Prova di secondo livello delle Olimpiadi della Fisica 2015
Venerdì 13 febbraio 2015

I quesiti (80 minuti)

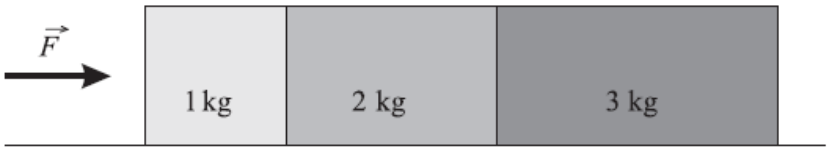
Q 1

Un recipiente contiene dell'acqua e, sopra questa, uno strato d'olio. Un raggio di luce, proveniente dal basso, incide sulla superficie acqua–olio con un angolo di 40° rispetto alla direzione verticale. L'indice di rifrazione dell'acqua è 1.33, quello dell'olio 1.45 .

- Si determini l'angolo di rifrazione (rispetto alla direzione verticale) del raggio quando emerge in aria.

Q 2

Tre scatole sono spinte lungo una superficie liscia orizzontale con una forza $\vec{F}$ parallela al piano, come mostrato in figura.



- Qual è l'intensità della forza che la scatola centrale esercita sulla scatola di sinistra?

Q 3

Una pallina viene lanciata verticalmente verso il basso. Nei primi tre secondi percorre uno spazio quintuplo di quello che percorre nel primo secondo.

- Trascurando la resistenza dell'aria, qual è la sua velocità iniziale v_0 ?

Q 4

L'intensità della forza risultante F che agisce su un corpo aumenta da 0 a $F_1 = 100\,\mathrm{N}$ al ritmo costante di $10\,\mathrm{N\,s^{-1}}$. In questo tempo il corpo, partendo da fermo, raggiunge la velocità $v = 50\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

- Calcolare la massa del corpo.

Q 5

Una bombola che contiene un gas è fornita di una valvola di sicurezza che automaticamente fa fuoriuscire un po' di gas quando la pressione interna supera 2 MPa. Quando la temperatura è 10°C la quantità massima di gas che la bombola può contenere è 15 kg. Si tratti il gas come un gas perfetto.

- Quanto gas può contenere al massimo la bombola quando la temperatura è 30°C ?

Q 6

Un recipiente contenente acqua a 20°C viene posto su una piastra riscaldante che fornisce calore ad un tasso costante. Dopo 1 min la sua temperatura è 40°C.

- Quando l'acqua ha raggiunto l'ebollizione, quale percentuale dell'acqua iniziale passa allo stato aeriforme in 10 min?

(Si trascurino l'evaporazione che avviene nella prima fase e il trasferimento di calore all'aria.)

Q 7

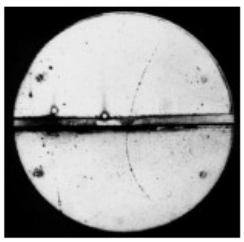
Un cilindro stretto, alto 1 m e aperto in cima, è parzialmente riempito d'acqua. La colonna d'aria nel cilindro risuona con una nota a 880 Hz quando è alta 48.4 cm. Aggiungendo altra acqua poco per volta, si trova la successiva risonanza alla stessa frequenza quando la colonna d'aria è alta 29.2 cm.

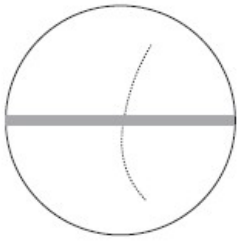
- Determinare la velocità del suono in aria nelle condizioni dell'esperimento.

Nota: *I tubi sonori si comportano come se avessero una* lunghezza efficace *leggermente maggiore della loro lunghezza effettiva. Qui si trascuri questo fatto che peraltro non influisce sulla soluzione.*

8

Nel 1932 Anderson scoprì una nuova particella, denominata *positrone*, osservando la traccia da essa lasciata in un rivelatore (camera a nebbia). Come indica il suo nome, il positrone ha una carica elettrica positiva. La foto a sinistra è quella originale e mostra chiaramente la traccia di un positrone che si sta muovendo nella camera a nebbia e attraversa una lastra di piombo orizzontale, spessa 6 mm, che la divide in due.





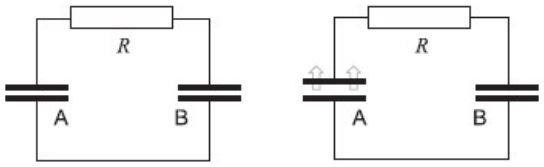
Nella regione è presente un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano della foto. Nella figura a destra la situazione è schematizzata per chiarezza. Si supponga che il moto avvenga nel piano della foto.

- Motivando adeguatamente la risposta, dire se il positrone attraversa la lastra di piombo dall'alto al basso o viceversa, e il verso del campo magnetico.

9

I due condensatori ideali a facce piane e parallele, A e B, rappresentati nella figura, sono uguali ed entrambi caricati alla stessa d.d.p. Sia q_0 la carica presente su ciascuno di essi.

- Se la distanza fra le armature del primo viene raddoppiata, quanta carica attraversa il resistore R?



10

Una scatola che ha una massa $M = 7\,\text{kg}$ è trainata su un pavimento orizzontale a velocità costante; il coefficiente d'attrito dinamico tra la scatola e il pavimento è $\mu = 0.1$. La direzione della forza $\vec{F}$ forma un angolo $\theta = 64°$ con il piano orizzontale.

- Calcolare la componente normale della forza che il pavimento applica alla scatola.

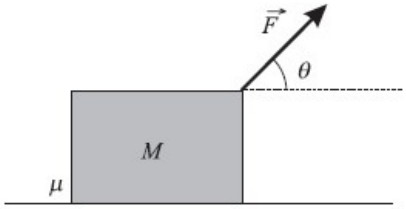
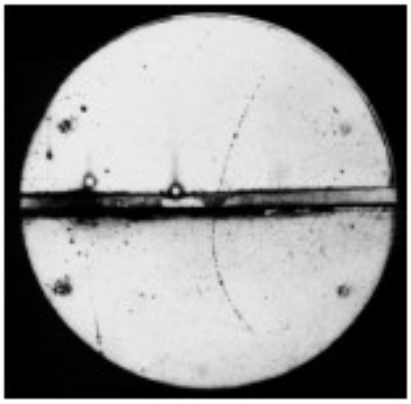
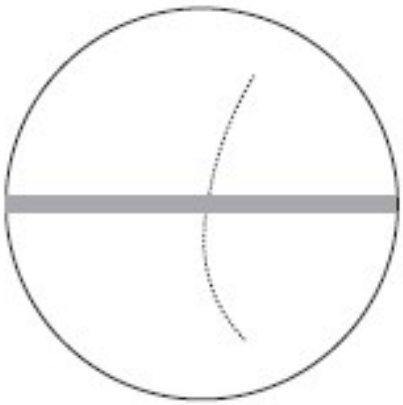


Immagine del quesito 8 ingrandita: usiamo righello e squadra.

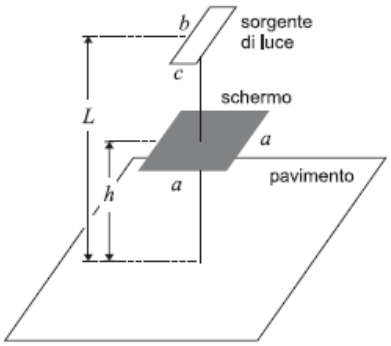


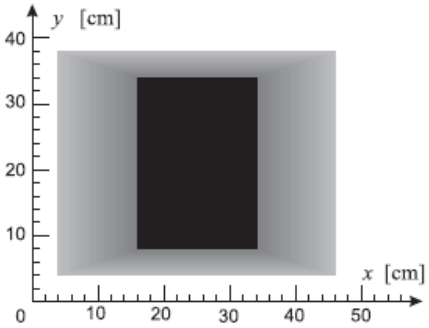


I Problemi (saltiamo quello di meccanica): 100 minuti a disposizione.

P 1 – Giochi d'ombra [Punti 10]

Una sorgente di luce rettangolare, di lati b e c con $b > c$, è fissata al soffitto di una stanza di altezza $L = 3.00\,\text{m}$. Uno schermo opaco quadrato di lato $a = 10\,\text{cm}$, disposto orizzontalmente, è collocato sotto la lampada ad un'altezza h rispetto al pavimento (v. figura a sinistra). I lati della sorgente sono paralleli a quelli dello schermo.



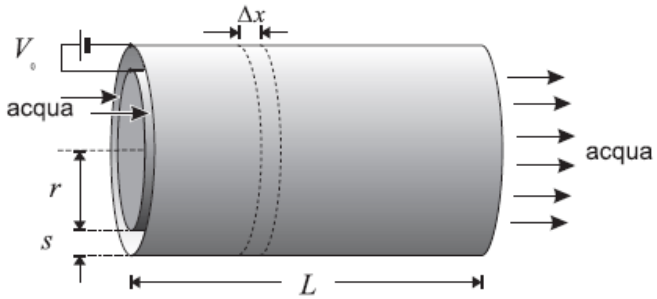


La figura a destra mostra schematicamente la forma e le dimensioni dell'ombra gettata dallo schermo sul pavimento della stanza, costituita da un'ombra vera e propria circondata da una zona di penombra; per motivi di chiarezza, i confini tra le varie zone sono stati rappresentati in maniera molto più netta di quanto appaiano nella realtà.

1. Determinare le dimensioni della sorgente di luce, b e c, e l'altezza h dello schermo.
2. Specificare l'orientazione della lampada chiarendo se il suo lato lungo (b) è parallelo all'asse x o a quello y della figura a destra.

P 2 – Riscaldatore elettrico [Punti 10]

Un riscaldatore elettrico di acqua è formato da due cilindri coassiali metallici di lunghezza L. Il raggio del cilindro interno vale r e s è la distanza tra i due cilindri, con $s \ll r$. I due cilindri sono collegati ad un generatore che fornisce una bassa tensione V_0. L'acqua scorre tra i due cilindri parallelamente al loro asse con velocità v e viene riscaldata dalla corrente elettrica che la attraversa.



1. Specificare, motivando, se la corrente elettrica scorre: (a) parallelamente all'asse dei cilindri; (b) attorno al cilindro interno, descrivendo circonferenze perpendicolari all'asse; (c) perpendicolarmente all'asse dei cilindri, in direzione radiale.

Si indichi con δ la densità dell'acqua, con ρ la sua resistività e con c il suo calore specifico. Si trascurino la capacità termica dei due cilindri e il trasferimento di calore all'ambiente.

Si consideri un sottile tratto d'acqua di larghezza Δx. In funzione dei parametri forniti, si calcoli:

2. La sua resistenza elettrica.
3. La quantità di calore che assorbe nel passaggio attraverso l'intercapedine tra i cilindri.
4. La variazione di temperatura ΔT che subisce.

Un problema sulla radiazione di corpo nero, da risolvere con i quadretti...

P 4 – Radiazione termica [Punti 20]

Il termine *radiazione termica* viene usato per quelle onde elettromagnetiche il cui spettro è continuo e dipende soprattutto dalla temperatura del corpo che le emette, a differenza di quel che avviene per altri tipi di onde elettromagnetiche, come le onde radio o quelle del telefono cellulare, che sono caratterizzate da frequenze discrete e ben definite, riconducibili alle caratteristiche dei dispositivi che le emettono.

Una grandezza utile per caratterizzare la radiazione termica emessa da un corpo è l'*intensità* della radiazione(*). Detta ΔE la quantità di energia emessa da una piccola porzione della superficie del corpo di area ΔA, in un piccolo intervallo di tempo Δt, l'intensità I è il rapporto $\Delta E/(\Delta A\,\Delta t)$. La sua unità di misura nel SI è quindi quella di una potenza per unità di superficie: $\mathrm{W\,m^{-2}}$.

Per caratterizzare in dettaglio i fenomeni di emissione della radiazione la grandezza più utile è l'*intensità spettrale*, $I_s(\lambda)$, intesa come il rapporto tra l'intensità della radiazione compresa in un piccolo intervallo di lunghezza d'onda $\Delta\lambda$ (centrato su un particolare valore di λ) e l'ampiezza dell'intervallo stesso: $I_s = \Delta I/\Delta\lambda$; ovviamente, I_s è funzione della lunghezza d'onda.

In generale, l'intensità spettrale della radiazione termica emessa da un corpo dipende dalle proprietà del corpo, oltre che dalla sua temperatura, tuttavia in certi casi essa ha un andamento prossimo a quello di una funzione universale, che si calcola teoricamente sulla base della sola temperatura del corpo ed è appunto indipendente dalle sue proprietà: tale funzione è chiamata *spettro di corpo nero*.

ATTENZIONE: In un foglio a parte vengono forniti i grafici dell'intensità spettrale di corpo nero a due diverse temperature $T_1 = 2000\,\mathrm{K}$ e $T_2 = 1300\,\mathrm{K}$.

1. Utilizzando questi due grafici determinare il rapporto tra le intensità spettrali delle radiazioni emesse, alla lunghezza d'onda di $4\,\mu\mathrm{m}$, da due corpi alle temperature $T_1 = 2000\,\mathrm{K}$ e $T_2 = 1300\,\mathrm{K}$.

Una legge importante legata allo spettro di corpo nero fu derivata nel 1893 da Wilhelm Wien: egli dimostrò che, per un corpo nero, la lunghezza d'onda λ_m alla quale corrisponde il massimo dell'intensità spettrale è legata alla temperatura T dalla relazione $\lambda_\mathrm{m} = bT^n$, dove n è un numero intero e b è una costante universale, chiamata appunto *costante di Wien*.

2. Determinare i valori di b ed n utilizzando esclusivamente i due grafici forniti.

Un'altra legge importante venne derivata, circa nello stesso periodo, da Joseph Stefan e, indipendentemente, da Ludwig Boltzmann: la legge afferma che l'intensità della radiazione emessa da un corpo nero, cioè l'intensità spettrale integrata su tutte le lunghezze d'onda (sommando i contributi di radiazione delle varie lunghezze d'onda), è legata alla temperatura dalla relazione $I = \sigma T^m$, dove m è un numero intero e σ è una costante universale, chiamata appunto *costante di Stefan-Boltzmann*.

3. Determinare il valore di m e dare una stima di quello di σ **attraverso i due grafici forniti**, illustrando adeguatamente come si sono utilizzati: misure e calcoli eseguiti.

L'intensità spettrale della radiazione emessa dal Sole è approssimabile alla radiazione di corpo nero con $\lambda_\mathrm{m} = 0.48\,\mu\mathrm{m}$.

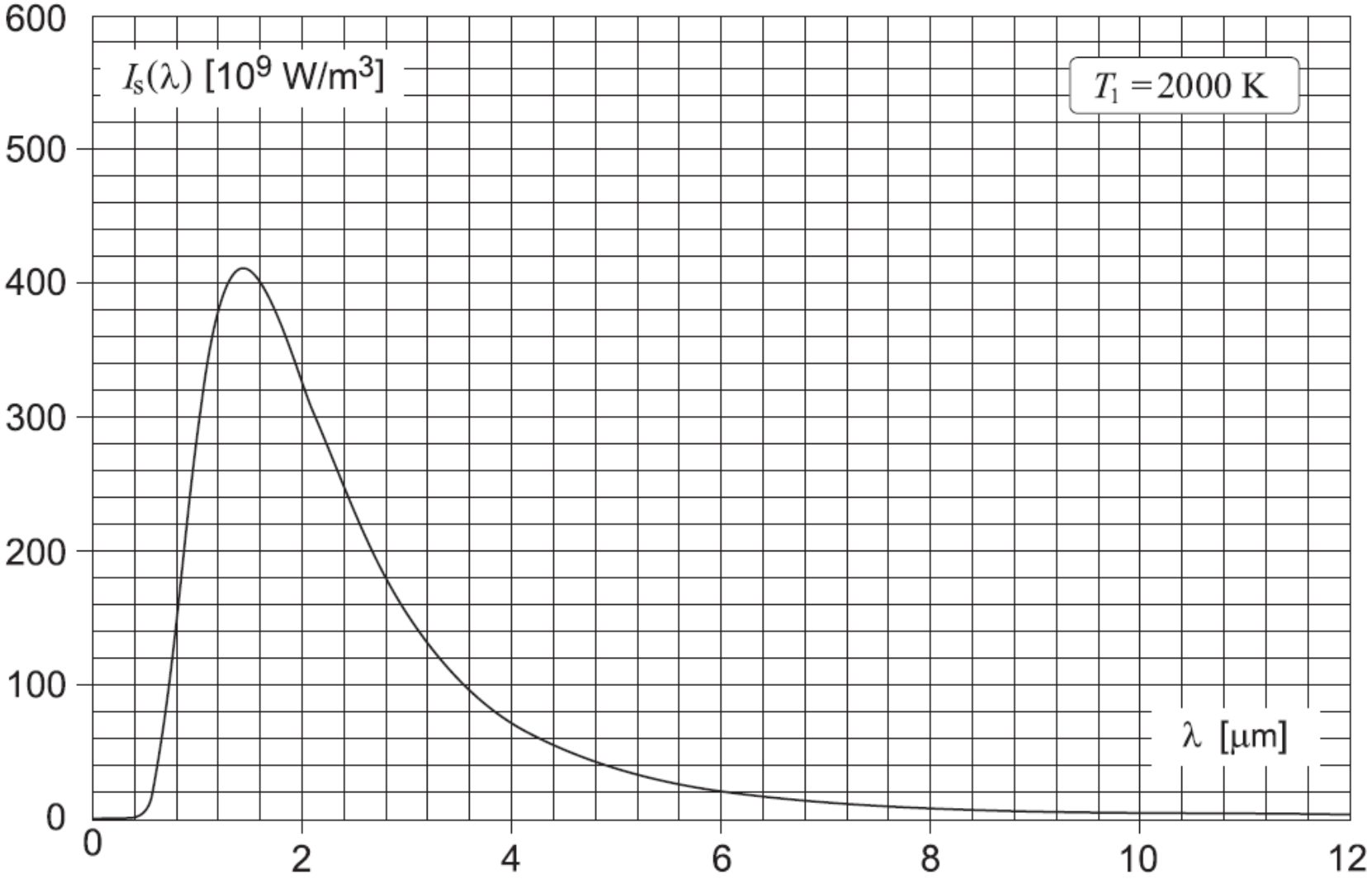
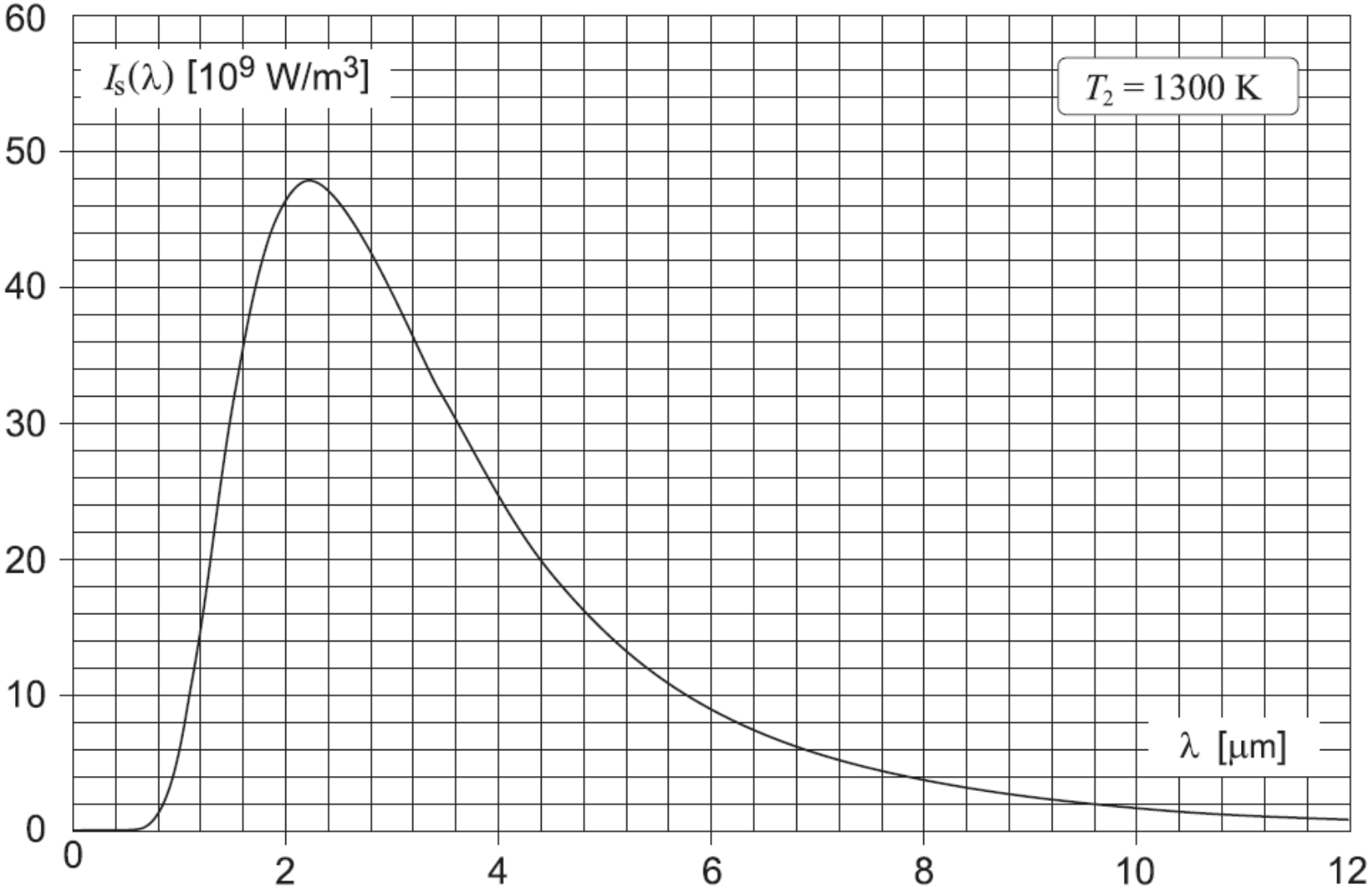
4. Stimare il tempo necessario al Sole per perdere l'1 % della sua massa a causa della radiazione termica.

La massa del Sole vale $M_\odot = 2.0 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$ ed il suo raggio è $R_\odot = 7.0 \times 10^{8}\,\mathrm{m}$.

.

(*) In questo problema useremo il termine **"Intensità"** come riferito, in senso generico, al valore di una certa grandezza. La grandezza in questione si dovrebbe chiamare propriamente **Emettenza radiante** (unità nel SI: $\mathrm{W/m^2}$), mentre si definisce **Intensità radiante** il flusso di energia per unità di tempo e di angolo solido in una certa direzione (unità di misura nel SI: $\mathrm{W/sr}$).
Analogamente per le grandezze riferite all'unità di lunghezza d'onda nella distribuzione spettrale: **Emettenza spettrale radiante** (che si misura quindi in $\mathrm{W/m^3}$) ed **Intensità spettrale radiante** (unità: $\mathrm{W/(m\,sr)}$).

Problema 4: Radiazione termica - Grafico dello spettro di corpo nero a 2000 K



Problema 4: Radiazione termica - Grafico dello spettro di corpo nero a 1300 K