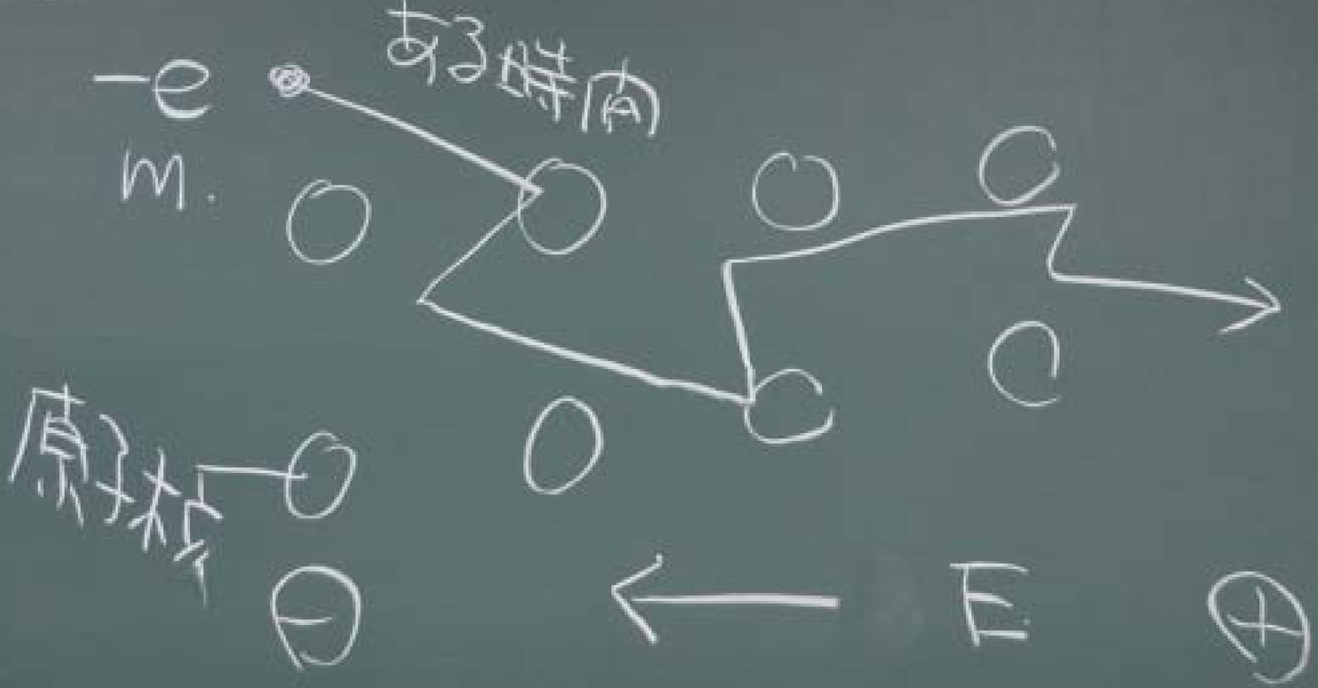
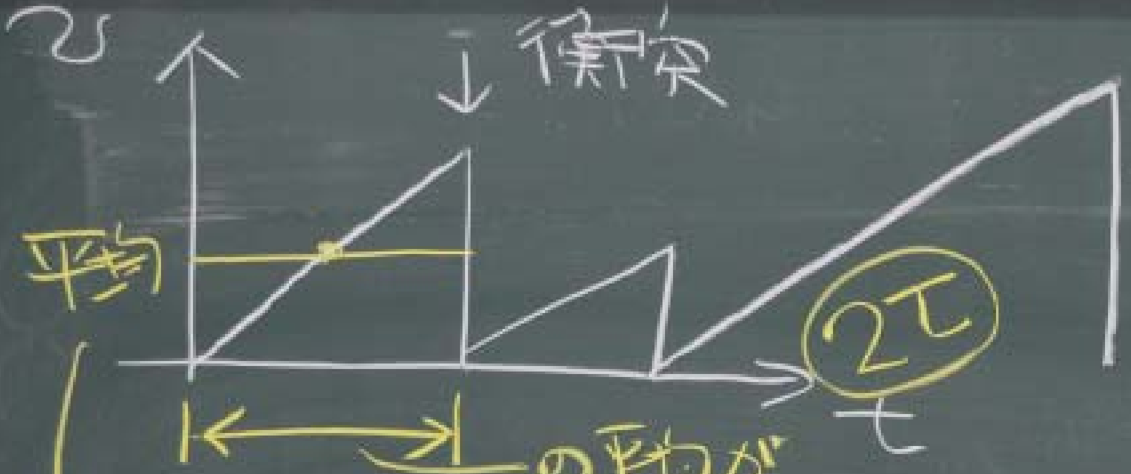
固体の電子論

古典論　Drude ドゥルーデ・モデル





$\frac{e\cdot E}{m}$：加速度.

の平均が

→ 速度に比例したマサツ

$\frac{eE}{m}\cdot\tau$

$$m\frac{dv}{dt} = -eE - av \qquad (4.1)$$

$t=0,\ v=0$

$$v=-\frac{eE}{a}\left(1-\exp\left(-\frac{a}{m}t\right)\right)$$

$m/a=\tau$ 緩和時間

$$v=-\frac{eE\tau}{m}\left(1-\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$$

$t\gg\tau$ $\quad v=-\dfrac{eE\tau}{m}$ 定常速度

$$J = -nev = \left(\frac{ne^2\tau}{m}\right)E = \underbrace{\sigma}_{\text{導電率}} E$$

オームの法則を説明できる

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} = n \cdot e \cdot \underbrace{\mu}_{\text{移動度 mobility}} \qquad \mu = \frac{e\tau}{m}$$

熱伝導

金属 ～ 熱を伝えやすい

Wiedemann-Franz の法則 (実験事実)

熱伝導率 ～ κ

$$\frac{\kappa}{\sigma T} = L \text{ (ローレンツ数)}$$

金属材料にかかわらず
ほぼ一定

σ ～ 電気伝導率

T ～ 絶対温度

古典統計によると（並進）

一電子あたりの平均エネルギー　$\frac{3}{2}kT$

電流　一電子あたり　$-e$

$$\frac{K}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3}\frac{k^2}{e^2}$$ となる。$\left(\frac{\tau}{m}\right)$ 材料。

b: 自由電子の量子論

Sommerfeld

金属結晶

単純化

パウリの排他原理 → E_F

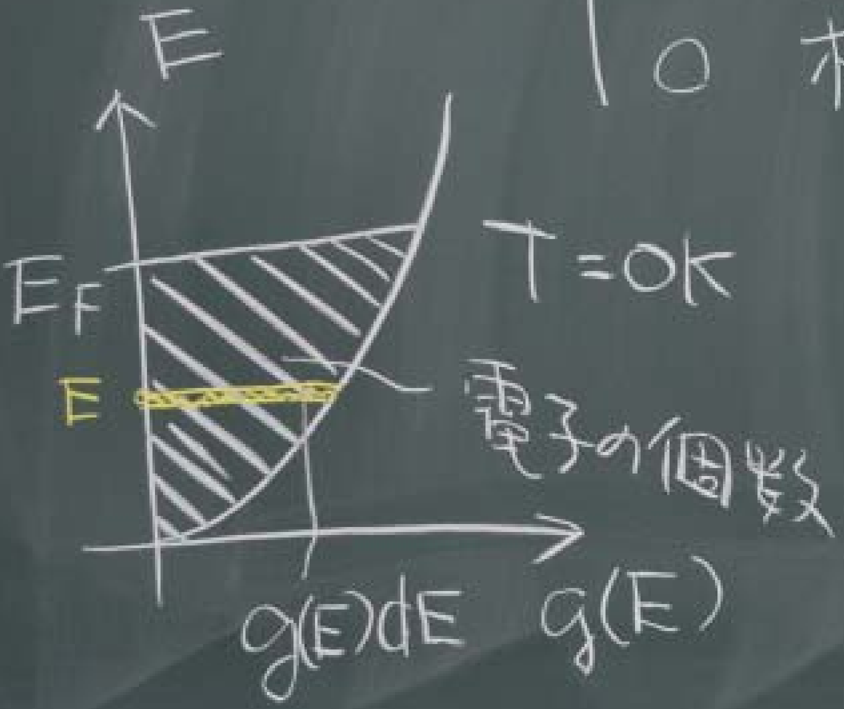
粒子 → 波動. 波の波長 ≫ 原子間隔

電子の散乱

× 結晶格子それ自体

○ 結晶欠陥

○ 格子振動（格子のゆるやかなうねり）



自由電子の比熱

古典論 $C_v = \dfrac{d\langle E\rangle}{dT} = \dfrac{d(\frac{3}{2}kT)}{dT} = \dfrac{3}{2}k$ 実験値よりもかなり大

量子論 $\langle E\rangle = \dfrac{\int_0^\infty E\cdot g(E)\,dE}{\int_0^\infty g(E)\,dE} = \langle E_0\rangle\left[1+\dfrac{5\pi^2}{12}\left(\dfrac{kT}{E_{F0}}\right)^2\right]$

1/40 (2.74)

$C_v = \dfrac{d\langle E\rangle}{dT} = \pi^2\left(\dfrac{kT}{2E_{F0}}\right)\cdot k$

$E_{F0} \sim 5\,eV$

室温 $T=300K$

$kT = 26\,meV$

自由電子の常磁性

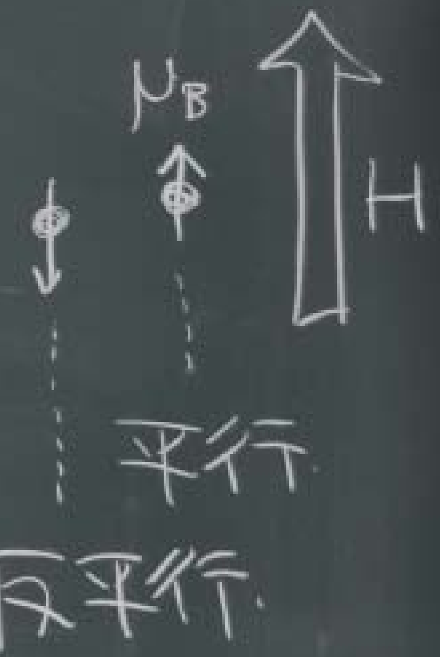
ボーア磁子

磁石の最小単位

<u>古典論</u>　電子はスピン　$1\mu_B$

安定 $\underbrace{\mu_B H}_{\sim \mu_0}$

$$\underset{\text{磁化}}{M} = (\underset{\text{平行な電子数}}{N_p} - \underset{\text{反平行な電子数}}{N_a}) \cdot \mu_B$$



平行と反平行のエネルギー差 $2\mu_B\mu_0 H$.

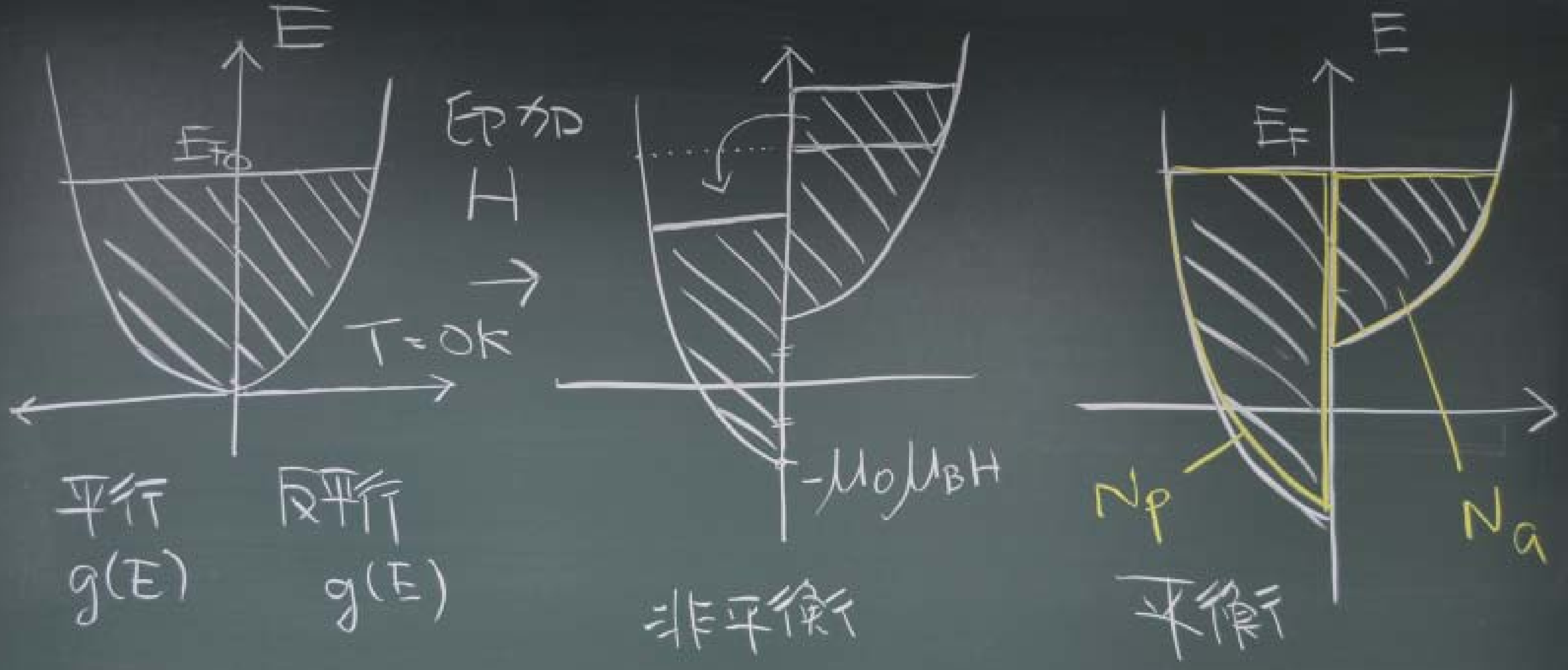
$\hookrightarrow 1$. $\hookrightarrow \exp\left(-\frac{2\mu_0\mu_B H}{kT}\right)$

$N_a + N_p = \underset{\sim}{N}$ 全電子数.

$$M = N \cdot \mu_B \cdot \tanh\left(\frac{\mu_0\mu_B H}{kT}\right) \quad (4.21) より$$

Tが高ければ

$\mu_0\mu_B H \ll kT$ $M = N \cdot \mu_0\mu_B^2 H / kT$ 古典 大きすぎる.


E
E_F0
印加
H
T=0K
平行
g(E)
反平行
g(E)
−μ0μBH
非平衡
E
E_F
Np
Na
平衡

$$M = (N_p - N_a)\mu_B. \quad N(E) = 4\pi\sqrt{2}\left(\frac{m^{3/2}}{h^3}\right)\sqrt{E}$$

$N_p - N_a$を求める.

移動する電子数. $\mu_0 \mu_B H \times N(E_{F0})$

$$M = 2\mu_0 \mu_B^2 H \times N(E_{F0})$$

$$= \frac{4\pi m}{h^2}\left(\frac{3N}{\pi}\right)^{1/3} \mu_0 \mu_B^2 H$$

よく一致する.

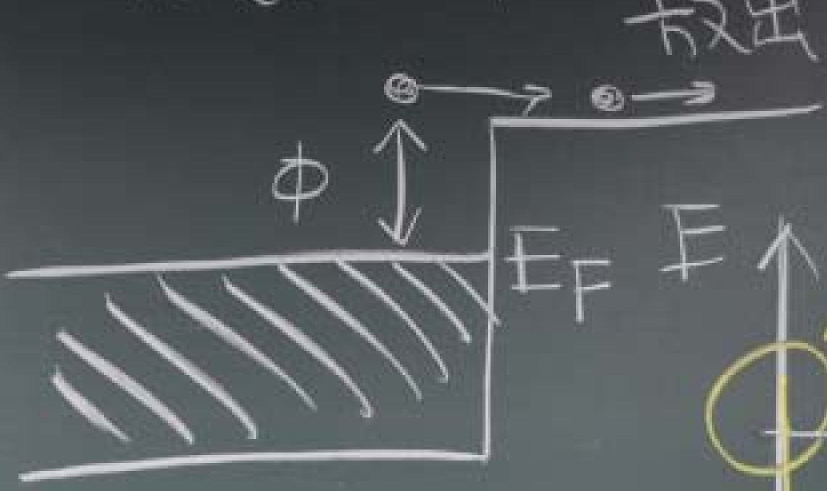
電子放出

1, 熱電子放出

2, 電界放出

3, 光電子放出

1, 熱電子放出

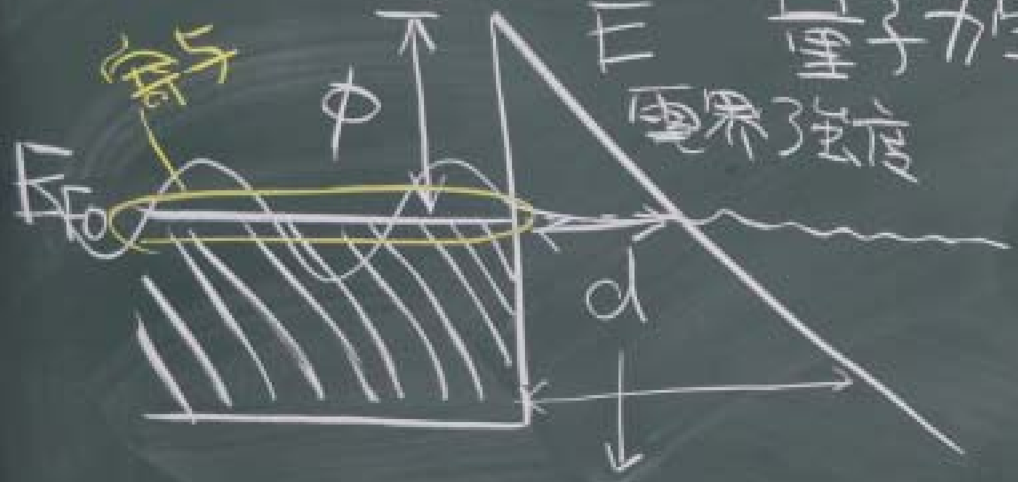


$$J_s = A \cdot T^2 \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right)$$

2. 電界放出

古典論では電子出てこない.

量子力学的トンネル効果

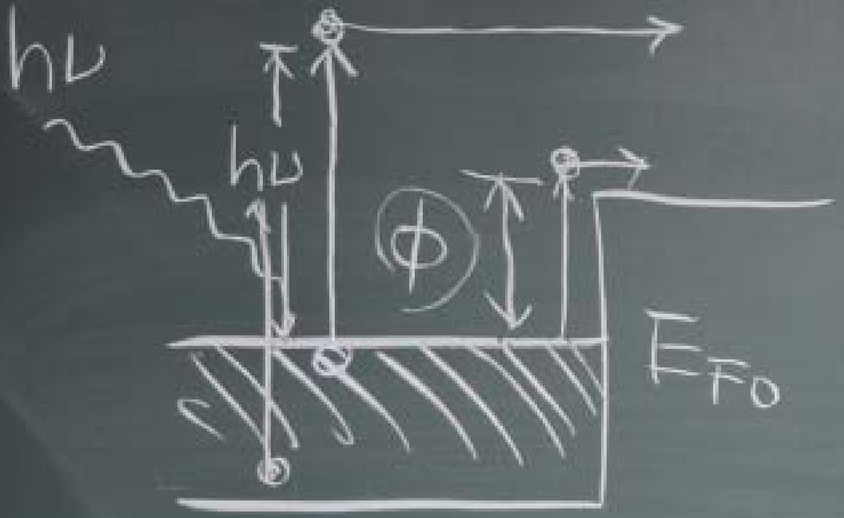


mやφで決まる

$$J = C E^2 \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{E}\right)$$

非常にうすい

3. 光電子放出（光電効果）



$h\nu \geqq \phi$ の光子の吸収.

$$\lambda \leqq \frac{1240\ \mathrm{nm \cdot eV}}{\phi}$$ の光子.

接触電位差

真空準位…基準

$$eV = \phi_A - \phi_B$$