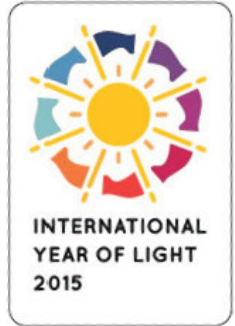
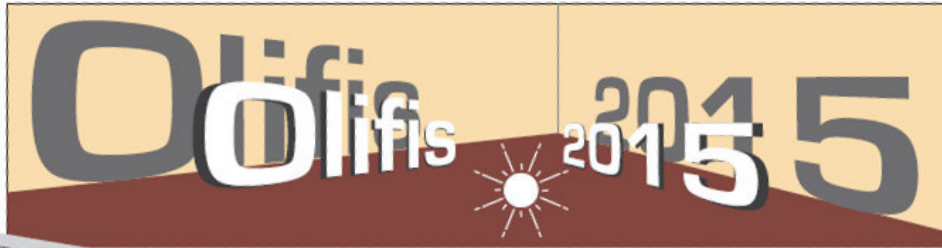




Associazione per l'Insegnamento della Fisica



Erst umblättern, wenn es  
deine Lehrperson sagt!  
Lies den Text genau durch!

Zweiter Teil:  
**Probleme**

Zeit: 1h 40min

#### Problem 4: Wärmestrahlung

[20 Punkte]

Der Ausdruck "Wärmestrahlung" wird für elektromagnetische Wellen verwendet, die ein kontinuierliches Spektrum haben, das hauptsächlich von der Temperatur des emittierenden Körpers abhängt (im Gegensatz zu anderen Arten der elektromagnetischen Strahlung, wie zum Beispiel Radiowellen oder Mobilfunkwellen, die durch diskrete Frequenzen gekennzeichnet sind, was auf die Art der Erzeugung zurückgeht).

Eine nützliche Größe um die Wärmestrahlung eines Körpers zu charakterisieren ist die *Intensität<sup>1</sup> der Strahlung*. Wir bezeichnen mit  $\Delta E$  die von einem Körper von einem kleinen Teil der Oberfläche  $\Delta A$  abgestrahlte Energie während einer kleinen Zeiteinheit  $\Delta t$ ; die Intensität  $I$  ist der Ausdruck  $\Delta E/(\Delta A \Delta t)$ . Ihre Einheit ist somit die einer Leistung pro Flächeneinheit:  $W m^{-2}$ .

Um das Phänomen der Emission genauer zu charakterisieren, ist die Spektrale Intensität  $I_S(\lambda)$  geeigneter. Darunter verstehen wir den Quotienten aus der Intensität der Strahlung in einem kleinen Wellenlängenbereich  $\Delta \lambda$  (bei einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda$ ) und dem Wellenlängenbereich selbst:  $I_S = \Delta I / \Delta \lambda$ ; klarerweise ist  $I_S$  eine Funktion der Wellenlänge.

Im Allgemeinen ist die spektrale Intensität der Wärmestrahlung, die ein Körper abstrahlt, neben seiner Temperatur auch noch von den Eigenschaften des Körpers abhängig. In einigen Fällen hat die Intensität einen Verlauf ähnlich einer universellen Funktion, die man theoretisch aufgrund nur der Temperatur des Körpers unabhängig von anderen Eigenschaften berechnen kann: Die Funktion heißt *Spektrum eines Schwarzen Körpers* und ist unabhängig von anderen Eigenschaften des Körpers.

Achtung: In zwei nachfolgenden Graphiken wird die Spektrale Intensität eines Schwarzen Körpers bei zwei verschiedenen Temperaturen  $T_1 = 2000\text{ K}$  und  $T_2 = 1300\text{ K}$  wiedergegeben.

<sup>1</sup>Bei dieser Aufgabe verwenden wir den Begriff "Intensität" ganz allgemein für den Wert einer bestimmten Größe. Genauer ist die behandelte Größe die Spezifische Ausstrahlung (Einheit  $W/m^2$ ), während die Strahlungsintensität der Energiefluss pro Zeiteinheit in einen Raumwinkel in eine bestimmte Richtung ist (Einheit  $W/sr$ ).

Analog gilt für die beschriebenen Größen für eine Wellenlängeneinheit in der spektralen Verteilung: Spektrale Spezifische Ausstrahlung (die man in  $W/m^3$  misst) und Spektrale Strahlungsintensität ( $W/m\text{ sr}$ )

1. Verwende diese Graphen, um das Verhältnis zwischen den spektralen Intensitäten der emittierten Strahlungen zu berechnen und zwar bei der Wellenlänge von  $4\mu m$  von zwei Körpern der Temperatur  $T_1 = 2000 K$  und  $T_2 = 1300 K$ .

Ein wichtiges Gesetz des Schwarzen Körpers wurde 1893 von Wilhelm Wien abgeleitet: Er zeigte, dass für einen Schwarzen Körper die Wellenlänge  $\lambda_m$ , bei der das Intensitätsmaximum des Spektrums vorliegt, mit der Temperatur  $T$  in folgender Beziehung steht:  $\lambda_m = bT^n$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl ist und  $b$  eine universelle Konstante, die "Wien'sche" Konstante.

2. Bestimme  $b$  und  $n$  unter Zuhilfenahme nur der beiden Graphiken!

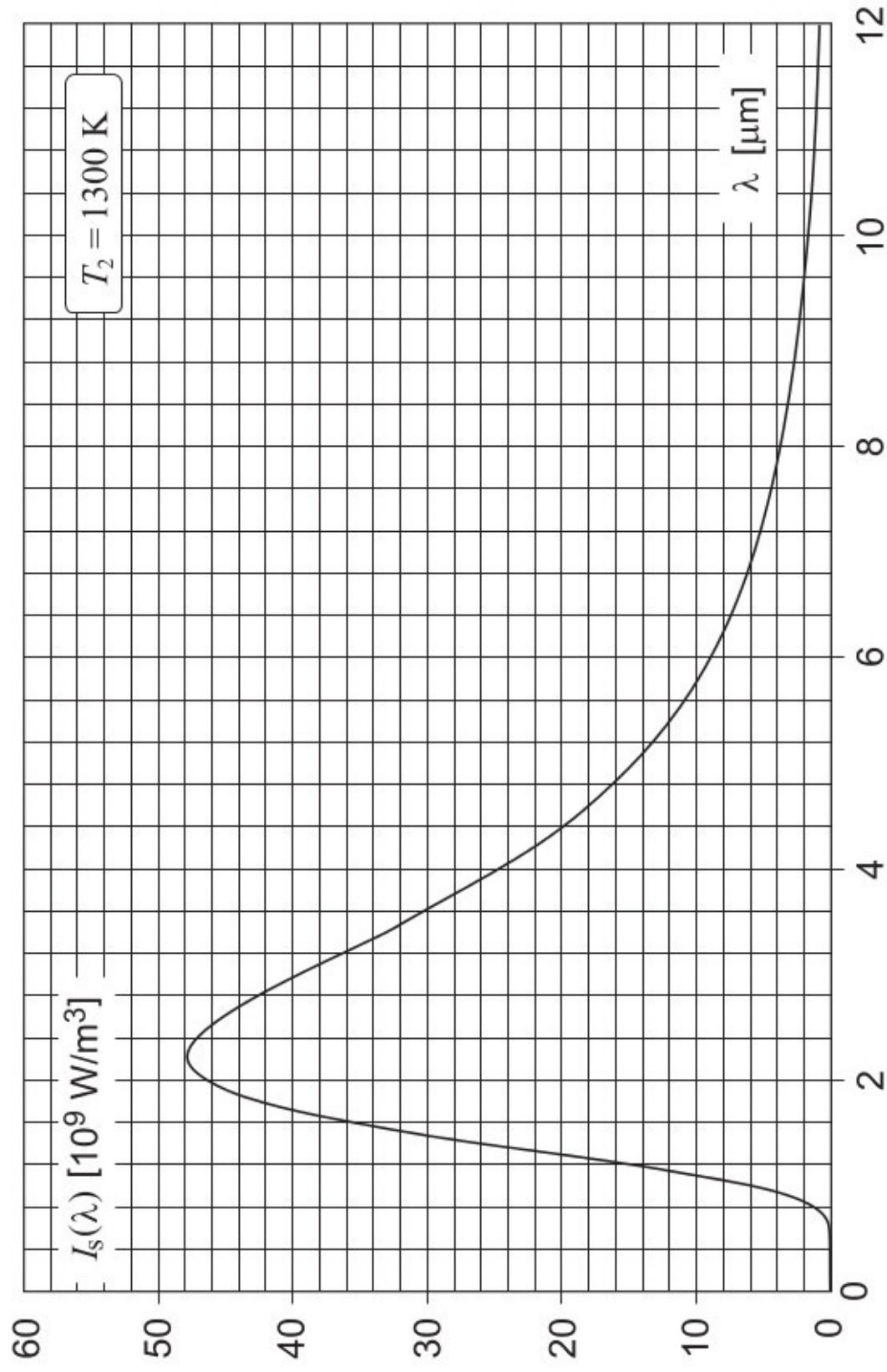
Ein anderes Gesetz, das in etwa zur gleichen Zeit durch Joseph Stefan und unabhängig davon durch Ludwig Boltzmann abgeleitet wurde, zeigt auf, dass die Intensität der Strahlung, die vom Schwarzen Körper ausgesandt wird, also die spektrale Intensität aufintegriert über den ganzen Wellenlängenbereich (die ganzen Beiträge der Strahlung aufsummiert über die verschiedenen Wellenlängen), mit der Temperatur über folgende Formel verbunden ist:  $I = \sigma T^m$ , wobei  $m$  eine ganze Zahl ist und  $\sigma$  eine universelle Konstante darstellt, die "Stefan-Boltzmann-Konstante".

3. Bestimme den Wert von  $m$  und schätze  $\sigma$  **mit Hilfe der beiden Graphiken** ab, wobei du ausreichend darlegen musst, wie du die Graphiken einsetzt (Messwerte und Rechnung)!

Die spektrale Intensität der Strahlung, die die Sonne aussendet, verhält sich in etwa wie die eines Schwarzen Körpers mit  $\lambda_m = 0,48 \mu m$ .

4. Schätze ungefähr die Zeit ab, in der die Sonne 1% ihrer Masse durch Wärmestrahlung verliert!  
Die Masse der Sonne beträgt  $M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30} kg$  und ihr Radius ist  $R_{\odot} = 7,0 \cdot 10^8 m$ .
-

**Problem 4:** Wärmestrahlung-Spektrum des Schwarzen Körpers bei 1300K



**Problem 4:** Wärmestrahlung-Spektrum des Schwarzen Körpers bei 2000K

