

東京大学
大学院新領域創成科学研究科
物質系専攻
平成 15 (2003) 年度専門科目試験問題

平成 14 (2002) 年 8 月 28 日 (水)

試験時間

13 : 30 ~ 16 : 30 (180 分)

受験番号	
------	--

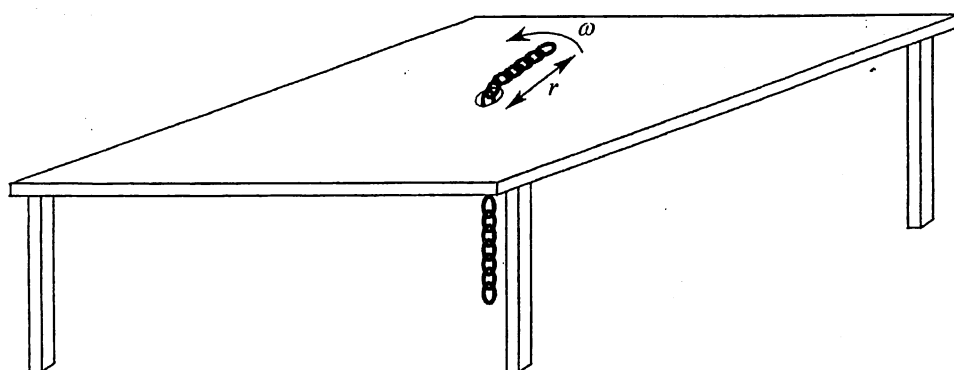
注意事項

- (1) 指示があるまではこの冊子を開いてはいけません。
- (2) 本冊子の総ページは 36 ページです。落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所などがあった場合は申し出て下さい。
- (3) この問題冊子の中にある第 1 問から第 18 問の中から 4 問を選択し、解答して下さい。各 1 問につき解答用紙 1 枚を使って下さい。必要ならば裏面を使用しても構いません。その場合、裏面に続くことを明記して下さい。
- (4) 解答には必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用して下さい。
- (5) 解答は日本語または英語で記入して下さい。
- (6) 配布された解答用紙（4 枚）に、必ず受験番号と解答する問題の番号を記入して下さい。
- (7) この問題冊子に必ず受験番号を記入して下さい。問題冊子は試験終了後に回収します。
- (8) 試験開始後 1 時間以内は、たとえ棄権する場合でも退室することはできません。1 時間以上経過し、退室を希望するときは、手を挙げて下さい。
- (9) 試験終了後に、口述試験の時間割、説明事項を配布しますので、途中退室した人も、16 : 30 に試験室に戻って下さい。

第1問

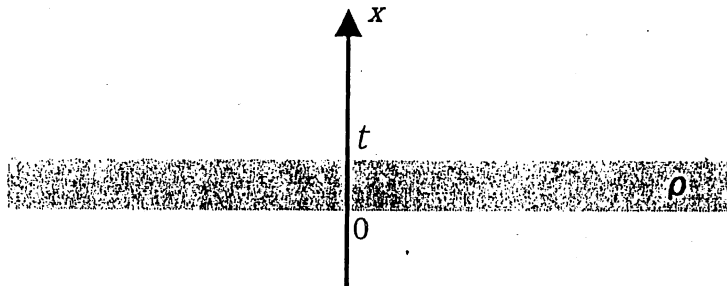
長さ l 、線密度 ρ の一様な鎖が、下図のように机の上の小穴を通り、一部が机の上で小穴を中心に回転しており、残りが机の下で鉛直方向に垂れ下がっている。机の上の鎖は真っ直ぐに伸びており、あらゆる摩擦および机の下にある鎖の回転運動の効果は無視できるものとする。また、重力加速度を g として以下の問いに答えよ。

- (1) 机の上の部分の鎖の長さを r 、回転の角速度を ω とする。鎖の遠心力 F と角運動量 L をそれぞれ求めよ。
- (2) 鎖が一定の角速度で円運動をしている。このとき、机の上にある鎖の長さを r_0 とする。鎖の遠心力と重力のつりあいの式を、 L と r_0 を使って書き表せ。また、 r_0 が存在するために必要な L と l の関係を示せ。
- (3) 重力によるポテンシャルエネルギーと鎖の回転によるエネルギーの和 $V(r)$ を、 L を使って書き表せ。ただし、重力によるポテンシャルは机の上で0であるとする。また、 r_0 が存在するとき、横軸を $r(0 \leq r \leq l)$ として $V(r)$ の概形を示し、図中に r_0 の位置を示せ。

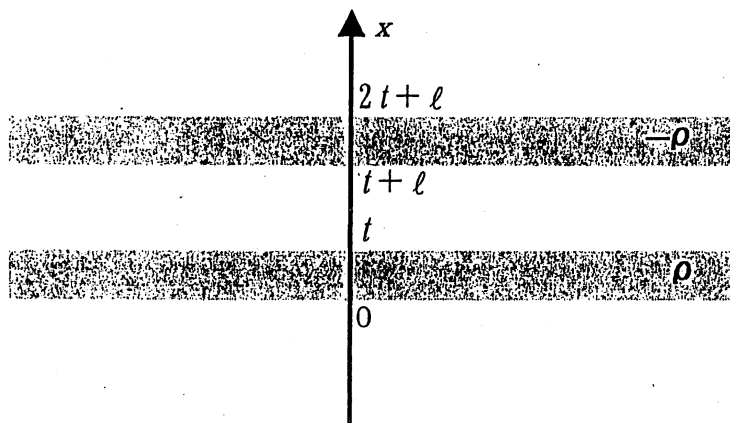


第2問

- (1) 一様な電荷密度 ρ ($\rho > 0$) をもち、厚さが t である無限に広い平板がある。図のように座標軸 x を設けたとき、電場の x 成分 $E(x)$ を x の関数として求め、そのグラフを描け。ただし、誘電率 ε は平板の内部でも外部でも一定であるものとする。



- (2) 一様な電荷密度 ρ と $-\rho$ ($\rho > 0$) をもち、厚さが共に t である無限に広い二枚の平行平板が、間隔 ℓ だけ隔てておかれている。図のように座標軸 x を設けたとき、 $E(x)$ を x の関数として求め、そのグラフを描け。ただし、誘電率 ε は平板の内部でも外部でも一定であるものとする。



- (3) (2) の場合に、 $x = t$ 、 $x = t + \ell$ 、および $x = 2t + \ell$ の各位置の電位 $\phi(t)$ 、 $\phi(t + \ell)$ 、および $\phi(2t + \ell)$ を求めよ。また、 x の関数として電位 $\phi(x)$ を求め、そのグラフを描け。ただし、 $x = 0$ の位置での電位を $\phi(0) = 0$ とする。

第3問

図のように原点に置かれたデルタ関数型の引力ポテンシャル $V(x) = -U_0\delta(x)$ ($U_0 > 0$) 中を一次元運動する質量 m 、エネルギー E の粒子を考える。

(1) 波動関数を $u(x)$ としてシュレーディンガー方程式を書け。

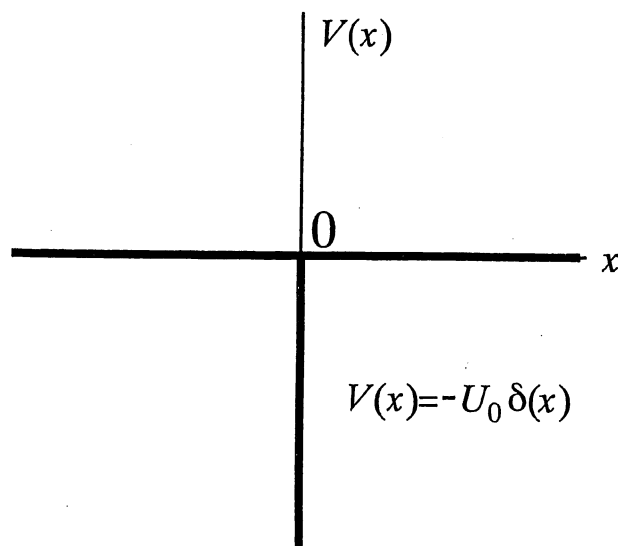
(2) 原点の両側での波動関数の接続条件は、

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=+\varepsilon} - \left. \frac{du}{dx} \right|_{x=-\varepsilon} = -\frac{2mU_0}{\hbar^2} u(0)$$

となることを示せ。ここで、 ε は正の微小量である。また、 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ であり、 h はプランク定数である。

(3) $E < 0$ の場合には、粒子はポテンシャルに束縛される。このときのエネルギー固有値と固有関数を求めよ。

(4) $E > 0$ の場合に、粒子が左方 ($x < 0$) からこのポテンシャルに向かって入射する。このとき、 $x < 0$ と $x > 0$ の領域での波動関数の一般的な形を書き、粒子がポテンシャルを透過する確率とポテンシャルで反射される確率を求めよ。



第4問

ある粒子（質量 m ）の対の一次元運動を古典論で考える。個々の粒子の座標を x_1 、 x_2 とすると、粒子対は

$$U(x_1, x_2) = \frac{a}{2}(x_1^2 + x_2^2) + b(x_1 - x_2)^2 \quad (a > 0, b > 0)$$

で表されるポテンシャルエネルギーをもち、温度 T の熱浴と接して平衡状態にある。以下の問いに答えよ。ただし、ボルツマン定数を k_B とする。ここでは、粒子は互いに位置を入れ替えることが可能である。また、一次元運動のため回転の自由度は考えなくてよい。

- (1) この粒子対の持つエネルギー E を系の重心座標 $X = (x_1 + x_2)/2$ と相対座標 $\rho = x_1 - x_2$ 、およびそれぞれに正準共役な運動量 $P = 2m\dot{X}$ と $\Pi = m\dot{\rho}/2$ を用いて書き下せ。
- (2) この系の分配関数を計算せよ。
- (3) エネルギーの平均値 $\langle E \rangle$ を求めよ。
- (4) $d = |x_1 - x_2|$ を考え、その平均値 $\langle d \rangle$ と分散 $\langle (d - \langle d \rangle)^2 \rangle$ を求めよ。

注： $\langle \rangle$ は統計的期待値を表す。また、必要ならば、以下の公式を用いてもよい。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-x^2) dx = \sqrt{\pi}$$

第5問

図1および図2に、金属カリウムの低温における比熱 C および静帯磁率 χ の温度変化が示されている。ここで T は温度である。以下の問いに答えよ。

- (1) カリウムの低温における比熱は、古典統計から予想される値よりもはるかに小さい。この理由を簡潔に述べよ。
- (2) 図1からわかるように、比熱は $C/T = \gamma + \beta T^2$ と書くことができる。 γ 項と β 項の起源を簡潔に述べよ。
- (3) ダイヤモンドとアルミニウム（超伝導転移温度：1K）の低温における比熱の温度依存性の概略を図示せよ。（縦軸を C/T 、横軸を T^2 とせよ。）それぞれの温度依存性について、簡単な説明を加えよ。
- (4) 図2からわかるように、カリウムの静帯磁率は正であり温度変化しない。この静帯磁率の起源はなにかを簡潔に述べよ。
- (5) ダイヤモンド、アルミニウム、および、局在スピンをもつ常磁性塩 CPA ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$) について、低温における静帯磁率 χ の温度依存性の概略を図示せよ。（縦軸を χ 、横軸を T とせよ。）それぞれの温度依存性について、簡単な説明を加えよ。なお、CPA の反強磁性転移は絶対零度まで起こらないものとする。

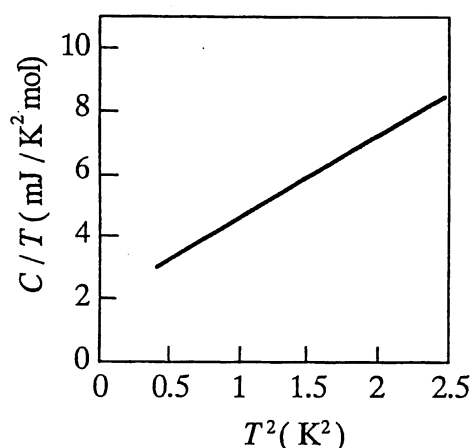


図1 カリウムの低温における比熱

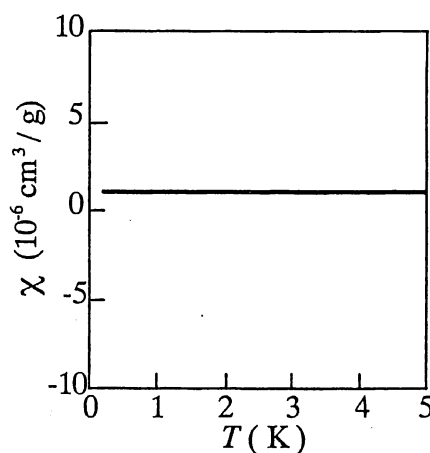
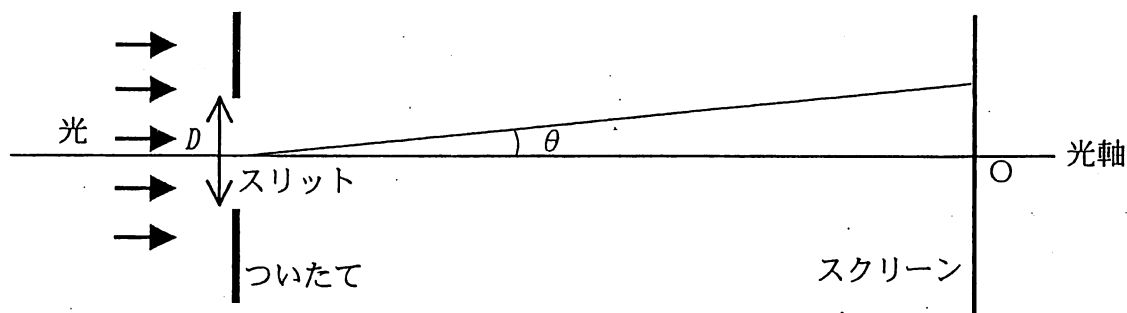


図2 カリウムの低温における静帯磁率

第6問

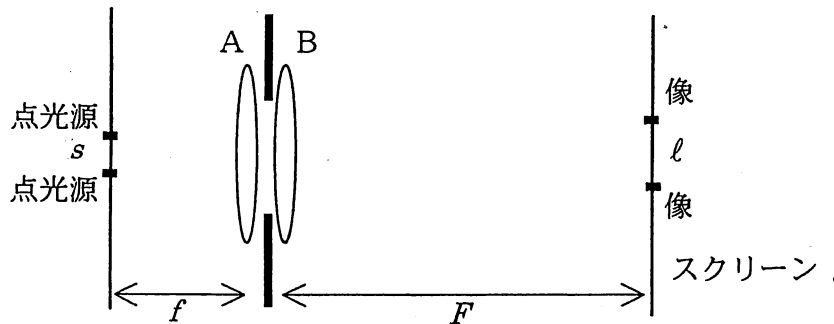
下図のように、波長 λ の光（単色平面波）を、幅 D のスリット状の穴があるついたてに垂直に入射させたところ、十分遠方においたスクリーンに、明暗の縞模様が現れた。スリットの中心から光線方向にのばした直線（光軸）とスクリーンとの交点を原点 O とする。



- (1) このように、明暗の縞が現れる物理現象を一般に何と呼ぶか答えよ。また、明暗の縞が現れる理由を説明せよ。
- (2) スクリーン上の原点 O 付近で最初に暗線が現れる方向と光軸のなす角度 θ を求めよ。
- (3) ついたての直後に焦点距離 F の凸レンズを置き、スクリーンをレンズから距離 F の位置まで近づけ、そこに明暗の縞模様を映した。ここで、レンズの直径は D よりも十分大きく、レンズの光軸は図の光軸と一致しているものとする。スクリーンの原点 O 付近で最初に現れる暗線の原点からの距離 x を求めよ。 D は λ よりも十分大きい($D \gg \lambda$)として近似せよ。

(次のページに続く。)

次に、下図のように、焦点距離 f の凸レンズA、直径 D の円形の穴があいたついで、焦点距離 F の凸レンズBを近づけて置き、このレンズ系の左側の f だけ離れた位置に二つの点光源（光の波長は λ ）を置いた。ここで、レンズの直径は D よりも大きく、二つのレンズの光軸は一致しているものとする。また、二つの点光源の間の距離は s だけ離れている。このレンズ系の右側の F だけ離れた位置にスクリーンを置き、二つの点光源の像を観察した。

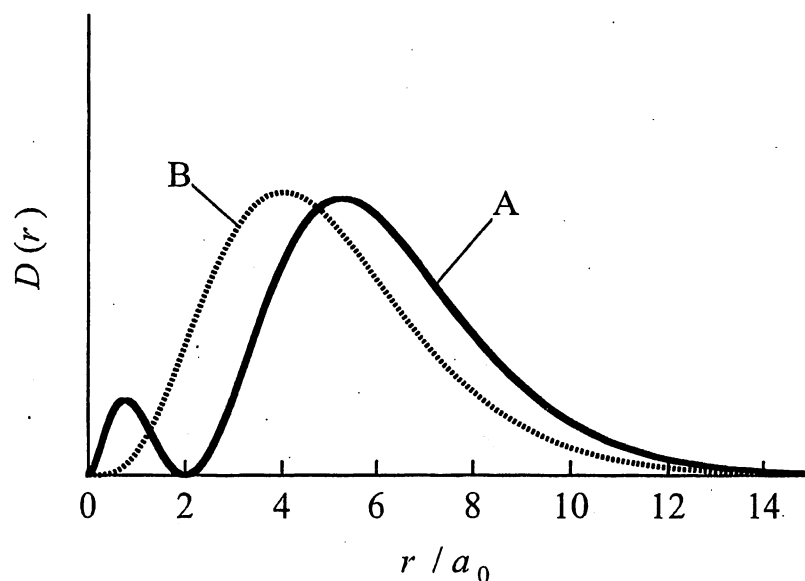


- (4) スクリーン上に現れた二つの点光源の像の間隔 l を求めよ。
- (5) s が小さくなると、スクリーン上で二つの像が分解できなくなる。二つの像を分解して観測できる最小の s の大きさがどの程度であるか求めよ。
- (6) (5) の理由により、一般に、大きさが 100nm 以下のサイズの物体の形状を観察することは難しいが、それを可能とする方法も存在する。例をひとつ挙げ、その原理を簡単に説明せよ。

第7問

水素原子の電子波動関数について、以下の問いに答えよ。

- (1) 波動関数は主量子数 n と軌道角運動量に関する2つの量子数 ℓ, m で指定される。 ℓ と m の物理的な意味を説明せよ。
- (2) 図中の曲線 A と B は、同じエネルギーを有する複数の電子軌道について、原子核からの距離 r における電子の存在確率 $D(r)$ を示したものである。このエネルギーを有する軌道はすべて A, B いずれかの存在確率の分布を示す。A と B のそれぞれについて、量子数 n, ℓ の値を推定せよ。さらに、その根拠を簡潔に述べよ。
- (3) 曲線 A, B に対応する電子軌道のエネルギーは水素原子では等しいが、多電子原子において A, B とともに電子が収容されると、そのエネルギーは等しくなくなる。どちらの電子軌道のエネルギーが大きいのか述べ、その理由を明記せよ。
- (4) 曲線 B に対応する電子軌道の角度部分の波動関数は複数個存在する。これらの概形を全て図示せよ。(符号も示すこと)
- (5) B に対応する角度部分の波動関数は A のものとは大きく異なっている。その違いは量子数 ℓ の物理的な意味を反映している。どのように反映しているのか説明せよ。
- (6) ボーア模型と上記の量子論の結果の関係について議論せよ。



電子の存在確率の距離依存性 (a_0 はボーア半径)

第8問

直鎖ポリエン $\text{H}-(\text{CH}=\text{CH})_N-\text{H}$ は、その長さによって特徴的な紫外可視吸収スペクトルを示す。この現象を解析するために、直鎖ポリエンの共役 π 電子を、長さ Na の一次元箱型ポテンシャル $V(x)$ ($0 < x < Na$ では $V(x)=0$ 、その他では $V(x)=\infty$) に閉じ込められた互いに独立な電子で近似する。この場合、良く知られているように波動関数 $\psi_n(x)$ とエネルギー固有値 E_n は

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{Na}} \sin \frac{n\pi x}{Na},$$

$$E_n = \frac{h^2 n^2}{8m_0 N^2 a^2}$$

で与えられる。ここで、 n は状態を指定する量子数（正の整数）、 h はプランク定数、 m_0 は電子の質量である。

以下の問いに答えよ。

- (1) 量子数 n と m で表される二つの状態 ψ_n と ψ_m 間の電子遷移によって光の吸収、放出が起きるためには遷移双極子モーメント

$$\mu_{nm} = e \int_{-\infty}^{+\infty} \psi_n^* x \psi_m dx$$

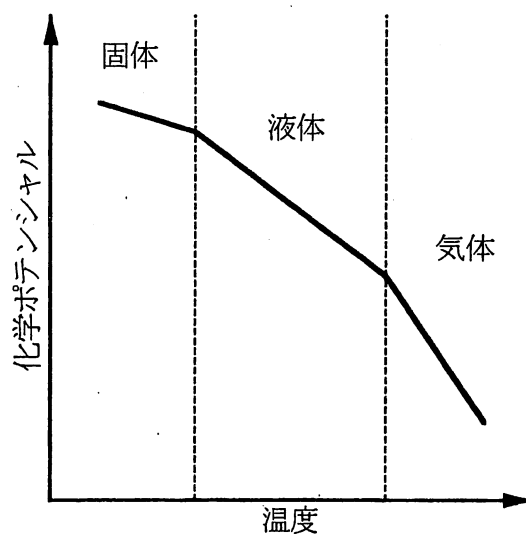
が有限でなければならない（ e は電子の電荷）。上記の波動関数を用いて、直鎖ポリエンで具体的にどのような状態間の遷移が許容であるか示せ。

- (2) 長さ Na の直鎖ポリエンの光吸収の最長波長 λ_{\max} を求めよ。
 (3) 直鎖ポリエンの色は鎖長によってどのように変化していくと考えられるか、定性的に述べよ。

第9問

希薄溶液の沸点は純溶媒の沸点に比べて上昇し（沸点上昇）、凝固点は降下する（凝固点降下）。この現象に関して以下の問いに答えよ。ただし、溶質は不揮発性で、溶媒の固相に固溶しないものとする。また、溶液の蒸気圧は溶質のモル分率に依存し、溶液の蒸気圧 P 、純溶媒の蒸気圧 P_0 、溶質のモル分率 x との間に $P = P_0(1-x)$ なる関係が成り立つ（Raoult の法則）。

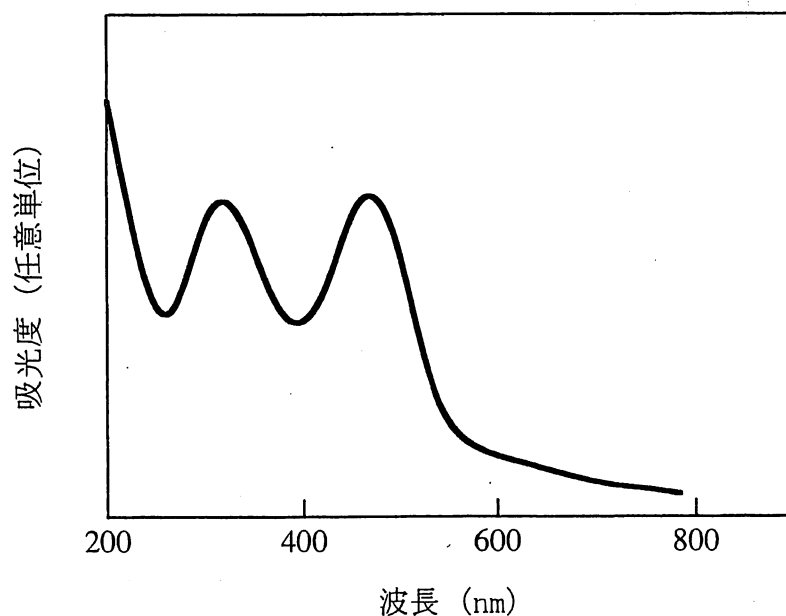
- (1) 溶媒蒸気 1 モル当たりの Gibbs 自由エネルギー（化学ポテンシャル）の変化 $d\mu_g$ と、温度変化 dT 、圧力変化 dP を関係づける式を書け。ただし、モルエントロピーを \bar{S} 、モル体積を \bar{V} とする。
- (2) 温度 T が一定の条件で、(1) の結果と、溶媒蒸気と溶液が平衡にあることを利用して、溶液の化学ポテンシャル μ_l と純溶媒の化学ポテンシャル μ_{l0} の間に $\mu_l \approx \mu_{l0} - RTx$ なる関係があることを導け。ただし R は気体定数である。溶媒蒸気は理想気体であるとしてよい。また、 $\log(1-x) \approx -x$ と近似してよい。
- (3) 下図は純物質の化学ポテンシャルの温度変化を模式的に示したものである。化学ポテンシャルが負の勾配を持ち、凝固点、沸点で図のように折れ曲がる理由を説明せよ。また、この図と (2) の結果を使って溶液で沸点上昇、凝固点降下が起こる理由を定性的に説明せよ。



第10問

以下の問いに答えよ。

- (1) $(3d)^3$ 電子配置の Cr^{3+} の基底状態を項の記号を用いて表せ。
- (2) 図に $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ の光吸収スペクトルを示す。300 から 500 nm にみられる2本のピークは $(t_{2g})^2(e_g)^1 \leftarrow (t_{2g})^3$ に帰属される。一方で、 $(3d)^1$ 配置の $[\text{Ti}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$ は1本の吸収ピークとなる。この相違を分子軌道の観点から説明せよ。
- (3) 上記の Cr 錯体で NH_3 を Cl^- に置換した $[\text{CrCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ では 240 nm に新たな吸収ピークが現れる。この吸収にはどのような電子軌道が関与しているか示せ。
- (4) $(t_{2g})^2(e_g)^1 \leftarrow (t_{2g})^3$ の遷移強度と(3)の遷移強度は一般的に2桁以上異なる。どちらの遷移強度が大きいか示し、その理由を述べよ。



$[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ の光吸収スペクトル

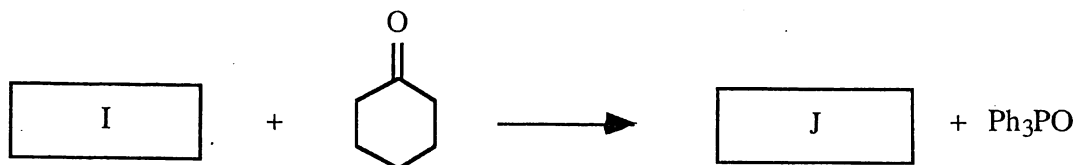
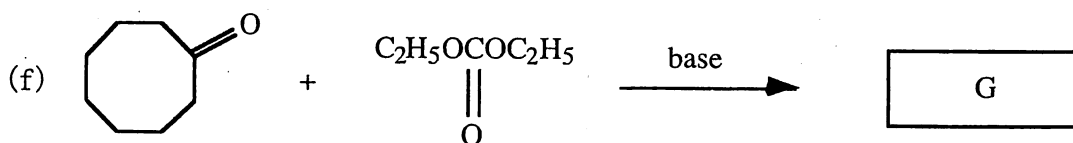
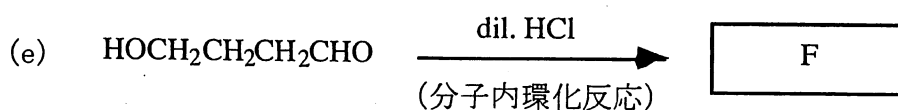
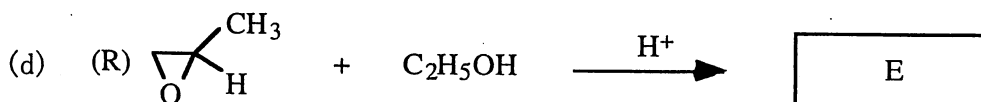
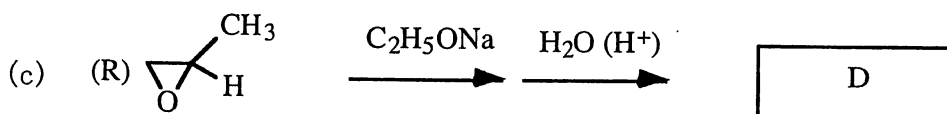
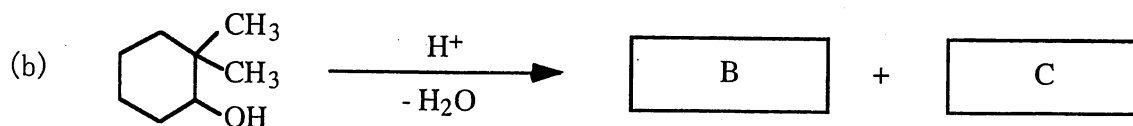
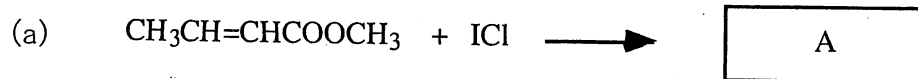
第 11 問

以下の問いに答えよ。

- (1) 元素を分析する機器分析の代表的なものに、誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP-AE)、原子吸光法 (AAS)、および蛍光 X 線分析法がある。それぞれの分析法について、(a) 感度、(b) 試料の形態、(c) 分析に要求される条件、(d) 汎用性を論点にして、特徴を比較して述べよ。
- (2) 次の分析用語について知るところを述べよ。
 - (a) キャピラリー電気泳動法
 - (b) 化学干渉と物理干渉
 - (c) 液-液抽出
 - (d) 標準物質

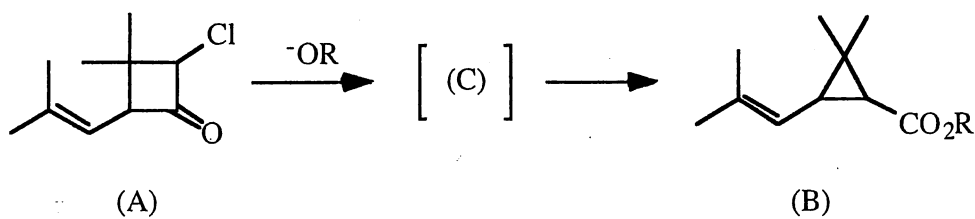
第 1 2 問

(1) 次の反応式中の A から J に、おもな生成物を簡略化した構造式で表せ。ただし、D と E は立体構造(R,S,ラセミ体の区別)も明記せよ。



(次ページに続く)

(2) 以下の問いに答えよ。



(a) 化合物 (A) を化合物 (B) に変換する反応は，化合物 (C) が中間体として生成する 2 段階反応である。反応中間体 (C) の構造を推定し，その反応機構を示せ。

(b) 反応中間体 (C) の存在を証明するためには，どのような実験を行えばよいか述べよ。

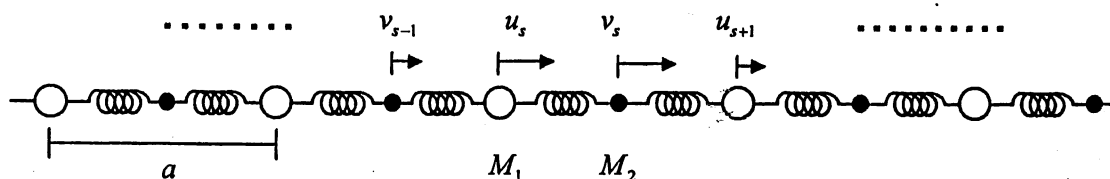
第13問

下の文を読んで、下記の問いに答えよ。

材料(固体)は、原子核と複数の電子で構成される原子が、 10^{23} 個程度集合したものである。このような多体系を扱うためには、様々な近似が必要である。

「断熱近似」により、静止した原子核によるポテンシャル中の電子と、平衡位置の近傍で振動する原子核の集団運動(フォノン)に分けて考える。

結晶の場合は、周期性を利用することにより、一度に扱わなければならない実質的な自由度を大幅に減らすことができる。例えば、ある一方向に進むフォノンの場合、原子面を考え、フォノンを原子面の振動で考え、最近接原子面間のみで力が働くことと近似する。ここでは、二原子格子における、縦波フォノンのモデルとして、「調和近似」により、下図のような一次元の軸上で運動する二種類の玉がバネで繋がれた配列を考える。



二種類の玉の質量(単位面積当たりの原子面の質量に相当する)を M_1 、 M_2 ($M_1 > M_2$)、配列の周期を a 、 s 番目の周期の二つの玉のそれぞれの平衡位置からの変位を u_s 、 v_s とする。バネはすべて同等で、バネ定数を C とする。

- (1) 「断熱近似」と「調和近似」の根拠を、それぞれ簡潔に説明せよ。
- (2) s 番目の周期の二つの玉に対する運動方程式を書け。
- (3) 次の形の、波数 K 、角振動数 ω を持つ進行波を考える。

$$\begin{aligned} u_s &= u e^{iK \cdot s \cdot a} e^{-i\omega \cdot t} \\ v_s &= v e^{iK \cdot s \cdot a} e^{-i\omega \cdot t} \end{aligned} \quad \dots [1]$$

式 [1] を (2) で求めた運動方程式に代入して、 u と v に対する連立方程式が解を持つ条件から、 ω^2 を求めよ。

- (4) $K = \pm \frac{\pi}{a}$ のときと、 $Ka \ll 1$ のときのそれぞれに対し、 ω を求めよ。後者の場合、

$$\cos Ka \approx 1 - \frac{1}{2} K^2 a^2 \text{ と近似して良い。}$$

- (5) (4) の結果を用いて、 ω と K の関係を図示せよ。
- (6) (5) で求めたフォノンの二つの分枝は、それぞれ何と呼ばれるか。名前の由来を簡潔に説明せよ。
- (7) 「アインシュタイン近似」と「デバイ近似」は、それぞれ二つの分枝をどのように近似することになるか。(5) で求めた図に書き込んで示せ。

第14問

面心立方格子構造を有する物質について以下の問いに答えよ。

- (1) 体心立方格子の一つの単位胞には、格子座標 $(0, 0, 0)$ と $(1/2, 1/2, 1/2)$ の2個の原子が属する。同様に、面心立方格子では一つの単位胞に4個の原子が属する。それらの格子座標を求めよ。

- (2) 面心立方格子の結晶構造因子 F_0 を考える。面心立方格子の一つの単位胞には4個の原子Aが含まれるので、それぞれの原子からの散乱を考慮して、 F_0 は、

$$F_0 = \sum_m f_A \exp[(2\pi i)(x_m h + y_m k + z_m l)]$$

から求められる。ここで、 (x_m, y_m, z_m) は単位胞に属する原子の格子座標、 h, k, l は面指数、 f_A はA原子の散乱因子である。

- (a) F_0 の式を、 $e^{iz} = \cos Z + i \sin Z$ の関係式を用いて整理すると、

$$F_0 = f_A \{ \boxed{\text{イ}} + (-1) \boxed{\text{ロ}} + (-1) \boxed{\text{ハ}} + (-1) \boxed{\text{ニ}} \}$$

となる。イ～ニに当てはまる式を記せ。

- (b) 面心立方格子では、ある条件を満たす面においては $F_0=0$ となる。この条件を理由とともに述べよ。

- (3) 物質Aの格子定数を求めるために、Cu K α 線（波長 0.154nm）を用いた粉末X線回折（ θ - 2θ 法）測定を行った。表には、測定されたピークのうち最も低角側からの3つのピークを示している。

ピーク1	$2\theta = 38.9^\circ$
ピーク2	$2\theta = 45.2^\circ$
ピーク3	$2\theta = 65.9^\circ$

- (a) それぞれの回折ピークの面指数を理由とともに示せ。

- (b) 表に示した結果から物質Aの格子定数を求めよ。

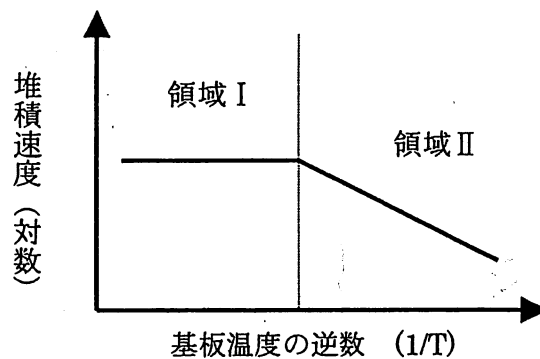
- (4) 物質Aに物質B（格子定数 0.500nm）をある濃度固溶させた。この固溶体の格子定数を測定したところ 0.410nm であった。この固溶範囲では完全にバガード則が成り立つとする。このとき、この固溶体の組成を求めよ。

- (5) 面心立方格子構造を持つ金属を一つあげて、物理的な性質や、その金属を含む実用合金などについて説明せよ。

第 15 問

シリコン材料／デバイスの製造プロセスに関連する以下の問いに答えよ。

- (1) シリコンの結晶構造の概略図を示せ。
- (2) バルク状シリコンの単結晶製造プロセスについて説明せよ。
- (3) 薄膜状シリコンの成膜プロセスの一つとして CVD 法が挙げられる。
 - (a) 本方法において、基板温度の逆数と堆積速度との関係は、しばしば図に示すようになる。その領域Ⅰ、および、領域Ⅱの2つの領域における堆積プロセスの律速過程について説明せよ。



- (b) CVD 法において、プラズマを用いるプラズマ CVD 法が工業的にしばしば利用されている。一般の CVD 法に対するプラズマ CVD 法の利点について説明せよ。
- (4) 不純物拡散による pn 接合の作製を考える。
 - (a) 不純物密度が一定 (N_1) のシリコン基板に対して、逆の伝導型を与える不純物を、結晶表面での不純物密度が一定になる条件下で拡散させる。この時の不純物拡散は、ある境界条件下での一次元の Fick の拡散の式に従い、その解は、

$$N(x,t) = N_0 \operatorname{erfc}(x/\sqrt{4Dt}) \quad [1]$$

で与えられる。式[1]がその解となる一次元の Fick の拡散の式を境界条件と共に記せ。また、実際に式[1]がそれらを満たすことを示せ。

ただし、補誤差関数 $\operatorname{erfc}(x)$ は誤差関数 $\operatorname{erf}(x)$ を用い、 $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$ と書き表される。

誤差関数は、 $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi$ で定義され、 $\operatorname{erf}(\infty) = 1$ である。また、

$N(x,t)$: 拡散不純物の密度, x : 一次元拡散距離 (表面を原点、結晶内部方向を正方向とする), t : 拡散時間, N_0 : 表面での一定の拡散不純物の密度, D : 不純物の拡散係数, である。

- (b) 上記(a)のようにして pn 接合を作製する場合、接合位置 x_{pnj} (表面からの距離) と拡散時間 t との関係について説明せよ。

第16問

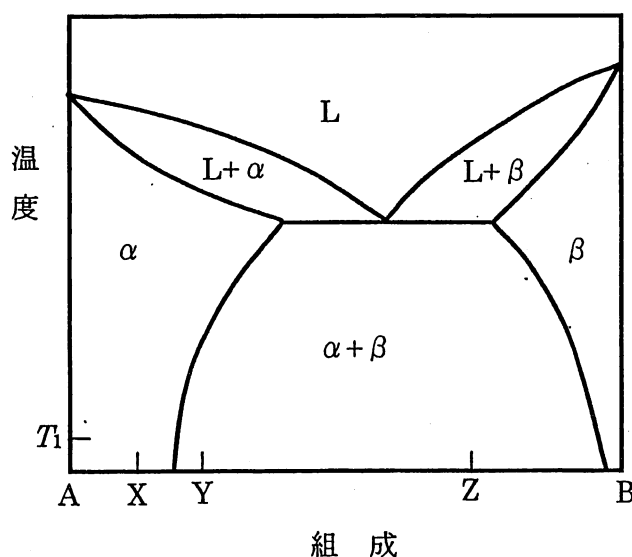
持続可能な循環型社会の創成を目指し、地球環境に配慮したエコマテリアル的な考え方によるマテリアル、デバイス開発が進められている。

- (1) エコマテリアル設計の基本的な指針について、箇条書きにして述べよ。
- (2) 下に示す(a)マテリアル、および、(b)デバイスの中からそれぞれ一つを選び、各々に関して、エコマテリアルの観点からその開発の現状と今後の展開について説明せよ。
 - (a) ①鉄鋼材料 ②高分子材料 ③セラミックス材料
 - (b) ①太陽電池 ②燃料電池 ③熱電変換素子

第17問

図はある金属 A および B の二元系状態図を模式的に示したものである。この状態図をもとに、以下の問いに答えよ。

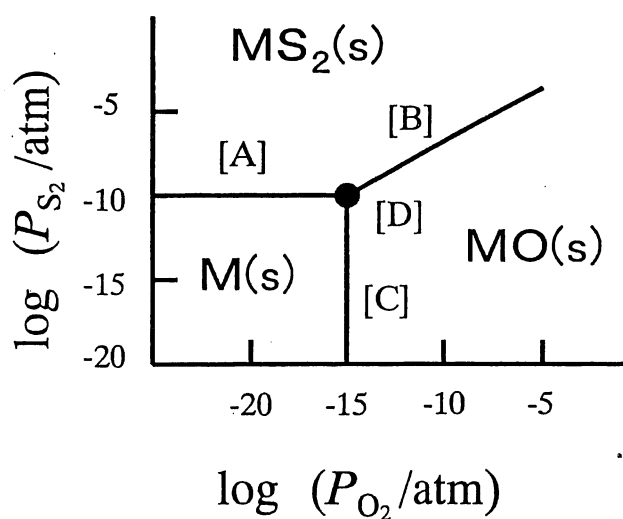
- (1) この状態図を一般に何と呼ぶか。
- (2) 組成 X の融液を室温（温度 T_1 ）まで急冷した。この合金中の組成を均質にしたい。どのような温度で熱処理を行うのが良いか。解答用紙に状態図を書き写し、熱処理を行うのに適した温度を図示するとともに、その理由を説明せよ。
- (3) 均質化処理を行った組成 X の合金の硬さを測定したところ、金属 A よりも硬さに向上が認められた。この理由を説明せよ。
- (4) 単相域での均質化処理を行った組成 Y の合金を考える。
 - (a) 熱処理によりこの合金の硬さを向上させたい。どのような熱処理を行えばよいか。その理由を説明せよ。
 - (b) この様な手法を用いて強度を向上させている実用材料がある。この材料名を一つ挙げて強度向上の機構を説明せよ。
- (5) α および β 相のみから構成される層状組織を持つ合金を液相から作製したい。組成としてどこを選択すべきか。また、この組織を一般に何と呼ぶか。
- (6) Z の組成の融液を十分にゆっくりと冷却したときに、どのような組織が得られるか。冷却に従いおこる組織変化を説明し、得られる組織を模式的に示せ。



第 18 問

物質の創成では熱力学を用いた物質の安定相存在条件などの検討が行われる。

- (1) 熱力学の第一法則、および熱力学の第二法則について説明せよ。
- (2) 物質の安定相を知るために、化学ポテンシャル図が用いられる。図は金属元素Mと酸素、硫黄からなる M-O-S 系の 1000℃での化学ポテンシャル図である。横軸および縦軸の P_{O_2} 、 P_{S_2} は O_2 、 S_2 ガスの分圧である。気体定数は 8.31J/molK である。
 - (a) 図上の線[A], [B], [C] でおこる化学反応を示せ。
 - (b) 化合物 MO , MS_2 の 1000℃での標準生成 Gibbs 自由エネルギーを求めよ。
 - (c) 図上の点[D] では三相が平衡しており、この点での O_2 、および S_2 ガスの分圧はある一定値となる。このことを、相律を用いて説明せよ。
 - (d) 線[B] の傾きを、[B]でおこる化学反応より求めよ。傾きは $\log (P_{S_2}/\text{atm}) = a \cdot \log (P_{O_2}/\text{atm}) + b$ の定数 a のことである。
 - (e) 1200℃では化学ポテンシャル図の線[A] は $\log (P_{S_2}/\text{atm}) = -7.5$ となった。線[A] でおこる化学反応の標準生成エンタルピー、標準生成エントロピーを求めよ。



(s) は固相を示す