

物質科学の世界

- 物質の構造を理解する
 - 原子, 分子, 結晶 = 量子論 =
 - 金属, 半導体, ポリマー
 - デバイス
- 光
- 非常にたくさんの物質粒子があるときの法則
 - 熱, エントロピー, 温度, エネルギー

量子論の始まり: 黒体放射

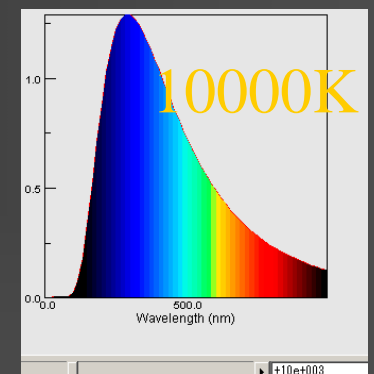
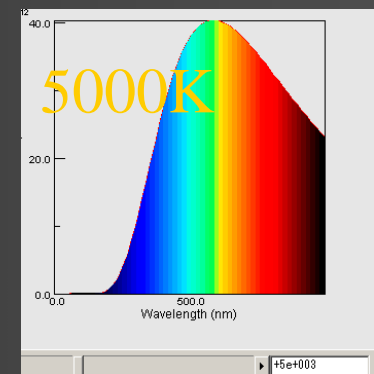
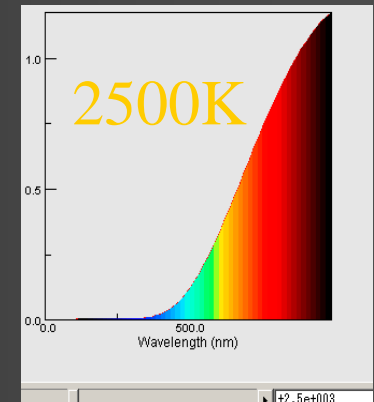
■ 熱い物体から放出される光(電磁波)

■ 19世紀末の時代背景

- 力学, 電磁気学, 熱力学の完成
- 溶鋳炉の温度管理

■ スペクトル

- 色温度
- ディ스플레이
- 星



熱平衡

- 絶対温度 T , ボルツマン定数 k
- 等分配則 (equipartition law of energy)
 - 運動エネルギー: 1自由度あたりの平均値は $kT/2$
 - ポテンシャルエネルギー: x^2 の形なら平均値は $kT/2$
 - 単原子気体1モルのエネルギー: $(3/2)kT \times N = (3/2) RT$
 - 調和振動子1個の平均エネルギー: kT
 - 電磁波は調和振動子
 - 固体内部の原子の運動も調和振動子

振動子の個数

- 定在波
- 異なる定在波は独立した振動子
- 振動数 $\nu \sim \nu + d\nu$ に入る振動子の数
- 1次元(L)
 - $L = \text{半波長の整数倍}$ $L = m (\lambda_m/2)$
 - 光速度=波長×振動数 $c = \lambda_m \nu_m$
 - $2L/\lambda_m = (2L/c) \nu_m = m$
 - 定在波の振動数が等間隔に分布
 - 個数は $d\nu$ だけに比例する
- 3次元空間の定在波
 - 各方向について1次元の定在波
 - 同じ体積の空間を満たす定在波
 - 個数は $\nu^2 d\nu = \delta\lambda / \lambda^4$ に比例する

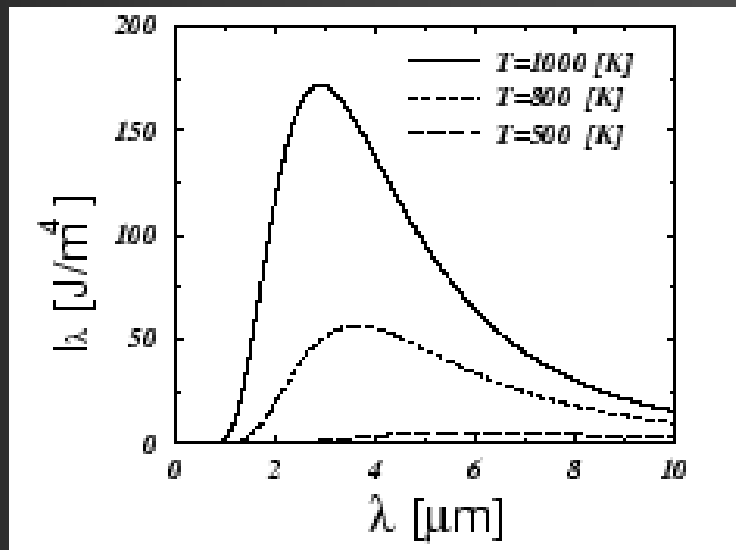
振動子1個の平均エネルギー: kT

$\nu \sim \nu + d\nu$ に含まれるエネルギー: $\nu^2 d\nu$ に比例

$d(\lambda\nu) = d\lambda \nu + \lambda d\nu = 0$ より

$\nu^2 d\nu = \nu^2 (-\nu/\lambda)\delta\lambda = \delta\lambda / \lambda^4$

プランク定数 h



■ 黒体放射のスペクトル

- Max Planck, 1900

- 光に**粒子性**を仮定したとき実験事実を説明できる

- 「1個の」光子!!
- $\varepsilon = h\nu$ (光の振動数に比例)
- $h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js

- しかし、光は電磁「波」

- 電磁波の振幅の二乗がエネルギー密度
- 干渉, 回折, 重ね合わせ

$$I_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$e^{hc/\lambda kT} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT} \quad (kT \gg hc/\lambda = h\nu)$$

$$\frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \approx \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\frac{hc}{\lambda kT}} = 8\pi \frac{kT}{\lambda^4}$$

結晶の比熱

- デュロンとプティの実験(1815)
 - どんな結晶も1モルあたりの比熱は 25 J/K
 - 固体の比熱: 原子の振動エネルギーの温度変化率
 - 原子の振動の振幅が温度により連続的に変化する
 - 振幅の二乗が振動エネルギーをあらわす
- アインシュタイン固体(1906)
 - 振動数 ν の振動のエネルギーは $h\nu$ で不連続に変化
 - 低温の比熱異常を説明
 - **黒体放射のときと同一のプランク定数 h**

Natura non facit saltum

自然は(その働きにおいて)飛躍せず

Natura enim in suis operationibus non facit saltum
自然の営み、変化は一挙に生起するものではなく、徐々に行われる
スウェーデンの植物学者リンネのが好んだことわざ
ダーウィンの進化論:ミッシングリンクの探索

物体や場を微分方程式で記述 = 連続量

しかし

振動体のエネルギーはジャンプする
電磁波, 固体の振動という
まったく異なる自然現象で観察された

共通の定数 h が現われる普遍的な現象 = 量子化
自然の連続性に対する挑戦?

Quiz

- 酸素分子の振動数は1秒に 5×10^{13} 回である。振動エネルギーはどのような大きさにジャンプするか(離散化されるか)?
- 10 N の力を加えると1 cm 伸びるバネがある。これに質量10 kg の物体をつけて振動させるとき、振動エネルギーの離散化の程度を求めよ。振幅の離散化は?