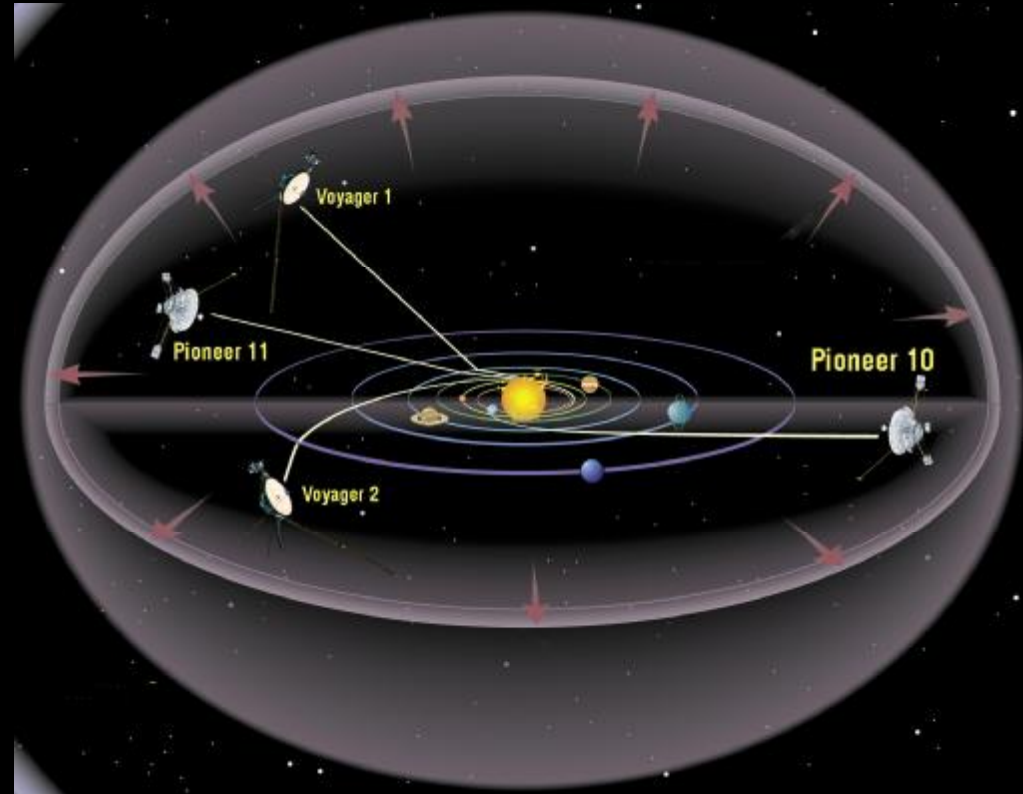
Venusz: 1967-től
Venera szondák

Mars: 1971-től
Spirit, Opportunity: 2004 január



A legtávolabbra jutott űrszonda

Voyager 1 (1977)



**Jelenleg a Földtől 15 588 000 000 km-re van.
Ezt az utat fény 14 óra 26 perc alatt teszi meg!**

**Sebessége jelenleg
a Földhöz képest: 43 829 m/s,
a Naphoz képest: 17 118 m/s.
A fény 7 – 18 ezerszer gyorsabb!**

A fény

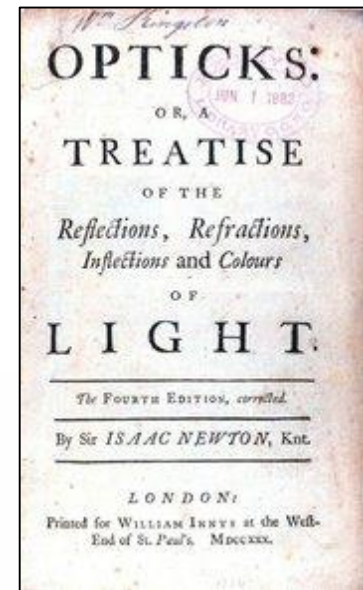
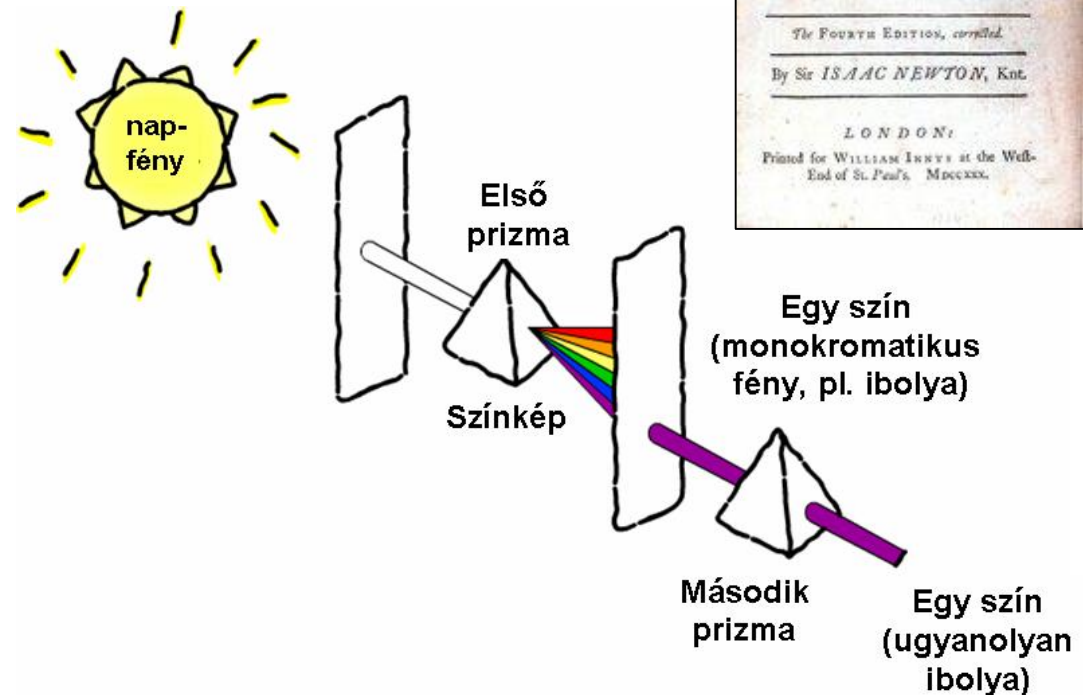
*„Természeten és törvényein az éj sötétje ült.
Isten szólt: – Legyen Newton!
S mindenre fény derült.,,*

Alexander Pope: Sir Isaac Newton sírfelirata

Newton kísérletei a napfényvel

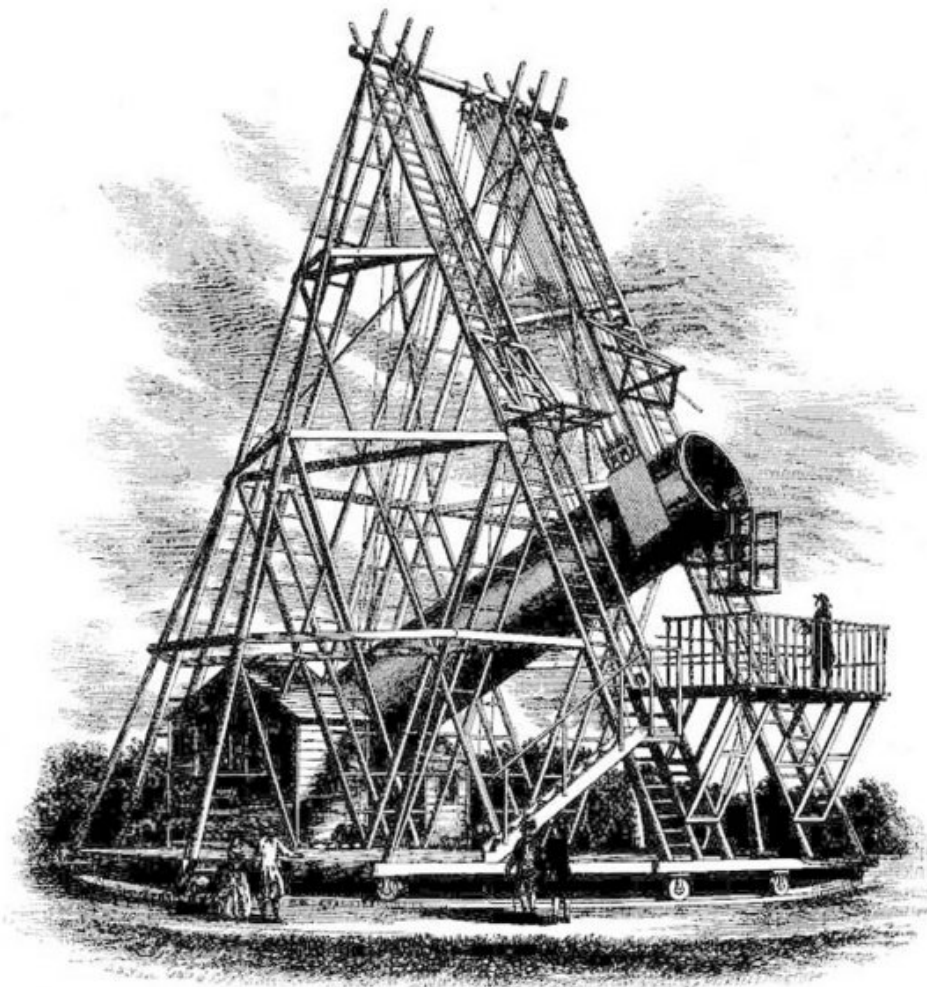


Sir Isaac Newton
(1642 – 1727)



Az infravörös sugárzás felfedezése

1781: Herschel felfedezi az Uránuszt 1800: Felfedezi az infravörös sugárzást



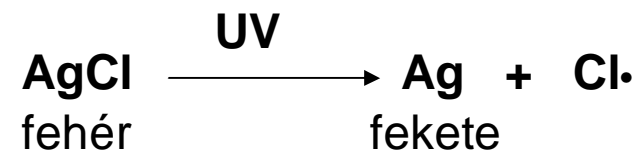
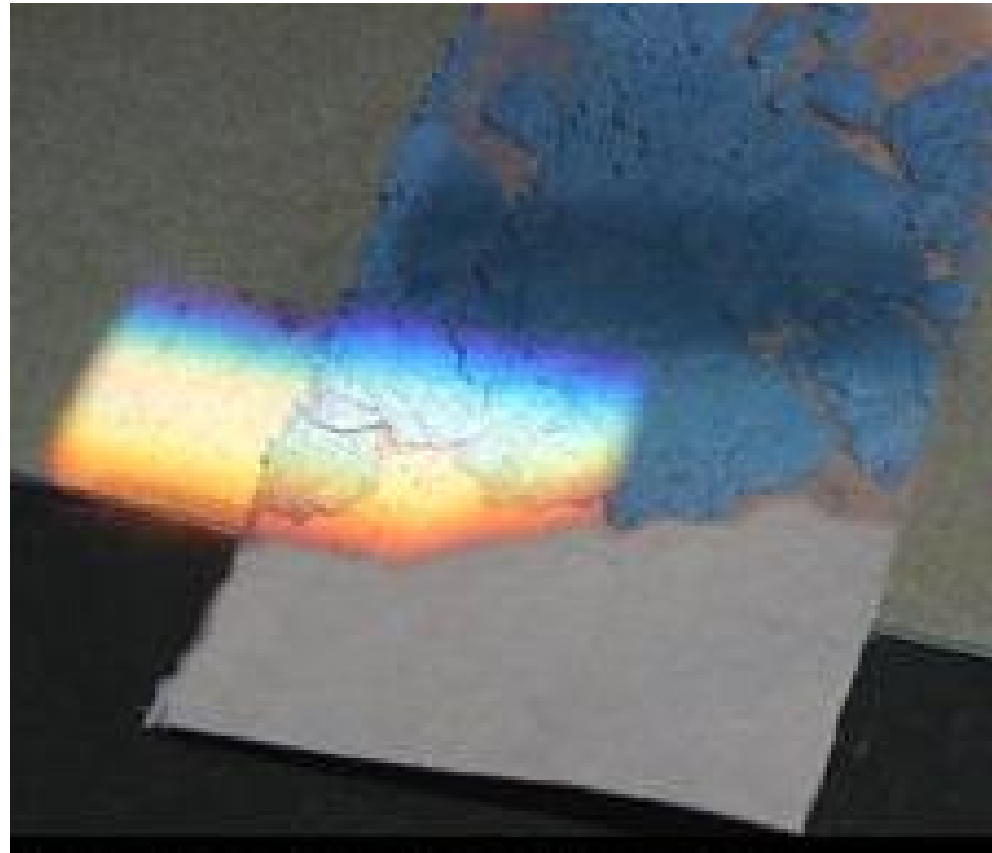
Sir William Herschel
(1738 **november 15** – 1822)

Az UV sugárzás felfedezése

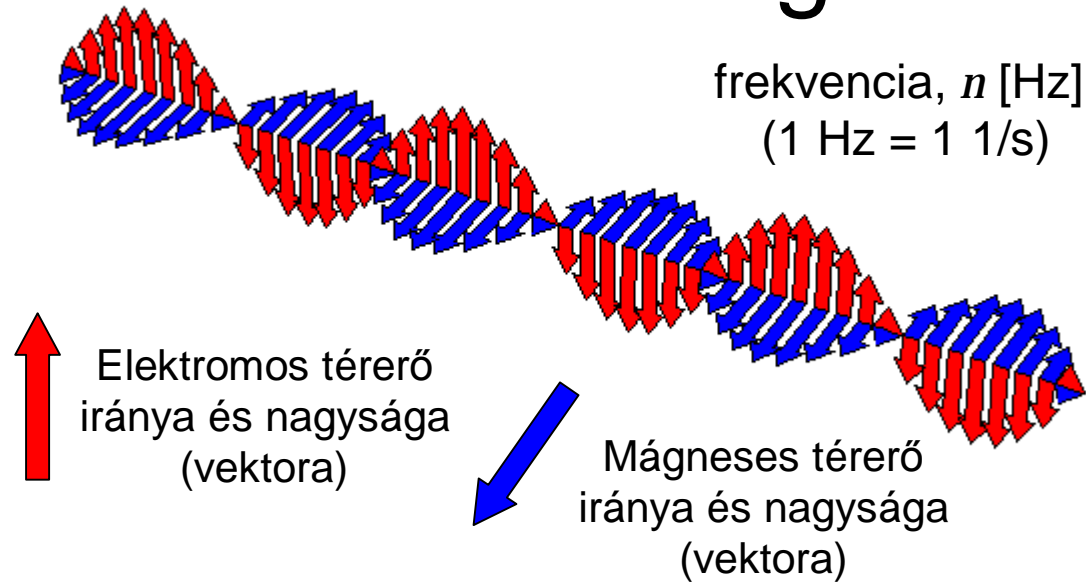
1801



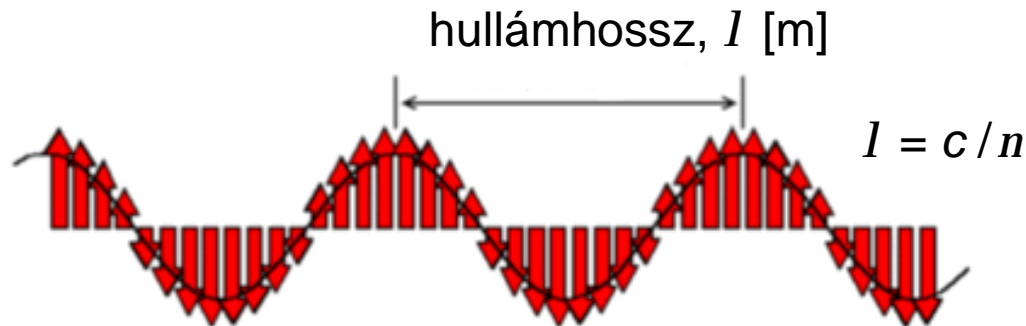
Johann Wilhelm Ritter
(1776 – 1810)



A fény, mint elektromágneses sugárzás



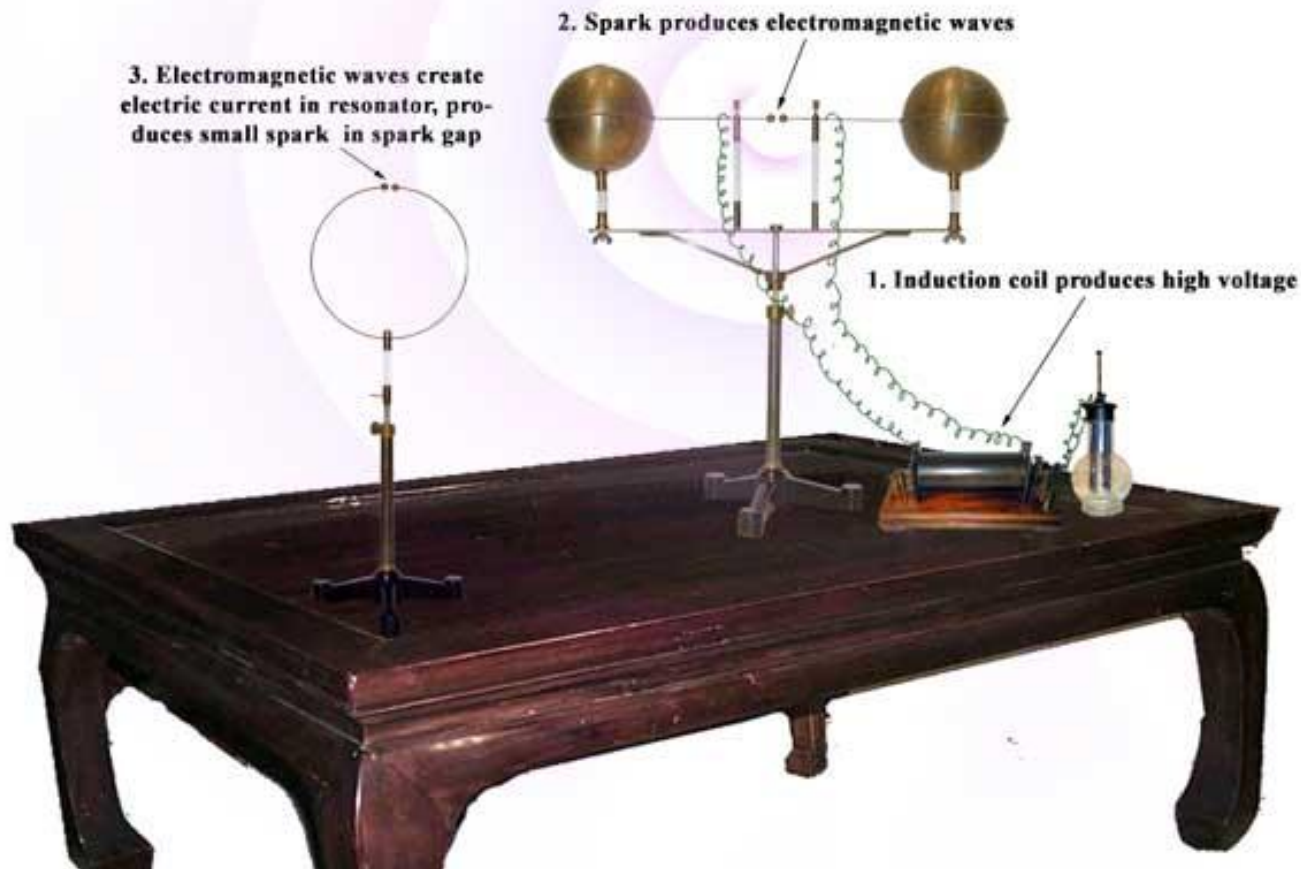
Terjedési sebesség (fénysebesség vákuumban)
 $c = 299\,792\,458 \text{ m / s}$



James Clerk Maxwell
(1831 – 1879)

A rádióhullámok felfedezése

1888



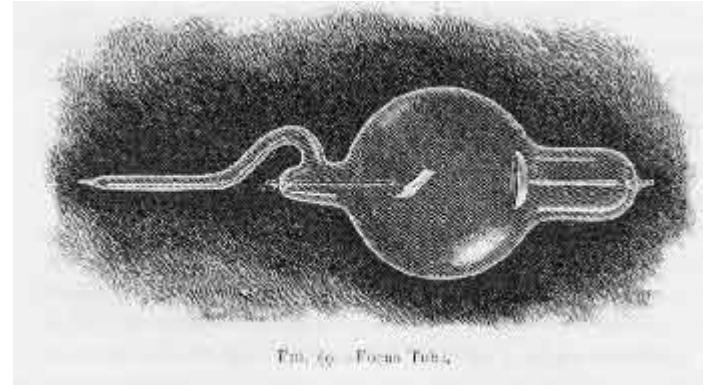
Heinrich Hertz
(1847 – 1894)

A Röntgen-sugárzás felfedezése

1895

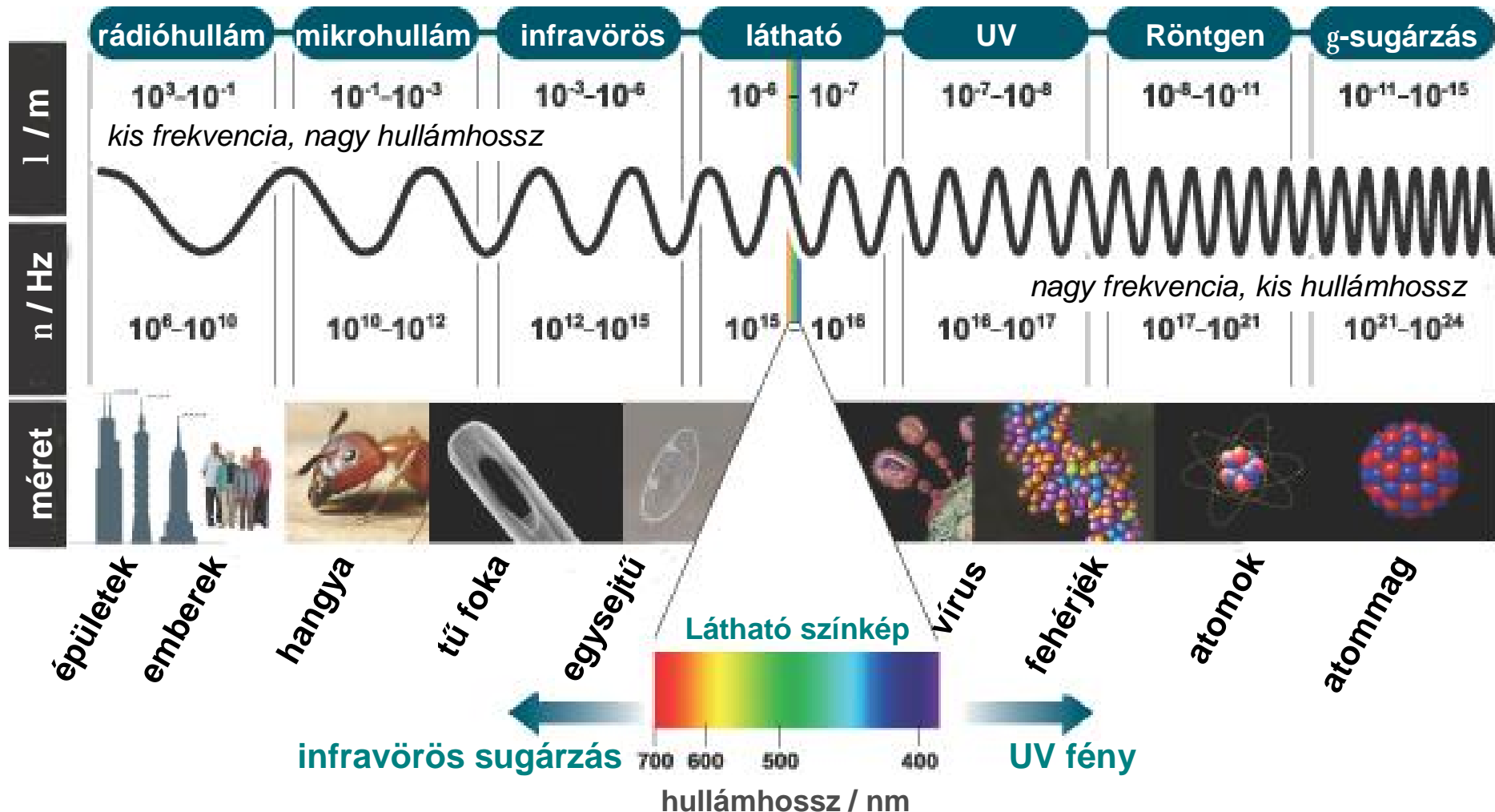


Wilhelm Conrad Röntgen
(1845 – 1923)

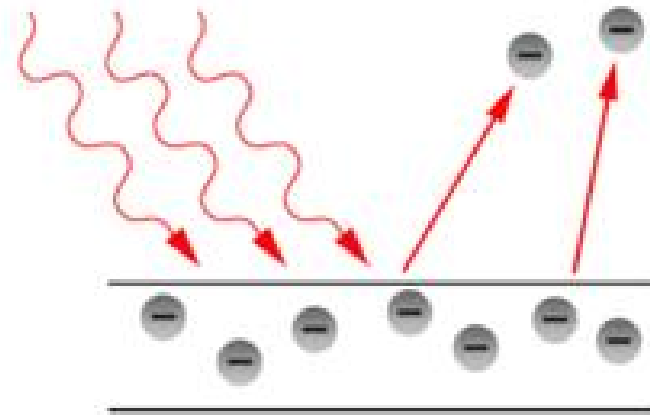
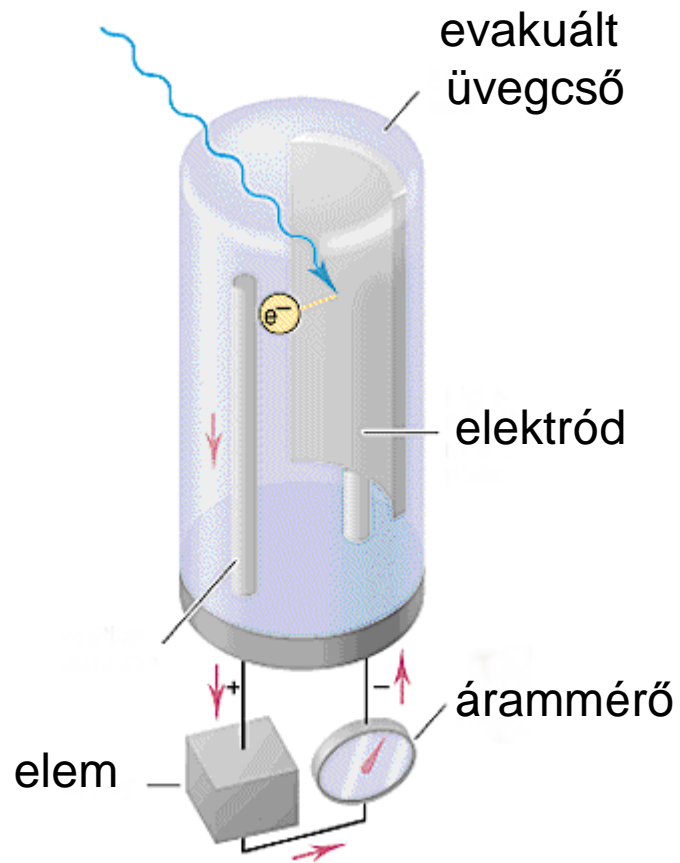


1901: fizikai Nobel-díj

A fény, mint elektromágneses sugárzás

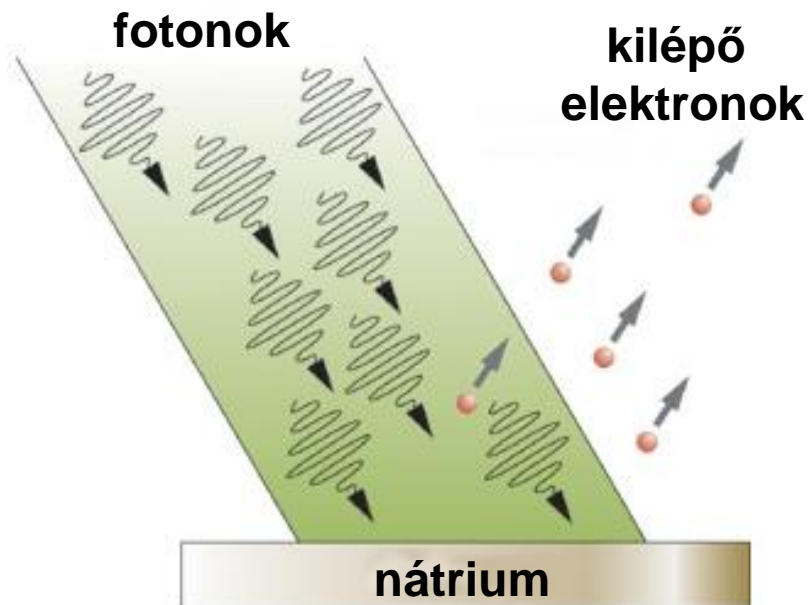


A fotoelektromos jelenség



*Egy adott hullámhossz felett
(frekvencia alatt)
– függetlenül a fény intenzitásától –
nem lép ki elektron!*

A fény részecskéi, a fotonok



fotonok: a fény részecskéi

egy foton energiája:

$$E = h \cdot n$$

n : fény frekvenciája

h : Planck-állandó $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js



Max Planck
(1858 – 1947)

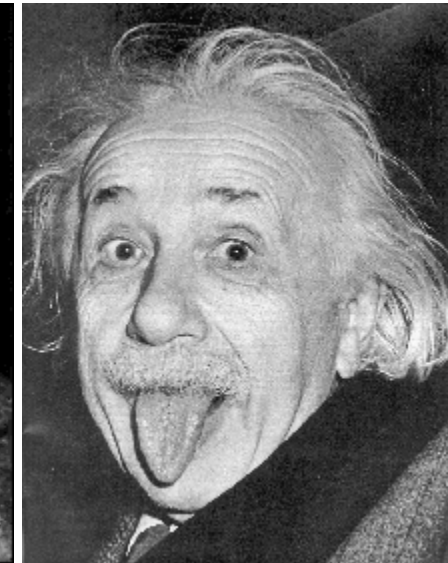
Nobel-díj: 1918

$$h \cdot n = W + E_{\text{kinetikus}}$$

W : kilépési munka

$E_{\text{kinetikus}}$: kilépő elektronok kinetikus energiája

pl. $I_{\text{vörös}} = 650$ nm, $E_{\text{vörös foton}} = 2 \times 10^{-19}$ J



Albert Einstein
(1879 – 1955)

A fény információt hordoz

„Azok, akiket nem sokkol, amikor először találkoznak a kvantummechanikával, valószínűleg nem értették meg.”

Niels Bohr

Sötét vonalak a Nap színeképében



William Hyde Wollaston
(1766 – 1828)
vonalak a napfény
spektrumában: 1802



Joseph von Fraunhofer
(1787 – 1826)

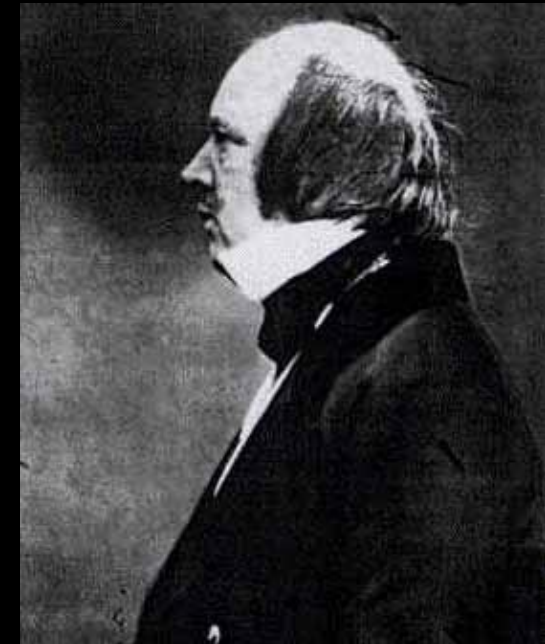
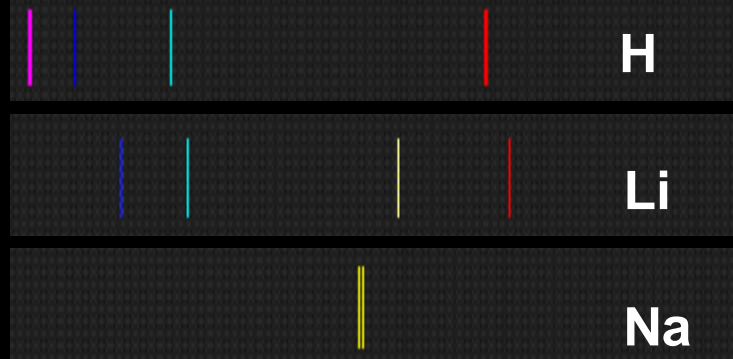
514 vonal a napfény
spektrumában
Fraunhofer-vonalak:
1814



A színes lángok színeképe „vonalas”



**Sir John Frederick
William Herschel
(1792 – 1871)**



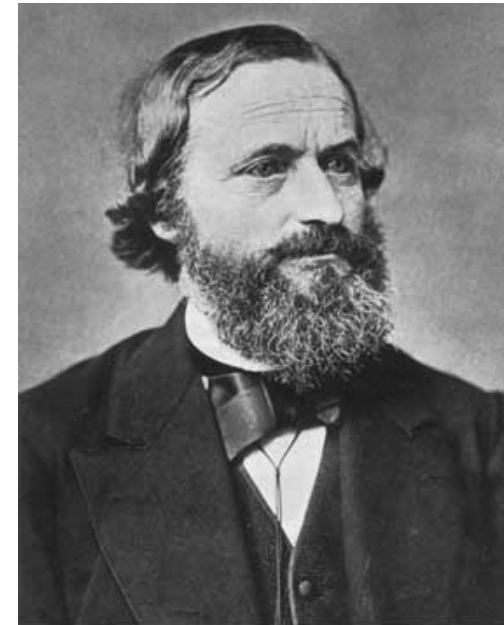
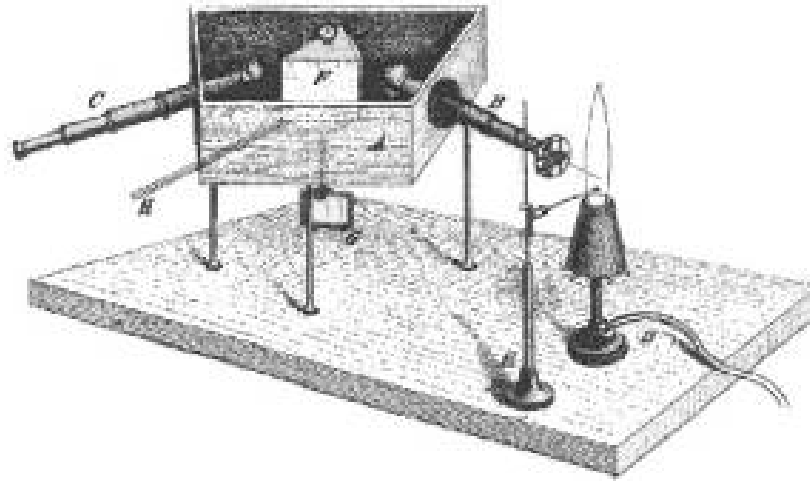
**William Henry Fox
Talbot
(1800 – 1877)**

A vonalak helyét a lángba bekevert anyagok határozzák meg!

A színeképelemzés



Robert W. Bunsen
(1811–1899)



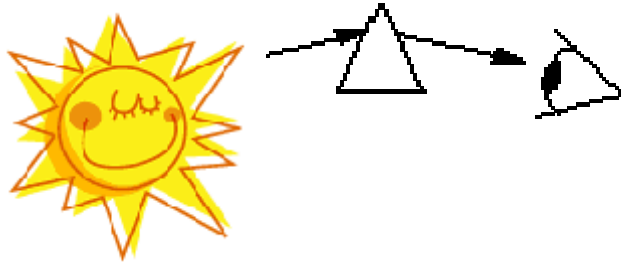
Gustav Kirchhoff
(1824–1887)

Anyagok emissziós spektrumának vizsgálata → *Cs, Rb felfedezése*

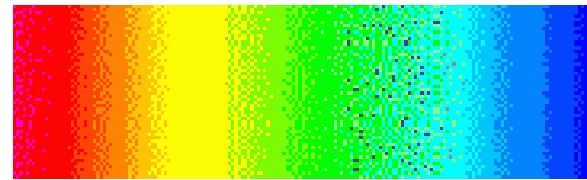
Nap spektrumának spektrumának vizsgálata → *közel 40 elem azonosítása*

Emissziós és abszorpciós színeképek

Folytonos
színeképet sugárzó csillagfelszín



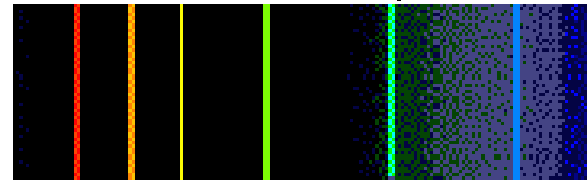
Folytonos színekép



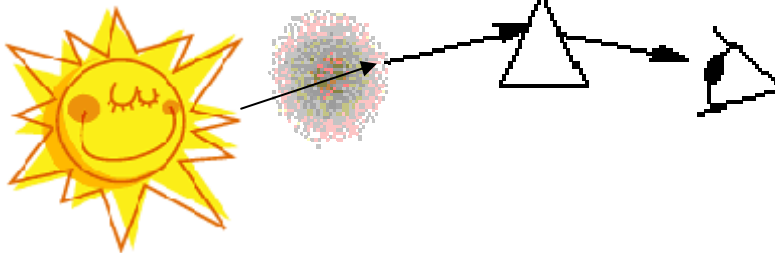
Forró gáz



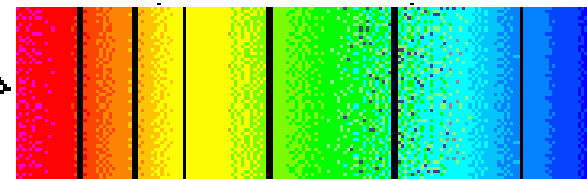
Emissziós színekép



Hideg gáz



Abszorpciós színekép

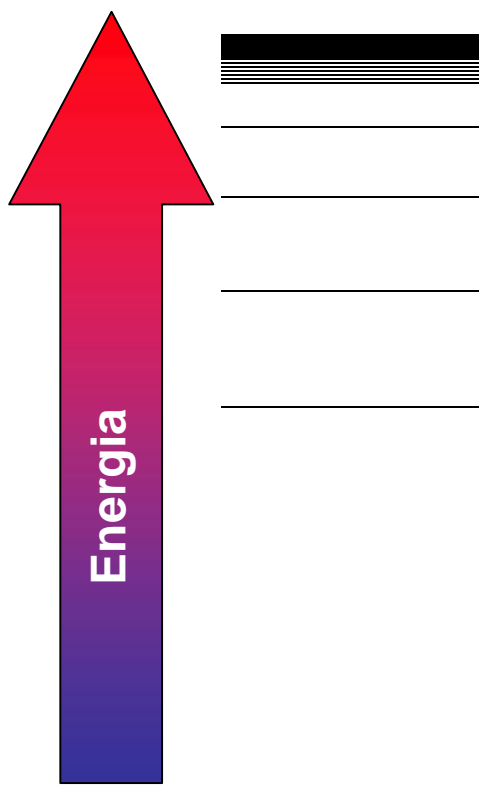


A fény és az anyag kölcsönhatása

KVANTUMMECHANIKA:

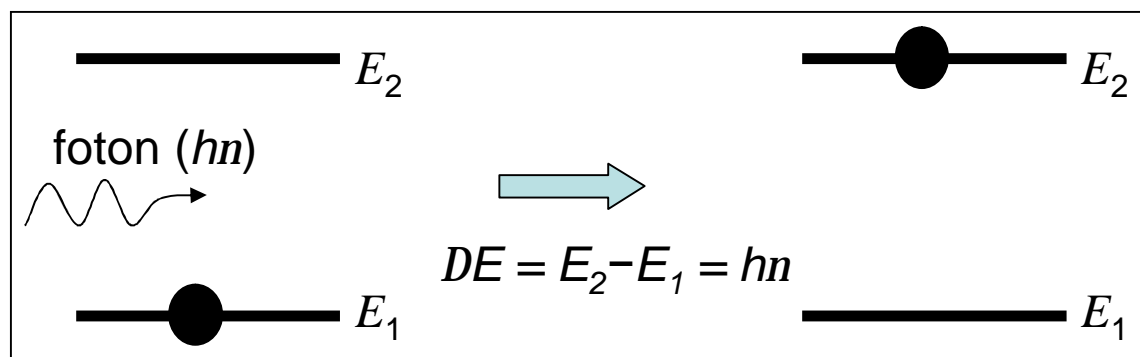
Atomok, molekulák

energiája

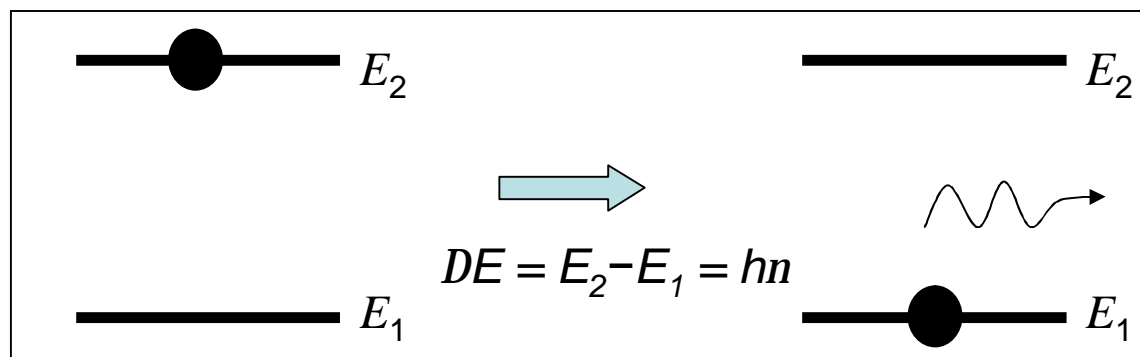


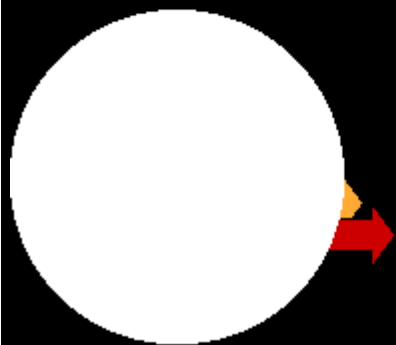
**Nem lehet akármekkora!
diszkrét energiaszintek**

abszorpció

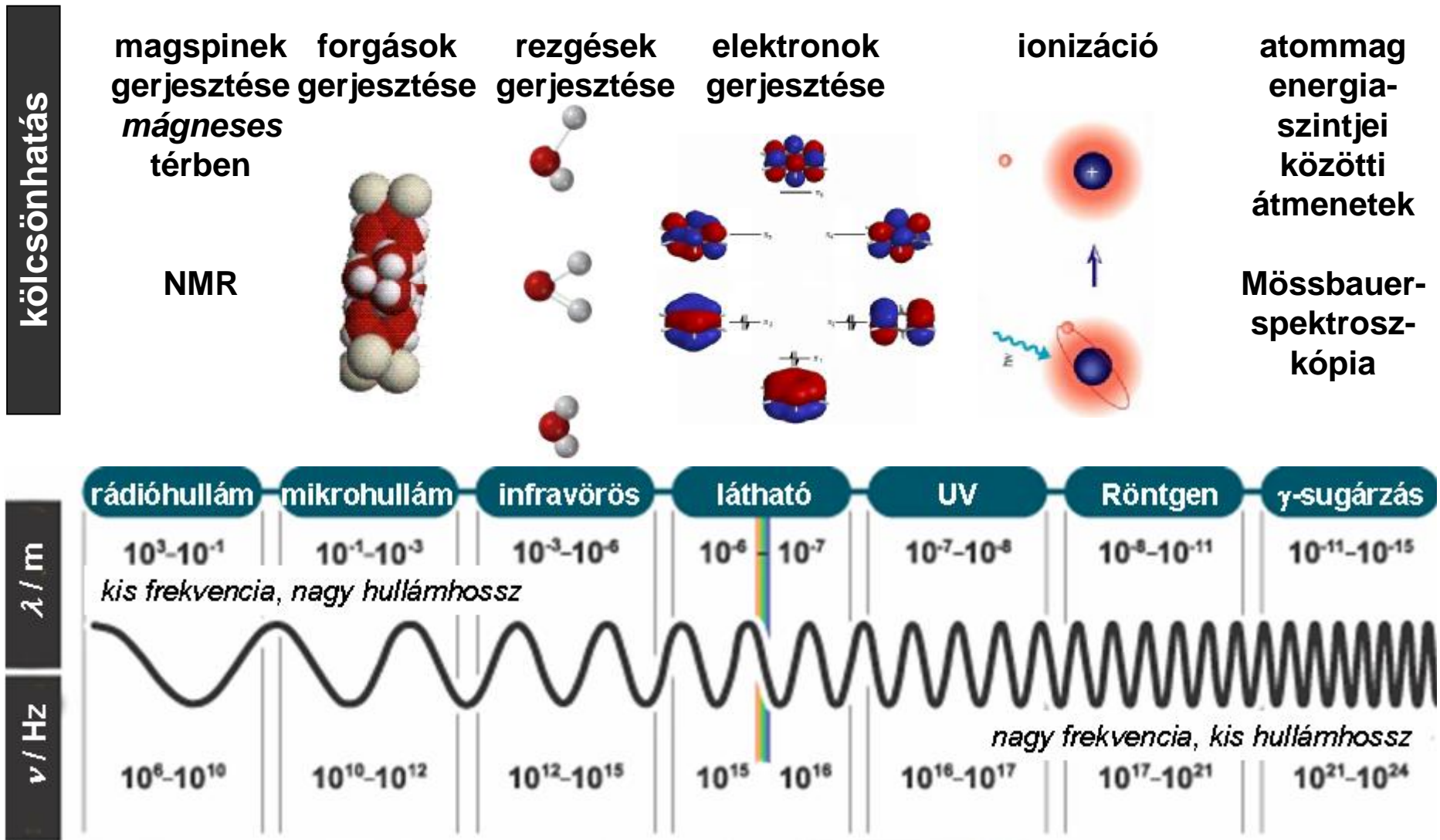


(spontán) emisszió





Molekulák kölcsönhatása a fénnyel

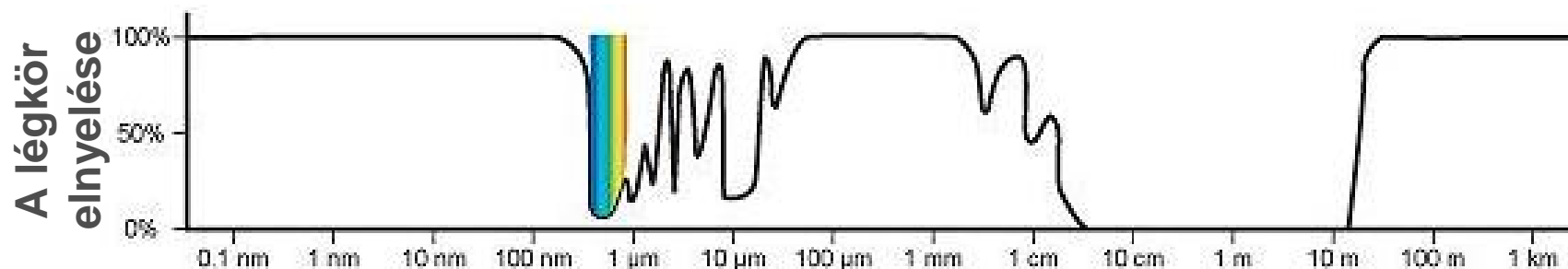


A megfigyelés eszközei

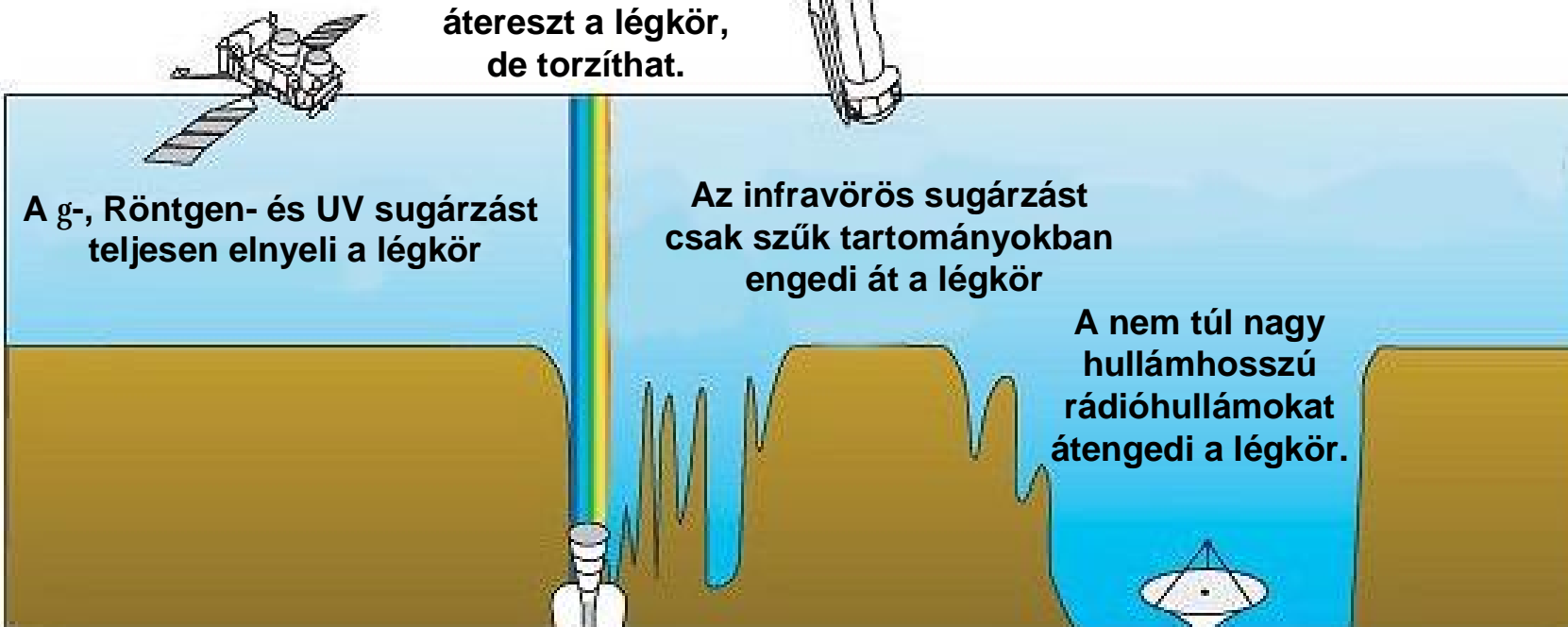
„Ami igazán lényeges, az a szemnek láthatatlan.”

Antoine de Saint-Exupéry: A kis herceg

A földi légkör spektroszkópiai „ablakai”



A látható tartományban átereszt a légkör, de torzíthat.



Földi teleszkópok



Mauna Kea, Hawaii, 4300 m

Infravörös csillagászat



1960-as
évek
ballonok



1971-1995 Kuiper Repülő Obszervatórium



SOFIA

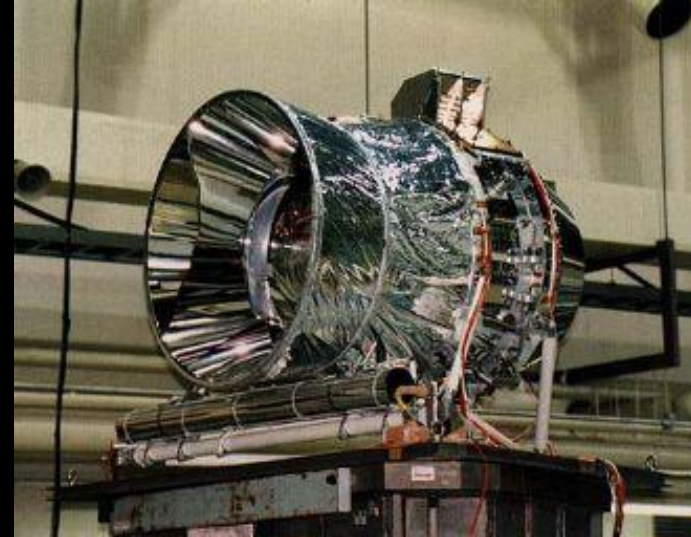


1967-1975
rakéták
(Hi Star program)

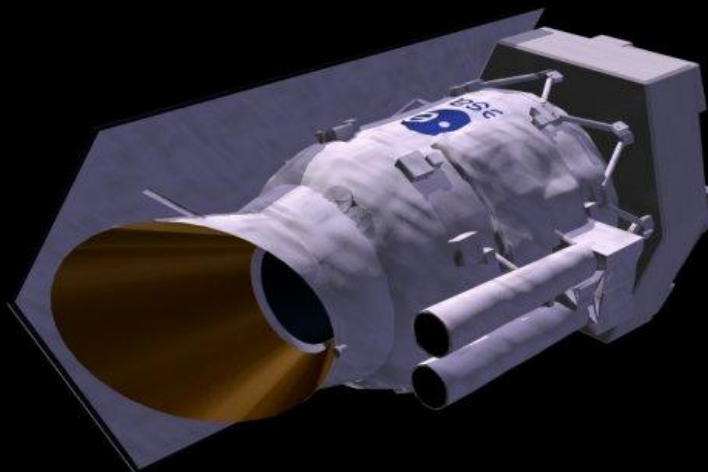
Infravörös űrteleszkópok



1983: IRAS (Infrared Astronomical Satellite)
NASA, kis felbontású
kb. 1 évig működött



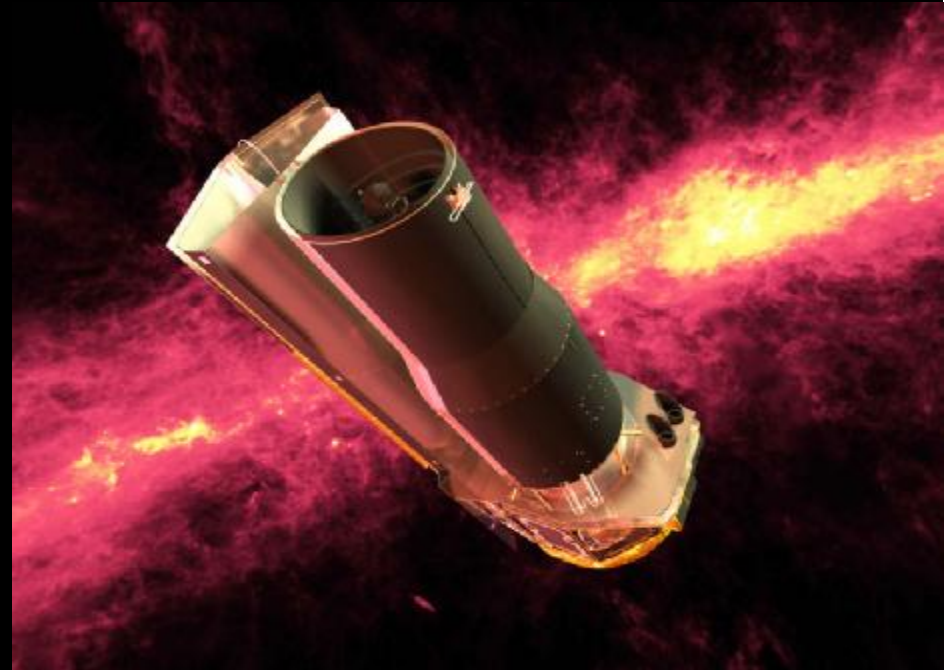
1995: IRTS (The Infrared Telescope in Space)
Japán, 28 nap



1995: Infrared Space Observatory (ISO)
Európai Űrügynökség (ESA),
2,5 év

Infravörös űrteleszkópok

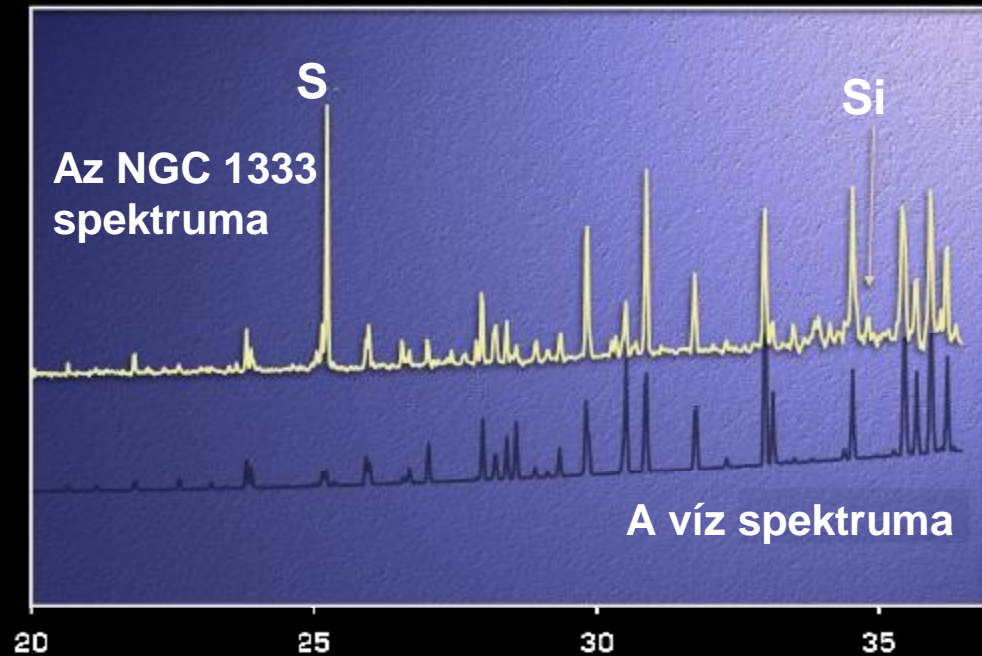
**1997: a Hubble Space teleszkóp
kiegészítése NICMOS-szal
(Near Infra-Red Camera
and Multi-Object Spectrometer)**



**2003: Spitzer Űrteleszkóp
(Space Infrared
Telescope Facility
[SIRTF]), NASA**

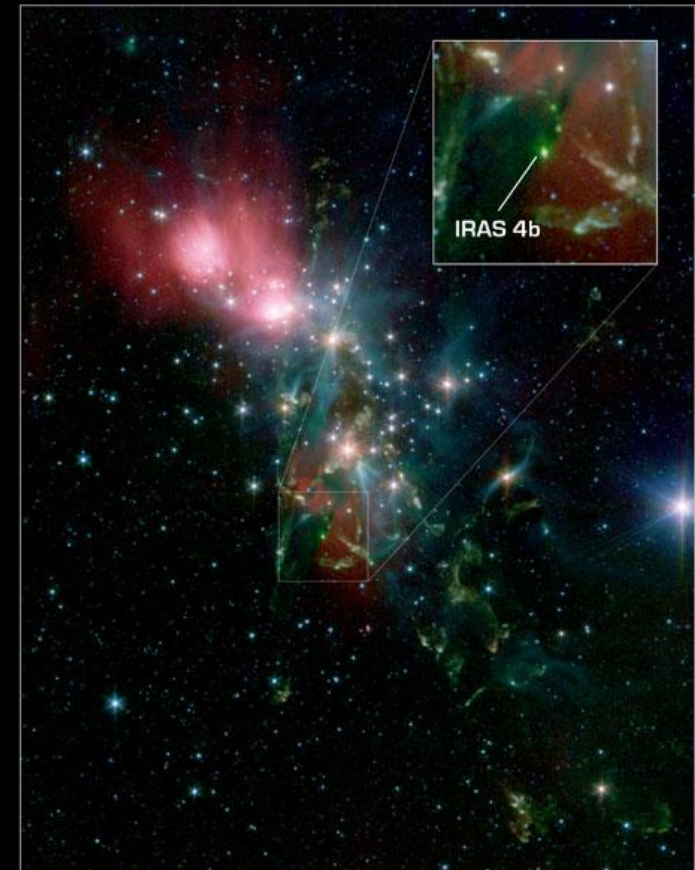


Infravörös űrteleszkópok



NGC 1333 IRAS4B Spectrum
NASA / JPL-Caltech / D. Watson (Univ. of Rochester)

Spitzer Space Telescope • IRS
ssc2007-14a

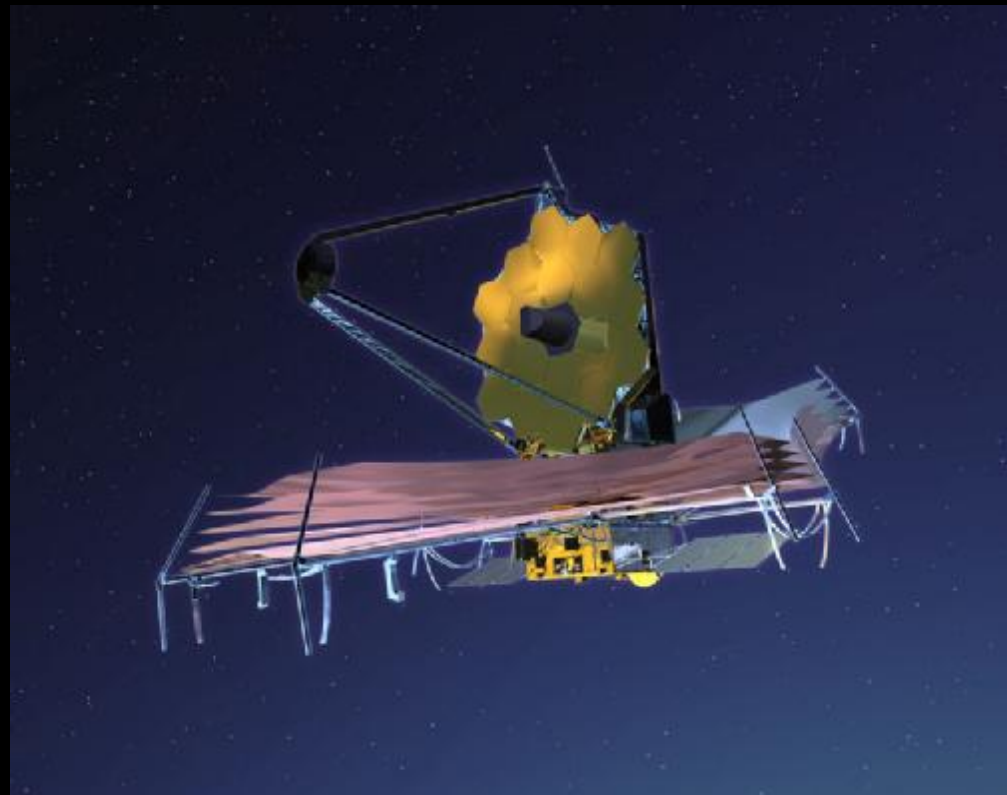


Protostellar "Wet" Disk in NGC 1333 Spitzer Space Telescope • IRAC
NASA / JPL-Caltech / R. Gutermuth (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) ssc2007-14b

Infravörös űrteleszkópok

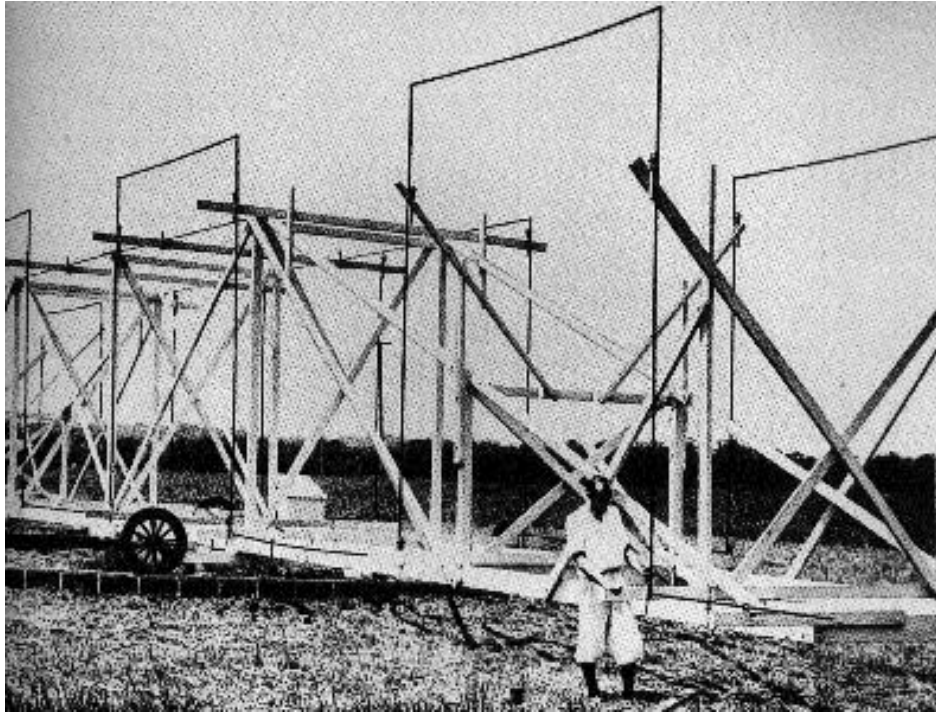


**Herschel űrteleszkóp, ESA
2008 –
(Far Infrared and Sub-millimetre
Telescope or FIRST)**



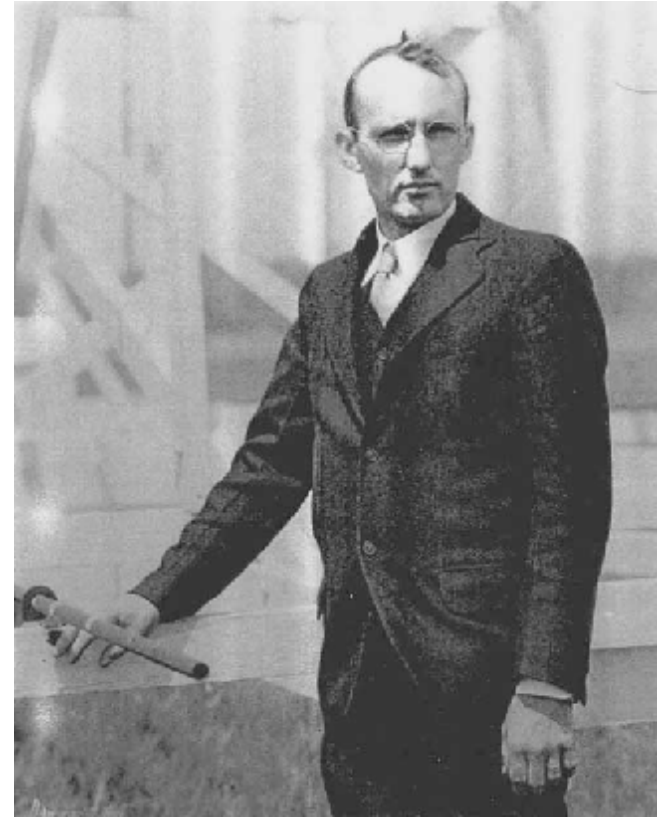
**2010: James Webb űrteleszkóp,
NASA**

Rádióteleszkópok



1932: forgatható, 20,7 MHz-es antenna

Viharok jelének kiszűrése után
23 óra 56 percenként visszatérő jel
a Tejút középpontjából.



Karl Guthe Jansky
(1905 – 1950)

Rádióteleszkópok



Első (9 m átmérőjű)
parabolatükrös antenna
1937

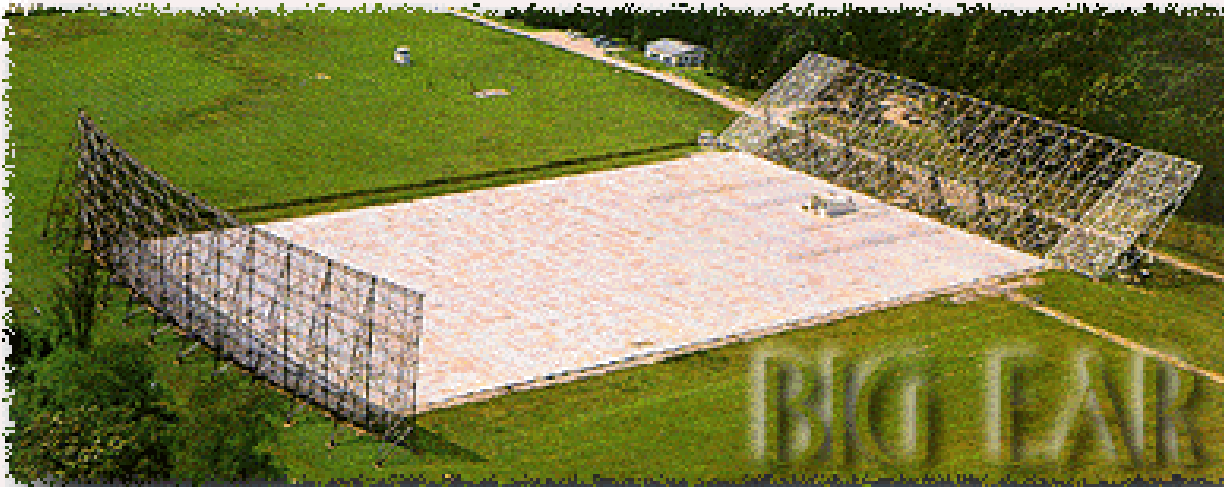


Grote Reber
(1900 – 2002)

Rádióteleszkópok



Rádióteleszkópok



**"Big Ear,, †1998
Ohio State University
120 m ´ 21 m**



**RATAN-600, Oroszország
576 m átmérőjű**

Rádióteleszkópok

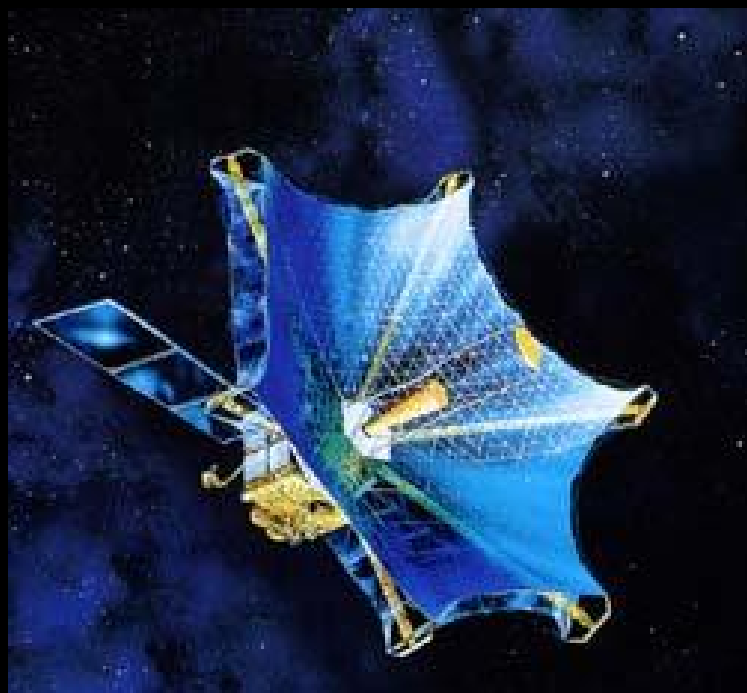


**Very Large Array (VLA),
Socorro, Új-Mexikó, 27 antenna**

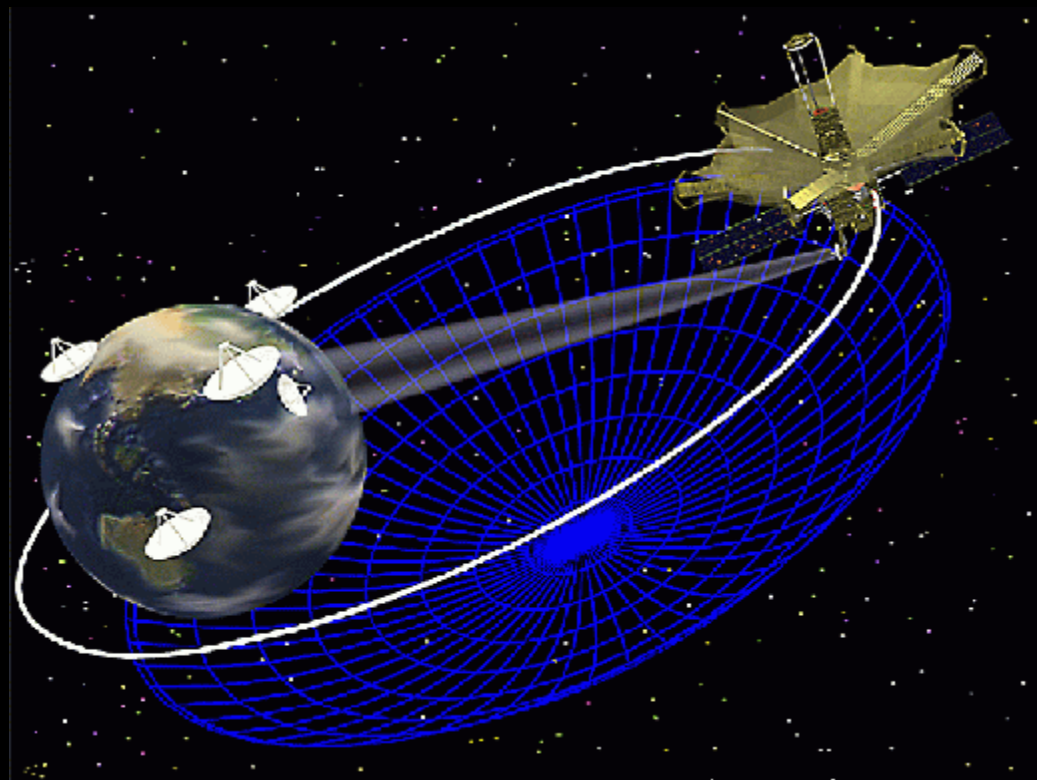


**LOW Frequency ARray for
radio astronomy (LOFAR)
2020 körül, 25 000 antenna**

Rádióteleszkópok



**HALCA (Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy) 8 m-es tányér
Fellövés: 1997, próbák után sikertelen**



Következő: ASTRO-G (VSOP-2) 2011

Molekulák a csillagközi térben

*„Véleményem szerint a Világegyetem nemcsak bizarrabb annál,
mint amilyenek gondoltuk,
hanem annál is bizarrabb, mint amilyenek el tudjuk képzelni.”*

John Burdon Sanderson Haldane

Elemek keletkezése

Az ősrobbanástól
eltelt idő

jelenleg
(15 milliárd év)

1 milliárd év

300 000 év

3 perc

0,001 s

10^{-10} s

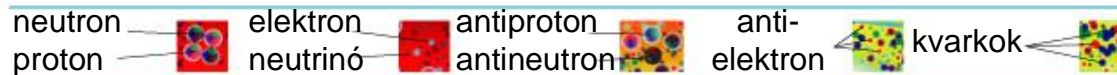
10^{-35} s

10^{-43} s

galaxisok keletkezése

semleges atomok

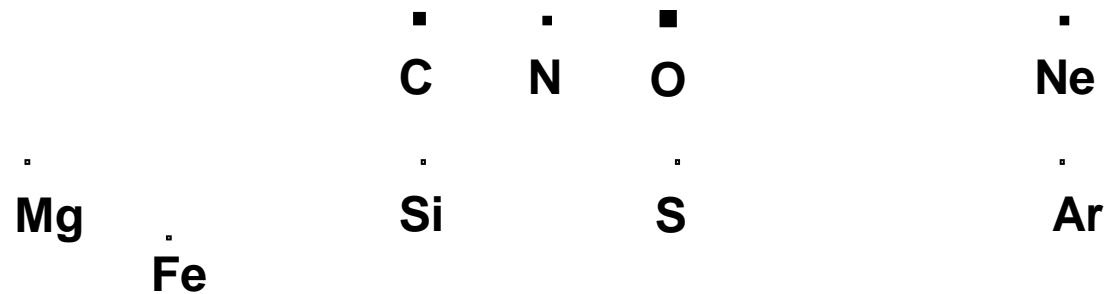
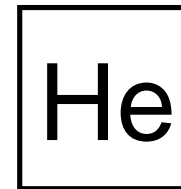
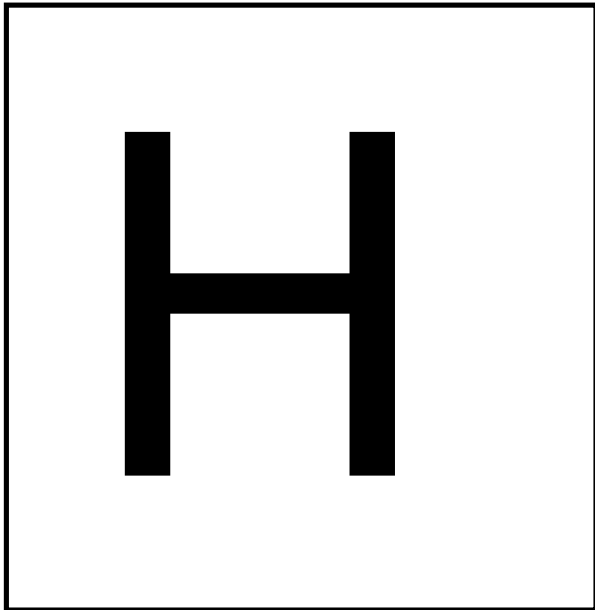
H, He és Li
atommagok keletkezése



Az anyag körforgása a galaxisban



A csillagászok periódusos rendszere



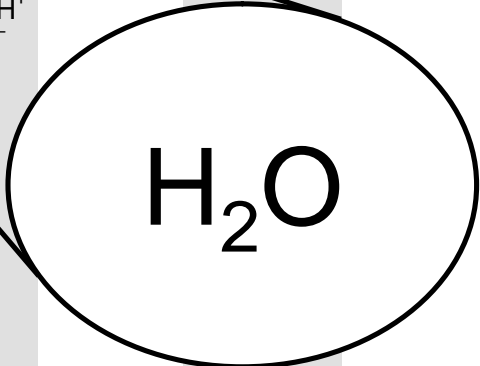
Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											

>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											

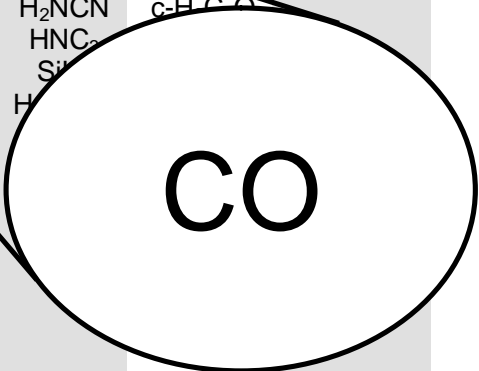


>130 molekula

~40-et a Tejútrendszeren kívül,
más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁻	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₂ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₂								
NO	MgCN	H ₂ CS	Si ⁺								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ Si								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃									
OH	N ₂ O	CN ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											



>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₄ H	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	CH ₂ CHCHO	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCCNH ⁺	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SiC	H ₂ O	HNCS	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
KCl	HNC	H ₂ CO	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
NH	HNO	H ₂ CN	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
NO	MgCN	H ₂ CS	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
OH	N ₂ O	CH ₃	c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
PN	NaCN		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SO	OCS		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SO ⁺	SO ₂		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SiN	c-SiC ₂		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SiO	CO ₂		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SiS	NH ₂		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
CS	H ₃ ⁺		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
HF	SiCN		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
SH	AlNC		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
HD	SiNC		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
(FeO)	HCP		c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
O ₂			c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
CF ⁺			c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
(SiH)			c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						
PO			c-C ₃ H	C ₄ H	C ₅ N						

NaCl

>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

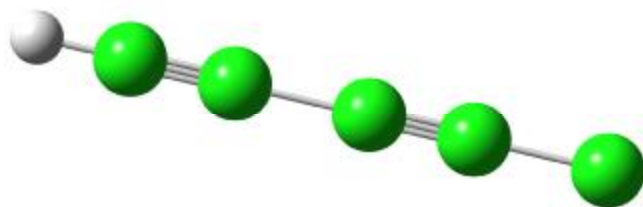
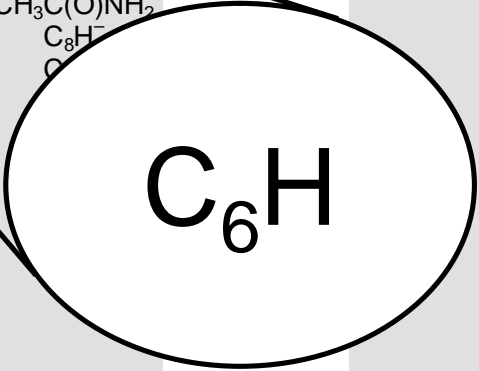
2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃		HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH			CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH			C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH			C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CH							
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CH							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₂	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											



>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	I-C ₃ H	C ₄ H	I-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	I-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(I-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)					
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	I-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	C ⁻									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AiNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											

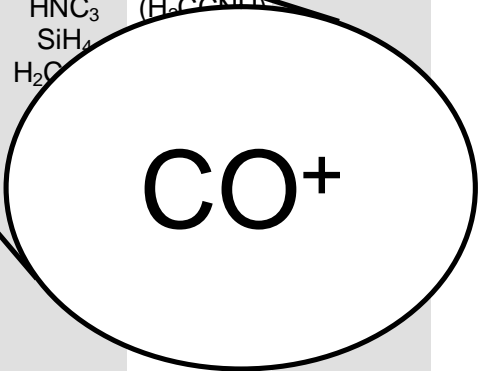


>130 molekula

~40-et a Tejútrendszeren kívül,
más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH ⁺)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ O								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃									
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											



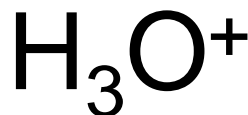
>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₆ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											

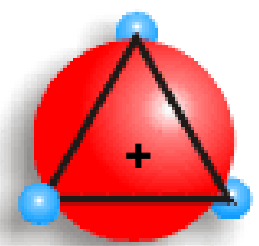
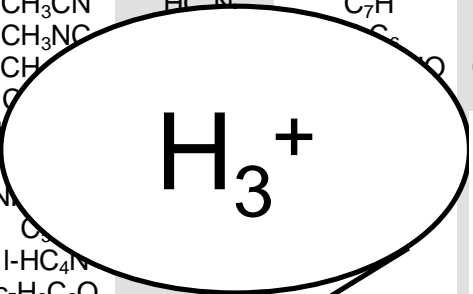
>130 molekula

40-et a Tejútrendszeren kívül,
más galaxisokban is észleltek



Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

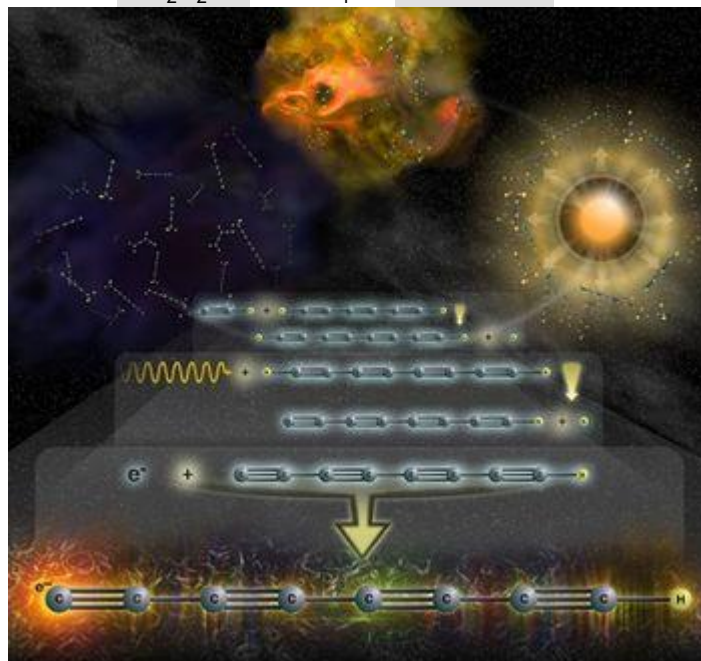
2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₇ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CO	C ₈ H	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ CO	CH ₃ CO		CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	C ₃ H ₂	C ₃ H ₂		C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	H ₂ C ₂	H ₂ C ₂						
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	H ₂ C ₂	H ₂ C ₂						
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	H ₂ C ₂	H ₂ C ₂						
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₃ H ₂	C ₃ H ₂						
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ O ₂ O	l-HC ₄ N	C ₃ H ₂						
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O	(H ₂ CCNH)						
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃								
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AiNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											



>130 molekula
 ~40-et a Tejútrendszeren kívül,
 más galaxisokban is észleltek

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H ⁻				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₈ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC										
NH	HNO										
NO	MgCN										
NS	MgNC										
NaCl	N ₂ H ⁺										
OH	N ₂ O										
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AiNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											



C₈H⁻

>130 m

**~40-et a Tejútrendszeren kívül,
más galaxisokban is észleltek**

Csillagközi felhőkben azonosított molekulák

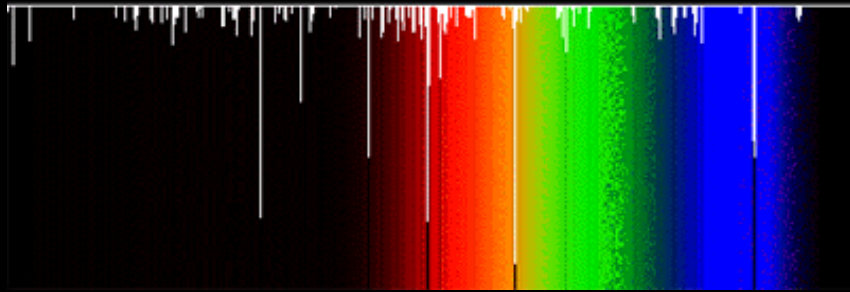
2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N	HC ₉ N	(C ₆ H ₆)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(l-HC ₆ H)	C ₈ H				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₆				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ OCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO							
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N							
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	l-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₂ C ₃ O	(H ₂ CCNH)						
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	SiH ₄							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄								
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁻								
OH	N ₂ O	CH ₃									
PN	NaCN										
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂											
CF ⁺											
(SiH)											
PO											

CH₂OHCHO

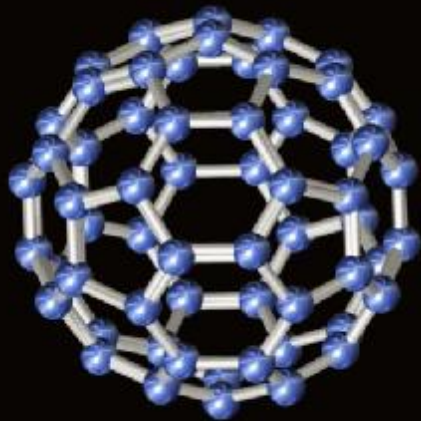
>130 molekula

**~40-et a Tejútrendszeren kívül,
más galaxisokban is észleltek**

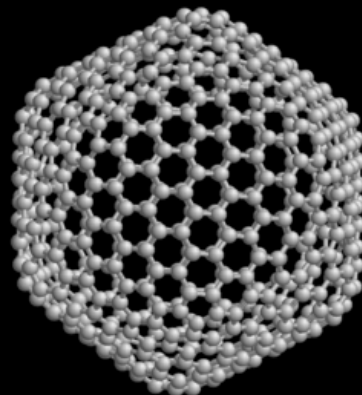
Nagyobb molekulák Diffúz csillagközi sávok



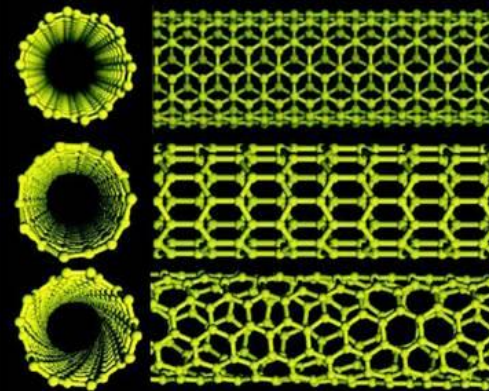
poliaromás
szénhidrogének



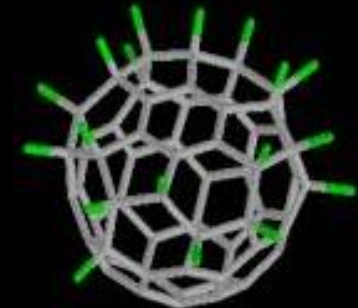
fullerének



szénnanocsövek



hidrogénezett
származékok



Laboratóriumi vizsgálatok

*„Végtelen számú kísérlet sem bizonyíthatja, hogy igazam van,
de egyetlen kísérlet is bizonyíthatja, hogy tévedtem.”*

Albert Einstein

Nehézségek

Földi viszonylatban extrémnek számító körülmények:
hőmérséklet, nyomás, külső sugárzás, nagy méret,
folytonos változás (nincs kémiai egyensúly)



Tarantella köd

Diffúz felhő

$T \sim 50-100$ K

$1-100$ db molekula / cm^{-3}



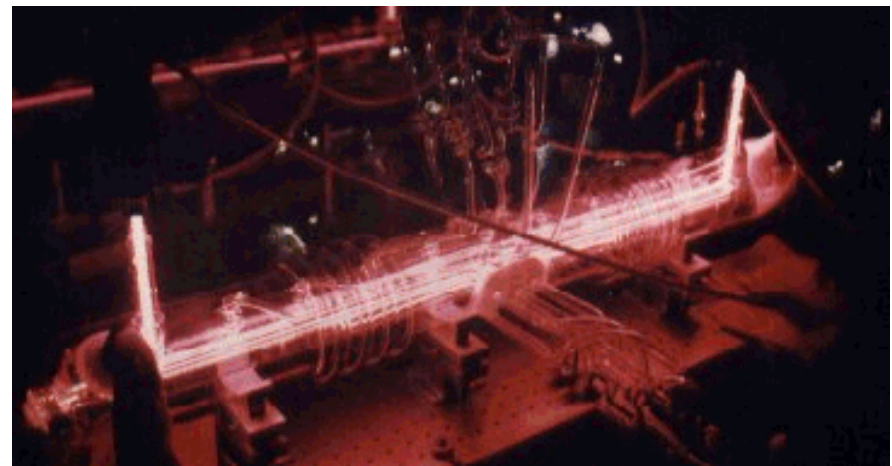
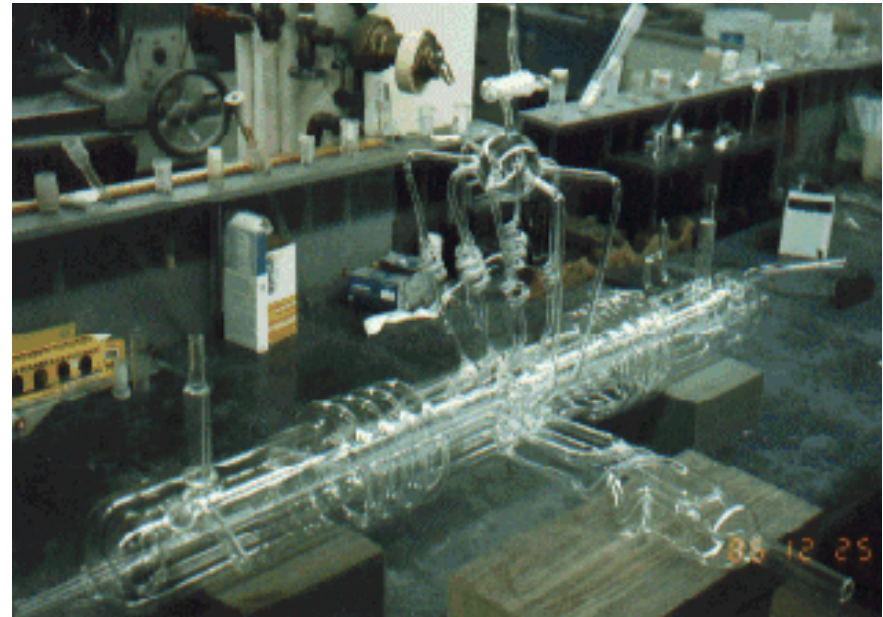
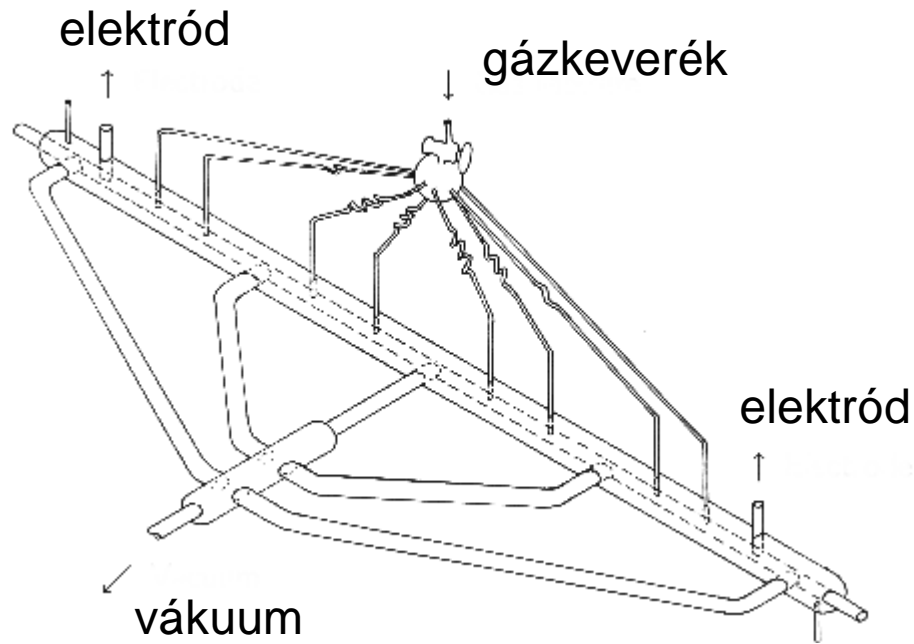
Orion köd

Molekulafelhő

$T \sim 10$ K

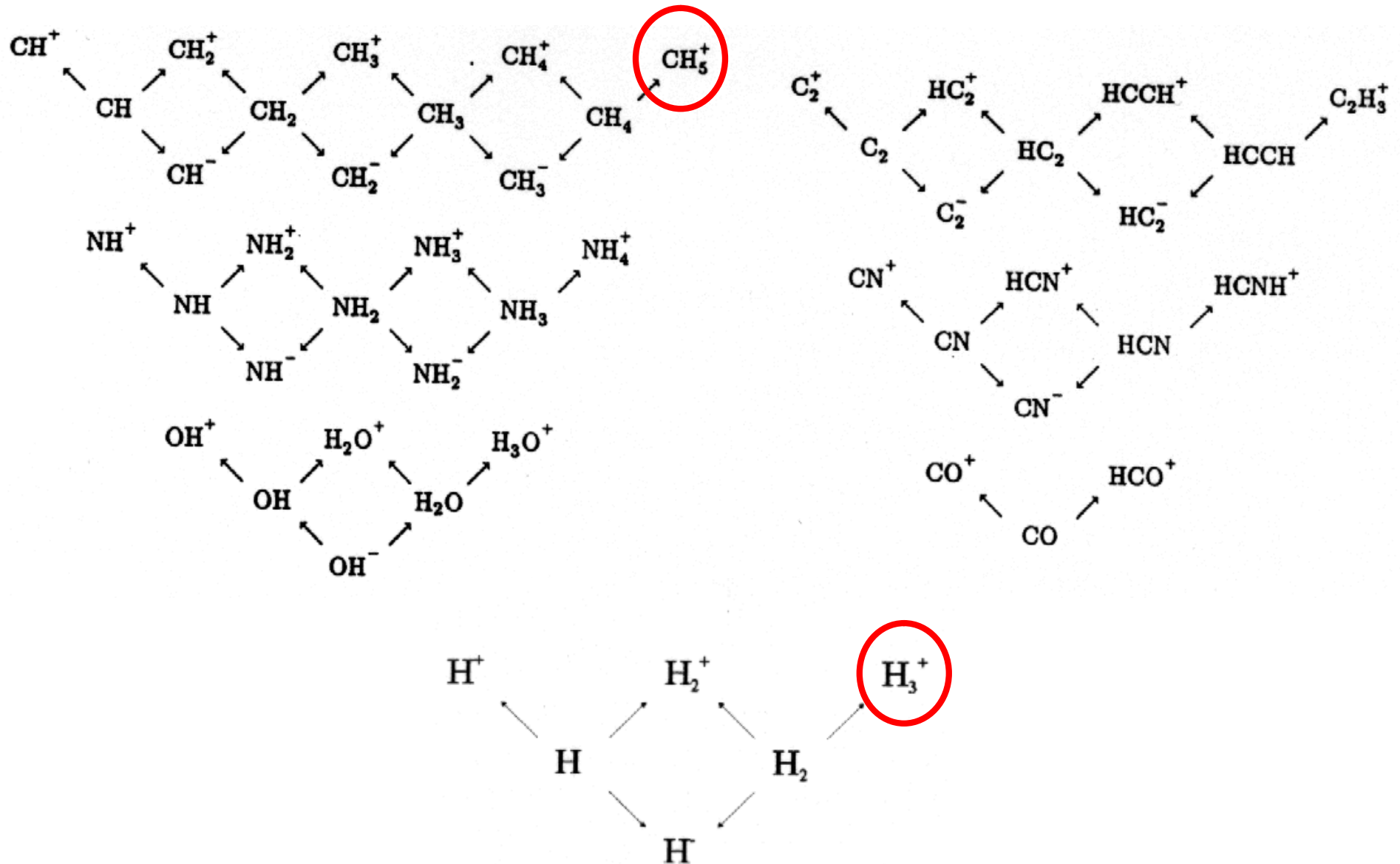
$>10^3$ db molekula / cm^{-3}

Plazmák



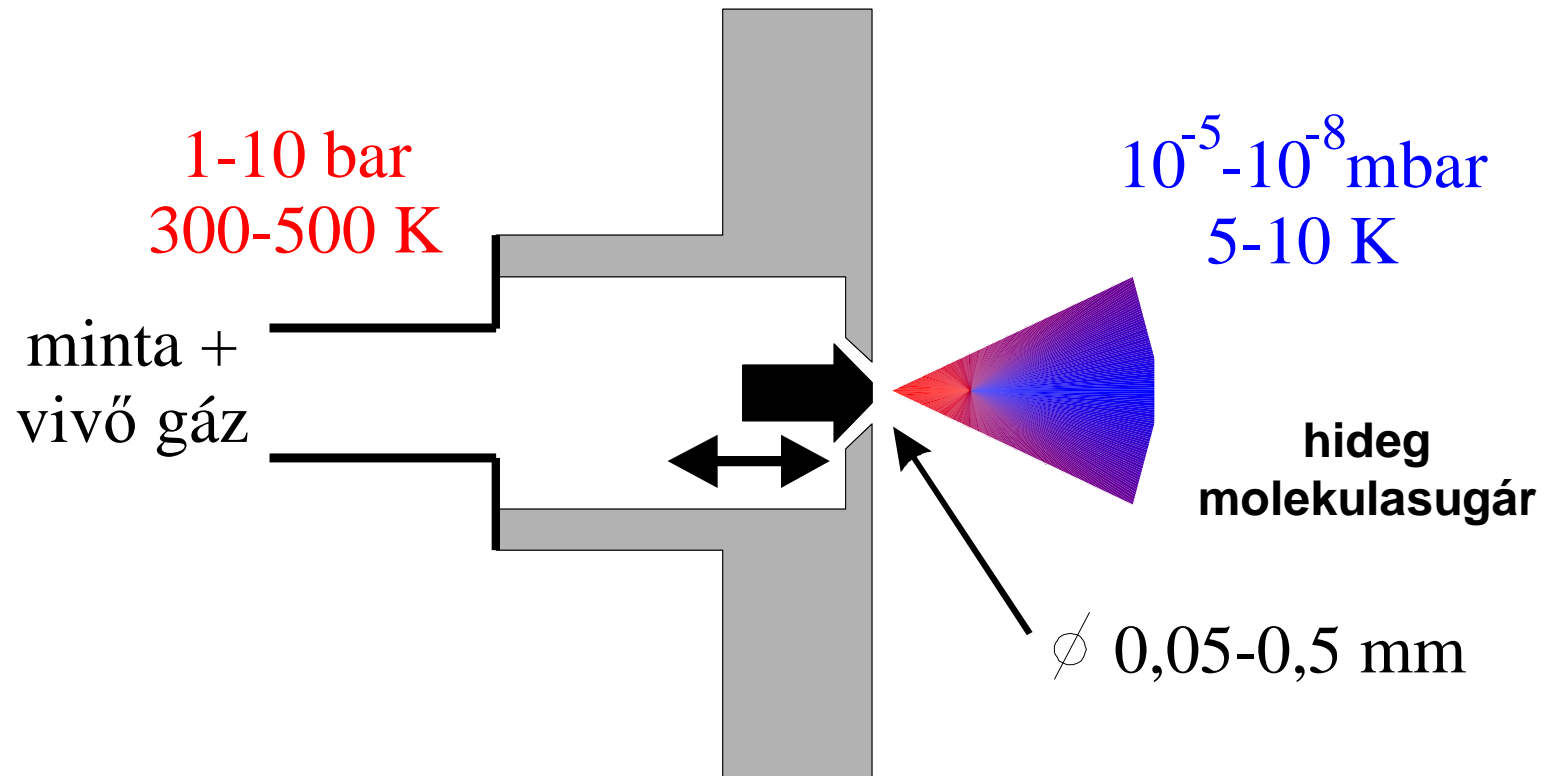
Takeshi Oka
<http://fermi.uchicago.edu/index.shtml>

Plazmában vizsgált molekulák



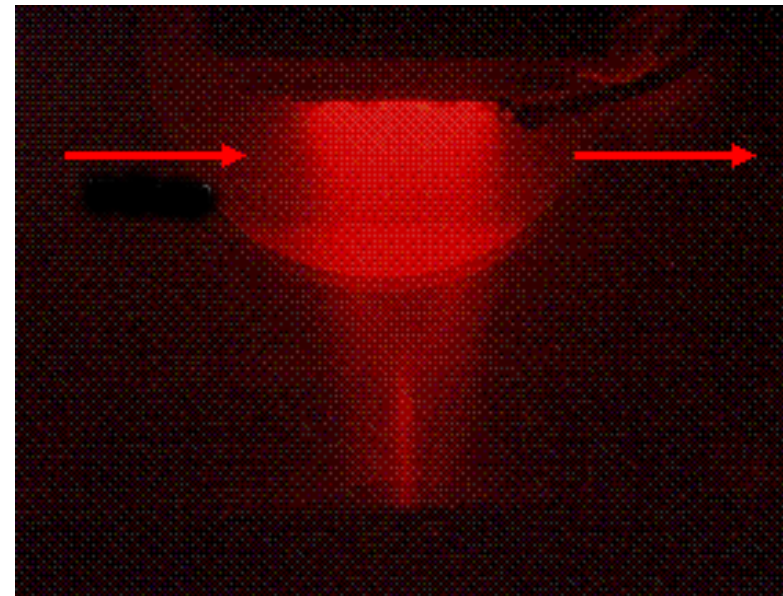
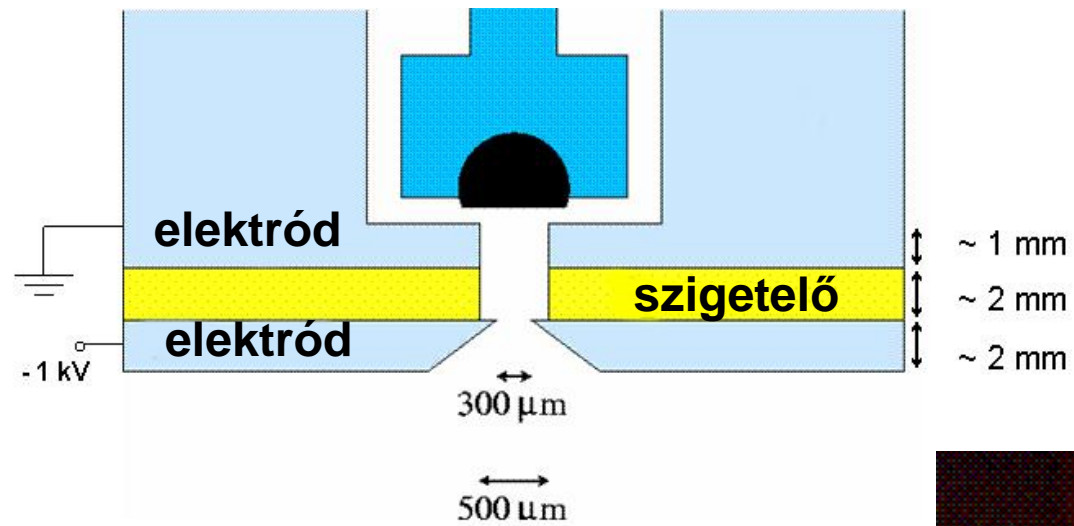
Alacsony hőmérséklet létrehozása

Az impulzus üzemmódú szuperszonikus fúvóka



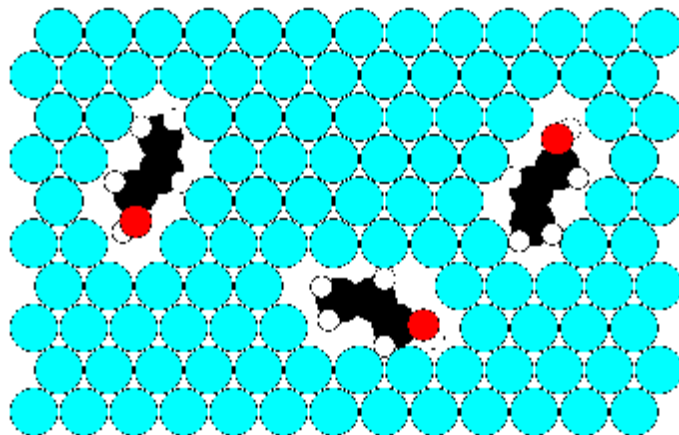
Ugyanazon az elven működik, mint a hűtőgép. (Adiabatikus kiterjesztés.)

Kisüléses szuperszonikus fúvóka

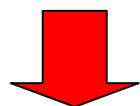


A mátrixizolációs technika

Nincs diffúzió, reakcióktól és kölcsönhatásoktól védett környezet:



- nagy hígítás fagyott **nemesgázban**
- alacsony hőmérséklet (jellemzően **5–12 K**)



- gyökök
- reakció köztitermékek
- egzotikus molekulák

vizsgálhatók

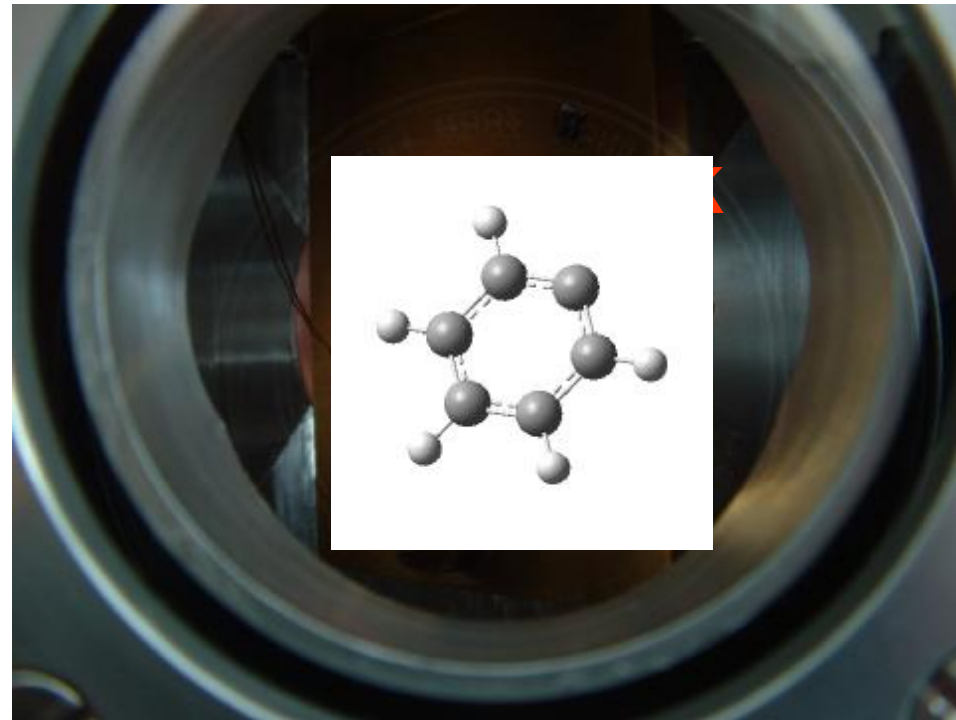
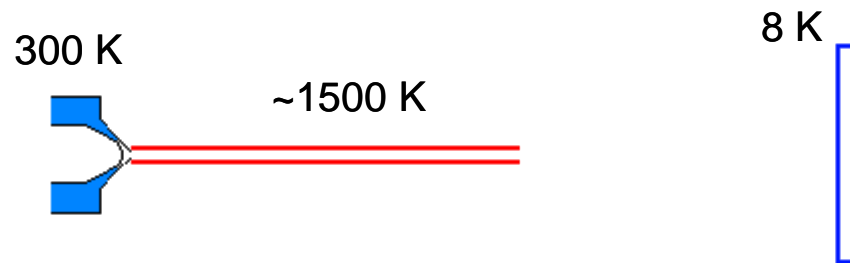


George Pimentel
(1922- 1989)

A mátrixizolációs technika



**Mátrixizolációs
berendezés,
ELTE Kémiai Intézet**

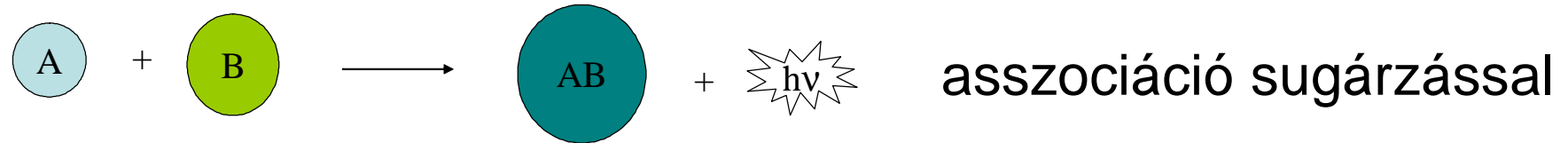


Reakciók a csillagközi felhőkben

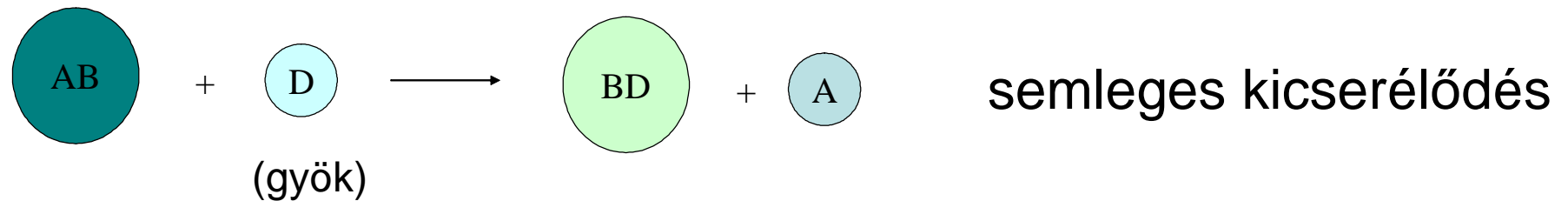
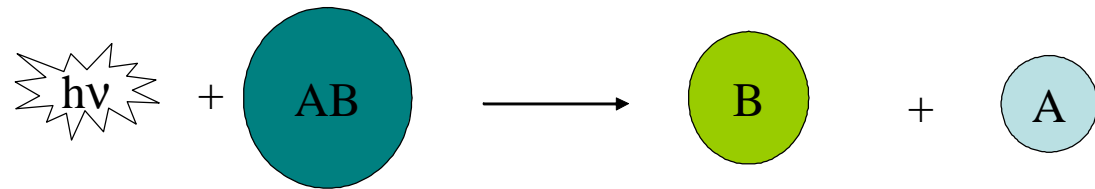
„A kémiai reakciók kimenetele a csillagok állásától is függ.”

Borissza Endre, demonstrációs kísérlet közben

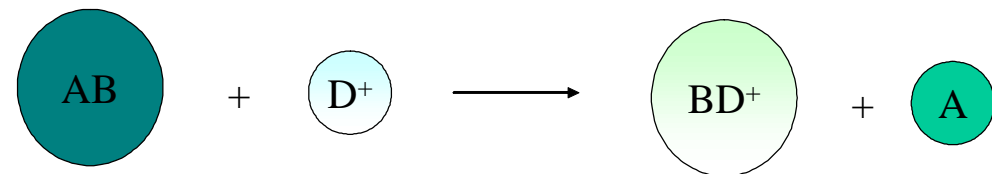
Néhány fontosabb reakciótípus



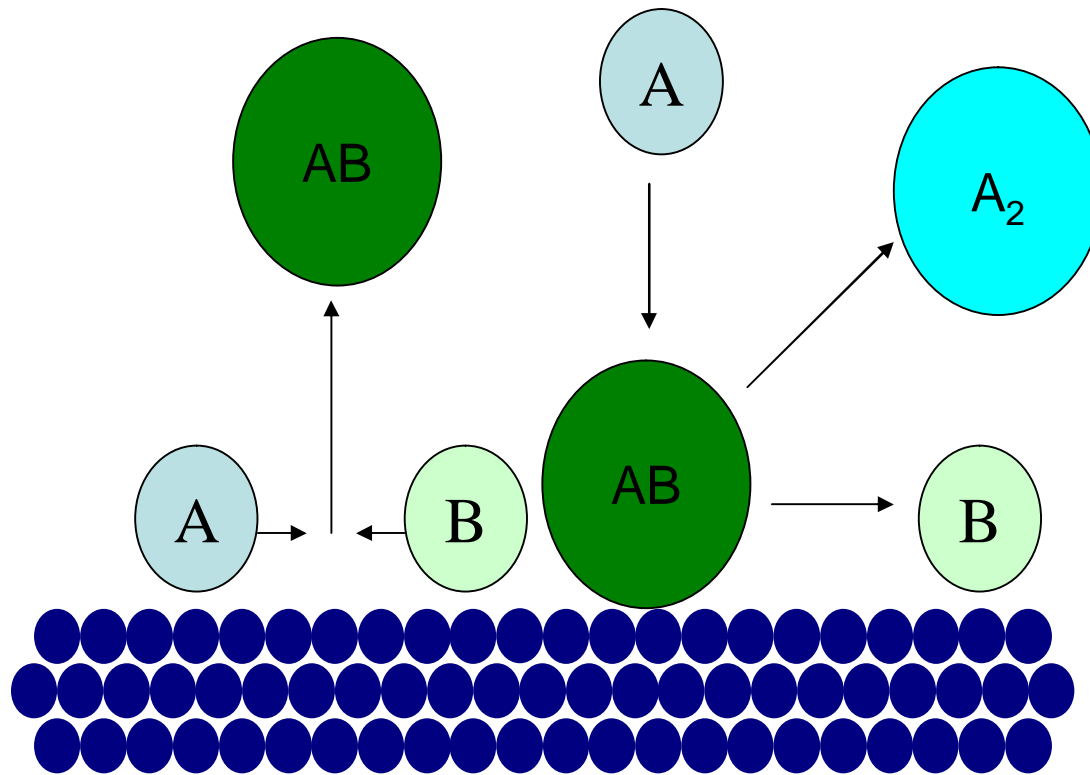
fotodisszociáció



ion-molekula reakciók

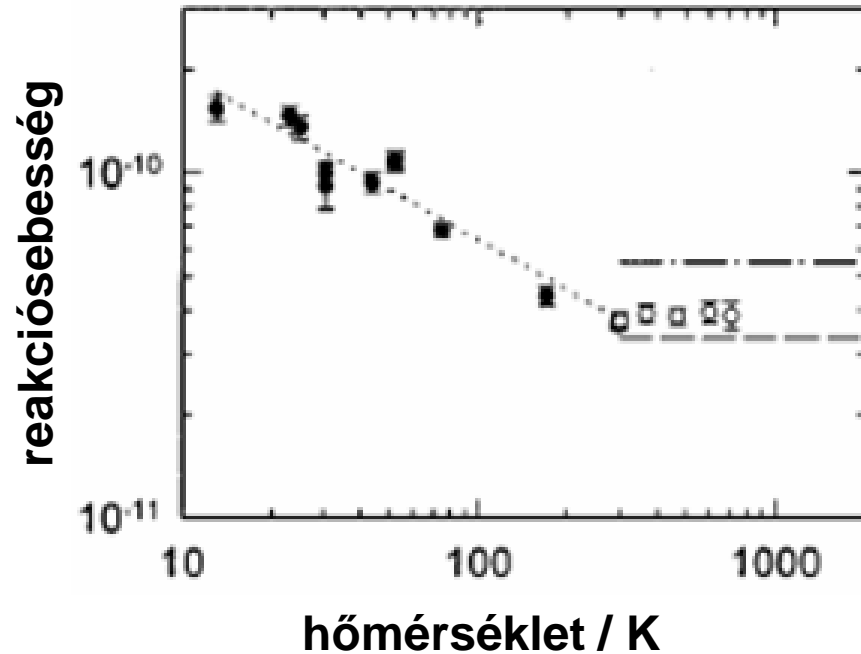


Reakciók szemcsék felületén



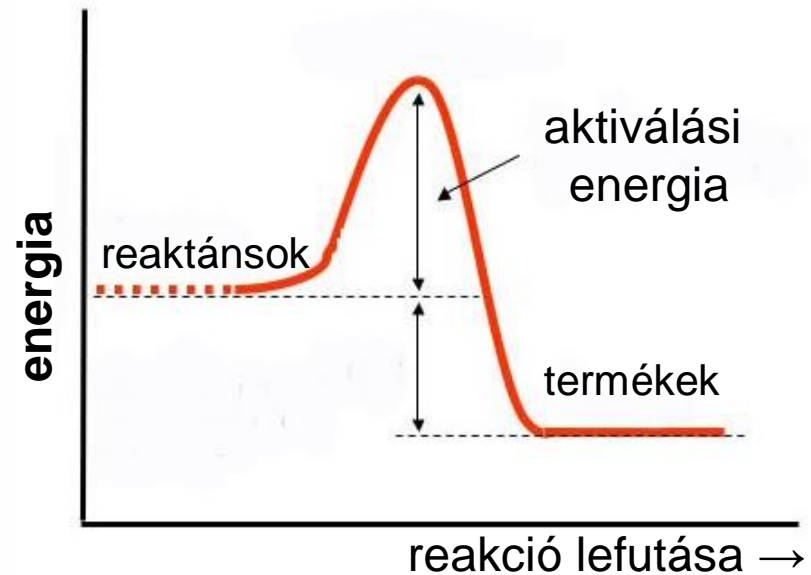
Csillagközi térben lejátszódó reakciók sebessége

molekulasugarak ütköztetése
(CRESU)



Hőmérséklet növelésével csökken a reakciósebesség!?

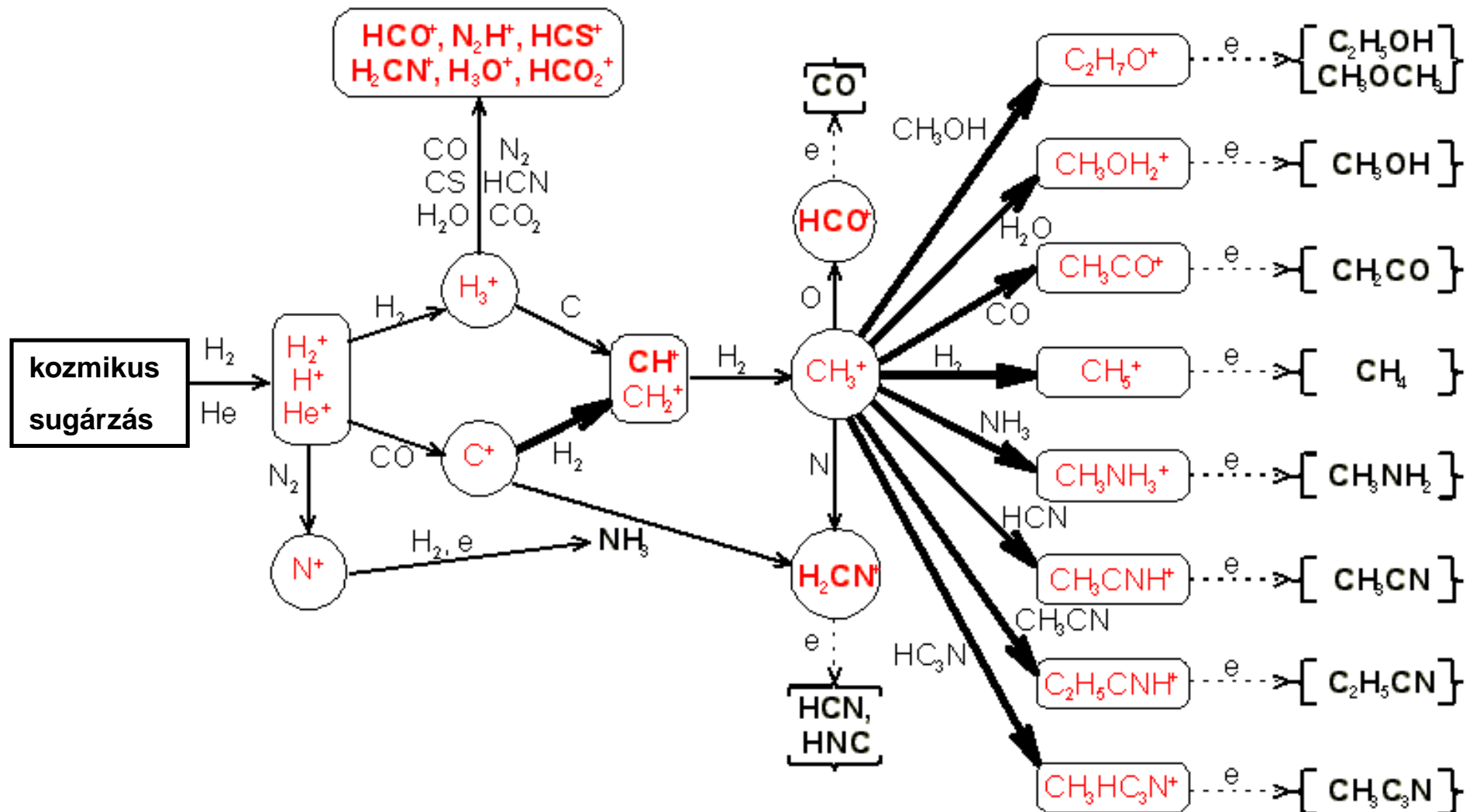
„hétköznapi” reakciók esetében nő...



???

A gyök-molekula reakciónak nincs energiagátja!!!

Molekulák keletkezése sűrű csillagközi felhőkben

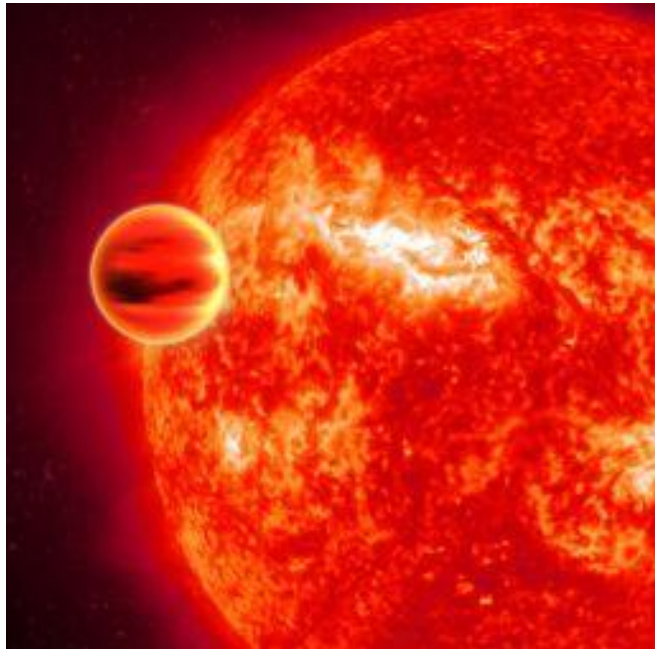


Élet a Földön kívül?

„Hol vannak?”

Enrico Fermi

Az első megfigyelt molekula exobolygó légkörében

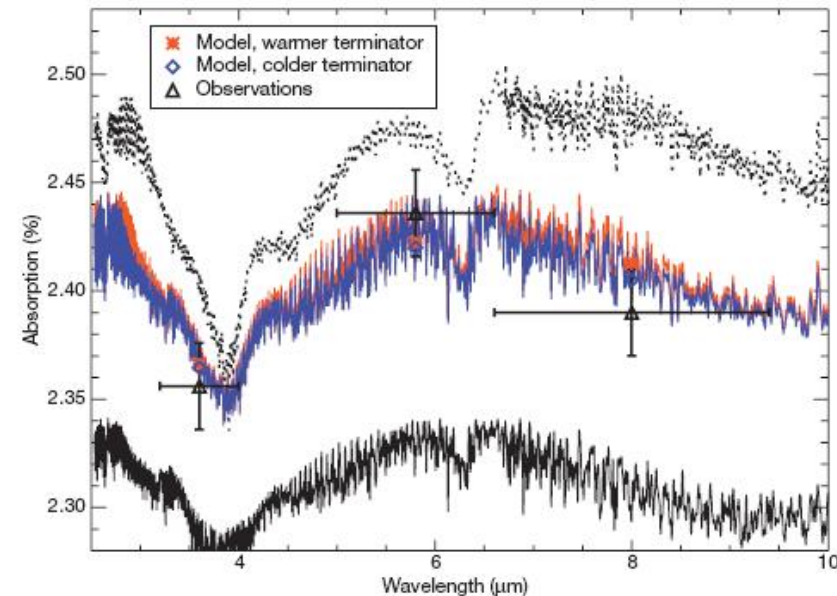


**Fantáziakép
a HD 189733b („forró
Jupiter”) bolygóról
és csillagjáról.**

30-szor közelebb kering a
csillaga körül, mint a Föld a
Nap körül. (1000 K)

Spitzer űrteleszkóp felvétele

H₂O



Vol 448 | 7 July 2007 | doi:10.1038/nature06002

nature

LETTERS

Water vapour in the atmosphere of a transiting extrasolar planet

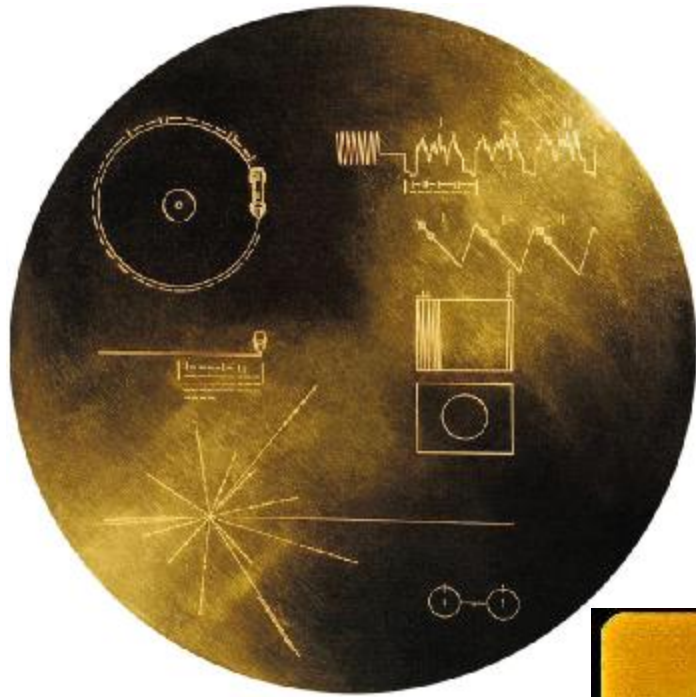
Giovanna Tinetti^{1,2,3}, Alfred Vidal-Madjar², Mao-Chang Liang^{1,5}, Jean-Philippe Beaulieu³, Yuk Yung²,
Sean Carey⁶, Robert J. Barber², Jonathan Tennyson², Ignasi Ribas², Nicole Allard², Gilda E. Ballester⁶,
David K. Sing^{3,9} & Franck Selsis¹⁰

Aminosavak meteoritokban

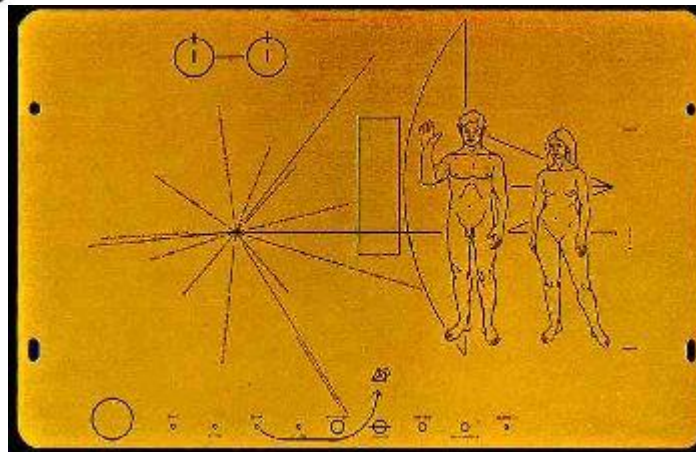


**Murchison meteorit (1969): 16 aminosav, de közel racém elegy!
16-ból 11 ritkán fordul elő a Földön**

SETI: Földön kívüli élet keresése



Pioneer (1972)



Voyager (1977)



Arecibo-i üzenet (1974)

„Köztünk vannak, csak magyaroknak nevezik magukat.”

Szilárd Leó

„Annak ellenére, hogy életük nagy részét az USA-ban töltötték ezek a csillagok [Kármán Tódor, Hevesy György, Polányi Mihály, Szilárd Leó, Wigner Jenő, Neumann János, Teller Ede] mindannyian magyar akcentussal beszéltek az angolt. Egy klasszikus elmélet szerint ez azért van, mert ezek az emberek mindannyian egy fejlettebb társadalomból, a Marsról származtak. Mivel akcentus nélkül nem tudtak beszélni, így magyaroknak tették magukat, akikről közismert, hogy képtelenek bármely nyelvet akcentus nélkül beszélni – természetesen a magyar kivételével.”

Richard Rhodes: *The making of the atomic bomb*

VÉGE