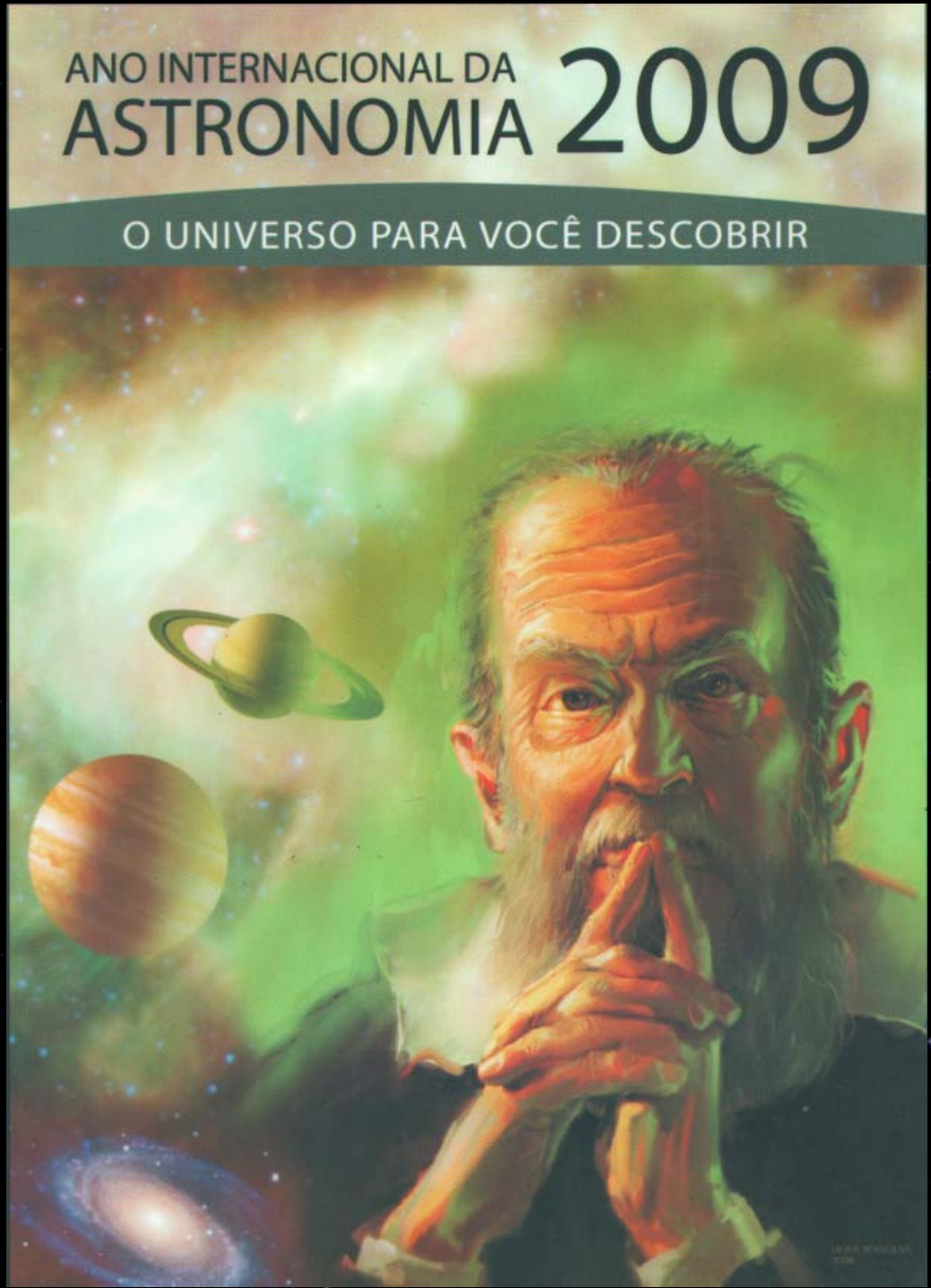
A Evolução Química do Universo:

A historia do universo desde a formação dos primeiros átomos até origem da vida.

Sergio Pilling



- Aprovado pela UNESCO e ONU por iniciativa da IAU.

-Comemora 400 anos desde as primeiras observações telescópicas do céu feitas por Galileu Galilei.

-A Astronomia é uma das ciências mais antigas e deu origem a campos inteiros da Física e da Matemática. (ex. ótica, física de partículas, relatividade geral, espectroscopia, processamento de sinais, cartografia, medição do tempo, entre outras.)

-Há um século atrás, mal tínhamos idéia da existência de nossa própria Galáxia e hoje sabemos que existem centenas de bilhões delas.

-Há poucas décadas, a Astronomia revelou que todas as formas de matéria e energia tratadas pela Física são apenas uma minúscula fração do Universo, dominado pela matéria e energia “escuras”.

-A 15 anos atrás só conhecíamos os planetas do nosso sistema solar, hoje sabemos da existências de mais de 340 exoplanetas.

-Hoje em dia já foram detectadas mais de 230 espécies moleculares (a maioria orgânica) no Cosmos (cometas, atmosferas de planetas e no meio interestelar – que esta longe de ser um espaço vazio)

-Atualmente estamos a procura de vida extraterrestre.

- OBJETIVOS DO AIA 2009 Brasil.

  -Divulgar a astronomia para a comunidade e elaborar um livro com as documentando a astronomia Brasileira.

  -Palestras e observações astronômicas.

  -Estimular nos jovens a carreira científica

  -Divulgara OBA (15/maio/2009)

  -GA-IAU 2009 (Rio de Janeiro)

Visitem: www.astronomia2009.org.br

A Evolução Química do Universo:

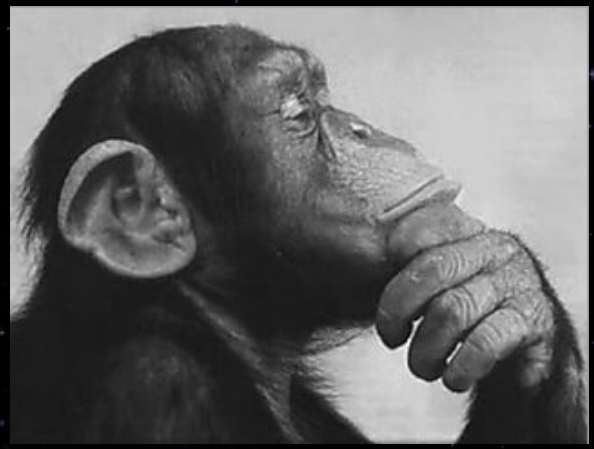
A historia do universo desde a formação dos primeiros átomos até origem da vida.

Sergio Pilling

Moléculas no espaço?

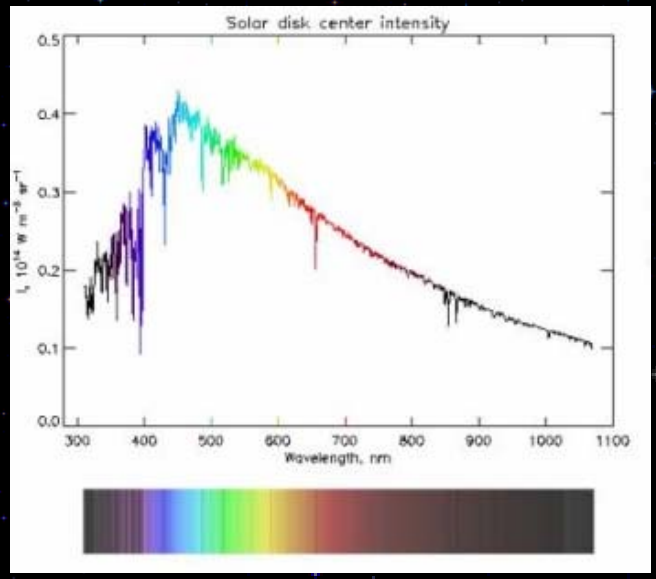
Como surgiram os átomos e os elementos químicos?

... e a vida?



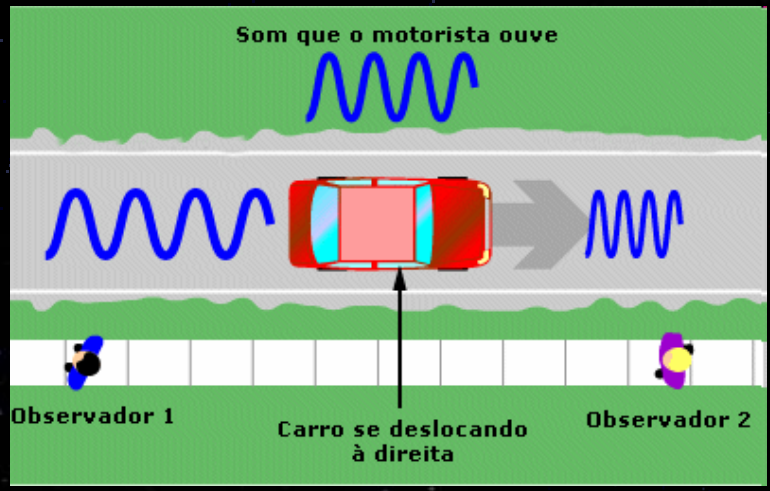
Que tal recordarmos 2 coisinhas antes?

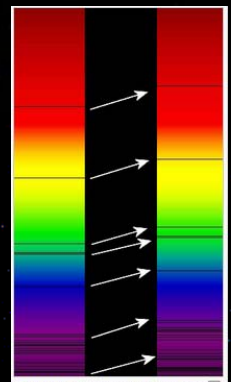
O espectro luminoso (~1670)



-Curva de corpo negro
-Linhas espectrais

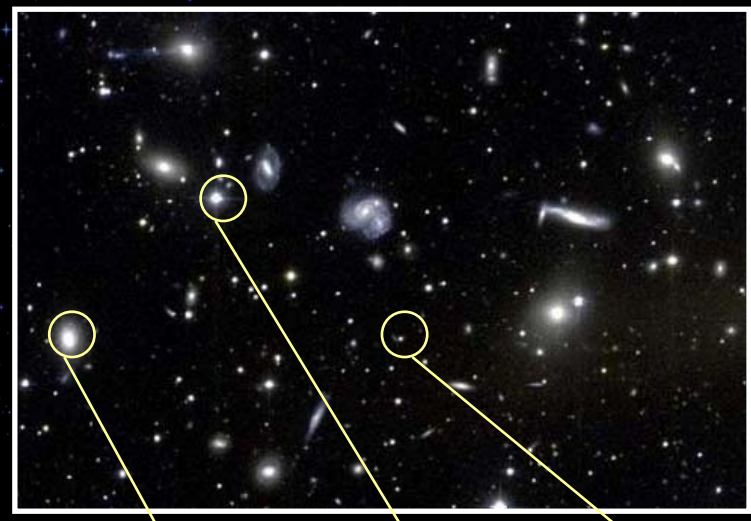
O Efeito Doppler (~1842)

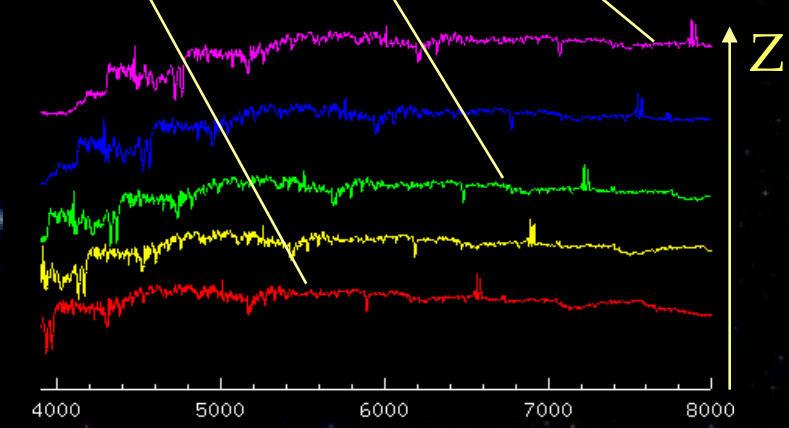




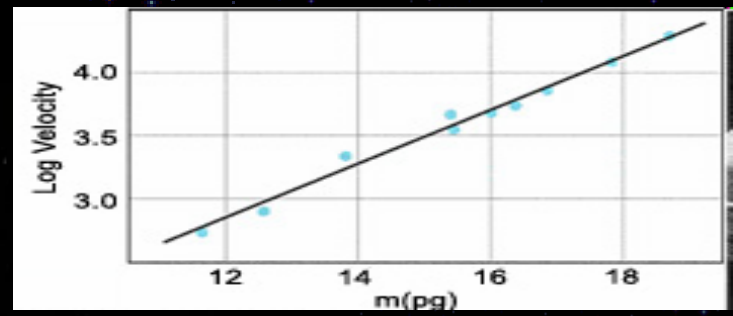
Redshift of spectral lines in the optical spectrum of a supercluster of distant galaxies (right), as compared to that of the Sun (left).

Edwin Hubble (1929) e a expansão da galáxias!

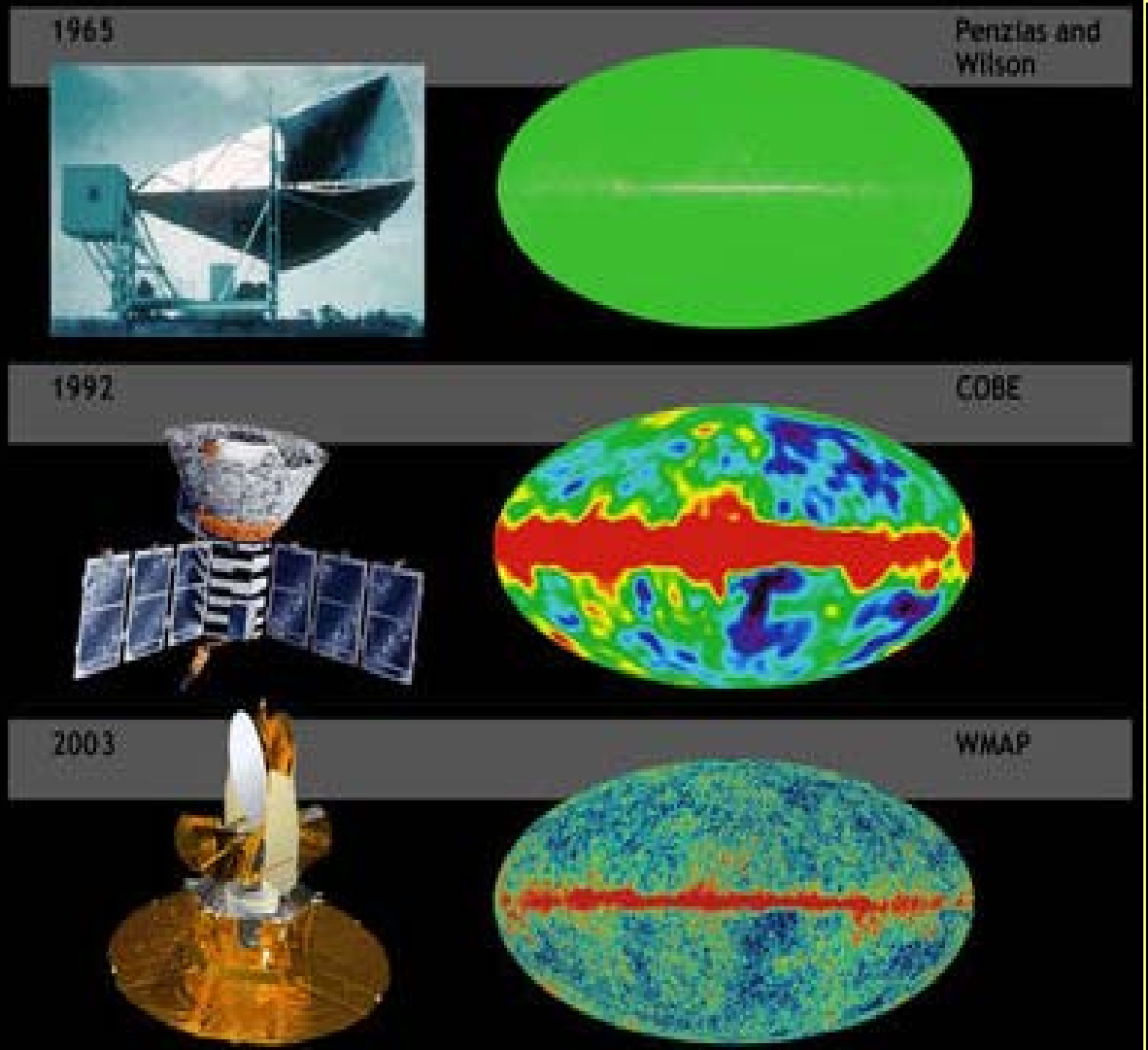




Linhas espectrais deslocadas para o vermelho – Redshift (Efeito Doppler)



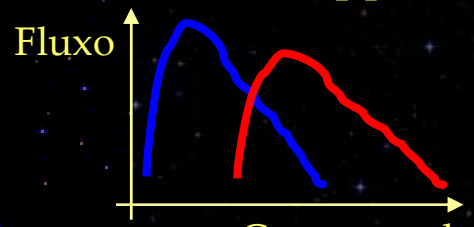
Distância



Penzias e Wilson (1965) radiação cósmica de fundo.
Um retrato o universo ainda bebezinho!

Radiação em microondas
- Corpo negro à ~2.7 K!

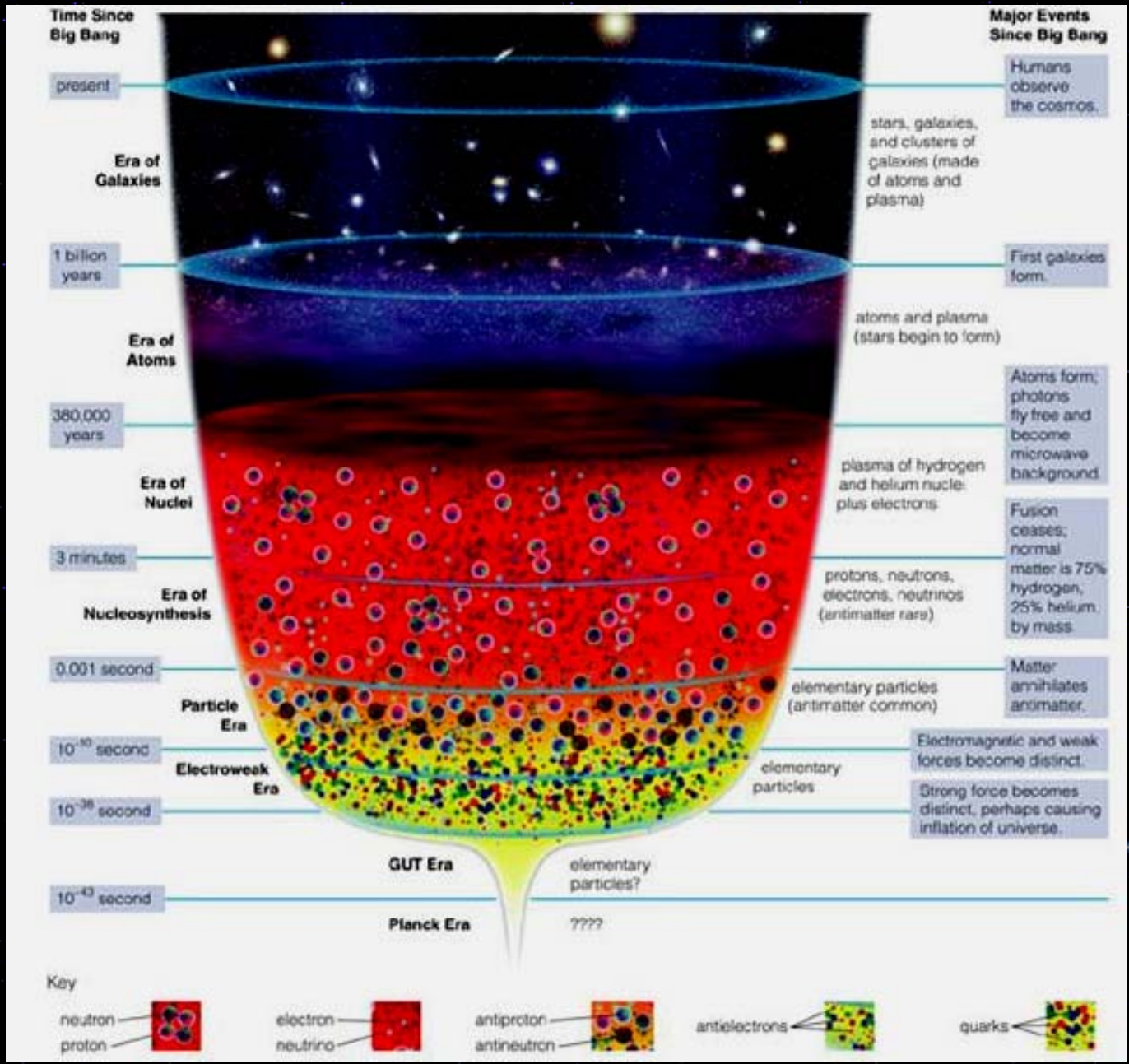
Efeito Doppler



Universo "bebezinho" (idade ~400 000 anos) ainda muito quente.
- Corpo negro à ~3000 K!


BigBang

A teoria do BigBang



← Hoje

← Surgimento da vida

← 1ªs moléculas orgânicas

← 1ªs moléculas

...

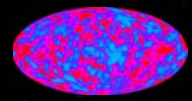
← 2ª geração de estrelas

← 1ª geração de estrelas

← 1ºs Átomos

(**H, He,** Li, Be)

RCF ~ 2.7 K



← 1ºs Núcleos

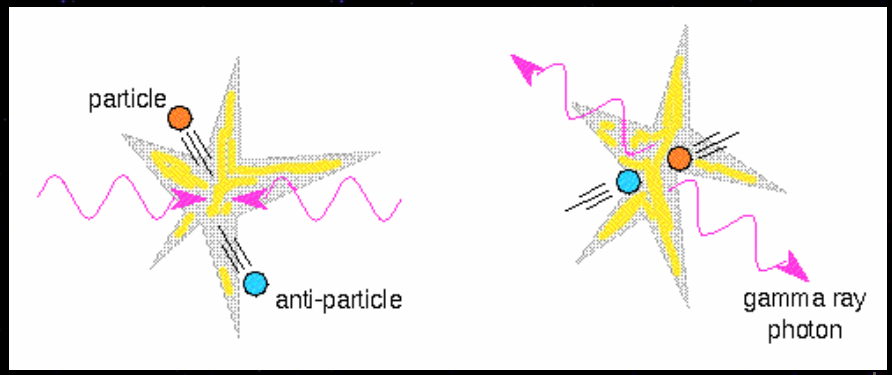
← 1ºs prótons e nêutrons

← Partículas elementares

← Big bang

Universo primitivo (até ~ 1 seg)
Formação das partículas elementares e hadrons

Energia radiante (raios gama) é convertida em matéria e anti-matéria.
(Eq Einstein, $E = m.c^2$)



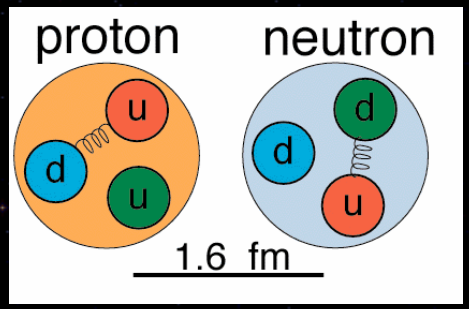
Partículas elementares

~10^{-32} até 10^{-6} segundos

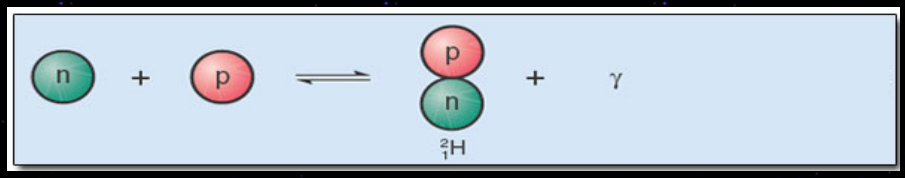
	LÉPTONS		QUARKS	
1ª Família	Elétron	Neutrino do elétron	*Up*	*Down*
2ª Família	Múon	Neutrino do múon	*Charm*	*Strange*
3ª Família	Tau	Neutrino do tau	*Top*	*Botton*

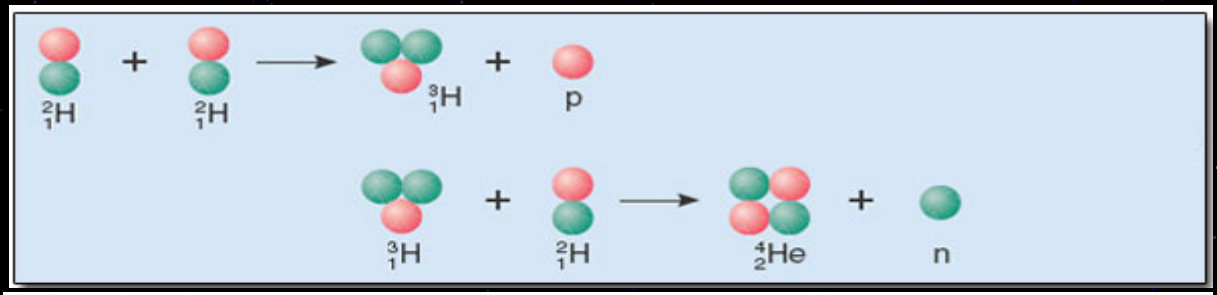
Formação dos hadrons

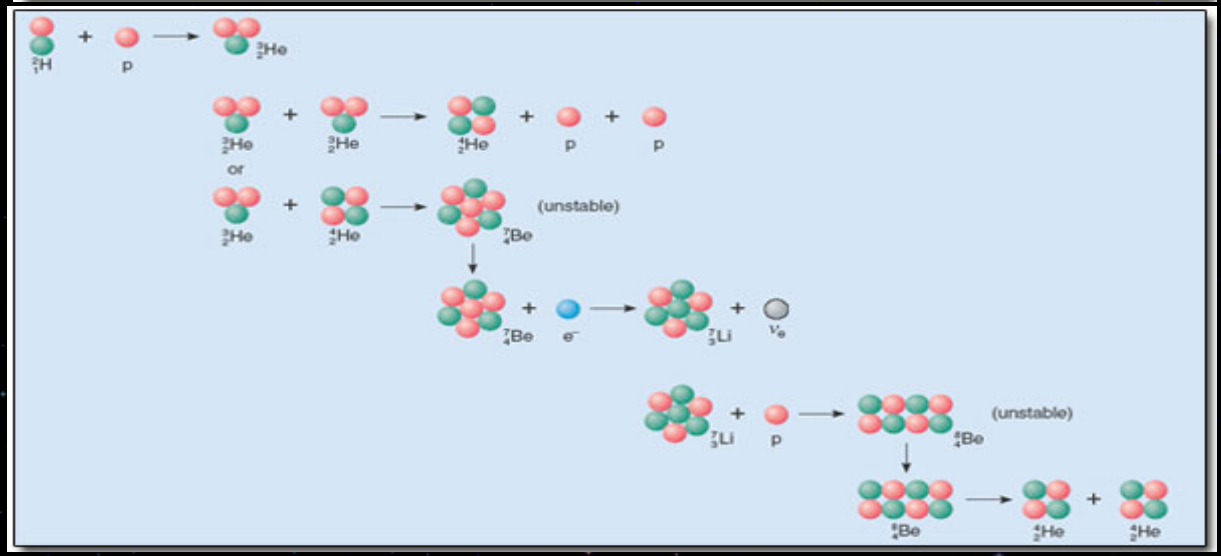
10^{-5} seg até ~1 seg



Nucleossíntese primordial (~10 seg até ~ 5 min)







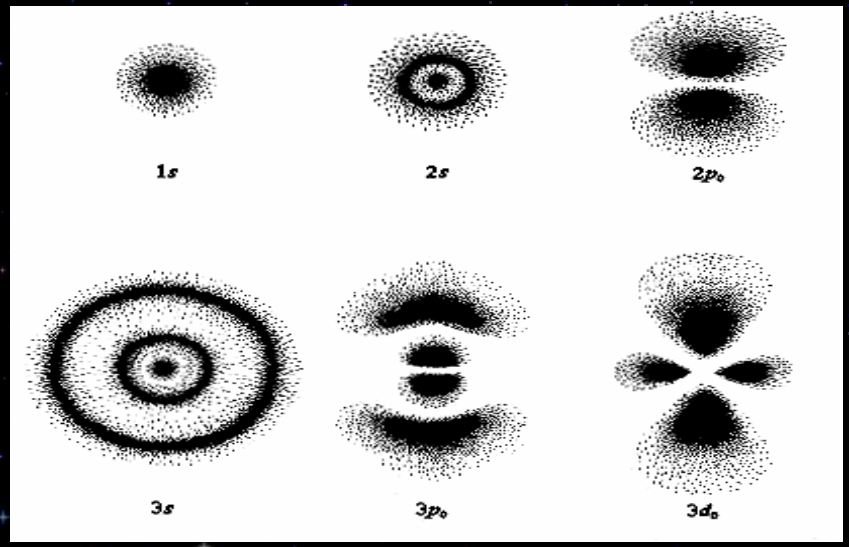
Nessa época o Universo era parecido com o núcleo do Sol. Uma sopa de partículas ionizadas (PLASMA)

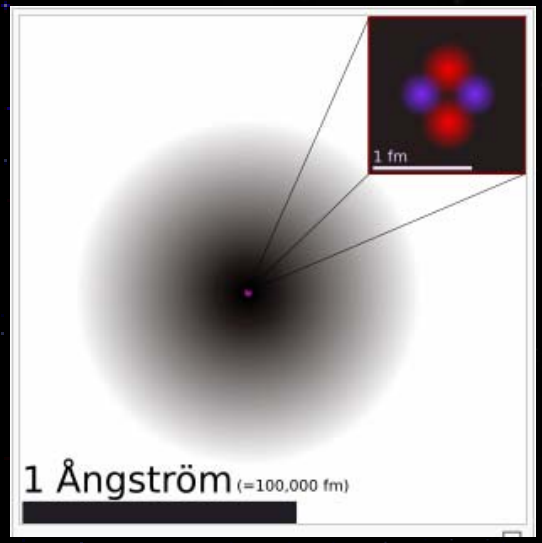
No fim da era da nucleossíntese a composição da matéria bariônica do universo era de 74% prótons, 24% núcleos de hélio e traços de núcleos de outros elementos leves como Lítio, Deutério e Berílio.

Atomossíntese primordial (de 5 min até ~ 380 000 anos)

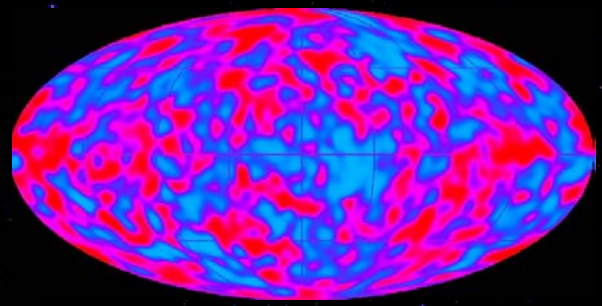
Ao longo dos primeiros 380 mil anos a temperatura do universo decresceu bastante chegando ate cerca de 3000 K, permitindo que os núcleos formados (prótons e nêutrons) combinassem com os elétrons errantes resultando em átomos neutros (recombinação).

Visão clássica



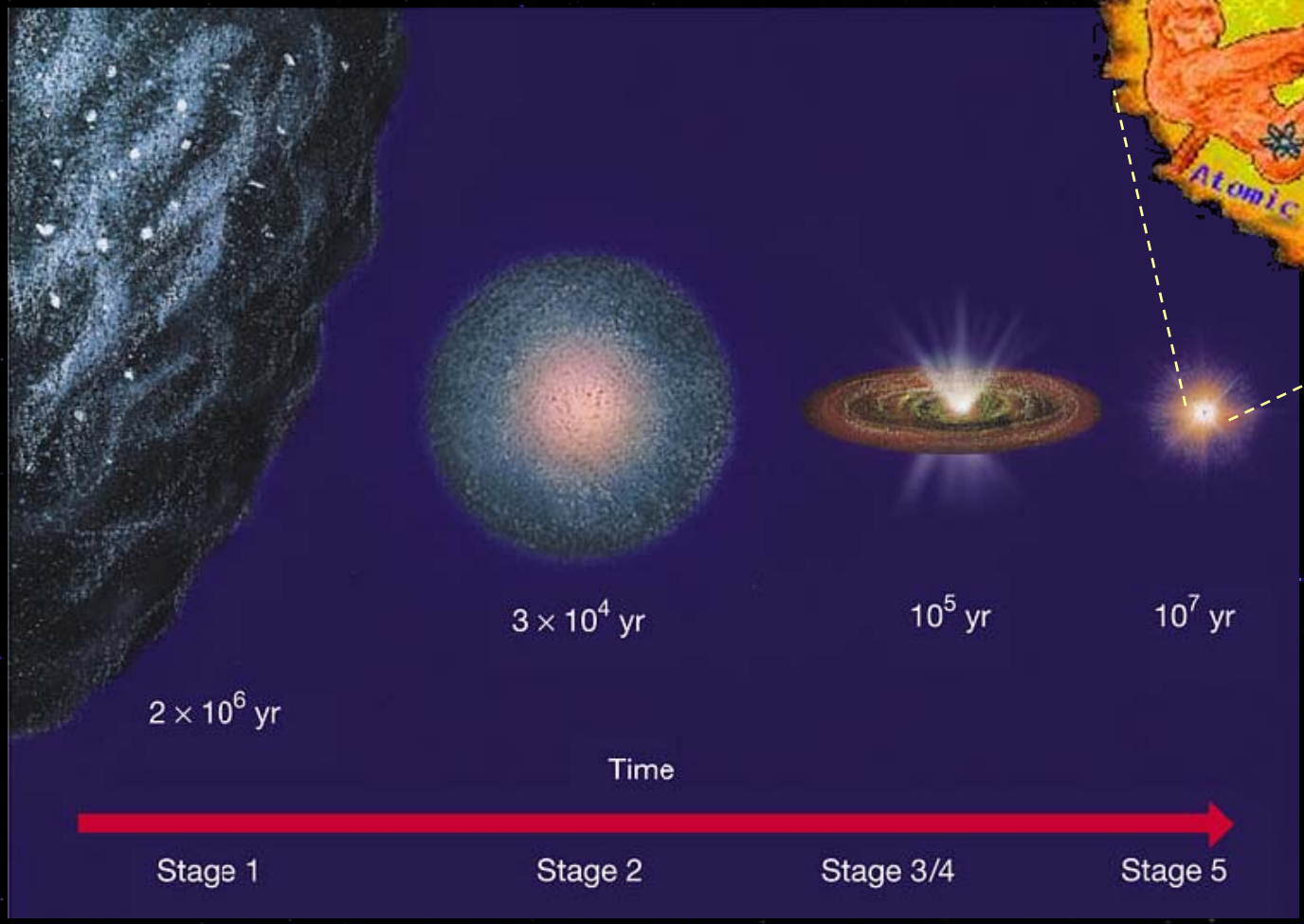


Nessa época o universo deixou de ser opaco a radiação como (o interior solar; espalhamento da luz pelos elétrons livres) e começou a ser transparente. Podendos ser observado nos dias de hoje como a radiação cósmica de fundo (2.7K)



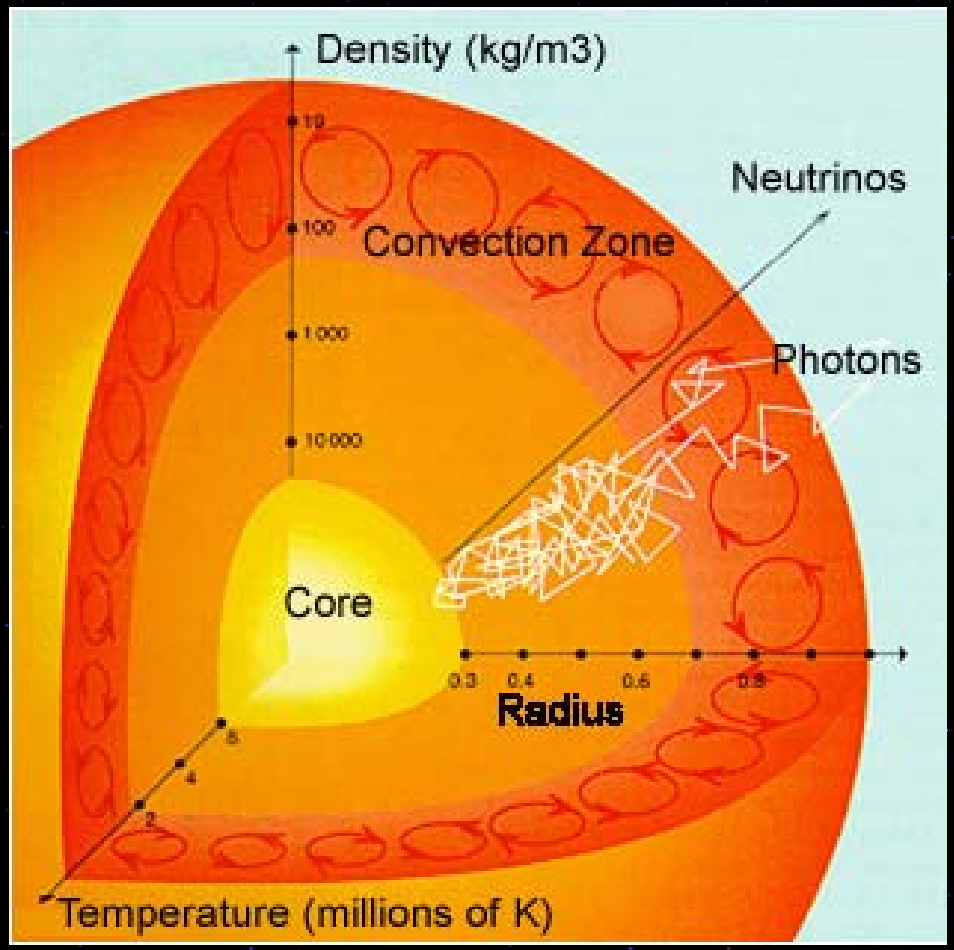
1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)

Nuvem de
átomos de H, He

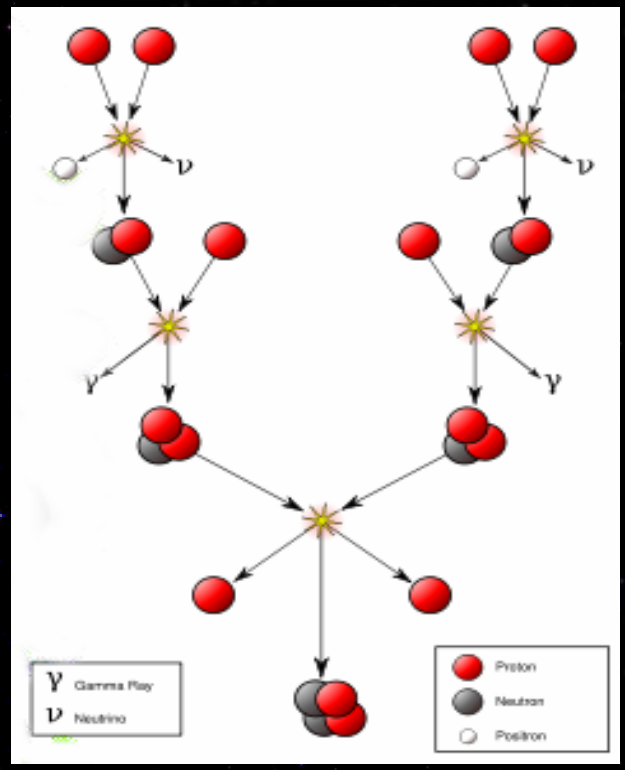


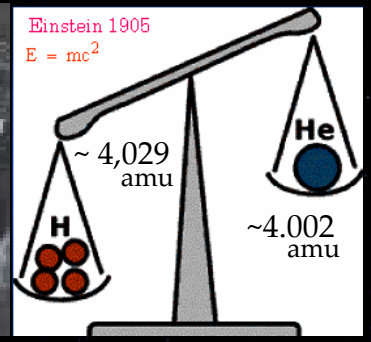
1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)

- Estrelas do tipo solar



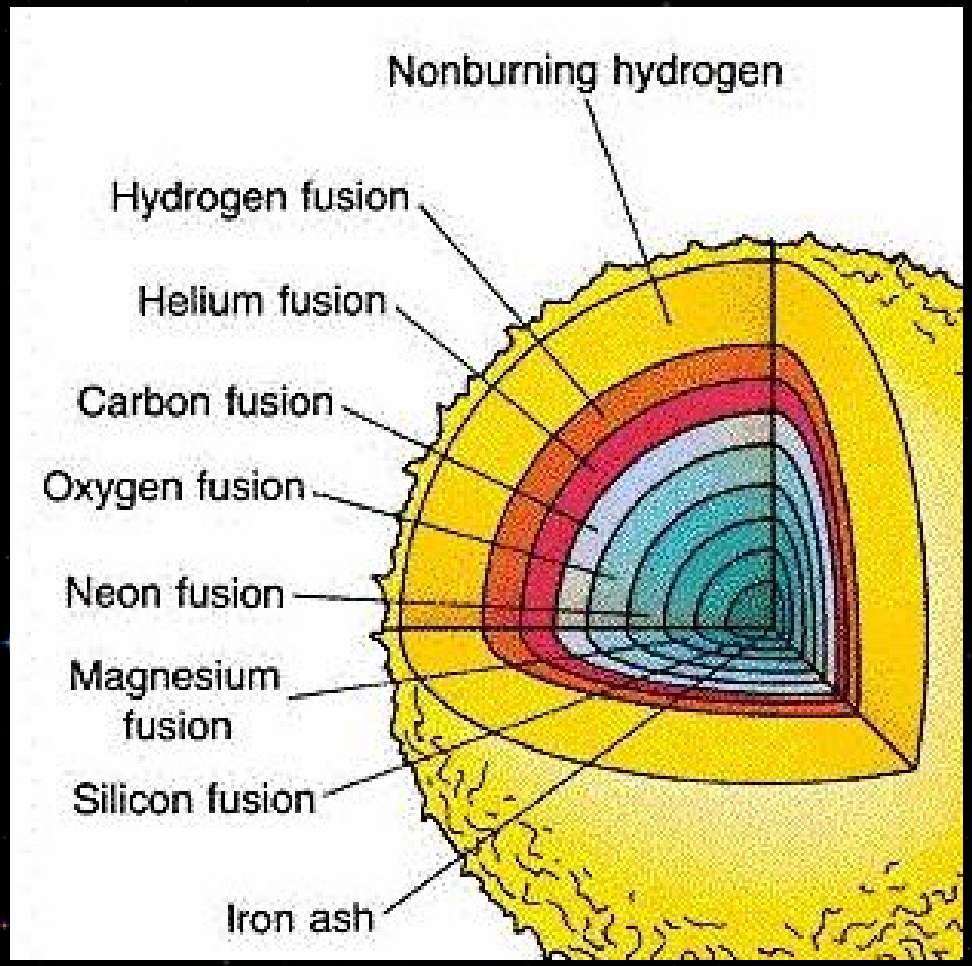
Queima do hidrogênio (cadeia p-p)





1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)

- Estrelas do grade massa



Exemplo de reações

$^{12}C + {}^{4}He \rightarrow {}^{16}O + \gamma$

$^{16}O + {}^{4}He \rightarrow {}^{20}Ne + \gamma$

$^{20}Ne + {}^{4}He \rightarrow {}^{24}Mg + \gamma$

$^{36}Ar + {}^{4}He \rightarrow {}^{40}Ca + \gamma$

$^{24}Mg + {}^{4}He \rightarrow {}^{28}Si + \gamma$

$^{28}Si + {}^{4}He \rightarrow {}^{32}S + \gamma$

$^{32}S + {}^{4}He \rightarrow {}^{36}Ar + \gamma$

$^{36}Ar + {}^{4}He \rightarrow {}^{40}Ca + \gamma$

$^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{24}Mg + \gamma$

$^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{23}Mg + n$

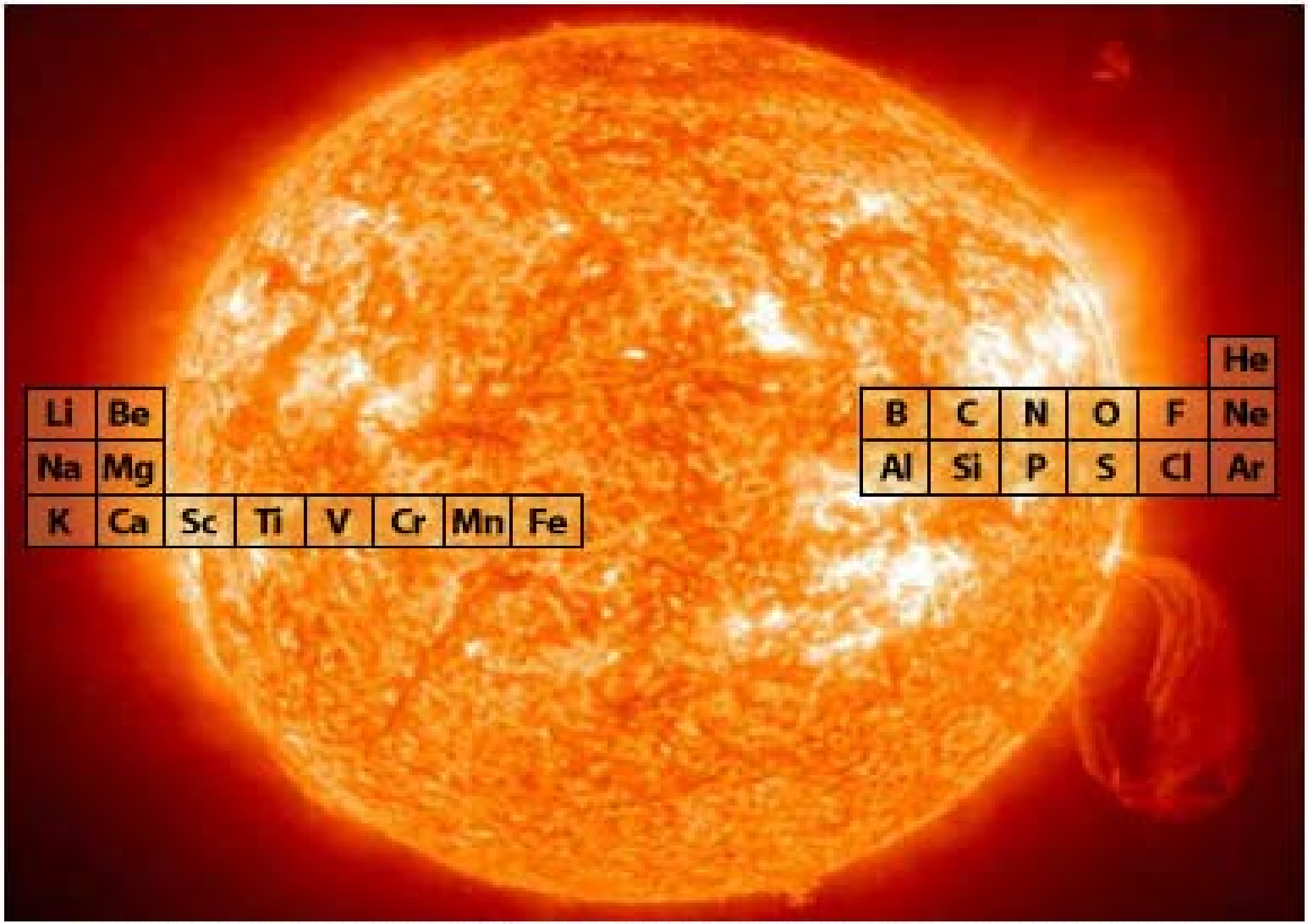
$^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{23}Na + p$

$^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{32}S + \gamma$

$^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{31}S + n$

$^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{31}P + p$

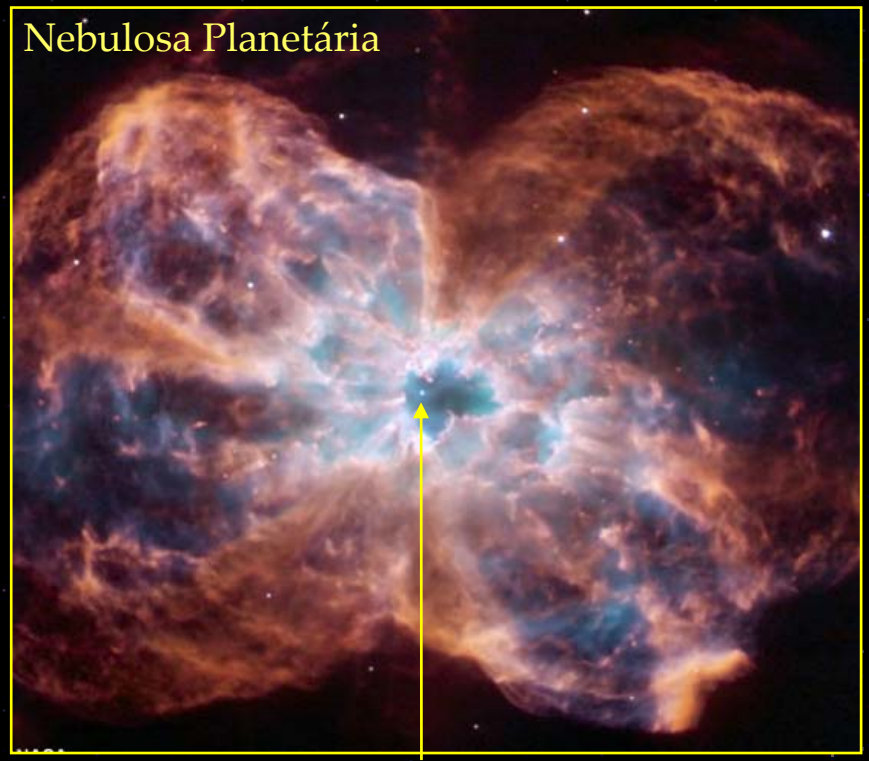
1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)



Elements up to the weight of iron are manufactured in stars.

1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)

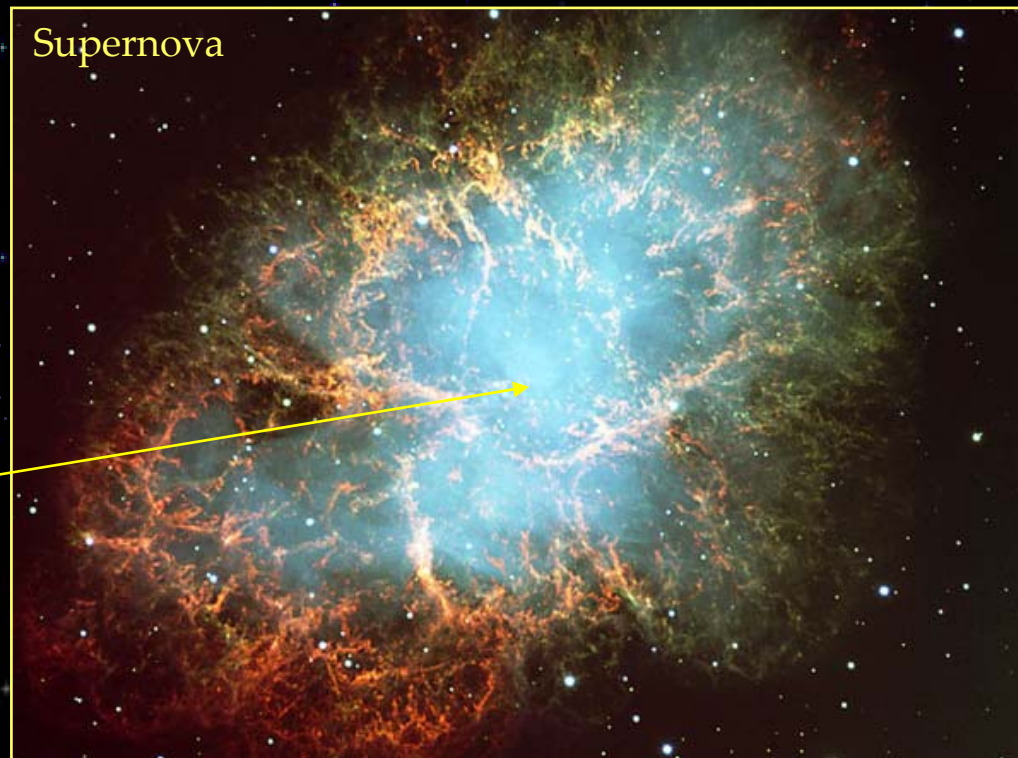
Estágios finais de estrelas do tipo solar



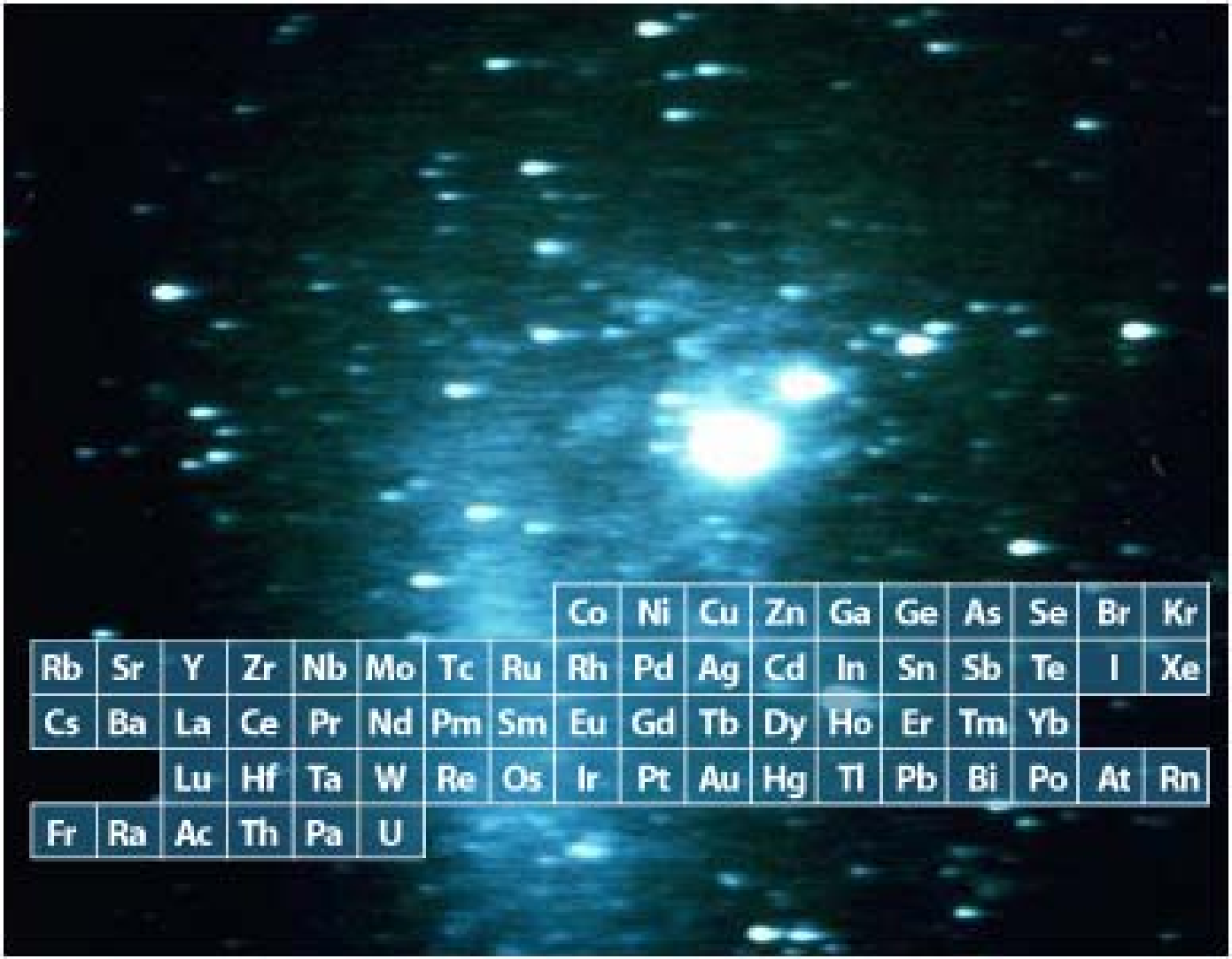
anã branca

Estrelas de nêutrons,
buraco negro

Estagio finais de estrelas do grade massa

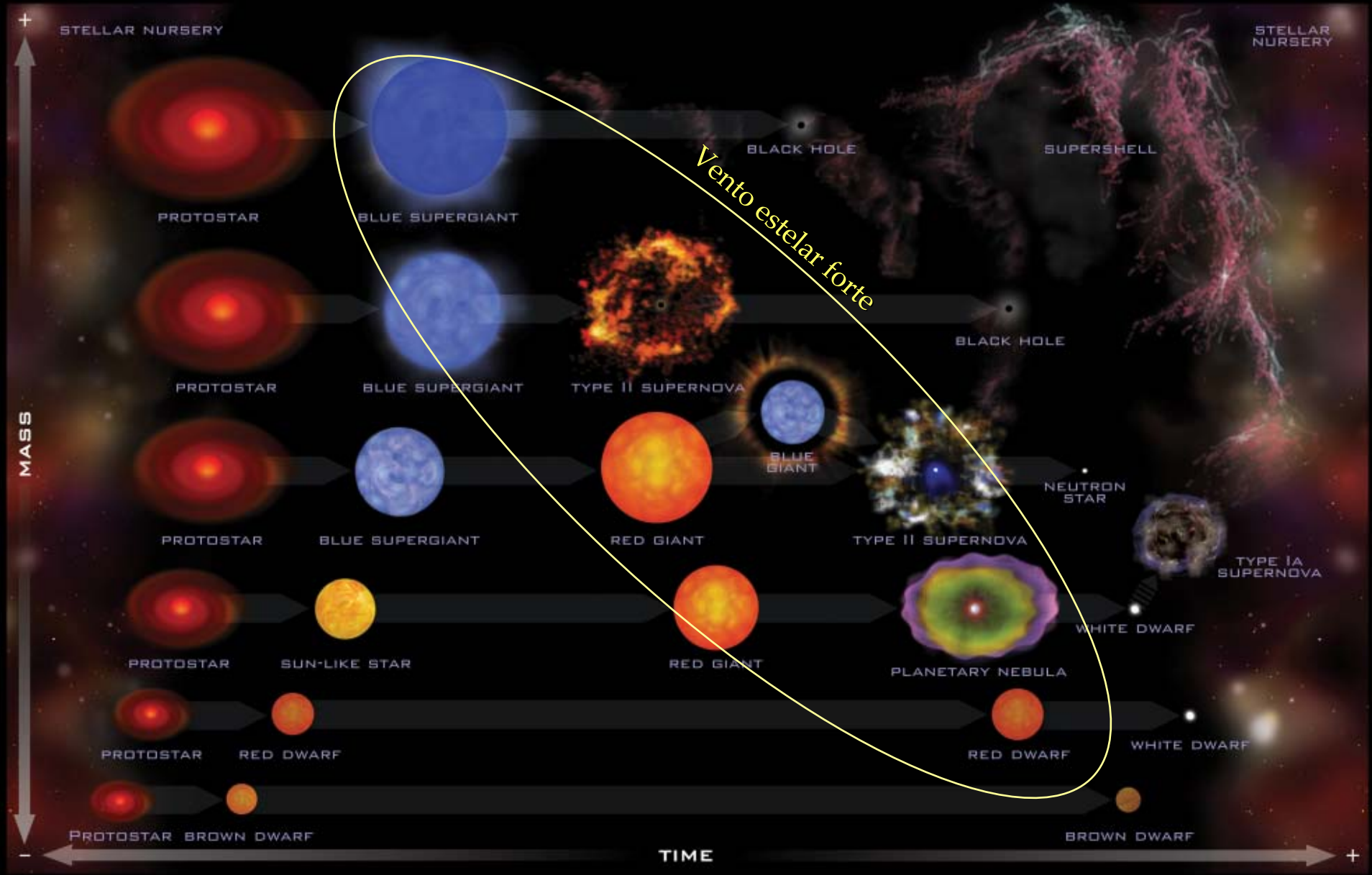


1ªs estrelas e nucleossíntese estelar (~ 1bi ano)



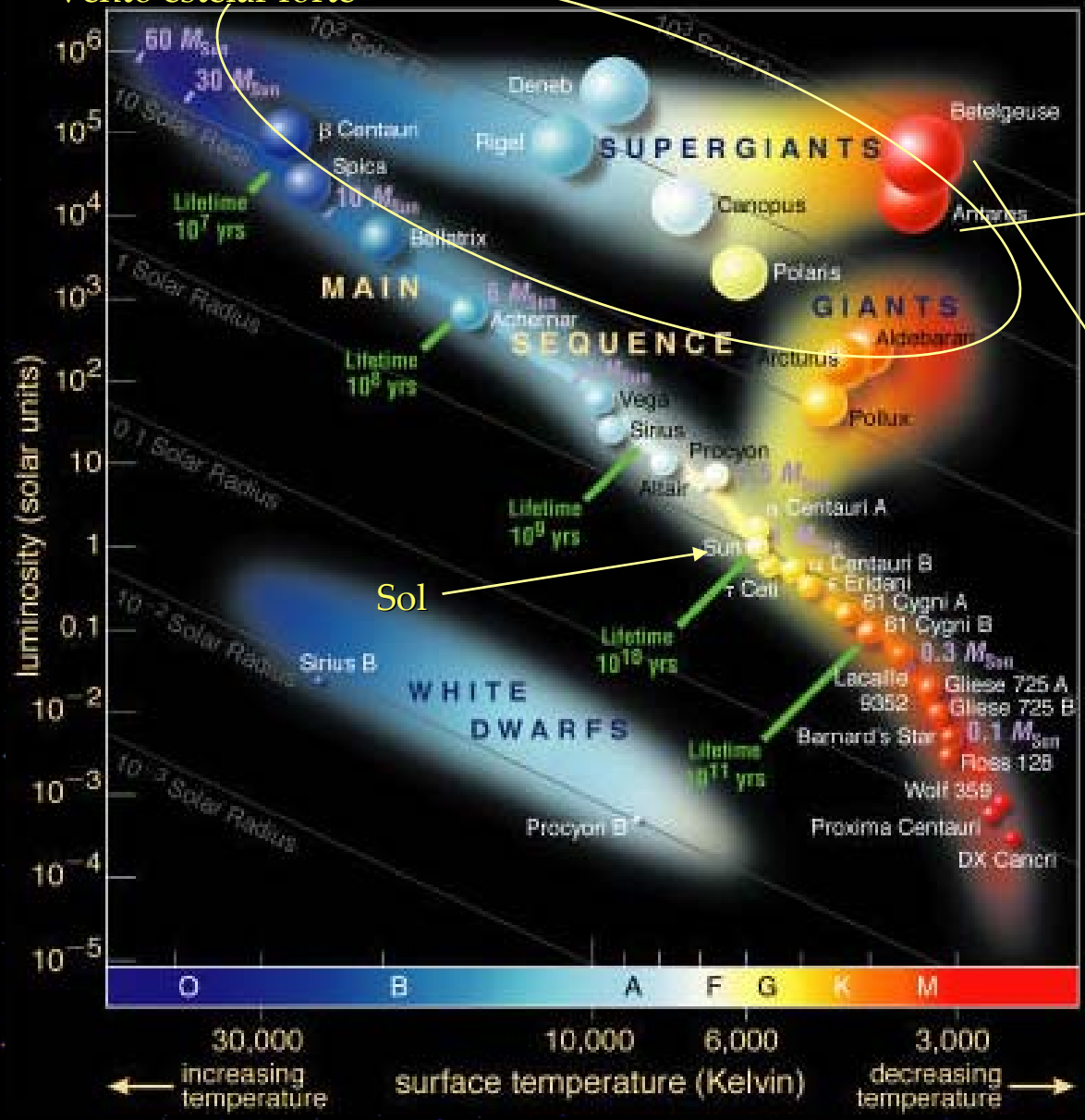
Elements heavier than iron are formed when a supernova explodes.

Biografia das estrelas

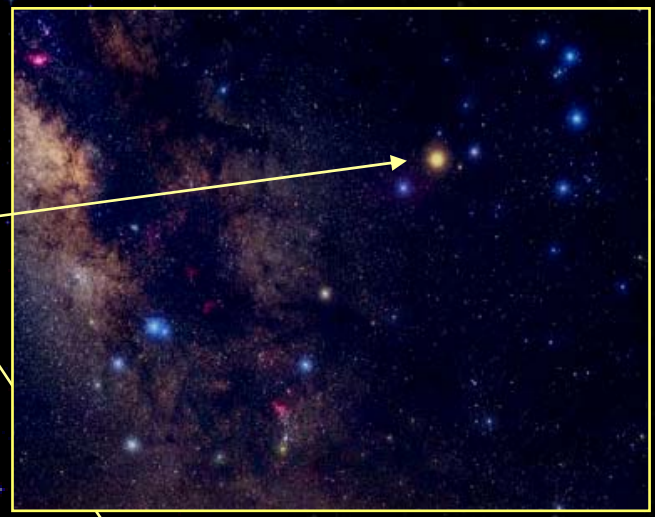


Biografia das estrelas (cont.)

Vento estelar forte



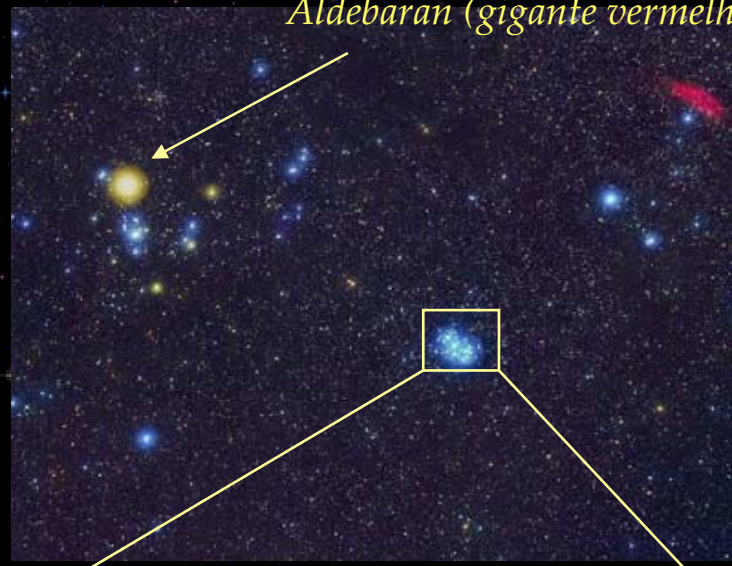
Sol



Junto às estrelas apareceram aos aglomerados de estrelas

M22, um aglomerado globular

Aldebaran (gigante vermelha)

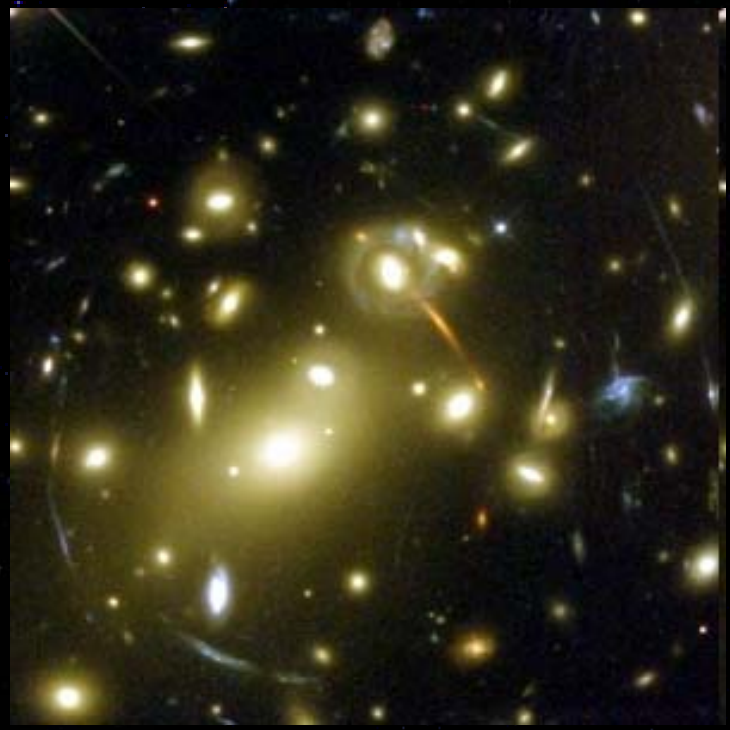


aglomerado aberto Pleiades

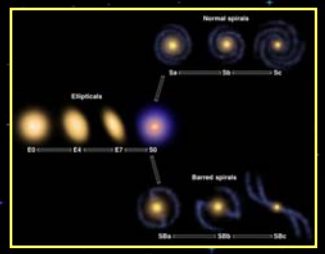
e galaxias e aglomerados de galaxias

Andromeda (nossa vizinha)

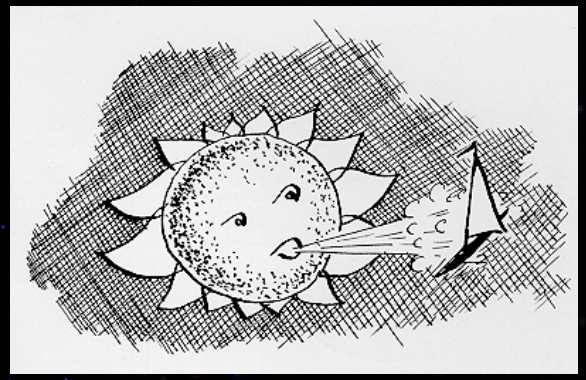
Colisões de galáxias



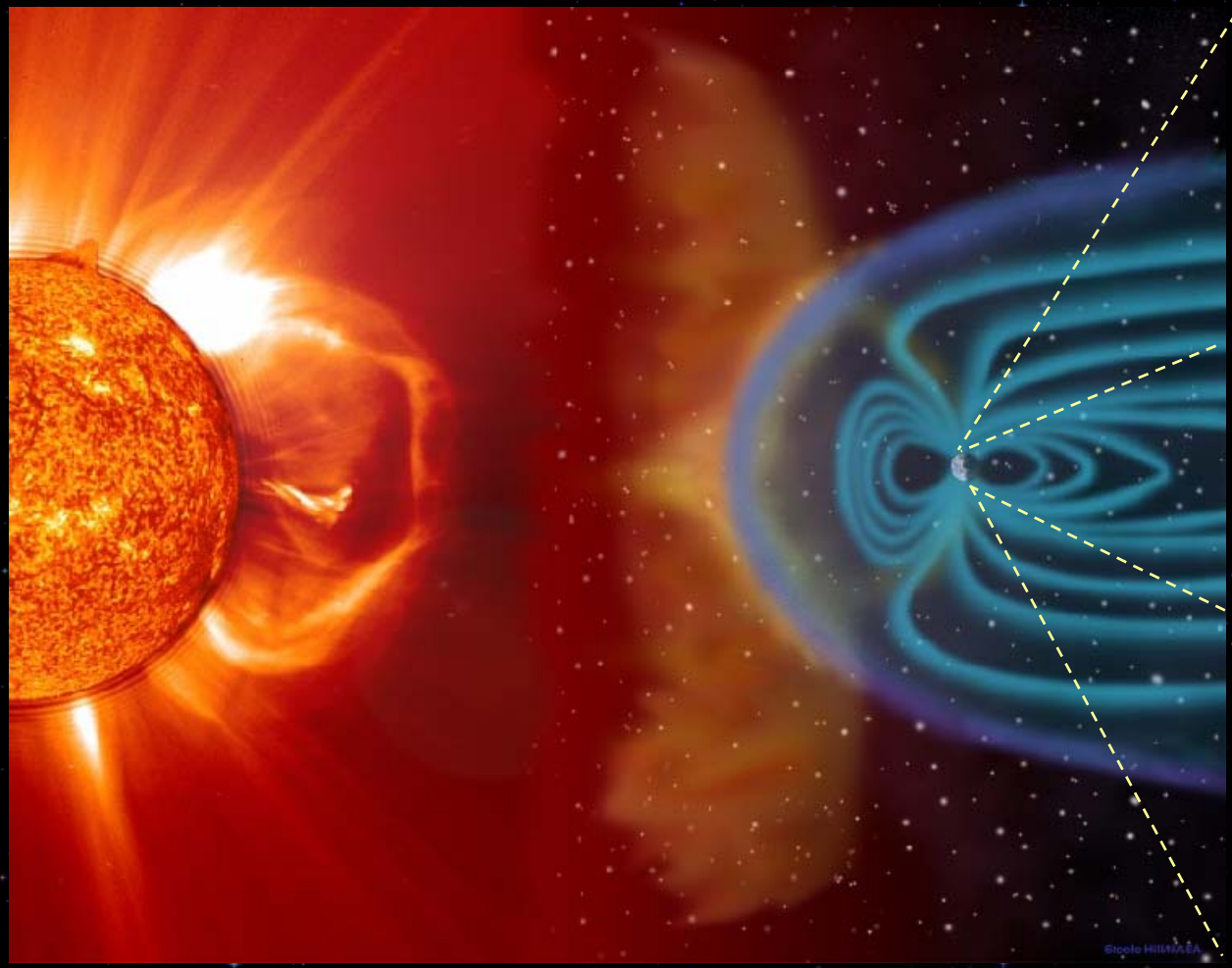
Galaxy Cluster Abell 2218
(Gravitational Lensing)



O vento estelar as moléculas



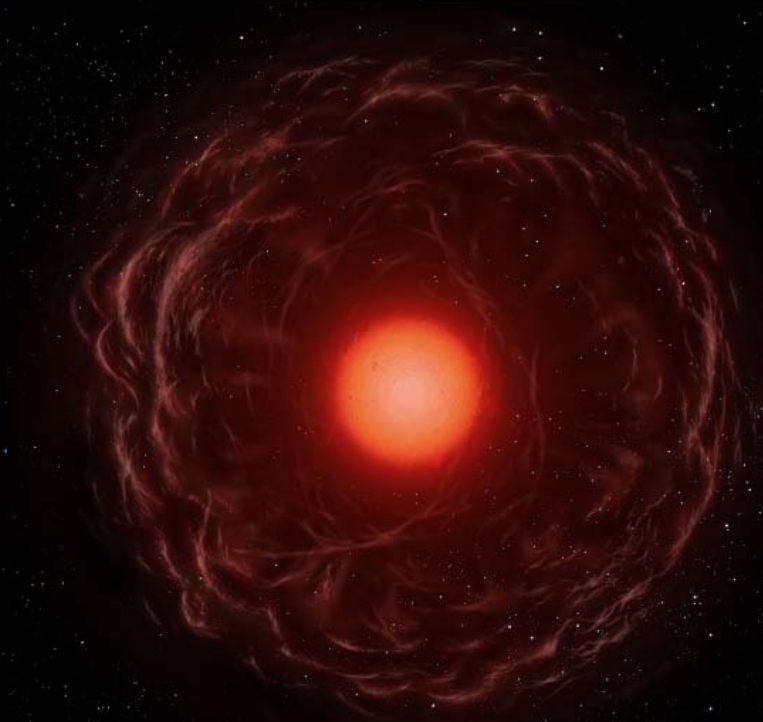
- Vento solar (auroras, tempestades solares,...)
- Vento estelar → envoltório circunstelar



Vento estelar, material circunstelar e meio interestelar

- Vento estelar → material circunstelar (estrutura em forma de disco, esférica, bipolar, jatos polares) → meio interestelar

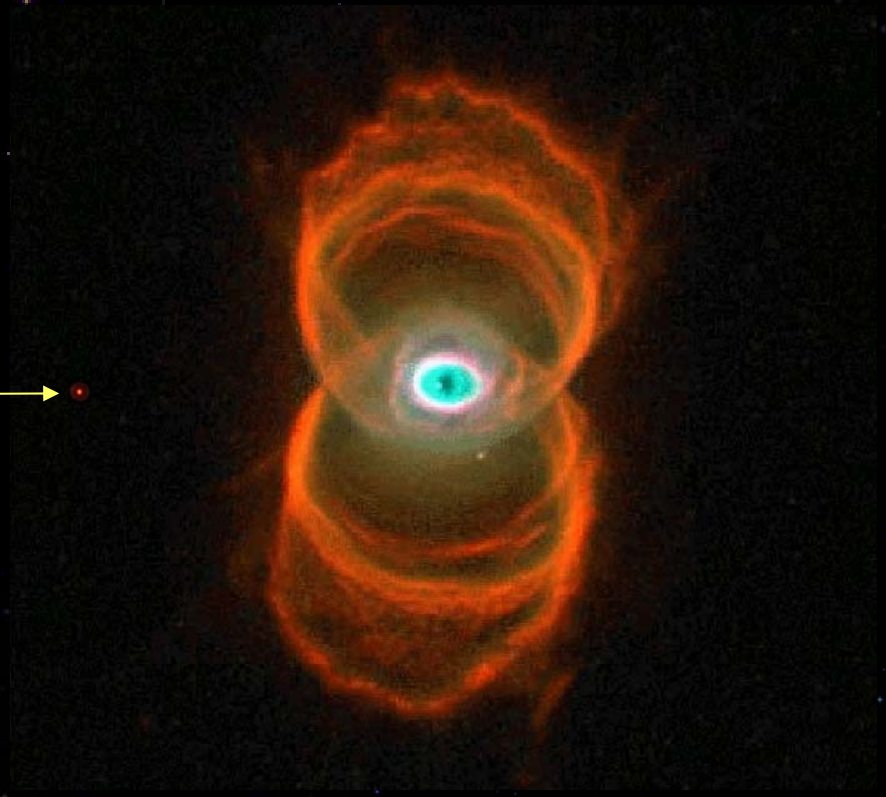
Envoltório de Estrela gigante vermelha M < 8 Msol
(ilustração)



→

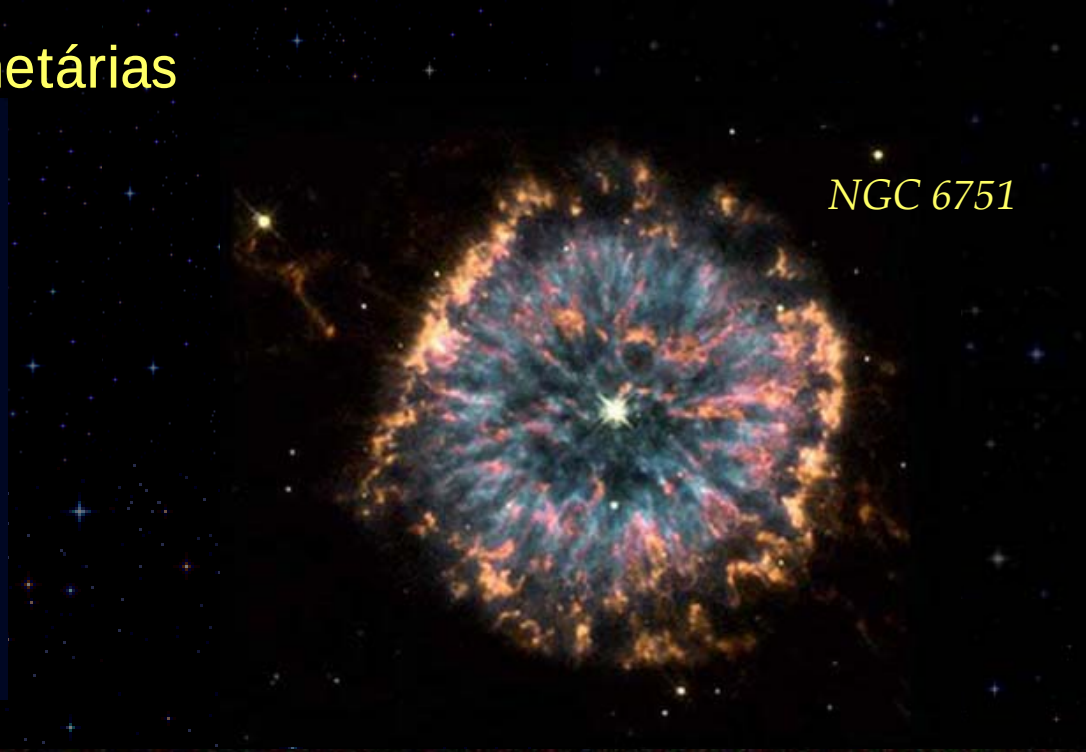
Nebulosa Planetária

Nebulosa da Ampulheta (MyCn 18)

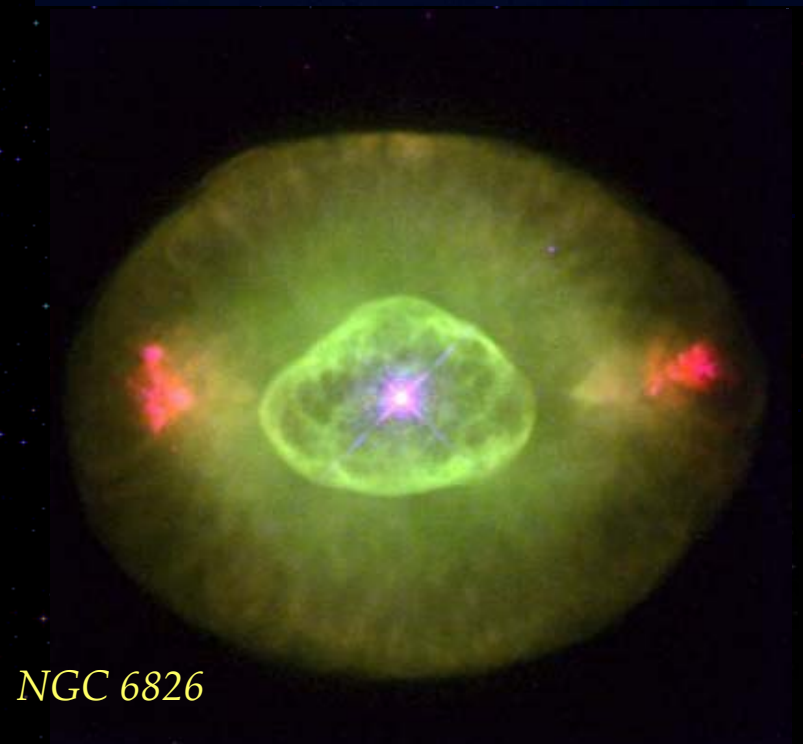


Mais ventos de nebulosa Planetárias

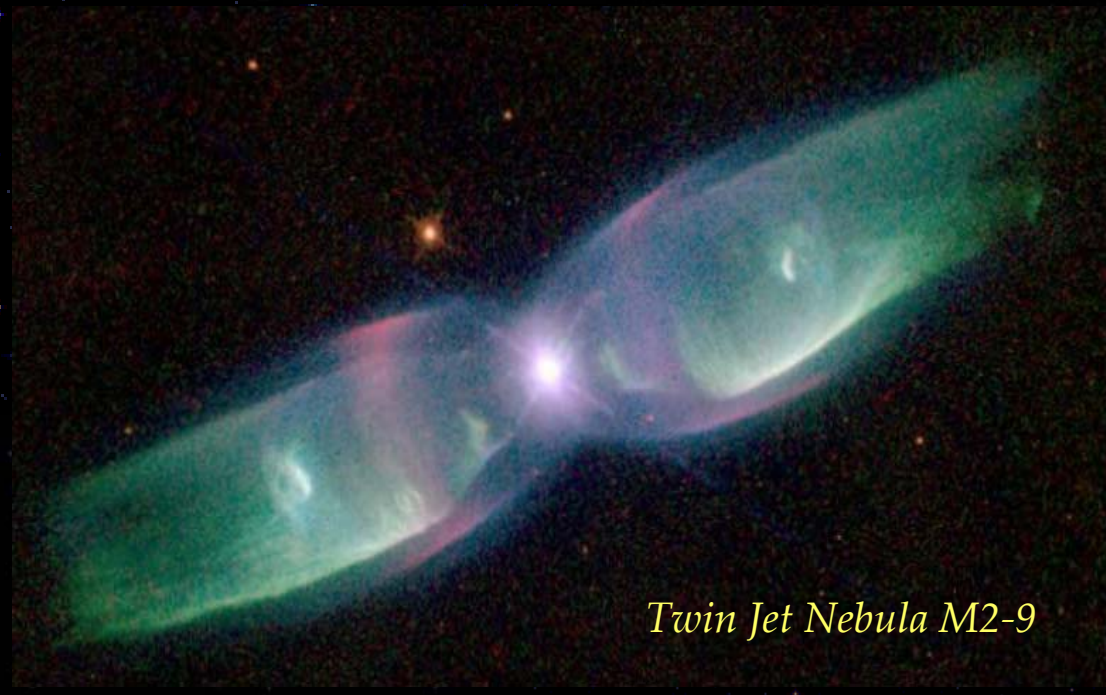
Abel 39



NGC 6751

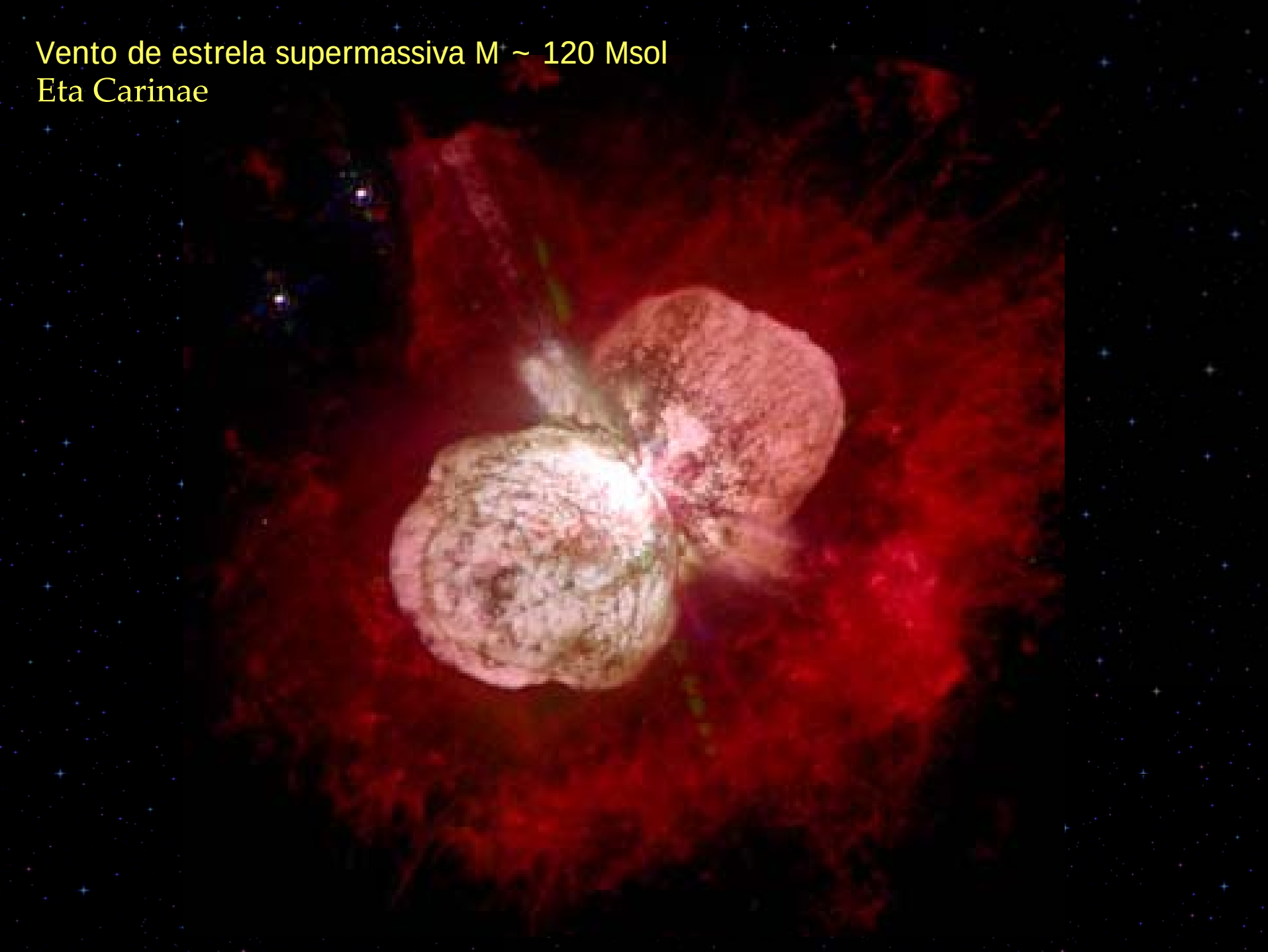


NGC 6826



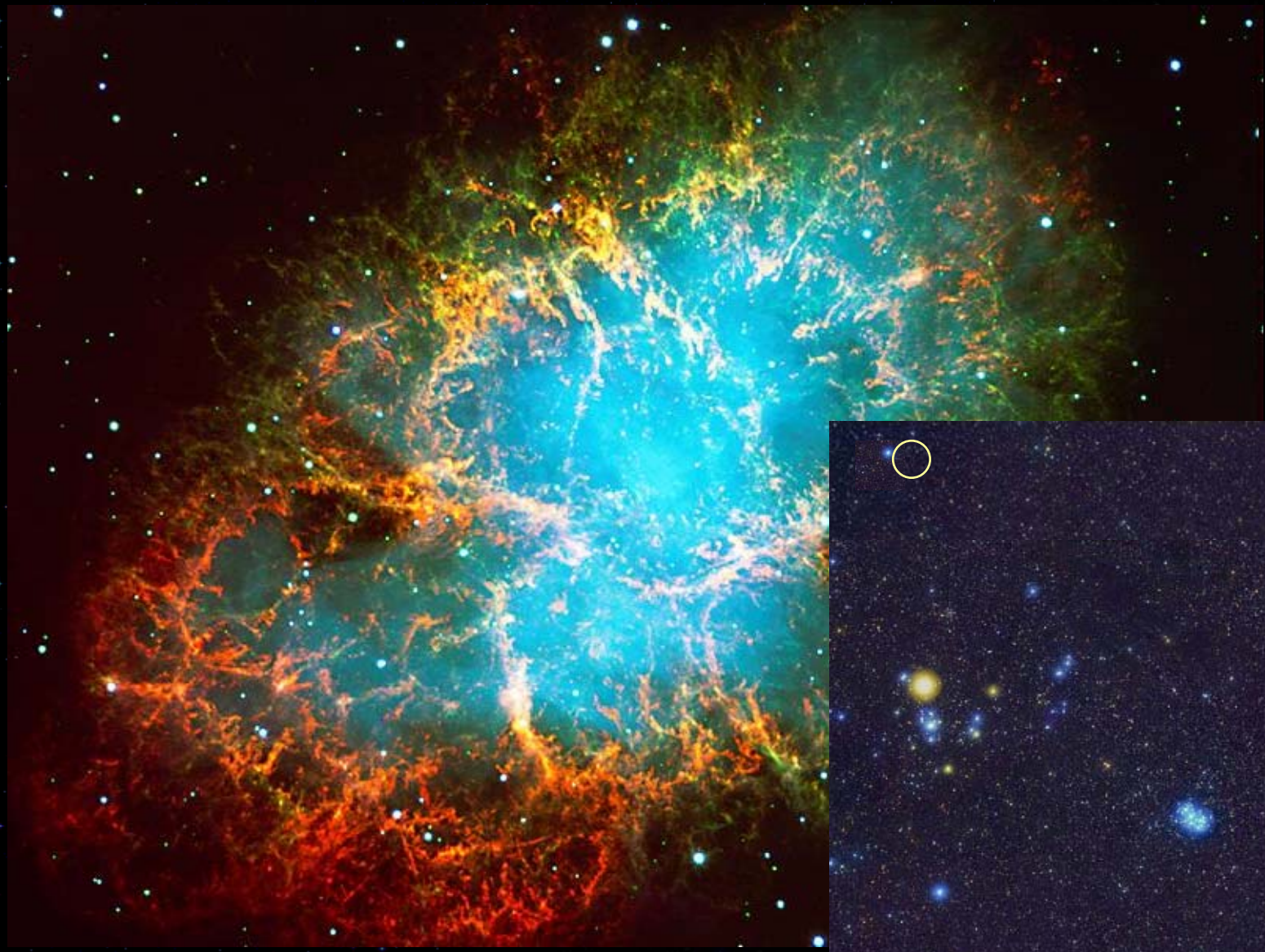
Twin Jet Nebula M2-9

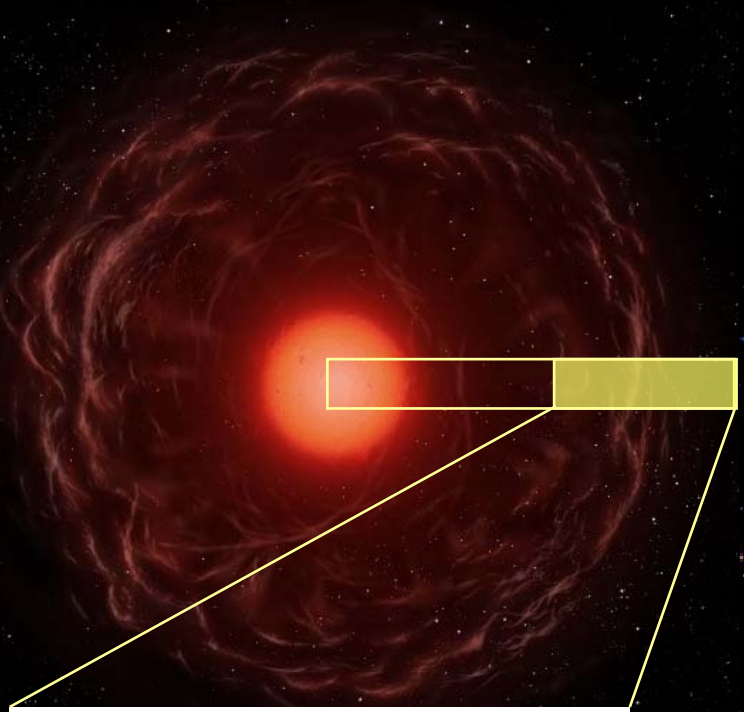
Vento de estrela supermassiva M ~ 120 Msol
Eta Carinae



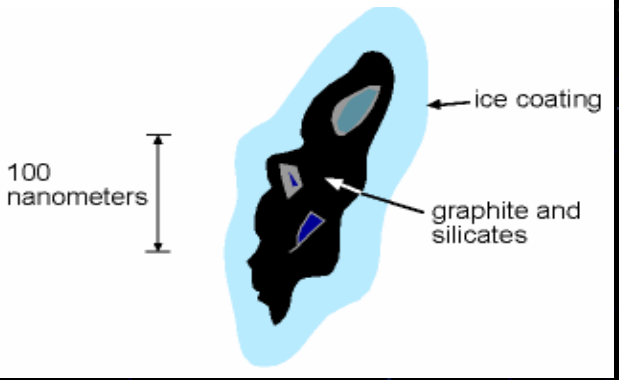
Ventos de uma remanescentes de supernova

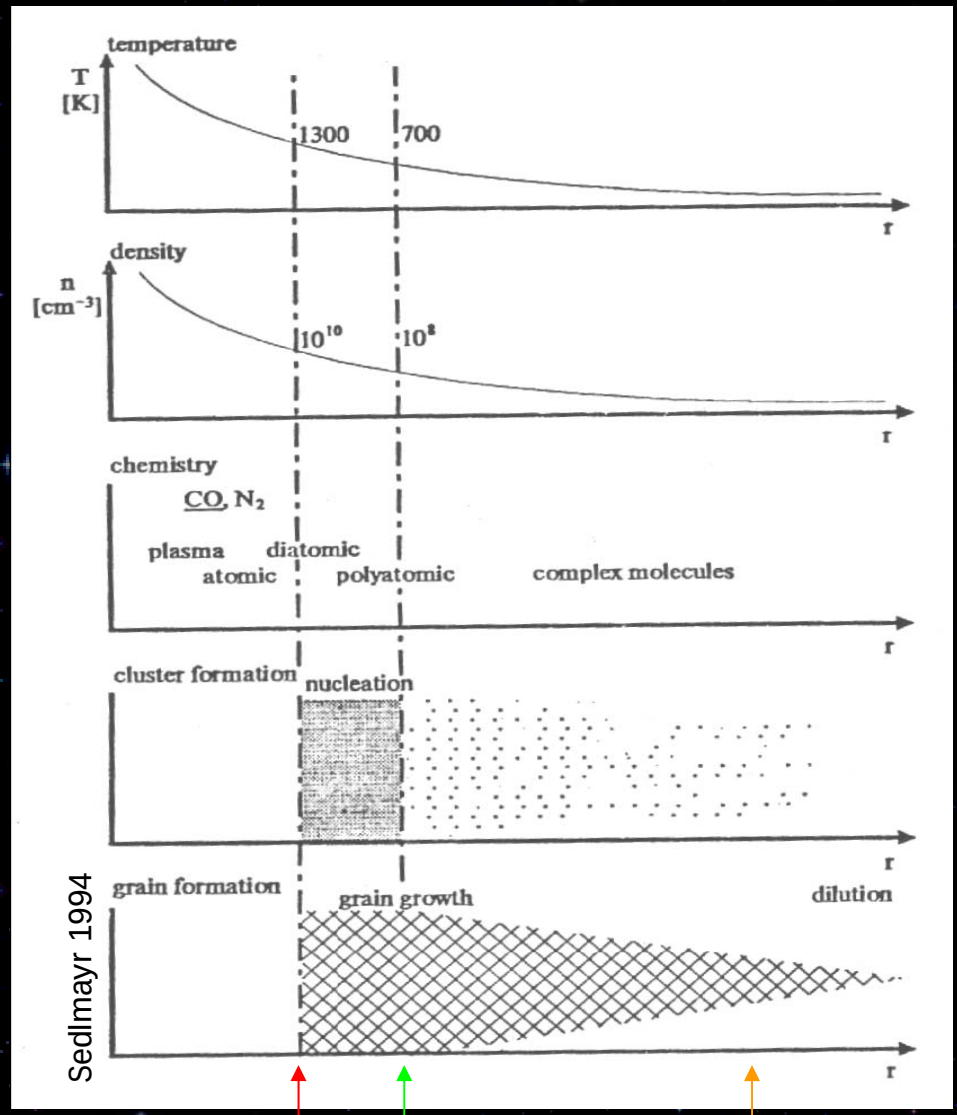
nebulosa do caranguejo





Grão circunstelar/ interestelar



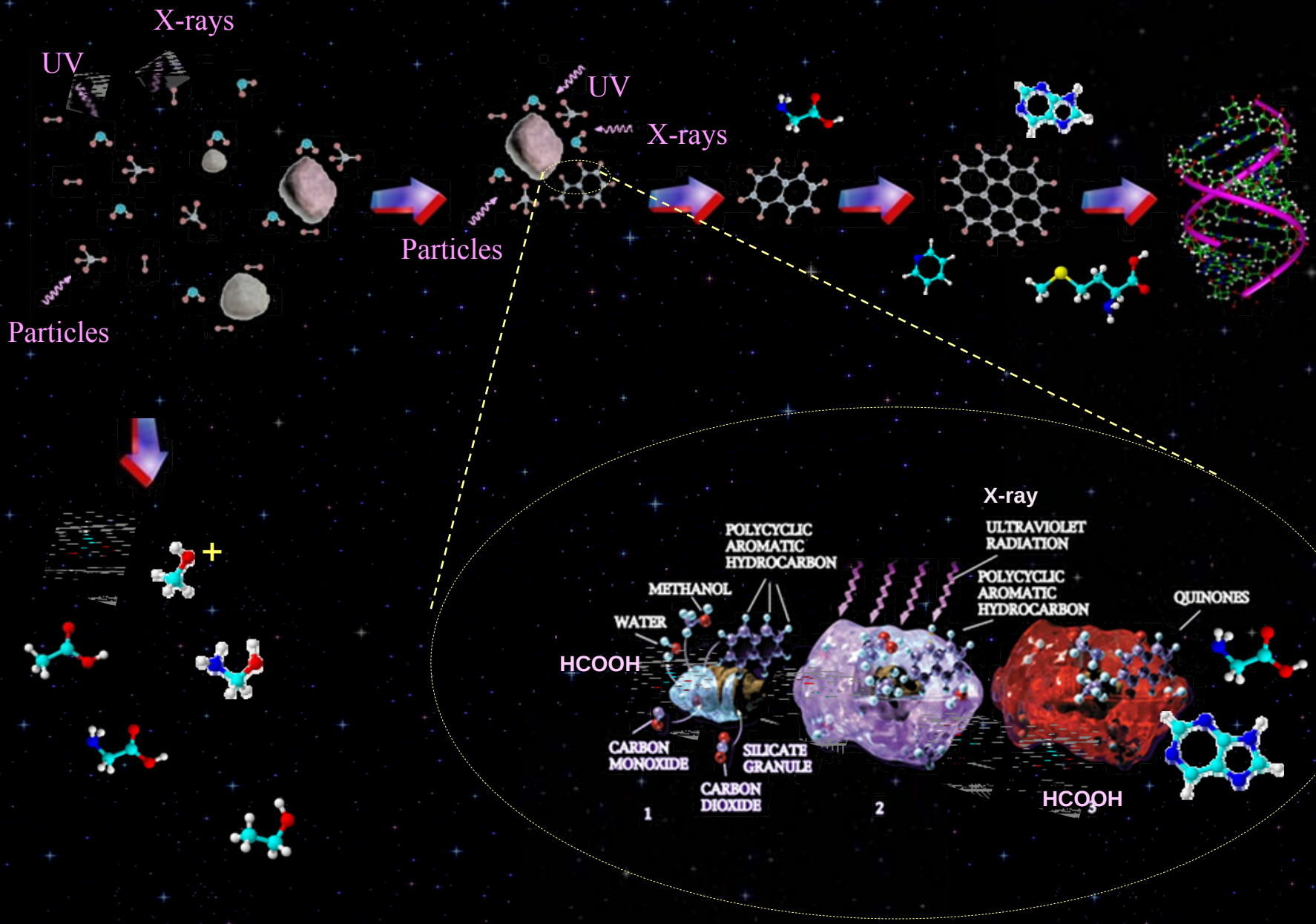


Al_2O_4 (temp ~ 1700K); silicatos (temp ~ 1400K)

Moléculas carbonaceas (C, PAHs, SiC)

Moléculas voláteis – mantos (H_2O, CH_4...)

Como essas moléculas orgânicas foram/são formadas?



Como essas moléculas são detectadas?

Telescopios Infravermlhos
(bandas vibracinais)

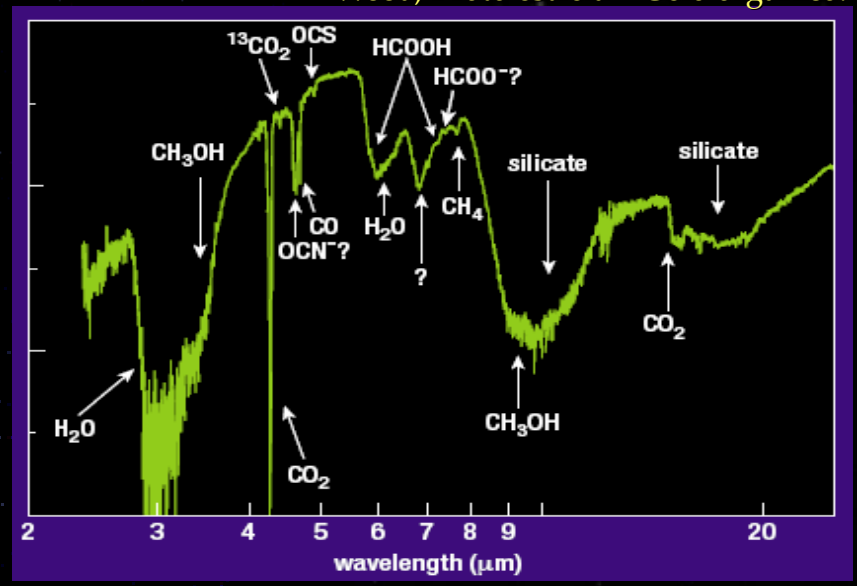
GEMINI Sul (8.1m)

SPITZER

ISO

SOAR (4.2m)

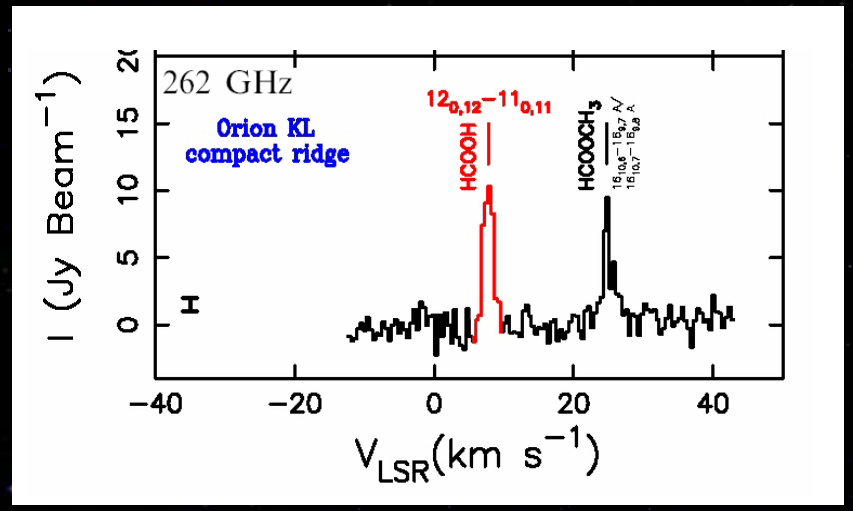
W33a, Proto estrela – Gelo orgânico!



Radiotelescopios
(linhas rotacionais)

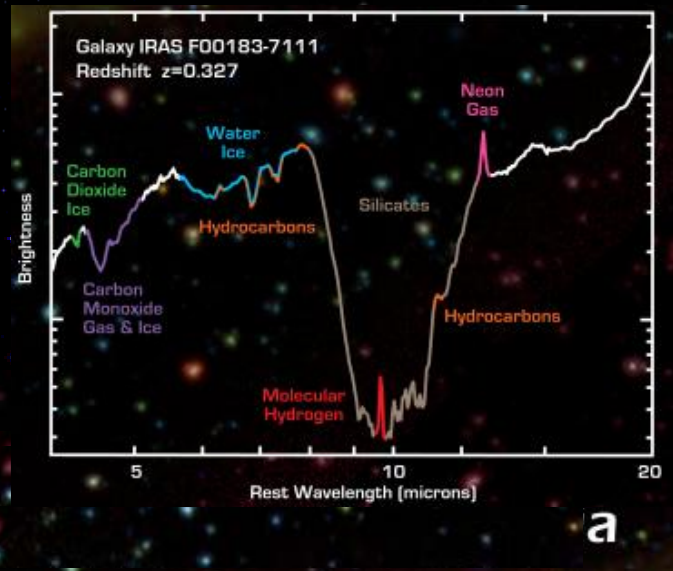
VLA

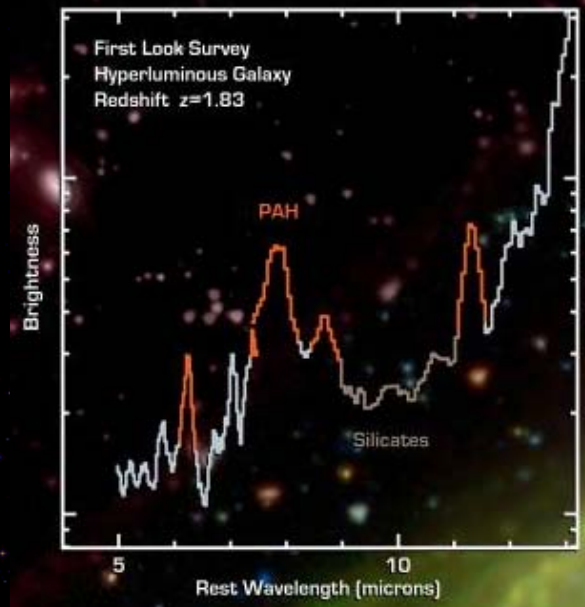
Itapetinga, SP



1ª moléculas orgânicas (~ **3.5 bi)**

Telescópio espacial SPITZER

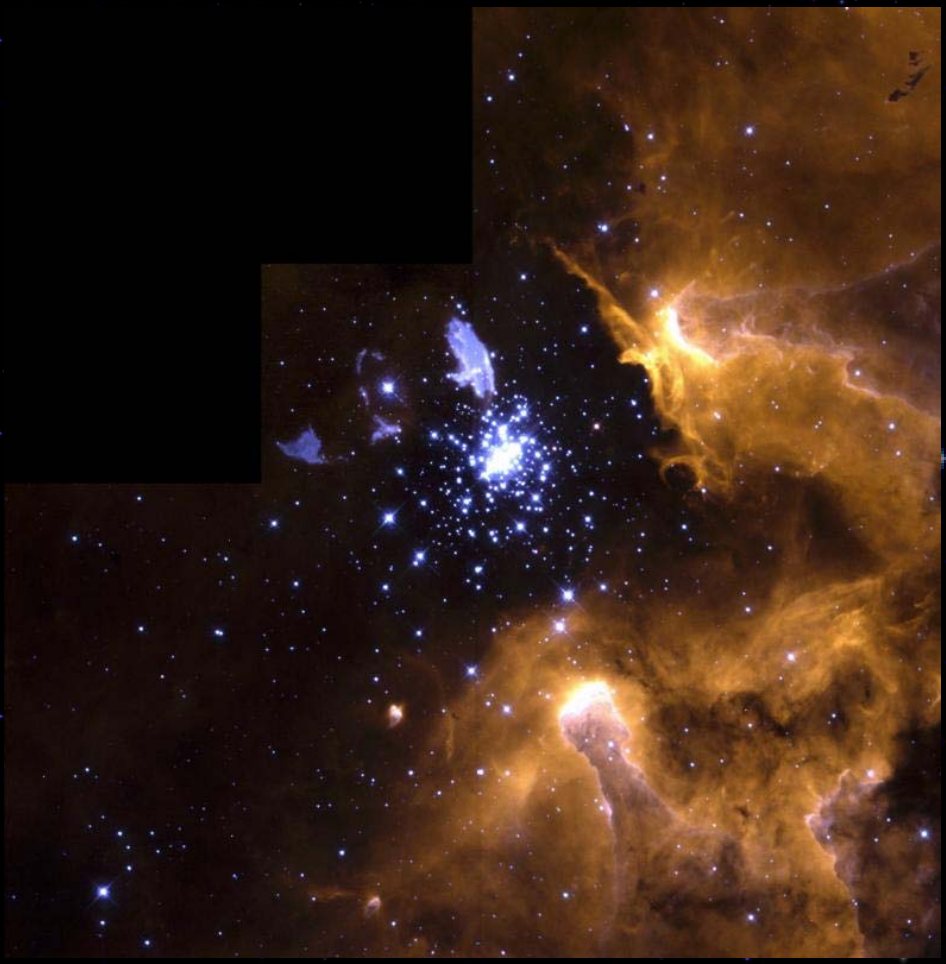




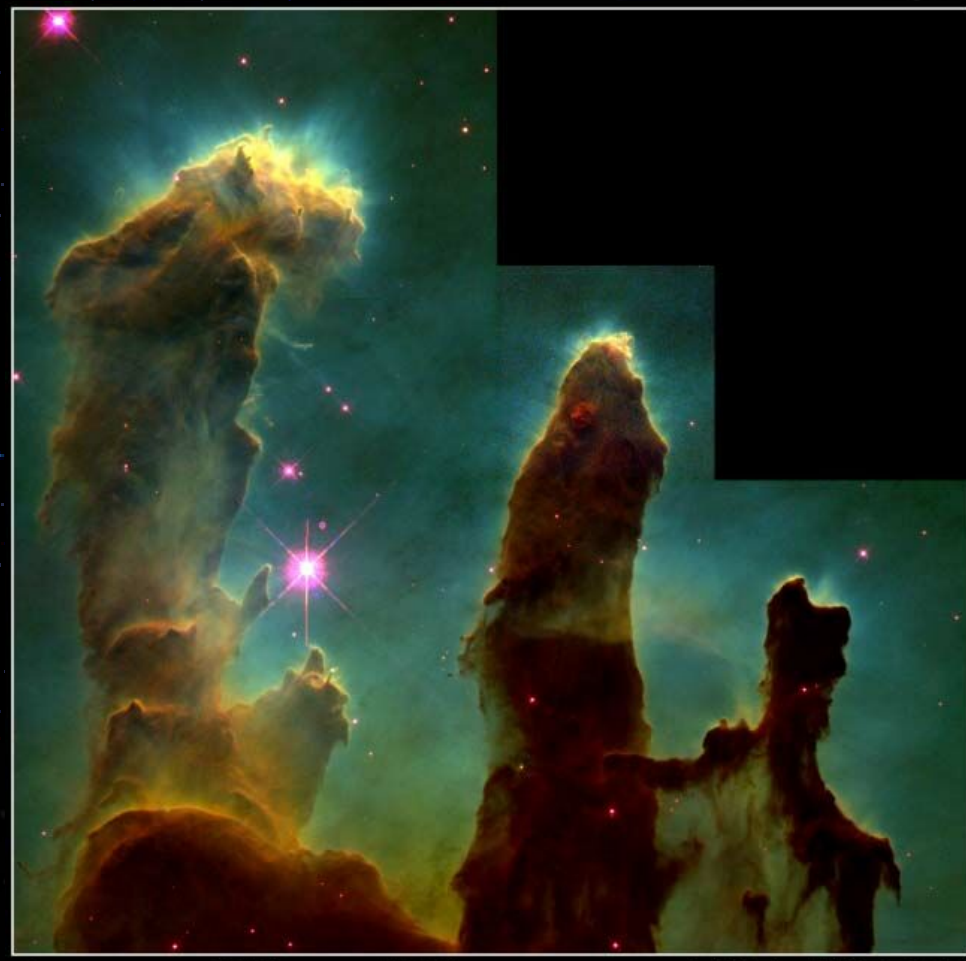
Moléculas orgânicas em galáxias distantes!

O meio interestelar

- Evolução estelar → ventos → Enriquecimento do meio interestelar
- Formação de novas estrelas (+ ricas em metais)

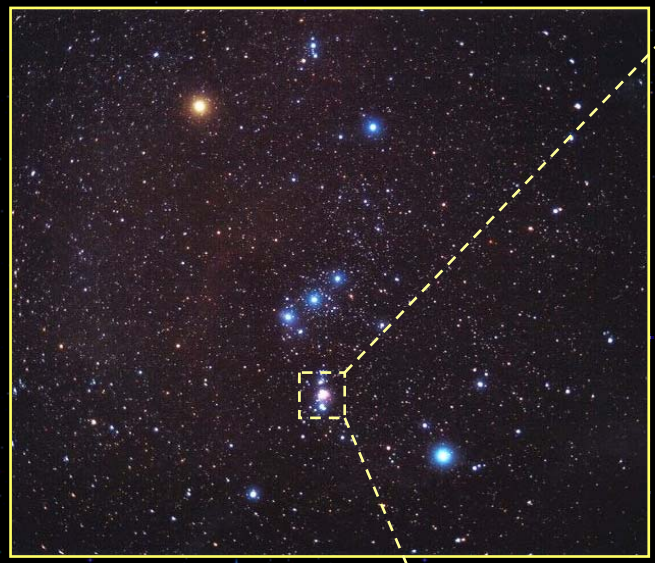


NGC 3603



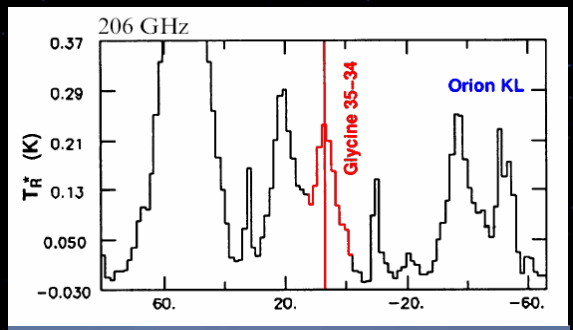
Gaseous Pillars · M16 HST · WFPC2

Nuvens moleculares: berçário estelar



Nebulosa de Orion

Nuvens moleculares: berçário estelar



Nebulosa de Orion

Universo Molecular!

Detected cosmic molecules in interstellar and circumstellar environments (adapted from Wootten 2001).

Diatomic	Triatomic	4 atoms	5 atoms	6 atoms	7 atoms	8 atoms	9 atoms	10 atoms	11 atoms	13 atoms
H_2	C_3	c-C_3H	C_5	C_5H	C_6H	CH_3C_3N	CH_3C_4H	CH_3C_5N	HC_9N	$HC_{11}N$
AlF	C_2H	l-C_3H	C_4H	l-H_2C_4	CH_2CHCN ←	$HCOOCH_3$ ←	CH_3CH_2CN ←	$(CH_3)_2CO$ ←		
AlCl	C_2O	C_3N	C_4Si	C_2H_4	CH_3C_2H	CH_3COOH ←	$(CH_3)_2O$	NH_2CH_2COOH ←		
C_2	C_2S	C_3O	l-C_3H_2	CH_3CN ←	HC_5N	C_7H	CH_3CH_2OH			
CH	CH_2	C_3S	c-C_3H_2	CH_3NC	$HCOCH_3$	CH_2OHCHO	HC_7N			
CH^+	HCN	C_2H_2	CH_2CN	CH_3OH ←	NH_2CH_3		C_8H			
CN	HCO	CH_2D^+	CH_4	CH_3SH	c-C_2H_4O					
CO	HCO^+	HCCN	HC_3N	HC_3NH^+	CH_2CHOH ←					
CO^+	HCS^+	$HCNH^+$	HC_2NC	HC_2CHO ←						
CP	HOC^+	HNCO	HCOOH ←	NH_2CHO						
CSi	H_2O	HNCS	H_2CHN	C_5N						
HCl	H_2S	$HOCO^+$	H_2C_2O							
KCl	HNC	H_2CO ←	H_2NCN							
NH	HNO	H_2CN	HNC_3							
NO	MgCN	H_2CS	SiH_4							
NS	MgNC	H_3O^+	H_2COH^+							
NaCl	N_2H^+	NH_3								
OH	N_2O	SiC_3								
PN	NaCN									
SO	OCS									
SO^+	SO_2									
SiN	c-SiC_2									
SiO	CO_2									
SiS	NH_2									
CS	H_3^+									
HF	SiCN									
SH										

Alcoóis, cetonas, ácidos carboxílicos, aminas, nitrilas, ésteres, ...

Hidrocarbonetos, PAHs, ...

Nos meteoritos também foram encontrados aminoácidos, bases nitrogenadas e açúcares!

Nuvens Moleculares (moléculas na fase gasosa e condensada)

Horse head nebula

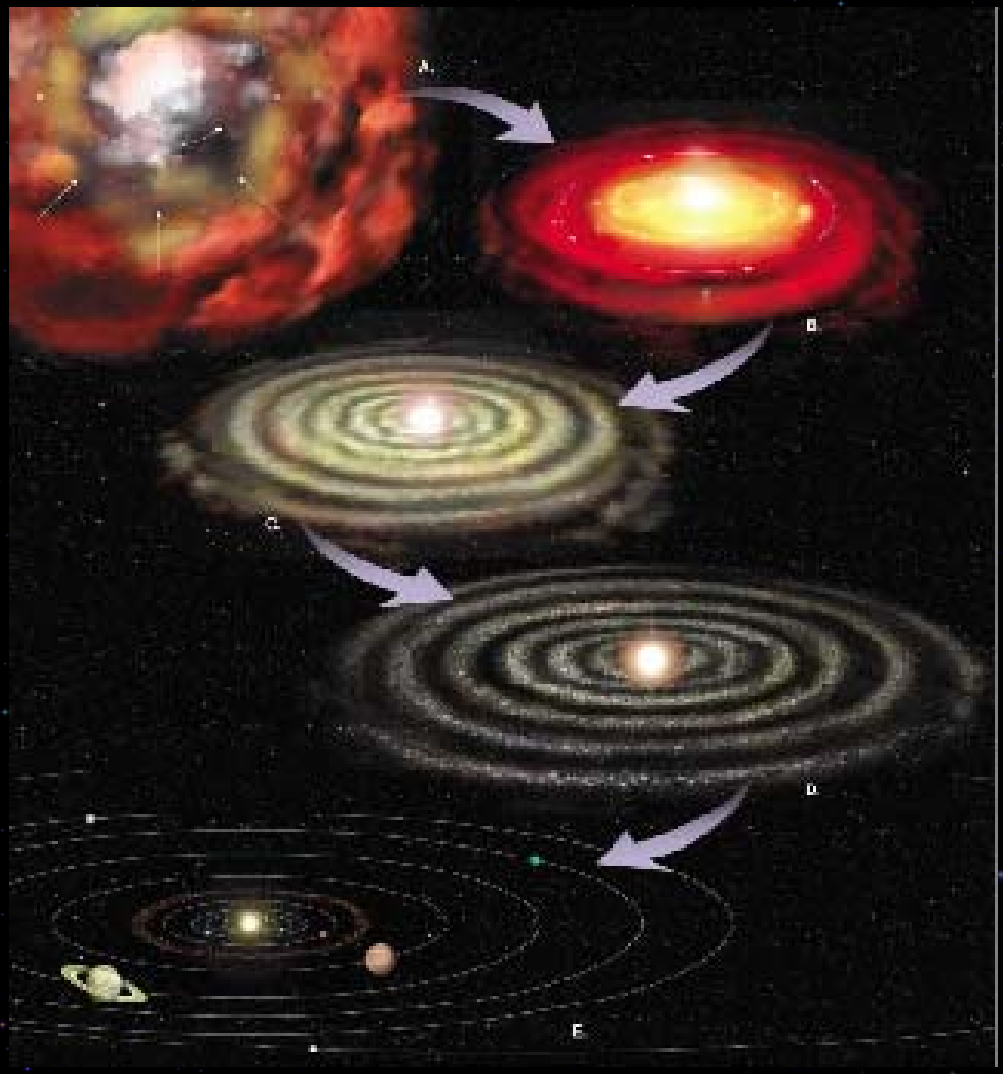
Black cloud Nebuloa (B68)

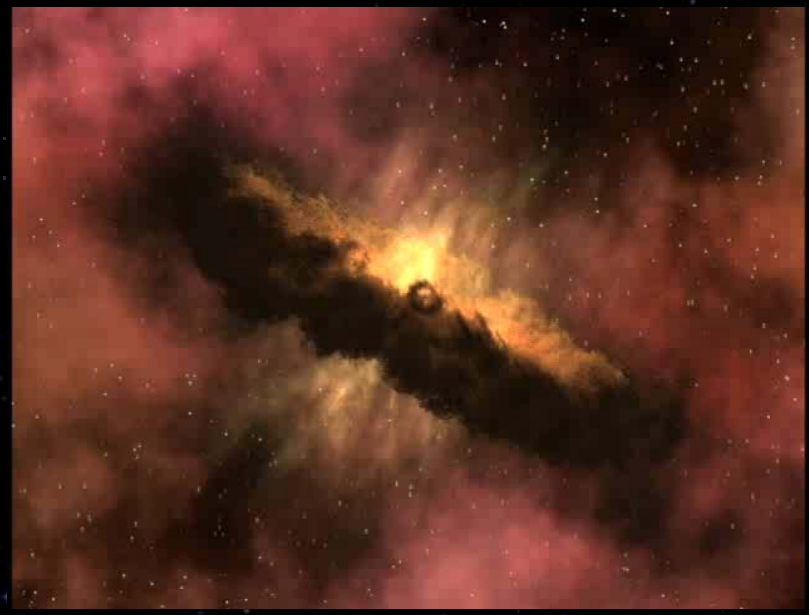
N ~ 10^4 cm^{-3} T~10-50K!

Cruzeiro do Sul e a nebulosa do saco de carvão

Gerações posteriores de estrelas (ricas em metais)

Nuvem de átomos (ex. H, He, C, N, O, ...) e moléculas (ex. H_2, silicatos, agua, CO, CO_2, etanol, acetona, amônia, ...)



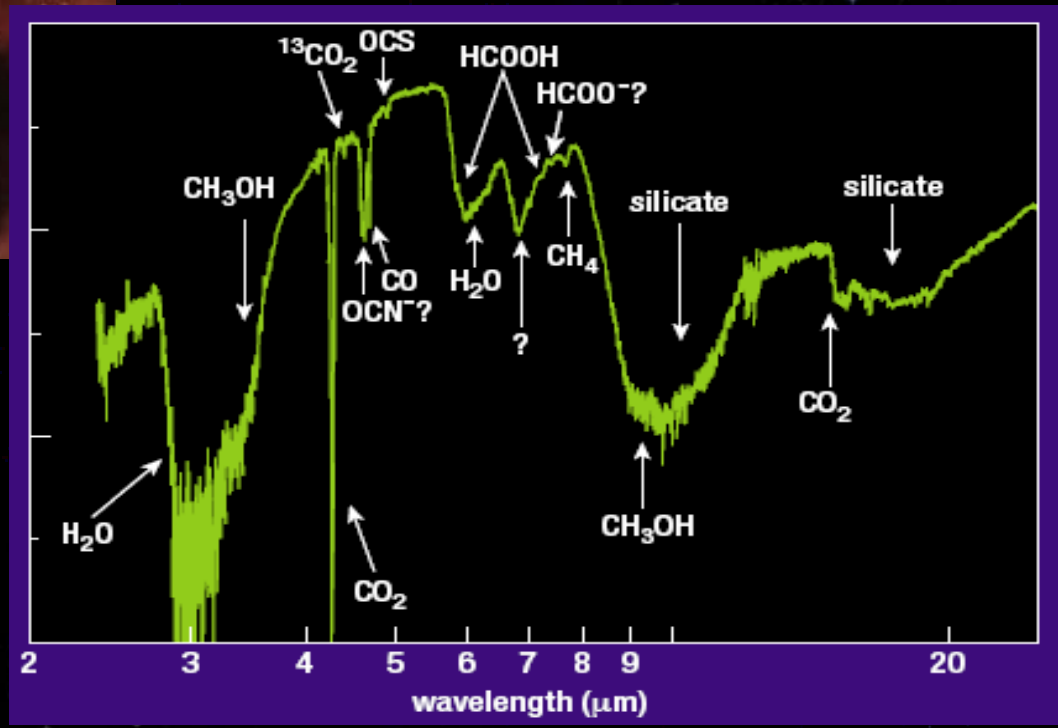


Sistemas planetários, cometas, etcs.

Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Objetos estelares jovens (YSOs) e discos proto planetários

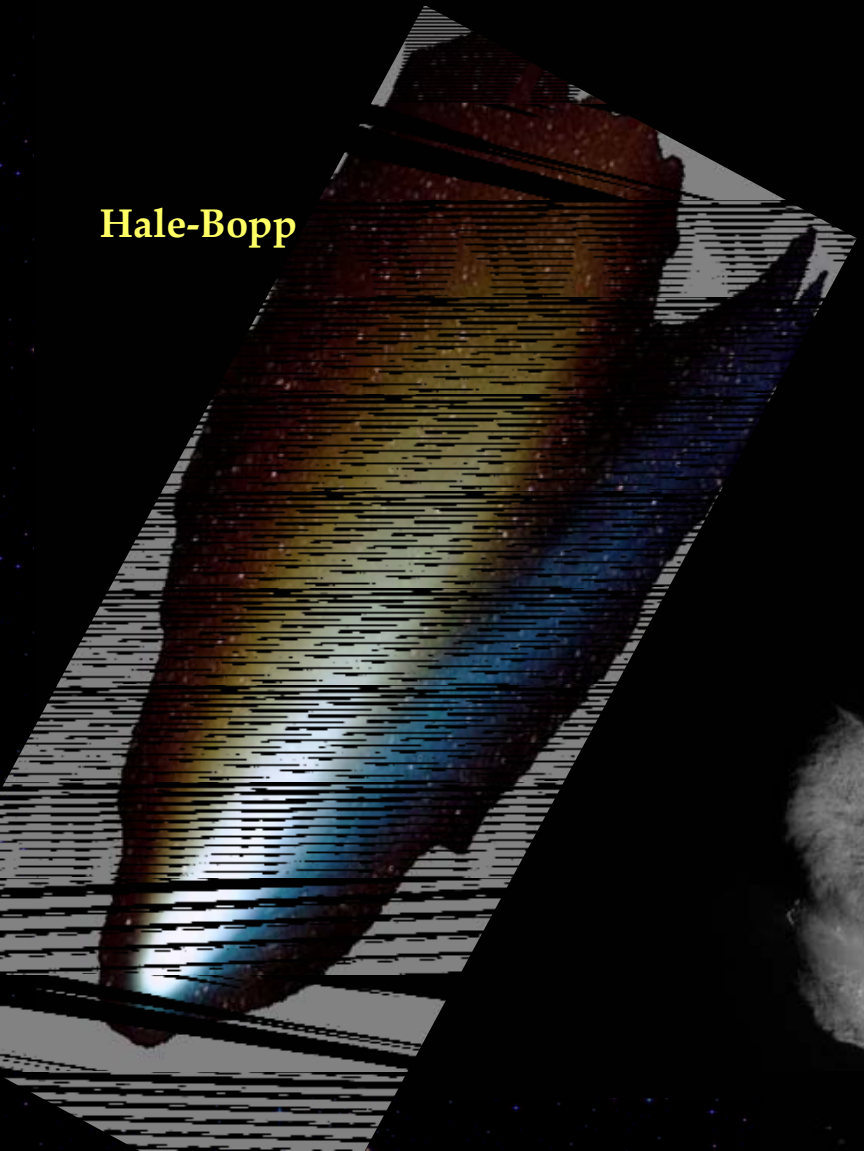
- N~ 10^4-10^8 cm^{-3}
- T ~ 10-50 K



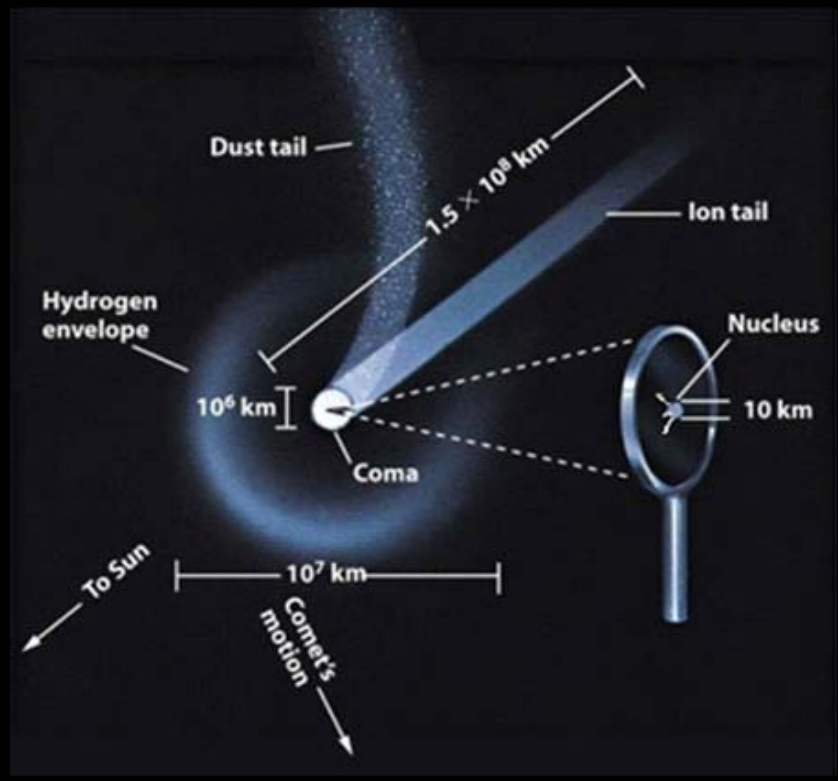
W33a, Protstar (Gibb etal 2000)

Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Cometas (~80% água. CO, CO_2, $CH_{4,\ ....}$)

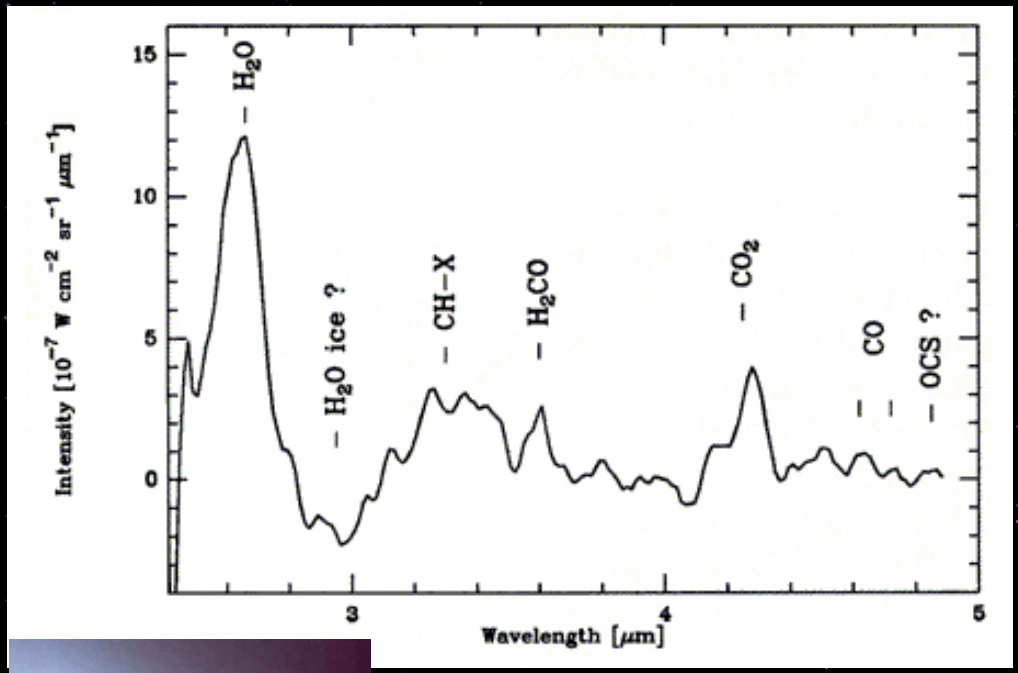


Hale-Bopp

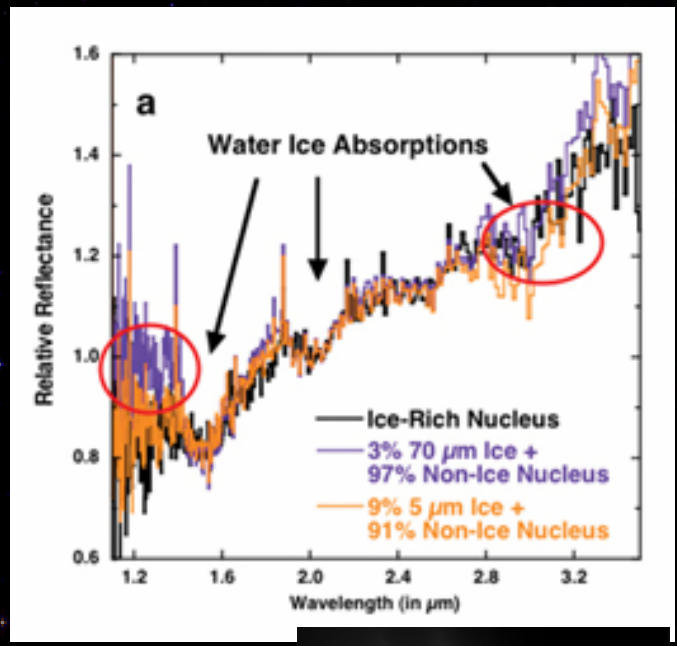


Tempel 1

Comet Halley (Combes etal 1988)



Tempel 1 (NASA)

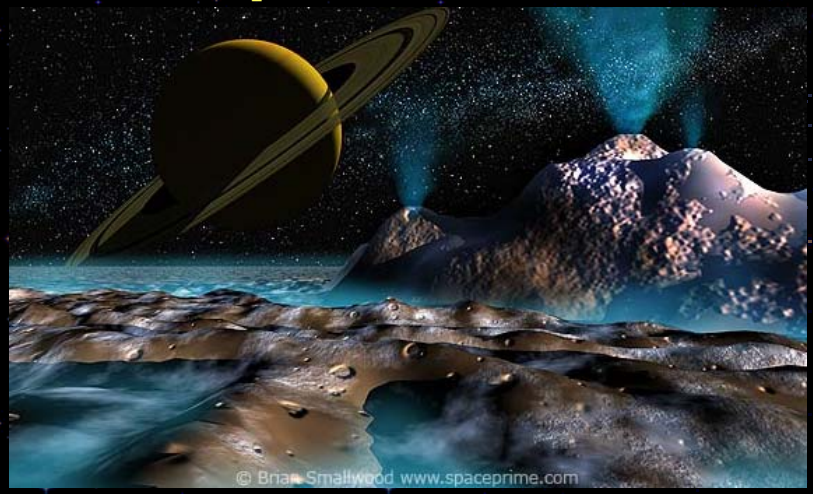


Deep impact Mission

Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Luas e Planetas.

Artist impressions of Enceladus



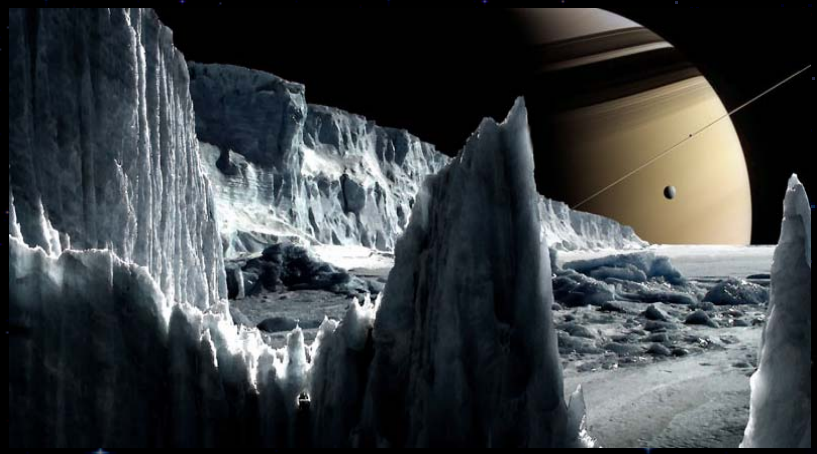


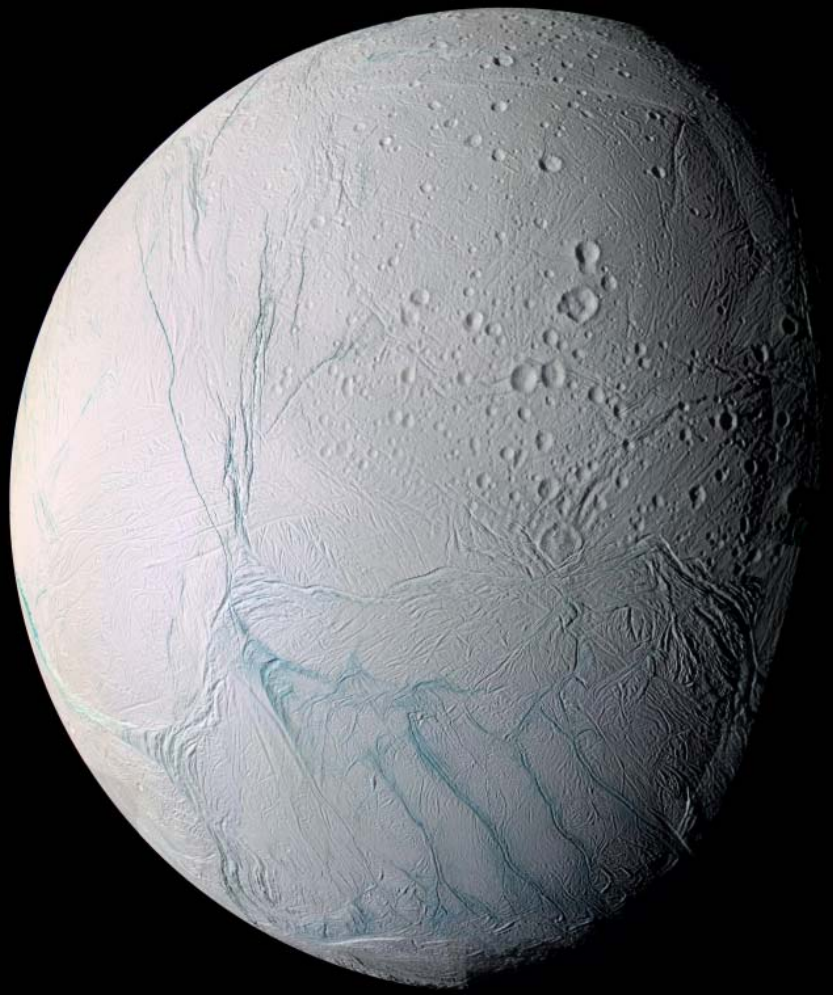
Table 1. Ices in the Solar System.

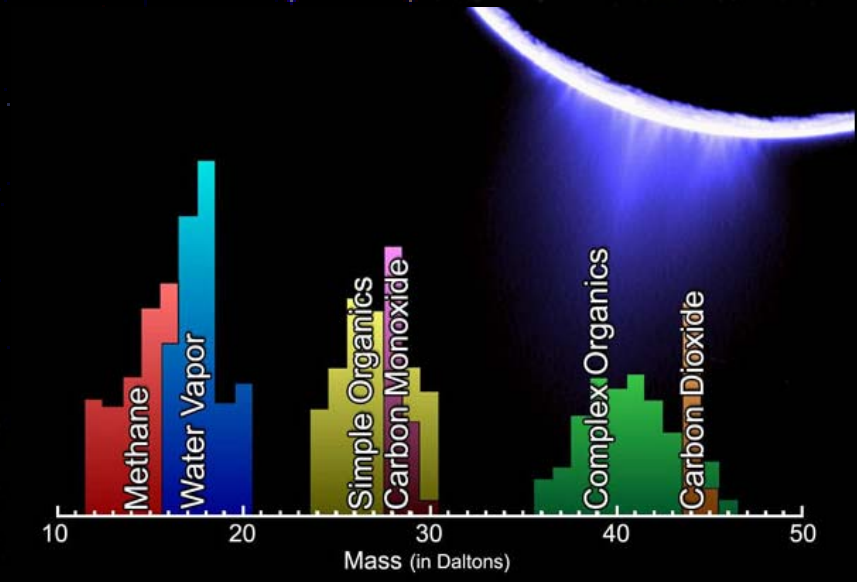
Planet Satellite (*Ref.*)	Observed Species
Jupiter	
Io	SO_2, H_2S, H_2O
Europa	H_2O, SO_2, CO_2, H_2O_2
Ganimede	H_2O, O_2, O_3, CO_2
Callisto	H_2O, SO_2, CO_2
(*Calvin et al. 1995; Nash and Betts 1995*)	
Saturn	
Mimas	H_2O
Enceladus	H_2O
Tetis	H_2O
Dione	H_2O, O_3
Rhea	H_2O, O_3
Hyperion	H_2O
Iapetus	H_2O
(*Morrison et al. 1984; Cruikshank et al. 1984; Thomas et al. 1986*)	
Uran	
Miranda	H_2O
Ariel	H_2O
Umbriel	H_2O
Titania	H_2O
Oberon	H_2O
(*Cruikshank et al. 1995*)	
Neptune	
Triton	N_2, CH_4, CO, CO_2, H_2O
(*Brown et al. 1995*)	
Pluto*	N_2, CH_4, CO, H_2O
Charon	H_2O
(*Cruikshank et al. 1995*)	

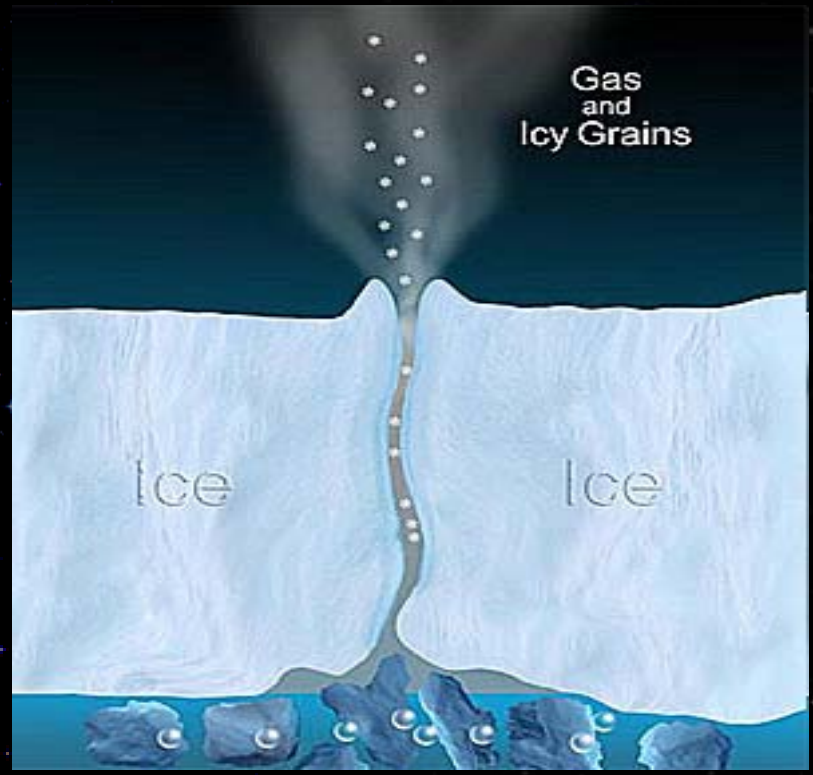
* After IAU resolution, in 2006, Pluto is a *dwarf planet* and is recognized as the prototype of trans-Neptunian objects.

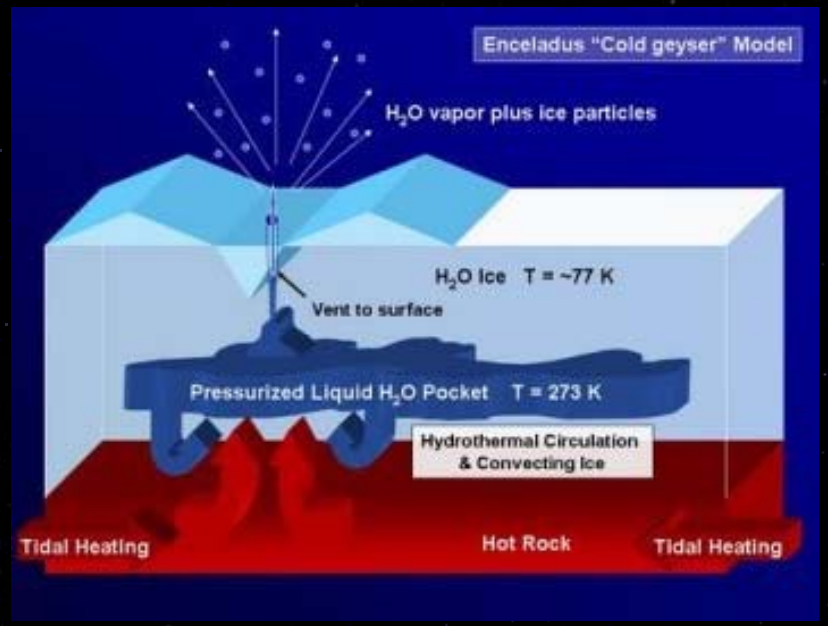
- Luas e Planetas.

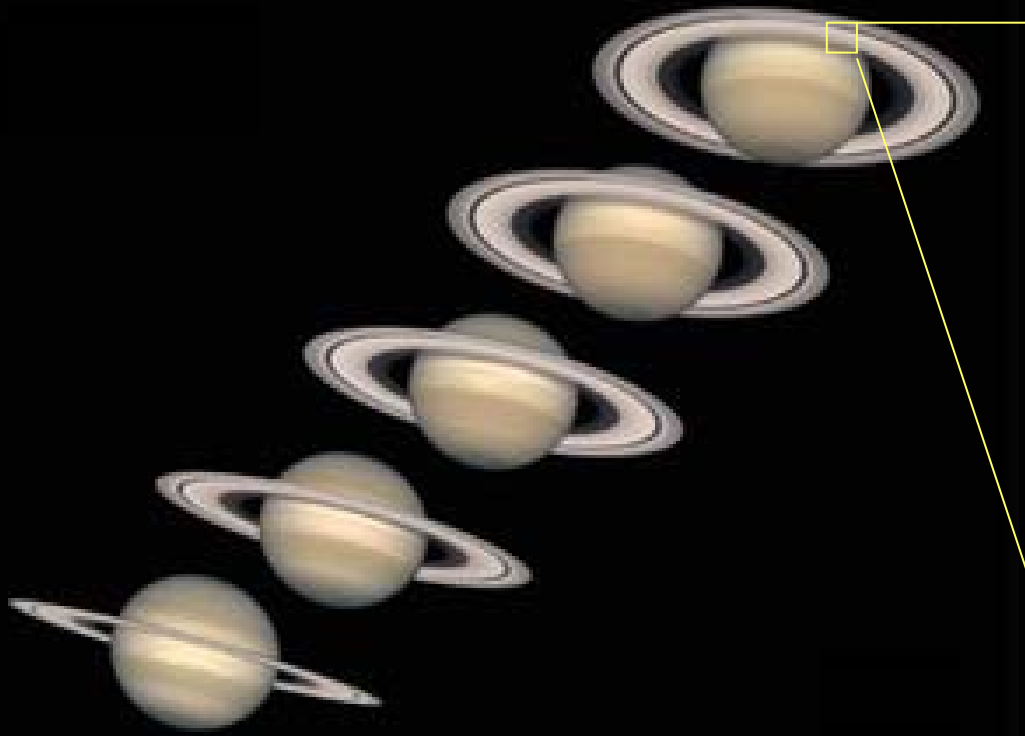
Enceladus (lua de Saturno).

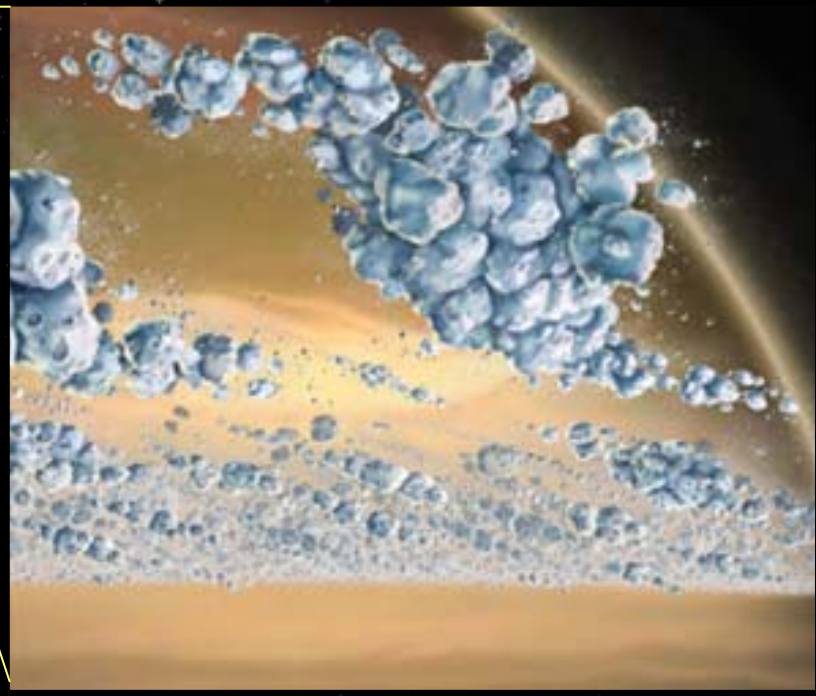




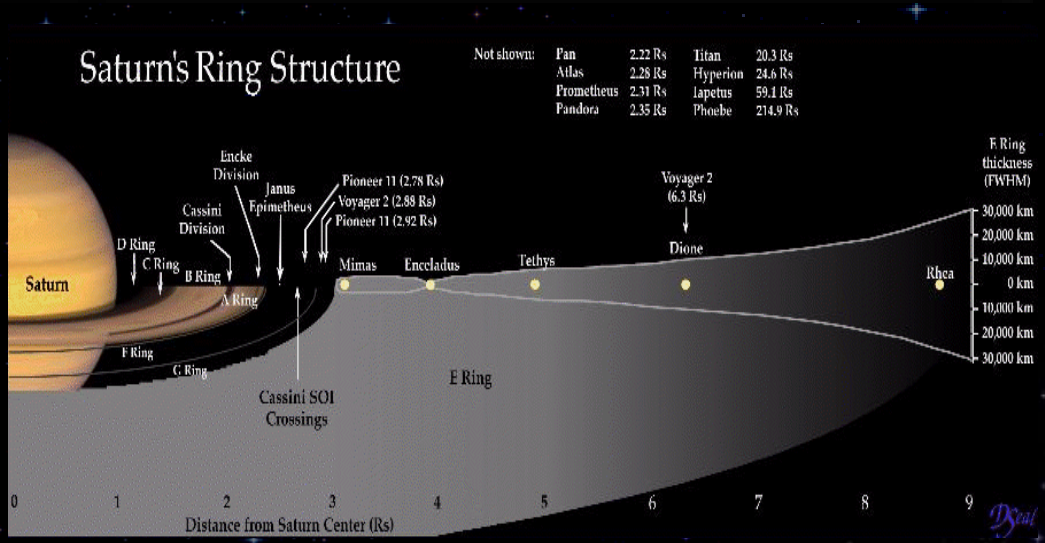

Gas
and
Icy Grains
Ice
Ice


Enceladus "Cold geyser" Model
H_2O vapor plus ice particles
H_2O Ice T = ~77 K
Vent to surface
Pressurized Liquid H_2O Pocket T = 273 K
Hydrothermal Circulation
& Convecting Ice
Tidal Heating
Hot Rock
Tidal Heating





Gelo de água ~ 99% + silicatos
1 cm - 10 mt.
Enceladus?

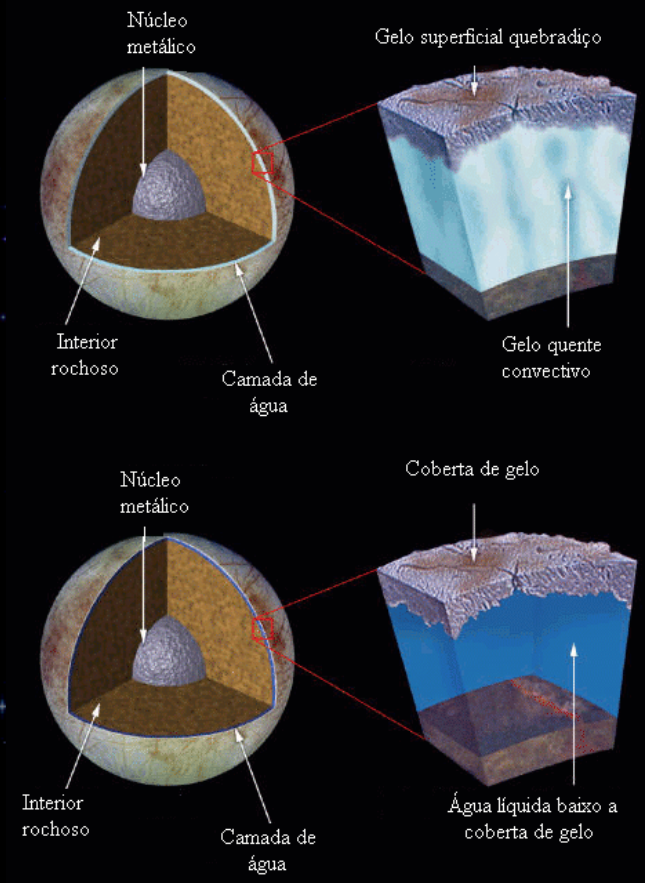


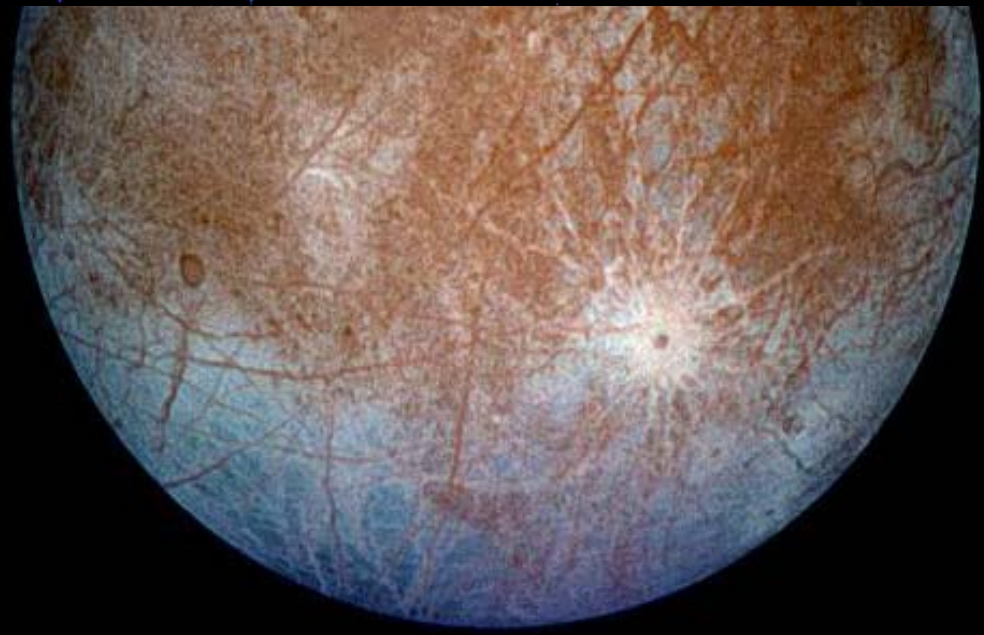
Anéis de Saturno

Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Luas e Planetas.

Europa (lua de Jupiter).

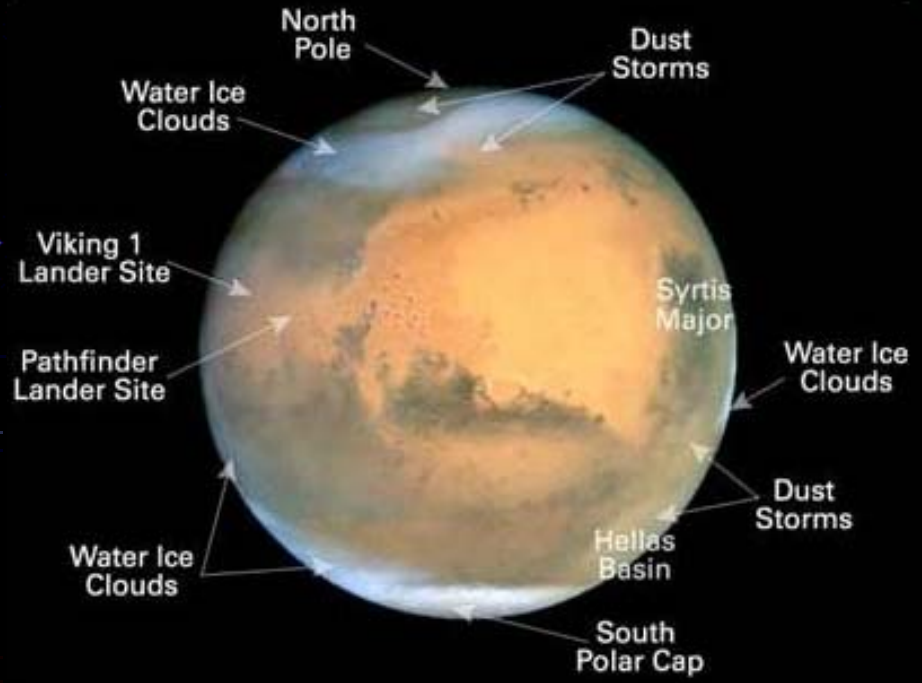


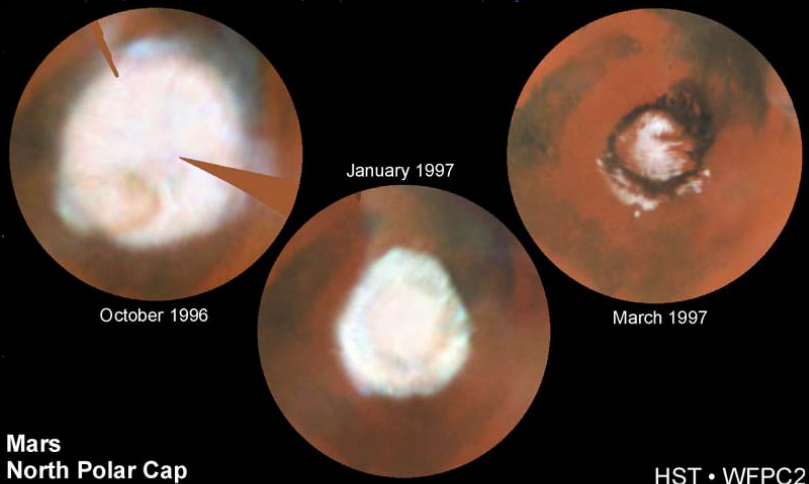


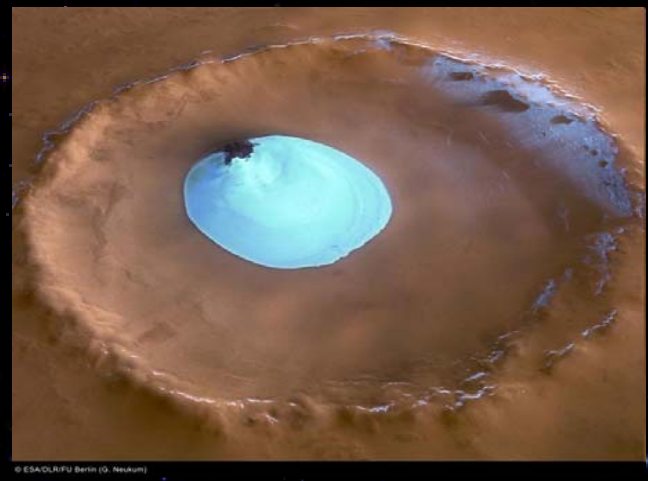
Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Luas e Planetas

Marte (T~ −46 °C)



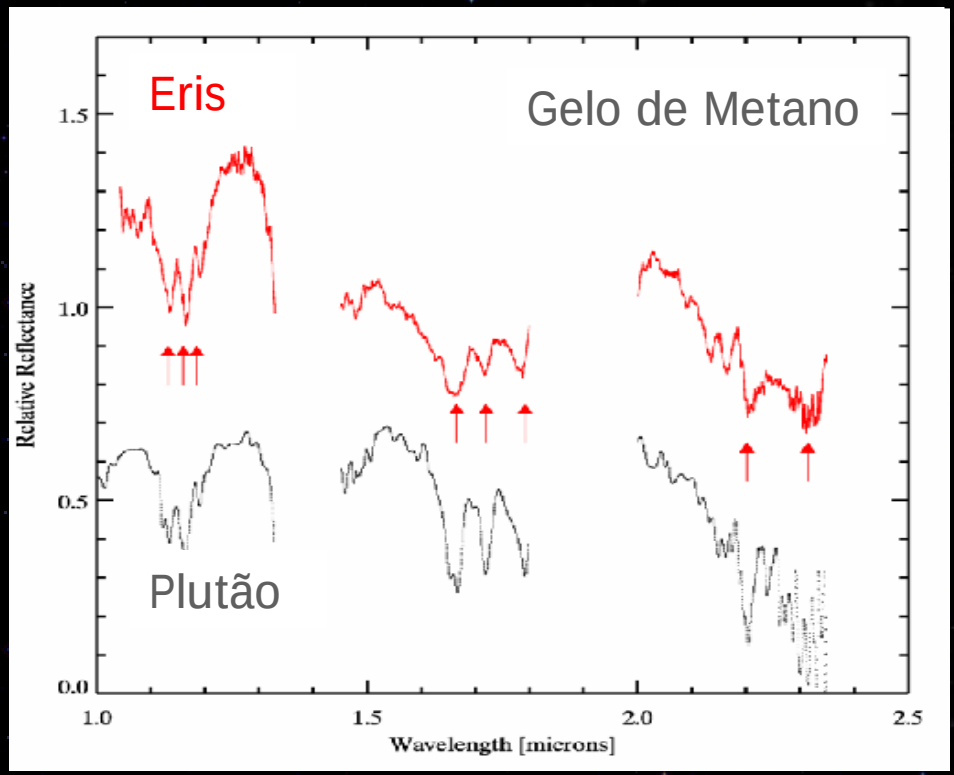




Moléculas e gelos extraterrestres: outras evidências observacionais

- Planetas anões

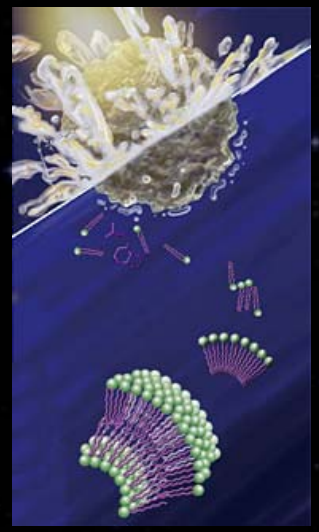
Plutão e Eris

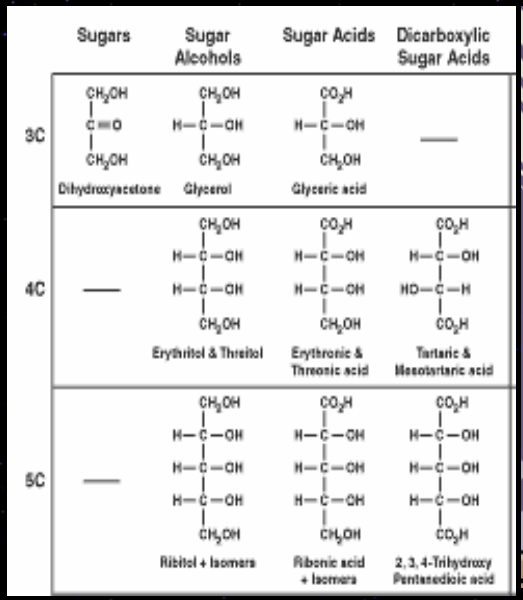


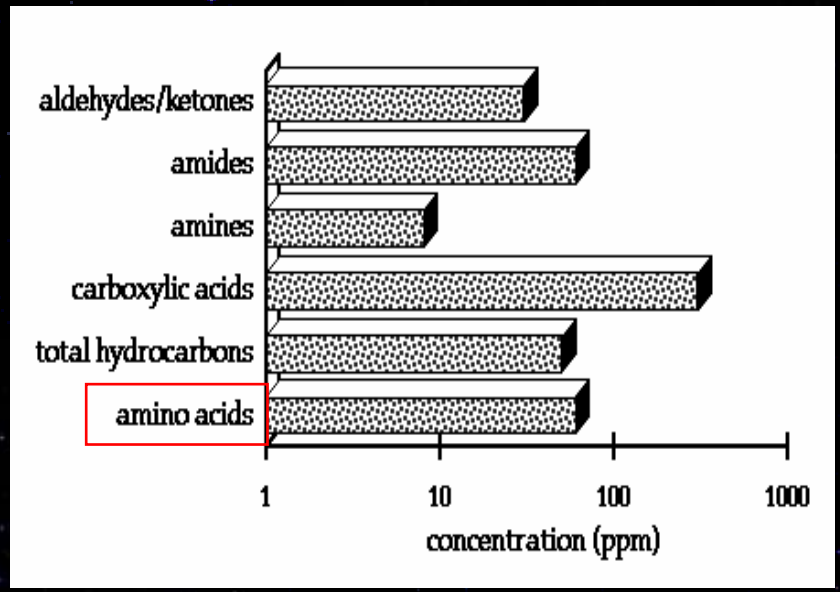
Aonde mais essas moléculas são encontradas?

Murchison meteorite

- Aminoácidos
- Bases de DNA.
- Açúcares
- Precursores de Fosfolipídios →







Aonde mais essas moléculas são encontradas?

Titã

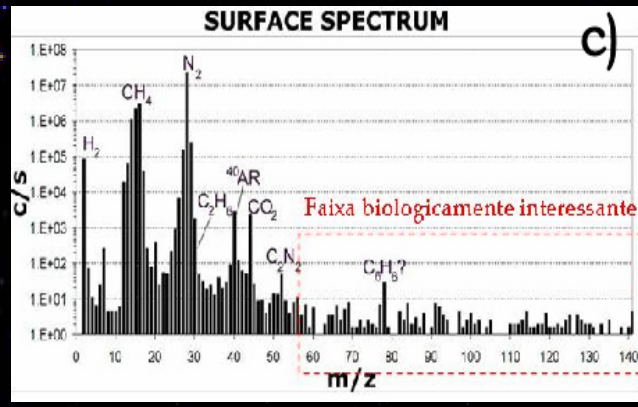
Metano e gelo de água fazem o papel da água e silicatos na terra.

T_{sup} ~ 100K, P_{sup} ~1.5 atm.

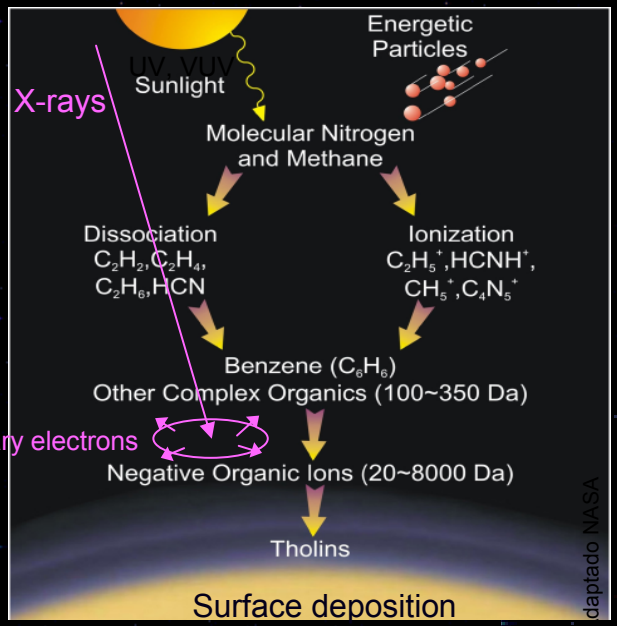
a)

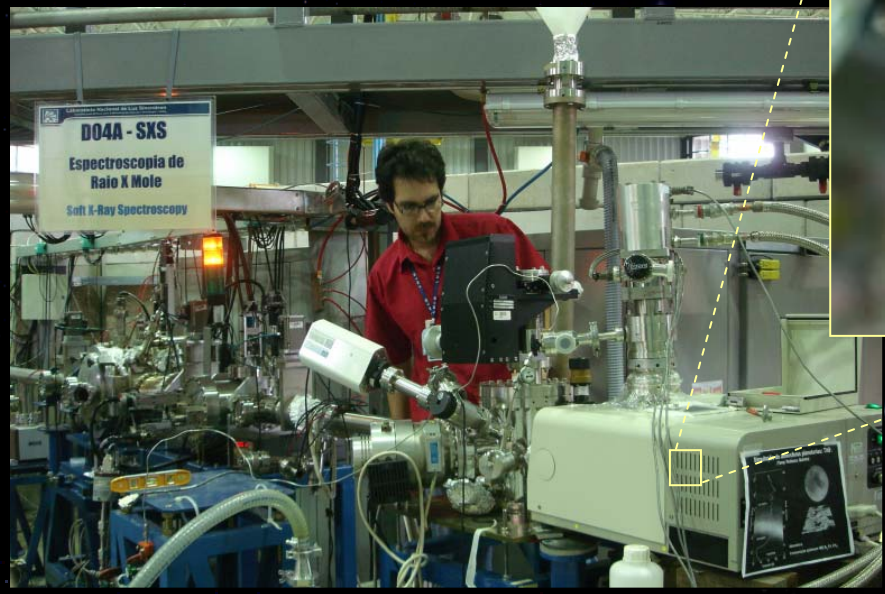
Cassini-Huygens spacecraft, 2004

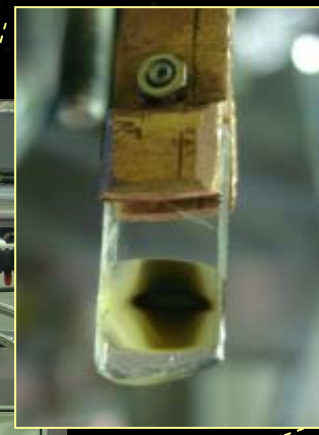
b)



EXPERIMENTOS: Base nitrogenada de DNA (adenina) em Titã?

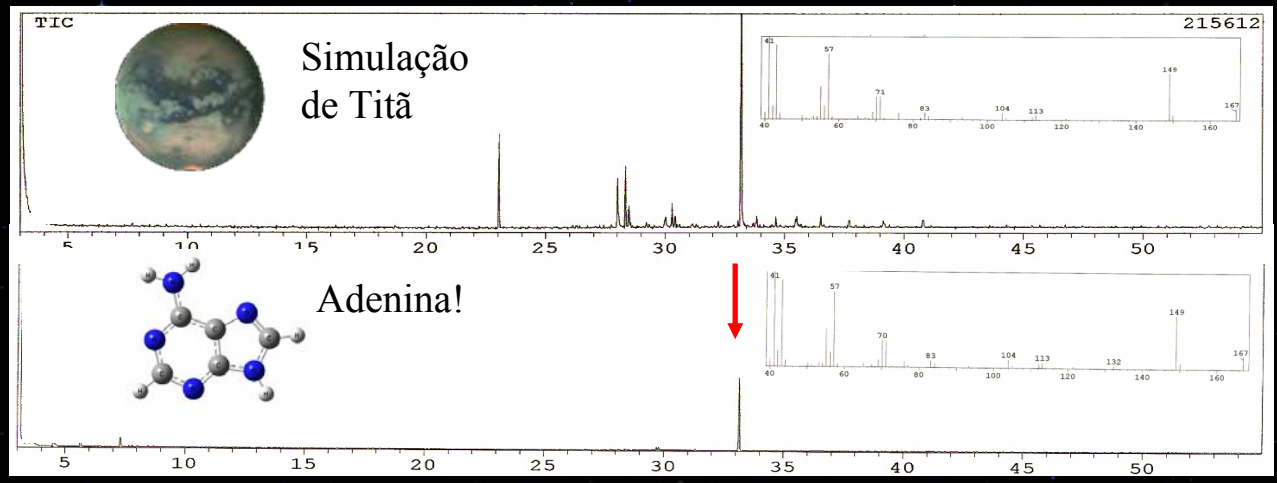






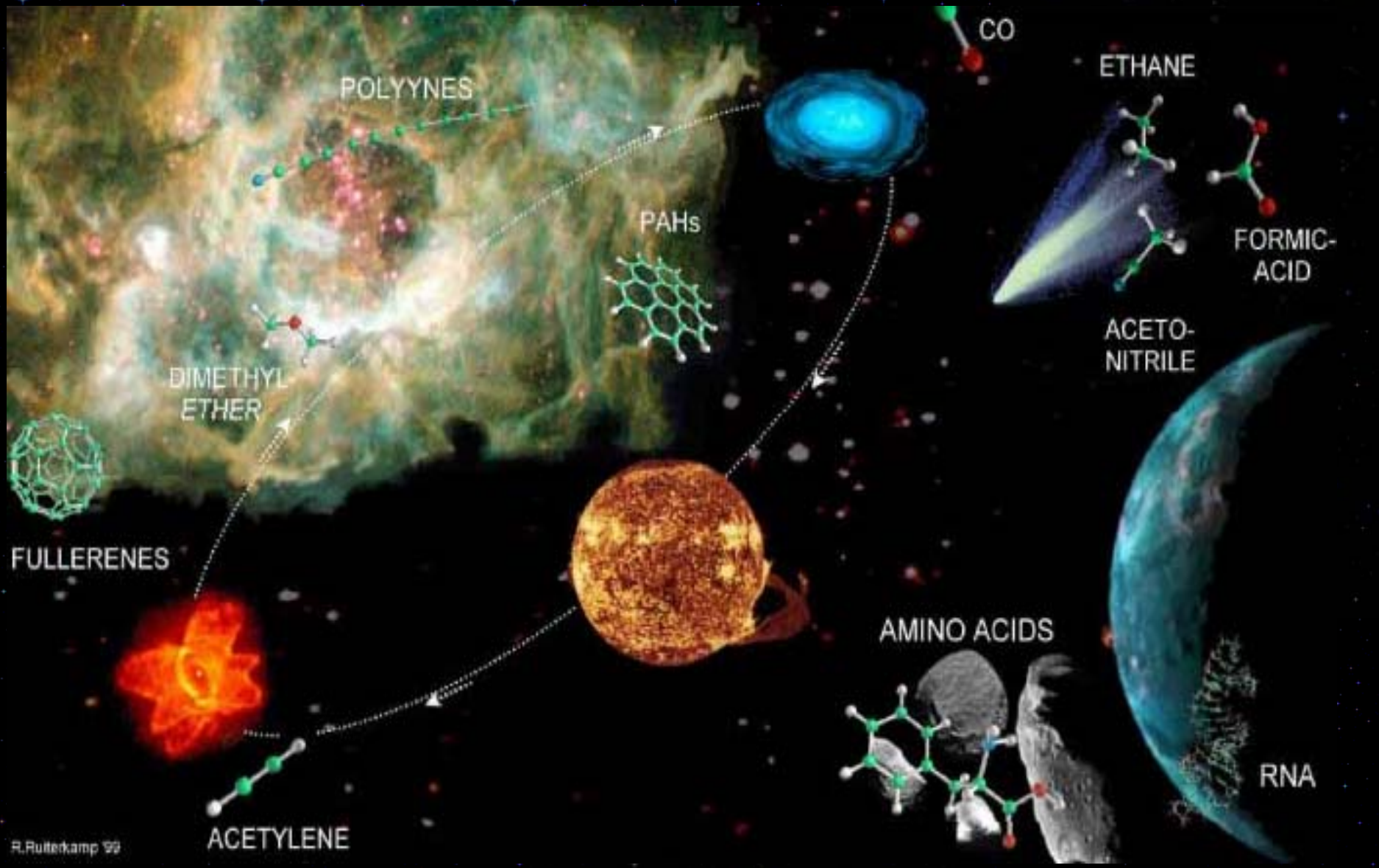
Irradiação: Raios X-moles (~ 70 milhões de anos de sol)

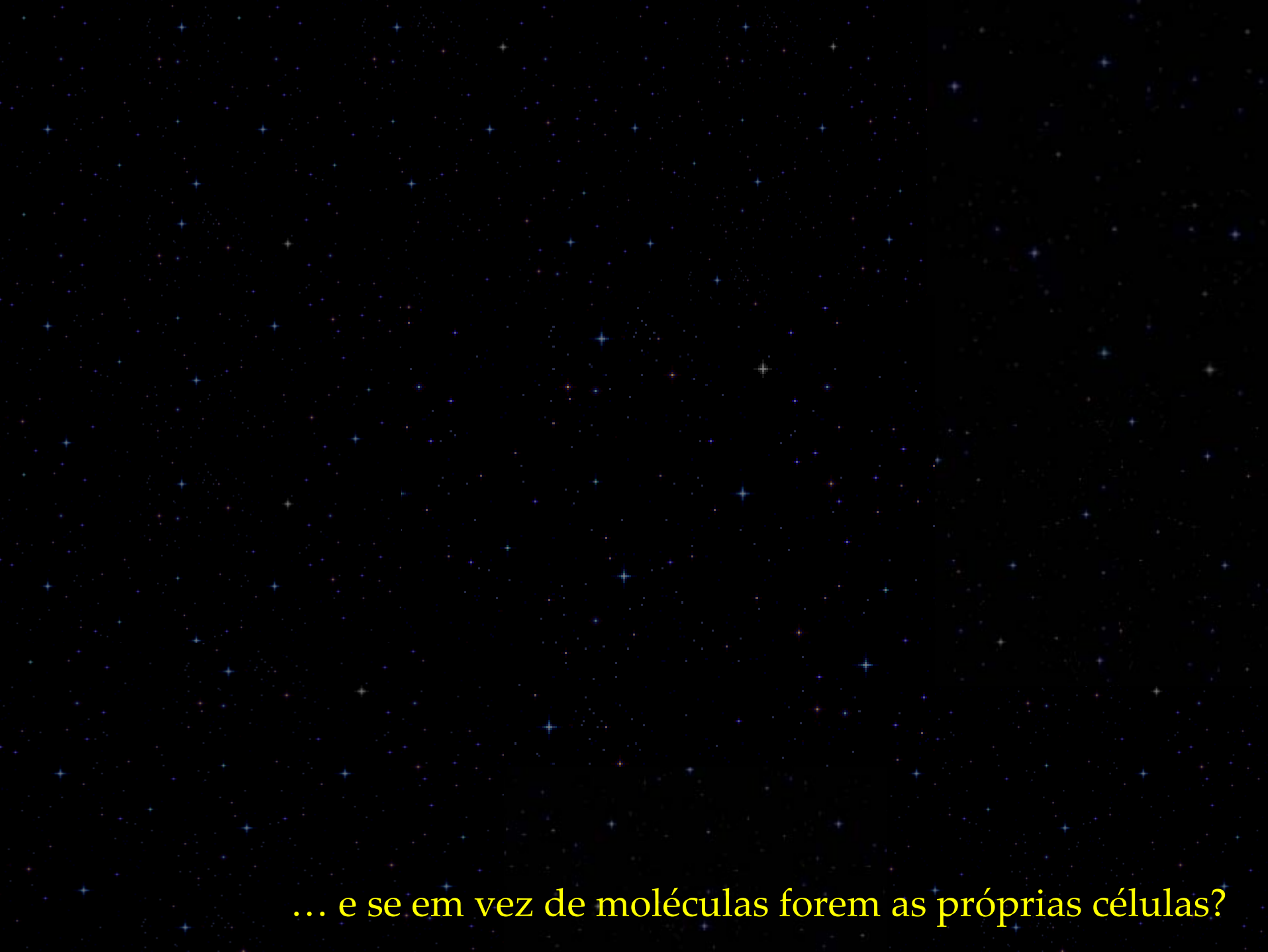
Análises: FTIR, CROMATOGRAFIA e RMN.



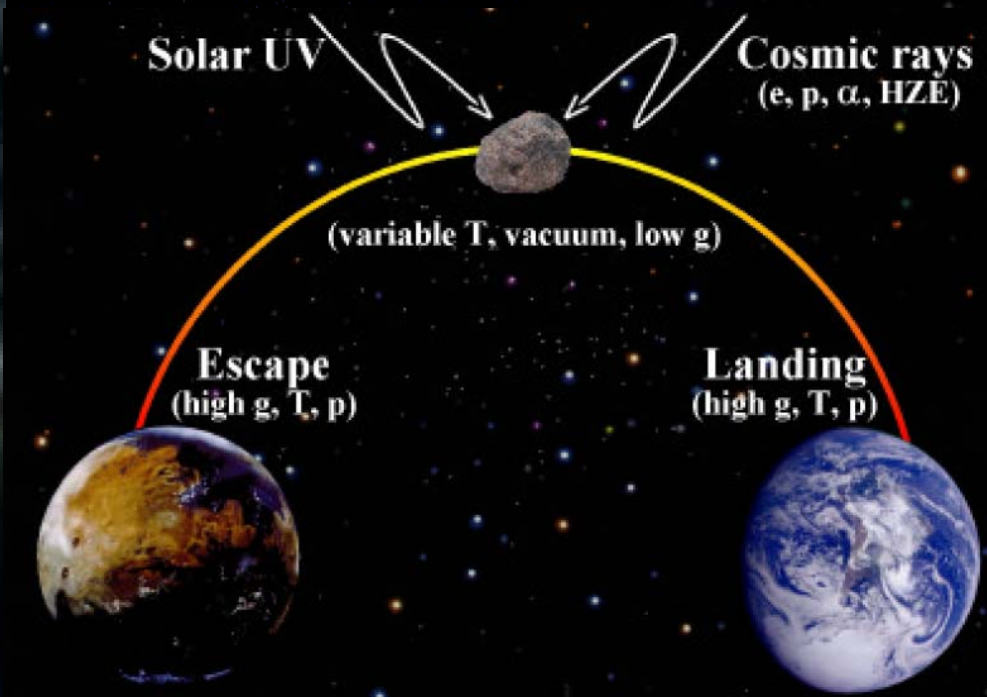
S. Pilling, D. Andrade, L. Ducati, R. Rittner, A. Naves de Brito. JCP, 2009, subm.

Viagem molecular ate a terra primitiva



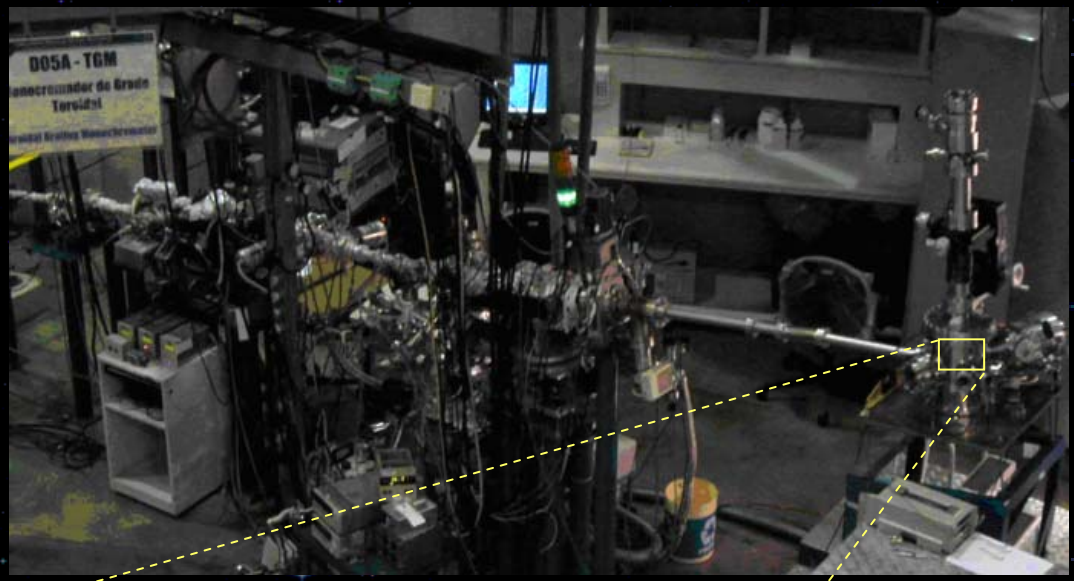

… e se em vez de moléculas forem as próprias células?

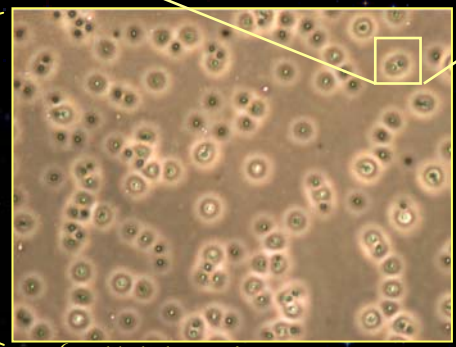
Panspermia


Solar UV
Cosmic rays
(e, p, α, HZE)
(variable T, vacuum, low g)
Escape
(high g, T, p)
Landing
(high g, T, p)

EXPERIMENTOS: Sobrevivência de bactérias as intempéries de uma viagem interplanetária (vácuo e radiação solar)

- Lâmpada H (10.2 eV ~10^{15} fót./s) e Luz Síncrotron (TGM; 0.1 – 2eV ~10^{11} fót./s)
- Alto Vácuo (10^{-6}mbar);
- Bactérias Liofilizadas (*Deinococus Radiodurans; E. Coli*)

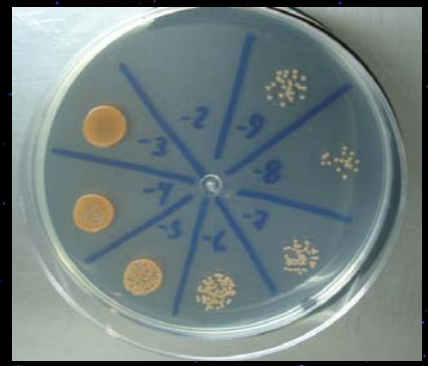


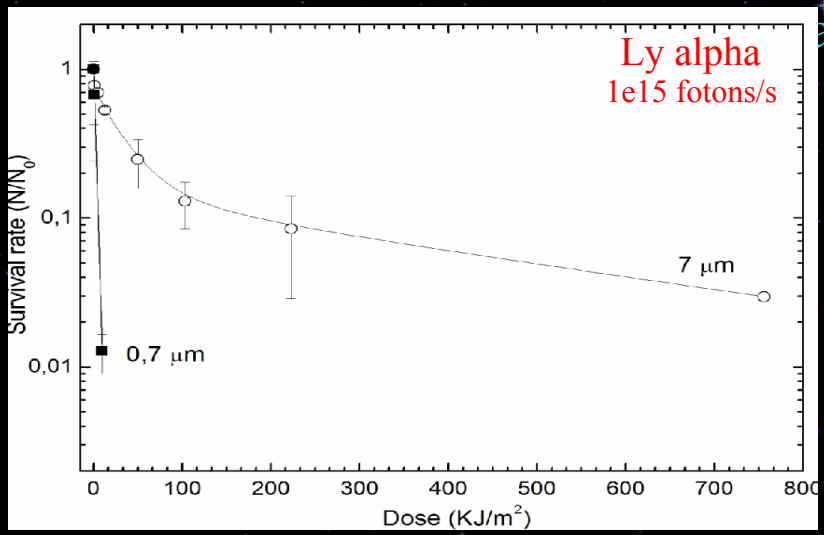


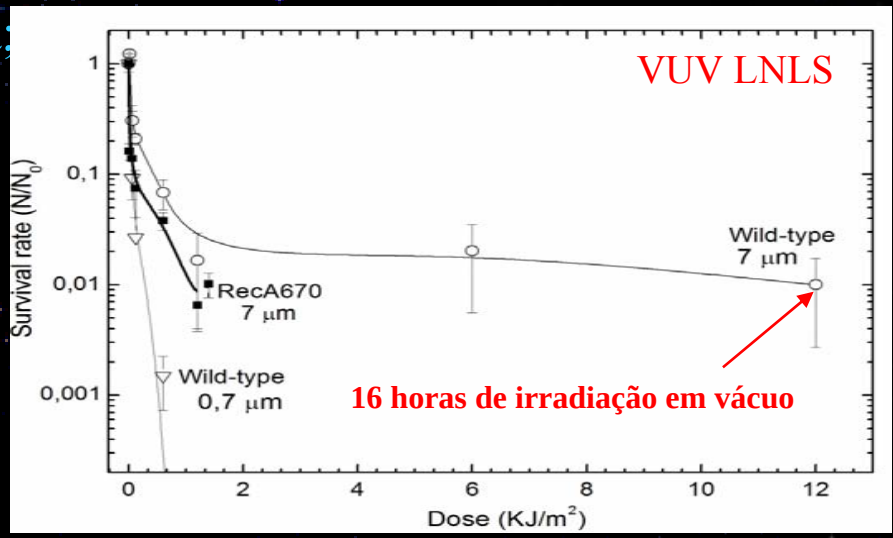
10^{6} cel/µl de meio

– Análises após as irradiações:







– Conclusões:

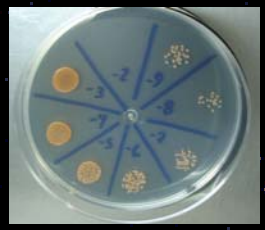
- $H_2O + h\nu \rightarrow$ Radicais livres $\rightarrow$ Dano intracelular
- liofilização garante grande resistência a radiação ionizante (poucos OH^-)
- Mínima rugosidade permite grande sobrevivência microbiana (Proteção)

I .Lima., S. Pilling, J. A. Barbosa, E. J. Pacheco, C. Lage, Naves de Brtio, A. Leitao. 2009 Submitted, **Science**

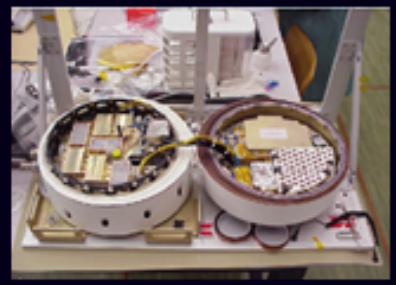
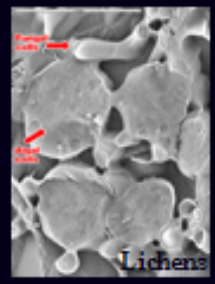
EXPERIMENTOS: Sobrevivência de bactérias as intempéries de uma viagem interplanetária (vácuo e radiação solar)

Ambientes simulados (mais barato)





EXPERIMENTOS FORA ATMOSFERA (MUIIIIIITO CARO):
ESA- Biopan /SSIOUX (space exposure); STONE (reentrance)

Obrigado pela sua atenção.

sergiopilling@yahoo.com.br

Informações complementares

1995 Graduação (Astronomia – UFRJ)

2000 Mestrado (Astronomia – ON/MCT)
- Estrelas gigantes vermelhas (Visível e IR).
- Observacões no Visível: Chile (ESO)

2002 Doutorado (Astronomia – ON/MCT)
- Trancado!

2003 Doutorado (Fisico-química – UFRJ)
- 2 anos e 10 meses!
- Califórnia (IAU meeting)

2005 p

2006 p p p

p p p p p d

2008 p s d p s

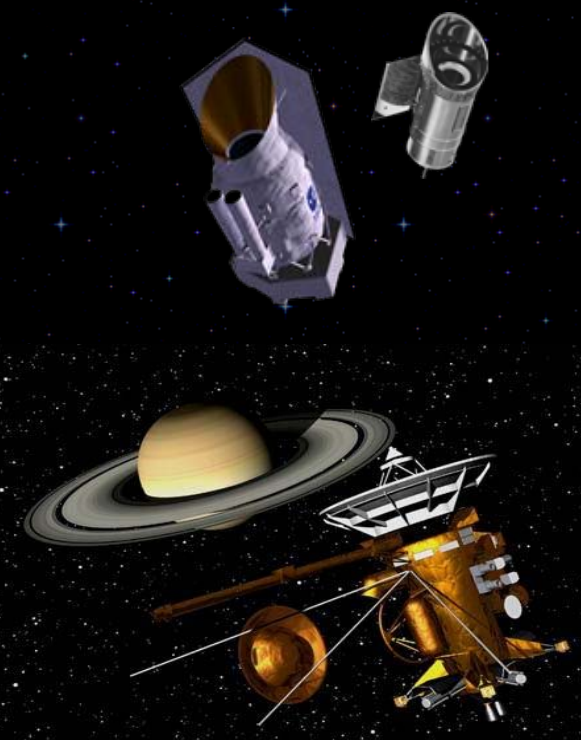
Pós-Doc (Física Exp.– LNLS)

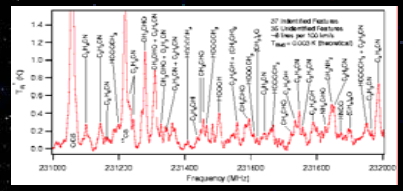
2009 p s s s s

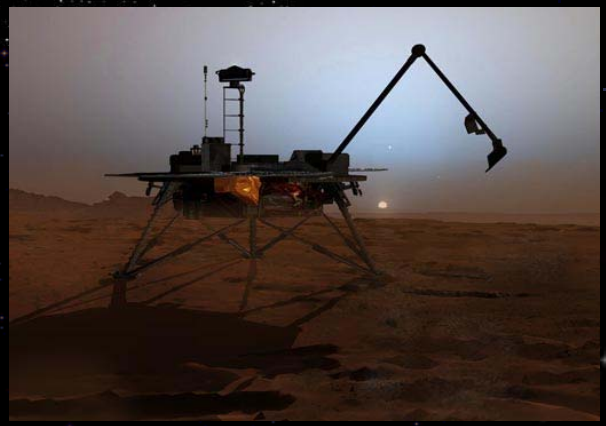
Pós-Doc (Física Exp.– PUC-Rio)
- China (2 vezes; IAU meeting)
- GANIL (Franca)

Legenda dos artigos:
p – publicados; s – submetidos; d –divulgação

Astroquímica: Ciência multidisciplinar + Observacional + Teórica + Experimental

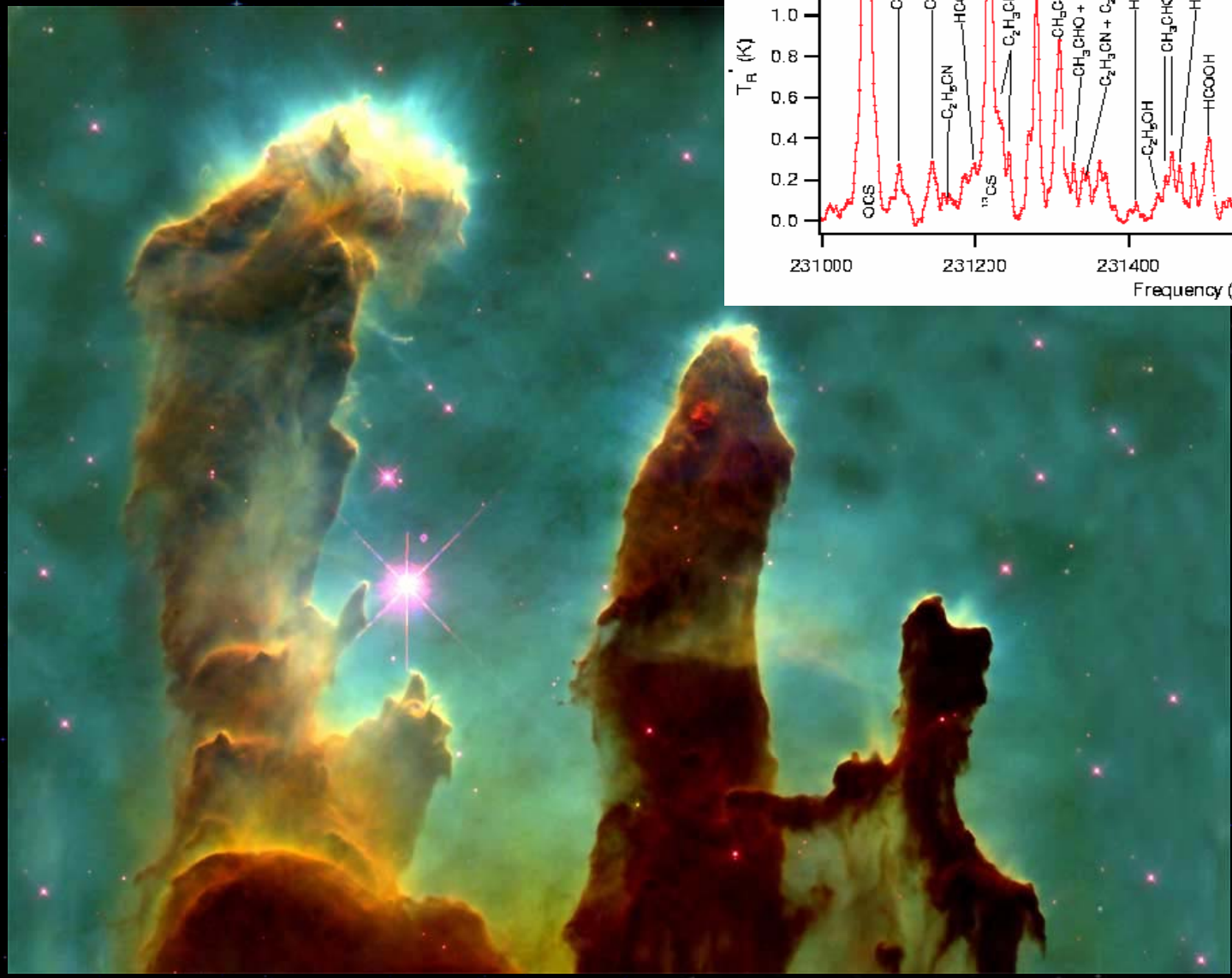


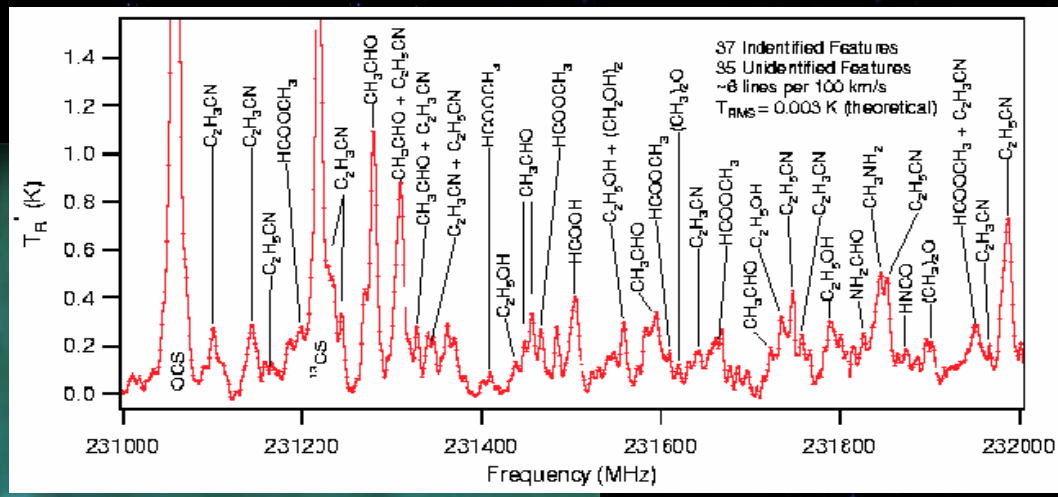




Aonde mais essas moléculas são encontradas?

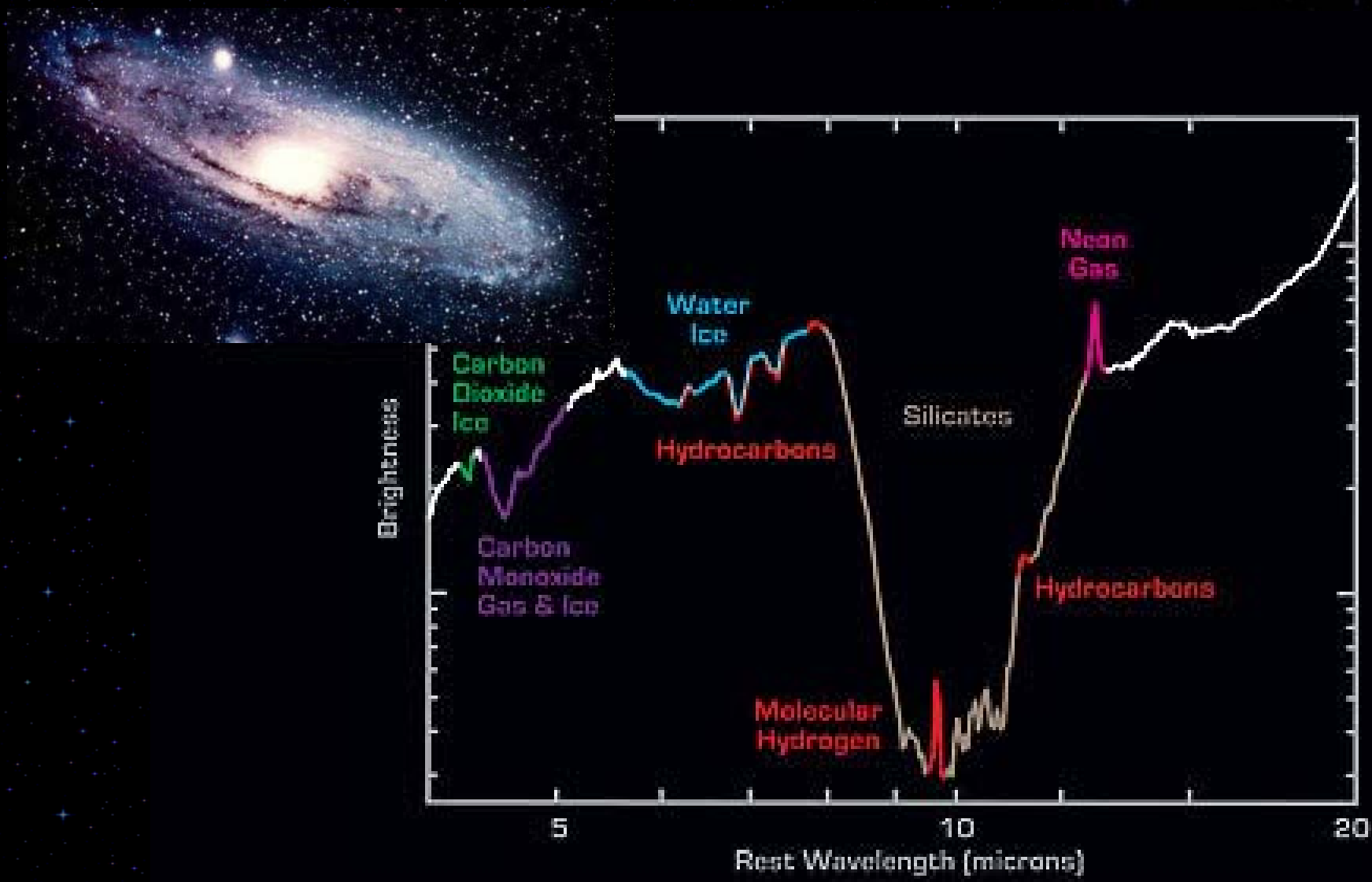
Gaseous Pillars – Eagle Nebula



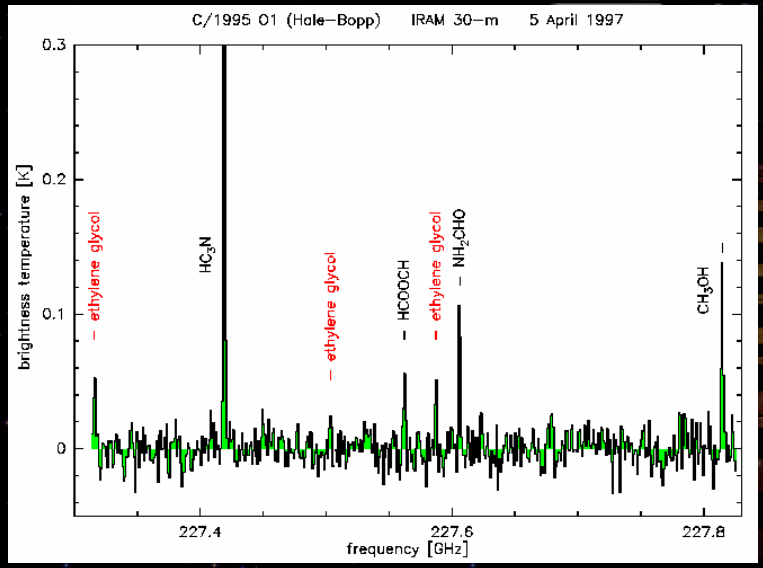


Sgr B2 with ALMA

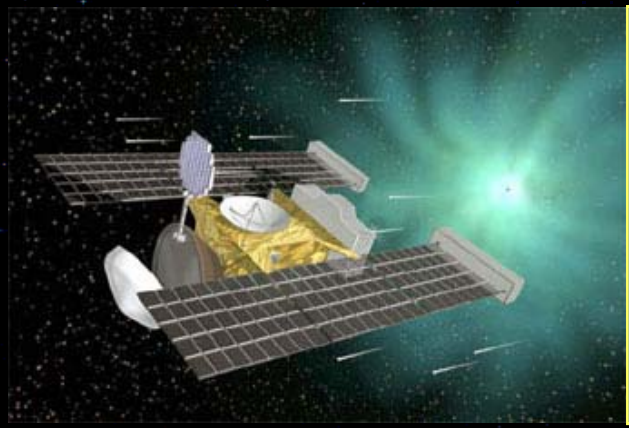
Aonde mais essas moléculas são encontradas?



Aonde mais essas moléculas são encontradas?



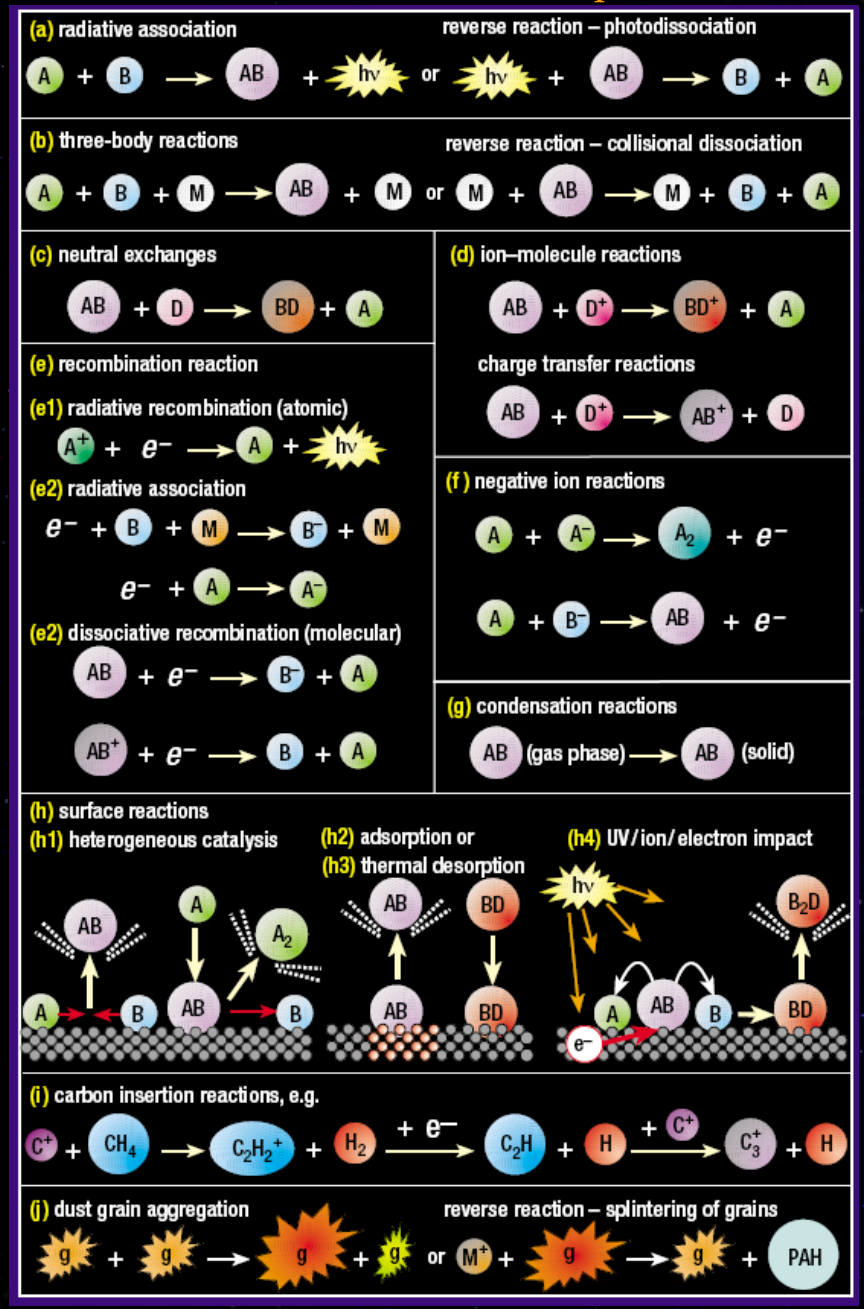
Hale-Bopp



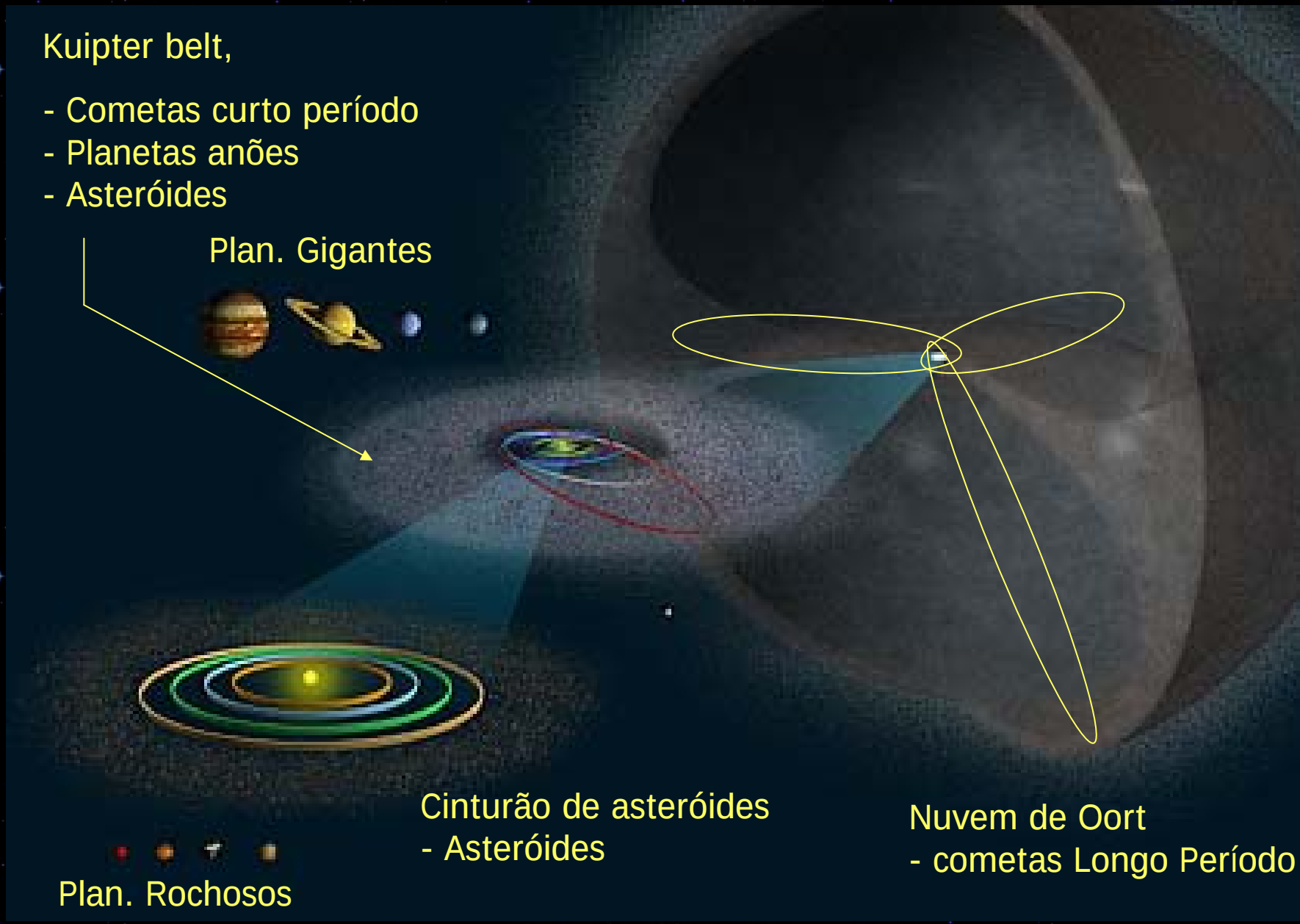
Ciência multidisciplinar

- Astronomia e Química
- Física de superfície
- Físico química: Interação radiação com moléculas.
- Química quântica e termodinâmica: Reações, abundancias, ...
- Biofísica: Moléculas orgânicas
- Geofísica, geologia,ciências planetárias, química atmosférica: Moléculas em planetas

Tipos de Reações

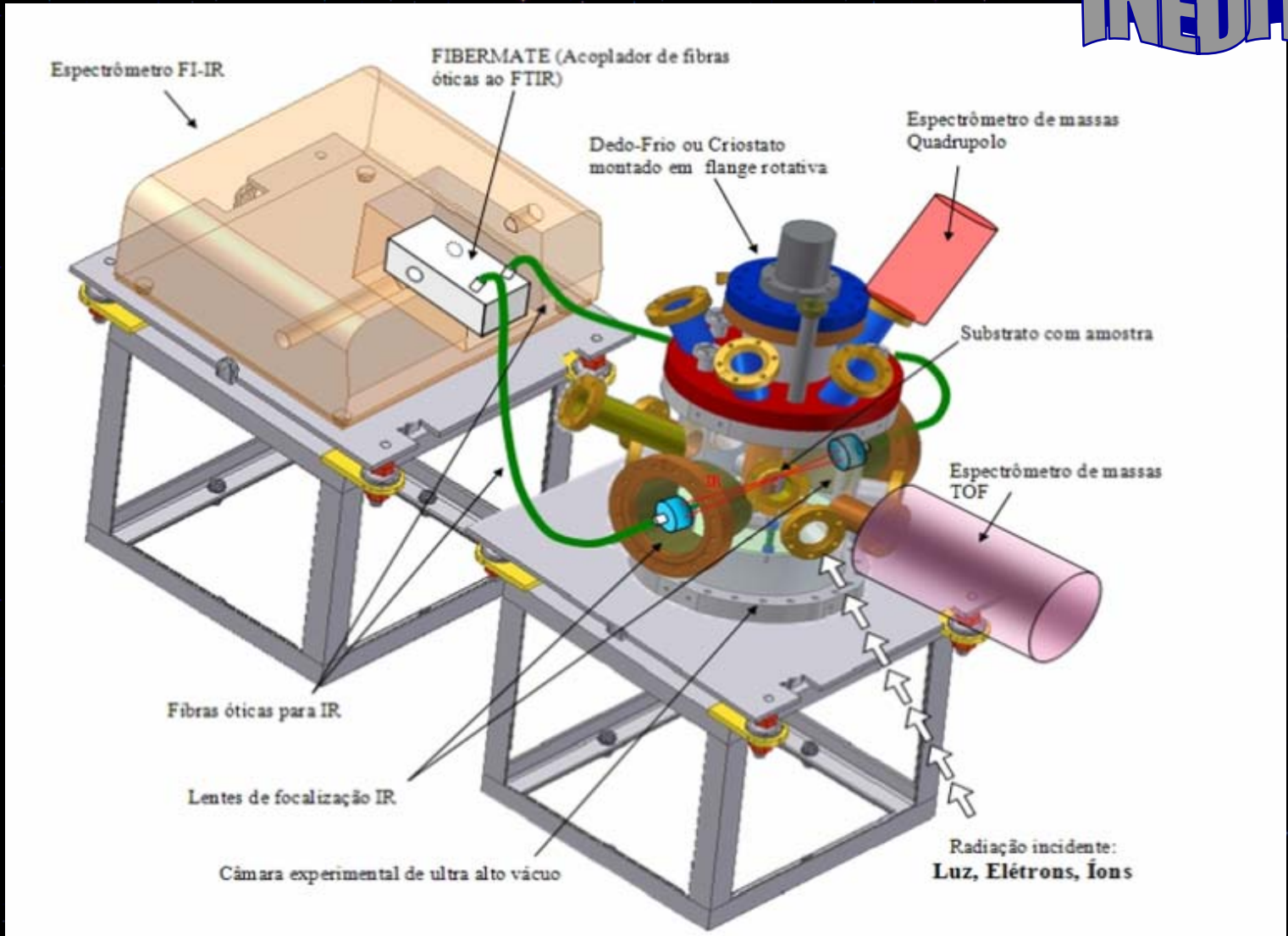


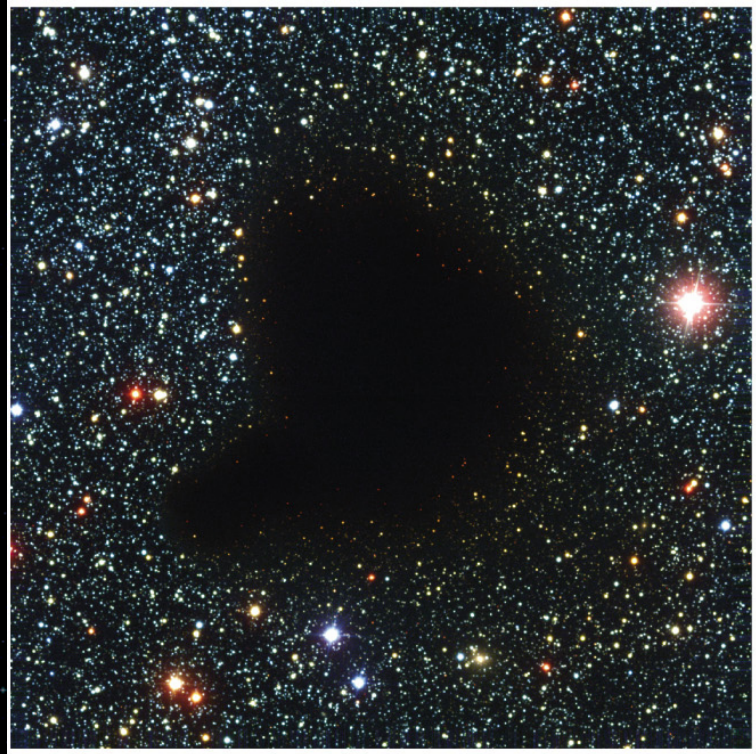
Gelos interplanetários são os resquícios da nuvem protosolar



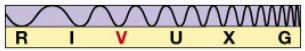
Investigações da superfície e bulk ao mesmo tempo pelo impacto de fótons ou íons energéticos

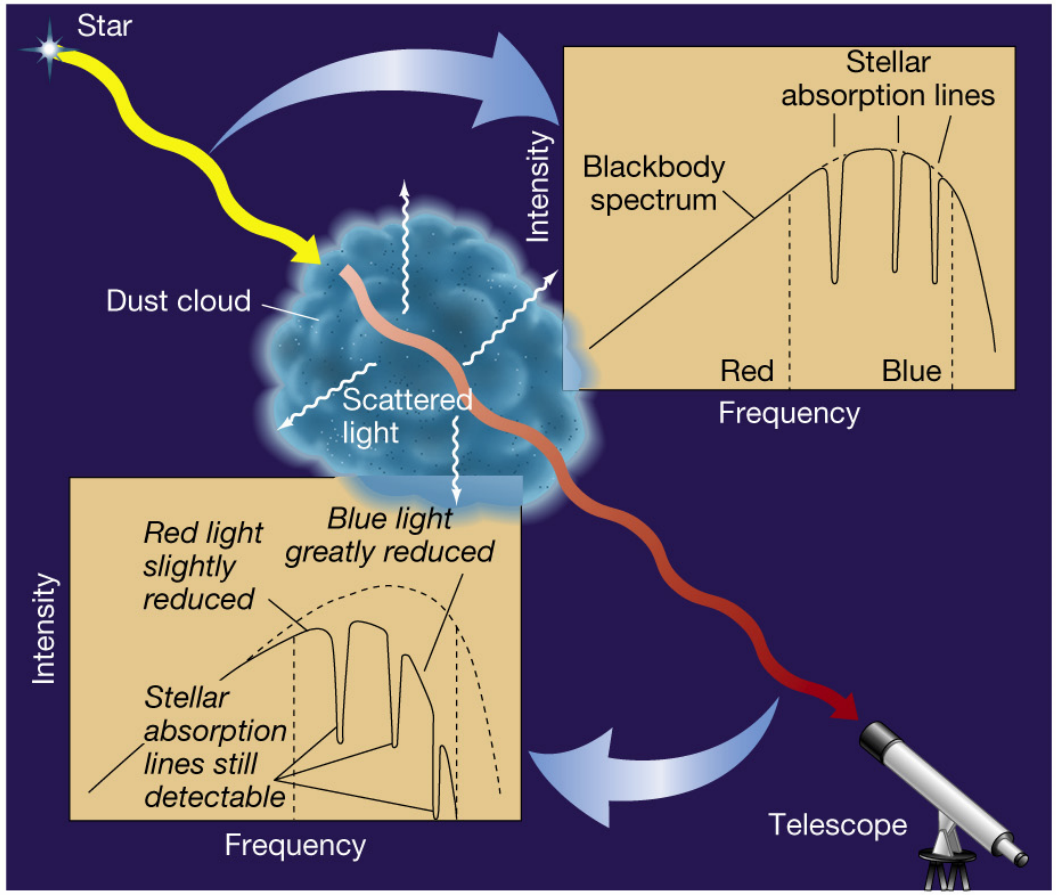
INÉDITO!





(a)





(b)