

問題 C

金属を高温にすると、金属表面から電子が飛び出すことがある。このことについて、以下の問に答えよ。ただし、電荷素量、金属内自由電子の質量をそれぞれ q 、 m とする。

- (1) この現象は何と呼ばれているか。
- (2) 金属内部の自由電子のフェルミ準位と金属外部の真空準位の差を W と表すとき、 W を何と呼ぶか。
- (3) 金属表面に垂直外向きの座標を x とし、表面に平行な平面を $y-z$ 平面とする。金属内自由電子が金属表面から外部へ放出されるために、その電子の x 方向の速度成分 v_x が満たすべき条件式を示せ。ただし、フェルミ準位以上のエネルギーを持つ電子が金属内を自由に運動しており、フェルミ準位を差し引いた残りのエネルギーがその電子の並進運動エネルギーに対応していると考えよ。
- (4) v_x をもつ自由電子が単位体積あたり $n(v_x)$ 個あると仮定すると、これらの電子が表面から流れ出ることにより生じる単位面積あたりの電流 i_x はどのようにあらわされるか。
- (5) この金属内自由電子の速度分布関数を $f(v_x, v_y, v_z)$ とする時、表面から流れ出る全電流の面密度 i_s (即ち全ての速度成分に対する i_x の和) を表す式を求めよ。ここで v_y 、 v_z は速度の y 方向および z 方向成分であり、この金属の単位体積あたりの自由電子数は n とする。
- (6) (5) で金属内自由電子がマクスウェル・ボルツマンの速度分布則

$$f(v_x, v_y, v_z) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left[-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT} \right]$$

に従うと仮定して、 i_s を求めよ。ただし k 、 T 、 π はそれぞれボルツマン定数、絶対温度、円周率である。

- (7) 問(1)の現象を利用した素子や装置を一つ例示せよ。
- (8) 高温にしなくても、金属表面に光を照射すると、やはり電子が飛び出すことがある。この現象は何と呼ばれているか。
- (9) 低温で自由電子の熱運動が無視できる場合、電子を飛び出させるために光の周波数 ν が満たすべき条件式を示せ。必要ならプランク定数 h を用いよ。

Problem C

When a metal is heated up to a high temperature, electrons are often emitted from the metal surface. Answer the following questions regarding this phenomenon. Here, let q and m be the elementary charge and the mass of free electrons in the metal, respectively.

- (1) What is this phenomenon called?
- (2) When the difference between the Fermi level of free electrons in the metal and the vacuum level outside the metal is denoted as W , what is W called?
- (3) Suppose an outward-going coordinate normal to the metal surface is x , and a plane parallel to the surface is $y-z$ plane. Show the condition that the x -component of the electron velocity, v_x , should satisfy in order for free electrons inside the metal to go out from the metal surface. Here you can assume that electrons having their energies larger than the Fermi level are moving freely in the metal, and that the energy difference from the Fermi level corresponds to the kinetic energy of their translational motion.
- (4) Assume the number of free electrons per unit volume having v_x is $n(v_x)$. Express current per unit area, i_x , when those electrons are flowing out of the surface.
- (5) If the free electrons inside the metal follow a velocity distribution function $f(v_x, v_y, v_z)$, obtain a formula expressing the total current per unit area i_s flowing out of the surface, namely, the summation of i_x over all velocity components. Here, v_y and v_z are velocities in y and z directions, and the number of free electrons per unit volume in the metal is n .

- (6) In (5), by assuming the free electrons in the metal follow the Maxwell-Boltzmann's velocity distribution law

$$f(v_x, v_y, v_z) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left[- \frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT} \right],$$

obtain i_s . Here, k , T , and π are the Boltzmann's constant, the absolute temperature, and the circular constant, respectively.

- (7) Name one device or instrument utilizing the phenomenon in Question (1).
- (8) Even without heating, when the metal surface is illuminated by light, electrons can be emitted. What is this phenomenon called?
- (9) When the thermal motion of free electrons is negligible because of low temperature, show the condition that the optical frequency ν should satisfy for making electrons jump out. Use the Planck's constant h as necessary.