

**令和6年度
AO入試問題集
(理学部)**

公表期限：2027年3月末

東北大学アドミッション機構

東北大学 理学部 数学系 AO入試 II期

数学問題

解答提出時刻：12時30分

注意

1. 解答用紙は4枚ある。
2. すべての解答用紙の上部に、氏名、受験番号を記入し、問題番号の書かれた解答用紙に対応する問題の解答をすること。解答用紙は裏面を使用しても差し支えない。1問の解答を1枚の解答用紙に書ききれない場合は、予備の解答用紙を配布するので、試験監督に申し出ること。
3. 白紙の場合でも、各問の解答用紙を提出すること。
4. 計算用紙が必要な場合は、試験監督に申し出ること。
5. 問題について質問のあるときは、試験監督に申し出ること。
6. 電卓などは使用しないこと。
7. 携帯電話、スマートフォン、タブレット等の電子通信機器は電源を切り、かばんに入れること。

1 n を 3 以上の整数とする. 1 から n までの数字が 1 つずつ書かれた n 枚のカードが袋に入っている. 袋から 1 枚のカードを取り出す試行を 4 回行う. ただし, 取り出すたびにカードは袋へ戻す. 整数 $k = 2, 3, 4$ に対して, k 回目に取り出したカードの数字がそれ以前に取り出したどのカードの数字よりも大きくなる事象を A_k^n とおく. つまり, k 回目に取り出したカードの数字を X_k とおくと, $1 \leq \ell \leq k-1$ を満たすような ℓ に対しても $X_k > X_\ell$ となる事象を A_k^n とする. このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) 整数 i, j が $2 \leq i < j \leq n$ を満たすとき, 事象 $X_2 = i$ かつ事象 $X_4 = j$ かつ $A_2^n \cap A_4^n$ が起こる場合の数を i, j を用いて表せ.
- (2) 確率 $P(A_2^n \cap A_4^n)$ を求めよ.
- (3) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} P(A_2^n \cap A_4^n)$ を求めよ.

2 座標平面上の点 $(a, 0)$ と点 $(0, b)$ が $(a+1)b = 2$, $1 \leq a \leq 2$ を満たしながら動くとき、点 $(a, 0)$ と点 $(0, b)$ を結ぶ線分の通過する範囲を求め、座標平面に図示せよ。

3 すべての実数 x において, 2つの関数 $u(x)$, $f(x)$ は微分可能であり, その導関数 $u'(x)$, $f'(x)$ も微分可能であり, 3つの関数 $h(x)$, $u''(x)$, $f''(x)$ は連続であるとする. さらに, これらの関数は以下を満たすとする.

$$u''(x) + h(x)u(x) = 0 \quad (0 \leq x \leq 1)$$

$$0 < f(x) < u(x) \quad (0 < x < 1)$$

$$u(0) = u(1) = 0$$

$$f(0) = f(1) = 0$$

$$h(x) > 0 \quad (0 \leq x \leq 1)$$

$-1 < t < 1$ を満たす実数 t に対して, 3つの関数 $N(t)$, $D(t)$, $R(t)$ をそれぞれ次で定める.

$$N(t) = \int_0^1 (u'(x) + tf'(x))^2 dx$$

$$D(t) = \int_0^1 h(x)(u(x) + tf(x))^2 dx$$

$$R(t) = \frac{N(t)}{D(t)}$$

このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) $R(0)$ の値を求めよ.
- (2) $R'(0)$ の値を求めよ.
- (3) $f(x) = xu(x)$ のとき, $R''(0) > 0$ であることを証明せよ.

4 等式 $x^2 + y^2 + z^2 - 3xyz = 0$ を満たす正の整数の組 (x, y, z) は無限個あることを証明せよ.

東北大学理学部物理系 AO 入試 II 期

物理 課題 1

試験時間 9:15～10:15

注意

- ・問題用紙 4 枚 (表紙を含め 5 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

課題 1

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 図1のように点Cを中心とする半径 R の半円形に内面をくり抜いた台 (質量 M) を水平な床の上に置き、固定具を使って台が床の上で動かないように固定した。台内面の左端に、大きさが無視できる質量 m ($m < M$) の小球を置いて静かに放すと、小球は運動を始め、台内面の右端まで到達した。小球と台内面の間の摩擦は無視でき、小球と台は紙面に平行な面内でのみ運動できるものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

- (1) 図1のように、台内面の最下点Pから角度 θ の位置にある点をQとする。点Qでの小球の速さ v_Q を、 m, g, R, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 点Qにおいて小球が台から受ける垂直抗力の大きさ N を、 m, g, θ を用いて表せ。

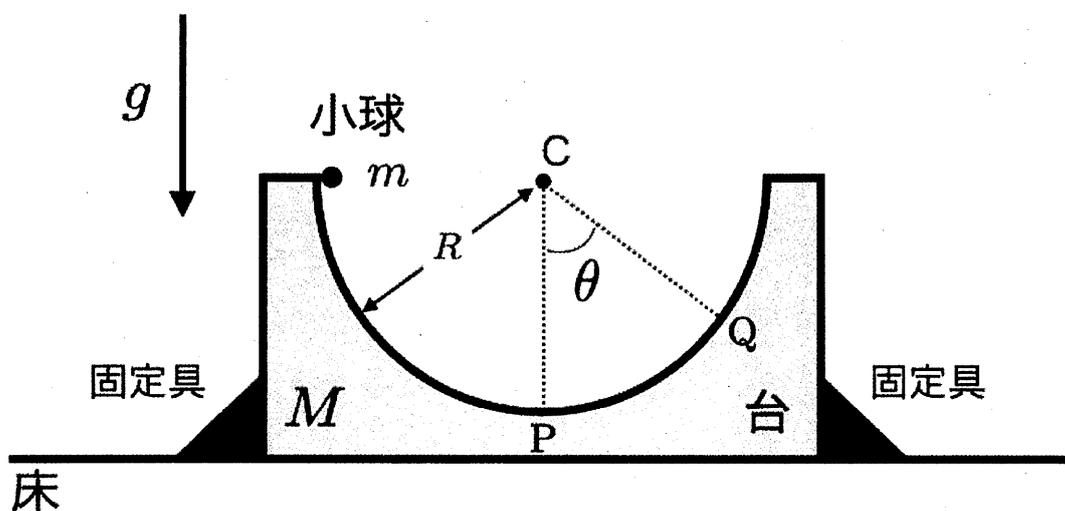


図 1

(次ページにつづく)

図2のように、台から固定具を外し、一方の端が壁に固定された糸のもう一方の端を、糸がゆるんだ状態で台の右側に固定した。糸は伸び縮みせず、糸の重さも無視できる。また、台と床の間の摩擦は無視でき、台は床から浮くことはない。台内面の左端に小球を置き、静かに放すと小球は運動を始め、最下点Pに到達した。

(3) 小球が最下点Pに達したとき、糸はゆるんだままの状態であり、小球は床に対して水平方向右向きに速さ v_1 、台は水平方向左向きに速さ V_1 で運動していた。 V_1 を、 m 、 M 、 v_1 を用いて表せ。

(4) 小球の速さ v_1 を、 m 、 M 、 g 、 R を用いて表せ。

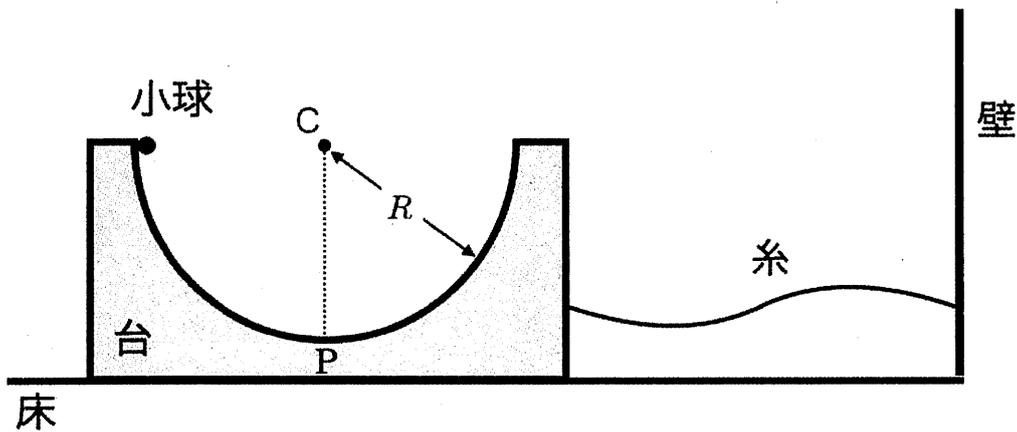


図2

(次ページにつづく)

次に、小球を置く前に台の位置を調節したところ、台内面の左端から小球を静かに放した後、図3のように、小球が最下点Pに到達したときにちょうど糸が張った。すると、糸が張ることによって台が床から浮くことなく、台に対して撃力が水平方向に加わった。撃力が加わった瞬間に、小球の速さは問(4)で求めた v_1 のまま変化せず、台と小球全体のエネルギーが失われることもないとする。撃力が加わった後、小球は右方向に向かって台内面に沿って登り、図4のように台が壁に衝突する前に、最下点Pから高さ h_{\max} となる最高点に達した。そのときの台の速さを V_2 とする。

- (5) 台にはたらく撃力による力積の大きさ I を、 M, V_1 を用いて表せ。
- (6) 小球が最高点に達したときの台の速さ V_2 を、 m, M, v_1 を用いて表せ。
- (7) 小球が最高点に達したときの高さ h_{\max} を、 m, M, g, R の中から必要なものを用いて表せ。

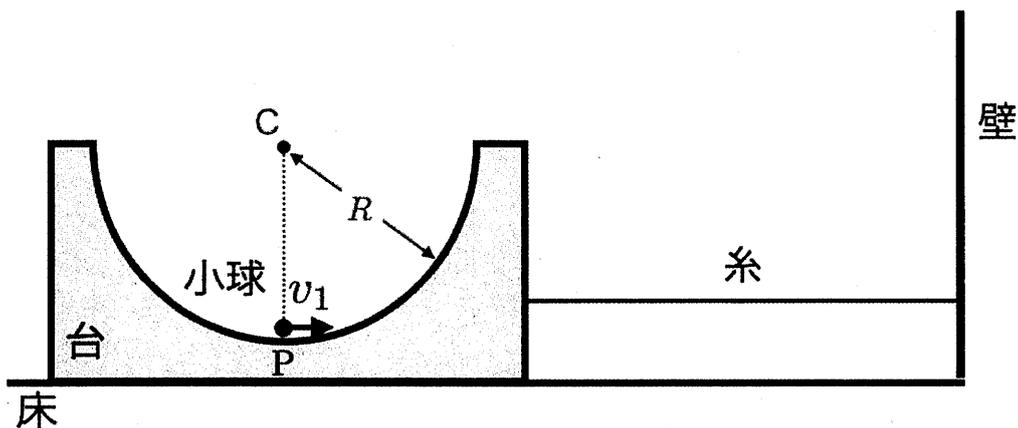


図3

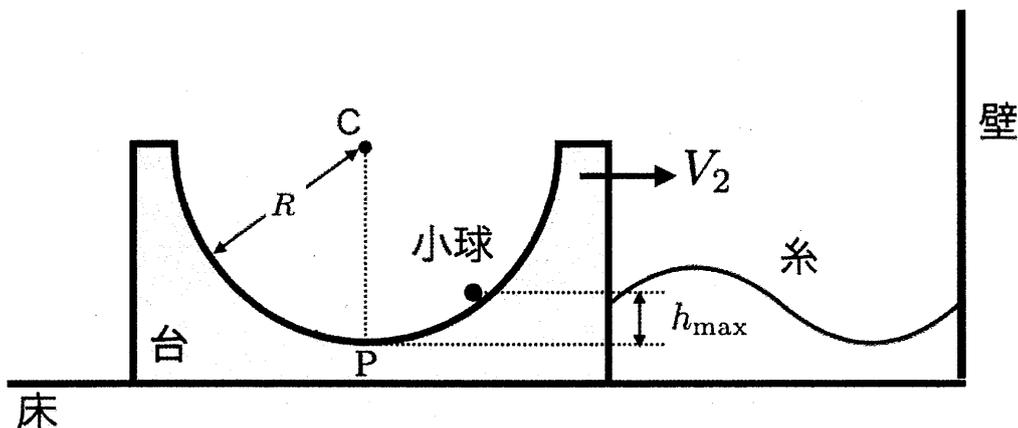


図4

問 2 図 5 のように、水平に対して角度 θ をなす十分に長い斜面がある。斜面上の点 O を原点として、斜面に沿って上向きに x 軸、斜面に対して垂直に y 軸をとる。大きさが無視できる質量 m の小球を、時刻 $t=0$ に、点 O から初速度 $\vec{v}_0 = (v_{0x}, v_{0y})$ で発射した。小球は図 5 に示すような軌跡を描いて、斜面との衝突をくり返しながら運動した。小球と斜面の衝突は反発係数 e の非弾性衝突であるとする。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。

- (1) 小球が発射されてから 1 回目に斜面に衝突するまでの運動について考える。
 - (a) 小球の加速度 $\vec{a} = (a_x, a_y)$ を、 m, g, θ の中から必要なものを用いて表せ。
 - (b) 時刻 t における小球の速度 $\vec{v}(t) = (v_x(t), v_y(t))$ と位置 $\vec{r}(t) = (x(t), y(t))$ を、それぞれ $m, g, \theta, v_{0x}, v_{0y}, t$ の中から必要なものを用いて表せ。
 - (c) 小球が 1 回目に斜面に衝突する時刻 t_1 およびそのときの x 座標 x_1 を、それぞれ $m, g, \theta, v_{0x}, v_{0y}$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 小球が n 回目 ($n = 1, 2, 3, \dots$) に斜面に衝突してはね返った直後の速度を、 $\vec{v}_n = (v_{nx}, v_{ny})$ とする。
 - (a) $\vec{v}_1 = (v_{1x}, v_{1y})$ を、 $m, g, \theta, v_{0x}, v_{0y}, e$ の中から必要なものを用いて表せ。
 - (b) \vec{v}_{n+1} と \vec{v}_n のあいだに成り立つ関係式 (漸化式) を考えることによって、 $\vec{v}_n = (v_{nx}, v_{ny})$ を、 $m, g, \theta, v_{0x}, v_{0y}, e, n$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) $\theta = 30^\circ$ かつ、 \vec{v}_0 が斜面となす角度も 30° であったとする。図 5 のように、小球が斜面と衝突する点すべての中で、2 回目に衝突した点が最も高い位置となるために、反発係数 e が満たすべき条件を求めよ。

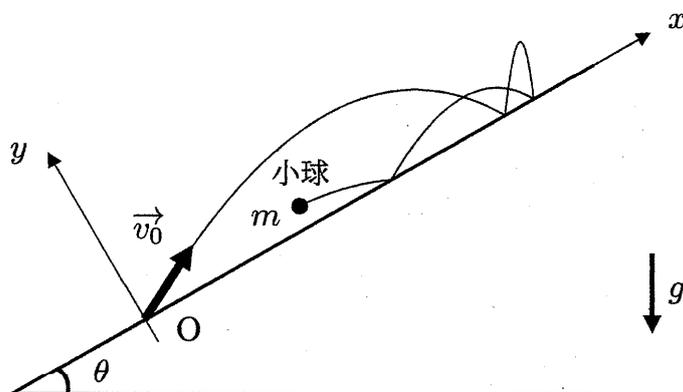


図 5

東北大学理学部物理系 AO 入試 II 期

物理 課題 2

試験時間 10:40～11:40

注意

- ・問題用紙 4 枚 (表紙を含め 5 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

課題 2

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 クーロンの法則の比例定数を k として、以下の問いに答えよ。

- (1) 静電気力に関する以下の文章の空欄 (ア) ~ (オ) に適当な語句や数式を入れて文章を完成させよ。

静電気力に関するクーロンの法則を理解するうえで、電気力線概念は有用である。電気力線は (ア) の電荷から出て、(イ) の電荷に入り、途中で分けたり交わったりすることはない。(ア) の電荷のみが存在する場合は、電気力線は無遠慮に向かう。電気力線は電場と (ウ) 向きをもつ。電場の大きさ E は、電場に (エ) な面の単位面積を通過する電気力線の本数で表される。(ア) の電荷の集まりから出る電気力線の本数 N は、電荷の総量を q とするとき、 $N =$ (オ) である。電気力線と電場の概念は、点電荷の場合だけでなく、広がりのある電荷分布についても一般的に成り立つ。

- (2) 図 1 のように、電気量 q ($q > 0$) の電荷を帯びた半径 a の導体球がある。問 (1) の問題文中の下線部の考え方をういて、導体球の中心から距離 r ($r > a$) 離れた位置における電場の大きさ E を、 q, a, r, k の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) 図 2 のように、問 (2) の導体球を導体球殻で覆う。導体球の中心と導体球殻の中心は一致している。導体球殻の内半径は b 、外半径は c とし、導体球殻全体の電気量は 0 とする。
- (a) 導体球によって導体球殻の内側の表面に誘導される電荷の総量を、 q, a, b, c の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 導体球の中心から距離 r 離れた位置における電場の大きさ E を、 q, a, b, c, r, k の中から必要なものを用いて表せ。ただし、解答は、 $r < a, a < r < b, b < r < c, c < r$ の 4 つの場合に分けて記すこと。

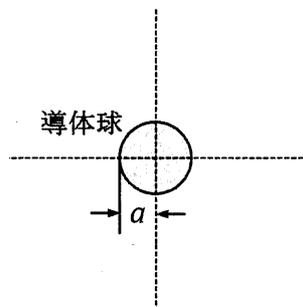


図 1

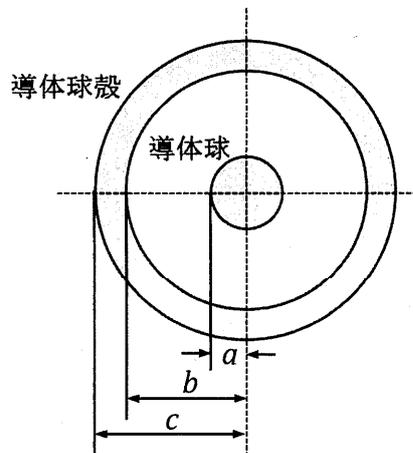


図 2

(次ページにつづく)

(4) 次に、図2の導体球と導体球殻に加えて、微小な電気量 ΔQ ($\Delta Q > 0$) の電荷を持ち、大きさと質量の無視できる荷電粒子が存在する場合について考える。以下の問いに答えよ。

(a) 図2の導体球の電気量は q のままとし、導体球殻には電気量 Q ($Q > 0$) の電荷を与えた。1個の荷電粒子を導体球の中心から距離 r ($r > c$) 離れた位置に置き、外力を加えて導体球の中心に向かって距離 Δr だけゆっくり移動させた。このときの外力がする仕事 ΔW を、 Δr , ΔQ , q , Q , a , b , c , r , k の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 Δr は微小量であり、粒子の移動にともなう外力の変化は無視してよい。また、 $r - \Delta r > c$ とする。

(b) 導体球と導体球殻に蓄えられる静電エネルギーを U とする。導体球から無限に遠く離れたところから多数の荷電粒子を、1個ずつゆっくりと移動させて導体球殻に加え、導体球殻の電気量を Q から $2Q$ にした。このときの静電エネルギーの変化量 ΔU を、 q , Q , a , b , c , k の中から必要なものを用いて表せ。ただし、荷電粒子が無限に遠く離れたところにあるときの荷電粒子が持つ静電エネルギー、および、導体球殻に加えた荷電粒子による導体球殻の厚さの変化は無視してよい。

問 2 図 3 に示されている X 字型の物体 X は、長さ $\sqrt{2}l$ 、抵抗値 $2R$ の細くて軽い導体棒 2 本をそれぞれの中点において直角に接合して作られている。図 4 のように、2 本の滑らかなレールが水平に間隔 l で平行に配置され、鉛直上向きに磁束密度 B の一様な磁場が加えられている。レールの右端には起電力 V の電池と可変抵抗が接続されており、レールの上には物体 X が、端点 D, E, G, H がレールと接するように置かれている。また、物体 X の中心 F には糸が結ばれており、この糸はレールと平行に伸びて滑車を通り、糸のもう一方の端には質量 m のおもりが取り付けられている。物体 X は取り外し可能なストッパーによって、最初はレールに固定されている。以下では、物体 X はレールから外れずに運動するものとし、糸の重さ、レールの電気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

- (1) 可変抵抗の抵抗値が R のとき、電池の供給電力（電池がする仕事の仕事率）を、 l, R, V の中から必要なものを用いて表せ。ただし、DF, EF, FG, FH がそれぞれひとつの抵抗とみなせることに留意せよ。
- (2) 可変抵抗の抵抗値は R のまま、物体 X のストッパーを外したところ、おもりは静止したままであった。電池の起電力 V を、 B, g, l, m, R を用いて表せ。
- (3) 次に、可変抵抗の抵抗値を $2R$ にしたところ、おもりは下降を始め、十分時間がたつと一定の速さ v で下降するようになった。
 - (a) 導体棒の一部 DF が単位時間に通過する領域の面積 S を、 g, l, m, v の中から必要なものを用いて表せ。
 - (b) D と H のあいだに生じる誘導起電力の大きさを、 B, g, l, m, v の中から必要なものを用いて表せ。
 - (c) 速さ v を、 B, g, l, m, R を用いて表せ。

次に、物体 X から糸を外し、電池を起電力 V' の電池に取り替え、また可変抵抗の抵抗値を R とした。図 5 のようにレールに平行に x 軸をとり、 $x \leq 0$ の領域にのみ磁束密度 B の一様な磁場を、紙面に対して垂直に裏から表向きにかけた。そして、物体 X に外力を加えて一定の速さ v' で x 軸正の方向に動かした。

- (4) 物体 X の中心 F が $x = 0$ にあるとき、外力がする仕事の仕事率 W_1 、可変抵抗および物体 X の消費電力の和 W_2 、および電池の供給電力 W_3 を、それぞれ B, g, l, m, R, v', V' の中から必要なものを用いて表せ。

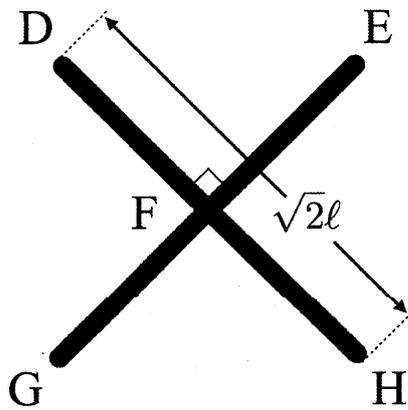


图 3

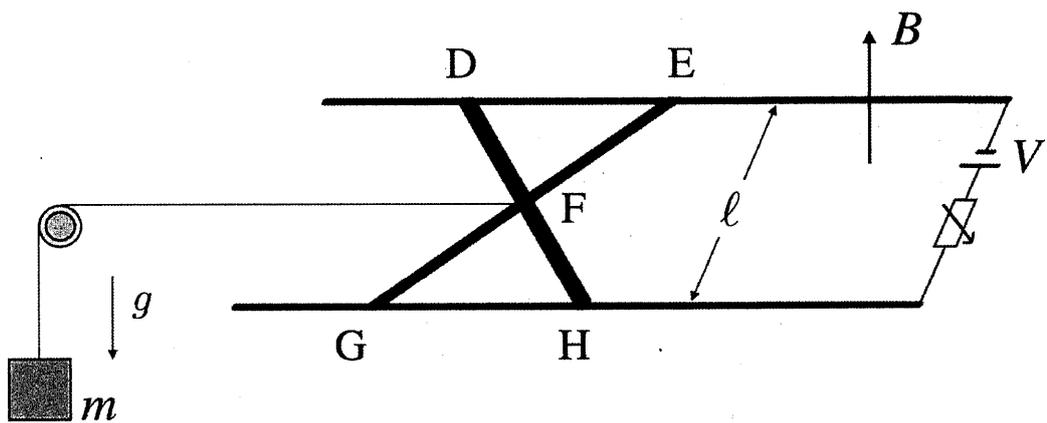


图 4

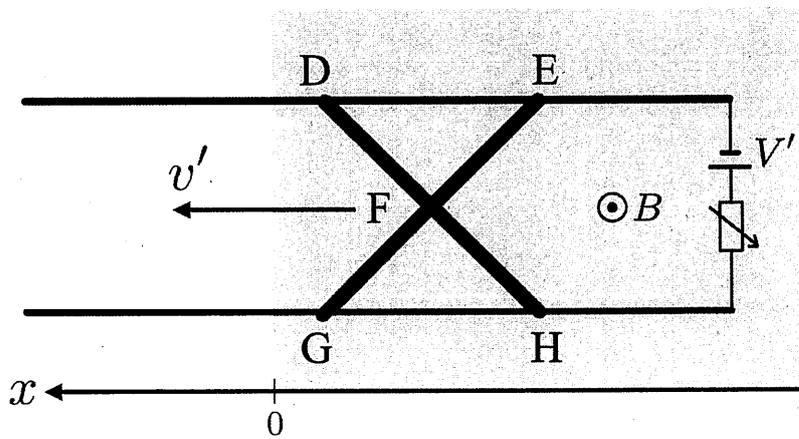


图 5

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

物理 課題 3

試験時間 12:05～13:05

注意

- ・問題用紙 5 枚 (表紙を含め 6 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

課題 3

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 図1のように、単原子分子理想気体 A, B がシリンダー内に入れられ、固定された壁となめらかに動くピストンによって密閉されている。壁の左側の気体 A の物質量は n [mol]、右側の気体 B の物質量は 1 mol である。最初、ピストンは固定されており、気体 A は圧力 P_1 、体積 V_1 、温度 T_A 、気体 B は圧力 P_1 、体積 V_1 、温度 T_B の状態にある。この状態を状態 1 と呼ぶ。ここで $T_A > T_B$ である。

外気圧は P_1 とし、気体定数を R 、単原子分子理想気体の定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ とする。シリンダーとピストンは断熱材で覆われており、シリンダー内の気体と外部の熱のやりとりは無視できるものとする。また、壁も最初は断熱材で覆われており、壁を通しての熱のやりとりもないものとする。断熱材の体積、および、壁、シリンダー、ピストン、断熱材の熱容量は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) T_B を P_1, V_1, R を用いて表せ。
- (2) T_A を n, T_B を用いて表せ。

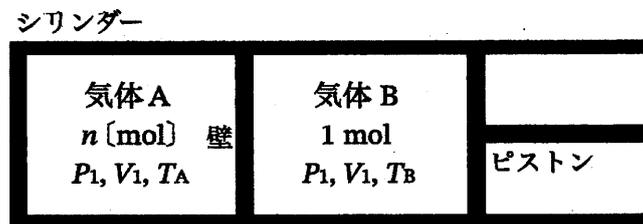


図 1

次に、ピストンの位置を固定したまま気体 A と B の間の壁の断熱材を取り払ったところ、気体 A から気体 B に熱が移動し、図2のように最終的にどちらの気体も同じ温度 T_2 になった。この状態を状態 2 と呼ぶ。

- (3) 状態 2 における温度 T_2 、および、状態 1 から状態 2 への変化において気体 A から気体 B に移動した熱量 Q を、 R, V_1, n, T_B の中から必要なものを用いて表せ。

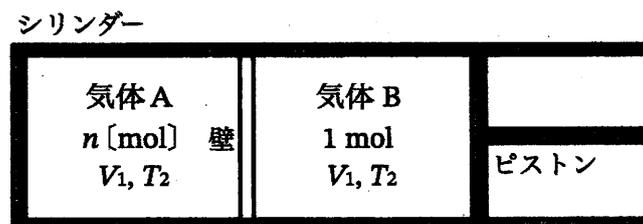


図 2

(次ページにつづく)

次に、気体 A と気体 B の熱平衡を保ったままピストンをゆっくり移動させ、気体 B の圧力が P_1 になるまで気体 B をゆっくり膨張させた。気体 B の圧力が P_1 になった状態を状態 3 と呼ぶ。

- (4) 状態 2 から状態 3 への変化の途中にある気体 B の圧力、体積、温度をそれぞれ P, V, T とし、そこからわずかにピストンを移動させたとき、圧力、体積、温度がそれぞれ微小量 $\Delta P, \Delta V, \Delta T$ だけ変化したとする。また、この微小な変化の間に気体 A から気体 B に移動した熱量を ΔQ とする。このとき、微小な変化に対して、気体 A, B それぞれについて熱力学の第一法則を適用することにより、 $\frac{\Delta V}{\Delta T}$ を n, V, T を用いて表せ。ただし、微小量どうしの積は無視できるものとする。
- (5) 状態 2 から状態 3 への変化の過程において気体 B の温度 T と体積 V の間に、 a と D を定数として $T = DV^a$ の関係が成り立つ。このとき、 $\frac{\Delta T}{T} = a \frac{\Delta V}{V}$ の関係が成り立つことを示し、問 (4) の結果と合わせて a の値を n を用いて表せ。ただし、温度と体積の微小な変化量 $\Delta T, \Delta V$ の大きさはもとの値に比べて十分小さい、すなわち、

$$\left| \frac{\Delta T}{T} \right| \ll 1, \quad \left| \frac{\Delta V}{V} \right| \ll 1$$

である。また、 z, b が実数でかつ $|z| \ll 1$ のとき $(1+z)^b \cong 1+bz$ と近似できることを用いてよい。

- (6) 定積モル比熱 C の理想気体の断熱変化では

$$PV^\gamma = \text{一定}, \quad \gamma = \frac{C+R}{C}$$

となることが知られている。単原子分子理想気体の断熱変化では、 $C = \frac{3}{2}R$ となる。気体 B が状態 2 から状態 3 への変化の過程にある場合においても、定数 C の値を適切に選ぶと、この関係式が成り立つことを示し、そのときの C の値を、 n, R を用いて表せ。また、求めた C の値が単原子分子理想気体の定積モル比熱と比較して大きいか小さいかを、物理的な理由とともに述べよ。

問 2 真空中に図 3 に示すような干渉計があり、そこに波長 λ の単色光が入射する。H1, H2 は光の一部を通し一部を反射する半透明鏡で、M1, M2 は平面鏡である。H1 を通過したのち M1 で反射され、H2 で反射される光の経路を経路 1、H1 で反射され、M2 で反射されたのち H2 を透過する光の経路を経路 2 とする。経路 1、経路 2 を通った光は検出器の位置で干渉を起こす。H1 と M1 の間、および M2 と H2 の間の光の経路は、H1 に入射する光の経路と平行である。また、H1 と M2 の間、および M1 と H2 の間の光の経路は入射光に対して垂直で、その長さはどちらも l である。 l は可変である。以下の問いに答えよ。

まず経路 1 に、屈折率 n ($n > 1$)、厚さ d の板状の物質を、光の進行方向と垂直に挿入した。物質を挿入する前は、経路 1、経路 2 を通って検出器に入る光に光路差はなかった。

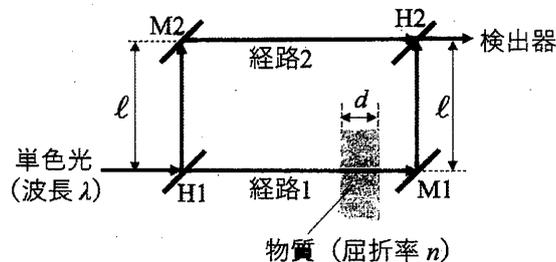


図 3

- (1) 経路 1、経路 2 を通った光が検出器の位置において強め合う条件を、 d , n , λ , および正の整数 m ($m = 1, 2, 3, \dots$) を用いて示せ。

次に、板状の物質を取り除いて、図 4 のように気体を入れた円柱状の容器を、その中心軸が経路 1 と経路 2 に垂直に交わるように置いた。はじめ気体は均一で密度は ρ_0 、屈折率は n_0 であった。容器の直径は s であり、容器の壁の厚さは無視できる。

図 5 のように、容器の上下の端に置いた音源から、疎密波である音波を入射すると定在波が生じた。円柱状の容器の中心軸に平行かつ上向きに x 軸をとる。下側、上側から入射する音波による、気体の密度の ρ_0 からの変化量は時刻 t 、位置 x において、それぞれ $A \cos\left(\frac{2\pi x}{D} - \frac{2\pi t}{T}\right)$, $A \cos\left(\frac{2\pi x}{D} + \frac{2\pi t}{T}\right)$ と表せるとする。 A , T , D はそれぞれ音波の振幅、周期、波長である。 A は可変である。光線は容器の半径や D に比べて十分細いとす。

(次ページにつづく)

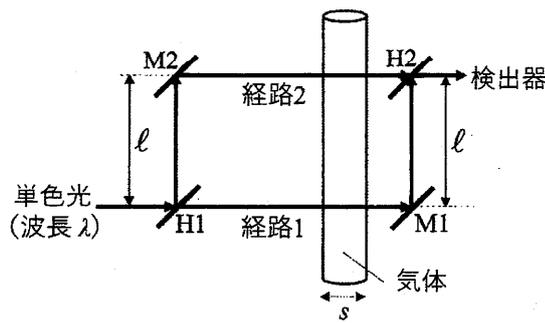


図 4

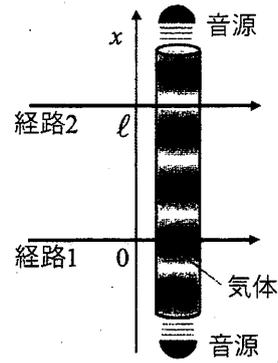


図 5

(2) 定在波による気体の密度の ρ_0 からの変化量 $\Delta\rho(x, t)$ は以下のように書ける。

$$\Delta\rho(x, t) = g(x) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

関数 $g(x)$ を x, A, D を用いて表し、腹と節の位置をそれぞれ D および正の整数 $k (k = 1, 2, 3, \dots)$ を用いて表せ。必要ならば三角関数の加法定理 $\cos(X \pm Y) = \cos X \cos Y \mp \sin X \sin Y$ (複号同順) を用いてよい。

密度変化による気体の屈折率の n_0 からの変化量 $\Delta n(x, t)$ は、 B を定数として $\Delta n(x, t) = B\Delta\rho(x, t)$ と書けるとする。そのため、経路 1、経路 2 の光路長は、光が気体を通る位置 x と時刻 t に依存する。経路 1 は $x = 0$ にあり、経路 2 は $x = l$ の位置にある。また、以下では $\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = 1$ を満たす時刻に光の強度を測定する実験を考える。

(3) 経路 1 の光路長から経路 2 の光路長を引いた光路差 L を、 A, B, D, l, s を用いて表せ。

$l = \frac{D}{2}$ とし、まず音波の振幅 A を 0 として検出される光の強度を測定した。次に A を 0 から少しずつ増やして測定を繰り返したところ、 A の変化にともなって光の強度が変動した。最も明るくなったときを明の状態、最も暗くなったときを暗の状態とする。

(4) 2 回目の暗の状態となった時の振幅 A を、 B, D, s, λ の中から必要なものを用いて表せ。

(次ページにつづく)

次に, A を問 (4) の値に固定し, $l = \frac{D}{2}$ として検出される光の強度を測定した. l を $\frac{D}{2}$ から少しずつ増やして $l = 2D$ になるまで測定を繰り返したところ, l の変化にともなって光の強度が変動した. 最も明るくなったときを明の状態, 最も暗くなったときを暗の状態とする.

(5) 光路差 L の l に対する変化の様子を, l を横軸, L を縦軸にとり, 解答用紙の図に描け. 次に, 経路 2 が定在波の腹を通るような l の位置を同じ図に示せ.

(6) l が $\frac{D}{2} \leq l \leq 2D$ のとき, 暗となる l の値はいくつあるか, 問 (5) の図を用いてその根拠とともに答えよ.

令和6年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 A

令和5年11月4日 (土)

9 : 15 ~ 10 : 30

受験番号 _____

氏名 _____

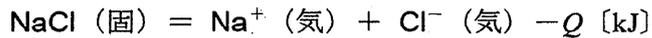
注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子、解答用紙を開かないこと。
2. 試験開始後、全ての問題冊子と解答用紙が揃っているかどうかを確認すること。
なお、本冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. ①から③の問題の解答は、それぞれの解答用紙の指定された箇所に記入すること。
また、解答用紙すべてに受験番号と氏名を記入すること。
4. 計算用紙は、草案や計算のために使用してよいが、裏には書かないこと。
また、用紙は回収するので、受験番号と氏名を記入すること。
5. この問題冊子も回収するので、表紙に受験番号と氏名を記入すること。

(解答用紙 1 に解答せよ)

1 次の文章[I], [II]を読み, 以下の問1から問7に答えよ。

[I] 結晶を, その構成粒子である原子・分子・イオンにまで, ばらばらにするのに必要なエネルギーを ア エネルギーという。例えば, 塩化ナトリウムのイオン結晶の ア エネルギー Q [kJ/mol] は次の熱化学方程式で表される。



一方, イ の法則によれば, 反応熱は反応経路によらず, 反応の初めの状態と終わりの状態で決まる。イ の法則を用いれば, ア エネルギーは, 以下の表に示すよく知られた反応過程を組み合わせて間接的に求めることができる。

熱化学方程式	反応熱またはエネルギーの名称
$\text{Na (固)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2 (\text{気}) = \text{NaCl (固)} + 411 \text{ kJ}$	NaCl (固) の ウ 熱
$\text{Cl}_2 (\text{気}) = 2\text{Cl (気)} - 240 \text{ kJ}$	Cl ₂ (気) の結合エネルギー
$\text{Na (固)} = \text{Na (気)} - 92 \text{ kJ}$	Na (固) の エ 熱
$\text{Na (気)} = \text{Na}^+ (\text{気}) + \text{e}^- - 496 \text{ kJ}$	Na原子の オ エネルギー
$\text{Cl (気)} + \text{e}^- = \text{Cl}^- (\text{気}) + 349 \text{ kJ}$	Cl 原子の カ

問1 ア から カ に最も適する語句または反応熱の名称を書け。

問2 表中に与えられたデータを使い Q [kJ] を求めその数値を書け。単位を書く必要はない。

[II] 図1に示すように、滑らかに動き重さの無視できるピストンがついた容器を考える。大気圧と容器内の圧力は同じに保たれている。初めに、容器内には1.00 mol のメタン CH_4 と2.50 mol の酸素 O_2 の混合気体が入っていたとする。この混合気体を燃焼させたところ、二酸化炭素 CO_2 と水 H_2O および未反応の O_2 のみが得られた。温度 $290 \text{ K} \leq T [\text{K}] \leq 340 \text{ K}$ の範囲において飽和水蒸気圧は、式 $P_{\text{水蒸気}}(T) = 6.00 \times (T - 273)^2 [\text{Pa}]$ で近似できると仮定する。液体の水の体積、および CO_2 と O_2 の液体の水に対する溶解は無視せよ。

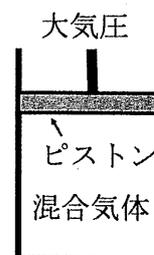


図1

なお、大気圧は $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、気体定数は $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ を用いよ。

問3 燃焼前、300 K における容器内の気体の体積、すなわち燃焼前の混合気体の体積を有効数字3桁で書け。単位も書け。

問4 メタン CH_4 の燃焼の熱化学方程式を考える。



水の蒸発の熱化学方程式 $\text{H}_2\text{O} (\text{液}) = \text{H}_2\text{O} (\text{気}) - 44 \text{ kJ}$ 、および以下の結合エネルギーのデータを使い $Q_{\text{燃焼}} [\text{kJ}]$ を求めその数値を書け。単位を書く必要はない。

結合 (分子)	結合エネルギー [kJ/mol]
C-H (CH_4)	411
O=O	494
C=O (CO_2)	799
O-H (H_2O)	459

問5 燃焼後、300 K における容器内の飽和水蒸気圧を有効数字3桁で書け。単位も書け。

問6 燃焼後、300 K における容器内の体積を有効数字3桁で書け。単位も書け。導出過程を書け。

問7 燃焼後、容器の温度を313 K に保ったとき、容器内に存在する気体の全物質量と体積は、それぞれ $n_1 [\text{mol}]$ および $V_1 [\text{L}]$ であった。一方、燃焼後、温度を333 K に保った場合は、容器内に存在する気体の全物質量と体積は、それぞれ $n_2 [\text{mol}]$ と $V_2 [\text{L}]$ であった。このとき、気体の物質量の間には $n_2 = \boxed{\text{キ}}$ n_1 の関係が得られる。 $\boxed{\text{キ}}$ を V_1 と V_2 を用いて書け。数値の部分は有効数字3桁で書け。導出過程も書け。

(解答用紙 2 に解答せよ)

2 次の文章を読み、以下の問1から問8に答えよ。

硫酸銅(II)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を水に溶かすと、ア色の水溶液となる。この水溶液に^{a)}少量のアンモニア水を加えると沈殿が生じるが、過剰のアンモニア水を加えるとイが生成し、沈殿は再度溶解する。硫酸銅(II)五水和物の固体はア色であるが、 250°C に加熱すると無水物の硫酸銅(II) CuSO_4 が生じる。硫酸銅(II)はウ色であり、水に触れると再び硫酸銅(II)五水和物が生成するため、水の検出に用いられる。銅鉱石から得られる粗銅には、金Au、銀Ag、ニッケルNi、鉄Fe、亜鉛Znが不純物として含まれる。高純度の銅Cuは、^{b)}粗銅の電解精錬により得られる。銅の電解精錬では、純銅板またはステンレス板をエ、粗銅板をオとして用いる。両極を硫酸銅(II)の希硫酸溶液に浸し、 $0.3\sim 0.4\text{V}$ の低電圧で電気分解すると、純銅板またはステンレス板に高純度の銅が析出する。

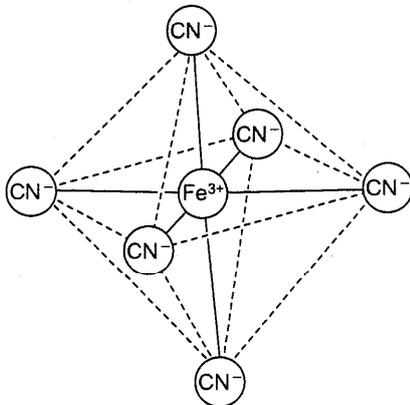
過マンガン酸カリウム KMnO_4 は、水に溶けて過マンガン酸イオン MnO_4^- を含むカ色の水溶液になる。過マンガン酸イオンは酸化剤としてはたらき、酸性溶液中ではマンガン(II)イオン Mn^{2+} に、^{c)}塩基性溶液中では酸化マンガン(IV) MnO_2 になる。マンガン(II)イオンを含む水溶液はキ色であるため、過マンガン酸イオンは酸性条件下における酸化還元滴定の指示薬としても機能する。

問1 文中の空欄 アに入る適切な語句を書け。

問2 下線 a)の化学反応式またはイオン反応式を書け。

問3 文中の空欄 イに入る適切な化学式またはイオン式、およびその名称を書け。また、解答した化学式またはイオン式の立体構造を、下の表記例にしたがい図示せよ。

(表記例)



問4 文中の空欄 に入る適切な語句を書け。

問5 文中の空欄 , に入る適切な語句を書け。

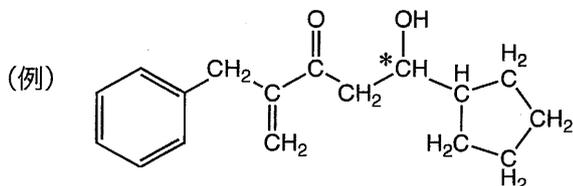
問6 下線 b)に関して、電解精錬により粗銅に不純物として含まれる金、銀、ニッケル、鉄、亜鉛が除去できる理由を簡潔に記述せよ。

問7 文中の空欄 , に入る適切な語句を書け。

問8 下線 c)に関して、過マンガン酸イオンから酸化マンガン(IV)が生じる反応を示す、電子 e^- を含むイオン反応式を書け。

(解答用紙 **3** に解答せよ)

3 次の文章[I]および[II]を読み、以下の問1から問8に答えよ。構造式や不斉炭素原子の表示(*)を求められた場合は、以下の例にならって書け。ただし、鏡像異性体は区別しない。計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。



原子量 H = 1 C = 12 O = 16 Br = 80

[I] ベンゼンは、6個の炭素原子が正六角形の環状に結合し、それぞれの炭素原子に水素原子が結合した構造をもつ、無色で特有のにおいをもつ液体である。また、ベンゼン環の水素原子が他の置換基で置き換えられた化合物も数多く存在する。ベンゼン環の炭素原子に、1つのヒドロキシ基が直接結合した化合物を **ア** という。ベンゼン環の水素原子2個がメチル基で置換された化合物を **イ** という。ベンゼン環の炭素原子に、1つのヒドロキシ基と1つのカルボキシ基がオルト位の位置で結合した化合物を **ウ** という。現在 **ア** は、**エ** という方法で工業的に生産されている。

問1 文中の空欄 **ア** から **エ** に入る適切な語句を書け。

問2 **ア** に関する次の(a)から(e)の説明のうち正しいものを全て選び、解答欄の記号を○で囲め。

- (a) ナトリウムと反応して水素を発生する。
- (b) 水溶液中で安息香酸よりも強い酸性を示す。
- (c) 塩化鉄(III)水溶液を加えると、黄色の呈色反応を示す。
- (d) 酸化すると安息香酸が生成する。
- (e) 臭素水を十分に加えると、白色沈殿を生じる。

問3 ベンゼン環の水素原子が2つのメチル基と1つのヒドロキシ基で置換された化合物について、可能な異性体の数を書け。

[II] 分子式が $C_{28}H_{30}O_8$ で表される化合物 **A** がある。化合物 **A** は 1 つのベンゼン環と 2 つの不斉炭素原子をもつ。化合物 **A** について以下の実験 1 から実験 10 を行った。

実験 1 化合物 **A** を水酸化ナトリウム水溶液中で加熱した後、希塩酸で処理すると、分子式が $C_8H_6O_6$ の化合物 **B**、分子式が C_5H_8O の化合物 **C**、分子式が $C_5H_8O_2$ の化合物 **D** が 1:2:2 の割合で得られた。

実験 2 化合物 **C** と **D** はそれぞれ不斉炭素原子を 1 つもっていた。

実験 3 化合物 **C** は銀鏡反応を示した。

実験 4 化合物 **C** を適切な酸化剤で酸化すると、化合物 **D** が得られた。

実験 5 化合物 **C** を臭素と反応させると、分子量が 160 増加した化合物 **E** が得られた。化合物 **E** は不斉炭素原子を 2 つもっていた。

実験 6 化合物 **B** に無水酢酸を作用させると、化合物 **F** と化合物 **G** が 1:2 の割合で得られた。この際、化合物 **F** は化合物 **B** に対して、分子量が 84 増加していた。

実験 7 化合物 **F** を加熱すると、分子量が 18 減少した化合物 **H** が得られた。

実験 8 化合物 **A** を適切な触媒の存在下で水素と反応させると、分子量が 12 増加した化合物 **I** が得られた。

実験 9 適切な条件下で、化合物 **A** のベンゼン環の水素原子の 1 つを臭素原子で置き換えたところ、得られた化合物の異性体の数は 1 つであった。

実験 10 適切な機器分析を行ったところ、化合物 **A** はベンゼン環の水素原子が隣り合っていない構造であることがわかった。

問 4 化合物 **C** の構造式を書け。不斉炭素原子には、*をつけて表せ。

問 5 化合物 **C** の異性体の中で、以下の条件をすべて満たすものの構造式をすべて書け。フェーリング液を還元する。不斉炭素原子をもたない。環状構造をもつ。

問 6 化合物 **G** の構造式を書け。不斉炭素原子をもつ場合には、*をつけて表せ。

問 7 化合物 **H** の構造式を書け。不斉炭素原子をもつ場合には、*をつけて表せ。

問 8 化合物 **I** の構造式を書け。不斉炭素原子をもつ場合には、*をつけて表せ。

令和6年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 B

令和5年11月4日 (土)

11:00~11:50

受験番号 _____

氏名 _____

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子、解答用紙を開かないこと。
2. 試験開始後、全ての問題冊子と解答用紙が揃っているかどうかを確認すること。
なお、本冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 4及び5の問題の解答は、それぞれの解答用紙の指定された箇所に記入すること。
また、解答用紙すべてに受験番号と氏名を記入すること。
4. 計算用紙は、草案や計算のために使用してよいが、裏には書かないこと。
また、用紙は回収するので、受験番号と氏名を記入すること。
5. この問題冊子も回収するので、表紙に受験番号と氏名を記入すること。

(解答用紙 **4** に解答せよ)

4 溶液に関する以下の文章〔I〕,〔II〕を読み,問1から問8に答えよ。

〔I〕 不揮発性物質を溶かした希薄な溶液では,純溶媒に比べて蒸発する溶媒分子の数が減少する。このため,同温の純溶媒に比べて希薄溶液の蒸気圧は低くなる。この現象が蒸気圧降下である。

図1は水 1.00 kg に 0.100 molのスクロースを溶かした水溶液 A, 水 1.00 kg に 0.080 molの塩化ナトリウムを溶かした水溶液 B, および純水 C のそれぞれの蒸気圧と温度の関係を模式的に示したものである。ただし,塩化ナトリウムは完全に電離しているものとする。

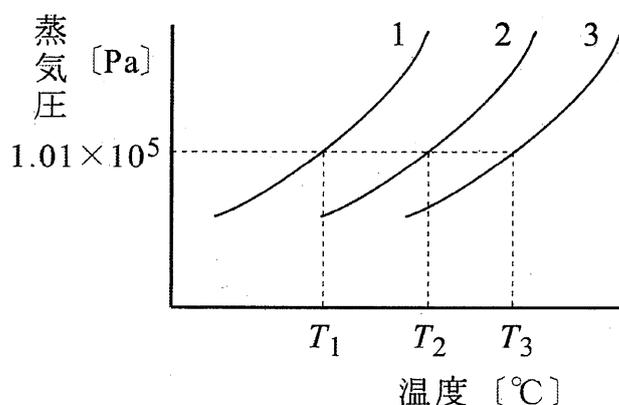


図 1

問 1 A, B, C は図中の 1, 2, 3 のどの曲線に対応するか。それぞれ番号で記せ。

問 2 図中の温度 T_2 が T_1 よりも 0.052 K 高かった。このとき, T_3 は T_2 よりも何 K 高いか。導出過程を簡単に記し, 小数点第 3 位まで求めよ。

問 3 U 字管の中央を溶媒分子のみを通す半透膜で仕切り, 一方の側に A を, 他方の側に B を液面の高さが等しくなるように入れた。これを長時間放置した時に液面の高さに関して起こる変化を, 理由も含めて述べよ。

問 4 A, B, C をふたのない容器に入れて沸騰させ続けると, それらの沸点はどのように変化するか。それぞれの変化を簡単に説明せよ。

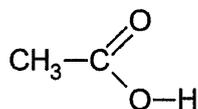
〔Ⅱ〕 溶液を冷却すると、まず溶媒だけが凝固し始める。この温度を溶液の凝固点という。一般に、溶液の凝固点は純溶媒の凝固点より低くなる。この現象を凝固点降下という。

ベンゼンのモル凝固点降下は $5.12 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ 、凝固点は $5.53 \text{ }^\circ\text{C}$ である。ベンゼン 50.0 g に酢酸 CH_3COOH 0.600 g を溶かした溶液の凝固点は $5.00 \text{ }^\circ\text{C}$ であった。

問 5 凝固点降下の結果を用いて、この溶液中で酢酸分子が 1 分子ずつ溶解していると仮定した場合の、酢酸分子の見かけの分子量を有効数字 3 桁で求めよ。導出過程も示すこと。

問 6 実際には、ベンゼン溶液中で酢酸の一部は分子間力によって 2 分子が結合して、1 つの分子のようにふるまっている。この現象を会合といい、2 分子の会合体を二量体という。また、酢酸分子の中で会合して二量体を形成している分子の割合を会合度という。例えば 1 mol の酢酸の会合度が 0.5 の場合、1 分子として存在する酢酸が 0.5 mol 、酢酸の二量体が 0.25 mol 存在することになる。凝固点降下の結果と実際の酢酸の分子量の値を用いて、ベンゼン中の酢酸の会合度を求めることができる。凝固点降下の実験結果から、酢酸の会合度を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、酢酸の分子量 = 60.0 とする。導出過程も示すこと。

問 7 下に示す酢酸分子の構造式を解答欄に書き、もう 1 分子の酢酸の構造式を書き入れて二量体の構造を示せ。分子間力が働いている部分を点線で結んで表すこと。



問 8 日常生活の中で、凝固点降下の現象を利用している実例を 1 つ挙げよ。

(解答用紙 5 に解答せよ)

5 次の文章を読み、以下の問1から問7に答えよ。

周期表の1族に属する水素以外の元素をアルカリ金属という。アルカリ金属の単体は銀白色で、反応性が高い。例えばナトリウム Na の単体は室温で空気と反応するため、石油（灯油）中で保存される。水酸化ナトリウム NaOH は化学工学において広く用いられている化合物であり、その水溶液は a) 強い塩基性を示す。

炭酸ナトリウム Na_2CO_3 は工業的には ア と イ を原料としてアンモニアソーダ法により合成され、b) ガラスやセッケンの製造などに用いられている。硫酸ナトリウム Na_2SO_4 は人体への有害性が低いことから、食品添加物や医薬用として幅広く用いられている。また疎水コロイドの溶液に Na_2SO_4 を少量加えると、沈殿が生じる。この現象は ウ という。

問1 文中の空欄 ア から ウ に入る適切な語句を書け。

問2 アルカリ金属に関する次の (a) から (e) の説明のうち正しいものをすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。

- (a) アルカリ金属の単体は強い酸化剤として働く。
- (b) Na の単体は常温で水と激しく反応して、酸素を発生する。
- (c) アルカリ金属の原子は価電子を1個もち、1価の陽イオンになりやすい。この傾向は原子番号が大きいものほど強くなる。
- (d) リチウム Li は炎色反応で黄色を呈する。
- (e) 炭酸水素ナトリウム NaHCO_3 に希塩酸を加えると、二酸化炭素 CO_2 が発生する。

問3 下線 a) に関連する以下の文章の空欄 エ から カ に入る適切な値を小数点以下第2位まで求めよ。ただし、アンモニウムイオン NH_4^+ の電離定数を $10^{-9.26}$ mol/L、水のイオン積 K_w を 1.00×10^{-14} (mol/L)²、 $\log_{10}3 = 0.480$ 、 $\log_{10}7 = 0.850$ とする。

水 100 mL に 2.00×10^{-2} mol/L の NaOH 水溶液を 20.0 mL 添加した場合、その水溶液の pH は エ になる。一方、緩衝液に NaOH 水溶液を加えた場合を考える。ここに、 2.00×10^{-2} mol/L のアンモニア水溶液 50.0 mL と 2.00×10^{-2} mol/L の塩化アンモニウム水溶液 50.0 mL を混合した水溶液がある。この水溶液の pH は オ である。この水溶液に 2.00×10^{-2} mol/L の NaOH 水溶液を 20.0 mL 添加した場合、水溶液の pH は カ となる。このように緩衝液の場合、水と比べて塩基を加えることによる pH 変化は少ない。

問4 亜硫酸水素ナトリウムに希硫酸を加えると気体が発生する。この反応を化学反応式で書け。

問5 下線b)に関して、原料に Na_2CO_3 を用いて製造されるガラスとしてソーダ石灰ガラスがある。ソーダ石灰ガラスの用途として適切なものを次の (a) から (d) の中から1つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

- (a) 光ファイバー (b) 耐熱容器 (c) 窓ガラス (d) 光学レンズ

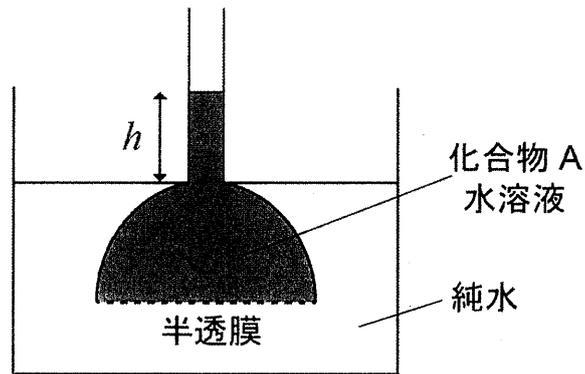
問6 コロイドに関する以下の問いに答えよ。

沸騰した水に塩化鉄(III) FeCl_3 水溶液を加えた後、室温まで冷やして得られる水溶液をセロハン袋に入れ、ビーカーに入れた純水に浸した。十分に放置した後、セロハン袋の外の水溶液を2本の試験管に取った。試験管にそれぞれ硝酸銀、ヘキサシアニド鉄(II) 酸カリウムを加えた後の様子として適切なものを次の (a) から (f) の中から1つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

	硝酸銀を加えた後の様子	ヘキサシアニド鉄(II) 酸カリウムを加えた後の様子
(a)	沈殿は生じない	沈殿は生じない
(b)	沈殿は生じない	青色沈殿が生じる
(c)	白色沈殿が生じる	沈殿は生じない
(d)	白色沈殿が生じる	青色沈殿が生じる
(e)	黒色沈殿が生じる	沈殿は生じない
(f)	黒色沈殿が生じる	青色沈殿が生じる

問7 デンプンのように分子量の大きな化合物（高分子化合物）は1分子でコロイド粒子の大きさを持つ。高分子化合物の分子量測定に関する以下の文章の空欄 から に入る適切な値を有効数字2桁で書け。ただし、水のモル凝固点降下を $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ 、気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 、高分子化合物水溶液の密度 1.00 g/cm^3 、水銀の密度 13.6 g/cm^3 、標準大気圧 ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) の水銀柱の高さを 760 mm とする。なお、半透膜を通じた溶媒の移動による溶液の濃度変化は無視できるものとする。

分子量 1.00×10^5 の高分子化合物 A 1.00 g を含む水溶液 100 mL を考える。この水溶液の凝固点は $^{\circ}\text{C}$ であるため、このような小さい温度変化を正確に測定することは困難である。一方、この水溶液の浸透圧は 27°C において Pa である。したがって、図に示す装置を用いて測定した場合、液柱の高さ h は mm となる。この液面差は精度よく測定可能である。このように高分子化合物の分子量測定には浸透圧を用いた手法がよく用いられる。



令和6年度(2024年度)
東北大学理学部地球科学系

A0 入試 II 期

問題 I

試験時間 9:15-9:55

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号

氏名

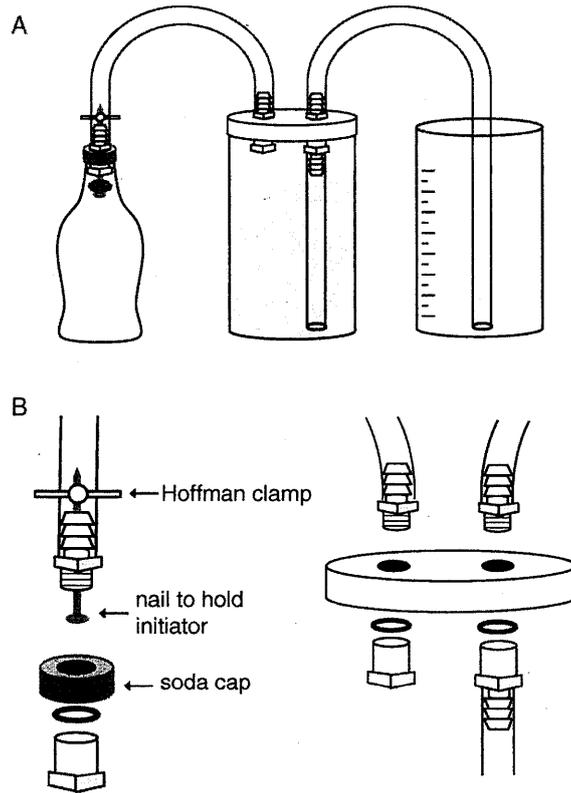
このページは余白

このページは余白

次の文章を読み、以下の問い（問1～問5）に答えよ。

The simple apparatus for quantifying the soda geyser in a laboratory setting is shown schematically in Figure A. In this study, we used carbonated soft drinks with artificial sweetener (leftmost side of Figure A), which we refer to throughout as “soda”. The lid of a 64 oz wide-mouth plastic jar (middle of Figure A) was drilled and fitted with plastic hose connectors on the inside and outside surfaces. a) O-rings were used to create an airtight seal for the fittings to the lid surface. Figure B shows an expanded view of the caps and fittings on the soda bottle and water reservoir. The output tube was directed into a 1 L beaker (rightmost side of Figure A) for measuring the volume change of the soda geyser. A length of tubing long enough to reach the bottom of the jar was attached to the remaining barb on the interior side of the lid (the jar output). The 64 oz jar was filled with water and the lid assembly was tightened to achieve an airtight seal. The hose barb was removed on the inside of the cap with a razor blade, and this cap served as the connection to each soda bottle. A 3 1/2 in. galvanized nail was used to hold all b) initiator objects out of the soda until we were ready to begin the experiment. Candies were threaded onto the nail and held by the nail head, whereas a small wire cage was hung from the nail head for more complicated objects, such as the sugar cubes. Once loaded with the initiator, the nail was slid into the soda cap connector from the inside and a Hoffman clamp was tightened onto it to hold it while the cap was tightened onto each soda bottle. A soda bottle was opened gently, its cap was completely removed, and the bottle cap containing the nail and initiator was tightened onto it. When everything was secured, the hose clamp holding the nail was loosened, dropping the nail and initiator(s) into the soda. CO₂ and soda were forced through the tubing into the water-filled plastic jar. The CO₂ pressurized the headspace of the jar and forced the water (mixed with some soda) through the output tube into the measurement beaker. c) Once most of the CO₂ was released, the pressure in the headspace equaled atmospheric pressure, the volume of liquid pushed out into the measurement beaker was equal to the quantity of headspace gained in both the soda bottle and the plastic jar, in other words, equal to the amount of CO₂ that was released. d) From this volume, the number of moles and molecules of CO₂ were calculated using the ideal gas law.

(参考) quantify : 定量化する	geyser : 間欠泉	schematically : 概略的に
carbonated : 炭酸を含む	oz : オンス	in. : インチ
galvanized : 亜鉛メッキ	initiator : 反応を開始させるもの	
threaded : ねじ込まれる	loaded : 仕込む	



(Adapted from “Quantifying the Soda Geyser” by Christopher J. Huber and Aaron M. Massari, *Journal of Chemical Education*, 2014. 一部改変)

(Adapted with permission from ‘Quantifying the Soda Geyser’ by Christopher J. Huber, Aaron M. Massari. Copyright © 2014 American Chemical Society.)

問1 下線部 a)を和訳せよ。

問2 下線部 b)として挙げられている物を二つ、日本語で答えよ。

問3 プラスチック瓶中の水がビーカーへ排出される原理を、日本語で、3行以内で説明せよ。

問4 下線部 c)を和訳せよ。

問5 下線部 d)のように CO_2 分子のモル数が計算されるが、その値には実験誤差をともなう。この実験で誤差が生じる要因について、あなたの考えを述べよ。

このページは余白

このページは余白

令和6年度(2024年度)
東北大学理学部地球科学系

A0 入試 II 期

問題 II

試験時間 11:00-11:40

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号

氏名

このページは余白

このページは余白

地球に関する以下の問い(問 1、問 2)に答えよ。

問 1 図 1 は世界の 7 月の平均海面水温、図 2 は世界の年平均海面塩分を示したものである。これらの図を見て、以下の小問(1)～(3)に答えよ。

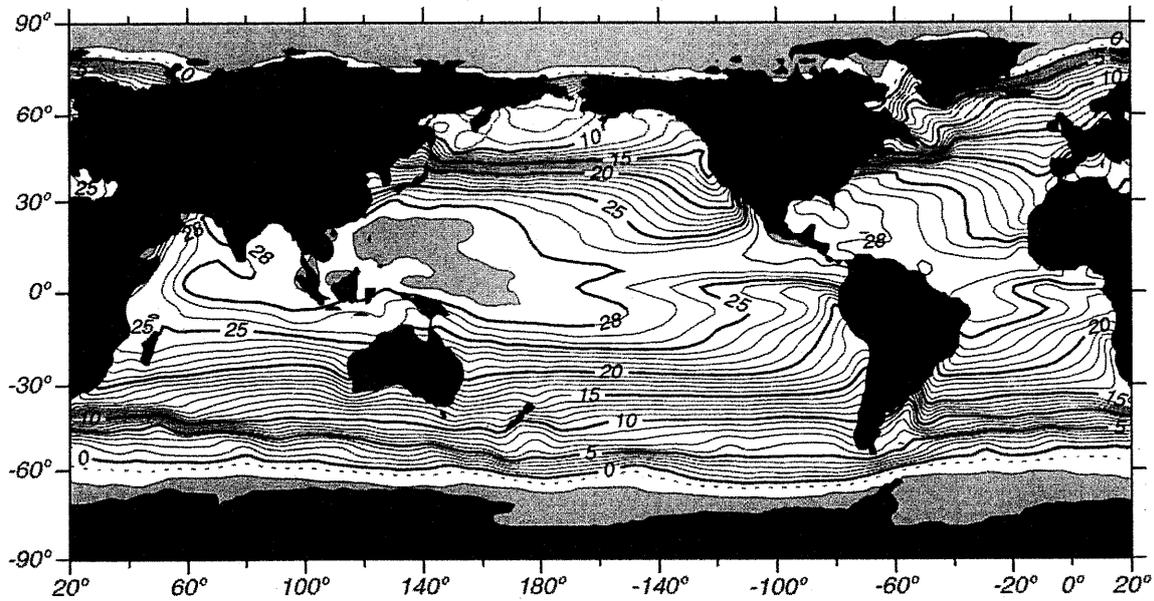


図 1 世界の 7 月の平均海面水温

赤道付近の網掛け部分は 29°C 以上を示す (Stewart, 2008)。

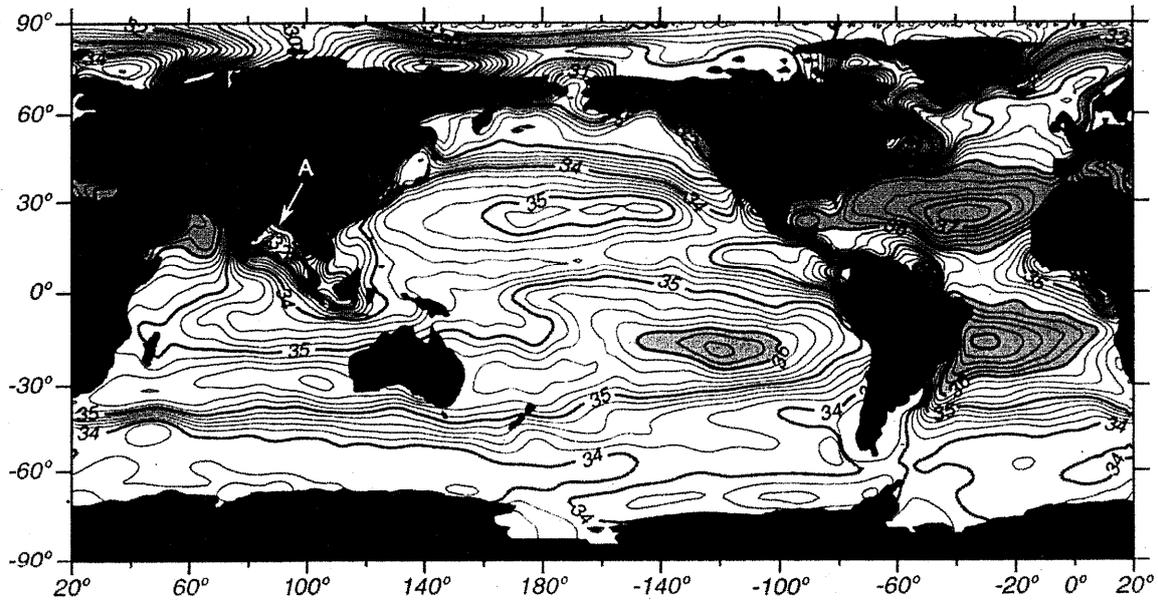


図 2 世界の平均海面塩分

網掛け部分は塩分が 36 以上を示す (Stewart, 2008)。

- (1) 図1から読み取れる世界の平均海面水温の特徴を3つ挙げ、それぞれ1行以内で述べよ。
- (2) 図2中の海域Aにおいて塩分が低くなっている理由を、2行以内で説明せよ。
- (3) 海面水温の上昇が地球環境に与える影響について、あなたの考えを3行以内で説明せよ。

問2 次の文章を読み、以下の小問(1)～(2)に答えよ。

地球でみられる潮汐は、月や太陽といった別の天体から受ける重力の大きさが場所によって異なるために生じる。潮汐を起こす力は潮汐力(起潮力)と呼ばれる。地球が受ける潮汐力の大きさは、重力を及ぼす天体の質量に比例し、その天体との距離の3乗に反比例する。

- (1) 地球が月から受ける潮汐力は、地球が太陽から受ける潮汐力の何倍になるか。有効数字1桁で答えよ。ただし、地球の質量は 6.0×10^{24} kg、月の質量は 7.3×10^{22} kg、太陽の質量は 2.0×10^{30} kg、地球と月との距離は 4.0×10^8 m、太陽と地球との距離は 1.5×10^{11} m とし、計算の過程も示すこと。
- (2) 潮汐の影響を受ける河川の河口付近には堰(河口堰)が設置されることもある。河口堰を設けることの利点と欠点について、あなたの考えを4行以内で説明せよ。

このページは余白

このページは余白



令和6年度(2024年度)
東北大学理学部地球科学系
A0 入試Ⅱ期

問題Ⅲ

試験時間 13:40-14:20

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号

氏名

このページは余白

このページは余白

次の文章を読み、以下の問い（問1～問4）に答えよ。

太陽系の惑星は微惑星の集積を経て形成したと考えられている。表に示すある隕石は a) 太陽系形成初期の情報を保存する小惑星から地球に飛来したものである。この隕石の元素組成は太陽の元素組成と類似していることが知られている。太陽の元素組成は太陽光の b) スペクトル を使って調べることができる。表は、ある隕石の元素組成、地球の地殻とマントルを合わせた部分の元素組成、月の地殻とマントルを合わせた部分の元素組成を示している。

表 Si を 1 としたときの主要元素相対存在度

	ある隕石	地球 (地殻+マントル)	月 (地殻+マントル)
Na	0.057	0.016	0.0017
Mg	1.07	1.25	1.12
Al	0.085	0.12	0.063
Si	1.000	1.000	1.000
K	0.0038	0.0008	0.00010
Ca	0.061	0.084	0.093
Ti	0.0024	0.0016	0.0048
Cr	0.014	0.0068	0.0035
Mn	0.010	0.0025	0.0031
Fe	0.90	0.15	0.24
Ni	0.049	0.0044	-

- 問1 下線部 a) について、小惑星のほとんどは火星と木星の間に存在する。海王星以遠に存在する彗星も太陽系形成初期の情報を保存している。小惑星は主に岩石から構成されている一方で、彗星は氷を多く含むことが知られている。この違いの理由について、あなたの考えを3行以内で述べよ。
- 問2 下線部 b) について、スペクトルとは何かを2行以内で述べよ。
- 問3 表を見ると、ある隕石に比べて地球の地殻とマントルを合わせた部分は Fe と Ni に乏しいことがわかる。Fe と Ni は地球の核を構成しているためであるが、これら以外の元素も核には含まれていると考えられている。どのような元素がどのくらい核に含まれているかを調べる方法について、あなたの考えを3行以内で述べよ。

問4 ある隕石に比べて月の地殻とマントルを合わせた部分で最も乏しい元素を表から二つ選べ。
また、二つの元素が乏しい理由について、あなたの考えを3行以内で述べよ。ただし、Ni
は除くこと。

このページは余白

このページは余白

令和6年度
東北大学理学部
AO入試Ⅱ期

生物系 適性試問

注意

1. 解答時間は9:15～10:45です。
2. 問題は2問あります(問題1, 問題2)。
3. 解答用紙は4枚あります。4枚とも, 受験番号, 氏名を記入してください。
4. 解答用紙の所定の場所に解答を記入してください。
5. 問題用紙は持ち帰らないでください。

問題 1 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

Rethink of Bird Evolution

A newly described fossil is as old as the “first bird,” *Archaeopteryx*, and represents a birdlike dinosaur that might have specialized in running or wading instead of flying

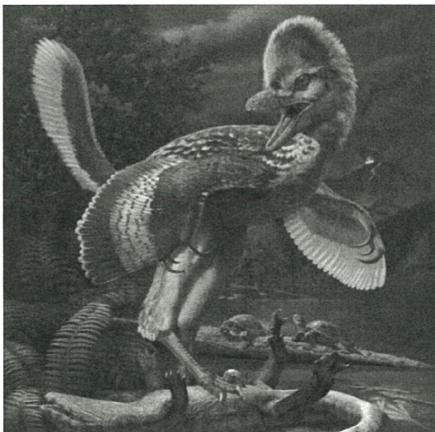
(a) One hundred and fifty million years ago, a young, bantam-sized, bird-like dinosaur became mired in a swamp in what is now southeastern China, and succumbed. Its fossilized remains, unearthed in 2022 and named *Fujianvenator prodigosus*, show it to be one of the earliest bird-like dinosaurs to date from the Jurassic period. The researchers describe their discovery in a paper published today in *Nature*.

“This is really a weird (奇妙な) animal within the group of birds,” says Mark Loewen, a palaeontologist (古生物学者) at the University of Utah.

The creature had oddly lanky (ひよろ長い) legs and might have lacked the ability to fly. (b) It also doesn’t seem to conform (適合する) to the accepted bird-evolution story. Although dinosaurs were largely extinct by 66 million years ago, theropods (獣脚類), the three-clawed, hollow-boned group that included *Velociraptor* and *Tyrannosaurus rex*, had started to evolve into today’s birds. Many palaeontologists consider the first bird to be a 150-million-year-old feathered dinosaur called *Archaeopteryx*, fossils of which were found in Germany. But this study adds to mounting evidence that by the time of *Archaeopteryx*, dinosaurs had already diversified into different kinds of birds, Loewen says.

Hailu You, a palaeontologist at the Chinese Academy of Sciences, says that in the Jurassic, bird-like dinosaurs might have been occupying different ecological niches. “Early bird evolution is complicated,” he says.

Fujianvenator’s fossil lacks a head and a complete tail, but its body and limbs show a medley of



Fujianvenator prodigosus, a bird-like dinosaur discovered near Nanping in China, had unusually long legs and did not seem equipped for flight (artist’s impression). Credit: Mr. Chuang Zhao

traits similar to those of other bird-like dinosaurs, such as the relative lengths of the fingers, and details of the pelvis (骨盤) and vertebrae.

But it didn't have many modifications that would contribute to flight. For example, it had a shortened shoulder blade and fingers more specialized for grabbing (つかむ). (c)Strangest of all are the bird's hyper-elongated hind legs (後ろ脚), in which the lower leg bone — the tibia (脛骨)— is twice as long as the thigh bone (大腿骨). Such long legs indicate a highly skilled runner, perhaps similar to a roadrunner (*Geococcyx* spp.), says Bhart-Anjan Bhullar, a palaeontologist at Yale University.

Alternatively, those stilts (長い脚) could have been used for wading (浅瀬を歩く). In the area where *Fujianvenator* was found, the researchers also uncovered a variety of swamp creatures, which they call the Zhenghe fauna. These fossils included fish, turtles and other aquatic reptiles. Swamps were a previously unknown habitat for early birds. To know whether the bird's legginess was an adaptation to swamp life or high-speed running, researchers would need to examine the ends of its toes for signs of webbing — but those digits (手足の指) are poorly preserved. Either scenario is equally possible, the authors write.

The fact that the dinosaur was found at all was a stroke of luck. Researchers uncovered the fossil at a site near Nanping in Fujian province, where no dinosaurs have been found before. And examples of late-Jurassic bird-like dinosaurs are rare because their hollow bones are fragile and preserve less well. Fossilization requires ideal conditions such as an absence of oxygen to prevent decay — conditions that lakes or swamps can provide.

(d)化石が残ることはまれであり、*Fujianvenator* の発見は初期の鳥類の進化の理解に有用である, says Bhullar. “Even at their earliest stages, the closest fossil relatives of birds were diversifying in interesting ways. There are many, many such things left to be discovered,” he says. “We've only scratched the surface of the anatomical and lifestyle diversity of these animals.”

Nature DINOSAURS 'Weird' dinosaur prompts rethink of bird evolution.

<https://www.scientificamerican.com/article/weird-dinosaur-prompts-rethink-of-bird-evolution/>

© 2023 SCIENTIFIC AMERICAN, A DIVISION OF SPRINGER NATURE AMERICA, INC.

を一部改変

(Used with permission of Springer Nature, from 'Weird' dinosaur prompts rethink of bird evolution', by Jude Coleman, *Nature Research* 621, 7978, 2023; permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc.)

問 1 下線部(a)を数字で表せ。

問 2 下線部(b)について、この発見は最初期の鳥類進化の時期に関する従来のどのような学説に合わないか、また、合わないと考える根拠を記せ。

問 3 下線部(c)について、このような脚の構造から考えられる 2 つのシナリオとはどのようなものか、また、それぞれの根拠を記せ。

問 4 下線部(d)を英訳せよ。

問 5 図に描かれている動物について、想像に基づいて描かれている器官を 2 つ記せ。

問題 2 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

動物や植物の体を構成する細胞は、基本的には受精卵という 1 つの細胞から始まり、細胞分裂と細胞分化を繰り返すことですべての細胞が生まれ出される。われわれヒトは脊椎動物というグループに属する動物の 1 種である。脊椎動物の受精卵は卵割によって複数の細胞になったのちに、胚葉と呼ばれる 3 種類の細胞群に分化する。外胚葉からは脳・脊髄や表皮など、(a) 中胚葉からは脊椎骨や骨格筋など、そして内胚葉からは消化管の上皮など、さまざまな細胞が分化し、最終的にヒトの場合 200 種類ほどの細胞へと分化する。

細胞分化の結果として生じた赤血球がヘモグロビンタンパク質を産生したり、(b) 神経細胞がアセチルコリンを合成したりするなど、細胞種に特徴的な分子構成をもつようになる。これは、30 兆個以上あると言われるヒトの細胞が等しくもつゲノム（その個体が持つ遺伝情報の総体）から、(c) 必要な遺伝子を選択して転写するからである。

ゲノムは、ある個体から次世代に受け継がれる。このゲノムの引継ぎによって親の形質が次世代に伝わる現象を遺伝とよび、遺伝を担う細胞は配偶子（生殖細胞、脊椎動物では精子と卵）である。ゲノムが生殖細胞によって次世代に引き継がれる際に(d) 遺伝子に変異が生じることがあり、それにより個体の形態や性質（形質）が変化することがある。こうして生じた変異個体の割合が、自然選択や中立進化によって生物集団内で変化することがあり、場合によっては集団内のすべての個体がその変異形質を持つことになる。(e) 生物はこのような変化を長い長い年月くり返すことによって、多様な生物種へと進化してきたと考えられている。

問 1 中胚葉は体節や側板などに分化したのちに、さらにさまざまな細胞へと分化する。下線部 (a) の脊椎骨と骨格筋が体節に由来することを示すためには、どのような実験を行ってどのような結果になればよいか、説明せよ。

問 2 下線部 (b) について、神経細胞においてアセチルコリンがどのように機能するかを説明せよ。

問 3 下線部 (c) について、真核細胞の遺伝子発現調節における「調節タンパク質（転写因子）」のはたらきを説明せよ。

問 4 下線部 (d) について、形質変化の原因が、タンパク質をコードしている遺伝子部分に生じた変異ではない場合、ゲノムのどのような領域に変異が生じ、どのようなしくみで形質が変化したと考えられるかを説明せよ。

問 5 下線部(e)について、地球上に生命が誕生したのは約 40 億年前に 1 度だけであり、それ以降このような変化を生物は続け、その結果として現在の地球上のすべての生物が存在すると考えられる。生命の誕生は 1 度しか起こっていないと考えないとうまく説明できない現象を 1 つ挙げ、その理由を説明せよ。