

1 陰極の金属フィラメントを加熱し、真空中へ放射された自由電子(熱電子)を平行電場で加速し運動させて、陽極金属に衝突させる物理実験を考察する。この陽極では電子の衝突により光子が発生する。こうして発生する比較的エネルギーの高い光子を X 線と呼び、医療で診断や治療に利用されている。

この実験の概略を図 1 に示す。ここで、 V_1 と I_1 は陰極と陽極間に印加した電圧と、その間に流れた電流の値である。また、 V_2 と I_2 とは、陰極金属フィラメントを加熱するために印加した電圧と流れた電流の値である。真空中に置かれた陰極と陽極間の距離を L とする。陰極から単位時間に発生する電子の数は少なく、陰極陽極間に印加した外部電圧で生じる平行電場を乱すことはないものとする。

下記の問題に答えなさい。なお、文字式では、電子の質量および電荷を m および e 、真空中の光速の値を c 、プランク定数を h とする。数値解の有効数字は 2 桁とする。数値計算の際に、必要ならばプランク定数の値として、 $h = 4.1 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ を、また電子の比電荷の値は $\frac{e}{m} = 1.8 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ を使用しなさい。それ以外の物理定数が必要な場合には、あなたの知っている物理定数の値を用いなさい。必要に応じて数値解には、適切な物理単位を付しなさい。なお、空欄 ① から ⑤ は文字式で、空欄 ⑥ から ⑪ は、数値で解答しなさい。

上の物理現象において、電荷 e の電子に作用する平行電場からの力の大きさは ① であるので、飛行中の熱電子の加速度の大きさは ② となる。初速がゼロで陰極から生じた熱電子が陽極までの距離 L を飛行するのに必要な時間は ③ となる。また、その電子が陽極表面に衝突する直前の電子の運動エネルギーは最大の ④ となり、その速さは ⑤ と考えられる。

今、上記の物理実験での条件を、 $V_1 = 1.0 \times 10^3 \text{ V}$ 、 $I_1 = 1.0 \times 10^{-5} \text{ A}$ 、 $L = 0.30 \text{ m}$ とした場合、上記の熱電子の加速度の大きさは ⑥、陽極表面に衝突直前の速さの値は ⑦ となる。また、単位時間に陽極に到達する熱電子の個数は ⑧ である。

その同一条件で、熱電子が陽極表面に衝突して発生する光子の最大エネルギーが衝突時の熱電子の運動エネルギーとすれば、その光子の最大エネルギーは電子ボルト単位では ⑨ eV となる。また、その光子の波長の値は ⑩ である。この光子の真空中での速さは ⑪ である。

この実験で、陰極金属に印加した電圧 V_2 および、そこに流れた電流 I_2 を増加させた時に生じる上記の物理現象で、顕著な変化は何か答えなさい。⑫

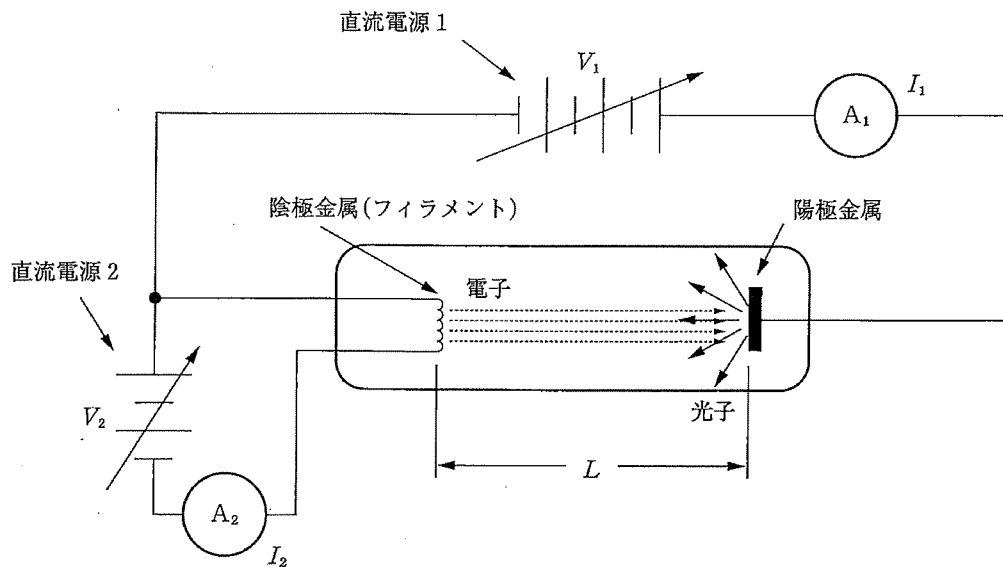


図1 金属に衝突する熱電子に関する物理実験の模式図
各直流電源の電圧は可変である。