加藤岳生著「一歩進んだ理解を目指す 物性物理学講義」（サイエンス社） 正誤表

東京大学物性研究所 加藤岳生

1 概要

これは「一歩進んだ理解を目指す 物性物理学講義」の本に含まれる誤りをまとめたものです。もし間違いに気がついた場合は、kato@issp.u-tokyo.ac.jp までメールを送っていただくか、下記 Web page の Issues に書き込んでください。

https://github.com/takeokato719/SolidStatePhysicsText/

細かい間違いでも遠慮なく教えていただけるとありがたいです。よろしくお願いいたします。

2 正誤表

- p.14 式 (1.75) の最終行:

$$[誤] \qquad = \frac{1}{2}V(\boldsymbol{r}_1,\boldsymbol{r}_2)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle + \frac{1}{2}v(\boldsymbol{r}_2,\boldsymbol{r}_1)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle = V(\boldsymbol{r}_1,\boldsymbol{r}_2)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle$$

$$[正] \qquad = \frac{1}{2}V(\boldsymbol{r}_1,\boldsymbol{r}_2)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle + \frac{1}{2}V(\boldsymbol{r}_2,\boldsymbol{r}_1)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle = V(\boldsymbol{r}_1,\boldsymbol{r}_2)|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\rangle$$

- p.15 式 (1.79) の最初の等式:

$$\begin{aligned}
&[誤] \quad \Psi^\dagger(\boldsymbol{x})\Psi^\dagger(\boldsymbol{y})\Psi(\boldsymbol{y})\Psi(\boldsymbol{x})|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle \\
&= \sum_{\alpha=1}^{N}\sum_{\beta<\alpha}^{N}(-1)^{\alpha-1}(-1)^{\beta-1}\delta(\boldsymbol{y}-\boldsymbol{r}_\beta)\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\beta) \\
&\qquad\qquad \times|\boldsymbol{r}_1\cdots(\boldsymbol{r}_\beta\text{抜け})\cdots(\boldsymbol{r}_\alpha\text{抜け})\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle \\
&+ \sum_{\alpha=1}^{N}\sum_{\beta>\alpha}^{N}(-1)^{\alpha-1}(-1)^{\beta-2}\delta(\boldsymbol{y}-\boldsymbol{r}_\beta)\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\beta) \\
&\qquad\qquad \times|\boldsymbol{r}_1\cdots(\boldsymbol{r}_\beta\text{抜け})\cdots(\boldsymbol{r}_\alpha\text{抜け})\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle \\
&[正] \quad \Psi^\dagger(\boldsymbol{x})\Psi^\dagger(\boldsymbol{y})\Psi(\boldsymbol{y})\Psi(\boldsymbol{x})|\boldsymbol{r}_1\boldsymbol{r}_2\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle \\
&= \sum_{\alpha=1}^{N}\sum_{\beta<\alpha}^{N}(-1)^{\alpha-1}(-1)^{\beta-1}\delta(\boldsymbol{y}-\boldsymbol{r}_\beta)\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\beta) \\
&\qquad\qquad \times|\boldsymbol{r}_1\cdots(\boldsymbol{r}_\beta\text{抜け})\cdots(\boldsymbol{r}_\alpha\text{抜け})\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle \\
&+ \sum_{\alpha=1}^{N}\sum_{\beta>\alpha}^{N}(-1)^{\alpha-1}(-1)^{\beta-2}\delta(\boldsymbol{y}-\boldsymbol{r}_\beta)\delta(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\alpha)\Psi^\dagger(\boldsymbol{r}_\beta) \\
&\qquad\qquad \times|\boldsymbol{r}_1\cdots(\boldsymbol{r}_\alpha\text{抜け})\cdots(\boldsymbol{r}_\beta\text{抜け})\cdots\boldsymbol{r}_N\rangle
\end{aligned}$$

- p.20 式 (1.113) の 1 行目と 2 行目で生成演算子の添字に j が抜けています:

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}]\quad H &= \sum_\sigma \int d^3\boldsymbol{r} \left[\sum_{j,\boldsymbol{k}} \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) c^\dagger_{\boldsymbol{k}\sigma}\right] \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + v(\boldsymbol{r})\right) \left[\sum_{j',\boldsymbol{k}'} \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) c_{j'\boldsymbol{k}'\sigma}\right] \\
&= \sum_\sigma \sum_{j,\boldsymbol{k}} \sum_{j',\boldsymbol{k}'} \int d^3\boldsymbol{r}\, \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) c^\dagger_{\boldsymbol{k}\sigma} \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + v(\boldsymbol{r})\right) \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) c_{j'\boldsymbol{k}'\sigma} \\
[\text{正}]\quad H &= \sum_\sigma \int d^3\boldsymbol{r} \left[\sum_{j,\boldsymbol{k}} \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) c^\dagger_{j\boldsymbol{k}\sigma}\right] \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + v(\boldsymbol{r})\right) \left[\sum_{j',\boldsymbol{k}'} \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) c_{j'\boldsymbol{k}'\sigma}\right] \\
&= \sum_\sigma \sum_{j,\boldsymbol{k}} \sum_{j',\boldsymbol{k}'} \int d^3\boldsymbol{r}\, \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) c^\dagger_{j\boldsymbol{k}\sigma} \left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + v(\boldsymbol{r})\right) \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) c_{j'\boldsymbol{k}'\sigma}
\end{aligned}
$$

- p.21 式 (1.116):

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}] & \int d^3\boldsymbol{r}\, \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) \\
&= \frac{1}{N} \sum_{\boldsymbol{R}} \int_{\text{unit cell}} d^3\boldsymbol{x}\, e^{-i(\boldsymbol{k}-\boldsymbol{k}')\cdot\boldsymbol{R}} u^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{R}) u_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{R}) \\
&= \int_{\text{unit cell}} d^3\boldsymbol{x}\, u^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}) u_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{x}) = \delta_{j,j'}\delta_{\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}'} \\
[\text{正}] & \int d^3\boldsymbol{r}\, \psi^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{r}) \psi_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{r}) \\
&= \frac{1}{N} \sum_{\boldsymbol{R}} \int_{\text{unit cell}} d^3\boldsymbol{x}\, e^{-i(\boldsymbol{k}-\boldsymbol{k}')\cdot(\boldsymbol{R}+\boldsymbol{x})} u^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{R}) u_{j'\boldsymbol{k}'}(\boldsymbol{x}+\boldsymbol{R}) \\
&= \int_{\text{unit cell}} d^3\boldsymbol{x}\, u^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}) u_{j'\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}) \delta_{\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}'} = \delta_{j,j'}\delta_{\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}'} \\
\Leftrightarrow & \int_{\text{unit cell}} d^3\boldsymbol{x}\, u^*_{j\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}) u_{j'\boldsymbol{k}}(\boldsymbol{x}) = \delta_{j,j'}
\end{aligned}
$$

- p.28 式 (2.17) の第二項の係数 1/2 が落ちています:

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}]\quad H &= \sum_\sigma \int d\boldsymbol{r}\ \Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2 - \frac{Z}{r}\right) \Psi_\sigma(\boldsymbol{r}) \\
&\quad + \sum_{\sigma,\sigma'} \int d\boldsymbol{r} \int d\boldsymbol{r}'\ \Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r}) \Psi^\dagger_{\sigma'}(\boldsymbol{r}') \frac{1}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|} \Psi_{\sigma'}(\boldsymbol{r}') \Psi_\sigma(\boldsymbol{r}) \\
[\text{正}]\quad H &= \sum_\sigma \int d\boldsymbol{r}\ \Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2 - \frac{Z}{r}\right) \Psi_\sigma(\boldsymbol{r}) \\
&\quad + \frac{1}{2} \sum_{\sigma,\sigma'} \int d\boldsymbol{r} \int d\boldsymbol{r}'\ \Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r}) \Psi^\dagger_{\sigma'}(\boldsymbol{r}') \frac{1}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|} \Psi_{\sigma'}(\boldsymbol{r}') \Psi_\sigma(\boldsymbol{r})
\end{aligned}
$$

- p.33 式 (2.30) で生成演算子とすべきところが消滅演算子になっています。

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}] &\qquad |S\rangle = c_{1\uparrow} c_{1\downarrow} |\text{vac}\rangle, \quad |T\rangle = c_{1\uparrow} c_{2\uparrow} |\text{vac}\rangle, \\
[\text{正}] &\qquad |S\rangle = c^\dagger_{1\uparrow} c^\dagger_{1\downarrow} |\text{vac}\rangle, \quad |T\rangle = c^\dagger_{1\uparrow} c^\dagger_{2\uparrow} |\text{vac}\rangle,
\end{aligned}
$$

- p.34 式 (2.34) の直前

  [誤] N 個の電子がエネルギーの低い原子軌道を占有したスレーター波動関数

  [正] N 個の電子がエネルギーの低い分子軌道を占有したスレーター波動関数

- p.35 脚注 24. [誤] $1u_g$ 分子軌道　　[正] $1\sigma_g$ 分子軌道
- p.41 式 (2.50):

$$[誤] \quad |\Psi\rangle = a\,|\Psi_1\rangle + b\,|\Psi_2\rangle \qquad\qquad [正] \quad |\Psi\rangle = a\,|\Psi_1\rangle - b\,|\Psi_2\rangle$$

[補足説明] a, b は $a^2 + b^2 = 1$ を満たす実数であり、$a > 0$ としても一般性は失いません。このとき上述の修正を行った上で、$b > 0$ としたときに $R \to \infty$ で非物理的な状態の重みが抑えられてエネルギーが下がります。式 (2.51) の以下の説明では $a > 0$, $b > 0$ を前提として話が進みますので、上述の b の符号についての修正が必要となります。

- p.42 式 (2.55) の上:　[誤] 2.09 Å $= 3.704 a_{\mathrm{B}}$,　[正] 2.09 Å $= 3.95 a_{\mathrm{B}}$.
- p.42 式 (2.55):

$$[誤] \quad -\frac{1}{3.704}\,\mathrm{Hartree} = -27.211\,\mathrm{eV} \times \frac{1}{3.704} = -7.35\,\mathrm{eV},$$
$$[正] \quad -\frac{1}{3.95}\,\mathrm{Hartree} = -27.211\,\mathrm{eV} \times \frac{1}{3.95} = -6.89\,\mathrm{eV},$$

- p.42 式 (2.55) の下:　[誤] 結合エネルギーは $(7.35 - 1.94)\,\mathrm{eV} = 5.41\,\mathrm{eV}$ と見積もられる．
  [正] 結合エネルギーは $(6.89 - 1.94)\,\mathrm{eV} = 4.95\,\mathrm{eV}$ と見積もられる．
- p.49 式 (3.26) 中の生成演算子の添字が間違っています:

$$[誤] \quad H_1 = \sum_{l\sigma}\sum_{l'} \int d\boldsymbol{r}\, \varphi_{1\mathrm{s},l}(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2 + v_{l'}(\boldsymbol{r})\right) \varphi_{1\mathrm{s},l}(\boldsymbol{r}) c^{\dagger}_{l'\sigma} c_{l'\sigma},$$
$$[正] \quad H_1 = \sum_{l\sigma}\sum_{l'} \int d\boldsymbol{r}\, \varphi_{1\mathrm{s},l}(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2 + v_{l'}(\boldsymbol{r})\right) \varphi_{1\mathrm{s},l'}(\boldsymbol{r}) c^{\dagger}_{l\sigma} c_{l'\sigma},$$

- p.49 式 (3.26):

$$[誤] \quad H_3 = \sum_{l\sigma}\sum_{l'\neq l}\sum_{j} \int d\boldsymbol{r}\, \varphi_{1\mathrm{s},l}(\boldsymbol{r}) v_j(\boldsymbol{r}) \varphi_{1\mathrm{s},l'}(\boldsymbol{r}) c^{\dagger}_{l\sigma} c_{l'\sigma}$$
$$[正] \quad H_3 = \sum_{l\sigma}\sum_{l'\neq l}\sum_{j\neq l'} \int d\boldsymbol{r}\, \varphi_{1\mathrm{s},l}(\boldsymbol{r}) v_j(\boldsymbol{r}) \varphi_{1\mathrm{s},l'}(\boldsymbol{r}) c^{\dagger}_{l\sigma} c_{l'\sigma}$$

- p.66 式 (4.2):

$$[誤] \quad H_{\mathrm{T}} = \sum_{\sigma} \int d^3\boldsymbol{r}\, \Psi^{\dagger}_{\sigma}(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2\right) \Psi^{\dagger}_{\sigma}(\boldsymbol{r}),$$
$$[正] \quad H_{\mathrm{T}} = \sum_{\sigma} \int d^3\boldsymbol{r}\, \Psi^{\dagger}_{\sigma}(\boldsymbol{r}) \left(-\frac{1}{2}\nabla^2\right) \Psi_{\sigma}(\boldsymbol{r}).$$

- p.68 式 (4.11):

$$[誤] \quad \frac{1}{V}\int d^3\boldsymbol{k}\, e^{i\boldsymbol{q}\cdot\boldsymbol{r}} = \begin{cases} 1, & (\boldsymbol{q} = \boldsymbol{0}), \\ 0, & (\boldsymbol{q} \neq \boldsymbol{0}), \end{cases}$$
$$[正] \quad \frac{1}{V}\int d^3\boldsymbol{r}\, e^{i\boldsymbol{q}\cdot\boldsymbol{r}} = \begin{cases} 1, & (\boldsymbol{q} = \boldsymbol{0}), \\ 0, & (\boldsymbol{q} \neq \boldsymbol{0}), \end{cases}$$

- p.70 式 (4.19):

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}]\quad H_{\mathrm{C}} &= \frac{1}{2}\int d^3\boldsymbol{r}d^3\boldsymbol{r}'\,\Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r})\Psi^\dagger_{\sigma'}(\boldsymbol{r}')\frac{1}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|}\Psi_{\sigma'}(\boldsymbol{r}')\Psi_\sigma(\boldsymbol{r}) \\
&= \frac{1}{2V^3}\sum_{\boldsymbol{k}_1,\boldsymbol{k}_2,\boldsymbol{k}_3,\boldsymbol{k}_4,\boldsymbol{q}} v_{\boldsymbol{q}} c^\dagger_{\boldsymbol{k}_1\sigma}c^\dagger_{\boldsymbol{k}_2\sigma'}c_{\boldsymbol{k}_3\sigma'}c_{\boldsymbol{k}_4\sigma}\int d^3\boldsymbol{r}\,e^{i(\boldsymbol{k}_4-\boldsymbol{k}_1+\boldsymbol{q})\cdot\boldsymbol{r}} \\
&\qquad\times\int d^3\boldsymbol{r}'\,e^{i(\boldsymbol{k}_3-\boldsymbol{k}_2-\boldsymbol{q})\cdot\boldsymbol{r}'}, \\
[\text{正}]\quad H_{\mathrm{C}} &= \frac{1}{2}\sum_{\sigma,\sigma'}\int d^3\boldsymbol{r}d^3\boldsymbol{r}'\,\Psi^\dagger_\sigma(\boldsymbol{r})\Psi^\dagger_{\sigma'}(\boldsymbol{r}')\frac{1}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|}\Psi_{\sigma'}(\boldsymbol{r}')\Psi_\sigma(\boldsymbol{r}) \\
&= \frac{1}{2V^3}\sum_{\sigma,\sigma'}\sum_{\boldsymbol{k}_1,\boldsymbol{k}_2,\boldsymbol{k}_3,\boldsymbol{k}_4,\boldsymbol{q}} v_{\boldsymbol{q}} c^\dagger_{\boldsymbol{k}_1\sigma}c^\dagger_{\boldsymbol{k}_2\sigma'}c_{\boldsymbol{k}_3\sigma'}c_{\boldsymbol{k}_4\sigma}\int d^3\boldsymbol{r}\,e^{i(\boldsymbol{k}_4-\boldsymbol{k}_1+\boldsymbol{q})\cdot\boldsymbol{r}} \\
&\qquad\times\int d^3\boldsymbol{r}'\,e^{i(\boldsymbol{k}_3-\boldsymbol{k}_2-\boldsymbol{q})\cdot\boldsymbol{r}'},
\end{aligned}
$$

- p.70 式 (4.20):

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}]\quad H_{\mathrm{C}} &= \frac{1}{2V}\sum_{\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}',\boldsymbol{q}} v_{\boldsymbol{q}} c^\dagger_{\boldsymbol{k}+\boldsymbol{q}\sigma}c^\dagger_{\boldsymbol{k}'-\boldsymbol{q}\sigma'}c_{\boldsymbol{k}'\sigma'}c_{\boldsymbol{k}\sigma}, \\
[\text{正}]\quad H_{\mathrm{C}} &= \frac{1}{2V}\sum_{\sigma,\sigma'}\sum_{\boldsymbol{k},\boldsymbol{k}',\boldsymbol{q}} v_{\boldsymbol{q}} c^\dagger_{\boldsymbol{k}+\boldsymbol{q}\sigma}c^\dagger_{\boldsymbol{k}'-\boldsymbol{q}\sigma'}c_{\boldsymbol{k}'\sigma'}c_{\boldsymbol{k}\sigma},
\end{aligned}
$$

- p.138 式 (7.29) の第 2 式: [誤] $y = v_{\boldsymbol{k}} = \sqrt{\dfrac{E_{\boldsymbol{k}}-\xi_{\boldsymbol{k}}}{E_{\boldsymbol{k}}}}$, [正] $y = -v_{\boldsymbol{k}} = -\sqrt{\dfrac{E_{\boldsymbol{k}}-\xi_{\boldsymbol{k}}}{E_{\boldsymbol{k}}}}$.
- p.138 脚注 22: [誤] $x = -v_{\boldsymbol{k}} = -\sqrt{\dfrac{E_{\boldsymbol{k}}-\xi_{\boldsymbol{k}}}{E_{\boldsymbol{k}}}}$, [正] $x = +v_{\boldsymbol{k}} = +\sqrt{\dfrac{E_{\boldsymbol{k}}-\xi_{\boldsymbol{k}}}{E_{\boldsymbol{k}}}}$.
- p.178 式 (8.17):

$$
\begin{aligned}
[\text{誤}]\quad E(z) &= \mathrm{Re}\,[E_0e^{i\omega N(\omega)z/c}] = \mathrm{Re}\,[E_0e^{i\omega z/\bar{c}-\alpha z}], \\
[\text{正}]\quad E(z) &= \mathrm{Re}\,[E_0e^{i\omega N(\omega)z/c}] = \mathrm{Re}\,[E_0e^{i\omega z/\bar{c}-\alpha z/2}].
\end{aligned}
$$

- p.178 式 (8.19): [誤] $\alpha = \dfrac{\omega\kappa(\omega)}{c}$, [正] $\alpha = \dfrac{2\omega\kappa(\omega)}{c}$. [補足説明] 通常は電場ではなく、電場の持つエネルギー ($\propto \boldsymbol{E}^2$) の減衰率によって吸収係数を決めるため、$\boldsymbol{E}^2$ が $e^{-\alpha z}$ に比例するとして吸収係数 α を定義します。そのため上述のように定義に因子 2 がつきます。
- 8.3 節中で ARPES の日本語訳が不適切でした。

  [誤] 角度依存光電子分光 → [正] 角度分解光電子分光

3 補足説明

- 式 (1.66) 直前で「式 (1.32) を用いて」と書きましたが、式 (1.29) を用いたほうがより直接的でわかりやすかったです。すいません。
- 図 8.28 は文献 [80] の表から作成しており、それに従ってユウロピウム (Eu) が高圧下で 2.7 K の超伝導を示すと記載しましたが、元となる論文 (M. Debessai, et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 197002 (2009)) は 2021 年に撤回されています。