

2023年度

# 理 科

R 1

【 物 理 】

2月25日(土) 理 学 部 (数学科, 物理学科, 地球科学科, 創造理学コース)  
【前期日程】 農 学 部  
工 学 部 14 : 40 ~ 16 : 00

## 注 意 事 項

### 試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで、問題冊子、解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い、出願時に選択した科目の問題冊子、解答用紙であるかどうかを確かめ、  
全部の解答用紙（3枚）に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

### 試験開始後

- 4 この問題冊子は、5ページあります。はじめに、問題冊子、解答用紙を確かめ、枚数の不足  
や、印刷の不鮮明なもの、ページの落丁・乱丁があった場合は、手をあげて監督者に申し出な  
さい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 6 問題は、声を出して読んではいけません。
- 7 各問ごとの配点は、比率(%)で表示してあります。

### 試験終了後

- 8 問題冊子は、必ず持ち帰りなさい。

# 問題訂正

記号 R1

科目 理科（物理）

訂正箇所

問題 1

1 ページ 問2 (4)

(誤) . . . 時間  $t$  が経過するあいだに、板上を移動する距離を求めよ. . .

(正) . . . 時間  $t$  が経過するあいだの板上での移動距離を求めよ. . .

1

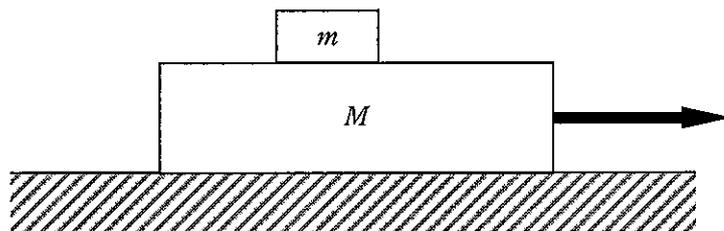
水平でなめらかな床の上に静止している質量  $M$  の平板がある。床と板の間には摩擦はないものとする。板の上に質量  $m$  の小さな物体をのせ、図のように板に水平な一定方向の力を作用させた。板と物体の間には摩擦はあるものとする。重力加速度の大きさを  $g$  とする。以下の問いに答えよ。(配点 35 %)

問 1 板に水平方向右向きに大きさ  $F$  の力を作用させたところ、板と物体の摩擦力により板と物体と一緒に、板に作用する力の方向に一定の大きさ  $a$  の加速度で運動した。物体と板の間にはたらく摩擦力の大きさを  $f$  とする。物体と板との間の静止摩擦係数を  $\mu$  とする。

- (1) 板と物体それぞれの水平方向の運動方程式を記述せよ。
- (2)  $a$  を、 $m$ 、 $M$ 、 $F$  を用いて求めよ。
- (3) 物体と板の間にはたらく最大摩擦力の大きさを、 $M$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $\mu$  のうち必要なものを用いて求めよ。
- (4) 物体がすべらずに板といっしょに動くためには、 $\mu$  はある値以上でなければならない。この値を  $M$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $F$  のうち必要なものを用いて求めよ。

問 2 板に水平方向右向きに大きさ  $F'$  の力を作用させたところ ( $F < F'$ )、板が動きはじめると同時に、物体が板上で、板に対して水平方向左向きに運動した。物体と板との間の動摩擦係数を  $\mu'$  ( $\mu' < \mu$ ) とする。

- (1) 床に対する板の加速度の大きさを求めよ。
- (2) 床に対する物体の加速度の大きさを求めよ。
- (3) 板に対する物体の加速度の大きさを求めよ。
- (4) 物体が動きはじめてから時間  $t$  が経過するあいだに、板上を移動する距離を求めよ。ただし、物体が板の外に飛び出すことはないものとする。



図

2

図1のように、容量  $C_1$  のコンデンサー1と容量  $C_2$  のコンデンサー2が起電力  $V$  の電源に並列に接続された回路1と、容量  $C_3$  のコンデンサー3が起電力  $V$  の別の電源に接続された回路2について考える。これらは平行平板コンデンサーであり真空中に設置されている。また、これら3つのコンデンサーの極板はすべて長方形で1辺の長さは  $L$  であり、極板間距離は  $d$  である。真空の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。(配点 35%)

問1 回路1について以下の問いに答えよ。

- (1) コンデンサー1及び2の極板のもう1辺の長さをそれぞれ  $L_1$  と  $L_2$  とする。 $L_1$  と  $L_2$  を  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $\epsilon_0$  を用いて表せ。
- (2) 2つのコンデンサーの合成容量  $C$  を  $C_1$ ,  $C_2$  を用いて表せ。
- (3) スイッチを接続し十分時間が経過した後スイッチを開いた。このとき、2つのコンデンサーに蓄えられている全電気量  $Q$  を  $C$ ,  $V$  を用いて表せ。
- (4) (3)の状態の後、図2のようにコンデンサー2に1辺の長さ  $L$  と厚さ  $d$  を持つ比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体の板を左端から  $x$  の距離だけ残してゆっくり挿入した。この誘電体のもう1辺の長さは  $L_2$  に比べて十分長い。このとき、2つのコンデンサーの合成容量  $C'$  を  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_0$ ,  $x$  を用いて表せ。
- (5) このとき、コンデンサー1の電位差  $V'$  を  $C$ ,  $C'$ ,  $V$  を用いて表せ。
- (6) このとき、2つのコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーの合計  $U$  を  $C$ ,  $C'$ ,  $V$  を用いて表せ。

問2 問1で考えた回路1に加えて、回路2についても考える。この回路2のスイッチを接続して十分時間が経過した後スイッチを開いた。コンデンサー3の容量は  $C_3 = C$  とする。ただし、 $C$  は回路1の合成容量である。

- (1) コンデンサー3の極板のもう1辺の長さを  $L_3$  とする。 $L_3$  を  $C$ ,  $\epsilon_0$ ,  $d$ ,  $L$  を用いて表せ。
- (2)  $L_3$  を  $L_1$  と  $L_2$  を用いて表せ。
- (3) 図3のように、コンデンサー3の極板間に問1の(4)の状態に固定した誘電体の板の反対の端を、距離  $x$  だけゆっくり挿入し力を加えて止めた。このとき、コンデンサー3の容量  $C_3'$  を  $C$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_0$ ,  $x$  を用いて表せ。
- (4) (3)のとき、誘電体の板はコンデンサー2とコンデンサー3それぞれから引力を受けている。 $x = x_0$  でこれらの引力が釣り合うとき、 $x_0$  を  $C_2$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $\epsilon_0$  を用いて表せ。

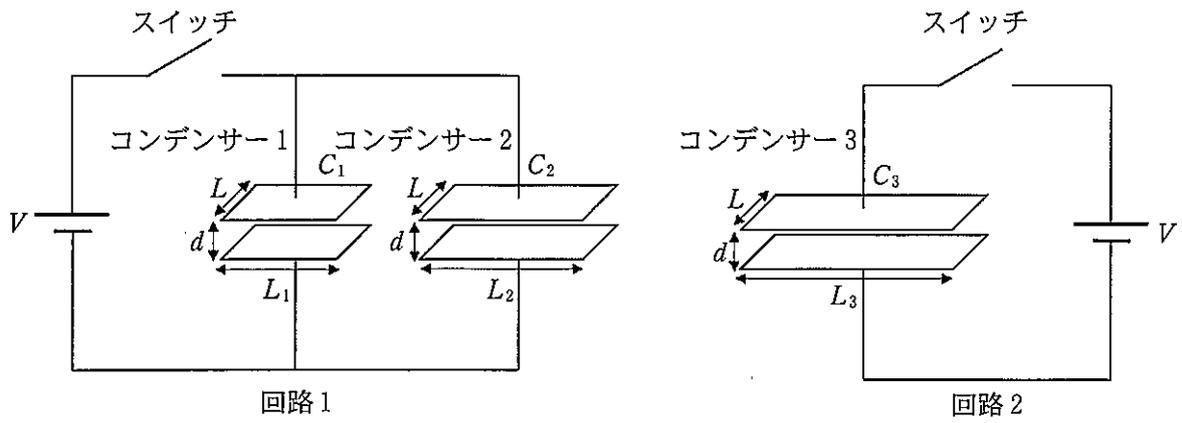


図1

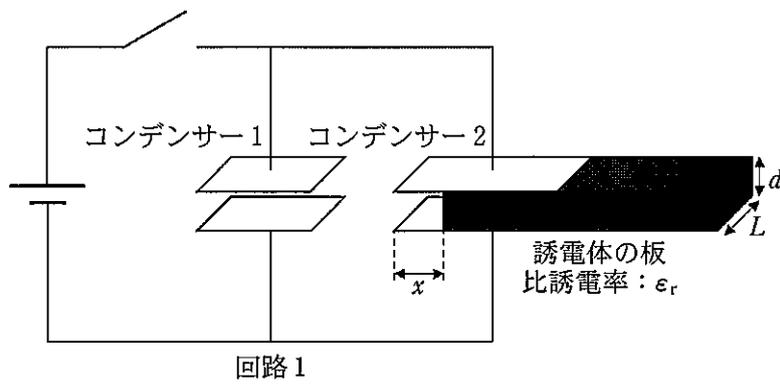


図2

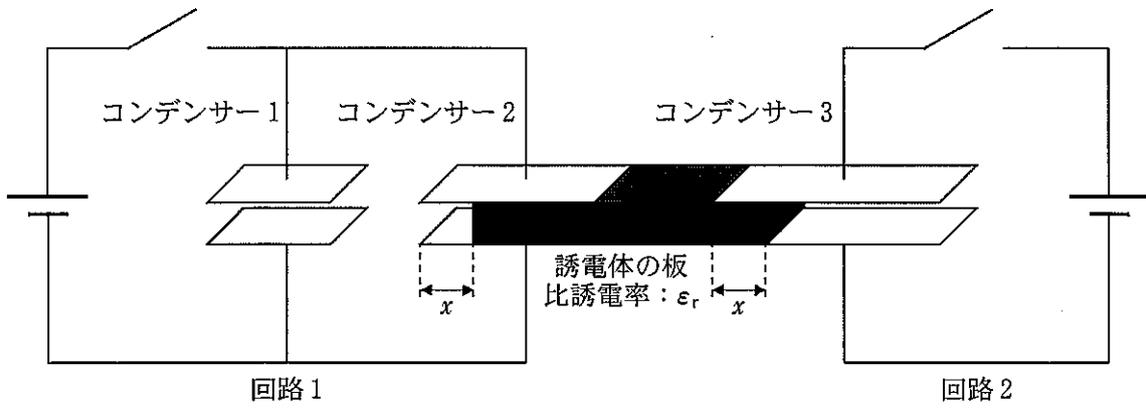


図3

3

次の問いに答えよ。ただし、 $0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$  とする。(配点 30%)

問 1 図 1 のように、容器 A と容器 B が栓のついた細い管 C でつながれている。容器 A、容器 B は断熱容器であり、体積は等しい。管 C と栓も断熱素材でできている。初めに、栓を閉じてこれらの容器に温度と圧力の異なる同種の単原子分子理想気体を入れておく。このとき、容器 B 内の気体の圧力は容器 A 内の気体の圧力の 1.5 倍であるとする。栓を開いてしばらく置くと、温度  $27^{\circ}\text{C}$ 、圧力 1.0 気圧で全体の状態が一様になった。ただし、容器の温度による体積の変化、および管 C の体積は無視できるものとする。

(1) 体積  $V$ 、圧力  $P$  の単原子分子理想気体の内部エネルギーを求めよ。

栓を開く前の状態について、以下の問いに答えよ。

(2) 容器 A 内の気体と容器 B 内の気体の圧力[気圧]を計算過程を示し、小数第 1 位までの数値で求めよ。

(3) 容器 A 内の気体の温度が  $127^{\circ}\text{C}$  であったとき、容器 B 内の気体の温度[ $^{\circ}\text{C}$ ]を有効数字 2 桁の数値で求めよ。

(4) 容器 A、B 内の気体の温度が(3)のとき、容器 A 内の気体の密度は容器 B 内の気体の密度の何倍であったか。小数第 2 位までの数値で求めよ。

問 2 図 2 のように、容器 A と容器 B が栓のついた細い管 C でつながれている。容器 A、容器 B は断熱容器であり、容器 A の体積は容器 B の体積の  $x$  倍 ( $x > 1$ ) である。管 C と栓も断熱素材でできており、容器 A 内にはヒーターが設置されている。初めに、容器 A には  $27^{\circ}\text{C}$ 、1.0 気圧の理想気体が入れてあり、容器 B は真空にする。このとき栓は閉じている。次に、容器 A 内の気体を内部のヒーターを用いてゆっくりと加熱するとき、以下の問いに答えよ。ただし、容器の温度による体積の変化、管 C およびヒーターの体積は無視できるものとする。

(1) 容器 A の気体の圧力が 1.2 気圧になったときにヒーターによる加熱を止めた。このときの容器 A の気体の温度[ $^{\circ}\text{C}$ ]を、有効数字 2 桁の数値で求めよ。

(2) 栓を開き、十分時間が経って全体が一様になったときの圧力が 1.0 気圧であった。このときの  $x$  の値を計算過程を示し、有効数字 2 桁の数値で求めよ。

図 1

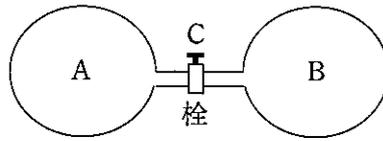
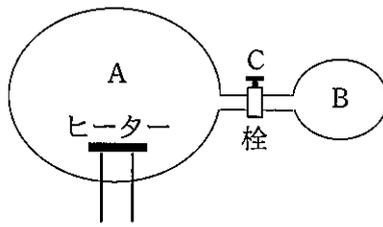


図 2



# 正解・解答例

教科・科目名	物理（前期日程試験：令和5年度） 1 / 3	問題番号	R1
対象学部・ 学科(課程)等	理学部（数学科，物理学科，地球科学科、創造理学コース）， 工学部，農学部		
<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 5px;">1</div>             (35) %            配点 (70) 点         </div>	<p>問 1</p> <p>(1) 物体の運動方程式 <math>m a = f</math>          板の運動方程式 <math>M a = F - f</math></p> <p>(2) <math>a = \frac{F}{M+m}</math></p> <p>(3) <math>\mu m g</math></p> <p>(4) <math>\frac{F}{(M+m) g}</math></p> <p>問 2</p> <p>(1) <math>\frac{F' - \mu' m g}{M}</math></p> <p>(2) <math>\mu' g</math></p> <p>(3) <math>\frac{F' - \mu' g (M+m)}{M}</math></p> <p>(4) <math>\frac{F' - \mu' g (M+m)}{2M} t^2</math></p>		

# 正解・解答例

教科・科目名	物理（前期日程試験：令和5年度） 2 / 3	問題番号	R1
対象学部・ 学科(課程)等	理学部（数学科，物理学科，地球科学科、創造理学コース）， 工学部，農学部		
<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; margin: 0 auto 10px auto;">2</div> <p>(35) %</p> <p>配点 (70) 点</p> </div>	<p>問1</p> <p>(1) <math>L_1 = \frac{C_1 d}{\varepsilon_0 L}</math></p> <p style="margin-left: 100px;"><math>L_2 = \frac{C_2 d}{\varepsilon_0 L}</math></p> <p>(2) <math>C = C_1 + C_2</math></p> <p>(3) <math>Q = CV</math></p> <p>(4) <math>C' = C_1 + \varepsilon_r C_2 - \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1) \frac{L}{d} x</math></p> <p>(5) <math>V' = \frac{C}{C'} V</math></p> <p>(6) <math>U = \frac{1}{2} \frac{C^2}{C'} V^2</math></p> <p>問2</p> <p>(1) <math>L_3 = \frac{Cd}{\varepsilon_0 L}</math></p> <p>(2) <math>L_3 = L_1 + L_2</math></p> <p>(3) <math>C'_3 = C + \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1) \frac{L}{d} x</math></p> <p>(4) <math>x_0 = \frac{C_2 d}{2\varepsilon_0 L}</math></p>		

# 正解・解答例

教科・科目名	理科（前期日程試験：令和5年度） 3 / 3	問題番号	R1
対象学部・ 学科(課程)等	理学部（数学科，物理学科，地球科学科、創造理学コース）， 工学部，農学部		
<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 5px;">3</div>             (30) %            配点 (60) 点         </div>	<p>問1 (1) <math>\frac{3}{2}PV</math></p> <p>(2) 変化は断熱的に起こるので，内部エネルギーが保存する。体積と圧力で表して</p> $\frac{3}{2}P_A V + \frac{3}{2}P_B V = 2 \times \frac{3}{2}PV$ <p>共通因数 <math>3/2</math> および <math>V</math> を消去すると圧力に関する関係式 <math>P_A + P_B = 2P</math> が得られる。これと <math>P_B = 1.5P_A</math> を連立して <math>P_A, P_B</math> について解く。</p> $P_A = \frac{2.0}{1.0 + 1.5}P = 0.8 \text{ 気圧}, \quad P_B = 1.5P_A = 1.2 \text{ 気圧}$ <p>(3) <math>-16 \text{ }^\circ\text{C}</math></p> <p>(4) 0.43 倍</p> <p>問2 (1) <math>87 \text{ }^\circ\text{C}</math></p> <p>(2) 気体は <math>P_A=1.2</math> 気圧， <math>T_A=360\text{K}</math> で断熱膨張を始めるので，終状態の温度も <math>T_A</math> に等しい。 最初に容器Aにあった気体の物質量を <math>n</math>，終状態での各容器の物質量をそれぞれ <math>n_A, n_B</math> とすると <math>n = n_A + n_B</math> である。終状態の圧力と温度をそれぞれ <math>P, T=T_A</math> とすると状態方程式より各物質量が以下のように表される。</p> $n = \frac{P_A V_A}{RT_A}, \quad n_A = \frac{P V_A}{RT_A}, \quad n_B = \frac{P V_B}{RT_A}$ <p>物質量の関係式に代入して <math>P_A V_A = P(V_A + V_B)</math> を得る。 <math>V_A = x V_B</math> とし， <math>P_A=1.2</math> 気圧， <math>P=1.0</math> 気圧から <math>x</math> を計算する。</p> $P_A x = P(x + 1) \rightarrow x = \frac{P}{P_A - P} = \frac{1.0}{1.2 - 1.0} = 5.0$		

## 採点・評価基準(具体的基準)

教科・科目名	物理 (後期日程試験：令和5年度)	問題番号	R1
対象学部・学科(課程)等	理学部 (数学科、物理学科、地球科学科、創造理学コース) 工学部, 農学部		
出題のねらい	<p>① 加速度, 速度, 力などを含めた物体の運動に関する力学の基礎的な内容の理解を問う。</p> <p>② 並列につながれたコンデンサーへの誘電体板挿入と, 一つの誘電体板を介した二つのコンデンサー間の相互作用についての問題を通して, 複数のコンデンサーを有する回路についての物理の理解度をみる。</p> <p>③ 気体の状態方程式について理解しているかどうか, 又, 密度, 温度, 圧力等の基本的な物理量についてきちんと理解しているかどうかを問う問題である。記述式の解答により, 論理的な思考を表現できるかも確認している。更に, 物理量を数値的に適切に処理できるかもみている。</p>		
採点基準 (点数は200点満点の場合)	<p>① 配点35% (70点) 問1 (1) 8点 (2) 8点 (3) 8点 (4) 10点 問2 (1) 8点 (2) 8点 (3) 10点 (4) 10点</p> <p>② 配点35% (70点) 問1 (1) 5点, 5点 (2) 5点 (3) 5点 (4) 8点 (5) 8点 (6) 8点 問2 (1) 5点 (2) 5点 (3) 8点 (4) 8点</p> <p>③ 配点30% (60点) 問1 (1) 4点 (2) 記述形式: 各8点, 合計16点 (3) 8点 (4) 8点 問2 (1) 8点 (2) 記述形式: 16点</p>		