2025(令和 7)年度
室蘭工業大学大学院工学研究科
博士前期課程入学試験(一般入試 第 1 次募集)

学力試験問題

生産システム工学系専攻 物理物質科学コース
情報電子工学系専攻 共創情報学コースG系

専門科目

第 1 日(力学，熱力学，電磁気学)

注 意 事 項

1. 監督員から試験開始の合図があるまで，この冊子を開いてはいけません.
2. 問題冊子は，この表紙を含め，合計 8 枚あります．試験開始後，問題用紙の不足や印刷の不良に気づいた場合は，直ちに監督員に申し出てください．問題用紙は，解答用紙も兼ねているので，試験後すべて提出してください.
3. 次の 3 科目に解答してください(3 科目必須).

   力学　　2 枚
   熱力学　3 枚
   電磁気学　2 枚

4. 問題用紙は解答用紙も兼ねています．問題用紙に受験番号を必ず記入してください．氏名を記入してはいけません.
5. 草案用紙は 1 枚です．草案用紙は持ち帰ってください.

試験科目名	力学	受 験 番 号	

[1], [2]の問題すべてに答えよ.

[1] 原点 O を中心とする半径 $r = r_0$ の円周上(xy 平面上)を, 質量 m の質点が速さ v で等速円運動している. 原点 O から位置ベクトル $\boldsymbol{r}$ でこの質点が

$$\boldsymbol{F} = -\frac{k}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}}{r} \quad (k > 0 \text{ の定数})$$

の引力を受けている. 以下の設問に答えよ. [50 点]

(1) この力 $\boldsymbol{F}$ は保存力であるので, ポテンシャル U が定義される. 原点 O からの距離 r での $\boldsymbol{F}$ のポテンシャル $U(r)$ を k と r で表しなさい. ただし, $r \to \infty$ でのポテンシャルを $U(\infty) = 0$ とする. 必要であれば, $U(r') - U(\infty) = -\int_{\infty}^{r'} \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$ を用いなさい.

(2) この系の力学的エネルギーを求め, 力学的エネルギーが保存することを示しなさい.

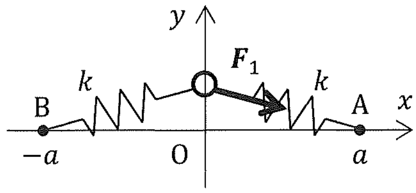
(3) この質点の軌道面に垂直方向に z 軸をとる. 質点の角運動量を求め, z 成分以外は 0 であることを示しなさい.

(4) この系の角運動量が保存することを示しなさい.

試験科目名	力学	受 験 番 号	

[1], [2]の問題すべてに答えよ.

[2] 摩擦のない水平面上にxy座標を取り, 原点 O に質量mの質点を置く. 図のように自然長L, バネ定数kのバネを 2 つこの質点に取りつけ, バネのもう一端をそれぞれ点 A $(+a, 0)$, 点 B $(-a, 0)$に固定する(aは$a > L$の定数). 質点を$+y$方向に少しずらし$t = 0$で静かに放すと, この質点はy軸に沿って単振動を行った. 図の$\boldsymbol{F}_1$は質点が位置$(0, y)$にあるときに質点が右側のバネから受ける力を示す. 以下の設問に答えよ. [50 点]



(1) 質点が位置$(0, y)$にあるときの, 右側のバネの長さを求めなさい.

(2) $\boldsymbol{F}_1$の大きさ$F_1 \equiv |\boldsymbol{F}_1|$を求めなさい.

(3) $|y| \ll a$の場合, yの 1 次までで$F_1 = k(a - L)$と近似できることを示しなさい.

(4) $|y| \ll a$の場合, yの 1 次までで$\boldsymbol{F}_1 = k\left(a - L, -\dfrac{a - L}{a} y\right)$と近似できることを示しなさい.

(5) $|y| \ll a$の近似のもとで, この質点のy軸方向の運動方程式を答えなさい.

(6) 質点の角振動数ωを求めなさい.

試験科目名	熱力学	受験番号	

[1]～[3]のうち２題を選んで答えよ．また，下の表で，選択した問題番号の空欄２箇所に○印を記入せよ．
○印のある問題の解答を採点対象とする．なお，３つとも○がある場合は全ての問題を０点とする．

[1]	[2]	[3]

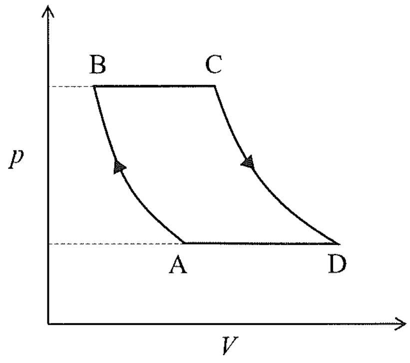


図 1

[1]　図 1 に示した理想気体の A→B→C→D の熱機関について考える．各状態 X (X = A, B, C, D)の圧力，体積，温度をそれぞれ p_X, V_X, T_X で表すことにする．$p_A = p_D$，$p_B = p_C$ である．この気体の定圧熱容量を C_p，定積熱容量を C_V とし，$\gamma = C_p / C_V$ とすると，過程 A→B と C→D では pV^{γ} ＝一定である．以下の問いに答えよ．［50 点］

(1)　過程 A→B と C→D の呼称を答えよ．

(2)　過程 B→C と過程 D→A のそれぞれで，この気体に加えられる熱量 $d'Q_1$ と熱量 $d'Q_2$ を答えよ．

(3)　$\dfrac{T_D}{T_C} = \left(\dfrac{p_D}{p_C}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ であることを参考に，$\dfrac{T_A}{T_B}$ を p_A と p_B を含む式で示せ．式の導出過程を示すこと．

(4)　T_A, T_B, T_C, T_D の関係を式で示せ．

(5)　(2)から(4)までの結果を用いて，この熱機関の効率 η を p_A と p_B を含む式で示せ．

試験科目名	熱力学	受験番号	

[2] 以下の問いに答えよ．T, p, V をそれぞれ温度，圧力，体積とし，内部エネルギー，エンタルピー，エントロピー，ギブスエネルギーをそれぞれ U, H, S, G とする．気体定数 R には 8.31 $\mathrm{J{\cdot}K^{-1}{\cdot}mol^{-1}}$ を用いよ．必要に応じ，以下の自然対数の値を用いよ．　　[50 点]

$$\ln(2) = 0.69 \qquad \ln(3) = 1.10$$

(1) 2 モルの理想気体が 350 K 一定で 250 $\mathrm{cm^3}$ から 750 $\mathrm{cm^3}$ へ可逆的に膨張する際のエントロピー変化量ΔS を求めよ．なお，圧力一定で V_i から V_f へ体積膨張した系になされた仕事 w は $w = -\int_{V_\mathrm{i}}^{V_\mathrm{f}} p\,\mathrm{d}V$ である．

(2) 内容積が変わらない容器に 300 K で圧力 125 kPa になるように理想気体を充填した．容器ごと温度を 270 K へ変えたときの，容器内の圧力を答えよ．

(3) 理想気体の等温圧縮率 $\kappa_T = -\dfrac{1}{V}\left(\dfrac{\partial V}{\partial p}\right)_T$ を，可能な限り単純な式で示せ．

(4) $\left(\dfrac{\partial G}{\partial p}\right)_T$ と $\left(\dfrac{\partial G}{\partial T}\right)_p$ を p, V, T, S, H から必要な変数を用いた式で示せ．$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - p\mathrm{d}V$ を用いよ．

(5) ある液体の体積の温度変化は(A)式で示される．

$$V(T) = V_{300}\left(0.800 + 4.00\times10^{-4}\,T + 1.50\times10^{-6}\,T^2\right) \qquad \text{(A)}$$

ここで V_{300} は 300 K のときの体積であり，$V(T)$の算出は T に絶対温度の数値のみを代入して行う．この液体の 320 K における体膨張率 β を求めよ．

試験科目名	熱力学	受験番号	

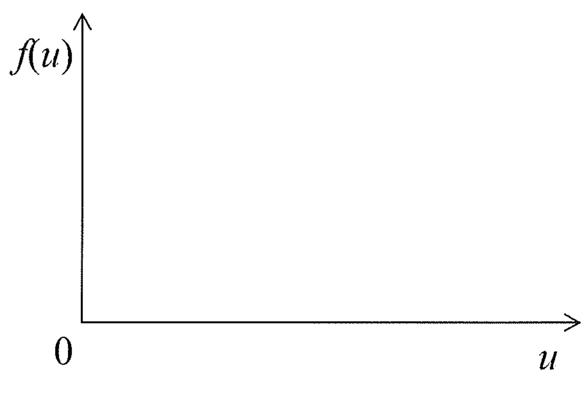
[3] 同一分子からなる気体が温度 T であるときの、気体分子の速度の大きさ u の分布関数を $f(u)$とする。u が u から $u+\mathrm{d}u$ の間である確率 $f(u)\mathrm{d}u$ は(B)式で与えられ，ここで m は気体分子の質量，k はボルツマン定数である．以下の問いに答えよ．　［50 点］

$$f(u)\mathrm{d}u = 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} u^2 \exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right)\mathrm{d}u \qquad \text{(B)}$$

(1) (B)式の $f(u)$ が規格化されている（すべての u について足し合わせた $f(u)$が 1 になる）ことを示せ．
積分式 $\int_0^\infty x^2 e^{-ax^2}\mathrm{d}x = \frac{1}{4a}\left(\frac{\pi}{a}\right)^{\frac{1}{2}}$ を用いてよい．

(2) (B)式より，u のうちで最も多く見られる（最頻の）速度 u_m を求めよ．

(3) u_m と u の平均速度 $u_{av} = \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{\frac{1}{2}}$ の大小を比較せよ．また，$f(u)$の概略図を示し，u_{av} と u_m のおおよその位置を図中に描き込め．



試験科目名	電磁気学	受験番号	

[1]，[2] の問題すべてに答えよ。

[1] 真空の誘電率 (電気定数) を ε_0 として以下の問に答えよ。[50 点]

(1) 図 1-1 のように真空中で、一辺の長さが a の正方形 ABCD の中心を O とし、中心軸上に、$\angle\mathrm{OAP} = \angle\mathrm{OBP} = \angle\mathrm{OCP} = \angle\mathrm{ODP} = \dfrac{\pi}{4}$ となるように点 P をとる。四角錐の各頂点 A, B, C, D, P に電荷量 $Q(Q > 0)$ の点電荷をおく。

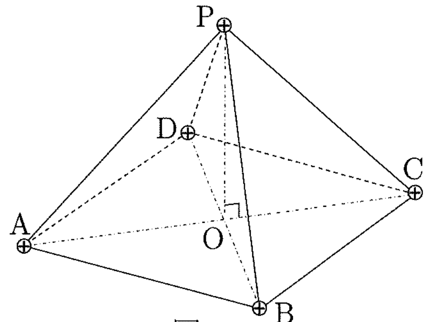


図1-1

(1-1) 頂点 A と頂点 P の点電荷間に働くクーロン力の大きさを答えよ。

(1-2) 各頂点 A, B, C, D の点電荷から頂点 P の点電荷に対して働くクーロン力の合力の大きさと方向を求めよ。

(2) 図 1-2 のように単位長さあたりの電荷量が λ で太さが無視できる無限に長い直線状電荷があるとき、この直線状電荷から垂直な距離 $|\vec{R}|$ における電場 $\vec{E}(\vec{R})$ をガウスの法則を用いて求めよ。

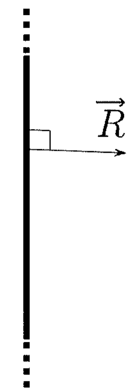


図1-2

(3) 静電容量が C で、はじめに電荷を持たないキャパシタを 10 個、図 1-3 のように接続して A-B 間に電位差 V を印加したとき、A 側左端の一つのキャパシタに電荷量 Q の電荷が蓄えられたとする。このときの A-B 間の電位差 V を C と Q を用いて表せ。

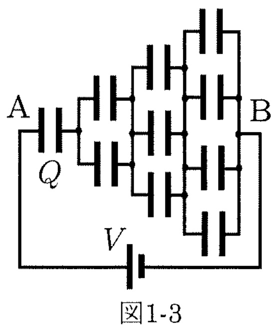


図1-3

試験科目名	電磁気学	受験番号	

[2] 真空の透磁率(磁気定数)を μ_0 として以下の問いに答えよ。[50 点]

(1) 図 2-1 のように真空中にある巻き数 N のドーナツ形のコイルに、大きさ I の電流を流した。ドーナツの中心 O から半径 R のドーナツ内の場所にできる磁束密度の大きさを答えよ。

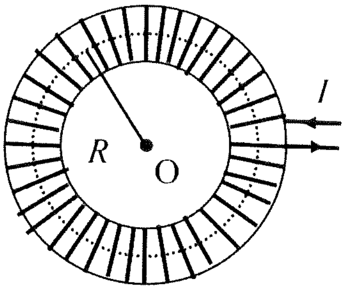


図 2-1

(2) 図 2-2 のように真空中にある無限に長い 2 本の直線電流 I_1 と I_2 とが角度 θ で交差しているとき、その交点を中心とする直線電流の長さ $2L$ の部分に作用する力のモーメントの大きさと向きを答えよ。ただし、2 本の直線電流は同一面内にあるとして考える。図中の矢印は電流 I_1 と I_2 の電流の向きを表し、電流 I_1 から電流 I_2 の方向を時計回りに角度 θ をとる。

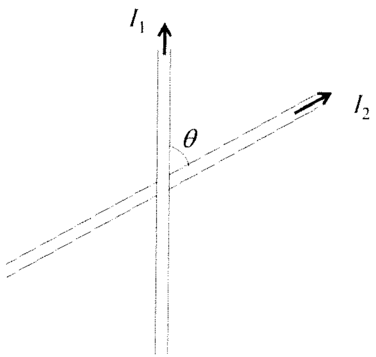


図 2-2

2025(令和 7)年度
室蘭工業大学大学院工学研究科
博士前期課程入学試験（一般入試 第 1 次募集）

学力試験問題

生産システム工学系専攻　物理物質科学コース
情報電子工学系専攻　共創情報学コースＧ系

専門科目

第 2 日（応用物理学）

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけません．
2. 問題冊子は，表紙（本頁），問題選択記入用紙，問題用紙の順に合計 13 枚あります．試験開始後，問題用紙の不足や印刷の不良に気づいた場合は，直ちに監督員に申し出てください．問題用紙は，解答用紙も兼ねているので，試験後すべて提出してください．
3. 応用物理学の【1】～【6】から 4 題を選択して解答してください．

【1】量子力学	2 枚	【4】物理系実験	3 枚
【2】統計力学	2 枚	【5】応用力学	1 枚
【3】固体物理	1 枚	【6】材料科学	2 枚

   問題選択記入用紙に受験番号を記入し，【1】～【6】の下の空欄の選択した 4 題のところに○を付けてください．
   5 つ以上の問題に○を付けた場合，応用物理学は 0 点になります．
4. 解答しなかった問題も含め，各問題用紙すべてに受験番号を必ず記入してください．氏名を記入してはいけません．
5. 試験終了後，問題選択記入用紙と問題用紙すべてを提出してください．
6. 草案用紙は 1 枚です．草案用紙は持ち帰ってください．

応用物理学　問題選択記入用紙

受験番号を下の枠に記入してください．

受験番号	

下の【1】～【6】から**4つの問題を選択し，解答**してください．
選択した4つの**問題のすぐ下に○**を付けてください．
白紙答案がある場合でも，4つの問題に○を付けてください．
なお，**5つ以上の問題に○を付けた場合**，応用物理学は0点になります．

選択しなかった問題用紙を含め，すべての問題用紙に受験番号を記入してください．
試験終了後，この用紙およびすべての問題用紙を提出してください．

解答問題選択欄

【1】 量子力学	【2】 統計力学	【3】 固体物理	【4】 物理系実験	【5】 応用力学	【6】 材料科学

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【1】量子力学			

（1 ページ/ 2 ページ）

量子力学的な粒子に関する設問に関して、空欄(ア)から(オ)に、適当な答・文字式を記入せよ。
なお、次の公式を用いてよい。[75 点]

$$I_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-ax^2)dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}}, \quad I_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \exp(-ax^2)dx = \frac{1}{2a}\sqrt{\frac{\pi}{a}} \qquad (a > 0)$$

ハミルトニアン$H(\boldsymbol{r})$で表される孤立系の量子力学的な粒子（粒子の位置ベクトル$\boldsymbol{r}$）の定常状態の波動関数（固有関数）$\phi_n(\boldsymbol{r})$ 及び固有エネルギー E_n は、次のシュレディンガー方程式：

$$H(\boldsymbol{r})\phi_n(\boldsymbol{r}) = E_n\phi_n(\boldsymbol{r}) \cdots (1)$$

に対して、適当な境界条件を課して解くことにより、得られる。ここで、n は量子数を表す。

さて、この粒子の固有エネルギーの最低値をE_1とすれば、任意の波動関数$\psi(\boldsymbol{r})$が固有関数の線形結合で表されることから、次式が成り立つことが容易に示される。

$$\langle E\rangle \equiv \frac{\langle\psi|H|\psi\rangle}{\langle\psi|\psi\rangle} \equiv \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(\boldsymbol{r})^* H(\boldsymbol{r})\psi(\boldsymbol{r})d\boldsymbol{r}}{\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(\boldsymbol{r})^* \psi(\boldsymbol{r})d\boldsymbol{r}} \geq E_1 \quad \cdots (2)$$

$\langle E\rangle = E_1$が成立するのは、$\psi(\boldsymbol{r})$が最低エネルギーE_1に対応する波動関数$\phi_1(\boldsymbol{r})$に比例するとき（$\psi(\boldsymbol{r}) \propto \phi_1(\boldsymbol{r})$）である（注意：$\psi(\boldsymbol{r})$は必ずしも規格化されている必要はない)。このことを用いて、以下の問いに答えよ。

$\hbar = h/2\pi$(h はプランク定数)、ばね定数 $k > 0$を用いて、質量 m の 1 次元調和振動子のハミルトニアン$H(x)$は、式(3)で与えられる。$kx^2/2$はポテンシャルエネルギーである。

$$H(x) = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}kx^2 \quad \cdots (3)$$

式(2)を利用し、波動関数を$\psi(x) = A\exp(-ax^2)$ （A、$a(>0)$：実数の定数）と仮定して、定数aを適切な値に選ぶことで、この量子力学的な振動子の最低エネルギー値と対応する波動関数を求める。

公式I_0、I_2を用いると(（ア） は m、k、a、π、$\hbar$、A を用いて答えよ)、

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x)^* H\psi(x)dx = \Big[_{(ア)} \qquad\qquad \Big] \cdots (4)$$

これから(（イ） は m、k、a、π、$\hbar$ を用いて答えよ)、

$$\langle E\rangle \equiv \frac{\langle\psi|E|\psi\rangle}{\langle\psi|\psi\rangle} = \Big[_{(イ)} \qquad\qquad \Big] \cdots (5)$$

さらに式(5)より以下を得る（以下(ウ)(エ)(オ)では文字 a を用いないこと)。

$$\langle E\rangle \geq \Big[_{(ウ)} \qquad\qquad \Big] \cdots (6)$$

$\langle E\rangle$が最小値を取る（式(6)で等号が成り立つ）のは、

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【1】量子力学			

（2 ページ/ 2 ページ）

$$a = \left[_{(エ)} \qquad\qquad\qquad\qquad \right] \cdots (7)$$

のときであり、$\langle E \rangle$の最小値を与える波動関数を規格化すると、次のようになる。

$$\psi(x) = \left[_{(オ)} \qquad\qquad\qquad\qquad \right] \cdots (8)$$

このようにして得られた波動関数は、調和振動子の正確な固有状態になっている。

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【2】統計力学			

以下の2準位系の問 (1) ～ (5) について全て答えよ。途中計算も書くこと。
独立な N 個の粒子からなる孤立した系があり、1粒子のエネルギー ϵ は、基底状態 $\epsilon = 0$ と励起状態 $\epsilon = \epsilon_1$ の2つしかないとする。以下では，T を絶対温度、k_B をボルツマン定数、$\beta = 1/k_B T$ とし、必要に応じて $X \gg 1$ のときに成立するスターリングの公式 $\log X! = X \log X - X$ を使ってよい（$\log$ は $\log_e$ を表す)。また必要な変数の定義や条件の設定は自身で行ってよい。[75点]

(1) 最初にこの系をミクロカノニカル分布で扱う。基底状態にある粒子数を N_0、励起状態にある粒子数を N_1 とすると、系の全エネルギー E は、$E = \epsilon_1 N_1$ となる。このときの状態数 $W(E)$ を求めよ。

(2) エントロピー $S(E)$ を求めよ。

(3) 次にこの系をカノニカル分布で扱う。系が熱浴と熱平衡にあるときの分配関数 $Z(T)$ を求めよ。

(4) 自由エネルギー $F(T)$ を求めよ。

(5) 定積比熱 C_V を求めよ。 また、C_V の温度依存性の概略図をかけ。

— 以下に問 (1) ～ (5) の解答をすること（2ページ目も使ってよい）—

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【2】統計力学			

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【3】固体物理			

[1]～[3]までの問題すべてに答えよ．［75 点］

[1] 以下の文章の空欄に最も適当な語句を記入するか，選択肢がある場合は最適なものを丸で囲め．［25 点］

(1) 横断面が円形の金属線の長さを変えずに直径を 2 分の 1 にしたとき，金属線両端間の電気抵抗の値は $\boxed{\quad}$ 倍になる．一般的な金属の場合，ヴィーデマン・フランツの法則が成り立ち，$\boxed{\quad}$ と導電率の比は $\boxed{\quad}$ に比例し，その比例定数は金属によらずにほぼ一定値となる．

(2) 金属中で，あるエネルギー準位の占有自由電子数(確率)は $\boxed{\quad}$ 分布関数で与えられる．1 価金属の場合，分布関数中に現れるフェルミエネルギーE_F(化学ポテンシャルμ)の値をk_BT(k_Bはボルツマン定数)で温度換算すると，その温度 T はおよそ $\boxed{10^2 \cdot 10^4 \cdot 10^6}$ K の桁になる．

[2] 以下の設問に答えよ．［25 点］

(1) 一次元単純格子結晶(格子間隔a)を伝搬する波は，長波長の波は一定の速度で伝わるが，波長が短くなるに従って速度が低下する．波長(注意：波数ではなく)がいくらになったときに伝搬できなく(速度：0に)なるか，aを用いて答えよ．

(2) 7つの結晶系の中で，立方晶系のみが必ず4本持つ回転軸は何回軸であるか答えよ．

(3) 斜(直)方晶系において，方向指数[001]に垂直な結晶面のミラー指数を1つ答えよ．

(1)

(2)

(3)

(4) 金(Au)は面心立方構造を持ち，原子量：197，密度：19.3 g cm^{-3}である．これらを200，20 g cm^{-3}と近似して，Auの格子定数aをおおよその値で見積もれ．ただし，計算を簡単にするためにアボガドロ定数を6.0×10^{23} mol^{-1}とし，必要があれば，$\sqrt[3]{25} = 2.9, \sqrt[3]{33} = 3.2, \sqrt[3]{50} = 3.7, \sqrt[3]{67} = 4.1, \sqrt[3]{75} = 4.2$ を用いよ．

[3] 以下の設問に答えよ．［25 点］

(1) ある立方格子の第一ブリルアン帯が接頭八面体になるとき，そのブラベー格子は何か答えよ．

(1)

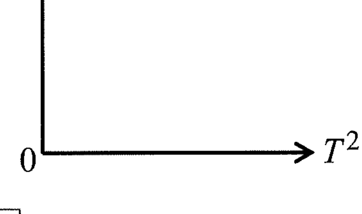
(2) ある単体元素からなる結晶について，第一ブリルアン帯が構成原子の最外核電子のフェルミ面を完全に内包しているとき，この結晶の属性は金属，半導体，絶縁体のうちのどれか答えよ．

(2)

(3) ともに格子比熱の温度特性がデバイの理論式に従う物質A(デバイ温度: 300 K)と物質B(デバイ温度: 400 K)のモル格子比熱を比較したときに，300 Kでの比熱が大きいのはどちらの物質か答えよ．ただし，どちらの物質も単体元素からなっているものとする．

(3)

(4) ある金属における極低温下の比熱Cが，デバイのT^3則に従う格子比熱の寄与AT^3と電子比熱の寄与γTの和で表されるとする．つまり，$C = AT^3 + \gamma T$ (A, γは正の定数)である．この関係が成り立つ極低温下での比熱の測定値Cを測定温度Tで割った値 C/TをT^2に対してプロットしたグラフを右に模式的に描け．そのときの (a) 縦軸の切片($T^2 = 0$への外挿値)の値は何になるか，また (b)Aの値はグラフの何から分かるか，それぞれ答えよ．さらに，(c) Aの値から計算で求められるこの金属の特性値は何か答えよ．



(a)

(b)

(c)

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【4】 物理系実験			

(1 ページ/3 ページ)

[1] ~ [5]の問題すべてに答えなさい。[75 点]

[1] 0 ~ 150 mm の長さの測定ができる一般的なキャリパーで物の長さを測定した。図 1 および図 2 は，その時にキャリパーが示した値である。図を読み取り，その値に単位をつけて解答しなさい。

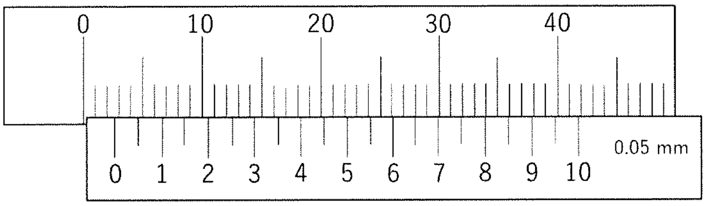


図 1

図 1 の解答

____

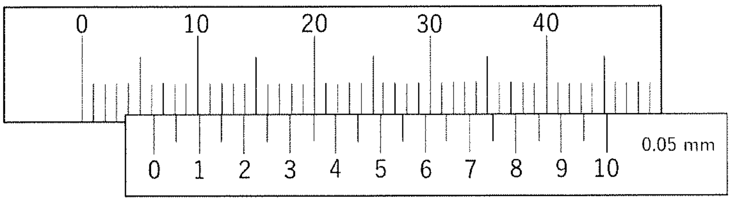


図 2

図 2 の解答

____

[2] 0 ~ 25 mm の長さの測定ができる一般的なマイクロメータ(最小目盛 0.01 mm)で物の長さを測定した。図 3 および図 4 は，その時にマイクロメータが示した値である。図を読み取り，その値に単位をつけて解答しなさい。ただし，0.001 mm の位の値は目分量でよい。

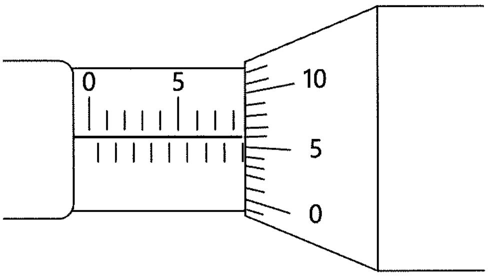


図 3

図 3 の解答

____

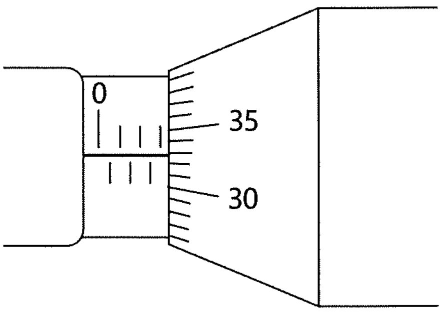


図 4

図 4 の解答

____

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【4】 物理系実験			

[3] 重心が球の中心にある一様な球錘を無視できるほど軽い糸でぶら下げた右図のような振り子を用いて重力加速度gを計測する。測定のために準備された装置は，メジャー(最小目盛 1 mm)，キャリパー(最小目盛 0.05 mm)，マイクロメータ(最小目盛 0.01 mm)，ストップウォッチ(最小目盛 1/100 秒)，電子天秤(最小目盛 0.1 g)であり，それぞれの使用方法は一般的な方法で使用する。ただし，これらすべてを利用するとは限らない。

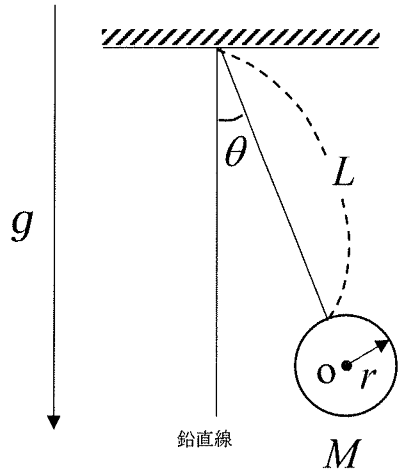


図 5

重力加速度gは，振り子の鉛直線からのふれ角θが十分に小さいとき，剛体の重力による回転運動の運動方程式から，空気抵抗や支点の抵抗を無視すると，

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\frac{I}{M(L+r)}$$

で得ることが出来る。

この振り子と上式を用いて重力加速度gを得るために最小限の測定すべき物理量とその測定に使用するのに最もふさわしい装置をすべて挙げなさい。式や図中にある文字や物理量を以下に示す。

T：振り子の周期，π：円周率，I：慣性モーメント，$I = I_G + M(L+r)^2$，I_G：球錘の慣性モーメント，$I_G = \frac{2}{5}Mr^2$ M：球錘の質量(300 g 程度)，r：球錘の半径(20 mm 程度)，L：支点から球錘表面までの距離(1 m 程度) θ：鉛直線と振り子の間の角度，O：球錘の中心

注 1：測定可能な物理量で解答すること。
(例えば球錘の半径は測定不可能)。

注 2：上記のgの式中や図中の文字で解答する場合，文字のみでなくそれが何であるのかを明記すること。
例) π：円周率

解答欄

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【4】 物理系実験			

[4] 厚さの無視できる凸レンズI、II、III がある。表 1 には，物体からこの凸レンズまでの距離 a と凸レンズから実像までの距離 b の測定値を記載している。凸レンズI、II、III それぞれの焦点距離 f を有効数字 2 桁で表の空欄内に答えなさい。

表 1

	a/cm	b /cm	焦点距離 f /cm
凸レンズ I	8.0	5.0	
凸レンズ II	9.0	6.0	
凸レンズ III	15	12	

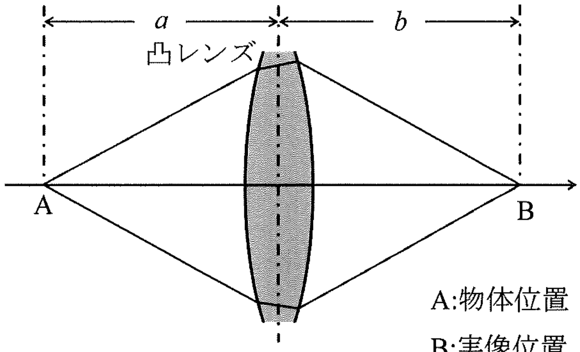


図 6

[5] 図 7 に示すような十分に大きな直方体で，電気伝導率が σ で一様な導体を考える．x 方向に電場 $\boldsymbol{E}$ を印加して電流 $\boldsymbol{I}$ を流し，z 方向に一様な磁束密度 $\boldsymbol{B}$ を印加する。以下の問に答えなさい。

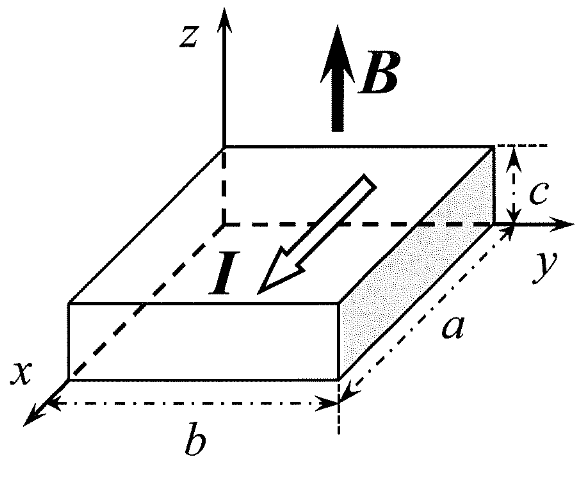


図 7

(1) 印加電場 $\boldsymbol{E}$ を $b, c, \sigma, \boldsymbol{I}$ を用いて答えなさい。

電場 $\boldsymbol{E}$	

(2) 導体中を移動する荷電粒子は，磁場から力 $\boldsymbol{F}$ を受けて移動方向が曲げられる。この力 $\boldsymbol{F}$ の名称を答えなさい。

力 $\boldsymbol{F}$ の名称	

(3) 磁束密度 $\boldsymbol{B}$ 中で電荷量 q の荷電粒子が速度 $\boldsymbol{v}$ で移動するとき，この力 $\boldsymbol{F}$ を $q, \boldsymbol{v}, \boldsymbol{B}$ を用いて答えなさい。

力 $\boldsymbol{F}$	

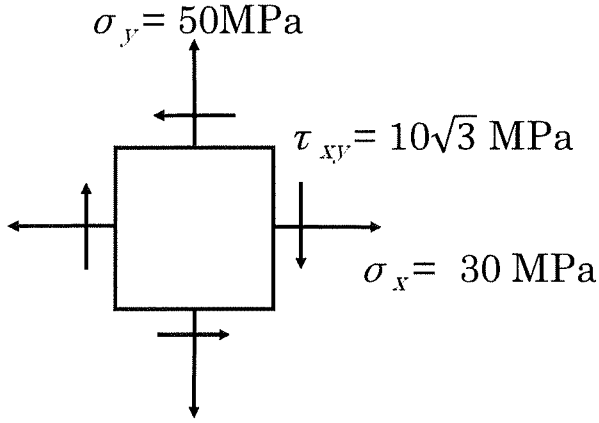
(4) この導体中で電流と磁束密度の両方に垂直な方向に起電力が生じる。この効果の名称を答えなさい。

効果の名称	

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【5】 応用力学			

図のような、ある物体のX-Y 二次元応力場について次の問に答えよ。ただし、せん断応力は時計回りを正とする。[75点]

(1)　モールの応力円を描け



(2)　主応力 σ_1、σ_2 および最大せん断応力 $\tau_{\max}$ を求めよ

(3)　X-Y 座標と主応力面のなす角度を求めよ

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【6】 材料科学			

（1ページ/2ページ）

図1は Ag-Sn 系状態図である。図中の **L** および**(Ag)**, **(α-Sn)**, **(β-Sn)**はそれぞれ液相および Ag と Sn の固溶体相、ξ, ε はそれぞれ異なる金属間化合物である。この図について以下の問題に答えよ。　[75 点]

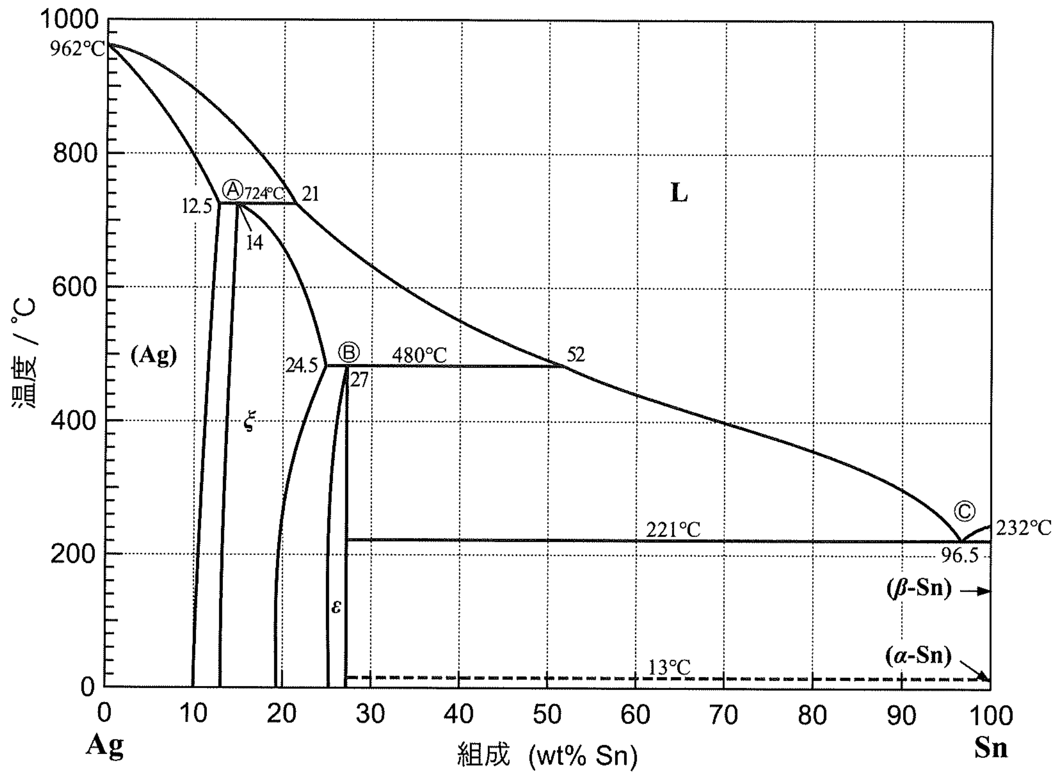


図１ Ag–Sn 二元系平衡状態図

(1) 状態図中Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ付近の冷却過程で起こる不変系反応の名称とそれぞれの反応式を答えなさい。（反応式の回答例：**(Al)** ＋L→ θ）

Ⓐの反応の名称	
Ⓑの反応の名称	
Ⓒの反応の名称	

Ⓐの反応式	
Ⓑの反応式	
Ⓒの反応式	

(2) スズ（Sn）は、約 13°Cでダイヤモンド構造の α-Sn から異なる結晶構造の体心正方構造の β-Sn に変化する。これに関連する以下の問いに答えなさい。

① このような同一の元素での結晶構造の変化の名称を答えなさい。

解答欄	

② α-Sn から β-Sn に変化するとき、電気抵抗率はどう変化するか？大きくなるか、小さくなるか、または変わらないかを答えなさい。

解答欄	

試験科目名	応用物理学	受験番号	
【6】 材料科学			

(3) Ag-30wt%Sn の溶体を液相からゆっくりと冷却した。等温線が示される 480℃よりやや低い温度で現れる相とその組成、および存在する割合を答えなさい(単位に注意せよ)。

解答欄	

(以下余白)

2025(令和 7)年度

室蘭工業大学　理工学部

編入学一般入試（第 1 次募集）

システム理化学科　物理物質システムコース

学力試験問題

専門科目（物理学）

解答例

試験科目名	物理学	解答例

[1]

(1) 力学的エネルギー保存の法則から、原点ではポテンシャルがゼロ、停止位置では運動エネルギーがゼロとなるので

$$\frac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + \frac{1}{2}kx^2$$

kは正の定数であるので、停止位置の座標xは

$$x = \sqrt{\frac{m}{k}}v$$

(2)

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

$$F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}$$

$$F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

より

$$F_x = -kx、F_y = -ky、F_z = -kz$$

(3) 原点から距離に比例する引力

[2]

(1)　空気圧を p とすると，

$$p = \frac{1200 \times 10}{4 \times 120 \times 10^{-4}} = 25 \times 10^4 \ \mathrm{Pa} = 250 \ \mathrm{kPa}$$

(2)　理想気体ではマイヤーの関係式が成り立つので，定積モル比熱 C_V は

$$C_V = C_p - R = 29 - 8.3 = 20.7 \ \mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$$

(3)　可逆熱機関であるから，$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ が成立する．この式から，高温熱源の温度 T_2 は，
$T_2 = \frac{T_1}{1-\eta} = \frac{300}{1-0.4} = \frac{300}{0.6} = 500 \ \mathrm{K}$

(4)　準静的過程であれば，系に Q の熱が流入したときのエントロピー変化は $\Delta S = \frac{Q}{T}$ で与えられるので，

$$\Delta S_2 = \frac{60}{10} = \frac{60}{300} \times 30 = 30 \,\Delta S_1$$

(5) 解答例：

・ある系にサイクルを行わせ，温度が一定のただ一つの熱源から熱をとって，それと等量の仕事を外部にさせることは不可能である．

・低温の物体から高温の物体に熱を移すだけで，それ以外には何の変化も残さないような過程は実現不可能である．

・第二種永久機関は実現不可能である．

[3]

(1) クーロン力の大きさ F は

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{a^2}\cdot\frac{1}{2}\cdot 2=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{a^2}$$

向きは正三角形の底辺に平行方向で右向きとなる。

(2)　5 個直列接続された 3μF のコンデンサの合成静電容量は $\frac{3}{5}$ μF で、
2 個直列接続された 7μF のコンデンサの合成静電容量は $\frac{7}{2}$ μF であるので、
AB 間の合成静電容量 C は $C=\frac{41}{10}$ μF = 4.1 μF となる。

(3) 並列接続された R と x の 2 個の合成抵抗は $\frac{xR}{x+R}$ であり、これに R を加えたものが x となるから
$\frac{xR}{x+R}+R=x$ であり、この x に関する 2 次方程式を解いて、

$x>0$ より $x=\frac{\sqrt{5}-1}{2}R$ となる。

(4) ガウスの法則 $\int_S \boldsymbol{E}(\boldsymbol{r})\cdot\boldsymbol{n}\,\mathrm{d}S=\frac{Q}{\varepsilon_0}$ において $r<a$ のとき $Q=0$ であるから電場 $E(r)$ は $E(r)=0$。

$r \geqq a$ のときは、$Q=4\pi a^2\sigma$ であるから、電場 $E(r)$ は $E(r)=\frac{\sigma a^2}{\varepsilon_0 r^2}$

2025(令和 7)年度

室蘭工業大学　理工学部

編入学一般入試　(第 1 次募集)

システム理化学科　物理物質システムコース

学力試験問題

専門科目　(物理学)

出題意図

専門科目（物理学）

問題番号	出題意図
[1]	力学の基礎知識である保存力の扱い方や保存力の記述方法などを問う。
[2]	熱力学の基礎知識である圧力や比熱の正しい理解，理想気体の性質，熱機関の性質，系のエントロピー変化，熱力学法則などについての知識を問う。
[3]	電磁気学の基礎知識を問う。 (1) 正負電荷によるクーロン力の合力についての知識を問う。 (2) 複数コンデンサの合成静電容量についての知識を問う。 (3) 抵抗を複数接続した場合の合成電気抵抗値についての知識を問う。 (4) 電荷が作る電場とガウスの法則についての知識を問う。

2025(令和 7)年度

室蘭工業大学大学院工学研究科

博士前期課程入学試験(一般入試 第 1 次募集)

生産システム工学系専攻 物理物質科学コース

情報電子工学系専攻 共創情報学コース G 系

学力試験問題

専門科目 (力学, 熱力学, 電磁気学)

解答例

試験科目名	力学	解答例

[1]

(1)

仕事の定義からポテンシャルは$\int_{\infty}^{r} F_r\,dr = U(\infty) - U(r)$ ，$U(\infty) = 0$ より，

$$U(r) = -\int_{\infty}^{r} F_s\,ds = \int_{\infty}^{r} \frac{k}{s^2}\,ds = k\left[-\frac{1}{s}\right]_{\infty}^{r} = -\frac{k}{r}$$

(2)

力学的エネルギー E は，$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{k}{r_0}$ ，E は全て定数なので一定となり保存される．（または，$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}E = 0$ より保存される．）

(3)

角運動量$\boldsymbol{l} = \boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}$は$\boldsymbol{r}$にも$\boldsymbol{v}$にも垂直．$xy$ 平面上の運動だから，$\boldsymbol{r}$も$\boldsymbol{v}$もxy 平面内．従って
$\boldsymbol{l} = \boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}$は$z$軸と平行であり$z$ 成分以外は 0.
等速円運動だから$\boldsymbol{r} \perp \boldsymbol{v}$. $\therefore |\boldsymbol{l}| = |\boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}| = |\boldsymbol{r}||m\boldsymbol{v}|\sin\frac{\pi}{2} = mr_0v$. $\therefore \boldsymbol{l} = m(0,0,mr_0v)$.

(4)

$\frac{d\boldsymbol{l}}{dt} = \frac{d}{dt}(\boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}) = m\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \times \boldsymbol{v} + m\boldsymbol{r} \times \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{r} \times \frac{dm\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F} = \boldsymbol{0}$ となり，保存される．
別解：m, r_0, vは全て時間に対し定数．$\therefore \boldsymbol{l} = m(0,0,mr_0v)$は定ベクトルであり保存される．

試験科目名	力学	解答例

[2] (1)

x軸，y軸，バネのなす直角三角形の斜辺が求めるバネの長さだから，三平方の定理より
$\sqrt{a^2+y^2}$.

(2)

$$F_1 = |\boldsymbol{F}_1| = \left(\text{バネ定数}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{自然長からの}\\ \text{長さの変化}\end{array}\right) = k\left(\sqrt{a^2+y^2} - L\right)$$

(3)

$|y| \ll a$の，yの１次まで近似で$\sqrt{a^2+y^2} = a\left[1+\left(\frac{y}{a}\right)^2\right]^{1/2} \approx a\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{y}{a}\right)^2\right] \approx a$
従って，$F_1 = k(a-L)$と近似される.

(4)

質点の位置を点 P 置くと$\boldsymbol{F}_1 = F_1\left(\frac{\overline{\mathrm{OA}}}{\overline{\mathrm{PA}}}, -\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{\overline{\mathrm{PA}}}\right) = F_1\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+y^2}}, -\frac{y}{\sqrt{a^2+y^2}}\right)$
$|y| \ll a$の場合，$\sqrt{a^2+y^2} = a$，$F_1 = k(a-L)$と近似されるので，

$$\boldsymbol{F}_1 = F_1\left(1, -\frac{y}{a}\right) = k\left(a-L, -\frac{a-L}{a}y\right)$$

(5)

質点が左側のバネから受ける力$\boldsymbol{F}_2$は対称性より$\boldsymbol{F}_2 = k\left(-(a-L), -\frac{a-L}{a}y\right)$.

質点に働く力の合力$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 = \left(0, -2k\frac{a-L}{a}y\right)$. 従って$y$軸方向の運動方程式は

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -2k\frac{a-L}{a}y$$

(6)

(5)の運動方程式は単振動の運動方程式なので，その角振動数ωは$\omega = \sqrt{\frac{2k}{m}\frac{a-L}{a}}$.

試験科目名	熱力学	解答例

[1]

(1) 断熱過程

(2) $d'Q_1 = C_p(T_C - T_B)$ $d'Q_2 = C_p(T_A - T_D)$

(3) $p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$ より $p_A^{\frac{1}{\gamma}} V_A = p_B^{\frac{1}{\gamma}} V_B$ である． $V_A = nRT_A / p_A$ と $V_B = nRT_B / p_B$ を代入すると，

$p_A^{\frac{1}{\gamma}} \dfrac{nRT_A}{p_A} = p_B^{\frac{1}{\gamma}} \dfrac{nRT_B}{p_B}$ より， $p_A^{\frac{1}{\gamma}-1} T_A = p_B^{\frac{1}{\gamma}-1} T_B$ これから， $\dfrac{T_A}{T_B} = \dfrac{p_B^{\frac{1}{\gamma}-1}}{p_A^{\frac{1}{\gamma}-1}} = \left(\dfrac{p_B}{p_A}\right)^{\frac{1}{\gamma}-1} = \left(\dfrac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

$$\frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad //$$

(4) (3)の結果より， $\dfrac{T_D}{T_C} = \left(\dfrac{p_D}{p_C}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\dfrac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \dfrac{T_A}{T_B}$

(5) B→C は定圧なので吸熱過程，D→A は発熱過程であるので， $T_B < T_C$，$T_A < T_D$ である．

また，(4)より， $\dfrac{T_D}{T_A} = \dfrac{T_C}{T_B}$ を用いると，

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{|d'Q_1| - |d'Q_2|}{|d'Q_1|} = 1 - \frac{C_p(T_D - T_A)}{C_p(T_C - T_B)} = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_A}{T_B}\frac{(T_D/T_A - 1)}{(T_C/T_B - 1)} = 1 - \frac{T_A}{T_B}$$

(3) の結果より, $\eta = 1 - \dfrac{T_A}{T_B} = 1 - \left(\dfrac{p_A}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ //

[2]

(1) $\Delta q = -w, \Delta S = \dfrac{\Delta q}{T}$ であるから， $\Delta S = \dfrac{\Delta q}{T} = \dfrac{-w}{T} = \dfrac{1}{T}\int_{V_i}^{V_f} p\,dV = \dfrac{1}{T}\int_{V_i}^{V_f} \dfrac{nRT}{V} dV = nR\ln\left(\dfrac{V_f}{V_i}\right)$ より，

$\Delta S = nR\ln\left(\dfrac{V_f}{V_i}\right) = 2\times 8.31 \times \ln\left(\dfrac{750}{250}\right) = 18.259$ $\Delta S = 2\times 8.31\times 1.10 = 18.282$ $\Delta S = 18.3\ \mathrm{J\cdot K^{-1}}$ //

(2) $\begin{cases} p_1 V = nRT_1 \\ p_2 V = nRT_2 \end{cases}$ から $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{T_2}{T_1}$ となり、$p_2 = p_1 \dfrac{T_2}{T_1} = 125 \times \dfrac{270}{300} = 112.5$ よって 113 kPa //

(3) $pV = nRT$ より， $V = \dfrac{nRT}{p}$ であるから， $\left(\dfrac{\partial V}{\partial p}\right)_T = \dfrac{\partial}{\partial p}\left(\dfrac{nRT}{p}\right) = -nRT\dfrac{1}{p^2} = -\dfrac{V}{p}$

したがって， $\kappa_T = -\dfrac{1}{V}\left(\dfrac{\partial V}{\partial p}\right)_T = -\dfrac{1}{V}\times\left(-\dfrac{V}{p}\right) = \dfrac{1}{p}$

(4) $G = H - TS = U + pV - TS$ より， $dG = dU + p\,dV + dp\,V - dT\,S - T\,dS$

$$= (TdS - pdV) + pdV + dpV - dTS - TdS = Vdp - SdT$$

したがって，

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial}{\partial p}(Vdp - SdT)\right)_T = V$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial}{\partial T}(Vdp - SdT)\right)_p = -S$$

(5) $$V(320)=V_{300}\left(0.800+4.00\times10^{-4}\times320+1.50\times10^{-6}\times320^2\right)=1.0816V_{300}$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p=\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(V_{300}\left(0.800+4.00\times10^{-4}T'+1.50\times10^{-6}T'^2\right)\right)\right)_p=V_{300}\left(4.00\times10^{-4}+3.00\times10^{-6}T'\right)$$

320 K では, $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p=V_{300}\left(4.00\times10^{-4}+2\times1.50\times10^{-6}\times320\right)=1.36\times10^{-3}V_{300}$

以上より, $\beta=\frac{1}{V_{320}}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p=\frac{1.36\times10^{-3}V_{300}}{1.08V_{300}}=0.001259$　　β は $1.26\times10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$ //

[3]

(1) (B)式の右辺から, $a=\frac{m}{2kT}$ とおくと, $\int_0^\infty u^2\exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right)\mathrm{d}u=\frac{2kT}{4m}\left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$

よって,

$$\int_0^\infty f(u)\mathrm{d}u=\int_0^\infty 4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}}u^2\exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right)\mathrm{d}u$$

$$=4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}}\frac{2kT}{4m}\left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}}=4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}}\frac{2kT}{4m}\left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$=1$$

となり, 規格化されていることがわかる.

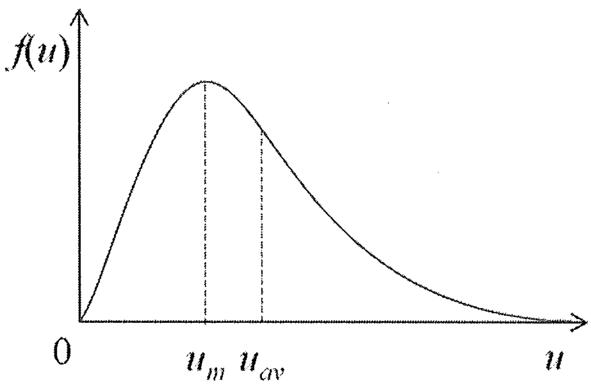
(2) (B)式より, $f(u)$ が最大となる u が u_m である. よって, $\mathrm{d}f(u)/\mathrm{d}u=0$ となる条件を求める.

$$\frac{\mathrm{d}f(u)}{\mathrm{d}u}=4\pi\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}}\left[2u\exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right)-u^2\frac{2mu}{2kT}\exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right)\right]$$

より, $\left[2u-u^2\frac{2mu}{2kT}\right]=0$ となる u_m は, $2-\frac{mu_m^2}{kT}=0$ から $u_m=\left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$ である.

(3) $\frac{8}{\pi}=\frac{8}{3.14}>2$ より, $u_m<u_{av}$ である.

したがって, $f(u)$ は u_m に分布の最大値をもち,
u_m よりも速度が大きい側へ裾が拡がった
分布であるとわかる（図）.



試験科目名	電磁気学	解答例

[1]

(1-1)

$\overline{\mathrm{AP}}=a$ より、求めるクーロン力の大きさ F は $\underline{F=\dfrac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2}}$

(1-2)

A,B,C,D の各頂点にある点電荷と頂点Pの点電荷間に働くクーロン力のうち、正方形 ABCD 面に平行な成分は相殺され、正方形 ABCD 面に垂直な成分 $F_\perp$ が残るので、Pの点電荷に働くクーロン力の合力は

$$4\,F_\perp=4\,F\sin\frac{\pi}{4}=4\cdot\frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}=\underline{\frac{\sqrt{2}Q^2}{2\pi\varepsilon_0 a^2}}$$

となり、<u>方向は O → P 方向</u>となる。

(2)

直線状電荷と中心軸を同じくする半径 $|\vec{R}|$、長さ L の円筒表面 S_0 を積分範囲としてガウスの法則 $\displaystyle\int_{\mathrm{S}_0}\vec{E}(\vec{R})\cdot\vec{n}\mathrm{d}S=\frac{Q}{\varepsilon_0}$ を適用すると、左辺の面積分は $\displaystyle\int_{\mathrm{S}_0}|\vec{E}(\vec{R})|\mathrm{d}S=|\vec{E}(\vec{R})|\cdot 2\pi|\vec{R}|L$ となり、S_0 内の総電荷量 Q は $Q=\lambda L$ であるから、求める電場 $\vec{E}(\vec{R})$ は

$$\underline{\vec{E}(\vec{R})=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0|\vec{R}|^2}\vec{R}}$$

(3)

1個、2個並列、3個並列、4個並列のキャパシタの両端の電位差をそれぞれ V_1,V_2,V_3,V_4 とすると $V=V_1+V_2+V_3+V_4=\dfrac{Q}{C}+\dfrac{Q}{2C}+\dfrac{Q}{3C}+\dfrac{Q}{4C}=\underline{\dfrac{25Q}{12C}}$

[2]

(1) アンペールの法則 $\int_{C_0}\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{ds}=\mu_0 I$ の線積分の閉曲線として半径 R の円周をとる。

このとき円を貫く電流の強さは NI となる。

よって、$2\pi RB(R)=\mu_0 NI$ より、求める磁束密度の大きさは

$$B(R)=\frac{\mu_0 NI}{2\pi R}$$

(2) 電流 I_1 が図のP点につくる磁場は $B=\mu_0 I_1/2\pi x\sin\theta$ となり、

その場所の電流 I_2 の電流素片 $I_2 dx$ に作用する力は、

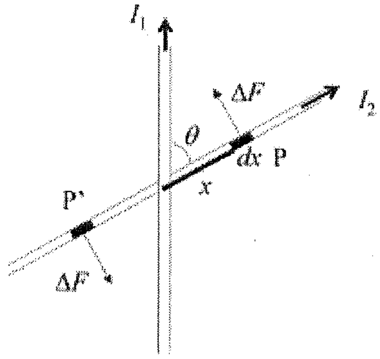
$\text{¢}F=I_2 B\,dx=\mu_0 I_1 I_2\,dx/2\pi x\sin\theta$ で方向は図の通りとなる。

この力はP点と対称なP'点に作用する力と偶力をつくり、

そのモーメントは $dN=\text{¢}F\cdot 2x=\mu_0 I_1 I_2\,dx/\pi\sin\theta$ と与えられる。

全モーメントは

$$N=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{\pi\sin\theta}\int_0^L dx=\frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{\pi\sin\theta}$$



となり向きは反時計回りとなる。

2025(令和 7)年度

室蘭工業大学大学院工学研究科

博士前期課程入学試験(一般入試 第1次募集)

生産システム工学系専攻 物理物質科学コース

情報電子工学系専攻 共創情報学コース G系

学力試験問題

専門科目(応用物理学)

解答例

試験科目名	応用物理学【1】量子力学	解答例

ア　$A^2 \frac{1}{2}\frac{\hbar^2}{m}\left\{a + \frac{mk}{4\hbar^2}\frac{1}{a}\right\}\sqrt{\frac{\pi}{2a}}$

イ　$\frac{1}{2}\frac{\hbar^2}{m}\left\{a + \frac{mk}{4\hbar^2}\frac{1}{a}\right\}$

ウ　$\frac{\hbar}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$

エ　$\frac{\sqrt{mk}}{2\hbar}$

オ　$\left(\frac{\sqrt{mk}}{\pi\hbar}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{\sqrt{mk}}{2\hbar}x^2\right)$

試験科目名	応用物理学【2】統計力学	解答例

(1)　N_0 個の要素が基底状態に、N_1 個の要素が励起状態にあるとすると、状態数は $N = N_0 + N_1$ 個の要素から、N_1 を選び出す組み合わせの数に等しいから、

$$W = \binom{N}{N_1} = \binom{N_0+N_1}{N_1} = \frac{N!}{N_0!N_1!}$$

(2)
$$S(E) = k_B \log W = -Nk_B \left\{ \frac{N_1}{N} \log\left(\frac{N_1}{N}\right) + \left(1-\frac{N_1}{N}\right)\log\left(1-\frac{N_1}{N}\right) \right\}$$

(3)
$$Z(T) = \left\{1 + e^{-\beta\epsilon_1}\right\}^N$$

(4)
$$F(T) = -k_B T \log Z = -Nk_B T \log\left(1 + e^{-\beta\epsilon_1}\right)$$

(5)
$$F(T) = -k_B T \log Z = -Nk_B T \log\left(1 + e^{-\beta\epsilon_1}\right)$$

$$< E > = -\frac{\partial}{\partial\beta}\log Z = \frac{Nk_B\beta^2\epsilon_1^2 e^{\beta\epsilon_1}}{\left(1+e^{\beta\epsilon_1}\right)^2}$$

$$C = \frac{d < E >}{dT} = -k_B\beta^2 \frac{d < E >}{d\beta} = \frac{N\epsilon_1^2}{k_B T^2}\frac{e^{\epsilon_1/k_BT}}{\left(1+e^{\epsilon_1/k_BT}\right)^2}$$

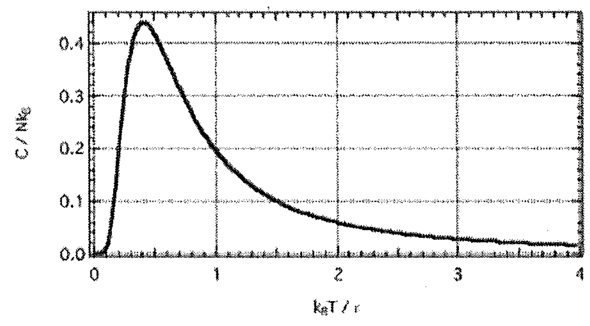


図１定積比熱の概略図

試験科目名	応用物理学【3】固体物理	解答例

[1]

(1) 横断面が円形の金属線の長さを変えずに直径を２分の１にしたとき，金属線両端間の電気抵抗の値は［4］倍になる．一般的な金属の場合，ヴィーデマン・フランツの法則が成り立ち，［熱伝導率］と導電率の比は［絶対温度］に比例し，その比例定数は金属によらずにほぼ一定値となる．

(2) 金属中で，あるエネルギー準位の占有自由電子数(確率)は［フェルミ・ディラック］分布関数で与えられる．１価金属の場合，分布関数中に現れるフェルミエネルギーE_F(化学ポテンシャルμ)の値をk_BT(k_Bはボルツマン定数)で温度換算すると，その温度Tはおよそ［10^4］Kの桁になる．

[2]

(1) $2a$

(2) 3回軸

(3) (001)等

(4) Au 1 cm^{3}中には20/200 = 0.1 molのAu原子が存在し，面心立方単位格子中にはAu原子が4個存在するので，1 cm^{3}中には$(6.0\times10^{23})/4 = 1.5\times10^{22}$個の単位格子が存在することになる．したがって，1個の単位格子の体積vは，$v = 1/(1.5\times10^{22}) = 0.67\times10^{-22} = 67\times10^{-24}\ \mathrm{cm}^3$となる．したがって，
$a = \sqrt[3]{67\times10^{-24}\ \mathrm{cm}^3} = 4.1\times10^{-8}\ \mathrm{cm} = 4.1\ \text{Å}$となる．

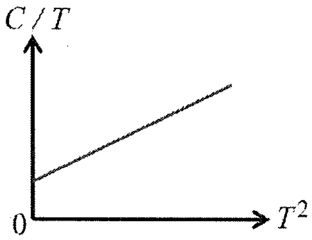
[3]

(1) 面心立方格子

(2) 金属

(3) 物質A

(4) (a) γ（電子比熱係数）　(b) 直線の傾き　(c) デバイ温度



試験科目名	応用物理学【4】物理系実験	解答例

[1]

図1　2.65 mm　　図2　6.20 mm

[2]

図3　8.560 mm　　図4　3.328 mm

[3] T：振り子の周期，ストップウォッチ
球錘の直径($2r$)，キャリパー
L：支点から球錘表面までの距離，メジャー
（球錘の質量Mは，上記gの式に慣性モーメントIの式を代入すると消えるため，測定する必要はない。）

[4]

	焦点距離 f/cm
凸レンズI	3.1
凸レンズII	3.6
凸レンズIII	6.7

[5]

(1)

電場 $\boldsymbol{E}$	$\boldsymbol{E}=\boldsymbol{I}/\sigma bc$

(2)

力 $\boldsymbol{F}$ の名称	ローレンツ力

(3)

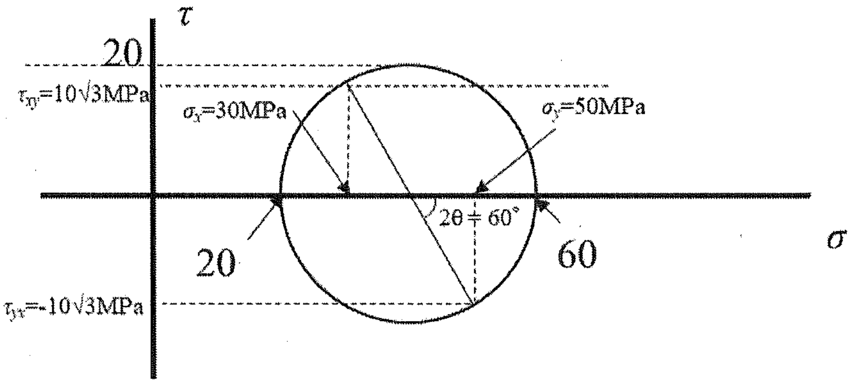
力 $\boldsymbol{F}$	$\boldsymbol{F}=q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$

(4)

効果の名称	ホール効果

試験科目名	応用物理学【5】応用力学	解答例

(1)



(2) モール円より

σ_1 =　60 MPa

σ_2 =　20 MPa

$\tau_{\max}$ =　20 MPa

(3) モール円より 2θ=60°　よって 30°

試験科目名	応用物理学【6】材料科学	解答例

(1)

Ⓐの反応の名称	包晶反応
Ⓑの反応の名称	包晶反応
Ⓒの反応の名称	共晶反応

Ⓐの反応式	$(\mathrm{Ag}) + \mathrm{L} \rightarrow \xi$
Ⓑの反応式	$\xi + \mathrm{L} \rightarrow \varepsilon$
Ⓒの反応式	$\mathrm{L} \rightarrow \varepsilon + (\beta\text{-}\mathrm{Sn})$

(2)

①	同素変態	②	小さくなる

(3)

現れる相：Ag-52wt%Sn のＬ相(液相)と Ag-27wt%Sn の ε 相

存在割合：Ｌ相が 12.0wt%、ε 相が 88.0 wt%

2025(令和 7)年度

室蘭工業大学大学院工学研究科

博士前期課程入学試験(一般入試 第 1 次募集)

生産システム工学系専攻 物理物質科学コース

情報電子工学系専攻 共創情報学コース G 系

学力試験問題

専門科目 (力学, 熱力学, 電磁気学)

専門科目(応用物理学)

出題意図

専門科目（力学, 熱力学, 電磁気学）

試験科目名 ： 力学	
問題番号	出題意図
[1]	等速円運動をしている質点の運動を考え、保存力、力学的エネルギー保存則、角運動保存則といった力学の基本的な事項を理解しているかを問う出題である。また、計算に必要な数学の力があるか問う出題である。
[2]	復元力の働く質点に対して運動方程式をたて，微小変位に対して単振動となることを導く問題．出題意図は，復元力，力の合力に対する基本的な事項を理解していること，近似に関する基本的な考え方を理解していることを確認することである．

試験科目名 ： 熱力学	
問題番号	出題意図
[1]	熱機関の理解度を問う.
[2]	理想気体からなる系の体積変化、圧力変化に伴う熱力学の基礎知識を問う。 液体の体積膨張についての知識を問う。
[3]	気体分子運動論の基礎知識を問う。

試験科目名 ： 電磁気学	
問題番号	出題意図
[1]	(1) クーロン力についての理解度を問う． (2) ガウスの法則と電荷が作る電場との関係について理解度を問う． (3) キャパシタに蓄積される電荷とキャパシタの合成静電容量の計算能力を問う．
[2]	アンペールの法則と電流間に働く力について理解しているか問う出題である．また，計算に必要な数学の力があるか問う出題である． (1) 2 本の平行な直線電流間に働く単位長さ当たりの力の大きさを求める問題． (2) 2 本の平行な直線電流間に働く力について，平行・反平行の場合の力の向きを答える問題. (3) 直線電流が作る磁束密度をアンペールの法則から求める問題。 (4) 電流間に働く力を，磁束密度を用いて表すことできることを理解しているか問う問題.

専門科目（応用物理学）

試験科目名 ： 応用物理学【1】量子力学	
問題番号	出題意図
	変分法に関する理解を確認するため、１次元調和振動子を題材にする問題を出題した。(ア)(イ)では、量子力学の理論に基づき期待値の計算ができるかどうかを問い、(ウ)(エ)(オ)では、変分法の基本的な考え方を問う。

試験科目名 ： 応用物理学【2】統計力学	
問題番号	出題意図
	ショットキー比熱を題材にして、統計力学の基本的考え方に関する問題を出題した。(1)では、状態数を正しく計算できるかどうかを問い、(2)スターリングの公式を用いたエントロピーの計算と、(3)(4)自由エネルギーの計算を実行し、これらの結果を用いて(5)定積比熱の温度依存性が計算できるかを問う。

試験科目名 ： 応用物理学【3】固体物理	
問題番号	出題意図
[1](1)	金属中自由電子の輸送特性に関する基礎事項についての理解度を問う．
[1](2)	フェルミ・ディラック分布関数，フェルミエネルギーに関する理解度を問う．
[2](1)	結晶中を伝搬する波に関する理解度を問う．
[2](2)	結晶系の理解度を問う．
[2](3)	結晶構造に関する理解度を問う．
[2](4)	単位格子に関する正しい理解と論理的な思考力を問う．
[3](1)	ブラベー格子に関する理解度を問う．
[3](2)	フェルミ面，ブリルアン帯と結晶の属性の関係性の理解度を問う．
[3](3)	デバイの比熱式に関する理解度を問う．
[3](4)	デバイの絶対温度の３乗則の理解と論理的な思考力を問う．

試験科目名 ： 応用物理学 【4】物理系実験	
問題番号	出題意図
[1]	キャリパーを用いた長さ測定の基礎を問う．
[2]	マイクロメータを用いた長さ測定の基礎を問う．
[3]	振り子を用いた重力加速度の測定に関する基礎知識を問う．
[4]	光学レンズの性質の基礎知識を問う．
[5]	ローレンツ力とホール効果の基礎知識を問う．

試験科目名 ： 応用物理学 【5】応用力学	
問題番号	出題意図
(1)	与えられた微小要素を理解してモール円を描けるかを問う.
(2)	モール円を用いるか，公式等を利用して主応力と最大せん断応力を求められるかを問う.
(3)	*X-Y* 座標と，主軸の向きの関係性の理解を問う.

試験科目名 ： 応用物理学 【6】材料科学	
出題意図	材料科学は，物質の構造，物性，熱力学的性質，ならびにそれらの相互関係を理解するための基盤となる学問である．本試験では，材料の熱力学的安定性や相変態，混合・溶体の自由エネルギー変化，状態図といった基礎概念や、これらから予測される材料特性を問うことで，進学者が材料科学の原理を理解し，研究・開発に必要な知識を有しているかを評価する．特に，熱力学と統計力学を活用した材料設計や状態変化の理解を重視し，材料科学の専門的な学修に必要な基礎知識を確認することを目的とする.
おおまかな出題範囲	• 理論化学（化学結合論，熱力学的状態量，ギブス自由エネルギー，化学ポテンシャル） • 物理化学（溶体の熱力学，理想溶体・正則溶体の自由エネルギー，相互作用パラメータ） • 材料科学（材料の平衡，相変態，状態図，拡散，非平衡状態と熱力学） • 結晶学（結晶構造，結晶欠陥） • 機能性材料科学（半導体・電子材料，磁性材料，誘電体材料の機能と材料設計） • 材料強度学（多結晶材料の強化機構，粒界制御，転位論，クリープ） • 精錬学（鉄鋼精錬，乾式・湿式非鉄精錬，熱力学的評価（エクセルギーを含む）） 以上を中心に，記述問題，計算問題など多様な形式で知識を問う問題を出題する． 注意： 出題は必ずしもここに書かれた内容からに限定しない.