

Cap.1

argomenti del corso

- forze **gravitazionali** ed elettromagnetiche
- Teorema del Viriale
- la **gravità** equilibrata dalla pressione nelle stelle: stelle normali, produzione di energia termonucleare; nane bianche e stelle di neutroni, pressione di degenerazione
- la **gravità** vincente: collasso gravitazionale, buchi neri stellari, buchi neri supermassivi nei quasar
- la **gravità** alla scala cosmologica; l'espansione di Hubble controllata dalla gravità, il redshift cosmologico, il Big Bang

il filo conduttore è il ruolo della gravità

Forze gravitazionali/elettromagnetiche

$$\frac{Gm_p^2/r^2}{e^2/r^2} = \frac{Gm_p^2}{e^2} \approx 8 \times 10^{-37}$$

Gravità debole?

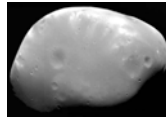
sì a livello microscopico, ma:

$$\sum q_i \rightarrow 0, \quad \sum m_i \rightarrow Nm_p$$

➔ su grandi scale la Gravità prevale

p.es.:

diventa dominante (favorendo una forma sferica) a livelli di $\sim 10^{24}$ g, la scala dei grandi asteroidi e dei satelliti maggiori (anche importante per la definizione di pianeta)

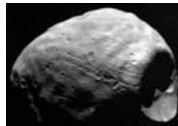
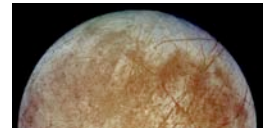


Deimos 2×10^{18} g

Phobos 10^{19} g

Europa 5×10^{25} g

Luna 7×10^{25} g



Gravità equilibrata dalla pressione: stelle

eq. di equilibrio idrostatico: $\frac{GM}{R^2} \rho = \frac{dP}{dR} \sim \frac{P}{R} \propto \frac{nT}{R} \rightarrow T_{\odot} \sim 10^7 \text{ K}$

➔ reazioni termonucleari
 $4p \rightarrow He^4 + 2\nu, \quad 26 - 1.5 \text{ MeV}$

dopo 10^{10} anni gravità vincente: collasso

Stelle normali P termica	$R \approx 10^{11} \text{ cm}$	$\rho \approx 1 \text{ g/cm}^3$		
Nane bianche P degenerare e^-	$R \approx 10^9 \text{ cm}$	$\rho \approx 10^6 \text{ g/cm}^3$		
Stelle di neutroni P degenerare n	$R \approx 10^6 \text{ cm}$	$\rho \rightarrow 10^{14} \text{ g/cm}^3$		
Buchi neri stellari	$R_s \simeq 3 \text{ km} \frac{M}{M_{\odot}}$	orizzonte degli eventi	ma disco di accrezione irraggia	
Buchi neri supermassivi	$M \approx 10^6 - 10^9 M_{\odot}$			
Quasar	$L \rightarrow 10^{14} L_{\odot}$	visibili a $D \sim 13 \times 10^9$ anni-luce	$\Delta t = D/c \sim 13 \times 10^9$ anni	

i canali osservativi

- radiazione elettromagnetica

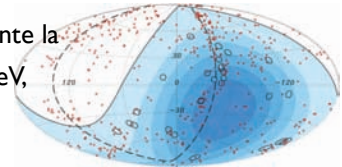
il canale classico
largamente dominante per ora



- raggi cosmici

particelle con energie dal MeV a 3×10^{20} eV

sta diventando astrofisicamente importante la
detezione degli UHECR, energie $\sim 10^{20}$ eV,
osservatorio Pierre Auger



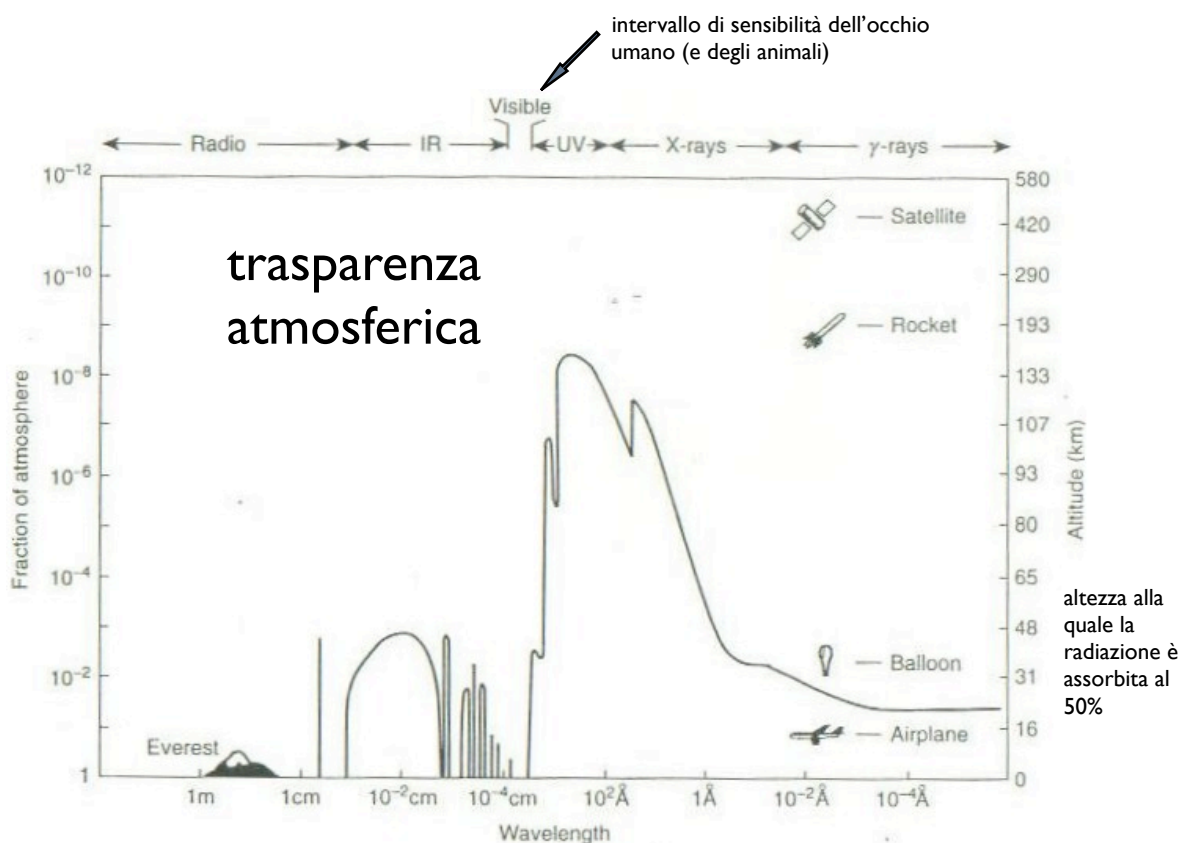
- neutrini

Sole, stelle
sorgenti galattiche ed extragalattiche, p.es. supernovae
energie $\sim$ TeV

- onde gravitazionali

non ancora direttamente osservate
previste (p.es.) da buchi neri binari, stellari o supermassivi

il canale elettromagnetico



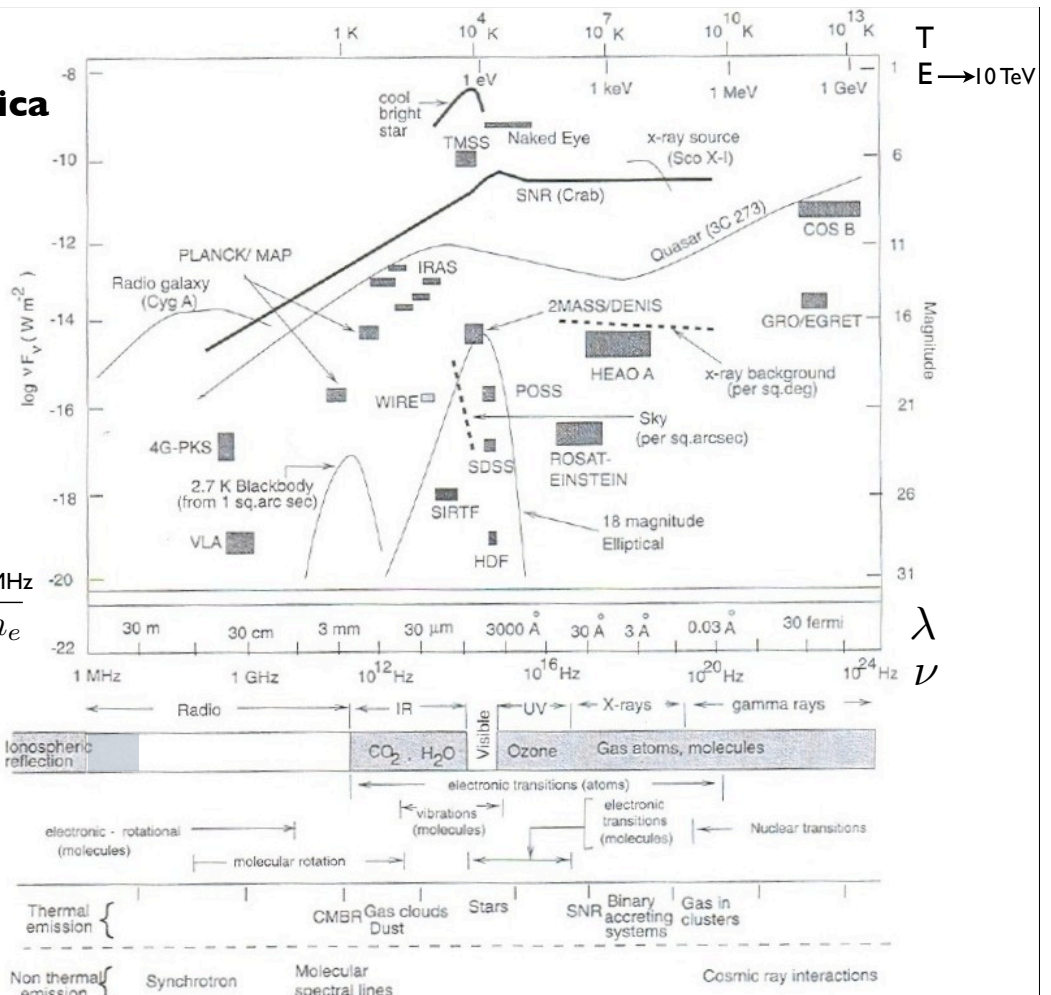
radiazione elettromagnetica da sorgenti cosmiche

freq. plasma ionosfera ~ 30 MHz

$$\nu_p = \sqrt{e^2 n / \pi m_e}$$

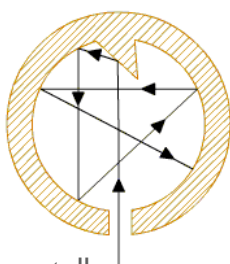
processi di assorbimento

processi di emissione



processi di emissione

termici
corpo nero



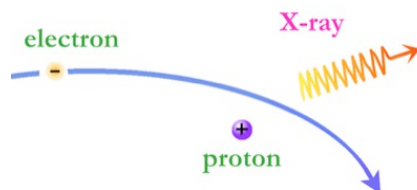
es: stelle
es: radiazione cosmica di fondo

non-termici
sincrotrone



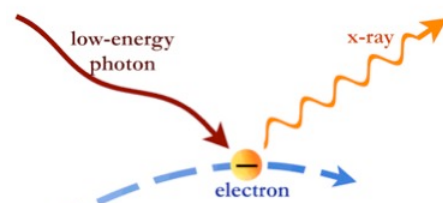
es: resti di supernova, radiogalassie

bremsstrahlung



es: ammassi di galassie

compton inverso



es: quasar

alcune costanti della fisica da ricordare (cgs)

velocità della luce nel vuoto	c	$3.0 \cdot 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$
costante di Planck	h	$6.6 \cdot 10^{-27} \text{ erg s}$
costante di Gravitazione	G	$6.7 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$
carica dell'elettrone	e	$4.8 \cdot 10^{-10} \text{ u.e.s. (g}^{1/2} \text{ cm}^{3/2} \text{ s}^{-1})$
massa dell'elettrone	m_e	$9.1 \cdot 10^{-28} \text{ g}$
massa del protone	m_p	$1.7 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
costante di Boltzmann	k	$1.4 \cdot 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$

valori più precisi e più completi, p.es.:

www.astro.wisc.edu/~dolan/constants.html

alcune scale fondamentali

Terra e Sistema Solare

$$R_{\oplus} = 6400 \text{ km} = 6.4 \times 10^8 \text{ cm}$$

$$M_{\oplus} = 6 \times 10^{27} \text{ g}$$

$$L_u \simeq 10^{20} \text{ erg/s}$$

$$l_u \simeq 100 \text{ W} = 10^9 \text{ erg/s}$$

$$(\sim 2000 \text{ kcal/giorno} \sim 8 \cdot 10^6 \text{ J/86000s})$$

$$D_{\oplus} = 1.5 \times 10^{13} \text{ cm} \equiv \text{AU}$$

$$D_{\text{plutone}} \simeq 40 \text{ AU}$$

Galassie

$$R_G \simeq 15 \text{ kpc}$$

$$M_G \simeq 2 \times 10^{11} M_{\odot}$$

$$L_G \simeq 3 \times 10^{10} L_{\odot}$$

$$(M/L \simeq 6 M_{\odot}/L_{\odot})$$

$$\bar{D}_G \simeq 3 \text{ Mpc}$$

Stelle

$$R_{\odot} = 7 \times 10^{10} \text{ cm} \simeq 2 \text{ s} - \text{luce}$$

$$M_{\odot} = 2 \times 10^{33} \text{ g}$$

$$L_{\odot} = 4 \times 10^{33} \text{ erg/s (bolometrica)}$$

$$\bar{D}_{\star} \simeq 1 \text{ pc} = 3.086 \times 10^{18} \text{ cm}$$

$$\simeq 3.26 \text{ anni} - \text{luce}$$

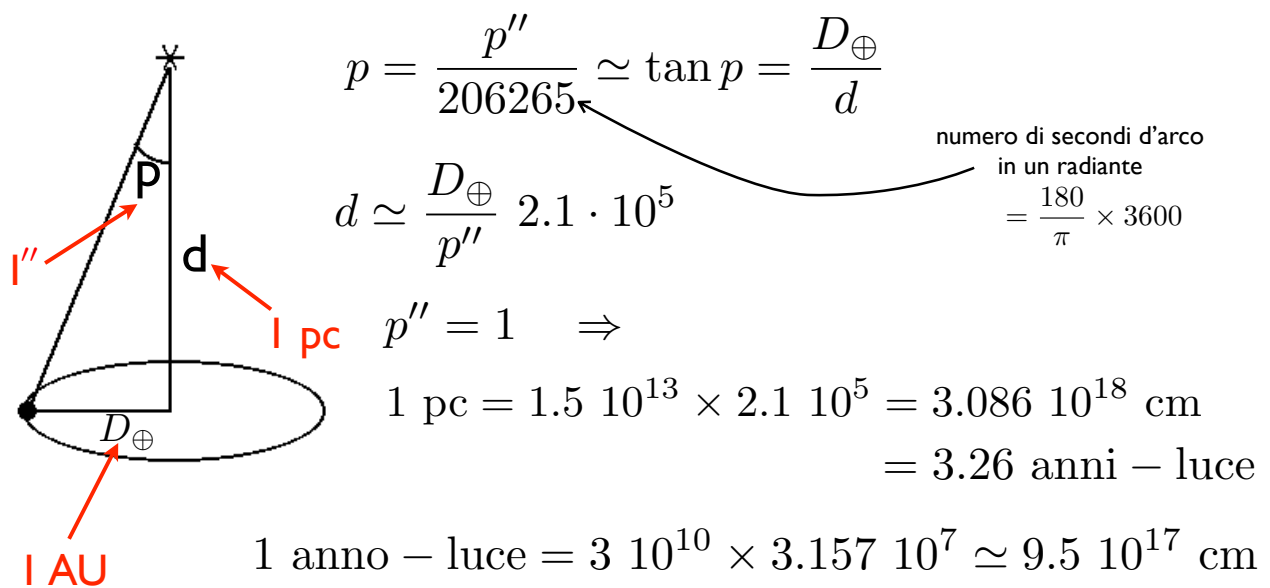
Universo

$$R_H = 4 \text{ Gpc}$$

$$\simeq 13 \text{ G} - \text{anni} - \text{luce}$$

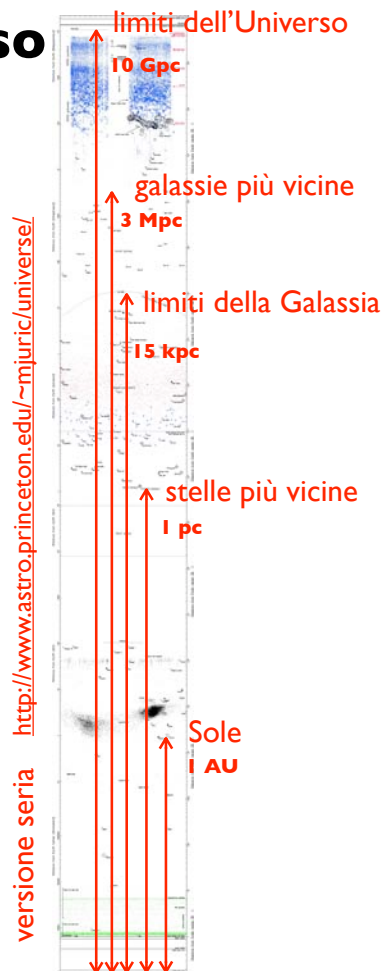
$$t_H \equiv \frac{R_H}{c} = 13 \text{ Ga}$$

parsec: parallasse un secondo



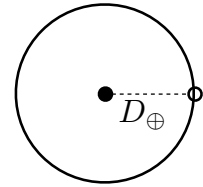
distanze nell'universo

in scala logaritmica



costante solare

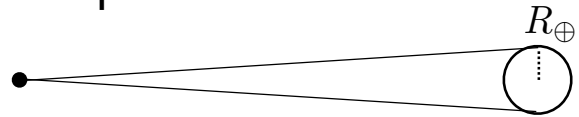
è il flusso della radiazione e.m. che riceviamo dal Sole



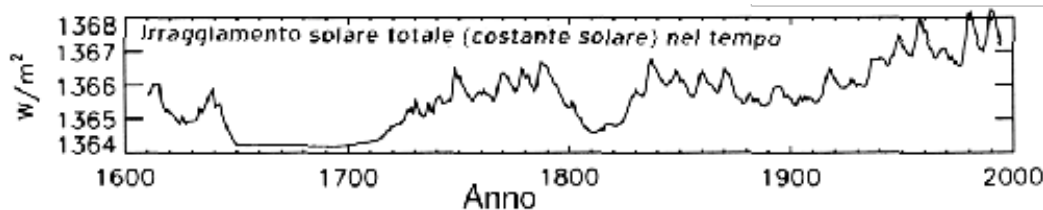
$$F = \frac{L_{\odot}}{4\pi D_{\oplus}^2} = \frac{4 \cdot 10^{33}}{4\pi (1.5 \cdot 10^{13})^2} = 1.4 \cdot 10^6 \text{ erg/s/cm}^2 = 1.4 \text{ kW/m}^2$$

energia totale ricevuta per unità di tempo:

$$\pi R_{\oplus}^2 F = 1.8 \cdot 10^{24} \text{ erg/s}$$



la costante solare non è veramente costante:



$$\Delta \lesssim \% \rightarrow 10^{21} - 10^{22} \text{ erg/s} \longrightarrow \text{squilibri climatici}$$

energia prodotta
dall'Umanità:

$$L_u \sim 10^{20} \rightarrow 10^{21} \text{ erg/s} \longrightarrow \text{problemi}$$

altezza delle montagne

- fino a che altezza H una montagna può reggere il suo peso?
- come varia questa condizione con le dimensioni del pianeta?
- la forza gravitazionale è contrastata dal legame che tiene insieme gli ioni nel reticolo cristallino della roccia
- se la forza gravitazionale prevale, il legame cristallino si spezza, la montagna si abbassa di una certa altezza, e la roccia può scorrere
- dal punto di vista energetico il processo è equivalente ad un abbassamento al suolo dello strato sommitale, per un'altezza H
- l'energia potenziale gravitazionale guadagnata con l'abbassamento è circa uguale all'energia necessaria per lo scorrimento, una piccola frazione dell'energia di legame:

energia necessaria per lo scorrimento

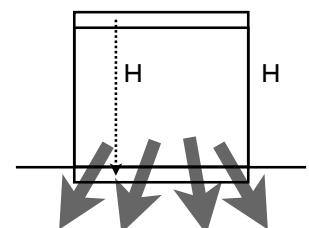
$$E_1 = \xi B, \quad \xi \sim 0.05;$$

energia di legame

$$B = \gamma Ry, \quad \gamma \sim 0.2$$

energia di legame dell'atomo di H

$$Ry = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} = 13.6 \text{ eV}$$



- per ogni molecola di massa Am_p si ha: $Am_p H g = E_1$

$$\Rightarrow H = \xi \gamma \frac{m_e e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{Am_p g}$$

- inoltre: $g = \frac{GM}{R^2}$ (M,R: massa e raggio del pianeta)

- M ed R sono legate, possiamo calcolare la densità attraverso massa e raggio del pianeta o attraverso massa e raggio di un tipico atomo o molecola costituente. la densità è circa pari alla densità atomica:

$$\rho = \frac{M}{\frac{4\pi}{3} R^3} = \frac{Am_p}{\frac{4\pi}{3} R_a^3} \approx 1 \text{ g/cm}^3$$

$$R_a = f a_o, \quad f \sim 1 - 6 \quad (\text{f cresce lentamente con A})$$

$$a_o = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} = 0.53 \cdot 10^{-8} \text{ cm} \quad (\text{raggio di Bohr})$$

$$\Rightarrow H = \xi \gamma \frac{m_e e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{Am_p} \frac{R^2}{G} \frac{1}{Am_p} \left(\frac{f a_o}{R} \right)^3$$

sfericità dei pianeti ed altezza delle montagne

$$H = \xi \gamma \frac{m_e e^4}{2 \hbar^2} \frac{1}{Am_p} \frac{R^2}{G} \frac{1}{Am_p} \left(\frac{f a_o}{R} \right)^3$$

$$\Rightarrow H = \frac{\xi \gamma f^3}{2} \frac{a_o^2}{A^2} \frac{e^2}{G m_p^2} \frac{1}{R}$$

ci interessa il rapporto H/R : se è piccolo, il pianeta è circa sferico

$$\frac{H}{R} = \frac{\xi \gamma f^3}{2} \frac{a_o^2}{A^2} \frac{e^2}{G m_p^2} \frac{1}{R^2} = \left(\frac{R^*}{R} \right)^2$$

$$R^* = \frac{a_o}{A} \sqrt{\frac{\xi \gamma f^3}{2} \frac{e^2}{G m_p^2}} \rightarrow 3 \cdot 10^7 \text{ cm} = 300 \text{ km}$$

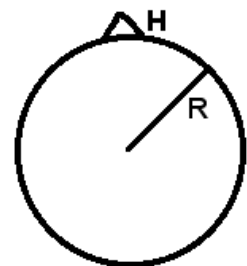
$\begin{matrix} \nearrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ 5 \cdot 10^{-9} & 60 & 10^{-2} & 1.2 \cdot 10^{36} \end{matrix}$

a R^* corrisponde una massa caratteristica:

$$M^* = \rho \frac{4\pi}{3} R^{*3} \approx 10^{23} \text{ g}$$

ma per $R=R^*$: $H/R=1$

vogliamo H/R piccolo p.es. $\sim 1/10$, allora occorre $R \sim 3R^*$, $M \sim 20 M^*$



le montagne: $H \propto R^{-1}$



Monte Everest, Terra: $H \sim 9$ km, $R = 6400$ km



Monte Olimpo, Marte: $H \sim 24$ km, $R = 3400$ km

nuova definizione di pianeta

Praga, 24 agosto 2006, assemblea generale
della Unione Astronomica Internazionale



Plutone non è
più un pianeta



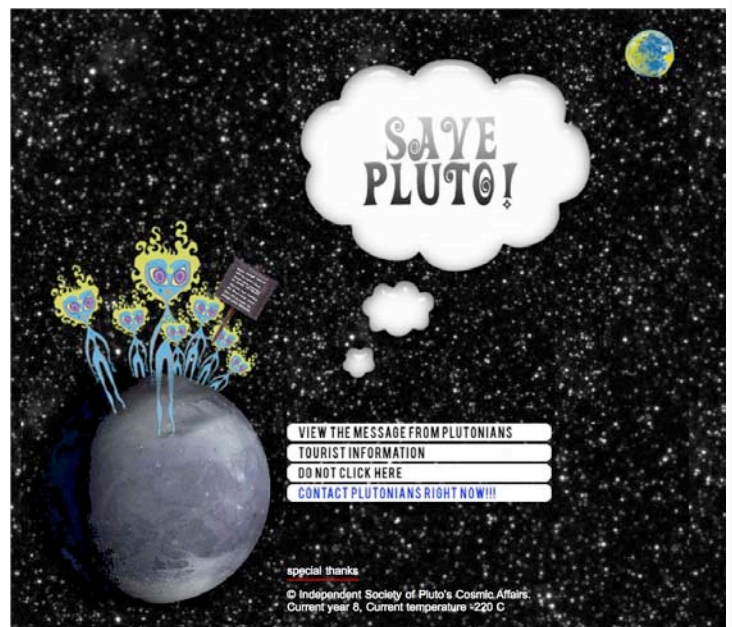
(1) A "planet" is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) **has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape**, and (c) has cleared the neighbourhood around its orbit.

(2) A "dwarf planet" is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) **has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape**, (c) has not cleared the neighbourhood around its orbit, and (d) is not a satellite.

(3) All other objects, except satellites, orbiting the Sun shall be referred to collectively as "Small Solar System Bodies".

lettura:

<http://astro.cas.cz/nuncius/appendix.html>



nineplan

occorre $M \sim 10^{24}$ g $R \sim 800$ km