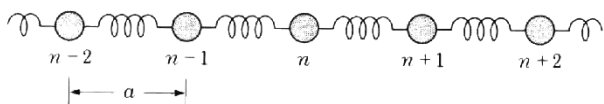


次の問 1-9 に対して解答用紙に答えなさい。(100 点満点)

問 1 単位胞に 1 個の原子を持つ三次元結晶の定積モル熱容量 C_V を、古典力学とエネルギーの等分配則を用いて計算しなさい。(完答 10 点)

問 2 次の文章中の空欄に当てはまる専門用語を答えなさい。ア～ウは全て漢字, エは英語で答えること。(各 2 点, 計 8 点)

結晶の熱容量を説明する Einstein 模型では、原子は ア をしていると仮定した。しかし、実際の結晶中では原子は隣接する原子と結合しているの、1 次元結晶であれば、質量 M の質点を長さ a で力の定数 $f/2$ のバネで連結し合った図のような模型の方が、現実により近いと考えられる。



このときの振動を イ という。この模型の n 番目の原子について Newton の運動方程式を解くと、角振動数 ω が波数 q の関数として次式のように得られる。

$$\omega = \sqrt{\frac{2f}{M} \left| \sin \frac{qa}{2} \right|}$$

ω は q の周期関数である。さらに、1 次元結晶がある有限な長さ L を持ち、両端の原子が同じ運動をするという ウ を適用すると、 q は $q = 2\pi l / L$ ($l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) のように離散化される。この離散化(量子化)された格子振動を エ という。

問 3 Debye 模型に基づく結晶の定積熱容量 C_V の温度依存性の概略を示せ。その特徴を表す用語や数式、縦軸と横軸の典型的な値などを適宜補うこと。ただし、単位胞に原子は 1 個だけ含まれるとし、 Θ_D は Debye 温度である。(計 12 点)

問 4 次の(a), (b)の問いに答えよ。(各々完答 4 点, 計 8 点)

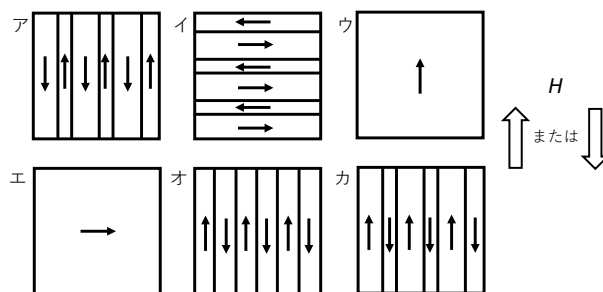
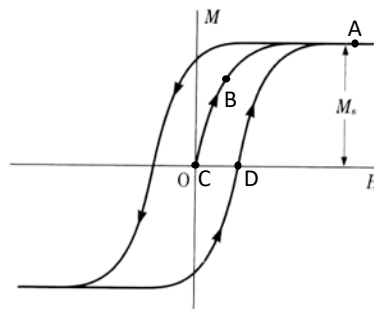
(a) Fermi 分布関数 $f(E)$ の式を答えよ。記号の意味も書くこと。

(b) Fermi 分布関数 $f(E)$ の概略を図示せよ。ただし、 $E_F/k_B = 10^4$ K とし、0 K, 100 K, 1000 K について重ねて描くこと。

問 5 電場 E 中を平均速度 $\langle v \rangle$, 散乱時間 τ で運動する電子に対する次の Newton の運動方程式と Ohm の法則 $j = \sigma E$ より、電気伝導度 σ の Drude の式を誘導せよ。ただし、 j は電流密度、 m は電子質量、 e は電荷素量である。新たに使用する記号があれば意味を定義すること。(完答 10 点)

$$\frac{d\langle v \rangle}{dt} = -\frac{eE}{m} - \frac{\langle v \rangle}{\tau}$$

問 6 図 1 に強磁性体の磁化曲線を示す。点 A-D に相当する磁区構造の模式図として、最も適切なものを図 2 のア～カから選んで答えよ。ただし、大小の矢印は各磁区の磁化の向きを表し、磁場は上下の向きで変化させているとする。(完答 8 点)



問 7 以下の文章中の空欄に入る最も適切な専門用語を答えよ。漢字で書くべき箇所は 漢字で解答 すると。(各 2 点, 計 8 点)

誘電体の中で、電場 E を印加しなくても a P_s が生じ、かつその向きが十分強い E によって変化するものを b という。 P_s の起源には 2 種類ある。第一は、電気双極子の向きが相転移温度以下で揃うタイプで、これを c 型という。第二は、イオン結晶中でイオンの位置が相対的に変化することで P_s を生じるタイプで、これを d 型という。

問8 ダイヤモンドと銀の結晶の物性について、次の(a)~(d)の問いに簡潔に答えよ。(各4点, 計16点)

- (a) ダイヤモンドが絶縁体で、銀が良導体(金属)である理由を、バンド理論に基づいて説明せよ。
- (b) 銀が示し、ダイヤモンドが示さない磁性がある。その名前、起源、帯磁率の温度依存性について述べよ。
- (c) ダイヤモンドは可視光に対して透明なのに対して、銀が全反射を起こす理由を原理と共に記せ。
- (d) ダイヤモンドと銀の定積熱容量の共通点と相違点について、温度の関数として比較せよ。

問9 次の文章のア~コに当てはまる最も適切な語句を枠の中より1回ずつ選んで答えなさい。(各2点, 計20点)

常温では物質の磁性は電子が担う。固体中の原子が磁気モーメントを持つときに、外部から磁場を印加しなくても各磁気モーメントが同じ方向に揃っていると、その物質は磁石の性質を示す。この ア を持った状態を イ という。 イ と似ているが、隣同士の原子の磁気モーメントが逆向きに揃う場合がある。この状態を ウ という。 イ や ウ の固体を高温にすると、ある温度で磁気モーメントがランダムな

状態に相転移する。この状態が エ で、このとき物質は ア を持たない。

また、閉殻原子や自由電子の軌道運動が原因で、固体が磁場に反発する性質を持つ場合もある。これを オ という。金属の電気抵抗がある温度以下でゼロになる現象を カ というが、その状態では、磁場が物質の内部に全く侵入できない キ 効果という現象が起きる。磁性の見地からはこれは ク と呼び、 カ の証拠と考えられている。

カ の状態の金属では、自由電子2個が ケ 対を作って運動している。電子は負電荷を持つので、通常は反発し合うが、格子振動を媒介することで電子間に引力が生じる。このモデルによって カ の諸現象を説明したのが コ 理論である。

常磁性, 反磁性, 完全反磁性, 強結合, 強磁性, 反強磁性, 光電, 常伝導, 超伝導, 超流動, 超臨界, 自発磁化, 同位体, 不対電子, ラジカル, 三重項, 相対性, 配位子場, CBS, SBC, BCS, Bohr, Bose, Bragg, Brillouin, Cooper, Copper, Fermi, Meissner, Miller

以上