

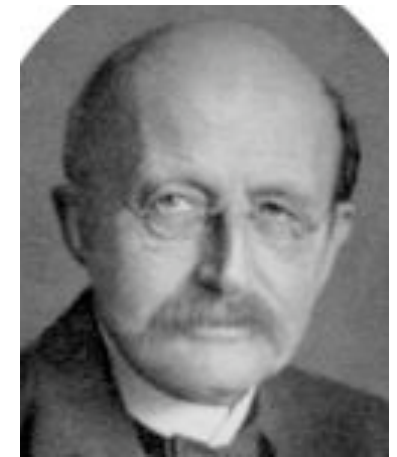
# 量子

## 波動の粒子性

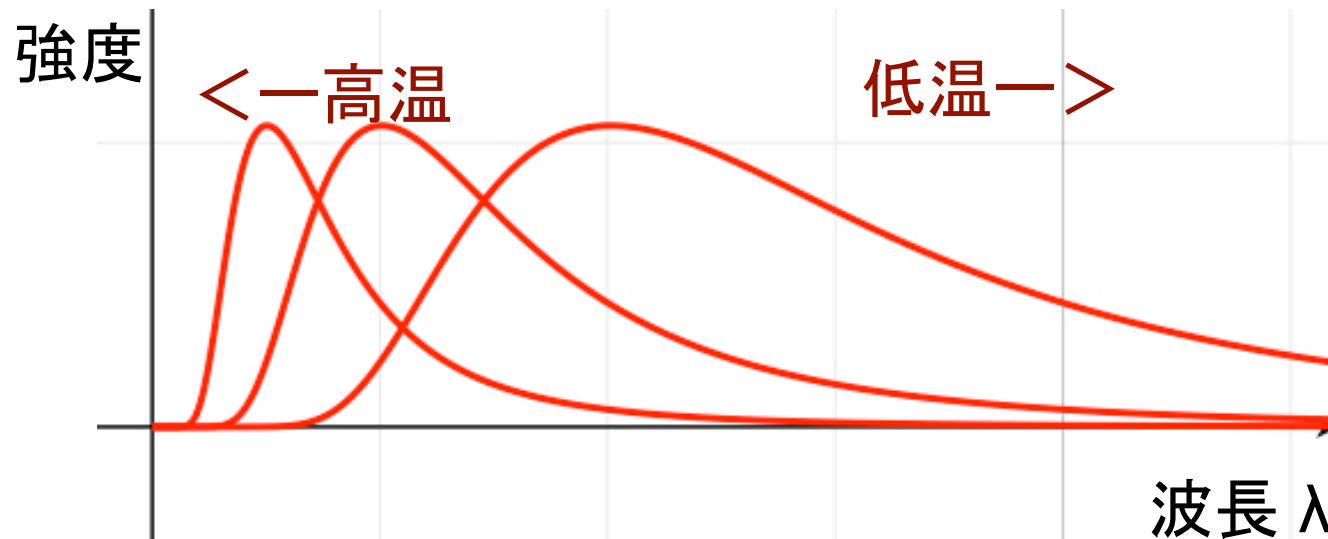
プランク定数

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{sec]}$$

# Max K.E.L. Planck, 1858-1947



## 黒体輻射のプランク分布



$$f(\lambda, T) = \left( \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \right) \frac{1}{\exp(hc / \lambda kT) - 1}$$

温度によって強度の最大値がある  
温度が高いほど青みがかかる、低いほど赤みがかかる

# レイリー・ジーンズの公式

1900, 1905年

電磁波(波動)の状態数を数え、統計力学の考えを使う

$$f(\lambda, T) = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$$

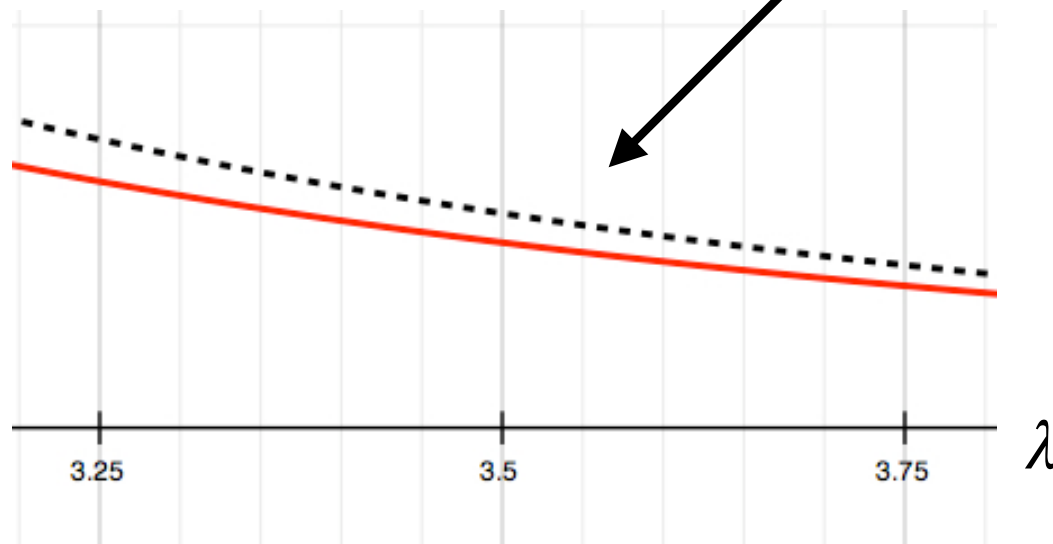
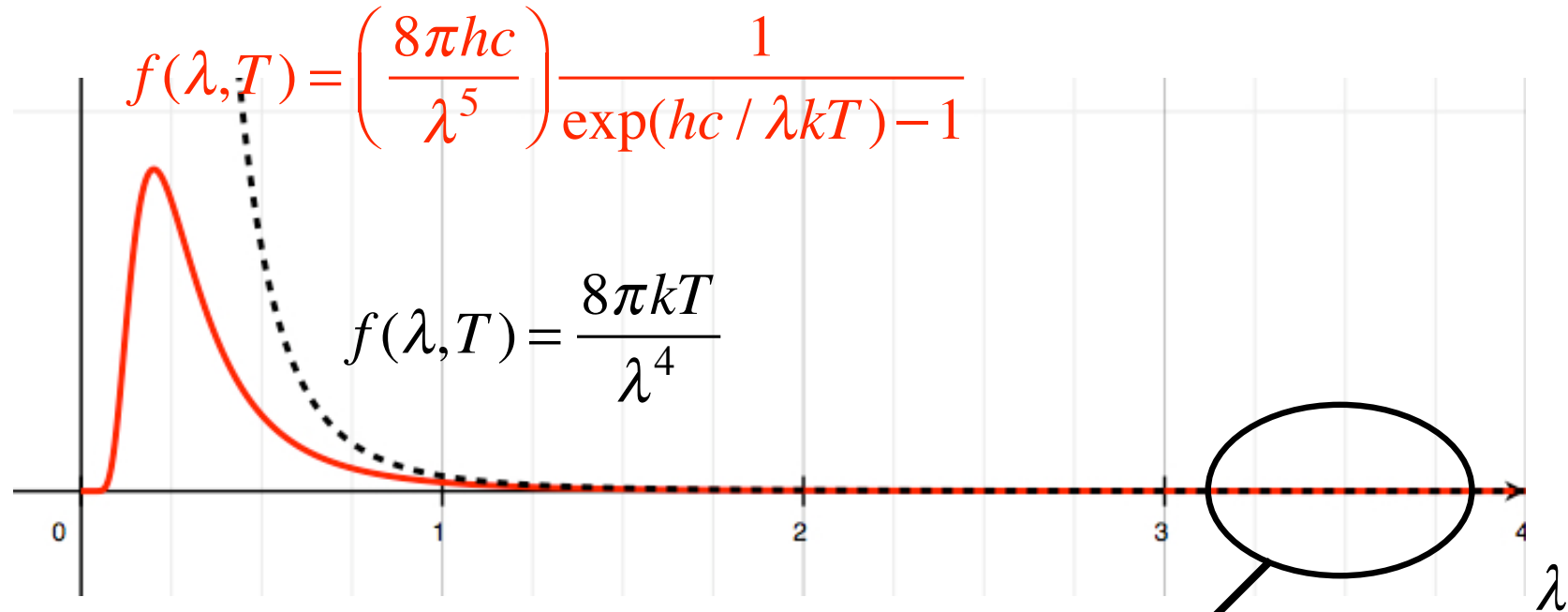
ボルツマン定数  
 $k = 1.38 \times 10^{-23}$  [J/K]

問:  $\lambda$  が大きい場合にプランクの公式がこの式になることを示せ。

問: この公式では、温度による色の変化がおこらないことを説明せよ。

# 強度関数

$$h = c = 1$$



# 温度と色

プランクの公式の最大強度を求める

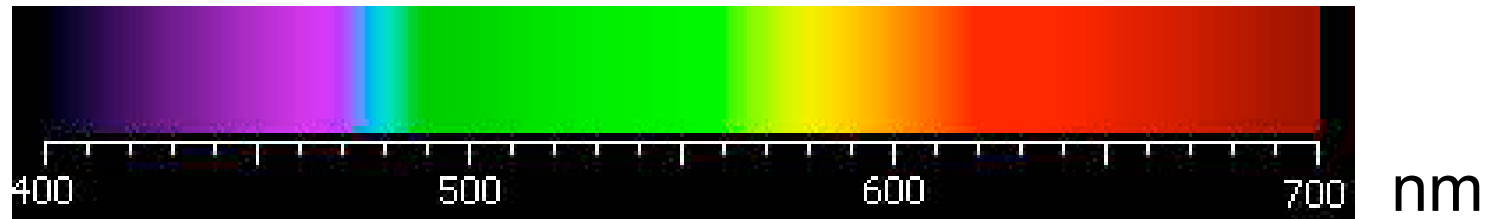
$$f(\lambda, T) = \left( \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \right) \frac{1}{\exp(hc / \lambda kT) - 1}$$

$$\frac{hc}{\lambda kT} = x \quad \text{として} \quad g(x) = \frac{x^5}{e^x - 1} \quad \text{の最大値を求める}$$

$$\lambda_{\max} T = \frac{1}{4.9651} \frac{hc}{k} \sim 2.9 \times 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{K]}$$

問: プランクの公式で強度関数が最大になる波長 $\lambda_{\max}$ を求めよ。  
太陽の表面温度は約6000度である。太陽の色について議論せよ。

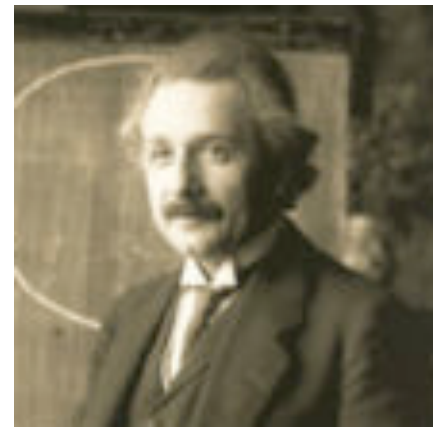
# 光の色と星



$$1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$$

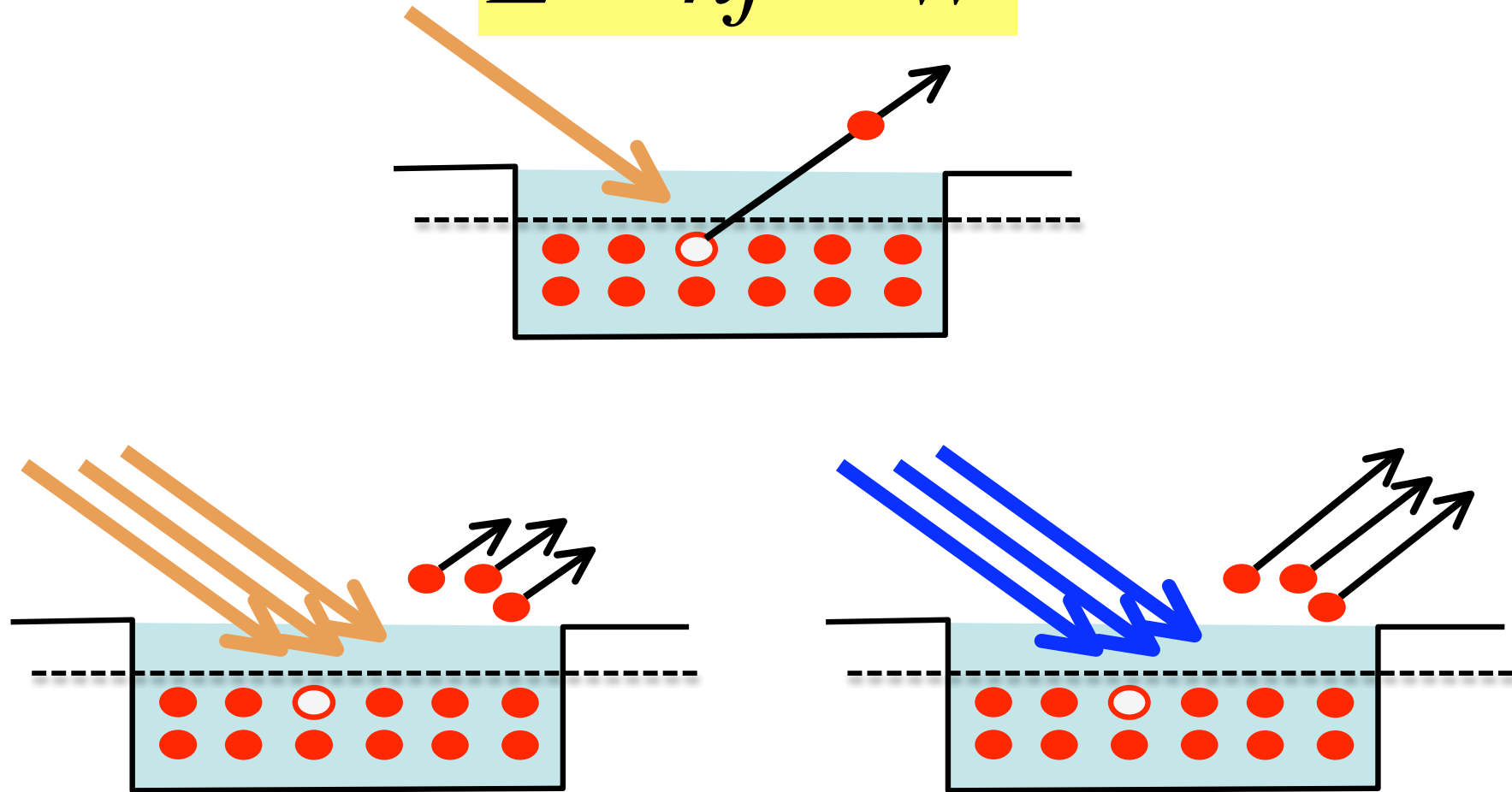
表面温度 (K)	色	例
30000 ~ 50000	青	オリオン座の三ツ星
10000 ~ 30000	青	スピカ、レグルス
7500 ~ 10000	青白	シリウス、ベガ
6000 ~ 7500	白	北極星、プロキオン
5300 ~ 6000	黄	太陽、カペラ
4000 ~ 5300	橙	アルクトゥールス、アルデバラン

# Albert Einstein, 1879-1955



光電効果

$$E = hf - W$$

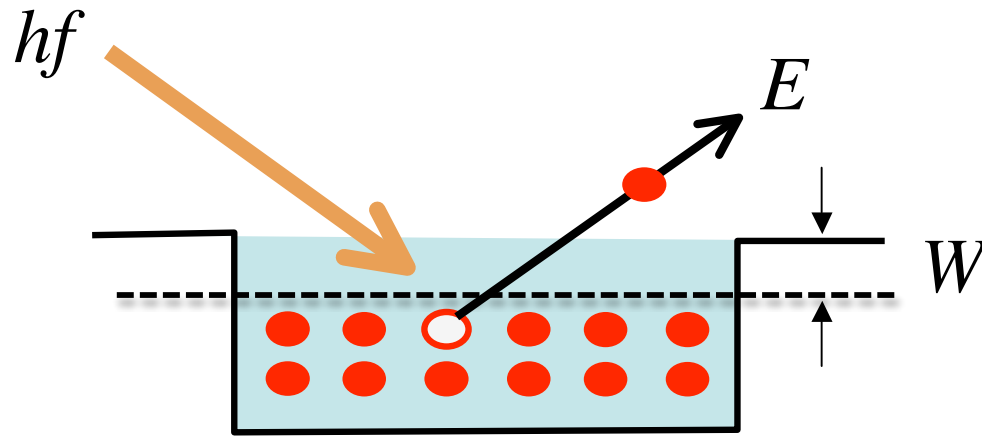


# Lenardの経験則

- (1) 光電子のエネルギーは光の強度(エネルギーの量)には無関係で、光の振動数が大きいほど大きい。
- (2) 振動数を保ったまま光の強度を増す(明るくすると、飛び出す光電子のエネルギーは増えず、かわりのその個数が増す。
- (3) 金属に特有な振動数 $f_0$ より大きな振動数の光でない  
と光電子は飛び出さない。
- (4) どんなに強度の弱い光でも、その振動数が $f_0$ を越えてい  
れば、直ちに光電子の放出が見られる。



$$E = hf - W$$



光は $hf$ のエネルギーのかたまり(量子)のように振る舞う

問:

1 eVのエネルギー量子を持つ光の振動数と波長を求めよ

問: 銅の仕事関数は約4.5 eVである。限界振動数 $f_0$ を求めよ

問: 蛍光灯から放出される光子の数を概算せよ。

問：以下の手順にしたがって、光が波動であるとする古典的な考え方によると、我々は夜空に輝く星を見ることができなくなってしまうことを示せ。

(1) 1等星の明るさは、地上でおよそ $1.6 \times 10^{-9}$  [W/m<sup>2</sup>]のエネルギーの流れに相当する。原子1個が毎秒吸収するエネルギーを求めよ。

(2) 網膜中の電子が光を吸収して外に飛びだし、脳に伝わる信号とになるためには、網膜を構成する原子中の電子1個につき、約 $1$  [eV] =  $1.6 \times 10^{-19}$  [J]のエネルギーが必要になるとしよう。(1)で得られたエネルギーを原子1個が吸収し、外に飛び出してくるのにのにに要する時間を求めよ。

(3) 瞳から網膜に到達する光子の数を求めよ。これはアボガドロ数にははるかに満たないが、これだけの数の電子が飛び出せば、脳に信号として伝わるのに十分である。