

令和8年度入学者選抜学力検査問題

(前期日程)

物 理

学類によって解答する問題が異なります。

指定された問題だけに解答しなさい。

学 域	学 類	解 答 す る 問 題
融 合 学 域	先 導 学 類(理系傾斜) 観光デザイン学類(理系傾斜) スマート創成科学類(理系傾斜)	I, II, III, IV, V (5問)
人間社会学域	学 校 教 育 学 類	I, II, III (3問)
理 工 学 域	数 物 科 学 類 地 球 社 会 基 盤 学 類 生 命 理 工 学 類 理 工 3 学 類	I, II, III, IV, V (5問)
医薬保健学域	医 学 類 薬 学 類 医 薬 科 学 類	III, IV, V (3問)
	保 健 学 類	I, II, III (3問)
理 系 一 括 入 試		I, II, III, IV, V, VI (6問)

(注 意)

- 1 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
- 2 問題紙は本文 21 ページです。答案用紙は、学校教育学類、保健学類は 3 枚、先導学類(理系傾斜)、観光デザイン学類(理系傾斜)、スマート創成科学類(理系傾斜)、数物科学類、地球社会基盤学類、生命理工学類、理工 3 学類は 5 枚、医学類、薬学類、医薬科学類は 3 枚、理系一括入試は 6 枚あります。
- 3 答えはすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。
- 4 問題紙と下書き用紙は持ち帰ってください。

I [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類, 理系一括入試]

図1 aのように, 水平(x 方向)に設置されたばね定数 k [N/m] の軽いばねの一端を壁に固定し, 他端に質量 m [kg] の鉛筆をつなぐ。鉛筆の先端は紙に接し, 鉛筆は図の x 軸上にもみ運動する。紙と鉛筆の間には摩擦がはたらき, 静止摩擦係数と動摩擦係数は等しく, μ とする。

いま, ばねを自然の長さから x 軸正方向に x_0 [m] ($x_0 > 0$) まで伸ばし, 静かに手をはなしたところ, 鉛筆は振動を開始した。図1 bは時刻 t [s] における鉛筆の変位 x [m] を模式的に示したものであり, 手をはなしたときを $t = 0$ とする。鉛筆の変位は, 振動を繰り返しながら徐々に減衰していき, 最終的にはある位置で停止する。

鉛筆の加速度を a [m/s²], 重力加速度の大きさを g [m/s²] とし, 以下の文章中の空欄 (1) ~ (15) に当てはまる数式を答えなさい。

鉛筆がある位置 x にいるとき, 鉛筆には, ばねによる大きさ (1) [N] の復元力と, 大きさ (2) [N] の摩擦力が加わっている。 $t = 0$ から初めて鉛筆の速度が0となる時刻 t_1 [s] までを区間 I, 次に速度が0となる時刻 t_2 [s] までを区間 II とすれば, それぞれの運動方程式は, 区間 I では $ma =$ (3) と表され, 区間 II では $ma =$ (4) となる。したがって, 区間 I の運動は $x =$ (5) を中心とする単振動の半周期と同じであり, また区間 II では $x =$ (6) を中心とする単振動の半周期と同じである。よって, $t_1 =$ (7), $t_2 - t_1 =$ (8) と表わされる。

鉛筆の速度が0のとき, ばねの復元力の大きさが鉛筆にはたらく最大摩擦力の大きさ以下であれば, すなわち $|x| \leq$ (9) であれば, 鉛筆は停止する。そこで, 鉛筆が停止するまでの時間を考える。まず, $x = 0$ から速度が0となる位置までの鉛筆の変位の大きさが, 区間 II でどれだけ減少するかを求める。 $t = t_1$ での鉛筆の変位を $-x_1$ [m] ($x_1 > 0$), $t = t_2$ での変位を x_2 [m] ($x_2 > 0$) とすると, このあいだに

おける紙と鉛筆間の摩擦力による仕事の大きさは (10) [J]であり、これは x_1 および x_2 におけるばねに蓄えられているエネルギーの差 (11) [J]に等しい。したがって、鉛筆の変位は区間Ⅱのあいだで $x_1 - x_2 = (12)$ だけ減少することになる。

ここで、鉛筆の速度が $t > 0$ で n 回目に 0 になる時刻を t_n [s] とすると、 $t = t_n$ での変位の大きさは、 n を用いて $x_0 - (13)$ と表される。これが (9) 以下であれば鉛筆が停止する条件となり、 $n \geq (14)$ と表される。ここで、 n は整数であることから、 n が (14) 以上の最初の整数 N のとき、すなわち時刻 t_N [s] のとき鉛筆は停止する。以上のことから、鉛筆が停止するまでの時間 t_N は、 N 、 k 、 m を用いて (15) [s] と表される。

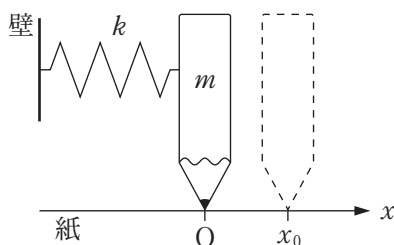


図 1 a

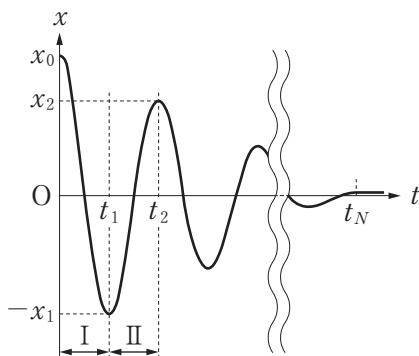


図 1 b

次に、同じ紙と鉛筆、ばねを用いて、図1cに示すように、半径 r_c [m] の円筒表面に紙を巻きつけ、鉛筆を接触させ、円筒を一定の角速度 ω_c [rad/s] で回転させた。ここで、円筒の上底面および下底面の中心を通る軸を x 軸とし、鉛筆は x 軸方向にのみ運動するものとする。

ばねを自然の長さから x 軸方向に x_0 [m] ($x_0 > 0$) まで伸ばし、時刻 $t = 0$ に静かに手をはなしたところ、鉛筆は振動を開始し、ちょうど円筒が2回転したところで鉛筆は停止した。このとき、以下の問いに答えなさい。

問 1 円筒の回転周期を求めなさい。

問 2 $t > 0$ で鉛筆が停止するまでに、鉛筆の x 軸方向の速度が0となる回数を N' とする。 N' を r_c , μ , x_0 , ω_c , k , m から必要なものを用いて表しなさい。ただし、 N' は最後に停止した回も含むものとする。

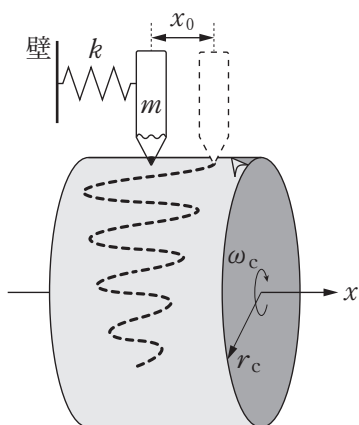


図 1 c

Ⅱ [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類, 理系一括入試]

図2 aは、箔検電器の模式図である。密閉されたガラスビン中にある複数本の金属箔が金属棒を通して金属板につながっている。箔が閉じた状態で、金属板に帯電した物体を近づけたとき、閉じていた箔が開き、物体が帯電していることを検知することができる。以下の問1に答えなさい。

問1 ある物体を金属板に近づけたところ、閉じていた箔が開いた。このときの説明として最も適切なものを、下から1つだけ選択し、解答欄の記号に○をつけなさい。

- (a) 物体は正に帯電していることがわかる。
- (b) 物体は負に帯電していることがわかる。
- (c) 与えられた条件では、物体が帯電していることはわかるが、正負のどちらに帯電しているかはわからない。

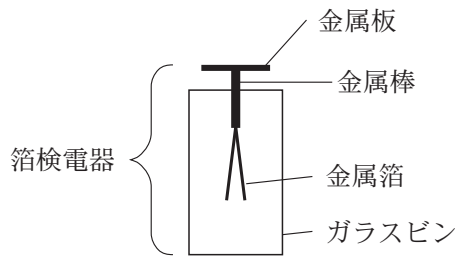


図2 a

図2 bに示すように、ある光源の光をプリズムとスリットを用いて分光すると、波長 λ_1 [m], λ_2 [m], λ_3 [m]のいずれかの光を取り出すことができる。箔検電器の金属板上にのせた、ある金属試料に光を照射して実験を実施した。実験では、光を照射する前にそのつど、箔検電器を負の電荷で帯電させ、箔が開いた状態にしておいた。ただし、図2 bの実験は、真空中で行った。プランク定数は h [J·s], 光速は c [m/s], 電気素量は e [C] ($e > 0$)とする。以下の問2から問5に答えなさい。

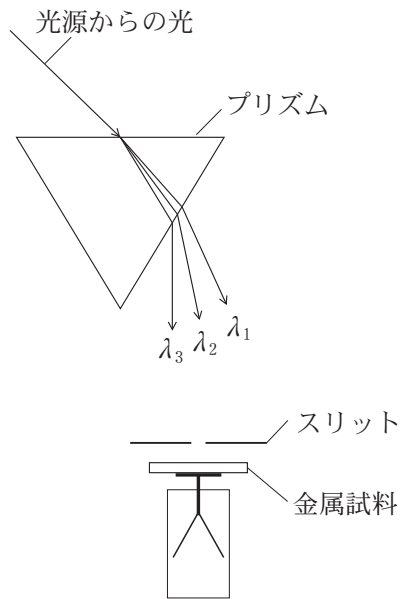


図 2 b

- 問 2 図 2 b で波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 のそれぞれの光は, プリズムで屈折してスリットに到達している。図の屈折の様子から, λ_1 , λ_2 , λ_3 の大小関係を示す適切な不等号の記号 ($>$ または $<$) を解答欄の点線で囲まれた 2 箇所の空欄に記入しなさい。
- 問 3 波長 λ の光を光子 (光量子) と考えた場合, 光子の運動量の大きさおよび光子のエネルギーを, それぞれ λ を用いて答えなさい。
- 問 4 波長 λ_2 の光を金属試料に照射したところ, 箔はすみやかに閉じた。 この現象を説明する次の文章を読んで, ①と②について, それぞれの(a)から(d)の選択肢から適切な語句を 1 つだけ選択し, 解答欄の記号に○をつけなさい。
 「金属試料に光が照射されることで ①{(a)作用反作用の法則, (b)ドップラー効果, (c)光電効果, (d)誘電分極} により, ②{(a)正の電荷をもつ陽子, (b)正の電荷をもつ陽電子, (c)負の電荷をもつ電子, (d)負の電荷をもつイオン} が飛び出し, 箔から電荷が逃げることで, 箔が閉じた。」
- 問 5 問 4 の下線部を既知として, λ_1 および λ_3 の光を照射したときに観測される現象の説明文, (A)と(B)について, それぞれの(a)から(c)の選択肢から適切な語句を 1 つだけ選択し, 解答欄の記号に○をつけなさい。

- (A) λ_1 の光を照射すると {(a)箔は、すみやかに閉じる, (b)箔は、閉じない, (c)箔が閉じるか閉じないかは、与えられた条件ではどちらとも言えない}。
- (B) λ_3 の光を照射すると {(a)箔は、すみやかに閉じる, (b)箔は、閉じない, (c)箔が閉じるか閉じないかは、与えられた条件ではどちらとも言えない}。

次に、箔検電器の代わりに、図 2c のような装置を用意し、波長 λ_2 の光を問 4 と同じ金属試料に照射した。点 P に加える電圧(電位)を変化させながら電圧計と電流計のそれぞれの測定値、電圧 V [V] と電流 I [A] との関係を調べたところ、図 2d のような結果を得た。電流が流れ始める電圧 V は、 $-V_0$ [V] ($V_0 > 0$) とする。また金属試料の仕事関数を W [J] とする。電流計および電源のそれぞれの内部抵抗は無視できるものとして、以下の問 6、問 7 に答えなさい。

問 6 V_0 を、 λ_2 、 W 、 h 、 c 、 e を用いて表しなさい。

問 7 光の波長を変えずに、照射する光の強さを強くしたところ、電圧 V に対して電流 I は、 I_{\max} [A] を下回る範囲で測定された。図 2d のグラフは、どのように変化するか、解答欄に光を強くした場合のグラフを描きなさい。ただし、解答欄にすでに描かれている図 2d のグラフを基準として、罫線を目安に^{けい}ていねいに描きなさい。

これまでの金属試料を試料 1 とし、これとは異なる種類の金属試料を試料 2 とする。試料 1 を試料 2 に取り換えて、図 2b の実験を波長 λ_2 の光で行ったところ、箔は開いたままであったが、 λ_1 あるいは λ_3 のいずれかの光に変更したところ、箔はすみやかに閉じた。ただし、試料 1 および試料 2 の仕事関数をそれぞれ W_1 [J]、 W_2 [J] とし、問 8 に答えなさい。

問 8 問 4 で考えた粒子が飛び出すときの運動エネルギーの最大値 K_0 [J] と、照射した光の振動数 ν [Hz] は、ある関係式を満たす。 K_0 の値を縦軸に、 ν の値を横軸にとり、試料 1 および試料 2 について、それぞれの関数のグラフを解答欄に描きなさい。ただし、 $K_0 > 0$ であるが、グラフは $K_0 \leq 0$ の範囲にも延長して描き、横軸あるいは縦軸と交点をもつ場合は、すべての交点の座標(切片の値)について、 W_1 または W_2 を用いた式をグラフ内に記入しなさい。グラフを描く

際に、関数が1次関数である場合はグラフが直線であることが分かるように、2次関数である場合は放物線らしく、解答欄の罫線を目安にていねいに描きなさい。

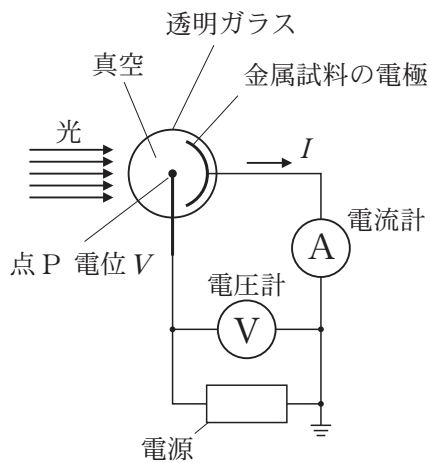


図 2 c

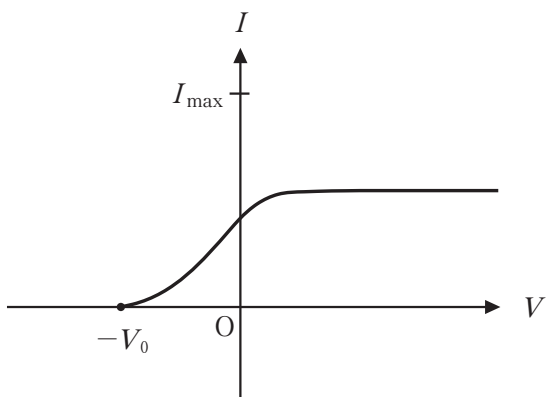


図 2 d

Ⅲ [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 保健学類, 理系一括入試]

科学観測に用いられるゼロプレッシャー気球は、熱気球のような加熱機構がなく、成層圏のような高い高度で長期間の観測が可能であるという特長をもつ。図3aは、地表にある浮上前のゼロプレッシャー気球を模式的に表したものである。気球の風船は自由に伸縮する軽い膜でできており、風船の内部に満たされたヘリウムと外部の空気との圧力差が常にゼロになるように、風船の体積が変化する。ヘリウムおよび空気はともに理想気体として扱ってよいとする。

いま、物質質量 n [mol] のヘリウムのみが風船の内部に充てんされている状態で、気球は浮上せず地表に静止していた。ヘリウムのモル質量(1 mol あたりの質量)は M [kg/mol] であり、空気のモル質量を M_0 [kg/mol] とすると、 M は M_0 に比べて小さい。地表の空気、および風船内の圧力はともに P_0 [Pa], 温度はともに T_0 [K] であった。風船内のヘリウムを除いた気球全体の質量を m [kg] とし、気球の風船以外の部分の体積は無視できる。気体定数を R [J/(mol·K)], 重力加速度の大きさを g [m/s²] として、以下の問いに答えなさい。

問 1 風船の体積を求めなさい。

問 2 風船によって押しのけられている空気の物質質量、および気球にはたらく浮力の大きさをそれぞれ求めなさい。

風船内に充てんするヘリウムの物質質量を n から徐々に増やしたところ、 n_F [mol] を超えたところで初めて気球はゆっくりと浮上した。以下の問いに答えなさい。

問 3 n_F を、 M_0 , M , m を用いて表しなさい。

問 4 このとき気球が浮上した理由を説明した文として最も適切なものを下から1つ選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。

- (a) 風船に充てんするヘリウムの物質質量を増やすことで、風船内にあるヘリウムを除いた気球全体の重さよりも、ヘリウムから気球にはたらく浮力の大きさが大きくなったため。

- (b) 風船に充てんするヘリウムの物質質量を増やすことで、風船内にあるヘリウムを含む気球全体の重さよりも、空気から気球にはたらく浮力の大きさが大きくなったため。
- (c) 風船に充てんするヘリウムの物質質量を増やすことで風船の体積が増加し、それとともに風船内のヘリウムの密度が減少したことにより、風船内にあるヘリウムの重さよりも、空気からヘリウムにはたらく浮力の大きさが大きくなったため。

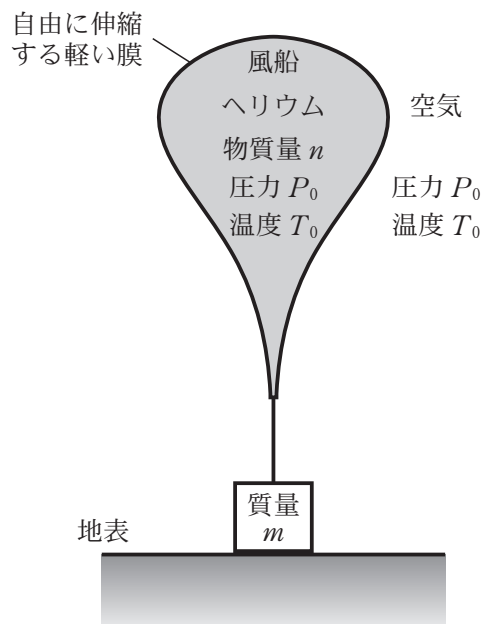


図 3 a

以下では、気球は風の影響を受けず鉛直線上のみをゆっくりと動くものとする。また、ヘリウムの体積が風船の体積の最大値 V_0 [m³] を超えた場合には、風船下部にある逆止弁を通してその超えた分のヘリウムが外部に放出され、風船内と外部の空気の圧力が常に等しい状態が保たれる。一方、逆止弁を通して外部から風船内へ空気およびヘリウムが流入することはないものとする。また、空気の実質量、空気の温度、および重力加速度は、地表からの高度によらずそれぞれ M_0 , T_0 , g で一定とする。ただし、空気の圧力は高度が高くなるほど減少するものとする。

図 3 b に示すように、気球を地表にロープで固定して、 n_F より大きい物質質量 n_0 [mol] ($n_0 > n_F$) のヘリウムのみを風船内に充てんした。充てん後の状態を状態 A とする。その後、ロープを切り離すと、風船が膨張しながら気球は上昇した。風船の体積が V_0 に達した後、気球はヘリウムを風船外部に静かに放出しながらゆっくりと上昇を続け、ある高度で力が釣り合って静止した。この状態を状態 B とする。ただし、気球はこの状態 B の高度を状態 A → 状態 B の過程で超えることはない。また、風船内の温度は外部の空気と同じ T_0 で一定であるとする。以下の問いに答えなさい。

問 5 状態 B の気球について、風船内のヘリウムの物質質量を n_B [mol] とすると、鉛直方向の力のつり合いは以下の式で表される。

$$mg + \boxed{(1)} = \boxed{(2)}$$

ここで、左辺は気球に鉛直下向きにはたらく力の大きさ、右辺は鉛直上向きにはたらく力の大きさである。 $\boxed{(1)}$, $\boxed{(2)}$ にあてはまる式を、 M_0 , M , n_0 , n_B , g のうち必要なものを用いてそれぞれ表しなさい。

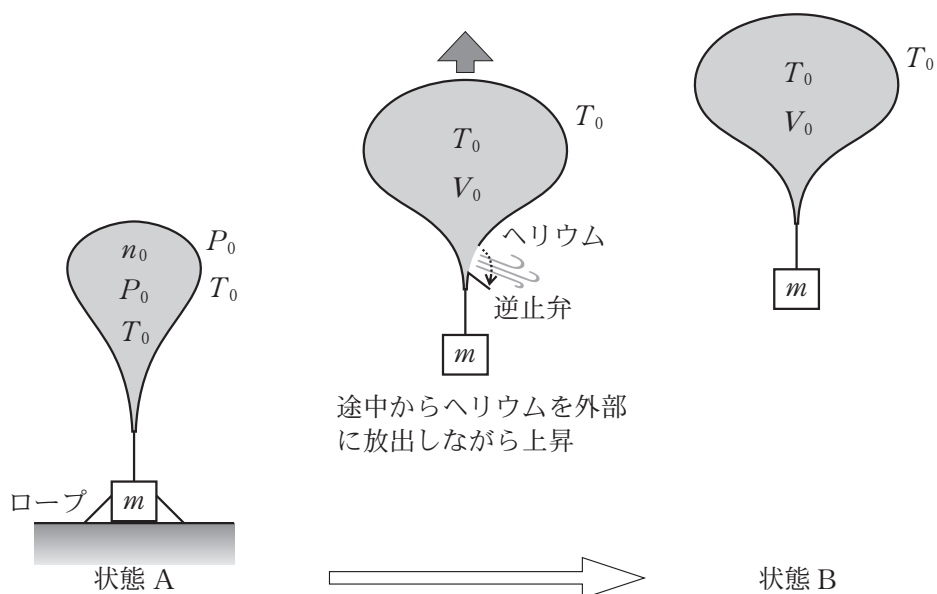
問 6 n_B を n_0 , n_F , P_0 , T_0 , V_0 , R のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 7 状態 B での気球の高度をより高くする方法として、正しいものを以下から すべて 選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。

- (a) 状態 A で風船内に充てんするヘリウムの物質質量 n_0 を増やす。
- (b) 状態 A で風船内に充てんするヘリウムの物質質量 n_0 を減らし n_F に近づける。
- (c) ヘリウムを除いた気球全体の質量 m がより小さい気球を用いる。ただし、風船の最大体積 V_0 、および状態 A で風船内に充てんするヘリウムの物質質量

n_0 は同じとする。

- (d) 風船の最大体積 V_0 がより大きい気球を用いる。ただし、ヘリウムを除いた気球全体の質量 m 、および状態 A で風船内に充てんするヘリウムの物質質量 n_0 は同じとする。



続いて図 3 c に示すように、状態 B の気球が昼の太陽に照らされ、風船内の温度のみが上昇した。気球は、風船の体積を V_0 に保ったまま、風船外部にヘリウムを静かに放出しながらゆっくりと上昇した後、ある高度で力が釣り合って静止した。この状態を状態 C とする。ただし、気球はこの状態 C の高度を状態 B → 状態 C の過程で超えることはない。また、状態 C での風船内の温度を T_H [K] ($T_H > T_0$) とする。以下の問いに答えなさい。

問 8 状態 C でのヘリウムの物質量を、 M_0 , M , m , T_0 , T_H を用いて表しなさい。

この気球の積み荷にはおもりが積まれており、これらのおもりを少しずつ落とすことで気球の質量を減らすことができる。図 3 d に示すように、夜になり状態 C の気球の風船内の温度が T_H から外部の空気と同じ T_0 まで低下した。この過程において、おもりを少しずつ落とすことで気球の高度をつねに状態 C と同じ高度に保った。風船内の温度が T_0 になったときの状態を状態 D とする。以下の問いに答えなさい。

問 9 状態 C → 状態 D の過程で落としたおもりの合計の質量を、 M_0 , M , m , T_0 , T_H を用いて表しなさい。

問 10 状態 C からおもりを落とさないまま風船内の温度が T_0 まで低下して一定となった場合、その後の気球の状況を説明した文として最も適切なものを下から 1 つ選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。

- (a) 状態 B より高い高度で力が釣り合う。
- (b) 状態 B と同じ高度で力が釣り合う。
- (c) 地表より高く状態 B より低い高度で力が釣り合う。
- (d) 地表に落下するまで力が釣り合う高度は存在しない。

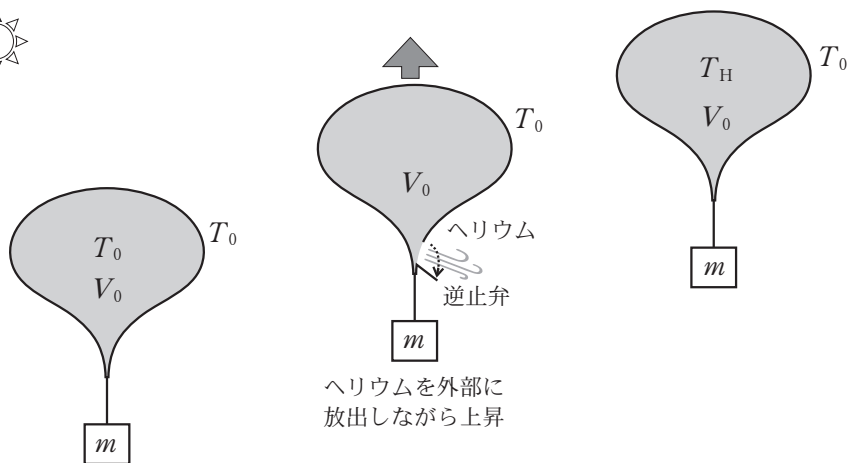


図 3 c

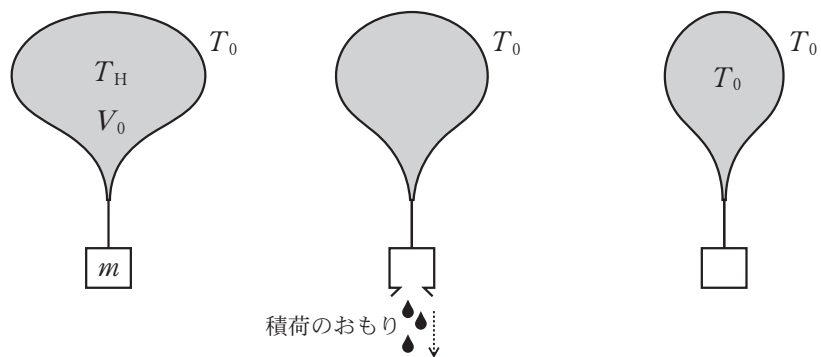


図 3 d

Ⅳ [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 理系一括入試]

図4に示すように, 傾斜角 30° の斜面をもつ質量 M [kg] の三角柱である物体 A が水平な床に置かれている。質量 m [kg] の正三角柱である物体 B が物体 A の斜面にのっている。同じ質量 m [kg] の直方体である物体 C が物体 B にのっている。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

まず, 床と物体 A の間, 物体 A と物体 B の間, および物体 B と物体 C の間のすべてに摩擦がある場合を考える。物体 A と物体 B の間, および物体 B と物体 C の間の静止摩擦係数はともに μ_1 とする。はじめ, 物体 A, 物体 B, および物体 C はすべて静止したままであった。以下の問いに答えなさい。

- 問 1 物体 B から物体 C にはたらく垂直抗力の大きさを求めなさい。
- 問 2 物体 B から物体 C にはたらく静止摩擦力の大きさ, および物体 A から物体 B にはたらく静止摩擦力の大きさをそれぞれ求めなさい。
- 問 3 床から物体 A にはたらく静止摩擦力は {左向き・右向き・ $\vec{0}$ } である。{ } 内の選択肢の正しいものを選び, 解答欄の選択肢に○をつけなさい。
- 問 4 物体 B, 物体 C の両方ともすべり出さないために, 静止摩擦係数 μ_1 が満たすべき条件を求めなさい。

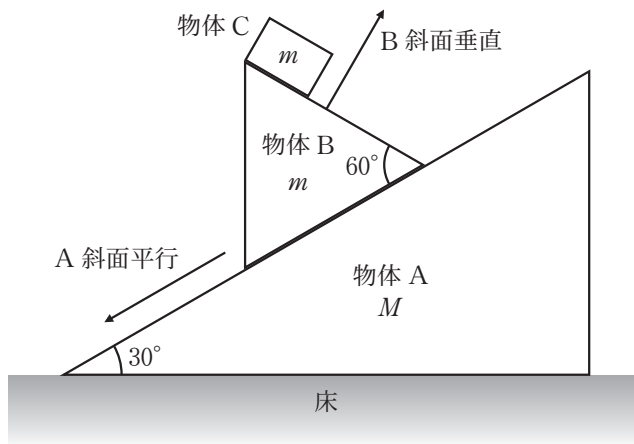


図 4

次に、床と物体 A の間、および物体 B と物体 C の間に摩擦があり、物体 A と物体 B の間には摩擦がない場合を考える。物体 B と物体 C の間の静止摩擦係数は μ_2 とする。物体 A、物体 B および物体 C を支えて静止した状態から、物体 A、物体 B および物体 C を静かにはなしたところ、物体 A は静止したままで、物体 B と物体 C が一体となって物体 A の上を転がらずにすべり出した。物体 C の加速度の大きさを $a_1[\text{m/s}^2]$ とし、物体 B から物体 C にはたらく静止摩擦力の大きさを $F[\text{N}]$ 、物体 B から物体 C にはたらく垂直抗力の大きさを $N_1[\text{N}]$ として、以下の問いに答えなさい。

問 5 物体 A の斜面に平行な方向について、物体 C の運動方程式を、 m 、 a_1 、 g 、 F 、 N_1 を用いて表しなさい。

問 6 物体 B から物体 C にはたらく静止摩擦力の大きさ F と、物体 B から物体 C にはたらく垂直抗力の大きさ N_1 をそれぞれ求めなさい。

問 7 物体 C が物体 B に対してすべり出さないために、静止摩擦係数 μ_2 が満たすべき条件を求めなさい。

さらに、床と物体 A の間に摩擦があり、物体 A と物体 B の間、および物体 B と物体 C の間のどちらにも摩擦がない場合を考える。物体 A、物体 B および物体 C を支えて静止した状態から、物体 A、物体 B および物体 C を静かにはなしたところ、物体 A は静止したままで、物体 B と物体 C はそれぞれ転がらずにすべり出した。このときの物体 B の加速度の大きさを $a_2[\text{m/s}^2]$ とする。また、物体 B から物体 C にはたらく垂直抗力の大きさを $N_2[\text{N}]$ とする。以下の問いに答えなさい。

問 8 物体 A の斜面に平行な方向について、物体 B の運動方程式を、 m 、 a_2 、 g 、 N_2 を用いて表しなさい。

問 9 物体 C と接触している物体 B の斜面垂直方向について、物体 C の力のつり合いを考える。物体 B から見た物体 C にはたらく慣性力を含めた物体 C の力のつり合いの式を、 m 、 a_2 、 g 、 N_2 を用いて表しなさい。

問 10 物体 B の加速度の大きさ a_2 を求めなさい。

V [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 理系一括入試]

指先で触れたときの力を測るためのタッチセンサーのひとつに感圧導電性材料を用いたものがある。感圧導電性材料とは、図5aに示すように、一般的に絶縁性のゴム材料の内部に導電性の粒子が分布しており、荷重(外力) F [N]の大きさに応じて抵抗値 R [Ω]が変化する。ここでは、この特性を利用して、押されたときの力や位置を測るタッチセンサーを構成することを考える。なお、使用する感圧導電性材料の抵抗値 R は、図5a下側の略図に示されるように、荷重 F ($F > 0$) に対して反比例して変化する。すなわち、定数 k [Ω・N]を用いて $R = \frac{k}{F}$ の関係が成立する。なお、 $F = 0$ のとき R は無限大とする。

感圧導電性材料にかかる荷重 F を推定するための回路として、図5bのような回路を作成した。なお、回路図では感圧導電性材料は可変抵抗器の図記号で示されている。感圧導電性材料は、抵抗値 r_1 [Ω] ($r_1 > 0$) の抵抗と、内部抵抗を無視できる起電力 E [V] の直流電源に直列接続されている。点aの電位 V_a [V] を測定することで、荷重 F を推定するものである。以下の問いに答えなさい。

問1 点aの電位 V_a を r_1 , R , E を用いて表しなさい。

問2 荷重 F に対する電位 V_a の変化に関する下記の説明について、①から③の箇所 { } 内の選択肢の最も適切なものを選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。

「電位 V_a は、荷重 F が0のとき ① $\{0 \cdot \frac{1}{2} E \cdot E\}$ であり、 F が増加するにつれて ② $\{0 \cdot \frac{1}{2} E \cdot E\}$ に漸近する。 V_a と F には1対1の関係があるため、 V_a を測定することで F を求めることができる。ここで、より弱い力を感度良く検出するには、 F が0から増加したときの V_a の変動が大きいことが望ましい。すなわち、抵抗値 r_1 が ③ $\{大きい \cdot 小さい\}$ ほど感度が高いタッチセンサーとなる。」

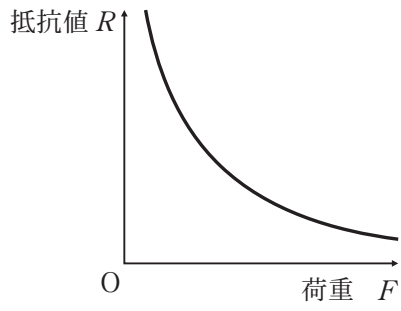
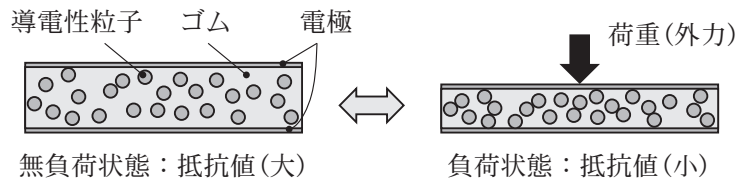


図 5 a

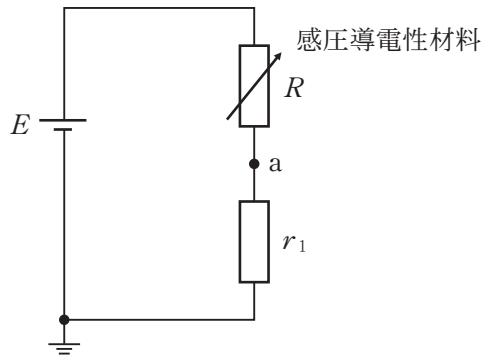


図 5 b

次に、回路を図 5 c のように拡張した。この回路では、抵抗値 r_2 [Ω] ($r_2 > 0$) の抵抗 2 個と、長さ ℓ [m]、断面積 S [m²]、抵抗率 ρ [$\Omega \cdot \text{m}$] の一様な抵抗線 bc が用いられ、感圧導電性材料の一端はこの抵抗線に接続されている。この接続点を点 a とし、点 b から点 a までの距離を x [m] とする。以下の問いに答えなさい。

問 3 抵抗線のうち ab 間および ac 間の抵抗値を ℓ , S , ρ , x のうち必要なものを用いてそれぞれ表しなさい。

ここで、抵抗値 r_2 を抵抗線の両端間 (bc 間) の抵抗値と一致するように調整した。さらに、接続点 a の位置を変更した場合を考える。以下の問いに答えなさい。

問 4 ① $x = \frac{1}{2}\ell$, ② $x = \frac{1}{4}\ell$ としたときの、回路全体の抵抗値を、 r_2 , R を用いてそれぞれ表しなさい。

問 5 回路の挙動に関する下記の説明について、空欄 ~ の中に入る数式を答えなさい。

「感圧導電性材料に荷重 F を加えると、抵抗値 R が減少し、回路全体には電流が流れる。この電流の大きさは、 F が一定であっても、点 a の位置によって変化し、 x が のときに最小となる。電流は点 a において点 b 方向と点 c 方向に分岐して流れ、それぞれの電流の大きさを I_b [A], I_c [A] とすると、その比は ℓ , x を用いて $I_b : I_c =$ と表される。回路全体に流れる電流の大きさを I [A] とすると、点 b の電位 V_b [V] および点 c の電位 V_c [V] は、 ℓ , x , r_2 , I を用いてそれぞれ , と表される。」

最後に、回路を図 5 d のように拡張した。これまで用いていたものと同一の感圧導電性材料を 9 個用意し、これらを 1 列に並べている。各感圧導電性材料の一端は、抵抗線 bc 上に等間隔で接続されている。点 b に接続されているものを 1 番目として、以降 $\frac{1}{8}\ell$ ごとに順番に 2 番目、3 番目が接続され、点 c に接続されているものを 9 番目と呼ぶこととする。なお、荷重がかかっていない状態の感圧導電性材料の抵抗値は無限大であり、絶縁されているとみなしてよい。以下の問いに答えなさい。

問 6 起電力 E として 15 V を加え、あるひとつの感圧導電性材料を指で押しなが
 ら点 b と点 c の電位を測ったところ、 V_b および V_c はそれぞれ 5 V 、 7 V で
 あった。押された感圧導電性材料は何番目のものか答えなさい。また、このと
 きの押された感圧導電性材料の抵抗値 R を、 r_2 を用いて表しなさい。

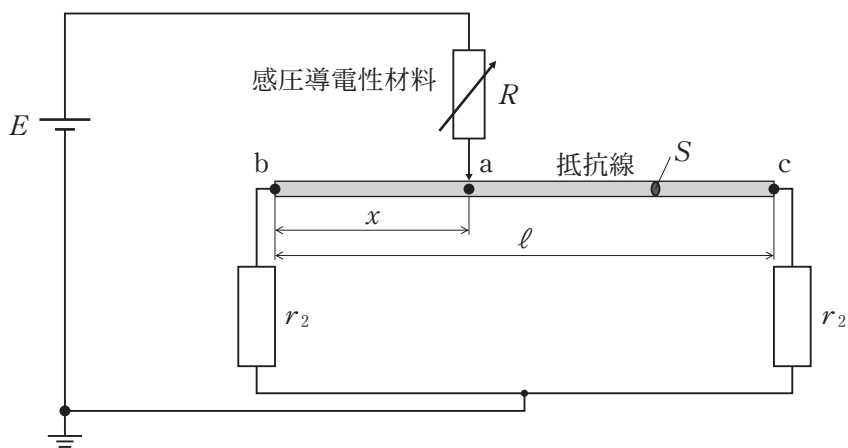


図 5 c

等間隔に配置された 9 個の感圧導電性材料のうち、
 あるひとつに対して荷重 F [N] を加える

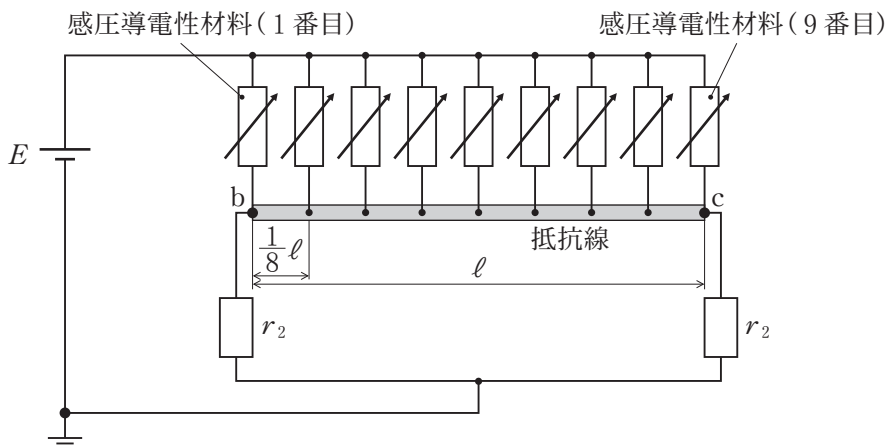


図 5 d

VI [理系一括入試]

図 6 a, 6 b, 6 c のように、電圧の最大値 V_0 [V]、角周波数 ω [rad/s] の交流電源を用いた回路がある。以下では、交流電源の電圧(点 b に対する点 a の電位)を V [V] とし、図に書き込まれた矢印の向きを電流の正の向きとする。

図 6 a のように、自己インダクタンスが L [H] のコイル、電気容量が C [F] のコンデンサーと交流電源を接続した回路がある。時刻 t [s] における交流電源の電圧を $V = V_0 \sin \omega t$ とすると、コイルに流れる電流 I_L [A] は $I_L = I_{L0} \sin(\omega t + \phi_L)$ 、コンデンサーに流れる電流 I_C [A] は $I_C = I_{C0} \sin(\omega t + \phi_C)$ と表される。ここで、 I_{L0} [A] と I_{C0} [A] は各電流の最大値、 ϕ_L [rad] と ϕ_C [rad] は各電流と電圧の位相差である。以下の問 1 から問 5 に答えなさい。

問 1 時間 Δt [s] の間にコイルに流れる電流 I_L が ΔI [A] だけ変化すると、コイルには自己誘導による誘導起電力が生じる。この誘導起電力(点 a に対する点 b の電位)を L , Δt , ΔI を用いて表しなさい。

問 2 I_{L0} を L , V_0 , ω を用いて表しなさい。また ϕ_L を求めなさい。

問 3 時間 Δt の間にコンデンサーにかかる電圧 V が ΔV [V] だけ変化するとき、コンデンサーに流れる電流 I_C を C , Δt , ΔV を用いて表しなさい。

問 4 I_{C0} を C , V_0 , ω を用いて表しなさい。また ϕ_C を求めなさい。

問 5 この回路のインピーダンスを L , C , ω を用いて表しなさい。

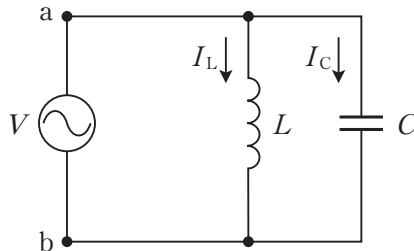


図 6 a

図 6 b のように、抵抗値が $R[\Omega]$ の抵抗、自己インダクタンスが $L[\text{H}]$ のコイル、電気容量が $C[\text{F}]$ のコンデンサーと交流電源を接続した回路がある。時刻 t において、回路を流れる電流 $I[\text{A}]$ を $I = I_0 \sin \omega t$ とすると、交流電源の電圧は $V = V_0 \sin(\omega t + \phi)$ と表される。ここで、 $I_0[\text{A}]$ および $\phi[\text{rad}]$ は、図 6 b の回路における電流の最大値および電流と電圧の位相差である。以下の問 6 から問 8 に答えなさい。また、必要であれば以下の公式を用いなさい。

$$A \sin \theta + B \cos \theta = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\theta + \alpha)$$

$$\left(\text{ただし, } \cos \alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad \tan \alpha = \frac{B}{A} \right)$$

$$\cos 2\theta = 1 - 2 \sin^2 \theta$$

問 6 V_0 を R, L, C, I_0, ω を用いて表しなさい。

問 7 $\tan \phi$ を R, L, C, ω を用いて表しなさい。

問 8 この回路の 1 周期にわたる平均の消費電力を R, L, C, I_0, ω のうち必要なものを用いて表しなさい。

図 6 c のように、抵抗値が $R[\Omega]$ の抵抗、自己インダクタンスが $L[\text{H}]$ のコイル、電気容量が $C[\text{F}]$ のコンデンサーと交流電源を接続した回路がある。時刻 t において、抵抗を流れる電流 $I[\text{A}]$ を $I = I_0 \sin \omega t$ とすると、交流電源の電圧は $V = V_0 \sin(\omega t + \phi)$ と表される。ここで、 $I_0[\text{A}]$ および $\phi[\text{rad}]$ は、図 6 c の回路における電流の最大値および電流と電圧の位相差である。以下の問 9 と問 10 に答えなさい。

問 9 V_0 を R, L, C, I_0, ω を用いて表しなさい。

問 10 交流電源の角周波数が $\omega_0[\text{rad/s}]$ のとき、抵抗には電流が流れなくなった。このときの ω_0 を R, L, C のうち必要なものを用いて表しなさい。

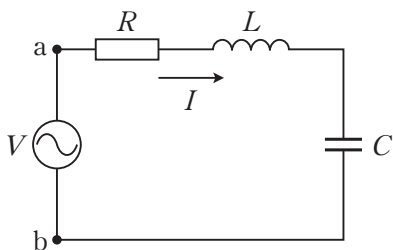


図 6 b

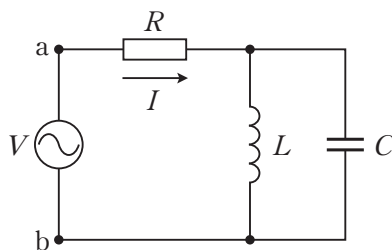


図 6 c

