

学籍番号 _____ 氏名 模範解答

問 1 等分配則と熱容量 (完答 10 点)

式の誘導 単振動する原子 1 個のエネルギー E は 1 自由度当たり,

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{k}{2}x^2$$

(p : 運動量, x : 変位, m : 質量, k : 力の定数) なので, 二乗の項が 2 個ある. したがって 3 方向(三次元)では, 計 6 個となる. エネルギーの等分配則によれば, 二乗の項 1 つ当たりの平均のエネルギーは, $\frac{1}{2}k_B T$ となる. したがって, 1 mol 当たりの内部エネルギー U は,

$$U = 6 \times \frac{1}{2} k_B T \times N_A = 3RT$$

よって, 定積モル熱容量 C_V は次の通り.

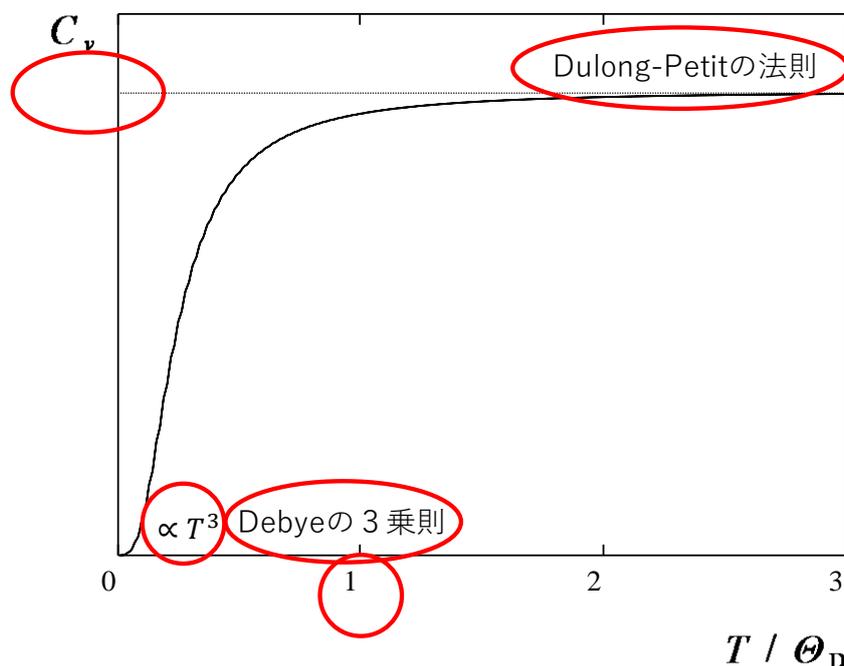
$$C_V = \frac{dU}{dT} = 3R$$

答え 3R

問 2 Einstein 模型 (各 2 点, 計 8 点)

ア	単振動	イ	連成振動
ウ	周期的境界条件	エ	phonon

問 3 Debye 模型の熱容量 (計 12 点)

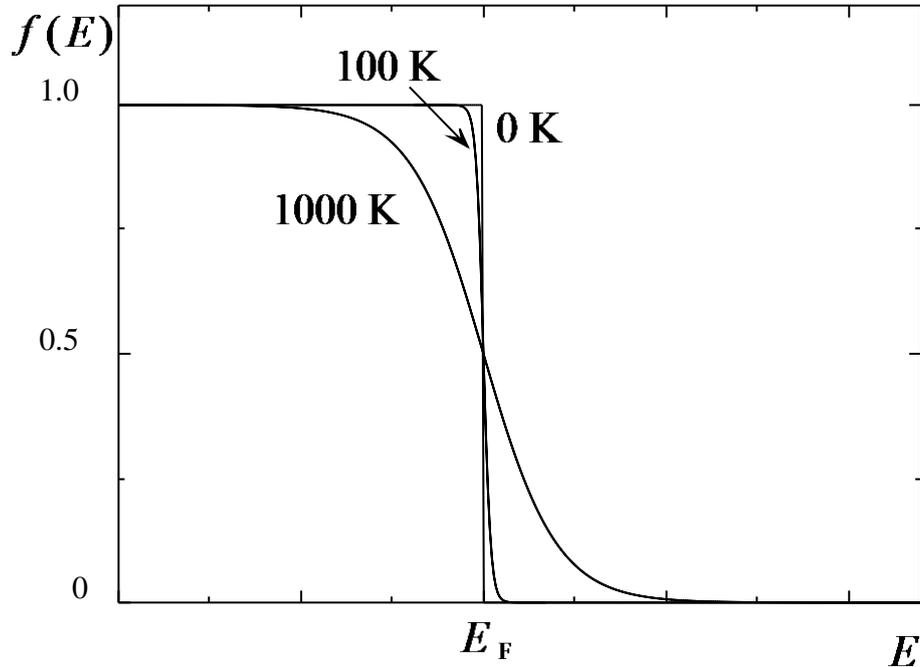


問 4 Fermi 分布関数 (各々完答 4 点, 計 8 点)

(a)

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right) + 1}$$

(b)



問 5 Drude の式 (完答 10 点)

定常状態では, $\frac{d\langle \mathbf{v} \rangle}{dt} = 0$

したがって, $\frac{\langle \mathbf{v} \rangle}{\tau} = -\frac{e\mathbf{E}}{m}$

電流密度 $\mathbf{j} = (-e)n\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{ne^2\tau}{m}\mathbf{E}$ (ただし, n : 自由電子の密度)

Ohm の法則 $\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}$ との比較により,

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

問 6 磁化曲線 (完答 8 点)

A	ウ	B	カ	C	オ	D	オ
---	---	---	---	---	---	---	---

問7 誘電体と相転移 (各2点, 計8点)

a	自発分極	b	強磁性体
c	秩序-無秩序	d	変位

問8 ダイヤモンドと銀 (各4点, 計16点)

a	<p>ダイヤモンドの<u>価電子帯は電子で満たされているが, 伝導帯は空</u>である. (価電子帯の最高エネルギーと伝導帯の最低エネルギーの差である)<u>バンドギャップが大きい</u>ので, 室温において, 電子は価電子帯から伝導帯のほとんど熱励起されない. このため, ダイヤモンドは絶縁体となる.</p> <p>一方, 銀は<u>バンド(価電子帯)の途中まで電子で満たされており, Fermi 面を持つ</u>. したがって, 弱い電場でも電子分布に偏りが生じ, 電流が流れる. すなわち, 良導体となる.</p>
b	<p>銀には<u>自由電子が存在する</u>. このため <u>Pauli(パウリ)常磁性</u>が観測される. これは, <u>アップスピンとダウンスピンを持つ自由電子の密度が, 磁場による Zeeman(ゼーマン)分裂によって不均等になる</u>ことで生じる. 帯磁率は<u>温度に対して一定</u>である.</p>

c	<p>銀には<u>自由電子が存在する</u>. 可視光やそれ以下の周波数の電磁波に対して, これらの自由電子は<u>集団的な振動(プラズマ振動)を起こして, 電磁波を全反射</u>する.</p> <p>一方, ダイヤモンドは自由電子を持たず, バンドギャップも大きい. このため可視光の反射や吸収を起こさず, 透過させる.</p>
d	<p>共通点 <u>格子の熱容量</u>が存在する. Debye モデルによる理論計算とよく合い, <u>Debye 温度より十分低温では T^3 に比例</u>する. <u>高温では Dulong-Petit の法則</u>に近づき, <u>一定</u>となる.</p> <p>相違点 銀には自由電子があるので, その熱容量が存在する. <u>電子熱容量</u>は高温では格子熱容量より小さいので観測されないが, 格子熱容量が低温で急激に小さくなる領域では, <u>T に比例</u>した温度依存性を与える.</p>

問9 磁性など (各2点, 計20点)

ア	自発磁化	イ	強磁性
ウ	反強磁性	エ	常磁性
オ	反磁性	カ	超伝導
キ	Meissner	ク	完全反磁性
ケ	Cooper	コ	BCS

以上