

2020年度 編入学者・転入学者選抜学力検査  
専門試験科目問題冊子  
物理工学科

2019年6月21日（金） 10:00～12:00

注意事項

- ・ 4題中2題を選択し解答してください。
- ・ 解答は各問題番号に対応する解答用紙に解答してください。
- ・ 解答用紙はホチキス止めを外して、選択した2題を提出してください。
- ・ 試験終了後、問題用紙と計算用紙は持ち帰ってください。
- ・ 乱丁・落丁あるいは不鮮明な場合には申し出てください。

問題 1 設問すべてについて解答すること。

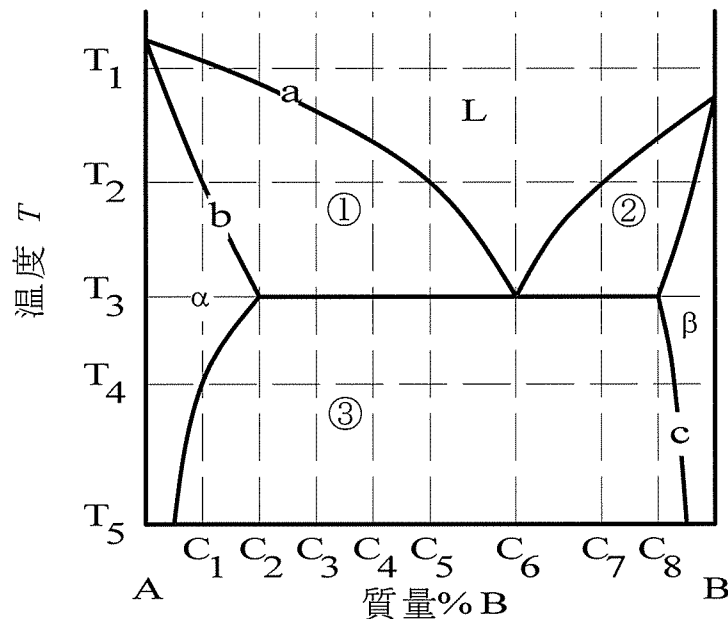
I 下に示す平衡状態図を見て、次の(1)~(4)の問いについて答えよ。

(1) 記号 a, b および c で表される線の名称をそれぞれ答えよ。

(2) ①で表される領域では、どのような相が平衡状態にて存在しているか。また、合金組成が  $C_2$  であるとき、温度  $T_2$  における各相の割合を図中の記号を使って表せ。さらに、その時の各相の組成を図中の記号を使って表せ。

(3)  $C_7$  の組成をもつ合金を温度  $T_1$  からゆっくりと冷却した。組織変化の概要を、図を描いて説明せよ。

(4)  $C_1$  の組成をもつ合金を温度  $T_3$  から温度  $T_5$  に急冷した。温度  $T_5$  では、どのような組織になっていると予想されるか。また、この現象を利用した金属材料の強化方法について説明せよ。



II 次の文章を読み、(1)~(3)の問いについて答えよ。

(1) 一般的な金属材料の応力-ひずみ曲線の概形を描け。また、描いた図中に降伏点、耐力、引張強さ、破断応力などの応力-ひずみ曲線を理解する上で必要な情報を加えよ。

(2) 多結晶材料の結晶粒を小さくすると、強度が向上する。このことを表すホールペッチの式を示せ。用いた記号も説明すること。また、結晶粒を小さくする方法を説明せよ。

(3) 共析鋼において、共析反応が生じる熱処理とマルテンサイト変態が生じる熱処理について、各々の違いを説明しなさい。

問題2 設問すべてについて解答すること。

I 次の文章を読み、以下の(1)～(6)の問いに答えよ。

溶鉱炉は15世紀頃ライン河上流地方で出現して以来現在まで、製鉄法における最も重要な製錬炉として発展してきた。主原料である塊成鉱\*と石灰石を混合した鉱石類と、還元剤であり熱源でもあるコークスを炉上部より層状に装入する。これに対して炉下部羽口より熱風を吹き込み、コークス(C)はCOとCO<sub>2</sub>に燃焼して、大量の還元性高温ガスとなって上方に流れる。炉内では炉上部より装入物は次第に下降し、高温還元性ガスとの反応により炉下部に溶鉄\*\*となって溜まる。この溶鉱炉の安定操業はC+CO<sub>2</sub>=2COの反応によるCOおよびCO<sub>2</sub>分圧の制御が重要となる。

\* : 鉄鉱石を焼結して塊状にしたもの      \*\* : 炭素濃度が約4%の溶鉄

(1) 文章中の溶鉱炉のことを何と言うか答えよ。

(2) C+CO<sub>2</sub>=2COの反応を何と言うか答えよ。また、相律よりこの反応の自由度を求めよ。

(3) C+CO<sub>2</sub>=2COの標準自由エネルギー変化 $\Delta G^0$ を求めよ。ここで、 $T$ は温度である。

$$\text{ただし, } C + \frac{1}{2}O_2 = CO \quad \Delta G_1^0 = -111700 - 87.65T \text{ [J/mol]}$$

$$C + O_2 = CO_2 \quad \Delta G_2^0 = -394000 - 0.8T \text{ [J/mol]}$$

(4) 平衡定数を $K_p$ として、温度の関数として求めよ。ただし、気体定数は8.3J/(mol·K)とする。

(5) 炉内の全圧 $P$ が $P = P_{CO} + P_{CO_2}$ の場合、 $P_{CO} = xP$ とすると、 $x$ 、 $K_p$ 、 $P$ の関係を求めよ。

(6)  $P=1\text{atm}$ の場合、ある温度で $K_p$ の値が $0.0111\dots\left(=\frac{1}{90}\right)$ となった。このときの $P_{CO}$ と $P_{CO_2}$ を求めよ。また、 $P=10\text{atm}$ としたときに、この $P_{CO}$ と $P_{CO_2}$ になる $K_p$ を求めよ。

II 水素の液体金属中への溶解について次の(1)～(4)の問いに答えよ。

(1) 一般に、気体は液体金属中に溶け込むと原子となって存在する。この反応の化学反応式を書け。

(2) 液体金属中水素濃度を[ $\text{mass\%H}$ ]、気相中水素分圧を $P_{H_2}$ として、この反応の平衡定数を書け。

(3) 水素分圧 1 atm 下における溶融銅中の水素の平衡溶解量は 1473K で 6.0ppm である。同じ温度(1473K)で水素分圧が 0.005 atm のときの水素溶解量を求めよ。

(4) 金属中に溶解込むほとんどの 2 原子分子に対して成り立つ平衡関係を何と言うか答えよ。

III ごく一部の貴金属を除いて、ほとんどすべての金属および合金は大気中で、表面は薄い酸化皮膜に覆われている。温度が高くなると、酸化皮膜の厚さを増すが、酸化皮膜が緻密か否かで酸化進行の様子が異なり、温度一定では以下に示すような速度式のいずれかにしたがって皮膜の厚さ  $x$  が増加する。

直線則  $x = kt$

放物線則  $x^2 = kt$

3 乗則  $x^3 = kt$

ここで、 $k$  は速度定数、 $t$  は時間を表す。

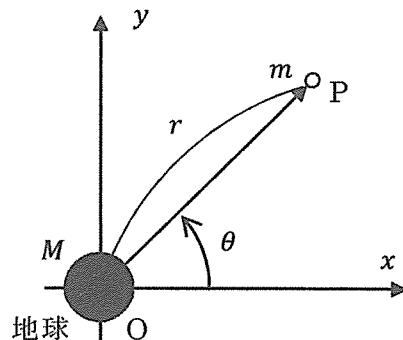
等温下の Ni の酸化について得られた酸化被膜量のデータから、酸化皮膜厚さが直線、放物線あるいは 3 乗の速度則のどれに適合するかを調べ、酸化皮膜 NiO の成長速度定数  $k$  を求めよ。ただし、NiO の密度は  $7.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  であるとする。

時間[s]	酸化皮膜量[ $\text{kg/m}^2$ ]
$3.6 \times 10^3$	$6.2 \times 10^{-3}$
$7.2 \times 10^3$	$8.9 \times 10^{-3}$
$1.08 \times 10^4$	$10.9 \times 10^{-3}$
$1.44 \times 10^4$	$12.6 \times 10^{-3}$

**問題3** 設問すべてについて解答すること。

解答に必要な物理量が問題文中で与えられてない場合は、解答中で適宜定義して用いよ。

I 地球からの万有引力を受けて宇宙空間を移動する宇宙船Pの運動を考える。地球は質量 $M$ の一様な球とみなせ、中心が原点 $O$ に静止しているとする(公転・自転の影響は考えない)。宇宙船Pは質量 $m$ の質点とみなせるとし、地球からの万有引力以外の力は考えない。地球の中心を原点 $O$ として右図のように $x$ 軸、 $y$ 軸を取る。宇宙船Pは $xy$ 面内を運動するとし、地球の中心と宇宙船の距離を $r$ (動径の長さ)、 $x$ 軸から測った宇宙船Pの方位を $\theta$ (偏角)として、次の(1)~(6)の問いについて答えよ。万有引力定数は $G$ とする。



まず、宇宙船Pが地球のまわりを等速円運動している場合を考える。

- (1) 宇宙船Pの $x$ 座標、 $y$ 座標を $r$ と $\theta$ で表せ。
- (2) 宇宙船Pの速度の $x$ 成分、 $y$ 成分を、 $r$ と $\theta$ 、および、それらの時間微分のうちで必要なものを使って表せ。
- (3) 宇宙船Pが速さ $v_0$ で反時計回りに周回している場合について、軌道半径と、原点まわりの角速度および角運動量を求め、 $G, M, m, v_0$ のうちで必要なものを使って表せ。

次に、宇宙船Pを円軌道の接線方向に加速して円軌道から離脱させる。加速終了後の宇宙船Pの運動について以下の問いに答えよ。加速の際の宇宙船Pの質量の低下は無視する。

- (4) 宇宙船Pの速度の $x$ 成分、 $y$ 成分を、 $r$ と $\theta$ 、および、それらの時間微分のうちで必要なものを使って表せ。
- (5) 宇宙船Pの原点まわりの角運動量 $h$ を、宇宙船Pの質量 $m$ と、 $r$ 、 $\theta$ 、および、それらの時間微分のうちで必要なものを使って表せ。
- (6) 宇宙船Pの力学的エネルギーを、 $x$ 、 $y$ 、 $\theta$ 、および、これらの時間微分を使わずに表せ。万有引力ポテンシャルは無限遠で0とする。

II ビリヤードの球をキューで突くことを考える。球は質量 $M$ 、半径 $a$ の一様な剛体球として取り扱う。台は平坦な水平面であり、ボールと台の間の動摩擦係数を $\mu'$ として、(1)～(4)の問いについて答えよ。重力加速度は $g$ とする。

(1) 球の中心まわりの慣性モーメントが $2Ma^2/5$ であることを示せ。

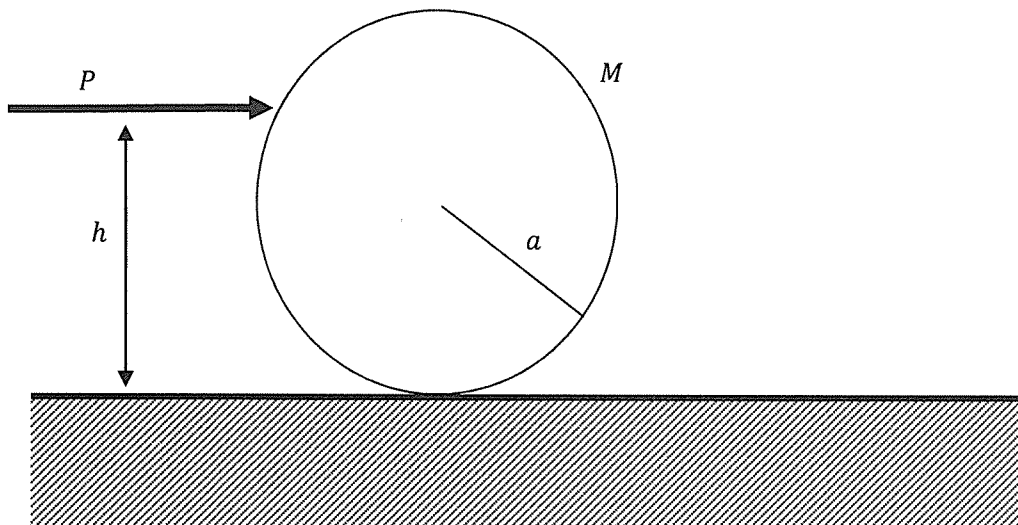
台の上で球を静止させ、台から高さ $h$ の位置をキューで突いて球の中心を通る鉛直面内で水平方向に撃力を加える。このときの力積を $P$ とする。

(2) 球が滑らず転がるための $h$ の条件を求めよ。解答では、条件を導出するさいに使った関係式を明記すること。

球を突く高さ $h$ が $h > a$ で、かつ、(2)の条件を満たさずすべりながら転がるとする。

(3) 球を突いた直後の、台と接している球上の点の速度を求めよ。

(4) 球の運動方程式を立ててそれを解き、球を突いてから滑りが止まるまでの時間を求めよ。必要があれば、場合分けすること。台は十分に広く、すべりが止まるまで球が外枠に衝突することはないものとする。



問題4 設問すべてについて解答すること。

I 次の文章の空欄(1)～(16)に適切な語句と式を入れて文章を完成させよ。太字の記号はベクトルであることに注意し、文中に与えられた記号のみを用い適宜ベクトル表記や成分表記で解答すること。また、内積、外積の記号はそれぞれ、 $\cdot$ ,  $\times$ を用いること。

電荷 $e(e > 0)$  [C] を持つ質量 $m$  [kg] の荷電粒子が電場 $\mathbf{E}$  [V/m] または磁場 $\mathbf{B}$  [T] の影響を受け真空中を運動している。重力や地磁気の影響は無視できるとする。図1のように原点 $O = (0, 0, 0)$ ならびに $xyz$ 軸をとる。(なお紙面裏から表向きを $z$ 軸正とする。) 微小幅 $d$  [m] のギャップ領域 $D_0$  ( $-d/2 \leq y \leq d/2$ ) に一様な電場 $\mathbf{E} = (0, E, 0)$  [V/m], 領域 $D_1$  ( $y > d/2$ ), 領域 $D_2$  ( $y < -d/2$ ) に磁束密度 $\mathbf{B} = (0, 0, B)$  [T] の一様な磁場をかけた。簡単のため、電場と磁場が同時に存在する領域はないとする。いま、荷電粒子を時刻 $t_0 = 0$ で点 $\mathbf{Q}_0 = (0, -d/2, 0)$  [m] に静かに置いた。荷電粒子は電場により加速度 $\mathbf{a}_1 =$  (1) [m/s<sup>2</sup>] で加速され、 $\mathbf{Q}_1 = (0, d/2, 0)$ において時刻 $t_1 =$  (2) [s], 速度 $\mathbf{v}_1 =$  (3) [m/s] で $D_1$ の領域へ入った。荷電粒子は $D_1$ 内で $|\mathbf{v}_2| (= |\mathbf{v}_1|)$ と等速のまま進行方向を変え移動した。つまり、磁場 $\mathbf{B}$ により $\mathbf{F}_2 =$  (4) [N]の力を受け、半径 $R_1 =$  (5) [m]の円運動し、時刻 $t_2$ で座標 $\mathbf{Q}_2 =$  (6) [m]から再び領域 $D_0$ に入った。このとき領域 $D_1$ 内にいた時間は、 $t_2 - t_1 =$  (7) [s]である。また、磁場が荷電粒子にした仕事は $W_2 =$  (8) [J]である。

時刻 $t_1 \sim t_2$ 間で、領域 $D_0$ の電場は $\mathbf{E} = (0, -E, 0)$  [V/m]となった。荷電粒子は領域 $D_0$ で再び電場から力を受け、 $\mathbf{Q}_3 =$  (9) [m]において速度 $\mathbf{v}_3 =$  (10) [m/s]で領域 $D_2$ に入った。領域 $D_2$ では再び磁場による力を受け、 $\mathbf{Q}_4 =$  (11) [m], 時刻 $t_4 =$  (12) [s]において、領域 $D_0$ に戻った。

このように電場を変化させると領域 $D_0$ を $n$ 回通過後の荷電粒子の速度は、(13) [m/s]となる。また、そのときの半径 $R_n$ と $R_1$ の比は、 $R_n/R_1 =$  (14) となる。つまり微小幅 $d$ が十分に小さく荷電粒子の領域 $D_0$ 通過時間が無視できれば、周期 $T =$  (15) [s]の交流電場を領域 $D_0$ にかけると荷電粒子が加速されると考えられる。このような原理で荷電粒子を加速する装置は、20世紀前半アーネスト・ローレンスの基礎理論から実用化され、(16) と呼ばれる。

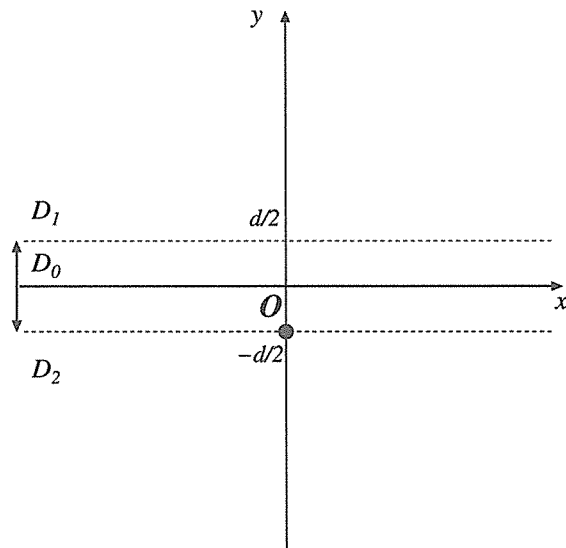


図1 ( $z$ 軸は紙面裏から表向きを正とする。)

II Iの結果を踏まえ、以下の設問に答えよ。

(1) 時刻 $t_0 \sim t_4$ までの軌道を $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, R_1, R_2$ を明示し図示せよ。 $(R_2$ は領域 $D_0$ を2回通過後の円運動の半径。)

(2) 電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$  [C]をもつ水素イオン(陽子)を光速の1/4まで加速した際の軌道半径と1周に要する所要時間を計算して求めよ。ただし、磁束密度 $B = 1.0$  [T]、光速 $c = 3.0 \times 10^8$  [m/s]、陽子の質量 $m = 1.7 \times 10^{-27}$  [kg]、 $\pi = 3.14$ とし、特殊相対性理論の影響は考えないものとする。