

問1：λが大きい場合にプランクの公式がレイリー・ジーンズの式になることを示せ。

問2：レイリー・ジーンズの公式では、温度による色の変化がおこらないことを説明せよ。

問3：プランクの公式で強度関数が最大になる波長を求めよ。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。

問4：1 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5：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8を参照)

問6：蛍光灯から放出される光子の数を概算せよ。

問7：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。これはアボガド口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。

問8 (追加) 以下の表の空白をうめよ

	仕事関数 [eV]	限界振動数	限界波長
Na	2.28		
Zn	4.33		
W	4.52		
Pb	5.32		

問9：相対論的なエネルギーと運動量の表式を使って $p = E/c$ を示せ

問10：1keVで運動する電子波の波長と周期を求めよ

問11：可視光と比べ、電子顕微鏡がより小さなものを見ることができる理由を説明せよ

問12：赤色の光が0.1 mmの2重スリットを通過し、10 m先のスクリーンに作る干渉縞の間隔を求めよ。1 keVの電子波の場合はどうか？

問13：電子の回転運動方程式  $mr\dot{\theta}^2 = -k \frac{e^2}{r^2}$  において、

半径を $a$ 倍したら、時間変数 $t$ を何倍することでこの方程式が不変に保たれるか。この関係はケプラーの第3法則に他ならない。

問14：水素原子の性質は、陽子に束縛される電子の性質によってきまる。

(1) 電子が半径 $r$ の軌道上を一定の速さ $v$ で回転するときの、全エネルギーを表せ。

(2) 運動方程式(向心力=クーロン力)を用いて、全エネルギーはクーロン力によるポテンシャルエネルギーの半分に等しいことを示せ(ビリアル定理)。

(3) 量子論の条件(ボーアとドロイ)を付加して、水素原子の半径と束縛エネルギーを求めよ。また、基底状態のイオン化エネルギーを計算せよ。

問15：水素原子の基底状態の運動が古典的として、その速さを求めると、光速のおよそ $1/137$ となっていることを示せ。この数は、微細構造定数で、電磁気力の強さを表す尺度になっている。

問16：太陽光のスペクトルは、白熱電球の場合と異なり特定の色のところが欠けている。その理由を説明せよ。

問17：2重スリットによる回折像の公式では、スリットの幅と像の広がり反比例する。不確定性関係によってこのことを説明せよ。

問18：不確定性関係を使って水素原子の基底状態のエネルギーを変分によって求めることが出来る。

(1) 全エネルギーを運動量と半径の関数として表せ。

(2) 不確定性関係を使って運動量を消去せよ。

(3) エネルギーの運動項、ポテンシャル項、全エネルギーを半径の関数としてプロットせよ。