

令和5年度入学試験問題

理 科

| | ページ |
|-----|-------|
| 物 理 | 1～15 |
| 化 学 | 16～27 |
| 生 物 | 28～44 |
| 地 学 | 45～55 |

注 意 事 項

試験開始後、選択した科目の問題冊子及び解答用紙のページを確かめ、落丁、乱丁あるいは印刷が不鮮明なものがあれば新しいものと交換するので挙手すること。

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開かないこと。
2. 試験開始後は、すべての解答用紙に受験番号（2か所）・氏名を記入すること。
3. 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。
4. 解答する数字、文字、記号等は明瞭に書くこと。
5. 解答用紙は持ち出さないこと。

物 理

1 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1に示すように、水平でなめらかな床上に、角度 θ の粗い斜面を持つ斜面台 A が置かれており、斜面上に質量 m の小物体 B が静止している。この小物体 B と斜面の間の静止摩擦係数は μ 、重力加速度の大きさは g である。

(1) 小物体 B が斜面の垂直方向に及ぼす力の大きさ F_N を、 m 、 g 、 θ 、 μ のうち必要なものを用いて表せ。

続いて、図2に示すように、斜面台 A にひもを取りつけて水平方向右向きに引っ張ると、斜面台 A に置かれた小物体 B と斜面台 A が一体となって、大きさ a の一定の加速度で運動した。

(2) 斜面台 A の斜面が小物体 B に及ぼす力のうち、斜面台 A が加速することによって小物体 B に生じる慣性力を解答欄の図に記入し、また、斜面に垂直な成分 F_V および、斜面に平行な成分 F_H に分解し、それぞれの成分を、 a 、 m 、 θ 、 μ のうち、必要なものを用いて表せ。

次に、 a がある加速度の大きさ a_{\min} を超えた直後に小物体 B は斜面に沿って下向きに滑り出した。

(3) このときの a_{\min} を、 m 、 g 、 θ 、 μ のうち必要なものを用いて表せ。

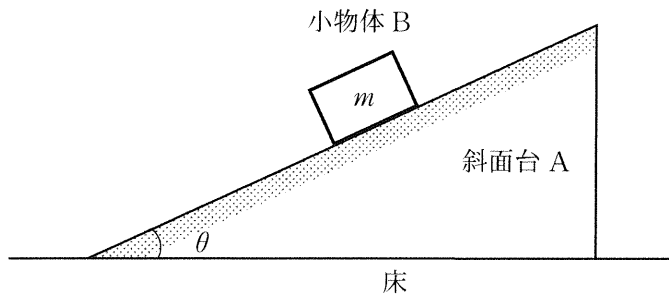


図 1

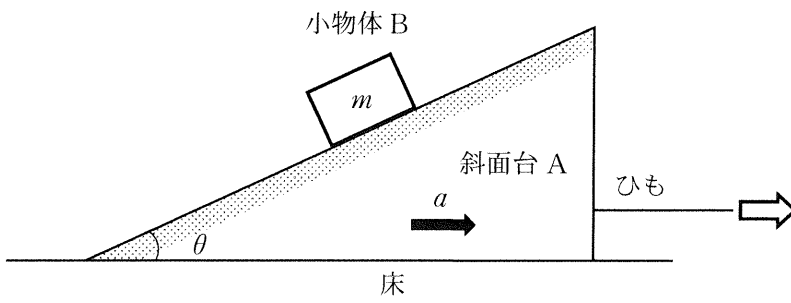


図 2

II 図3のように、長さ L の細くて変形しない真つすぐな棒 AB の一端 A を、鉛直な壁に固定されたちょうつがいにとめ、他端 B と壁の点 C を糸でむすび、棒が水平になるよう固定した。このときの糸と棒のなす角度を θ とする。糸は軽く、ちょうつがいの大きさと質量は無視できるものとする。ちょうつがいは、鉛直面のみでなめらかに回転するものとする。また、棒は密度が一様で重さは W であり、ちょうつがい棒に与える力の鉛直成分を R 、水平成分を N とする。図3および図4では、鉛直方向上向きを正とし、かつ水平方向右向きを正とする。図中のすべての点は、同一鉛直面内にあるものとする。

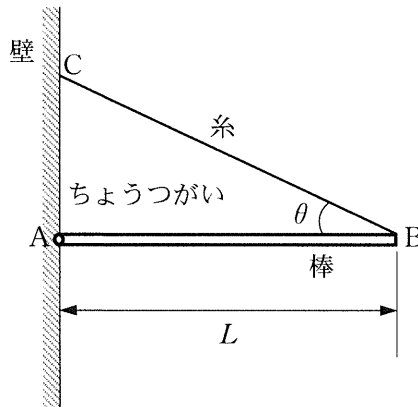


図3

(4) このときの糸の張力の大きさを T_1 として、以下の(i)~(iii)に答えよ。

- (i) 棒に働く力の鉛直方向成分のつりあいの式を表せ。
- (ii) 棒に働く力の水平方向成分のつりあいの式を表せ。
- (iii) 点 A を中心に棒に働く力のモーメントのつりあいの式を表せ。

次に、糸と棒のなす角度が 30° の場合について考える。

(5) このときの糸の張力の大きさ T_2 を W を用いて表せ。

(6) さらに、図4に示すように、点Aから水平距離 x の位置に、重さ P のおもりを棒にひもでつり下げた。このときの糸の張力の大きさ T_3 を W 、 P 、 L 、 x のうち、必要なものを用いて表せ。

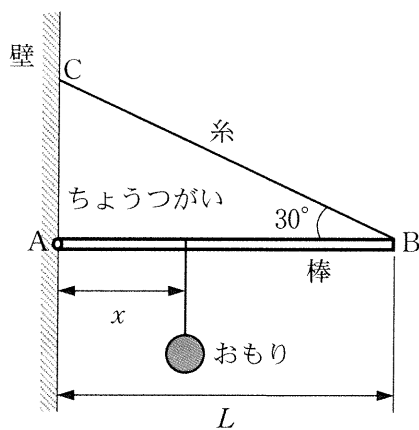


図4

2 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、内部抵抗が無視できる起電力 E [V] の電池 E 、電気容量（静電容量） C_1 [F]、 C_2 [F] のコンデンサー C_1 、 C_2 、抵抗値 R_1 [Ω]、 R_2 [Ω] の抵抗 R_1 、 R_2 、スイッチ S からなる回路がある。コンデンサー C_1 、 C_2 が電荷を蓄えていない状態で、スイッチ S を a 側に接続した。

(ア) スイッチ S を a 側に接続した直後に抵抗 R_1 に流れる電流の大きさ I [A] を E 、 C_1 、 R_1 のうち、必要なものを用いて表せ。

(イ) スイッチ S を a 側に接続して十分に時間が経過した後のコンデンサー C_1 の電極間の電位差の大きさ V [V] を E 、 C_1 、 R_1 のうち、必要なものを用いて表せ。

(ウ) (イ)のときのコンデンサー C_1 に蓄えられた電荷の量（電気量） Q [C]、静電エネルギー U [J] を C_1 、 R_1 、 V のうち、必要なものを用いてそれぞれ表せ。

次に、スイッチ S を b 側に接続した。

(エ) スイッチ S を b 側に接続した直後に抵抗 R_2 に流れる電流の大きさ I [A] を C_1 、 C_2 、 R_1 、 R_2 、 V のうち、必要なものを用いて表せ。

(オ) スイッチ S を b 側に接続して十分に時間が経過した後のコンデンサー C_1 と C_2 の静電エネルギーの和 U [J] を C_1 、 C_2 、 R_1 、 R_2 、 Q のうち、必要なものを用いて表せ。

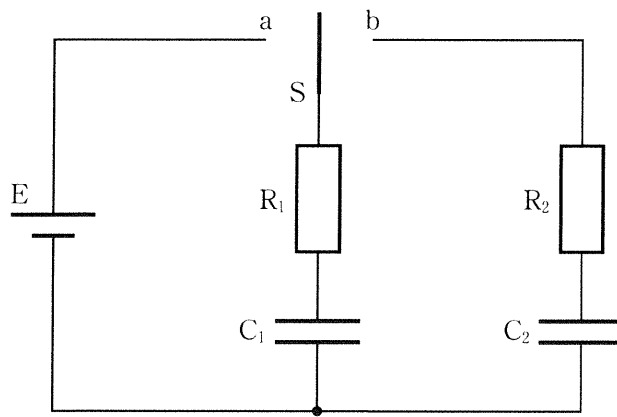


图 1

II 図2のような xyz の直交座標系で、図3のように電気量 $+Q$ [C] の点電荷 Q_1 を原点に固定した ($Q > 0$)。真空中のクーロンの法則の比例定数を k [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] とし、電位の基準点は無限遠点とする。3次元空間は真空であり、重力の影響は無視できるものとする。

文章中の カ ~ ソ に入る適切な語句や式などを答えよ。式は Q, k, l, m, B_0 のうち、必要なものを用いよ。

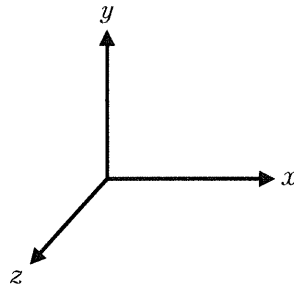


図2

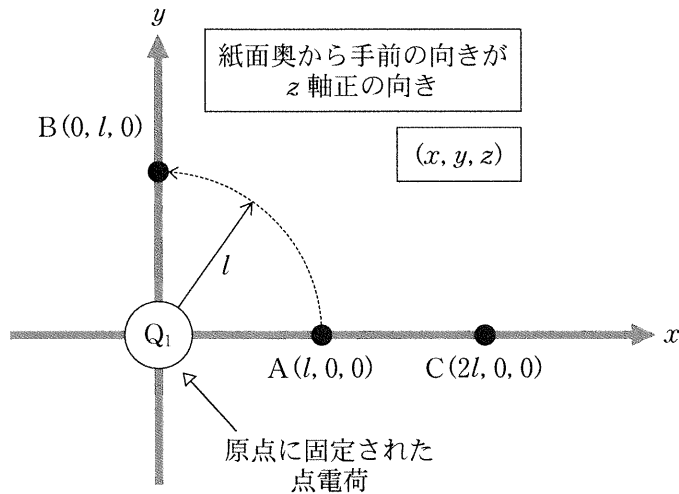


図3

原点から l [m] 離れた x 軸上の点 A の電位は [V] であり、 y 軸上の点 B における電場（電界）の大きさは [N/C] となり、その向きは である。

質量 m [kg]、電気量 $-Q$ [C] の点電荷 Q_2 を原点から $2l$ 離れた x 軸上の点 C に置いたのち、 x 軸に沿って点 A までゆっくりと動かす。点 C から点 A への移動により、 Q_2 の静電気力による位置エネルギーは し、その変化量の大きさは [J] となる。点 A に移動後、原点からの距離を l に保ったまま点 B までゆっくり移動させた。このとき、外力のした仕事は [J] である。

Q_2 を点 C までゆっくり戻し、静止させたのち、自由に動ける状態にした。すると、 Q_2 は静電気力によって、点 A の向きへ動き出した。点 A を通過する際の Q_2 の速さ v は [m/s] となる。 Q_2 が点 A を通過すると同時に、 z 軸の正の向きに一様な大きさの磁束密度を加えると、 Q_2 は磁場（磁界）から力を受ける。この力は と呼ばれ、加えた磁束密度の大きさを B_0 [T] とすると、点 A を通過する際に Q_2 にはたらく の大きさは [N] となり、その向きは である。

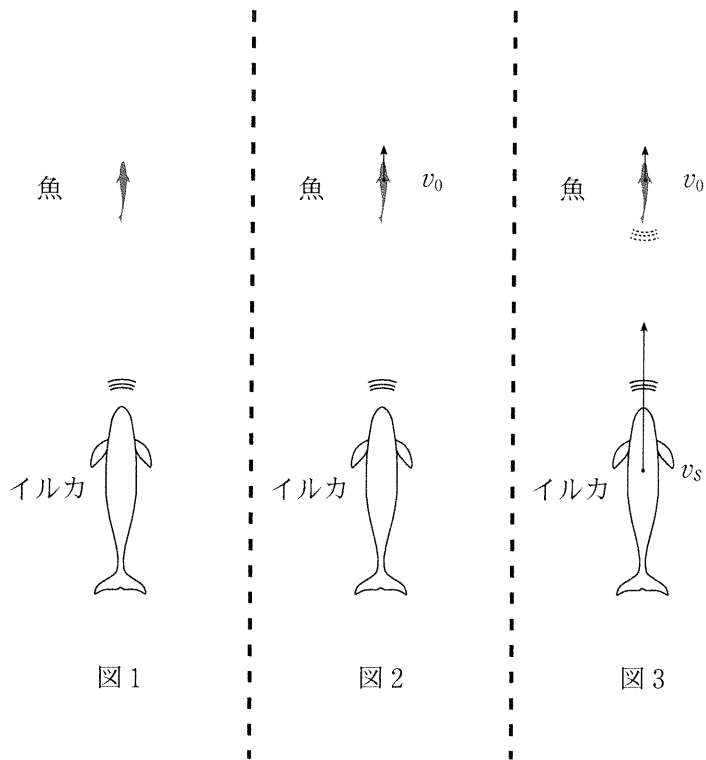
3 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I イルカやコウモリが音を発し、反響した音によって物体までの距離や方向を識別するしくみはエコーロケーション（反響定位）と呼ぶ。イルカにとって、音はコミュニケーションや獲物（魚）を探すための重要な道具である。イルカは「クリック（click）音」と呼ぶ音でエコーロケーションを行っている。クリック音の周波数（振動数）を f_0 [Hz]、海水中における音速を V [m/s] とする。なお、海水中においてもドップラー効果は生じ、空気中と同様に考えることができる。また、発したクリック音は減衰せず、魚は完全に音を反射する。魚とイルカは、同じ水深で同一直線上を運動し、魚とイルカの泳ぐ速さは音速より十分に小さいものとする。海水の運動や温度の変化は無視できるものとする。

(a) 最初に、図1に示すように、イルカと魚が静止した状態を考える。この状態で、イルカはクリック音を発する。このとき、クリック音の周期 T [s] と波長 λ [m] を、 f_0 、 V のうち、必要なものを用いて表せ。

(b) 次に、図2に示すように、イルカのみが静止してクリック音を発した状態を考える。同時に、魚は速さ v_0 [m/s] でイルカから離れる向きに移動する。このとき、魚が受けたクリック音の周波数 f_1 [Hz] を、 f_0 、 V 、 v_0 を用いて表せ。

(c) 最後に、図3に示すように、イルカは海水中を速さ v_s [m/s] で魚に向かって泳ぎ、速さ v_0 で動いている魚に向かってクリック音を発した状態を考える。魚が受けたクリック音の周波数を f_2 [Hz]、魚に反射して再びイルカに戻ってきたクリック音の周波数を f_3 [Hz] とする。このとき、 f_3 を、 f_2 、 V 、 v_0 、 v_s を用いて表せ。



II 図4のように、2枚の透明な平面ガラス板 A および B が端 O で接している。端 O から距離 L [m] の位置のもう一端に厚さ T [m] の薄い紙をはさんで、ガラス板の間にくさび形すきまの隙間を作った。このガラス板の上側から波長 λ [m] の単色光をガラス板 B の垂直方向からあて、ガラス板の上方から観察すると等間隔の明線と暗線が並ぶ縞模様が観察された。この縞模様はガラス板 A の下面で反射する光とガラス板 B の上面で反射する光が干渉して生じる。空気の屈折率を 1 とし、ガラス板 B 上の点 P から端 O までの距離を x [m]、そこでのガラス板 B の上面とガラス板 A の下面との間の空気層の厚さを d [m] とする。

(d) 点 P の真上から反射光を観察するとき、ガラス板 A の下面で反射する光とガラス板 B の上面で反射する光の光路差を d を用いて表せ。

(e) 点 P において明線が観察される条件式を、 x 、 L 、 T 、 λ 、 m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて表せ。

(f) 縞模様の隣り合う暗線と暗線の間隔 Δx [m] を、 L 、 T 、 λ を用いて表せ。

(g) ガラス板の上側より波長 λ_B [m] の青色の単色光をガラス板 B の垂直方向からあて上側から縞模様を観察した。次に、同様に波長 λ_R [m] の赤色の単色光を垂直にあてて縞模様を観察した。このとき、どちらの光をあてたときに隣り合う暗線の間隔は大きくなるかを答えよ。また、その理由を説明せよ。

(h) 次に、ガラス板 A と B の間を屈折率 n の液体で満たした後、ガラス板の上側から波長 λ の単色光をガラス板 B の垂直方向からあて、ガラス板の上方から観察して縞模様を観察した。このとき、隣り合う暗線の間隔 $\Delta x'$ [m] は(f)の Δx の何倍になるか。 n を用いて答えよ。ただし、この液体の屈折率はガラス板の屈折率より小さく、1 より大きいものとする。

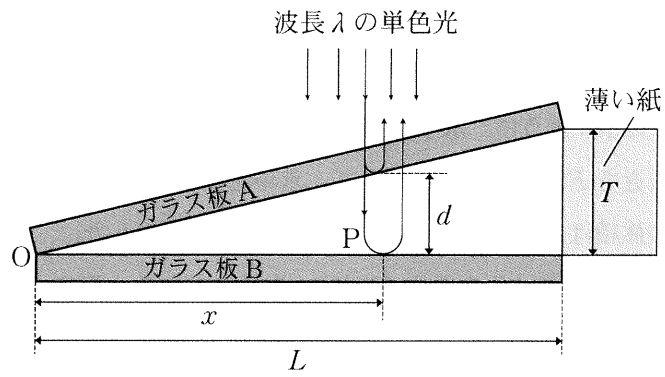


図 4

4 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1に示すように、水平に置かれた水深 h [m] の水槽の底に送りこまれた気泡が、大きさ F [N] の浮力を受けて、水中を上昇して水面まで浮かび出る直前、気泡の体積は水槽の底における体積の N 倍に膨張した。

水槽の底における水温を T_1 [K]、水面における水温を T_2 [K] ($T_2 > T_1$) とする。また、水槽に入れられた水の密度を ρ [kg/m³]、大気圧を P_0 [Pa]、水槽の底における水圧（大気圧の大きさと水による圧力の和）の大きさを P [Pa]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。ただし、気泡の体積は水槽と比べて十分に小さく、気泡は水に溶けず、気泡内の気体の温度は気泡周囲の水温と直ちに等しくなるものとし、水は状態変化せず、温度による水の密度変化は無視できるものとする。

(あ) N を、 P_0 、 P 、 T_1 、 T_2 を用いて表せ。

(い) P を、 P_0 、 h 、 ρ 、 g を用いて表せ。

続いて、水槽の全ての場所において水温が同じになるようにして、水槽の底に気泡を送りこむ。

(う) 気泡の体積が V [m³] のときの F を、 ρ 、 V 、 g を用いて表せ。

(え) 鉛直方向上向きに y 軸をとり、水槽の底を $y = 0$ m、水面を $y = h$ [m] とおく。 $y = 0$ における気泡の体積を V_0 [m³] とするとき、水槽の底 ($y = 0$) から気泡が Y [m] だけ上昇した場所 ($y = Y$, $0 < Y < h$) における浮力の大きさ F_Y [N] を、 h 、 Y 、 P_0 、 ρ 、 V_0 、 g を用いて表せ。

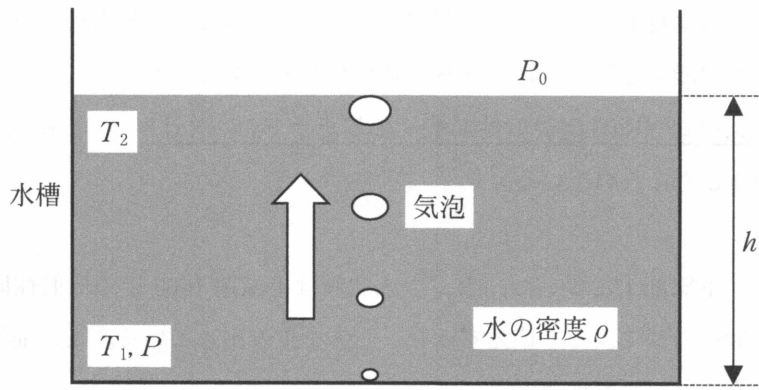
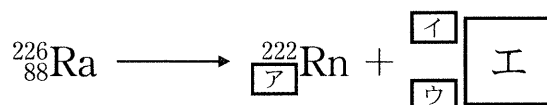


図 1

II 温泉は日本各地に数多く存在している。なかでも、放射性同位体を含む温泉を放射能泉と呼び、特にラドン温泉が有名である。温泉に含まれるラドンは、ラジウム (Ra) の放射性崩壊で生じたラドン (Rn) が温泉水に溶け込んだもの①と考えられている。

(お) 下線部①について、ラジウム 226 は半減期 1600 年の放射性同位体で、放射性崩壊によって絶えずラドン 222 を生み出している。この崩壊の反応式の空欄ア～エを埋めよ。



(か) 放射能泉は、「温泉水 1 kg 中にラドン 222 を 111 Bq 以上含有するもの」と定義されている。111 Bq のラドン 222 のモル数はいくつか。

ただし、放射能の単位 [Bq] は 1 秒間に崩壊する原子核の数として定義され、放射性同位体の原子数に比例する。またこの際の比例定数は半減期を T [s] とした場合 $0.693 \times T^{-1}$ で与えられる。ラドン 222 の半減期は 3.8 日、アボガドロ数は 6.02×10^{23} として計算せよ。

(き) ラジウム 226 から生じたラドン 222 も放射性同位体で、さらに α 崩壊と β 崩壊を何度か繰り返した後に鉛 206 となる。このラドン 222 から鉛 206 への崩壊の過程で生じる α 崩壊と β 崩壊はそれぞれ何回か。ただし、鉛の原子番号は 82 である。なお、 β 崩壊は β^- 崩壊とも呼ばれる。

(く) ラドン温泉の温泉水 1 kg をペットボトルに汲み取って密閉した。ラドン 222 の放射能は時間経過によってどのように変化するだろうか。ペットボトルに汲み取った時点のラドン 222 の放射能の割合を 100 % として、ラドン 222 の放射能の割合の時間経過をグラフに描け。ただし、ペットボトルに汲み取られた温泉水には、ラジウム 226 は含まれないものとする。

