

CARATTERISTICHE FISICHE DEL SOLE .1

Ledo Stefanini

COME LE TEORIE E L'ATTIVITÀ
SPERIMENTALE SIANO FECONDE DI
ULTERIORI CONOSCENZE

DATI DI PARTENZA

- VELOCITA' DELLE ONDE E.M.
- TEMPO DI ANDATA E RITORNO DI UN IMPULSO RADAR
- RIFLESSO DAL SOLE

$$c = 3,00 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$T = 16,5 \text{ min}$$

- DISTANZA TERRA-SOLE

- (Unità astronomica) $D_S = 3,00 \times 10^8 \times 16,5 \times 60 \times \frac{1}{2} m$

- DURATA DI UNA RIVOLUZIONE $U.A. \cong 1,5 \times 10^{11} m$

- (un anno)

$$T = 3,15 \times 10^7 s$$

MISURA DEL RAGGIO ANGOLARE



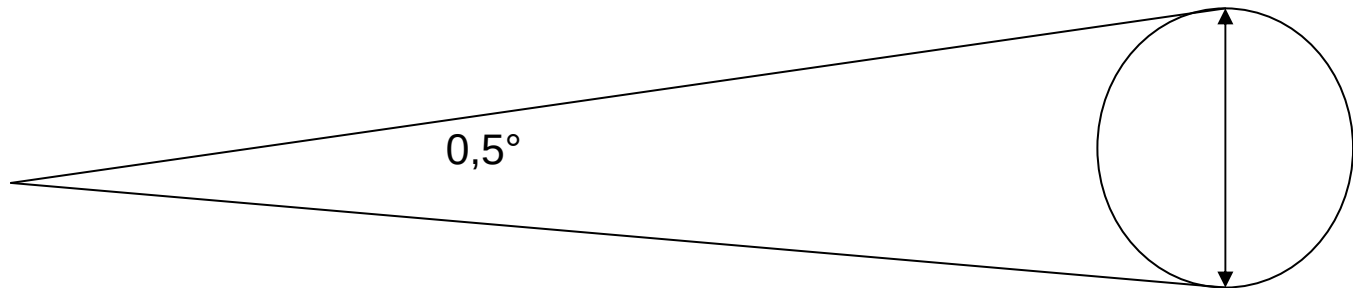
- Con una lente a lunga focale si produce un'immagine del Sole su un cartoncino. La misura angolare del diametro è il rapporto tra il diametro d dell'immagine e la focale f della lente:

$$\square \quad \delta = d / f$$

$$\delta \cong 30'$$

RAGGIO DEL SOLE

- Dall'ampiezza angolare e dalla distanza del Sole se ne ricava il diametro



$$R = \frac{\delta}{2} \times D = \frac{1}{2} \frac{0,5^\circ}{360^\circ} \times 2\pi \times 1,5 \times 10^{11} m =$$

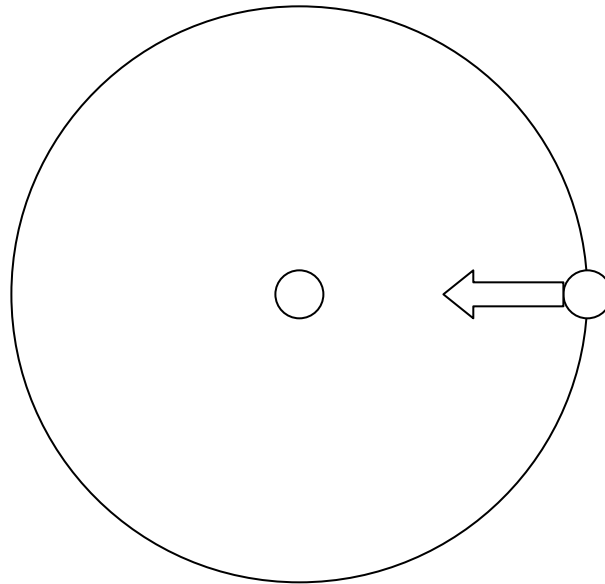
$$= 6,96 \times 10^8 m$$

- Il raggio del Sole è circa 100 volte più grande di quello della Terra.

MASSA

- Si ricava dalla distanza Terra-Sole e dal periodo di rivoluzione della Terra (e dalla meccanica di Newton + la legge di gravitazione universale).
- La meccanica di Newton afferma che se la Terra descrive (nel sistema solidale col Sole) una circonferenza, è per due motivi:
- il Sole ha una massa molto maggiore di quella della Terra;
- la Terra è soggetta ad una forza costantemente diretta verso il Sole.

- Ipotesi di Newton:
- questa forza sia dovuta ad una attrazione che il Sole esercita sulla Terra;
- che l'intensità dell'attrazione sia espressa da



- Dove M ed m sono la massa del Sole e della Terra (con $M \gg m$) e d la loro distanza.
- Se si misurano le masse in kg e le distanze in m , la (1) si traduce in

$$F \propto \frac{M_{\odot} m}{d^2} \quad (1)$$

$$F = G \frac{M_{\odot} m}{d^2} \quad (2)$$

- dove G (la costante di Cavendish) risulta da misure di laboratorio con il valore

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg \ s^2}$$

- Dal secondo principio della meccanica di Newton discende che l'accelerazione centripeta della Terra è legata alla massa del Sole da

$$a = \Omega^2 d = \frac{4\pi^2}{T^2} d = G \frac{M_{\odot}}{d^2} \quad (3)$$

- Da questa deriva la massa del Sole:
- Questa è anche la terza legge di Keplero.
- Inserendo i valori che abbiamo ricavato, si ottiene

$$M_{\otimes} = \frac{4\pi^2}{G} \frac{d^3}{T^2} \quad (4)$$

$$M_{\otimes} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

- Poiché il volume del Sole è

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Possiamo ricavarne la densità (media)

$$\rho = \frac{M_{\odot}}{V} \approx 2 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

COSTANTE SOLARE

- Si indica con questo nome la potenza che si raccoglie, sulla Terra, sull'unità di superficie (fuori dell'atmosfera). Il valore attualmente accettato è

$$S = 1400 \frac{W}{m^2}$$

- La costante solare è il modulo del *Vettore di Poynting* per le onde elettromagnetiche generate sul Sole.
- Si chiama *luminosità* la potenza emessa globalmente dal Sole:

$$L_{\odot} = 4\pi d^2 \times S \cong 4 \times 10^{26} W$$

- Da questa è possibile ricavare la “brillanza solare” ovvero la potenza emessa dall’unità di superficie solare. Basta moltiplicare la costante solare per

$$\left(\frac{D_{\odot}}{R_{\odot}} \right)^2$$

- Si ottiene la
- potenza emessa da un m² di superficie solare
- ovvero
- BRILLANZA

$$B \cong 6 \times 10^7 \frac{W}{m^2}$$

TEMPERATURA SULLA SUPERFICIE

- *Radiatore perfetto*: un corpo capace di emettere radiazioni su tutte le lunghezze d'onda e, di conseguenza, di assorbire tutte le lunghezze d'onda.
- Viene indicato come *corpo nero*.
- La brillantezza del corpo nero dipende solo dalla sua temperatura (assoluta)

- LEGGE DI STEPHAN-BOLTZMANN
- Dove la costante si misura in laboratorio

$$B_{CN} = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

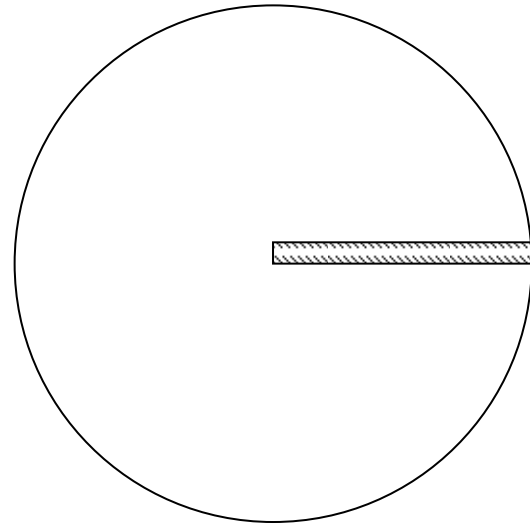
- Dalla brillantezza solare $B_{\odot}$
- Dalla legge di Stephan- Boltzmann
- Dall'ipotesi che la superficie solare si possa assimilare al radiatore ideale
- Dalla misura della costante di S. B.
- Si ricava la temperatura superficiale del Sole:

$$T = \sqrt[4]{\frac{B}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{6,2 \times 10^7}{5,67 \times 10^{-8}}} K = 5800 K$$

PRESSIONE E TEMPERATURA AL CENTRO

- L'ipotesi di base è che il sole sia tenuto insieme dalla forza di gravità.
Consideriamo allora un cilindro che parta dal centro del Sole e vada fino alla superficie.

- Se si trattasse di una colonna di fluido sulla Terra sapremmo quale sarebbe la pressione sul fondo:
 $P = \rho g R$
- dove g indica il campo gravitazionale sulla superficie.



- Il campo sulla superficie dipende dalla massa e dal raggio, secondo la legge di gravitazione di Newton:
- La pressione sul fondo sarà quindi

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

$$P \approx \rho G \frac{M}{R}$$

- Inserendovi i valori della densità media e del raggio, otteniamo
- Prendiamo ora 1 m^3 di materia solare. Si tratta di un gas di protoni (ed elettroni). Poiché la sua massa è

$$p \cong 10^{14} \text{ Pa}$$

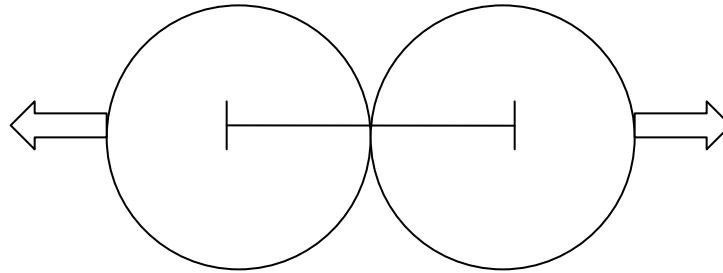
$$\rho_{\otimes} = 1,8 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- il numero di moli che lo costituisce è $1,8 \times 10^6$. Se ora pensiamo che la pressione al centro sia quella che abbiamo stimato e che sia legittimo applicare l'equazione del gas perfetto, ne ricaviamo la temperatura:

$$T = \frac{pV}{nR} \cong 7 \times 10^6 \text{ K}$$

ENERGIA GRAVITAZIONALE

- Il Sole è tenuto insieme dalle forze gravitazionali. Per separarlo nelle particelle di cui è costituito dovremmo compiere lavoro, ovvero fornirgli energia. E' questa l' *energia gravitazionale del sole*.
- Calcoliamo quanta energia dovremmo spendere per separare due soli adiacenti:



- Tale energia di separazione sarebbe

$$E = G \frac{M_{\otimes} M_{\otimes}}{2R}$$

- Un calcolo più accurato non porterebbe grandi cambiamenti al risultato ottenuto. L'energia che tiene unito il Sole è

$$E \approx G \frac{M_{\otimes} M_{\otimes}}{2R} \approx 10^{41} J$$

ENERGIA TERMICA

- Le particelle che costituiscono il Sole sono dotate di energia gravitazionale e di energia cinetica. Ogni particella possiede un'energia cinetica $(3/2)kT$.
- K = costante di Boltzmann
- T = temperatura
- Da quante particelle è costituito il Sole?

- La massa del Sole è
 $M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$.
- La massa di un protone
 è 1 grammo/ A,
 essendo A il numero di
 Avogadro:
- $A = 6 \times 10^{23}$.
- Numero di protoni che
 costituiscono il Sole:

$$N = \frac{M_{\odot}}{m} = \frac{2 \times 10^{30} \times 6 \times 10^{23}}{1 \times 10^{-3}} \approx 10^{57}$$

- Al centro del Sole abbiamo stimato una temperatura di qualche decina di 10^6 gradi.
- L'energia termica complessiva sarà

$$E_T = \left(\frac{3}{2} kT \right) N = \left(\frac{3}{2} \frac{R}{A} T \right) \frac{M_{\odot}}{10^{-3}} A =$$

$$= \left(\frac{3}{2} RT \right) M_{\odot} 10^3 \approx 2 \times 10^{41} J$$

- Il fatto che l'energia termica sia dello stesso ordine di grandezza dell'energia gravitazionale non può essere casuale.
- Qualsiasi modello fisico del Sole dovrà spiegare questa osservazione.