0.1 ダッシュマンリチャードソンの式

熱電子放出より、金属の表面から放出される熱電子の電流密度を表す式。

仕事関数 ϕ とフェルミ準位 E_F の関係自由電子が真空に飛び出す条件は

$$\frac{1}{2}mv_x^2 = \frac{p_x^2}{2m} \geq E_F + \phi, \ (p_x = mv_x)$$
$$p_x \geq \sqrt{2m(E_F + \phi)} = p_x$$

である。

熱電子の電流密度 J は

$$J = e\frac{N}{V}v_x$$

$\frac{N}{V}v_x$・・・単位体積あたりの電子の数 e, 電荷, V, 金属の体積, N, 電子の数

$$N = \int_0^\infty n(E)dE \ \ (p_x \geq p'_x)$$
$$n(E) = n(E) = 4\pi V(\frac{2m}{h^2})^{3/2}\sqrt{E}$$

フェルミ分布関数 ($E - E_F \gg kT$ の時)

$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{E-E_F}{kT}\right]}$$
$$F(E) = \frac{1}{\exp\left[\frac{E-E_F}{kT}\right]}$$
$$F(E) = \exp\left[-\frac{E-E_F}{kT}\right]$$

ここで、エネルギー E は、

$$\begin{aligned}
E &= \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) \\
&= \frac{1}{2m}p^2, \ \ (p^2 =_x^2 + p_y^2 + p_z^2) \\
dE &= \frac{1}{2m}\dot{2}dp \\
\therefore J &= \frac{e}{V}v_x N \\
&= \frac{e}{V}\int v_x 4\pi V(\frac{2m}{h^2})^{3/2}\sqrt{E}F(E) \\
&= e\frac{4\pi(\frac{2m}{h^2})^{3/2}}{m^2\sqrt{2m}}\int p_x F(p)p^2 dp, \ \ (p_x \geq p'_x)
\end{aligned}$$

ここで $p^2dp = \frac{1}{4\pi}dp_x dp_y dp_z$ とすると

$$J = e\frac{4\pi(\frac{2m}{h^2})^{3/2}}{m^2\sqrt{2m}}\frac{1}{4\pi}\int_{p_x}^\infty dp_x\int_{-\infty}^\infty dp_y\int_{-\infty}^\infty dp_z \times p_x\exp\left[\frac{E_F}{kT}\right]\exp\left[-\frac{p_x}{2mkT}\right]\exp\left[-\frac{p_y}{2mkT}\right]\exp\left[-\frac{p_z}{2mkT}\right]$$

1　光電子放出

1.1　光電子放出の一般の性質

◎光電子放出真空中の金属にエネルギー ε の光を当てると、光電子と呼ばれる電子が真空中に飛び出す。

光は電磁気で記述される・・・電磁波 (波の性質を持つ)

波の振幅が大きいほど、波のエネルギーは大きい。

結局電子が金属中から真空中に飛び出すためには金属にエネルギーを与えて、そのエネルギーを障壁のポテンシャルエネルギー以上にしないといけない。

与えないといけないエネルギーは仕事関数 ϕ なので、電子を真空中に放出したいなら、

$$\varepsilon \geq \phi$$

となるくらいの強い光を与えないといけない。

光電子放出に関するいろんな実験

(1) 電子が出てくる条件

光は振幅と周波数 (振動数)ν で特徴づけられる。

(a) $\nu \geq \nu_0$ のとき (ν_0 は限界周波数)

光電子放出が起きる。

(b) $\nu < \nu_0$ のとき

光電子放出が起きない。しかも振幅 (光のエネルギー) とは無関係 (速い波じゃないとダメ)

(2) 出てくる電子の数

$\nu \geq \nu_0$ で光のエネルギーを大きくすると、電流は大きくなる。(出てくる電子の数が増える)

アインシュタインの光量子仮説

光は粒子としての性質を持ち、1 個の光の粒子光子が周波数 ν を持つとき、エネルギー ε は $\varepsilon = h\nu$ となる。(h はプランク定数)

光は波だけでなく、粒子の性質をも併せ持つ (光の二重性)

光の周波数 ν と仕事関数 ϕ との関係

$$h\nu \geq \phi$$
$$\Leftrightarrow \nu \geq \frac{\phi}{h} = \nu_0$$

この時の波長は $v = f\lambda$ より、

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{ch}{\phi}$$

c : 光速

λ_0 : 限界波長

フェルミ準位にある電子が光電子放出するとき、その速度は最高速度 v_m となる。(他の金属中の電子よりも速い)

エネルギー保存則より、

$$
\begin{aligned}
\frac{1}{2}mv_m^2 &= E_F + \varepsilon - (E_F + \phi) \\
&= \varepsilon - \phi \\
&= h\nu - h\nu_0 \\
&= h(\nu - \nu_0) \\
\therefore v_m &= \sqrt{\frac{2h}{m}(\nu - \nu_0)}
\end{aligned}
$$

他の光の周波数に依存し、振幅には依存しない現象
例) 日焼け

- 電気ストーブ (赤外線) →日焼けしない (周波数が小さい)
- 日光 (紫外線) →日焼けする (周波数が大きい)