



Física de Plasmas

breve introducción.

Pablo Moya

18 de mayo de 2021

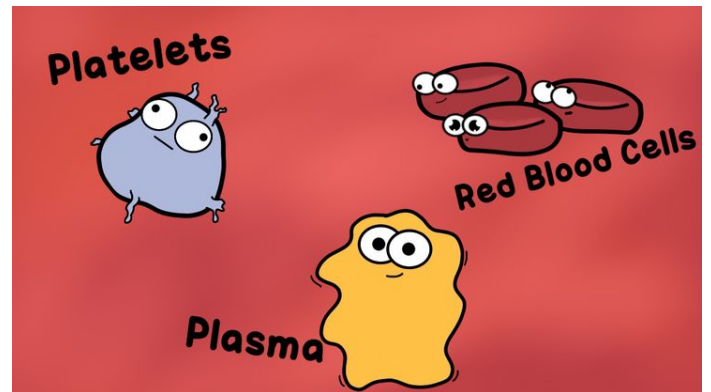
Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Grupo PLANETS, Plasmas, Complex Networks & Seismology.



¿Qué es un plasma?

¿Qué es un plasma?



Fuente: Google Images.

Estados de la Materia

Estado Sólido



Estado Líquido



Estado Gaseoso



¿Algo más?

Condensados de baja temperatura.

Superfluidos.

Plasmas.

“Todo” es plasma

Plasmas $\Rightarrow$ 99 % de la materia visible.

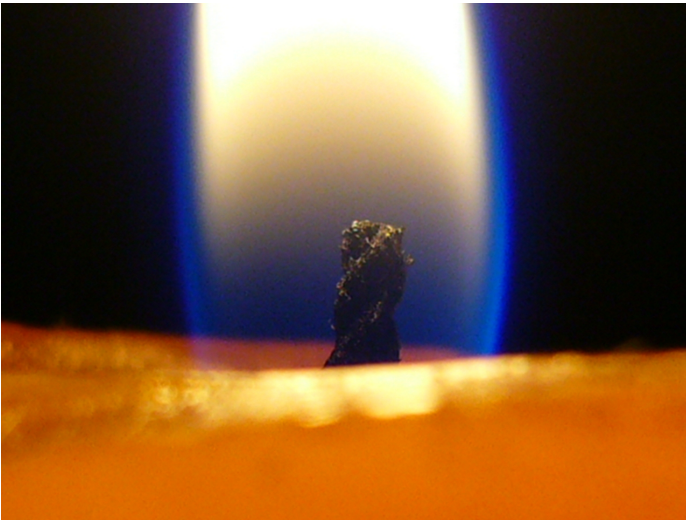
Detalle: materia oscura (25 %) y energía oscura (70 %)

materia visible es menos del 5 %!!!

Pero la gran mayoría es plasma.

Ejemplos

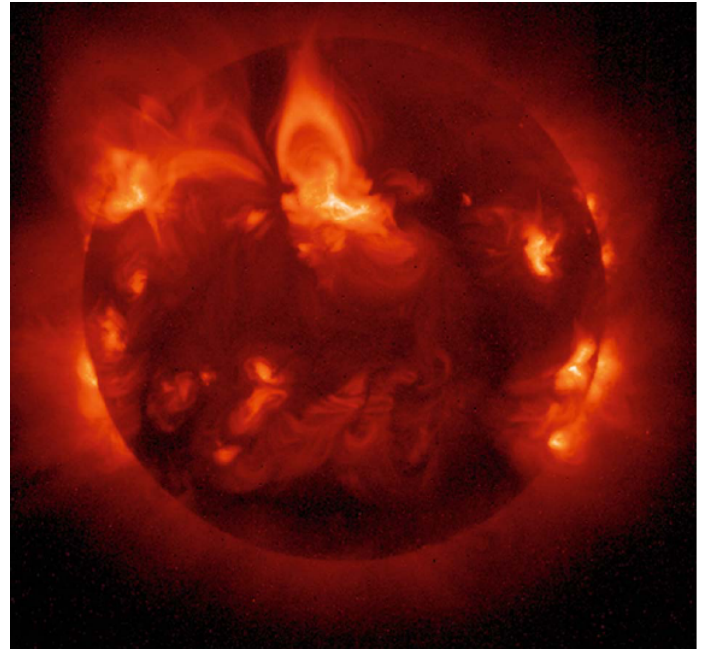
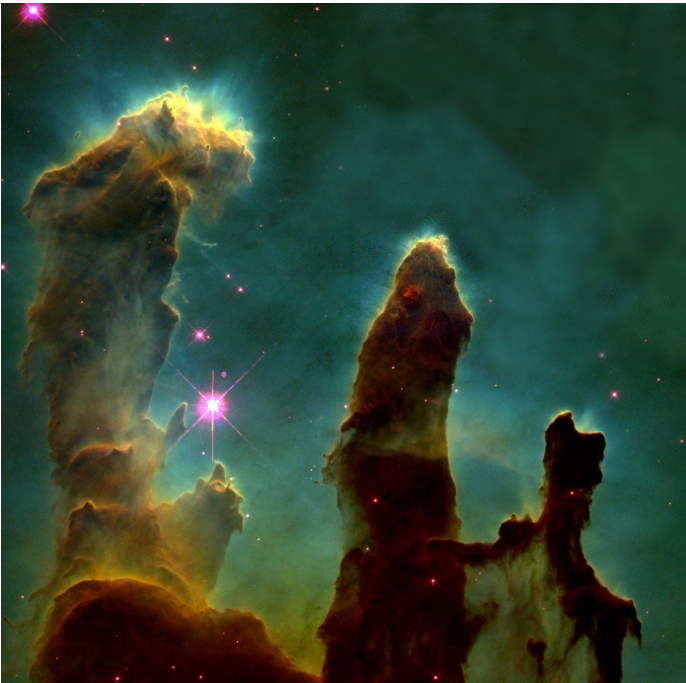
Plasmas en la vida cotidiana



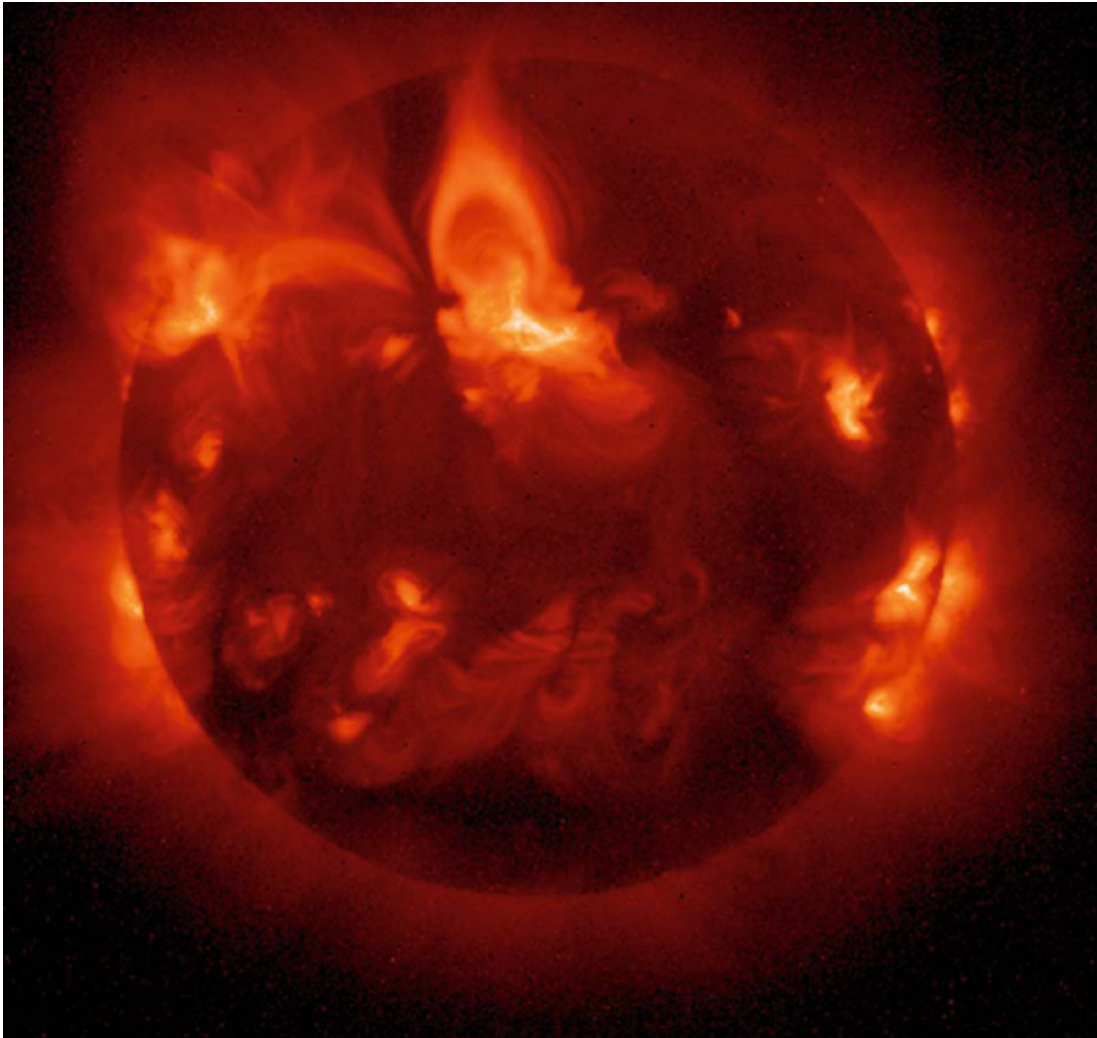
Plasmas en la atmósfera



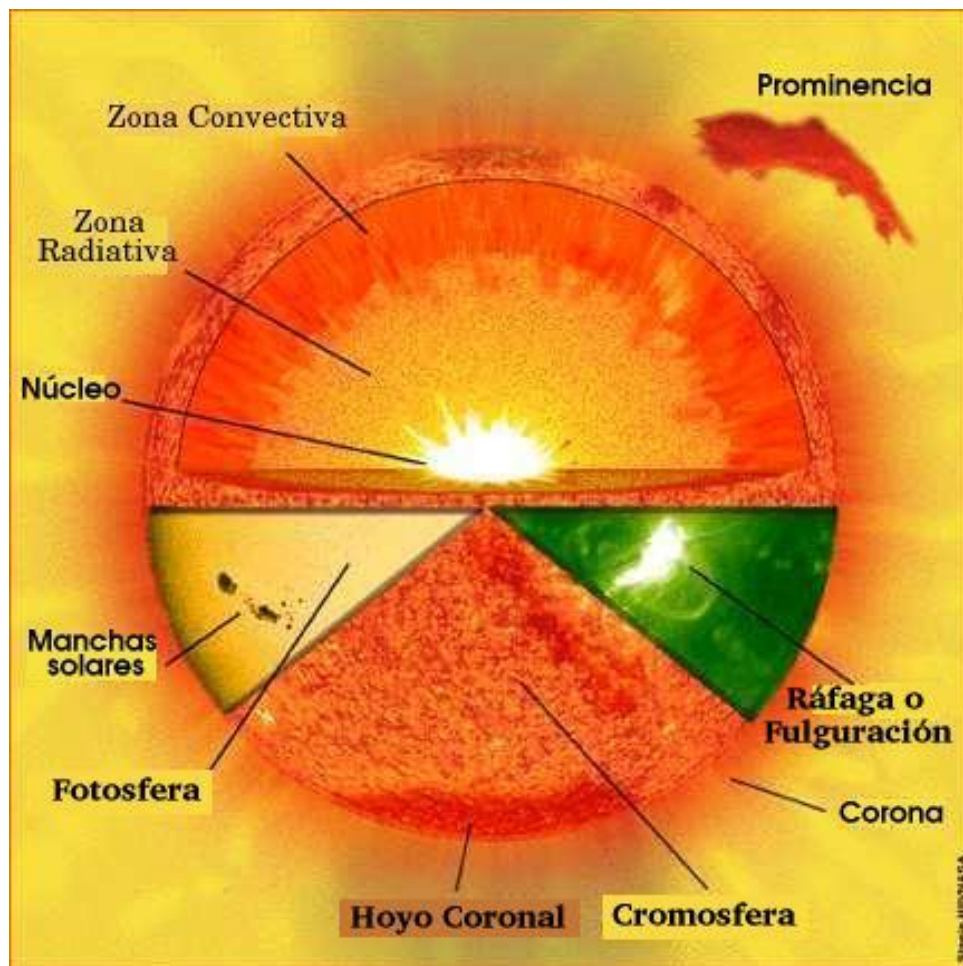
Plasmas espaciales



El Sol



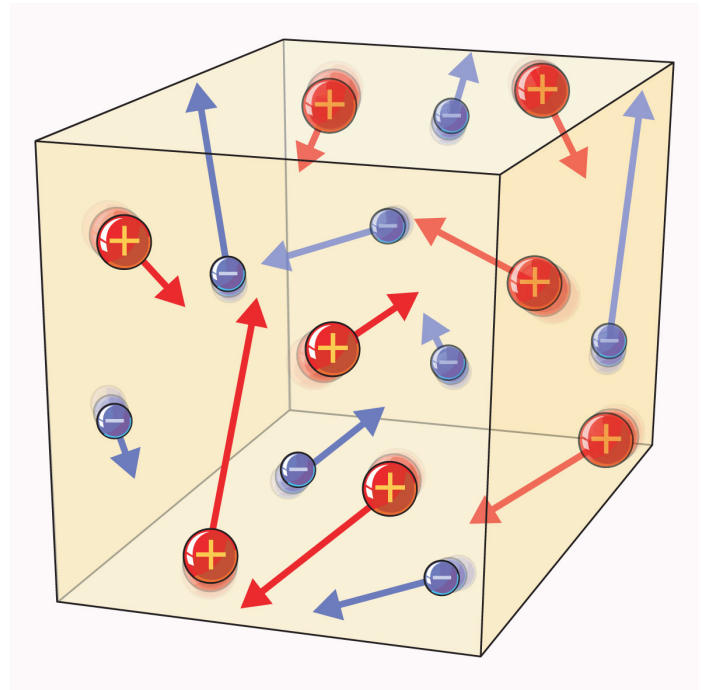
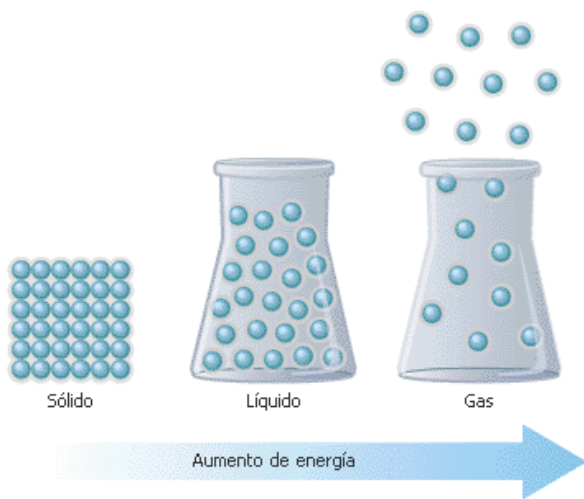
Estructura



¿Qué es un plasma?



Ionización



- Digamos por ahora que un plasma es un “gas ionizado”.
- **energía de ionización**: $H + 13.6 \text{ eV} \rightarrow H^+ + e^-$.
- $1 \text{ eV} = k_B T_0$, con $T_0 \approx 11600 \text{ K}!!!$

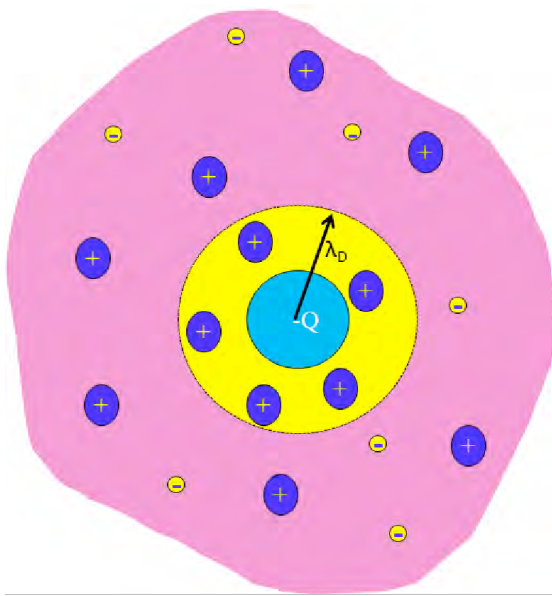
Energía de primera ionización E_i (eV)

H 13,6																		He 24,59
Li 5,39	Be 9,32											B 8,3	C 11,26	N 14,53	O 13,62	F 17,42	Ne 21,56	
Na 5,14	Mg 7,65											Al 5,99	Si 8,15	P 10,49	S 10,36	Cl 12,97	Ar 15,76	
K 4,34	Ca 6,11	Sc 6,56	Ti 6,83	V 6,75	Cr 6,77	Mn 7,43	Fe 7,9	Co 7,88	Ni 7,64	Cu 7,73	Zn 9,39	Ga 6	Ge 7,9	As 9,79	Se 9,75	Br 11,81	Kr 14	
Rb 4,18	Sr 5,69	Y 6,22	Zr 6,63	Nb 6,76	Mo 7,09	Tc 7,28	Ru 7,36	Rh 7,46	Pd 8,34	Ag 7,58	Cd 8,99	In 5,79	Sn 7,34	Sb 8,61	Te 9,01	I 10,45	Xe 12,13	
Cs 3,89	Ba 5,21	*	Hf 6,83	Ta 7,55	W 7,86	Re 7,83	Os 8,44	Ir 8,97	Pt 8,96	Au 9,23	Hg 10,44	Tl 6,11	Pb 7,42	Bi 7,29	Po 8,41	At 9,32	Rn 10,75	
Fr 4,07	Ra 5,28	**	Rf 6	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
*	La 5,58	Ce 5,54	Pr 5,47	Nd 5,53	Pm 5,58	Sm 5,64	Eu 5,67	Gd 6,15	Tb 5,86	Dy 5,94	Ho 6,02	Er 6,11	Tm 6,18	Yb 6,25	Lu 5,43			
**	Ac 5,17	Th 6,31	Pa 5,89	U 6,19	Np 6,27	Pu 6,03	Am 5,97	Cm 5,99	Bk 6,2	Cf 6,28	Es 6,42	Fm 6,5	Md 6,58	No 6,65	Lr 4,9			

Fuente: Wikipedia

¿Por qué E_i parece disminuir con el tamaño del átomo?

Apantallamiento de Debye



Fuente: J. Creel, Master thesis

- Plasma cuasi neutral.
- protones y electrones.
- protones fijos con densidad $n_p = n_0$.
- Electrones móviles de temperatura T_e .

Efecto electrostático individual de una partícula de carga Q
decae rápidamente en una distancia λ_D .

Los **efectos colectivos** son dominantes.

¿Cómo podemos expresar el potencial eléctrico en este medio?

Densidad de los electrones y potencial eléctrico

- Gas en equilibrio térmico + campo eléctrico

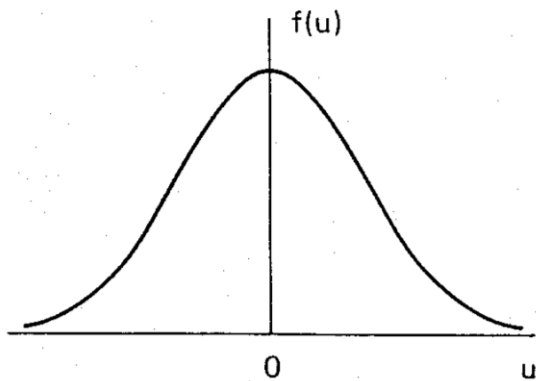
$$\mathbf{E} = -\nabla\phi(r).$$

- Función de distribución de velocidades

$$f(E) = f_0 e^{-E/k_B T_e} = f_0 e^{-\frac{m_e u^2}{2k_B T_e} + \frac{e\phi(r)}{k_B T_e}}.$$

- Densidad de los electrones

$$n_e(r) = \int f(u, r) d\mathbf{u} = n_0 e^{\frac{e\phi}{k_B T_e}}.$$



Fuente: Plasma Physics and Controlled Fusion,

F. Chen

Ecuación de Poisson

$$\nabla^2\phi = -4\pi\rho = -4\pi e(n_p - n_e).$$

Longitud de Debye

- En un plasma, si la dinámica es más colectiva que individual

$$e\phi \ll k_B T_e.$$

- Luego, el potencial eléctrico está dado por

$$\phi(r) = \phi_0 e^{-r/\lambda_D}.$$

- Longitud de Debye

$$\lambda_D = \frac{k_B T_e}{4\pi n_0 e^2}.$$

Longitud de Debye

- En un plasma, si la dinámica es más colectiva que individual

$$e\phi \ll k_B T_e.$$

- Luego, el potencial eléctrico está dado por

$$\phi(r) = \phi_0 e^{-r/\lambda_D}.$$

- Longitud de Debye

$$\lambda_D = \frac{k_B T_e}{4\pi n_0 e^2}.$$

Tarea: Demuestre que esto es cierto.

Criterio de Plasma

Para que un medio se considere plasma, se debe cumplir que

- las colisiones entre partículas no dominen.
- El tamaño del sistema sea mucho más grande que la longitud de Debye

$$L \gg \lambda_D.$$

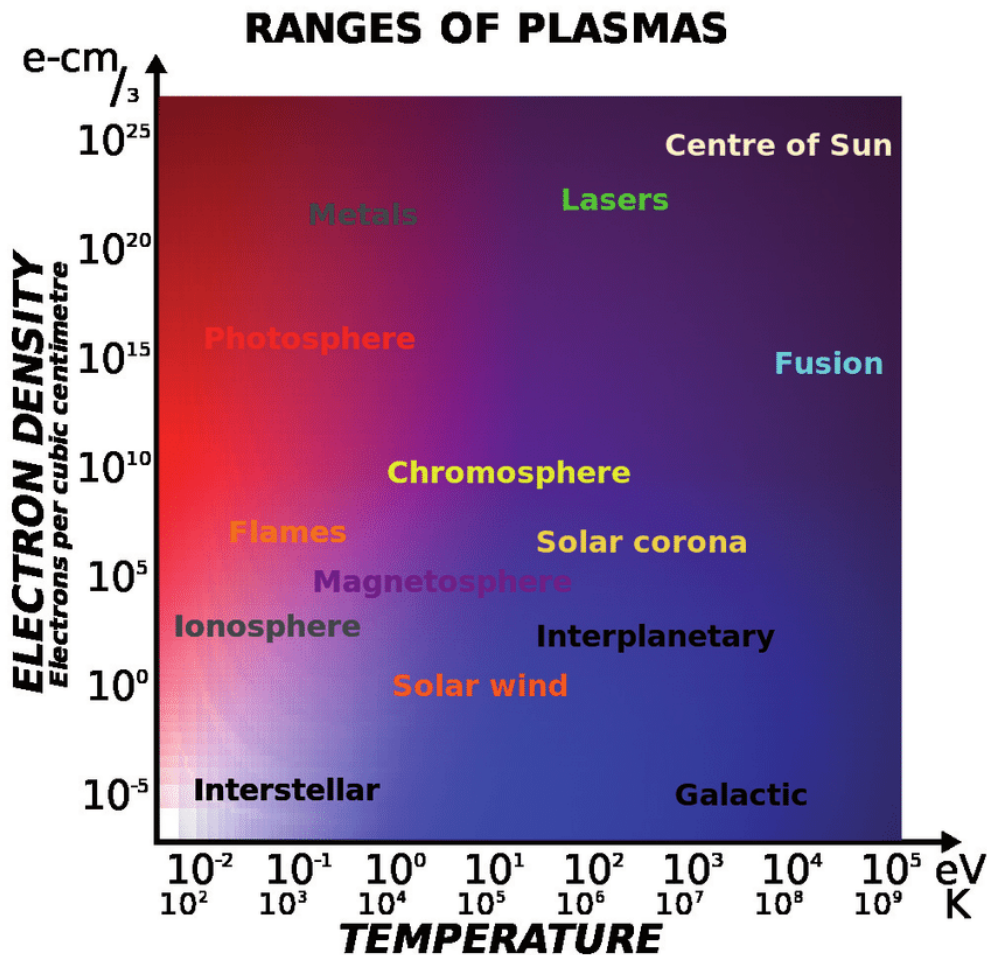
- Hayan muchas partículas en una esfera de Debye

$$N = n_0 V_D = n_0 \frac{4\pi}{3} \lambda_D^3 \gg 1, \quad \text{o bien} \quad g = \frac{1}{N} \ll 1.$$

Criterio de Plasma

$$N \sim \frac{T_e^{3/2}}{n_0^{1/2}} \gg 1.$$

Infinitas posibilidades...



- Efectos relativistas

$$k_B T \sim mc^2$$

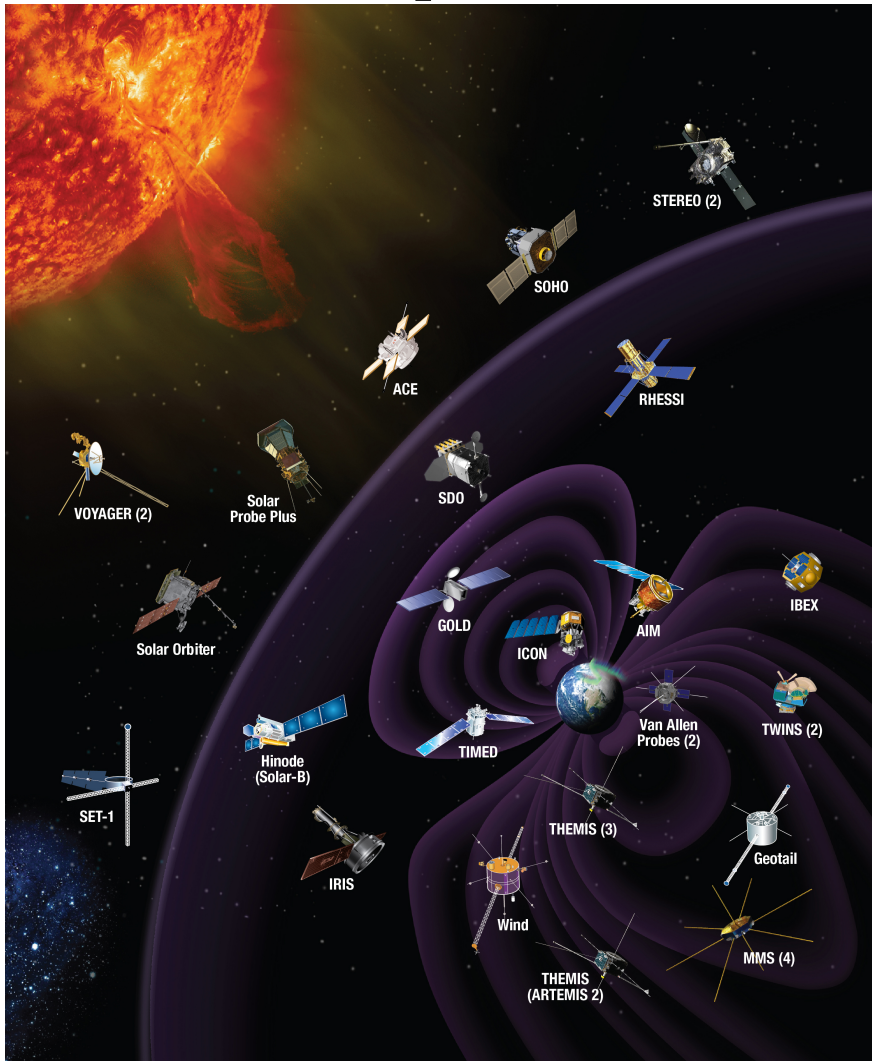
- Efectos cuánticos

$$\lambda_D \sim \lambda_{dB} = h/p$$

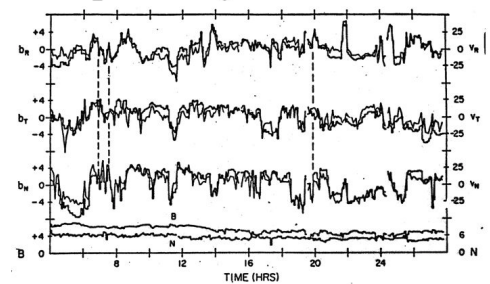
Fuente:

http://www.particlecentral.com/plasma_page.html

Plasmas Espaciales: un laboratorio de física de plasmas

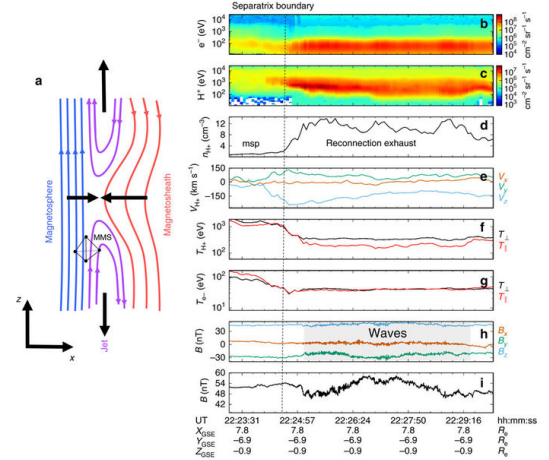


1971, Mariner Interplanetary Alfvén waves



Belcher and Davis, 1971

2016, MMS Kinetic Alfvén Waves



**TO BE
CONTINUED...** 

Modelos de plasmas.
Plasmas como fluidos.
Ondas...