



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



La matematica del corpo nero

*Gruppo di ricerca in Didattica della fisica e della matematica,
Università di Bologna*

Pavia, 8.10.2016

Origine e struttura del laboratorio

- 1) Percorsi di sperimentazione presso il gruppo di ricerca del DIFA di Bologna
- 2) Il corpo nero come problema nei libri di testo e nell'apprendimento
- 3) Una tesi di laurea sulla modellizzazione matematica del corpo nero in una prospettiva storico-didattica per la scuola secondaria
- 4) Attività di formazione iniziale degli insegnanti sull'insegnamento della Fisica moderna (*cooperative learning*)

La storiografia del corpo nero 1/3

“Per superare questo punto morto, innanzitutto **notiamo che il problema storico dello studio sulla BBT non è ben definito**; sembra che gli storici abbiano cercato di studiare il percorso soggettivo della mente di Planck e in particolare la domanda: **Quando è nato il quanto?** Ma il problema poteva anche essere la nascita di qualche altro aspetto: il ruolo fondativo dell'entropia o delle costanti universali, il non determinismo, la complementarietà, ecc. Ma poi poteva essere **il problema oggettivo della tecnica matematica utilizzata**. Oppure, il problema strutturale di indicare con precisione: la rivoluzione, l'anomalia e i paradigmi di questo caso storico.”

A. Drago, Storiografia del corpo nero: Rivisitazione e nuova impostazione, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C08.1-C08.6.

La storiografia del corpo nero 2/3

“Le tante possibilità indicano che **gli storici non hanno scelto il problema**, ma l’hanno ereditato dalla semplice domanda che ingenuamente i fisici, sconvolti dalla nascita del quanto di luce, hanno posto a loro stessi: quando è nato il quanto?

Seguendo questa domanda, **molta storiografia della BBT si è estraniata non solo dalla vita sociale, ma anche dalla chimica e dalla matematica.**”

A. Drago, Storiografia del corpo nero: Rivisitazione e nuova impostazione, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell’Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C08.1-C08.6.

La storiografia del corpo nero 3/3

“La filosofia positivista **separa nettamente dalla fisica la matematica**, considerandola come **un semplice strumento**. In effetti la scelta dei fisici per questa filosofia è cautelativa, perché **temono di studiare il rapporto fisica-matematica**, non sapendo come discutere i suoi cambiamenti avvenuti nella successione delle teorie fisiche, né i cambiamenti avvenuti della sequenza delle teorie matematiche. Inoltre questa filosofia è **molto comoda per gli storici**, perché risparmia loro di capire il ruolo della matematica nella fisica teorica, in particolare durante le rivoluzioni scientifiche. **Ma nei casi storici (come quello della BBT) in cui è la matematica a cambiare, lo storico dovrebbe discutere i limiti di validità della concezione strumentale della matematica.**”

A. Drago, Storiografia del corpo nero: Rivisitazione e nuova impostazione, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C08.1-C08.6.

Matematica discreta o continua?

“Perché finora gli storici non hanno considerato la storia della BBT sotto l'ipotesi interpretativa di una scelta sul tipo di matematica? (...) qui c'è in gioco un principio: le equazioni differenziali, derivate da alcuni assiomi fisici, fanno derivare matematicamente tutta la teoria fisica e ne assicurano la coerenza; cioè la organizzazione della teoria fisica è solo quella interamente deduttiva. (...) si vede come necessario il progresso, che avviene unitariamente per tutte le teorie fisiche assieme. Questo principio porta a credere che se in una nuova teoria nascono, in maniera indispensabile, i quanti, da allora in poi tutta la fisica teorica dovrà usare la matematica discreta. Era questo principio che metteva in crisi i fisici dei primi anni del 1900; **sembrava di dover cambiare la matematica, regredendo a stadi primordiali, in tutte le teorie, anche passate.**”

A. Drago, Storiografia del corpo nero: Rivisitazione e nuova impostazione, Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, Milano, 10-12 novembre 2005, (Milano: SISFA, 2008): C08.1-C08.6.

I corpo nero come
“modello di modello”

Il contesto sociale e storico-scientifico

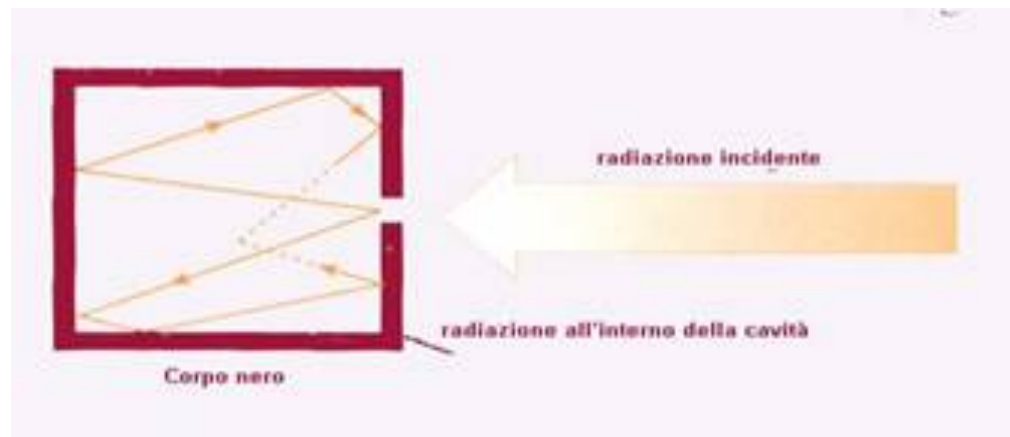
Il problema dell' *“attizzatoio di ferro rovente”**

Dal 1880 circa le compagnie elettriche tedesche cercavano di mettere a punto lampadine e fanali più efficienti di quelli dei loro concorrenti americani e britannici.

Nel 1887 il governo tedesco fonda il PTR (Physikalisch-Technische Reichsanstalt, ovvero l'Istituto Imperiale di fisica e tecnologia).

* Le riflessioni di tipo storico che seguono sono tratti dal primo capitolo M. Kumar, *Quantum*, Oscar Mondadori, 2008

Kirchhoff (1859): Il modello dalla cavità



In che senso la cavità di Kirchhoff è un modello di corpo nero?

Il più ampio tema dell'interazione della radiazione (elettromagnetica) con la materia

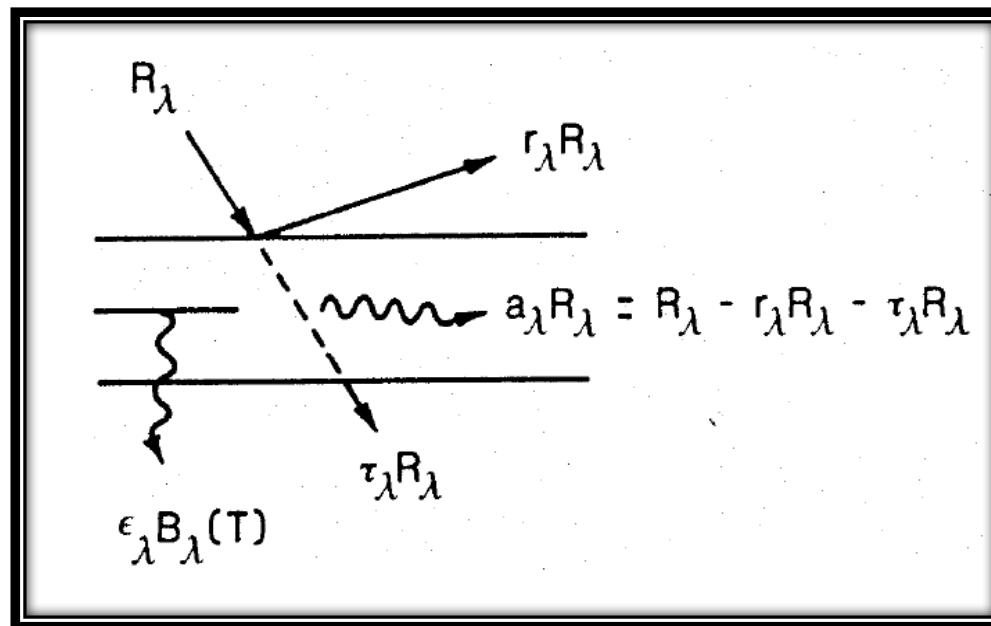
a assorbanza

r riflettanza

t trasmittanza

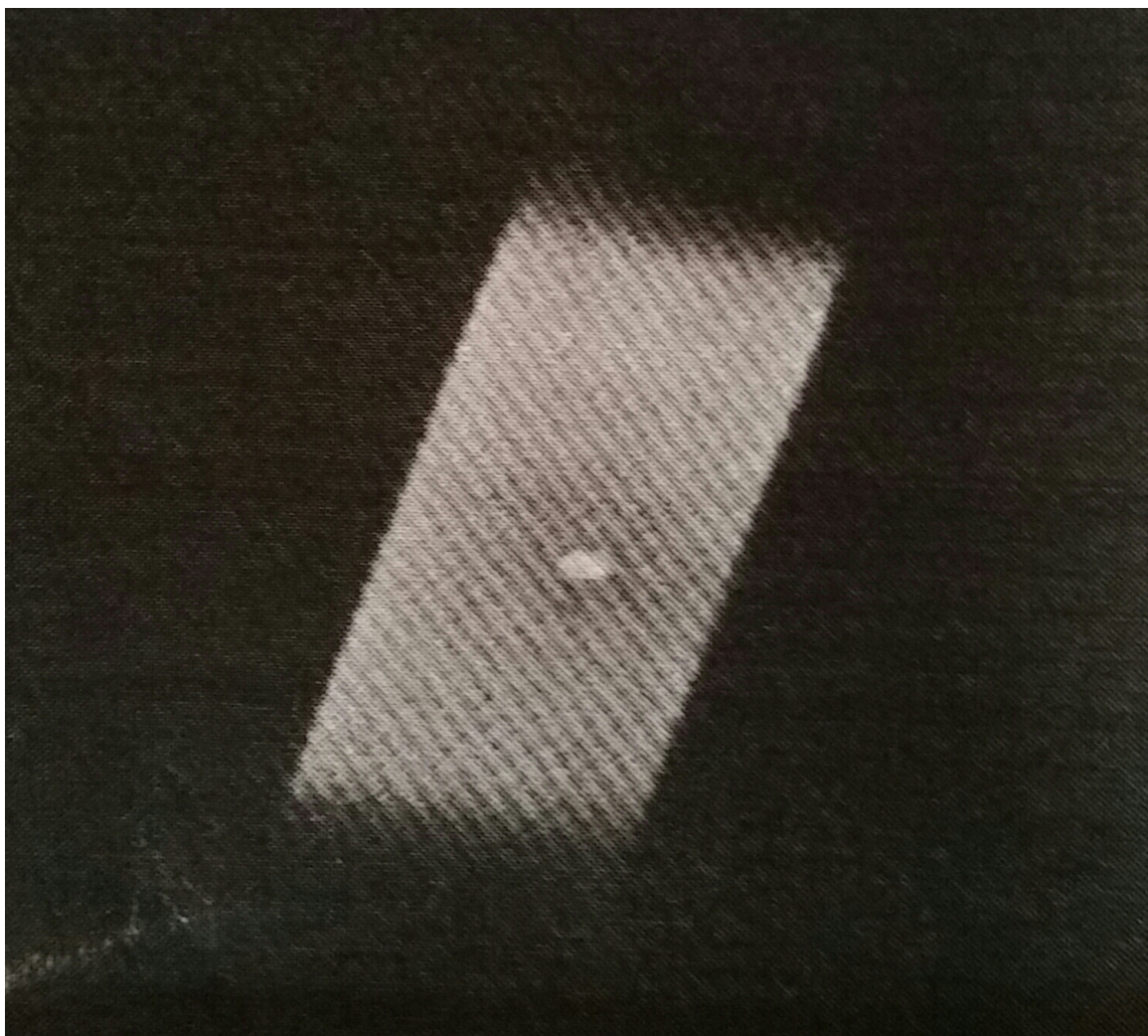
ϵ emissività

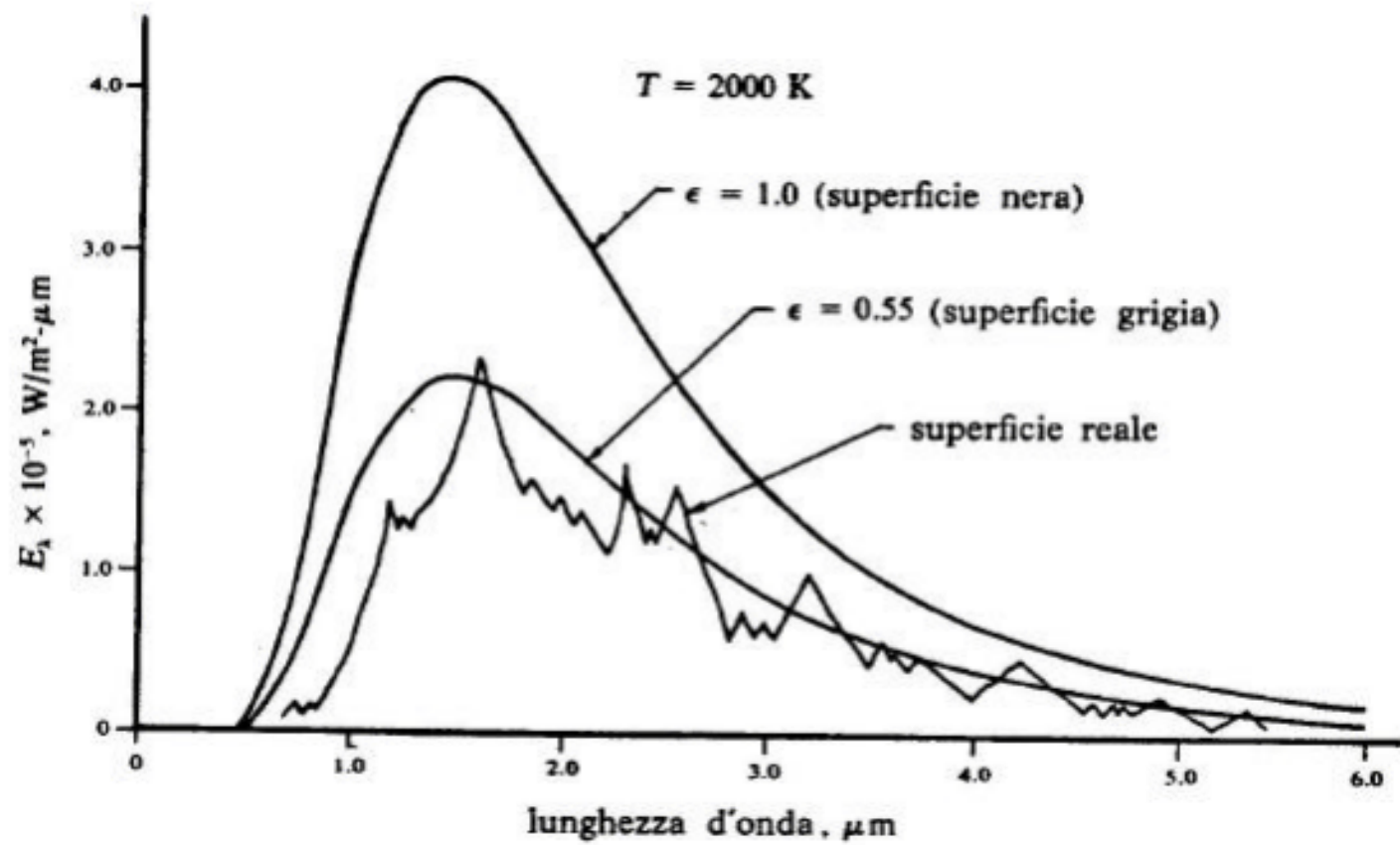
(λ lunghezza d'onda)

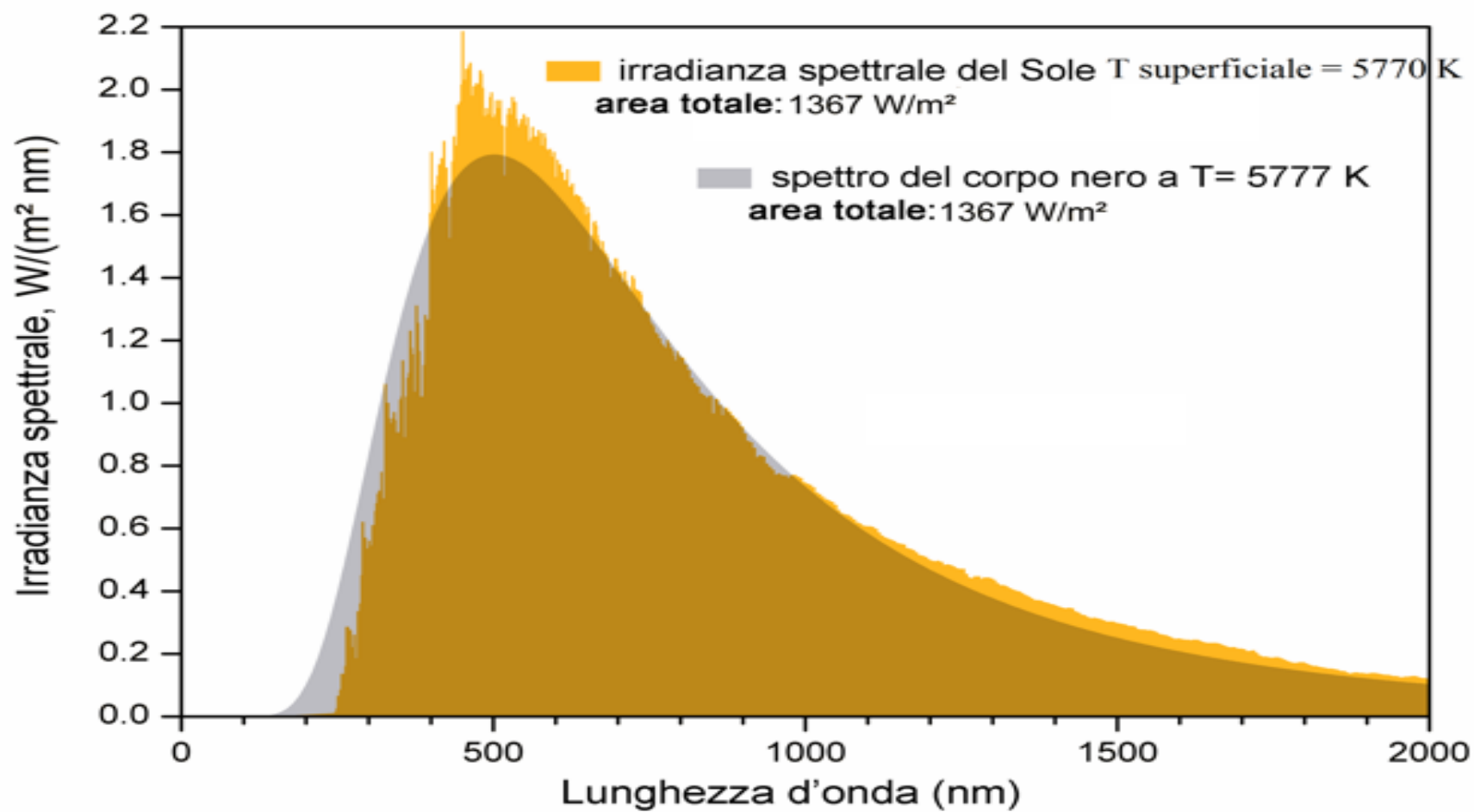


LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA IMPONE CHE:

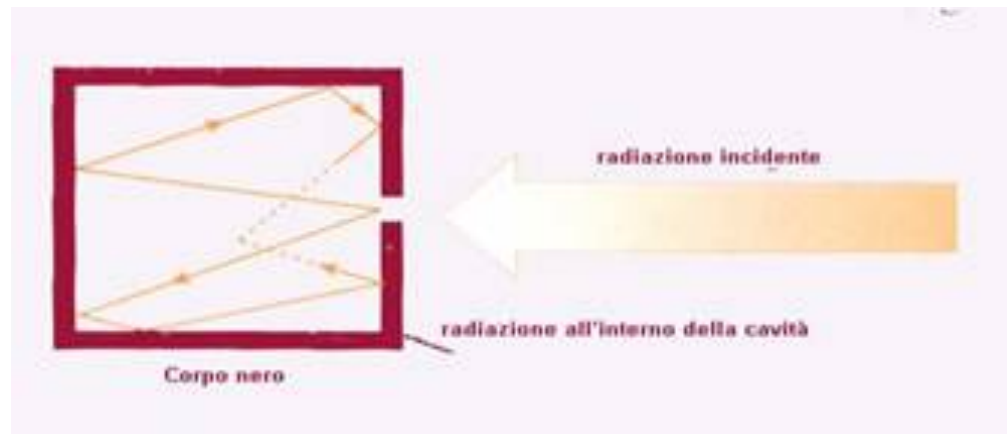
$$a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$$







Kirchhoff (1859): Il modello dalla cavità



Kirchoff, con il suo modello di cavità, mostrò che per un corpo nero l'intensità della radiazione emessa (potere emissivo specifico) non dipende dal materiale di cui un corpo nero può essere fatto, né dalla sua forma o dimensioni, ma solo dalla sua **TEMPERATURA** e dalla **FREQUENZA** della radiazione emessa.

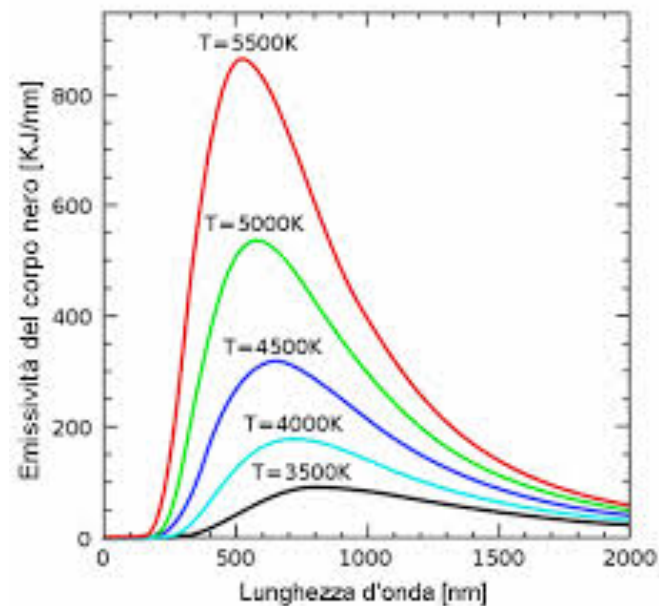
Kirchhoff (1859): dall'attizzatoio di ferro alla formulazione del “problema del corpo nero”

“Come possiamo misurare la distribuzione spettrale dell'energia nella radiazione di corpo nero a una data temperatura (problema sperimentale) e come possiamo ricavare una relazione che riproduca la distribuzione stessa (problema teorico)?

Il vivace processo per tentativi per conciliare dati sperimentali (di una realtà “ripulita”) e modelli matematici...

1893: Wien trova sperimentalmente la sua famosa “legge di spostamento”
e, nel 1896, insieme a Paschen trovò una legge di distribuzione.

$$\lambda_{\max} T = \text{cost}$$

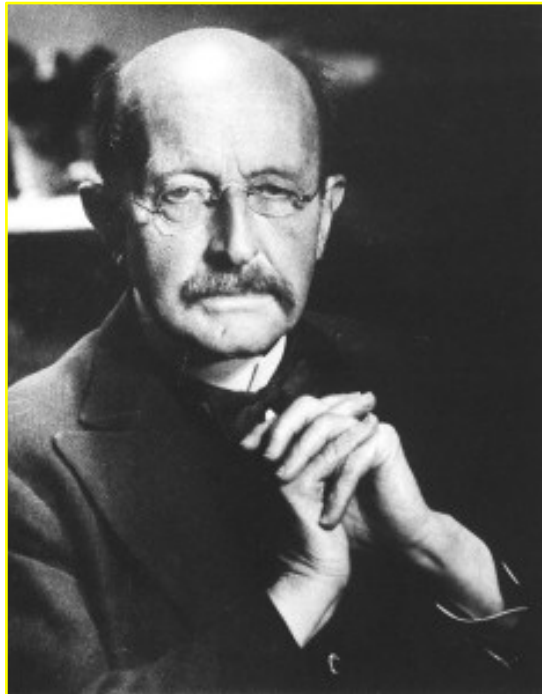


Novembre 1899: Wien e Pringsheim trovarono discrepanze di carattere sistematico tra i loro esperimenti e la “teoria”

Inizio 1900: Grazie ad un notevole progresso nelle tecniche sperimentali, nei laboratori PTR di Berlino si riuscirono a eseguire misure anche **nel lontano infrarosso** – dapprima fino a 12-18 μm e poi, pochi mesi dopo con Rubens, fino a 30 μm a temperature tra 200°C e 1500°C. I dati sperimentali mostrarono che a quelle lunghezze d’onda la legge di Wien non è valida.

19 ottobre 1900: ad una riunione della Società tedesca di fisica, Planck scrisse alla lavagna una formula messa agli atti come “miglioramento della legge di Wien” (**ATTRAVERSO UNA CONGETTURA DI TIPO MATEMATICO!, COSTRUITA CAMBIANDO LA PROSPETTIVA FISICA!!**)

**“Il rivoluzionario riluttante”
(Kumar, Quantum, 2008, Mondadori)**



*“In poche parole, ciò che feci
può essere descritto
semplicemente come un atto
di disperazione” (Max Planck)*

Max Planck
(Kiel 1858, Gottinga 1947)

L'equazione di Planck

$$u(\nu)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu$$

BUONA ATTIVITA'!!!!

1900: Planck e le sei settimane successive l'atto di disperazione

“Lo stesso giorno in cui formulai questa legge mi dedicai al compito di conferirle un vero significato fisico” (Max Planck)

***Il modello dei risonatori** come applicazione di un approccio termodinamico **a la Boltzmann** allo studio del campo elettromagnetico: la discretizzazione del processo di interazione tra radiazione e materia (assorbimento e emissione)*

La portata rivoluzionaria dell'introduzione di "h"

Un tassello fondamentale nell'eterno dilemma
continuo discreto

I processi della fisica classica e la legge di continuità

“natura non operator per saltum”

uno dei dogmi centrali della descrizione fisica

- È espressa da tutto il formalismo Settecentesco con cui è stata scritta la fisica classica
- E' presupposto alla causalità e alla possibilità di stabilire connessioni causali tra due eventi
- È usata anche contro una visione atomistica che assume l'atomo indeformabile (senza interno e senza struttura) (da Bernoulli).

La nuova congettura di Planck

Come modellizzare le pareti della cavità per individuare un “meccanismo” di interazione che interpreti come si distribuisce l’energia nella cavità sulle varie lunghezze d’onda (frequenze):

- consideriamo le pareti metalliche della cavità composte da un **numero elevato** di oscillatori che oscillano ad una particolare frequenza (in modo monocromatico); ve ne saranno **N che oscillano a frequenza ν** , N' a frequenza ν' , N'' a frequenza ν'' e così via...(dove N , N' , N'' ... sono numeri grandi). Tale sistema contiene una energia totale E_t : l’energia totale E_t è costituita in parte dall’energia di radiazione e in parte dall’energia di vibrazione degli oscillatori.

Poiché la distribuzione spettrale dell’energia della radiazione di corpo nero rappresenta il modo in cui l’energia totale è suddivisa tra le varie frequenze, Planck assunse che fosse il numero di oscillatori di ciascuna frequenza data a determinare la ripartizione.

La domanda a cui fa esplicito riferimento Planck è allora la seguente:

“Come si distribuisce questa energia E_t in uno stato stazionario, fra le oscillazioni dei risonatori e fra i vari ‘colori’ della radiazione presente nel mezzo, e quale sarà la temperatura del sistema nel complesso?”

SI STA ESPLICITAMENTE CONSIDERANDO IL MODELLO DI BOLTZMANN, ASSUMENDO CHE LO STATO DI EQUILIBRIO SIA CARATTERIZZATO DAL VALORE MASSIMO DELL’ENTROPIA!