

{電子-電磁場-電子} QED 相互作用(I)

2024/10/17,18,12/1

- ☞ : 超伝導基礎最大難関 Cooper 対機構だが、電子間静電斥力よりも spin-spin 磁気引力が驚くべき長距離 $r_{E=B}=1.7 \times 10^{-7} \text{m} \gg r_B=0.5 \times 10^{-10} \text{m} = \text{Bohr 半径}$ とけた違いで効く。
- ☞ : He2 対電子 s 軌道は H より深い結合エネ E_0 、電荷 2 倍、電子核間距離 $1/2 \Rightarrow 4$ 倍での計算より深い!! \Rightarrow spin 結合負エネ
H 原子半径 = 0.53 Å, He 原子半径 = 0.32 Å > (0.53 Å / 2), $E_0(\text{H}) = -13.6 \text{eV}$, $E_0(\text{He}) = -79.2 \text{eV}$

[1]: spin-spin 相互作用公式(定義)検証<筆者計算は九工と一致>

(1)(a)<九州工大>

$$U_{SS} = (\mu_0 / 4\pi) \sum_{i>j} \{ (\boldsymbol{\mu}_i \cdot \boldsymbol{\mu}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \boldsymbol{\mu}_j) / r_{ij}^5 \} \dots \boldsymbol{\mu}_e \equiv \mu_0 \boldsymbol{\mu}_B, \boldsymbol{\mu}_B \equiv e\hbar / 2m_e \text{ in MKSA.}$$

<https://www.mns.kyutech.ac.jp/~okamoto/education/electromagnetism/ele-mag-dipole-moment090701a.pdf>

(b)<物理学公式集、共立出版、1970> $\mathbf{s} \equiv |\boldsymbol{\mu}_e| / \mu_B = \pm 1$.

$$H_{SS} = 4\mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 \} - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij})$$

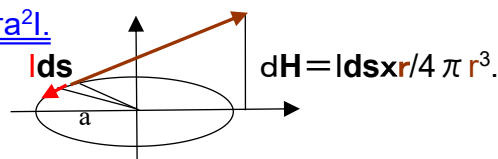
(c) $\square \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{j} \Rightarrow \square \mathbf{H} = -\text{curl} \mathbf{j} \Rightarrow \mathbf{H} = \oint d\mathbf{s} \times \mathbf{j} / 4\pi r^2 \Rightarrow \langle d\mathbf{s} \times \mathbf{j} \rangle = \text{磁気 moment 自然定義?}$

(2) 磁気 moment 意味再検証 = "電流" 双極子 (=IL) <spin-spin-相互作用 CP 電流の基礎>

☞ : 通常磁気 moment 定義 $\boldsymbol{\mu} = I\mathbf{L} = \pi a^2 I \mathbf{z}$.

円環電流 $I/m \equiv q(v/2\pi a), \dots$

直線電流 $I_0 \equiv qv$.



直線電流 I_0 での磁気 moment 定義 $\boldsymbol{\mu} = a I_0 / 2 = \text{"電流 } I_0 \text{" 双極子 moment (=IL/2)}$.

(3) 微小円環電流の作る磁界公式:

$$\text{磁気モーメント: } \mathbf{B} = \mu_0 (\pi a^2 I) / 2\pi r^3 = \mu_0 \mathbf{s} / 2\pi r^3, \quad \text{Bohr 磁子} = \mu_B = e\hbar / 2m_e = 9.27 \times 10^{-24} \text{Am}^2 (\text{JT}^{-1}).$$

https://eman-physics.net/electromag/magnetic_moment.html

☞ : $a \ll r$ 極限使用の厳密式...; 電子 spin を想定した円環電流(半径 $a \rightarrow 0$)の作る磁界.

$$B_x = (\mu_0 I \pi a^2 / 4\pi r^3) (3xz/r^2) \dots \dots z=0, x=0 \text{ で消える, } x=z \rightarrow (3xz/r^2) = 3/2$$

$$B_y = 0.$$

$$B_z = (\mu_0 I \pi a^2 / 4\pi r^3) (-1 + 3z^2/r^2) \dots \dots z=r \dots \dots \text{重要式}$$

(4) 角運動量 \mathbf{L} と磁気 moment: $\mathbf{L} = amv \rightarrow I_0 = ev = e(L/am) \rightarrow I = I_0 / 2\pi a$.

$$\rightarrow I \pi a^2 = e(L / 2\pi a) \pi a^2 = eL / 2m \dots \dots \text{重要式};$$

https://home.hiroshima-u.ac.jp/kyam/pages/results/monograph/Ref04_g_val.pdf

(5) $\mu_B = \text{電子磁気 moment (Bohr 磁子)} = e\hbar / 2m_e = 9.27 \times 10^{-24} \text{Am}^2 (\text{JT}^{-1})$.

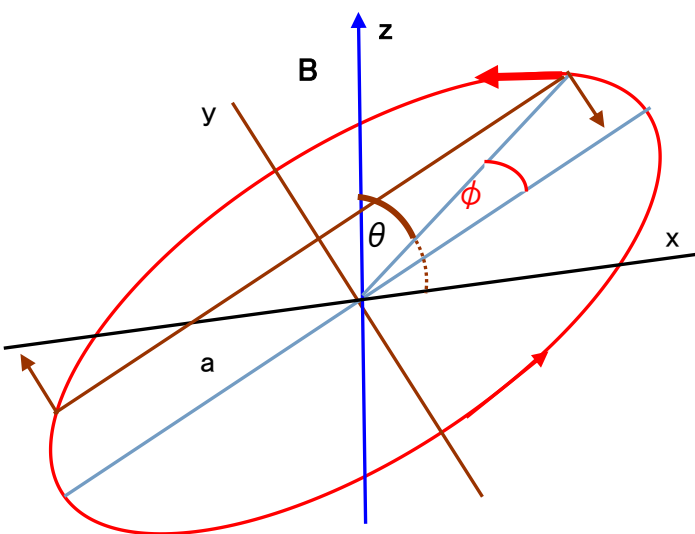
$\mu_B = \mu_0 (e\hbar / 2m) \dots \dots \text{Bohr 磁子}$

https://ocw.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2008/04/2008_teionkagakuB_3.pdf

https://home.hiroshima-u.ac.jp/kyam/pages/results/monograph/Ref04_g_val.pdf

(6) 磁気 moment 磁界 \mathbf{B} と磁気 moment $=\boldsymbol{\mu}$ 相互作用 energy (potential) $=U$ <2024/10/18>.

z 軸方向に \mathbf{B} 、円環電流 I に働く円周 y 軸回転力と回転角 θ 仕事計算 $=U$.



$$\begin{aligned} df_\theta &= 2ad\phi B \cos\phi \cos\theta \\ dU &= 4dsdf_\theta = 2d\theta a \cos\phi \cdot ad\phi \cdot 2B \cos\phi \cos\theta \\ U &= 4a^2 B I \int_0^{\pi/2} d\theta \int_0^{\pi/2} d\phi \cos^2\phi \cos\theta \\ * \int_0^{\pi/2} dx \cos^2 x &= \int_0^{\pi/2} dx (\cos 2x + 1) / 2 = \pi / 4 \\ U &= -\pi a^2 I B \end{aligned}$$

磁気 moment 定義:

$\mathbf{s} \equiv \pi a^2 I \equiv eL / 2m = (e\hbar / 2m_e) \dots \dots (\text{E-H}) \text{ 対応磁気 moment 定義}$

$\mu_B = \mu_0 (e\hbar / 2m_e) \dots \dots \text{Bohr 磁子} \dots \dots (\text{E-B}) \text{ 対応磁気 moment 定義}$

spin-spin 相互作用 $\mathbf{s} \equiv |\mathbf{s}| / \mu_B = \pm 1$.

$$\mathbf{B} = \mu_0 (I \pi a^2) / 4\pi r^3 = \mu_0 \mathbf{S}_1 / 4\pi r^3 \dots \dots (3)$$

$$U = (\pi a^2 I) B = (4/\pi) (\mathbf{S}_2 \cdot \mathbf{B}) = \mu_0 (\mathbf{S}_2 \cdot \mathbf{S}_1) / 4\pi r^3, \dots \dots$$

$$= \mu_B^2 (\mathbf{s}_2 \cdot \mathbf{s}_1) / \mu_0 4\pi r^3 \dots \dots \text{電子 spin} = \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_1 = \pm 1, \text{ but not } \pm 1/2.$$

[2]: 既刊論文との定義？不一致検証:

筆者: $\mu = \mu_0 (I \pi a^2) = \mu_0 S_1 = \mu_0 (e\hbar/2m_e) = \mu_0 \mu_B S_1, \dots, \text{spin } S_1=1$ と Bohr 磁子定義

$U = -(\mu_B^2)(S_2 \cdot S_1) / \mu_0 4 \pi r^3 \dots \dots S_2, S_1 = \pm 1, \text{ but not } \pm 1/2.$
 $(1/\mu_0 4 \pi) =$ 基準係数

<物理学公式集、共立出版、1970>

原著: $H_{SS}(\text{共}) = 4\mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij}) \} \dots \mu_B = 2e\hbar/mc$

$\mu_B = (2e\hbar/m)c \Rightarrow \mu_{BC}, s = s/2, \Rightarrow H_{SS}(\text{共}) = (1/c^2 \mu_0^2) \mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij}) \}$

$ER = (1/\mu_0 4 \pi) / (\epsilon_0^2) = 8.06 \times 10^4 / (8.85 \times 10^{-12})^2 = 8 \times 10^{26} \dots \dots \mu_B$ 定義違い?? に起因

⚡: $H_{SS}(\text{共})$ 第2項は正值無実現、負値並列で $r \rightarrow 0$ だと内積0、無実現、第3項は意味不明、

<https://www.mns.kyutech.ac.jp/~okamoto/education/electromagnetism/ele-mag-dipole-moment090701a.pdf>

原著:

$$U_{12} = -\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) \left[\frac{3(\boldsymbol{\mu}_1 \cdot \mathbf{r})(\boldsymbol{\mu}_2 \cdot \mathbf{r})}{r^5} - \frac{(\boldsymbol{\mu}_1 \cdot \boldsymbol{\mu}_2)}{r^3} \right]$$

$$U_{12} = /4 \pi \mu_0^2 [(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5]$$

$\mu = \mu_B S, s=1 \Rightarrow H_{SS}(\text{九}) = (1/4 \mu_0 \pi) \mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 \}$

$ER = (1/\mu_0 4 \pi) / (1/4 \mu_0 \pi) = 1 \dots \dots$ 基本的に一致!

⚡ 違いは(九工)は磁荷定義、筆者円環電流定義。

[3]: 電子間静電斥力 VS spin-spin 磁気引力.

驚くべき長距離 $r_{E=B} = 1.7 \times 10^{-7} \text{m} \gg r_B = 0.5 \times 10^{-10} \text{m} = \text{Bohr 半径}$ けた違いで効く。

$$U_{SS} = (\mu_B^2)(S_2 \cdot S_1) / 4 \mu_0 \pi r^3.$$

$$U_{ee} = e^2 / 4 \epsilon_0 \pi r.$$

$$U_{SS} = U_{ee}$$

$$(\mu_B^2)(S_2 \cdot S_1) / 4 \mu_0 \pi r^3 = e^2 / 4 \epsilon_0 \pi r.$$

$$(\mu_B^2) / \mu_0 r^3 = e^2 / \epsilon_0 r.$$

$$r^2 = (\mu_B/e)^2 (\epsilon_0 / \mu_0)$$

$$\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} \text{Am}^2 \dots \dots e = 1.6 \times 10^{-19}.$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \dots \dots \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}.$$

$$(\epsilon_0 / \mu_0) = 7.0 \times 10^{-6}.$$

$$(\mu_B/e)^2 = 3.3 \times 10^{-9}.$$

$$r^2 = 2.3 \times 10^{-14} \text{m}$$

$$r = 1.5 \times 10^{-7} \text{m}$$

$$r_B = 0.5 \times 10^{-10} \text{m}$$

後書:

本 777 が過去主張してきた spin-spin 結合可能性根拠となるが、

$r_{E=B} = 1.5 \times 10^{-7} \text{m} \gg r_B = 0.5 \times 10^{-10} \text{m} = 0.5 \text{Å} : \text{Bohr 半径}, \text{H}_2\text{O サイズ} = 3.8 \text{Å},$

逆にかような長距離だと化学結合影響は大きく成り過ぎる疑念が、。

これで Cooper 対から解放? で、超電導は純材料設計問題へ。

詳細検証は専門家の仕事になります。筆者は電気屋復帰が待ってます。