

La radiazione di corpo nero - II

Edoardo Milotti

CdS Fisica A. A. 2007-8

Irradianza in funzione della frequenza

$$\begin{aligned} I(\nu) &= \frac{4\pi^2 \hbar}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{e^{2\pi\beta\hbar\nu} - 1} = \frac{k^3}{2\pi\hbar^2 c^2} \cdot \frac{(2\pi\hbar\nu/k)^3}{e^{2\pi\hbar\nu/kT} - 1} \\ &= \frac{k^3 T^3}{2\pi\hbar^2 c^2} \cdot \frac{x^3}{e^x - 1} \end{aligned}$$

dove

$$x = \frac{2\pi\hbar\nu}{kT}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

costante di Planck ridotta

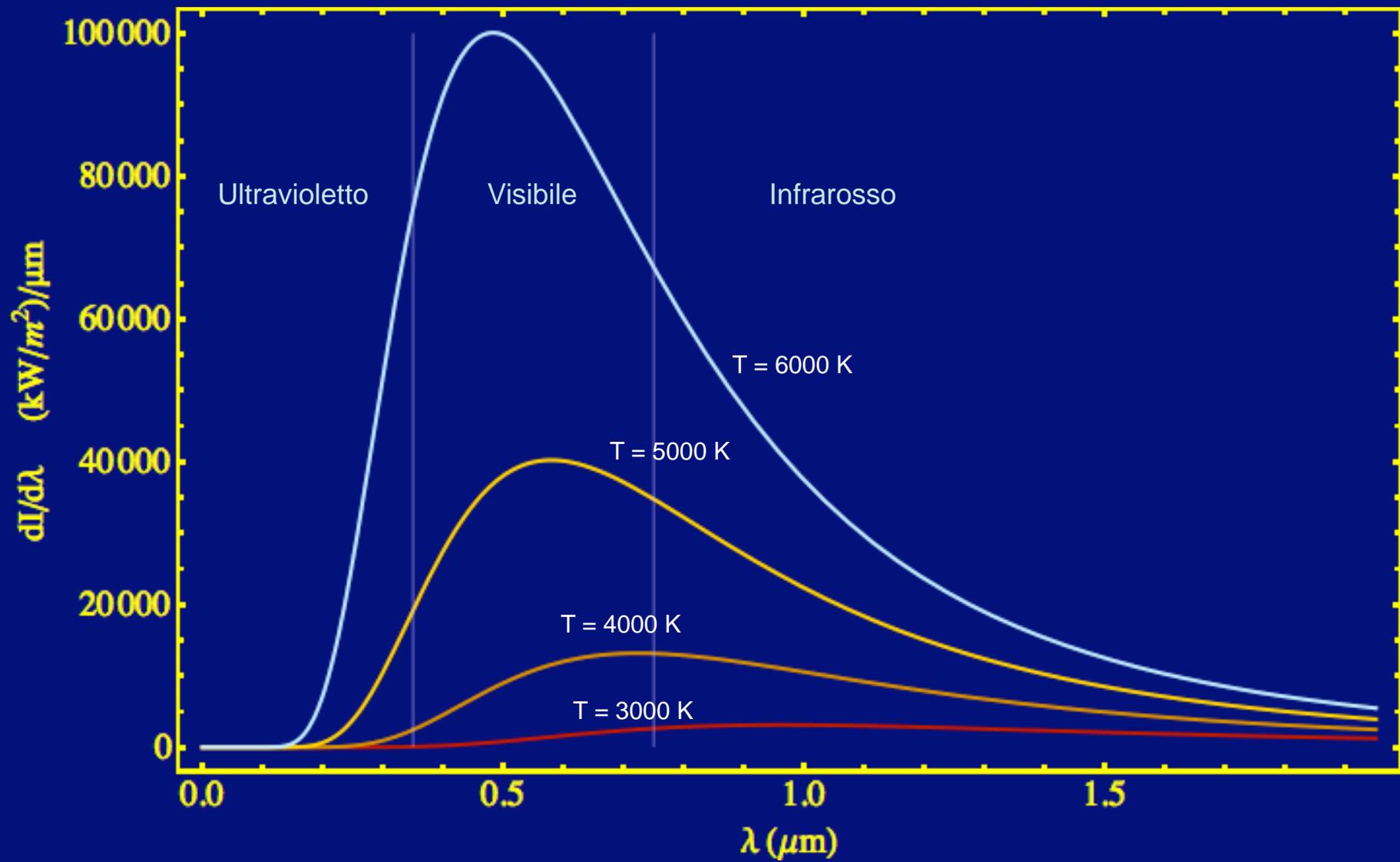
“acca tagliato”

Irradianza in funzione della lunghezza d'onda $\lambda = \frac{c}{\nu}$

$$I(\nu)d\nu = I(\nu(\lambda))\left|\frac{d\nu}{d\lambda}\right|d\lambda = I(\lambda)d\lambda$$

$$\left|\frac{d\nu}{d\lambda}\right| = \frac{c}{\lambda^2}$$

$$I(\lambda) = \frac{4\pi^2\hbar c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{2\pi\beta\hbar c/\lambda} - 1}$$



$$I = \frac{\pi^2 k^4}{60c^2 \hbar^3} T^4 = \sigma T^4$$

$$\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60c^2 \hbar^3} \approx 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

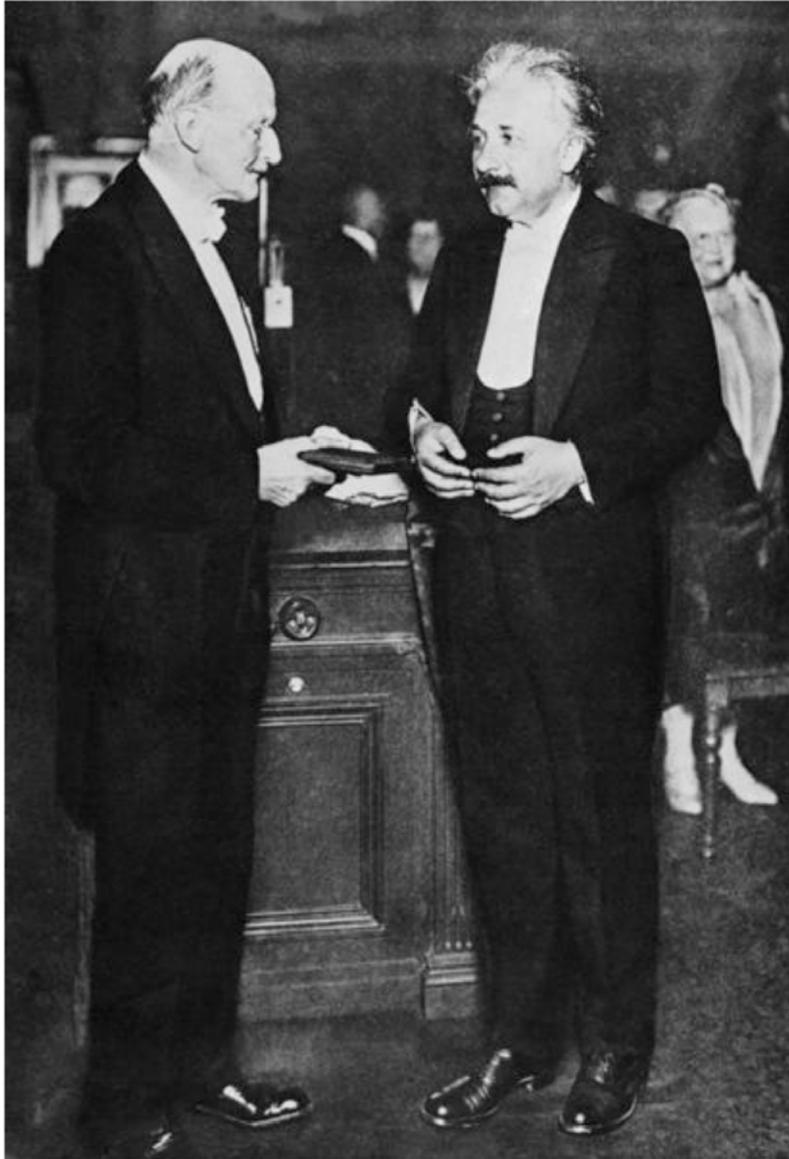


costante di Stefan-Boltzmann

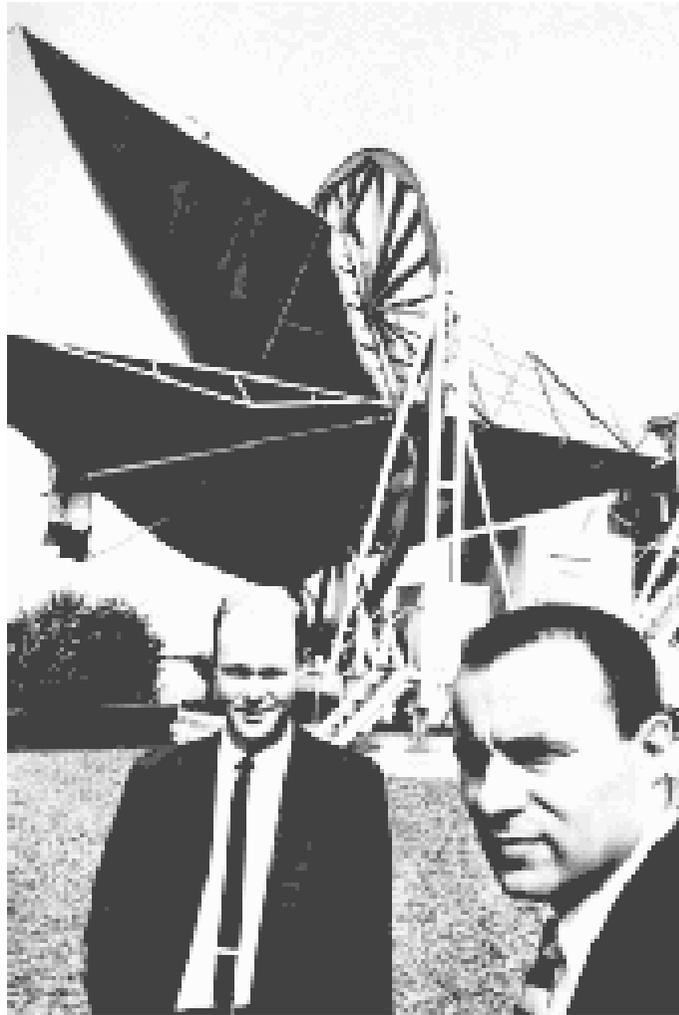
La radiazione di corpo nero nella fisica moderna

Premi Nobel legati direttamente alla fisica del corpo nero:

- 1918 - Max Planck
- 1978 - Arno Penzias & Robert Wilson
- 2006 - John Mather & George Smoot

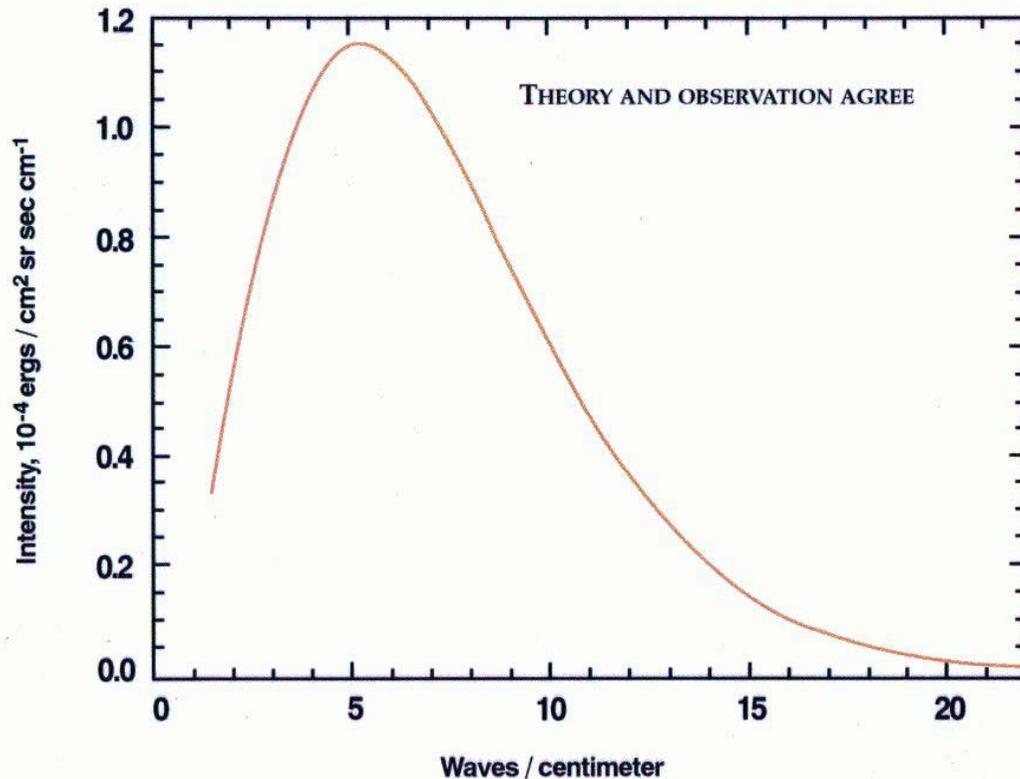


Max Planck mentre dà la medaglia "Max Planck" a Einstein il 28 giugno 1929



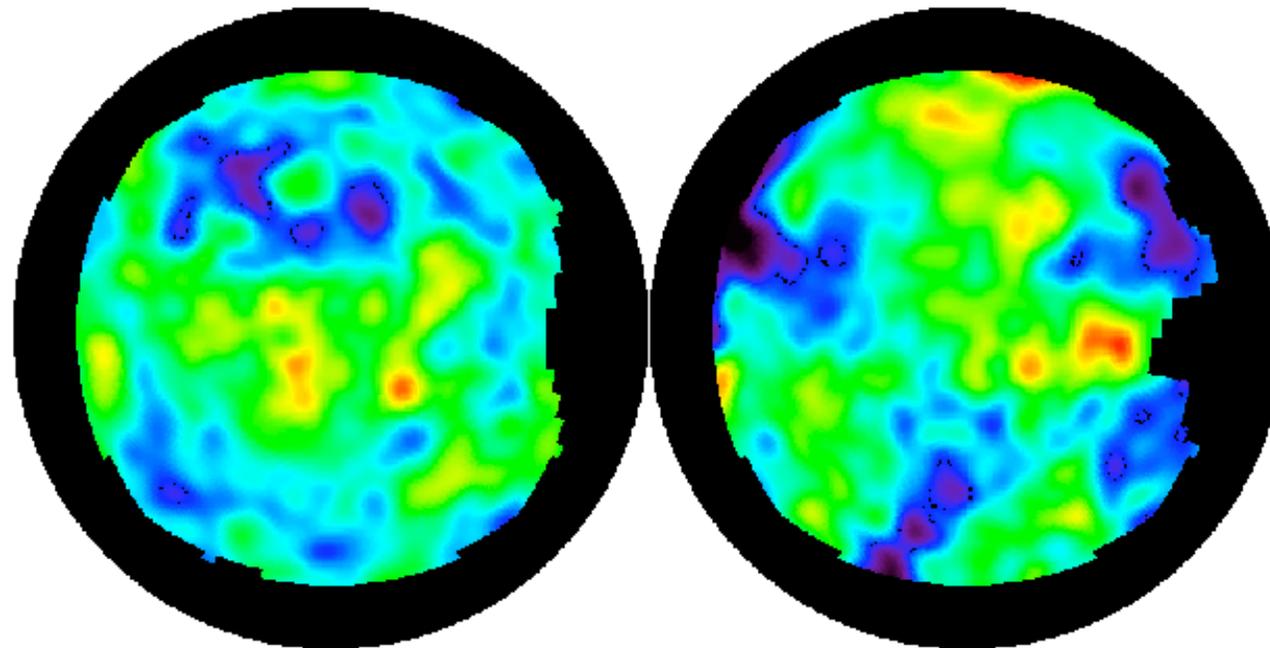
Penzias e Wilson con la loro antenna a basso rumore

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



Spettro della radiazione cosmica di fondo misurato dal satellite COBE. Lo spettro sperimentale è indistinguibile da uno spettro di corpo nero alla temperatura $T = 2.726$ K

COBE-DMR Map of CMB Anisotropy

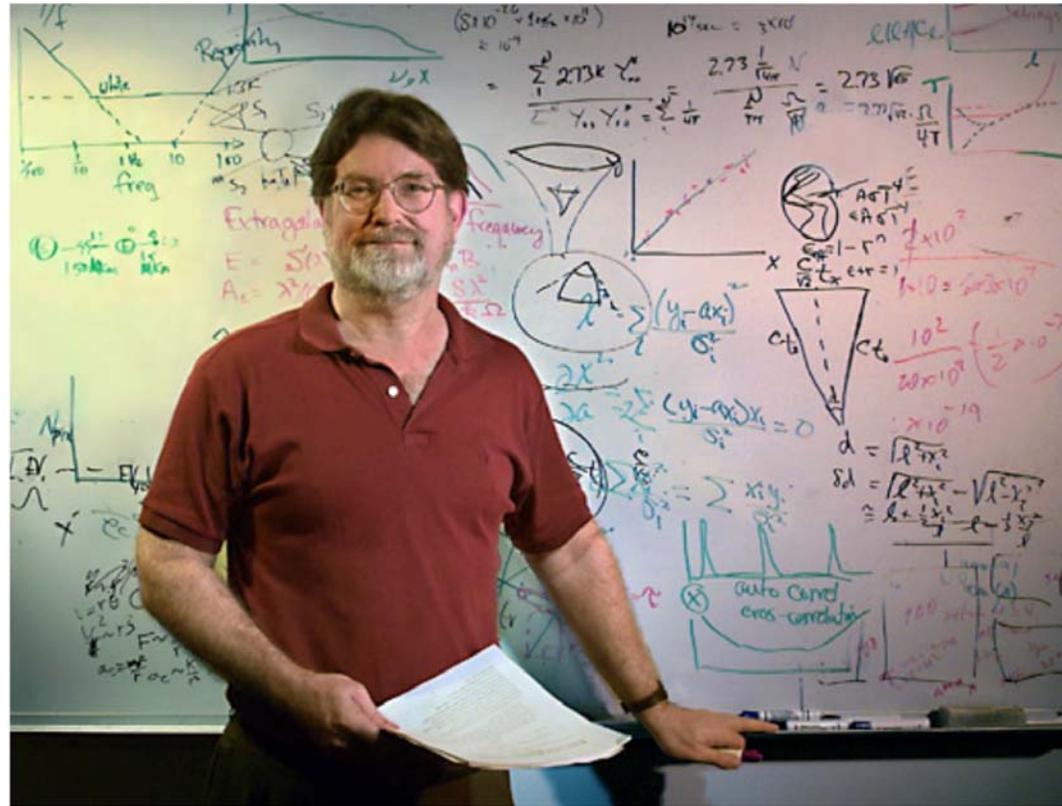


North Galactic Hemisphere

South Galactic Hemisphere

-100 μK  +100 μK

La missione COBE ha avuto un'enorme impatto sulla nostra comprensione dell'universo, e questo contributo è stato riconosciuto con il premio Nobel per la Fisica 2006 ai due coordinatori del progetto, gli americani John C. Mather e George F. Smoot



RELEASE: 06-327

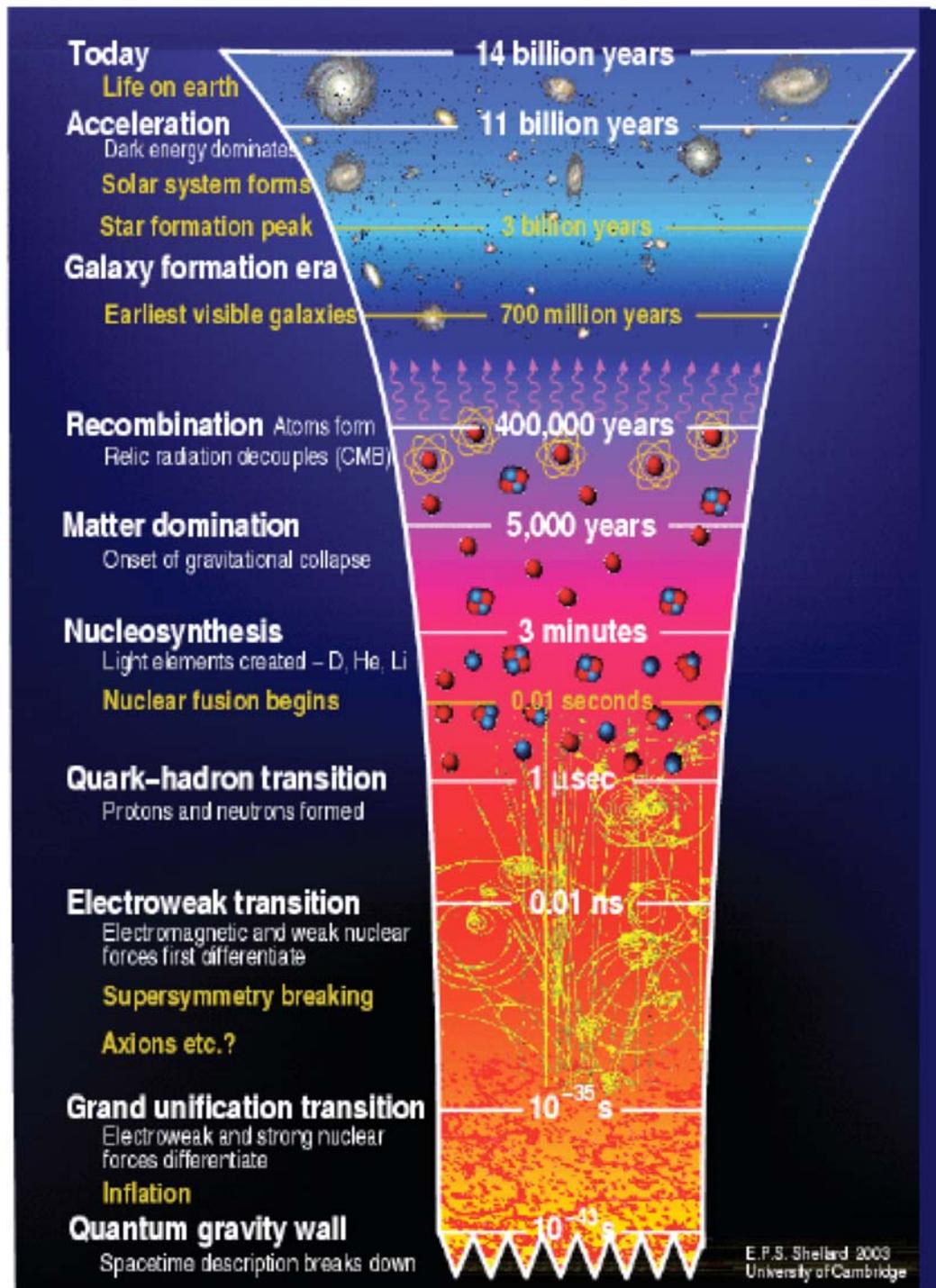
NASA SCIENTIST JOHN C. MATHER WINS 2006 NOBEL PHYSICS PRIZE

The Nobel Prize Committee announced Tuesday that NASA scientist and Goddard Fellow Dr. John C. Mather is this year's recipient of the Nobel Prize for Physics. Mather is currently serving as senior project scientist for NASA's James Webb Space Telescope program.

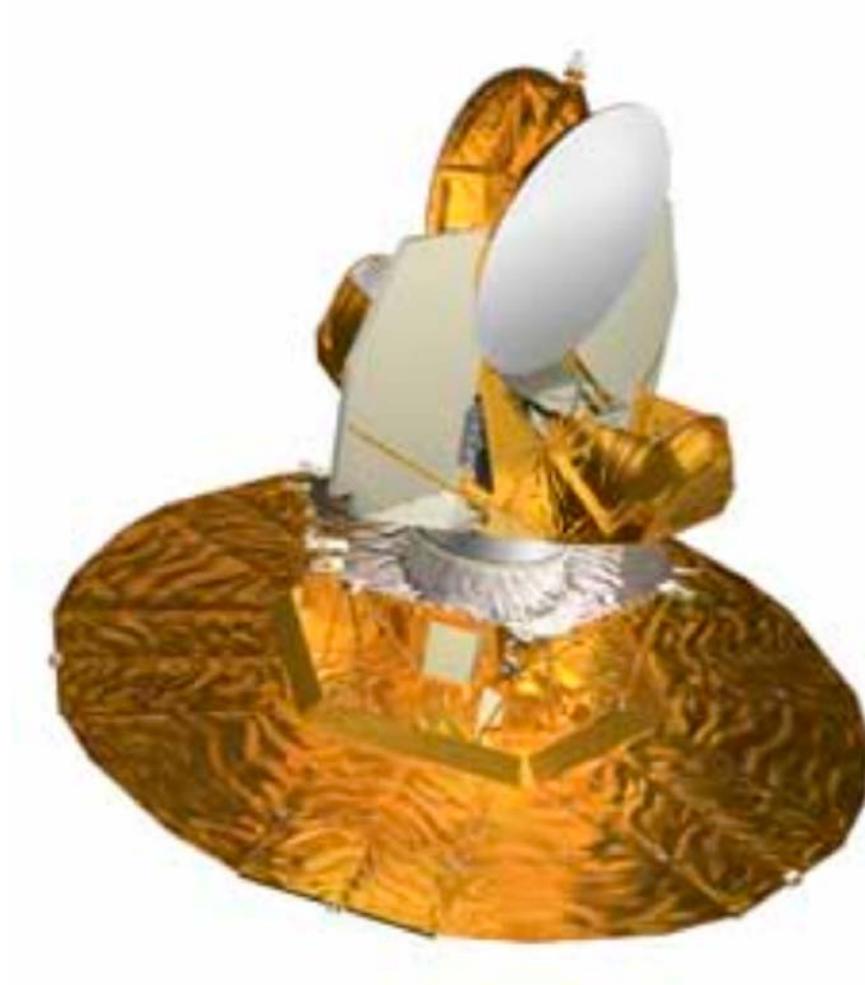
Mather shares the prize with George Smoot of the Lawrence Berkeley National Laboratory in Berkeley, Calif. They received the award for their work that helped cement the Big Bang theory of the universe and deepened our understanding of the origin of stars and galaxies.

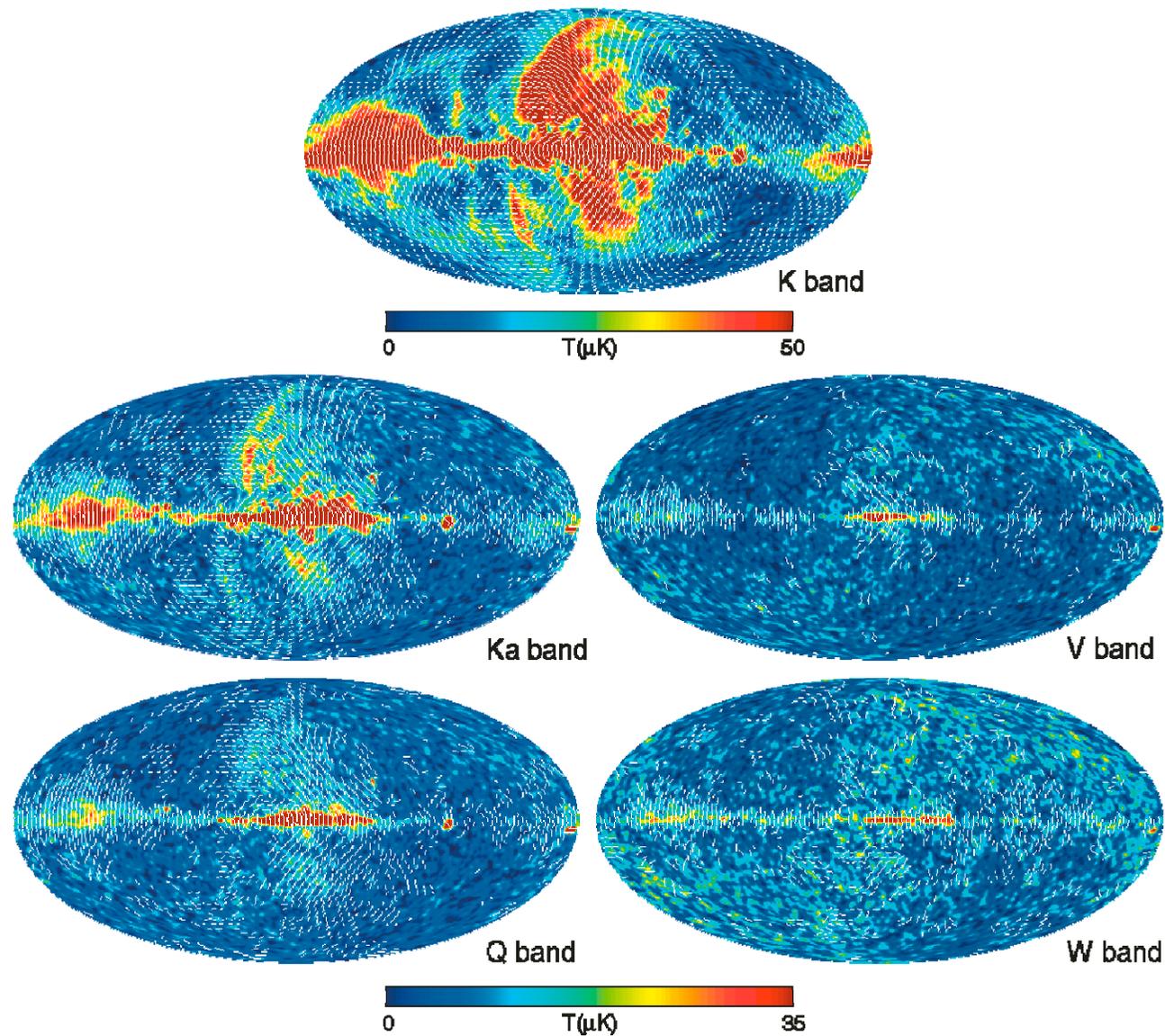
"I was thrilled and amazed when I found out we won the Nobel Prize," Mather said. "The dedicated and talented women and men of the COBE team collaborated to produce the science results being recognized. This is truly such a rare and special honor."

Mather and Smoot's work was based on measurements performed with NASA's Cosmic Background Explorer (COBE) satellite, launched in 1989. Together, the scientists could observe the universe in its early stages about 380,000 years after it was born. Ripples in the light they detected helped demonstrate how galaxies came together over time.



WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)

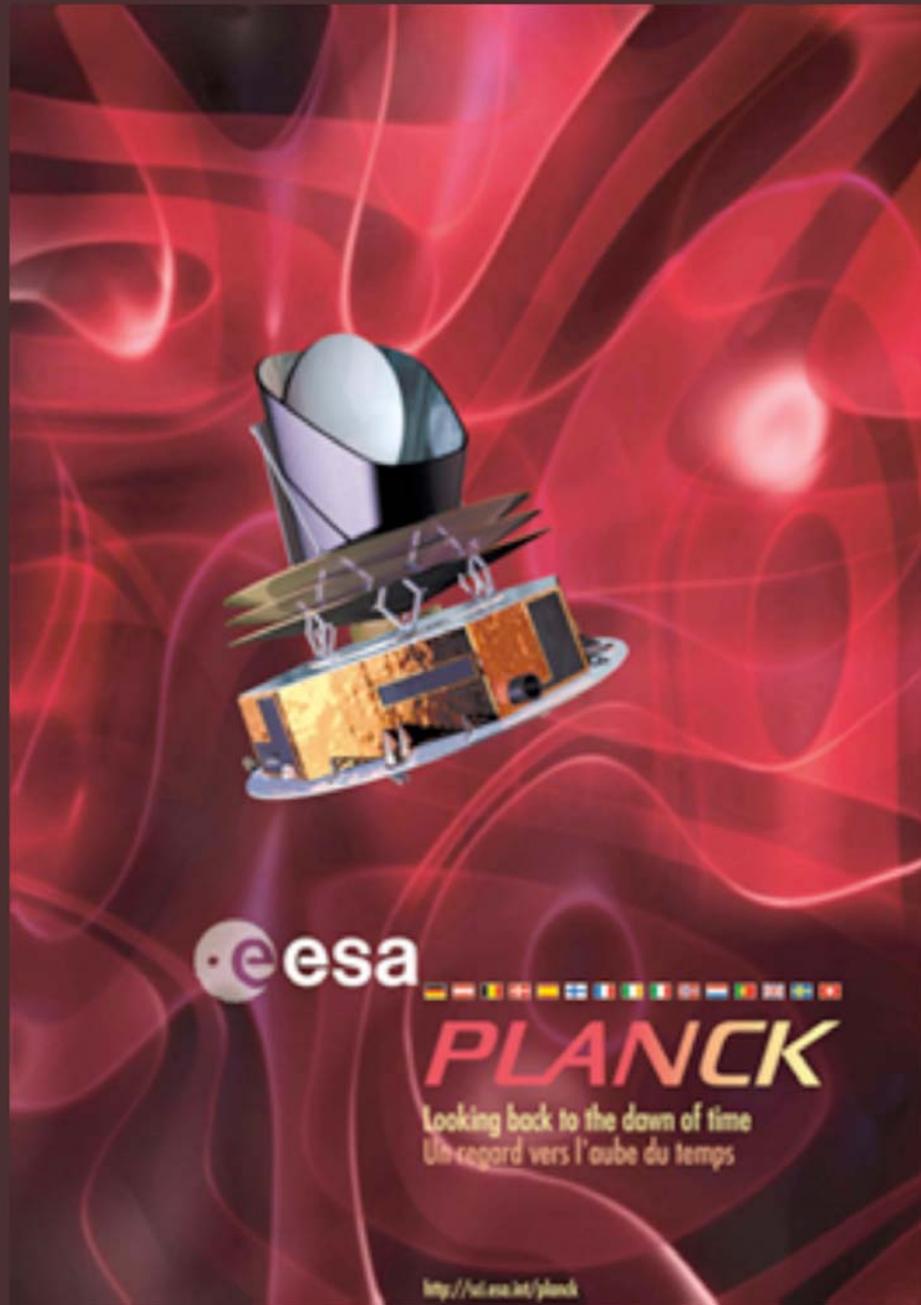




Mappe del cielo rilasciate dal team WMAP ad inizio 2008. Il rosso indica una temperatura più alta, il blu una temperatura più bassa. Le linee chiare indicano la polarizzazione preferenziale della radiazione

Finora WMAP ha prodotto i seguenti risultati

- l'universo ha 13.7 ± 0.2 miliardi di anni
- l'universo è composto da
 - 4% di materia barionica
 - 22% di materia oscura
 - 74% di energia oscura (la costante cosmologica di Einstein?)
- la costante di Hubble vale circa 71 (km/s)/Mpc
- i dati sono compatibili con una geometria piatta (metrica di Minkowski)



• esa

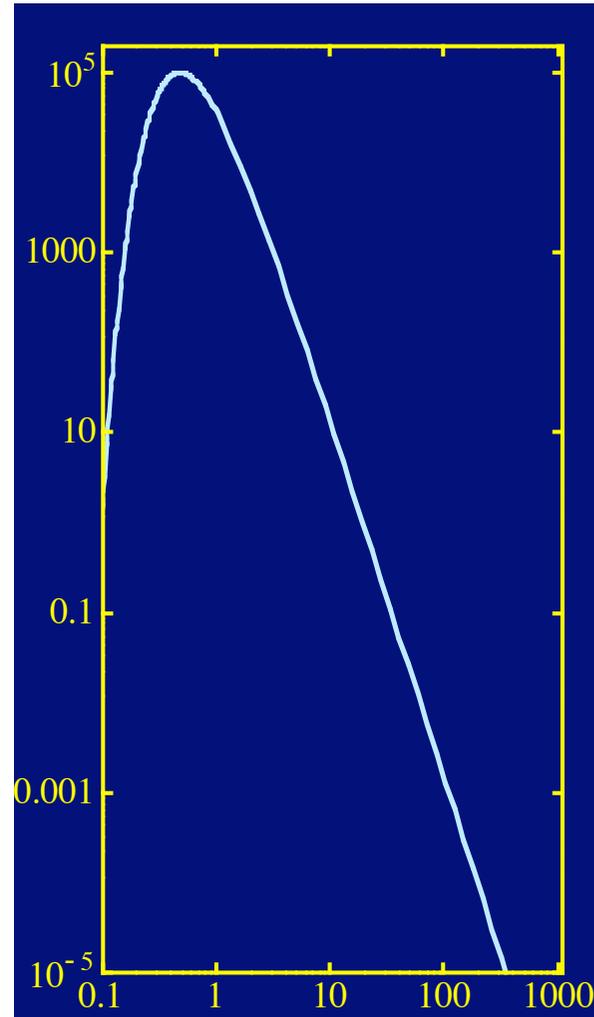
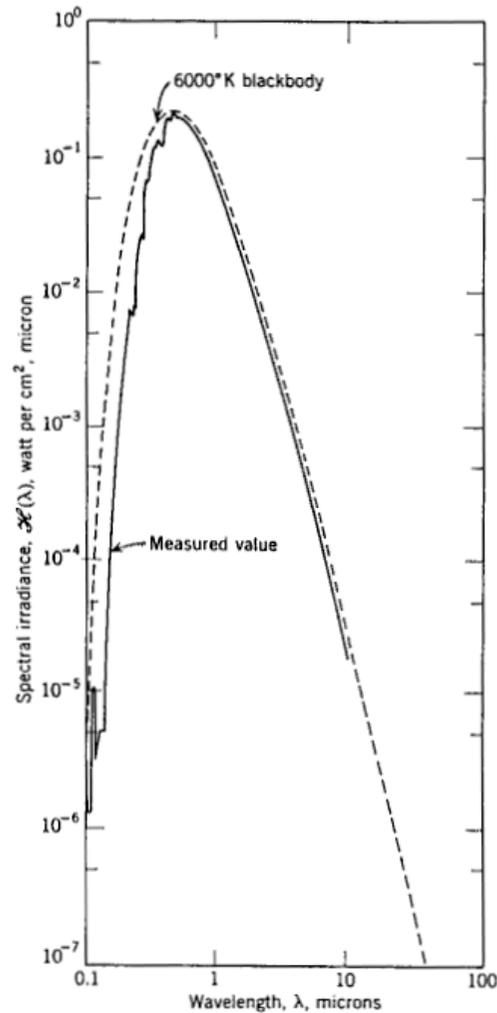


PLANCK

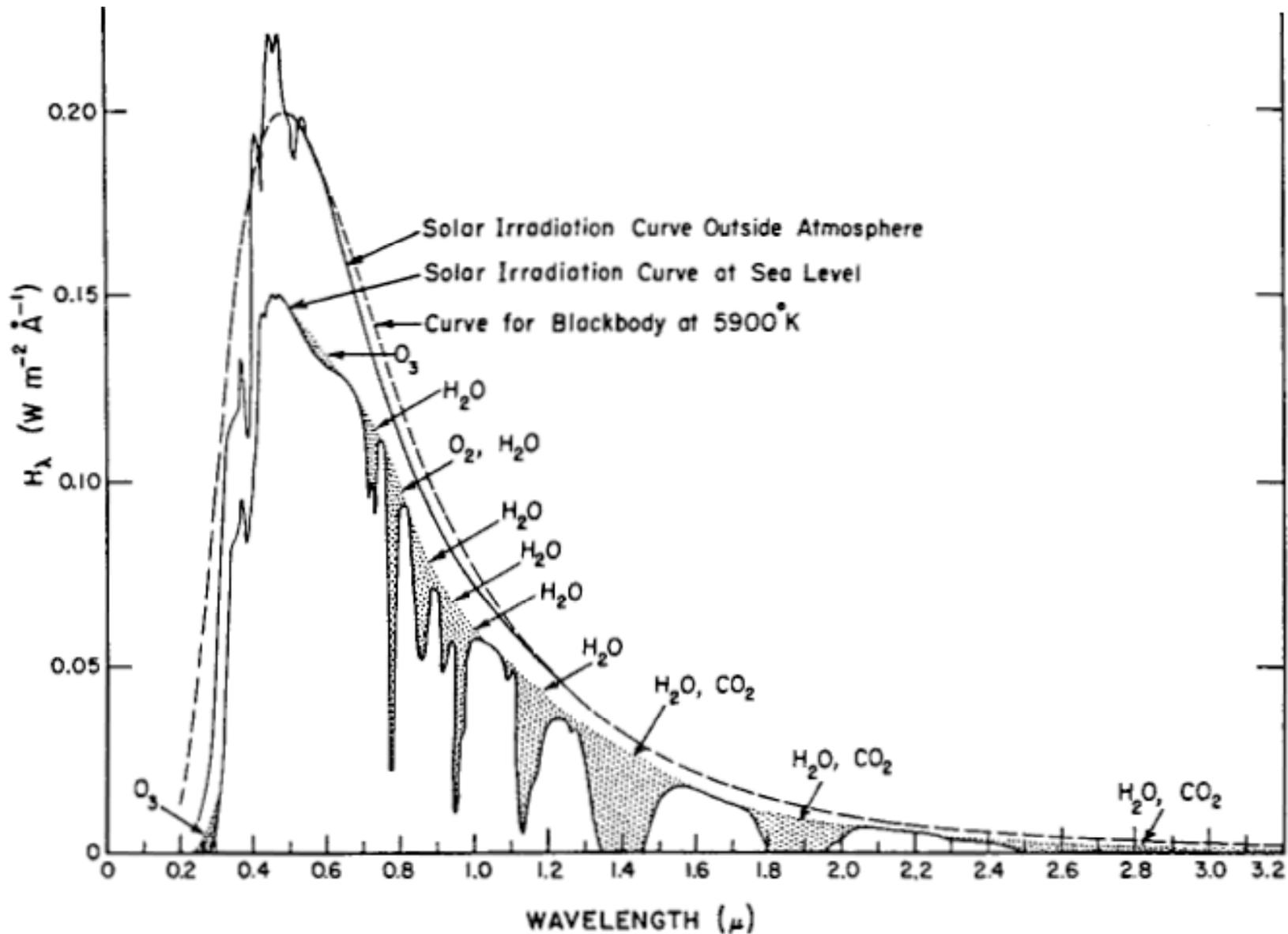
Looking back to the dawn of time
Un regard vers l'aube du temps

<http://sci.esa.int/planck>

Il sole come corpo nero

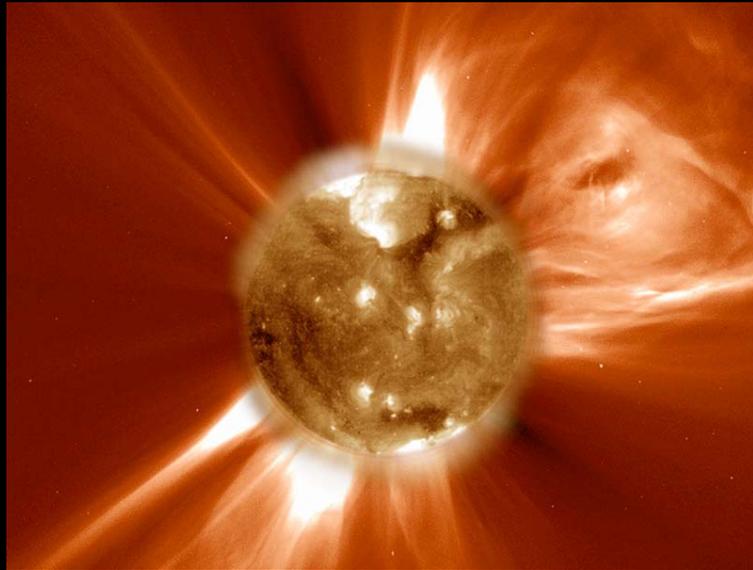


Spettro della radiazione solare al di fuori dell'atmosfera. Si noti il confronto con lo spettro ideale alla temperatura di 6000 K.



Spettro della radiazione solare fuori dall'atmosfera e al livello del mare (con l'indicazione di alcune bande di assorbimento dovute ai gas atmosferici)

Una misura della temperatura superficiale del sole (temperatura della fotosfera solare)



1992 June 07



Irradianza di un corpo grigio

$$I = a\sigma T^4$$

a è il coefficiente di emissione e assorbimento

Dinamica radiativa tra un oggetto e l'ambiente che lo circonda (a temperatura T_A)

$$W = Sa(\sigma T^4 - \sigma T_A^4)$$

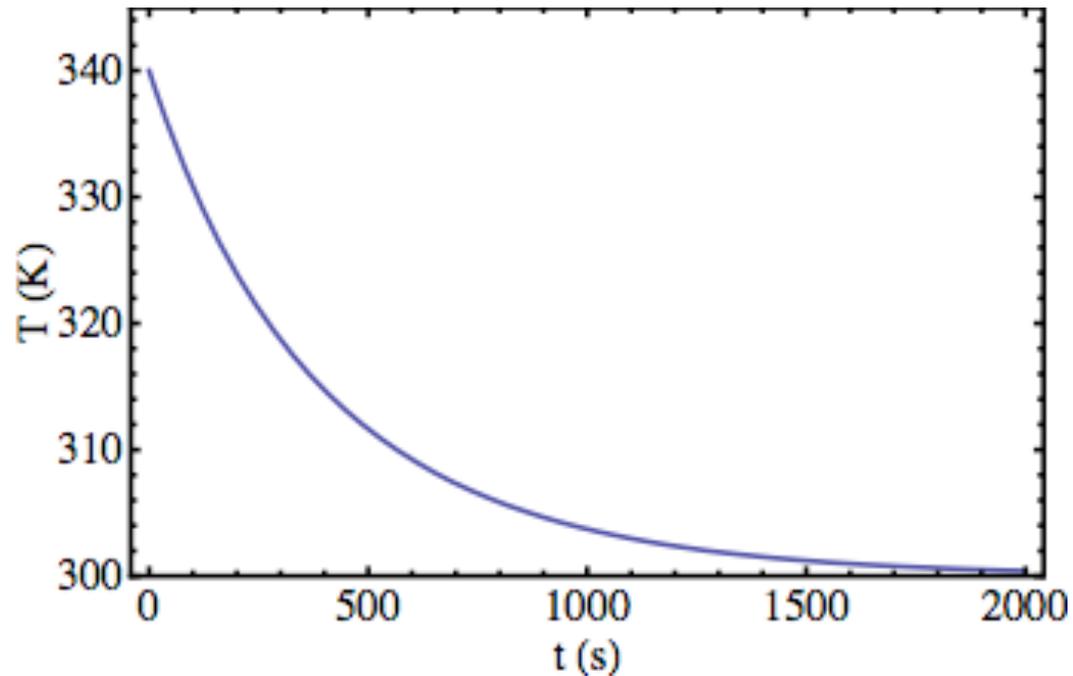
dove S è l'area dell'oggetto.

variazione dell'energia interna

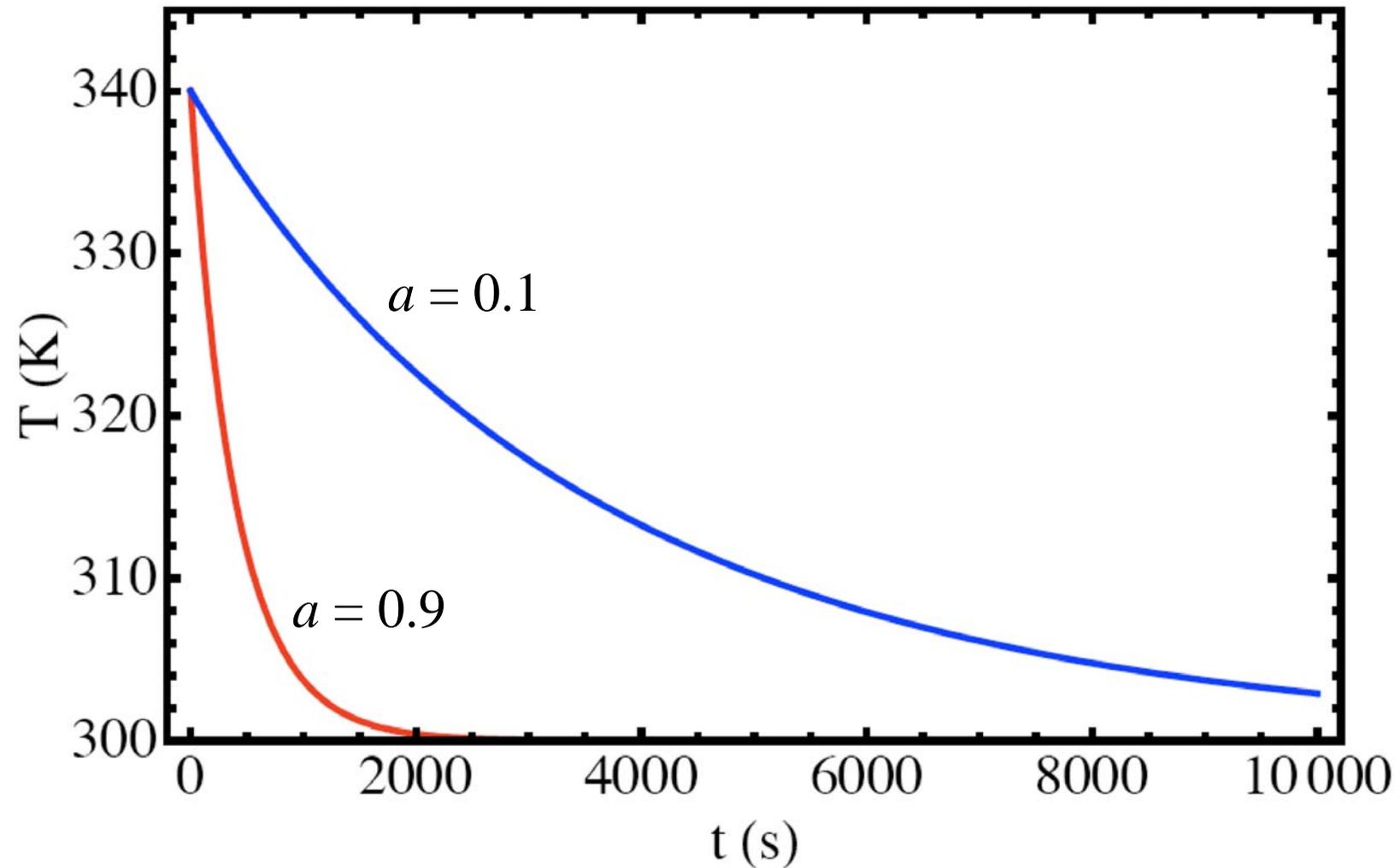
$$\frac{dU}{dt} = -W = -Sa(\sigma T^4 - \sigma T_A^4)$$

utilizzando la capacità termica dell'oggetto si trova

$$C \frac{dT}{dt} = \sigma Sa (T_A^4 - T^4)$$



Esempio di curva di raffreddamento



Curve di raffreddamento per lo stesso oggetto che è stato dipinto con vernici che danno diversa emissività

quindi se si osserva la curva di termalizzazione dell'oggetto mentre lo si porta da un ambiente a temperatura alta (o bassa) ad un ambiente a temperatura T_A , si può ottenere l'emissività

$$a = \frac{C(dT/dt)}{\sigma S(T_A^4 - T^4)}$$

se ora si porta l'oggetto al sole

$$C \frac{dT}{dt} = \sigma S a (T_A^4 - T^4) + \gamma \sigma S_I a T_S^4$$

dove γ è un fattore correttivo e S_I è l'area che intercetta la radiazione solare

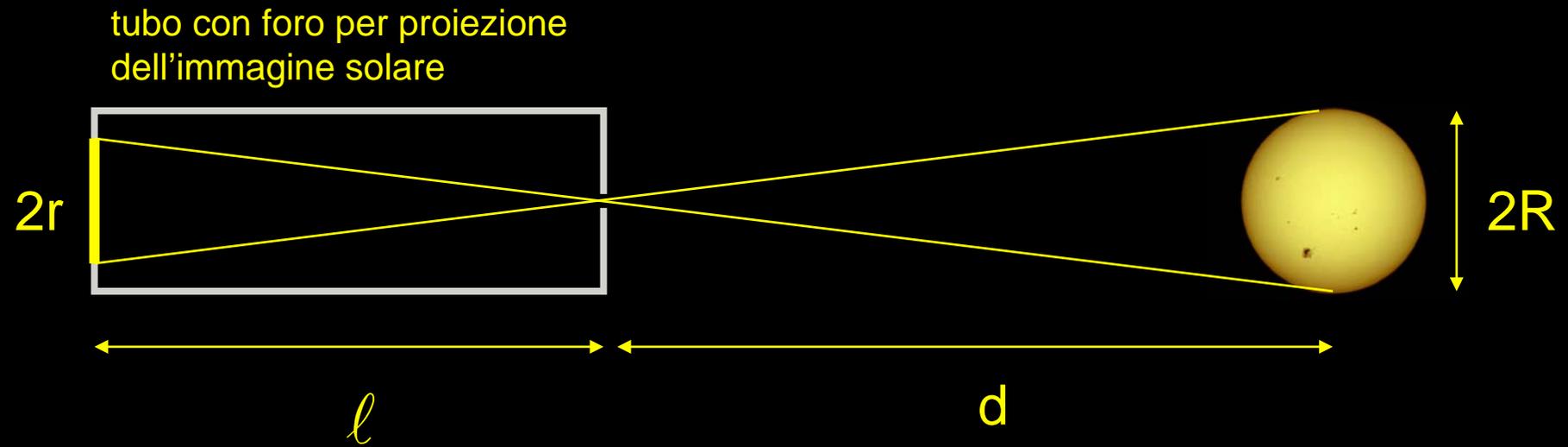
se il sole emette come un corpo nero, allora la potenza totale emessa dal sole è (R = raggio solare)

$$W_s = 4\pi R^2 \sigma T_s^4$$

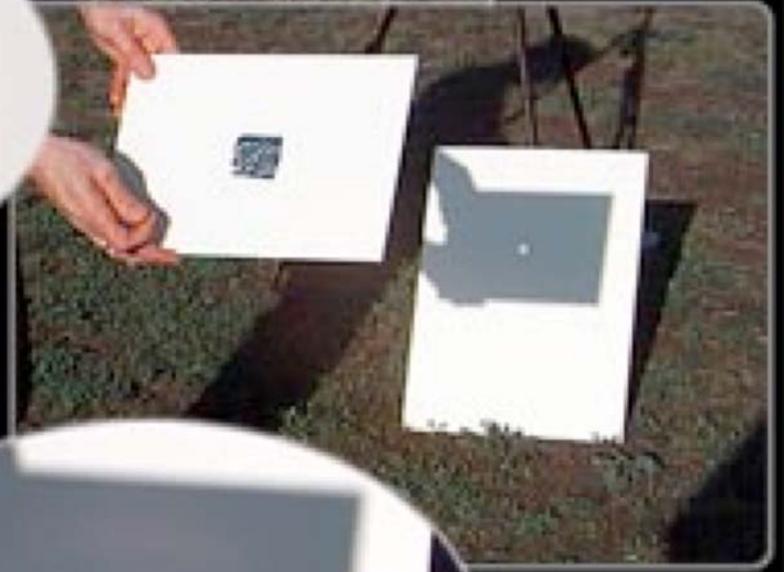
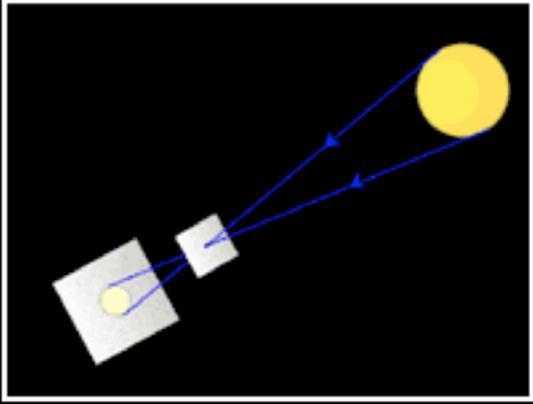
questa però si distribuisce su una sfera di raggio d (distanza terra-sole), vale a dire, l'irradianza della luce solare sulla terra è

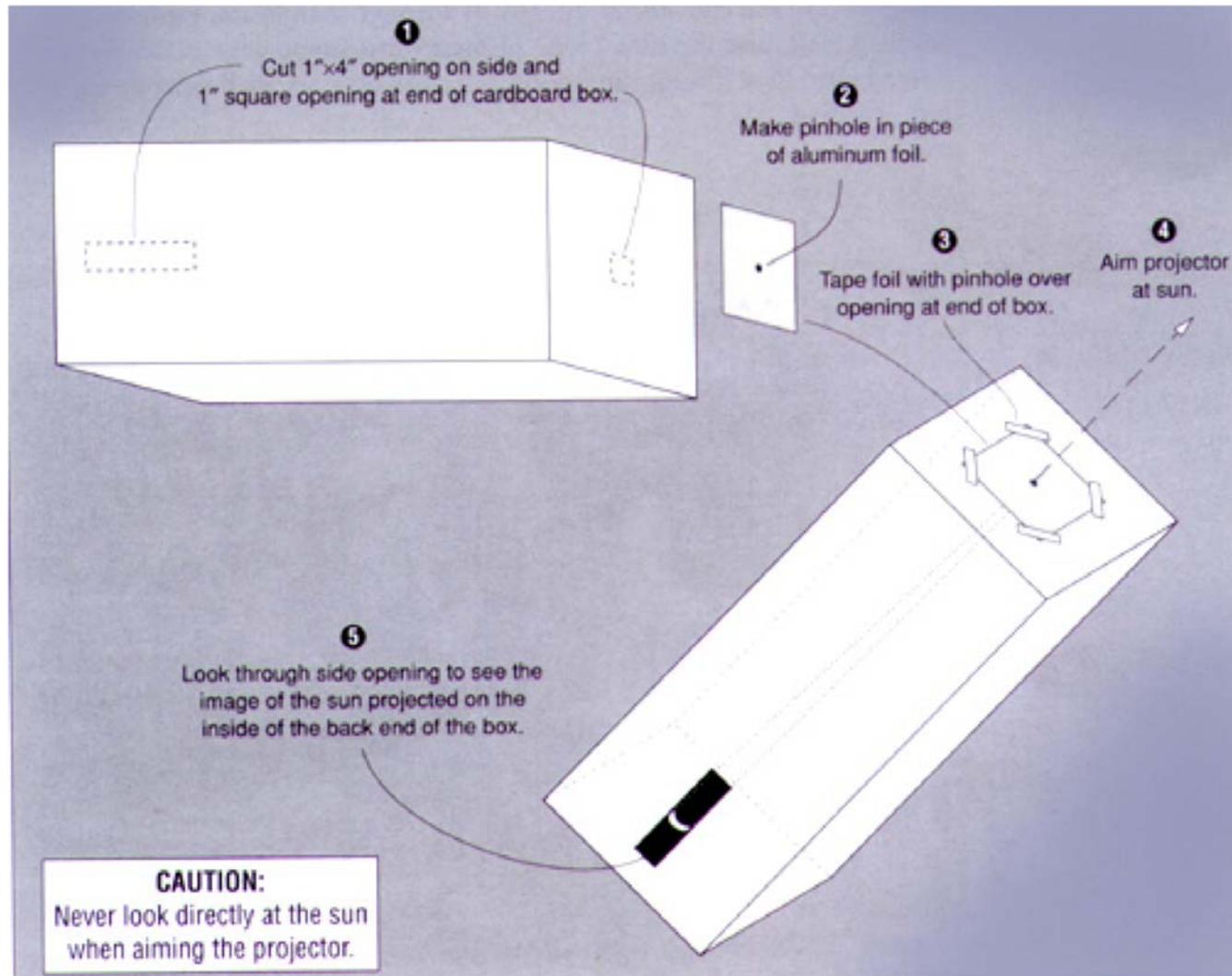
$$\frac{W_s}{4\pi d^2} = \left(\frac{R}{d}\right)^2 \sigma T_s^4 \quad \gamma = (R/d)^2$$

calcolo del coeff.



$$\gamma = \left(\frac{R}{d}\right)^2 = \left(\frac{r}{l}\right)^2$$





dunque

$$C \frac{dT}{dt} = \sigma S a (T_A^4 - T^4) + \left(\frac{R}{d} \right)^2 \sigma S_I a T_S^4$$

da cui si può dedurre la temp. solare

$$T_S^4 = \frac{1}{\sigma S_I a (R/d)^2} \left[C \frac{dT}{dt} - \sigma S a (T_A^4 - a T^4) \right]$$