



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*

**BRST - ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO**

CORSO SPERIMENTALE – PROGETTO “BROCCA”

**Indirizzo:** SCIENTIFICO-TECNOLOGICO

**Tema di:** FISICA

Il candidato svolga una relazione su uno solo dei seguenti due temi, a sua scelta, motivando i passaggi intermedi e prestando attenzione al corretto uso della terminologia scientifica.

**Primo tema**

Se si scalda l'estremità di una barra di ferro, si nota che essa emette inizialmente una radiazione termica che è percepita dalla pelle ma non dagli occhi. Se si continua a far aumentare la temperatura, l'estremità della barra diventa luminosa; il colore è prima rosso e poi, aumentando ancora la temperatura, tende al bianco.

Il candidato risponda ai seguenti quesiti.

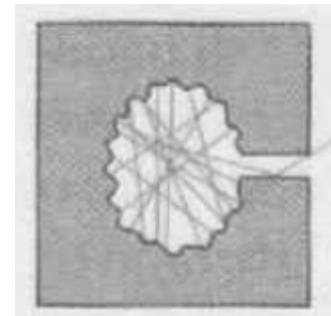
- 1) Analizzare il fenomeno descritto e fornire una spiegazione fisica delle varie fasi che portano dalla iniziale emissione termica a quella luminosa, prima rossa e poi bianca.
- 2) Collegare il fenomeno descritto alle ricerche riguardanti la curva d'emissione della radiazione elettromagnetica del *corpo nero* che portarono Planck, nel 1900, a formulare l'ipotesi del *quanto d'energia*. Descrivere il problema affrontato da Planck e la sua ipotesi finale.
- 3) Descrivere l'evoluzione del concetto di *quanto d'energia* fino ad arrivare al concetto di *fotone*, introdotto da Einstein, e utilizzato nel 1905 per spiegare l'effetto fotoelettrico e, successivamente, l'effetto Compton. Fornire una spiegazione fisica dei due effetti.
- 4) Calcolare, in eV e in J, l'energia trasportata da un fotone proveniente da una lampada che emette luce gialla di lunghezza d'onda  $\lambda = 600$  nm.
- 5) Una piccola lastra di rame, di massa  $m = 20$  g e calore specifico  $c = 0,092$  kcal/kg $\cdot$ °C, aumenta la sua temperatura di 2 °C perché investita dalla radiazione infrarossa proveniente da una stufa. Sapendo che la frequenza della radiazione è  $\nu = 3 \cdot 10^{13}$  Hz, calcolare il numero dei fotoni che hanno interagito con il rame provocandone il riscaldamento.

(Si ricordano i seguenti valori approssimati della velocità della luce e della costante di Planck:  
 $c = 3 \cdot 10^8$  m/s;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J $\cdot$ s)

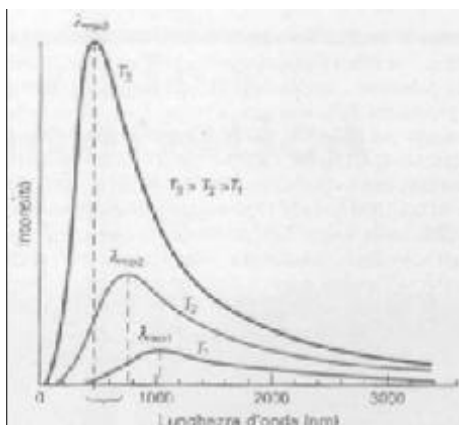
1) Riscaldando un'estremità della sbarra il calore si propaga lungo di essa per conducibilità e, nello spazio circostante, principalmente per irraggiamento, ovvero mediante l'emissione di onde elettromagnetiche: l'energia ceduta alla sbarra viene assorbita dal reticolo metallico e quindi, in parte, dagli elettroni più esterni che passano dal livello fondamentale a livelli eccitati instabili, dai quali decadono liberandosi dell'energia in eccesso tramite l'emissioni di un fotone; i livelli permessi non sono quelli del singolo atomo ma quelli del reticolo, la cui piccola separazione determina la formazione di uno spettro pressoché continuo.

Pertanto inizialmente la radiazione è puramente termica non visibile (infrarosso), quindi la temperatura raggiunge un valore sufficientemente elevato perché la radiazione entri nella banda del visibile (frequenza di circa  $4 \cdot 10^{14}$  Hz corrispondente a lunghezza d'onda di circa 740 nm) la sbarra assume un colore rosso, colore che varia progressivamente con l'eccitazione di frequenze superiori all'aumentare della temperatura; a temperature elevate la sbarra assume un colore bianco per effetto della sovrapposizione di tutte le componenti cromatiche.

2) Quando la sbarra viene mantenuta a temperatura costante si stabilisce un equilibrio termico tra il calore assorbito e l'energia emessa; lo spettro di emissione della sbarra, come quello di un qualunque corpo radiante, è assimilabile a quello di un corpo nero, ovvero ad una cavità rivestita di nero fumo (in modo da assorbire almeno la componente visibile della radiazione e.m. incidente, eliminando il più possibile la radiazione riflessa) nella quale è praticato un piccolo foro; il corpo nero, rispetto alla sbarra, ha il vantaggio di essere un radiatore puro, consentendo l'analisi della sola energia emessa.



**Fig. 1: corpo nero**



**Fig. 2: spettro del corpo nero**

Lo spettro di emissione del corpo nero, riportato nella figura 2 (intensità di energia emessa a temperatura costante in funzione della lunghezza d'onda) è risultato inspiegabile nell'ambito della fisica classica, in grado di riprodurre la parte destra del grafico, ovvero l'emissione a bassa energia (grande lunghezza d'onda) ma non la parte sinistra (basse lunghezze d'onda, quindi alte frequenze), per la quale il modello classico prevederebbe una inaccettabile divergenza (la cosiddetta *catastrofe ultravioletta*). Planck riuscì a ricostruire lo spettro ipotizzando che l'emissione non fosse

continua ma che le molecole della parete (assimilate a degli oscillatori e.m.) vibrassero, quindi scambiassero energia, unicamente per valori multipli interi di una grandezza fondamentale, introducendo per la prima volta un'ipotesi di quantizzazione:  $E = nh\nu$ , dove  $\nu$  è la frequenza emessa e  $n$  un numero intero.

L'ipotesi di Planck non era, per sua stessa ammissione, supportata da un adeguato modello fisico ma si configurava apparentemente come un artificio matematico in grado di riprodurre correttamente i valori sperimentali ma il cui significato restava quantomeno dubbio.

- 3) L'evoluzione del concetto di fotone e l'analisi degli effetti fotoelettrico e Compton sono state già svolte nel tema 1999s\_1, cui si rimanda per una trattazione dettagliata; ai fini del presente tema è comunque sufficiente rimarcare come i due fenomeni evidenzino l'aspetto corpuscolare della radiazione luminosa, quindi del *quanto di energia (fotone)* che, da semplice ipotesi *ad hoc*, assume ora la realtà di una particella elementare.

L'effetto fotoelettrico, che consiste nell'emissione di elettroni da parte di una lamina metallica irradiata con onde e.m., presenta aspetti classicamente non spiegabili: la frequenza di soglia (frequenza al di sotto della quale non vi è emissione di elettroni qualunque sia l'intensità della radiazione incidente), l'emissione pressoché istantanea dell'elettrone, per frequenze superiori alla frequenza di soglia, anche a basse intensità di illuminazione, l'indipendenza del potenziale di arresto dall'intensità della radiazione incidente; tali peculiarità sono spiegabili ammettendo che l'energia trasportata dalla radiazione e.m. venga assorbita dalla lamina metallica in *pacchetti quantizzati*, ovvero che la radiazione sia costituita da elementi corpuscolari (i fotoni) dotati di energia  $E = h\nu$ .

L'effetto Compton consiste nella diffusione della luce incidente su una sottile lamina metallica, dove l'esperimento evidenzia una variazione della lunghezza d'onda della luce diffusa in funzione dell'angolo di cui risulta deviata:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \vartheta)$$

il fenomeno si configura come lo *scattering (urto) elastico* di un fotone su un elettrone atomico, nel quale il sistema fotone-elettrone conserva energia e quantità di moto; il fotone quindi si comporta a tutti gli effetti come un corpo materiale, ovvero è a tutti gli effetti una particella elementare dotata di energia  $E = h\nu$ , di quantità di moto  $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$  e con massa a riposo nulla, da cui si deduce che il fotone possa unicamente muoversi alla velocità della luce  $c$ .

- 4) La relazione tra energia e lunghezza d'onda è data da:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{600 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

e, ricordando che  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , si ha ancora:

$$E = \frac{3.3 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 2.1 \text{ eV}$$

5) Il calore assorbito dalla lastra di rame è determinato dall'assorbimento di fotoni aventi energia

$E = h\nu$ , per cui

$$E = mc\Delta\theta = Nh\nu \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = \frac{mc\Delta\theta}{h\nu} = \frac{0.020 \text{ kg} \cdot 0.092 \text{ kcal} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 4180 \text{ J/kcal} \cdot 2^\circ\text{C}}{6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^{13} \text{ Hz}} = 7.8 \cdot 10^{20}$$

dove si è utilizzato il fattore di conversione  $1 \text{ kcal} = 4180 \text{ J}$  (valore entro la precisione assegnata dal testo per le costanti).