

- Midterm exam. -

- 絕緣體比熱主要來自 phonons，它在低溫時和溫度 T^3 成正比，這違背古典物理預測的常數（Dulong-Petite 定律）。歷史發展上，Debye 和 Einstein 嘗試提出過不同的解釋，兩者的差異為何？
- 串聯彈簧震動的 dispersion relation, $\omega = 2\sqrt{\frac{K}{M}} \sin \frac{ka}{2}$ ，是怎麼推導的？明明晶格係數 $a \approx 5\text{\AA}$ 遠小於材料尺寸，串聯彈簧滿足的 dispersion 為何就是和氣體的不同。類似情況也發生在描述生物多樣性的「剪刀、石頭、布」模型，請回憶在後者有學到什麼有趣的物理？
- 我們花了幾乎兩堂課，介紹如何 exact（而不是用微擾法）處理當串聯彈簧出現雜質時，對原本 eigenfunctions 和 eigenvalues 的影響，理由是什麼？在這些討論中，你還學到了什麼？
- Boltzmann 分佈, $P(\varepsilon) \propto \sqrt{\varepsilon} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)$ ，是怎麼導出來的？
- 古典物理在解釋“金屬自由電子貢獻的熱導係數和電導係數的比例和材料無關，且和溫度成正比”時，犯了那兩個錯誤，導致它也可以圓滿預測。
- 如何知道金屬比熱 $C_V \equiv dU/dT$ 在 $T \ll E_F$ ，恆正比於溫度和費米面的態密度？
- 請大致畫出 fermion、boson 和古典氣體三者的化學能 μ ，如何隨溫度改變。三維自由電子氣的 μ 在低溫時，如何隨溫度改變？
- 請簡述兔子和烏龜電子的來源和本質上的差異？及下表磁性的物理來源。

種類	Paramagnetism	Diamagnetism
兔子電子	Pauli	Landau
烏龜電子	Van Vleck	Larmor

請敘述 χ_{Pauli} 和 χ_{Landau} 隨溫度 T 變化的大致走向。