

2024年度入試 問題訂正

監督者各位

受験生に対して、問題訂正があることを口頭で伝え、下枠の内容を黒板に書いてください。問題訂正の要領は「監督者の手引き」を参照してください。

問題訂正

物理 A

6 ページ 〔Ⅱ〕 〔B〕

リード文 1 行目

(誤) 搭載できる

(正) 搭載した

リード文 4 行目

(誤) 240 kg

(正) 140 kg

解答はすべて別紙の解答用紙に記入しなさい

〔 I 〕 重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

〔 A 〕 次の文中の空欄 ア ～ ケ に対し、適切な数式を解答欄に記せ。

細く軽い糸の一端に質量 m の小物体を取り付け、もう一端を、水平でなめらかな xy 平面上の点 $P(L, a)$ に固定した。糸をたるまない状態に保ちながら、小物体を xy 平面上で等速円運動させた。この等速円運動の半径と角速度の大きさを、それぞれ $2a$, ω とする。このとき、この等速円運動の周期は ア、小物体の速さは イ、糸の張力の大きさは ウ となる。

この等速円運動の x 軸方向の運動だけを考えると、小物体は x 軸方向を往復運動するように見える。その往復運動の中心の値は $x =$ エ、振幅は オ となる。時刻 $t = 0$ において小物体が $x = L$ に位置し、その速度が負であったとすると、時刻 t における小物体の位置は $x =$ カ と表せる。また、そのときの速度は キ、加速度は ク となる。

この往復運動が、小物体にはたらく x 軸方向の力 F により生じたものと解釈すると、 F は、 t を用いることなく、 L, a, m, ω, x のうち必要なものを用いて $F =$ ケ と表せる。

〔 B 〕 図 1 のように自然長 L 、ばね定数 k の軽いばねの一端に取り付けた質量 M の物体 A が、水平な床の上に置かれている。ばねと物体 A の運動は紙面に沿うものとし、ばねは水平に保たれている限り床に接触しないものとする。また、床と A との静摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とする。

まず、床に設置された支柱にばねのもう一端 P を固定し、ばねを自然長の長さで水平にして、ばねと物体 A を静止させた。この状態のばねと A に対し、質量 m の物体 B を、紙面に沿って図 1 のように衝突させると、衝突直後に B は静止した。衝突直前の B の速さを v 、物体 A と B の反発係数（はね返り係数）を e とする。

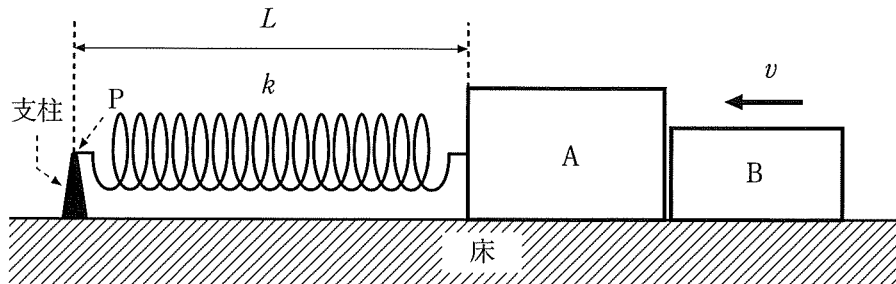


図 1

(1) 衝突直後の A の速さ V と質量比 $\frac{m}{M}$ を, e, v のうち必要なものを用いてそれぞれ答えよ.

物体 B が A と衝突した時刻を 0 とし, その後, A の速さがはじめて 0 となる時刻を T_1 とする.

(2) 時刻 t ($0 < t < T_1$) におけるばねの長さを ℓ とする. この時刻 t までに, A にはたらく摩擦力がした仕事と, 時刻 t においてばねに蓄えられている弾性エネルギーとを, $g, \mu, \mu', M, k, L, \ell$ のうち必要なものを用いて, それぞれ答えよ.

(3) 時刻 T_1 におけるばねの長さ ℓ_1 を, g, μ, μ', M, V, k, L のうち必要なものを用いて答えよ.

時刻 T_1 で速さが 0 となった A は再び動き出し, それと同時に B を静かに取り除いた. A の速さが, 次に 0 となる時刻を T_2 ($> T_1$) とする.

(4) 時刻 T_1 で, A が再び動き出すための条件を, $g, \mu, \mu', M, k, L, \ell_1$ のうち必要なものを用いて答えよ.

(5) 時刻 t ($T_1 < t < T_2$) におけるばねの長さを ℓ とする. この時刻 t における A にはたらく合力の大きさを, $g, \mu, \mu', M, k, L, \ell$ のうち必要なものを用いて答えよ.

(6) $T_2 - T_1$ を, g, μ, μ', M, k, L のうち必要なものを用いて答えよ.

次に, 図 2 のように, 支柱を取り除いてばねと物体 A だけを床の上に置き, ばねを水平に保ったまま, 端 P を, 図 2 の水平方向左向きに, 初速度 0, 加速度の大きさ a_0 で等加速度直線運動させると同時に, 物体 A に適当な初速度を与えた場合のばねの運動について考える. 端 P を等加速度直線運動させ始めた時刻を, あらためて $t = 0$ とする.

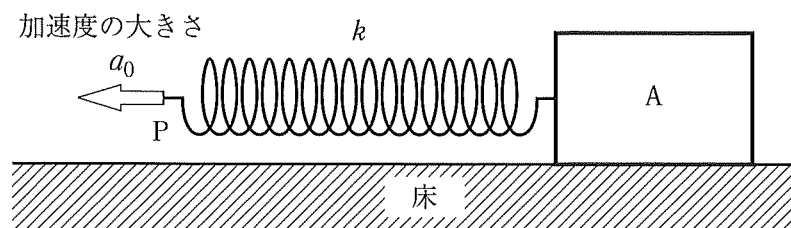


図 2

図3は、 $t = 0$ において、ばねの長さを自然長とし、物体Aに水平方向左向きに初速度を与えたときの、ばねの伸び z の時間変化を表すグラフである。また、そのときの、床に対する物体Aの速度の時間変化を、図4に示す（図2の水平方向右向きを、速度の正の向きとした）。 $t = 0$ におけるばねの長さや物体Aの初速度が特殊な値でない限り、ばねの伸び z は、やがて、図3のように必ず一定の周期で振動するようになる。

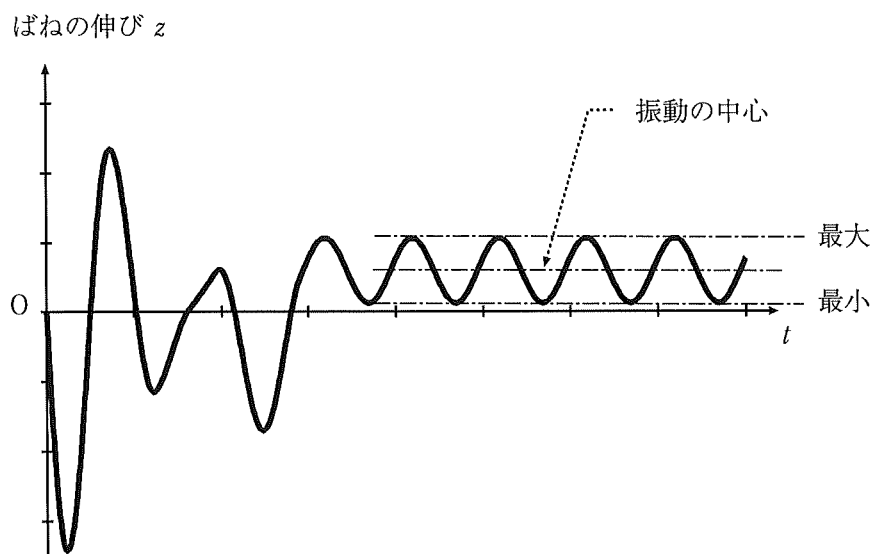


図3

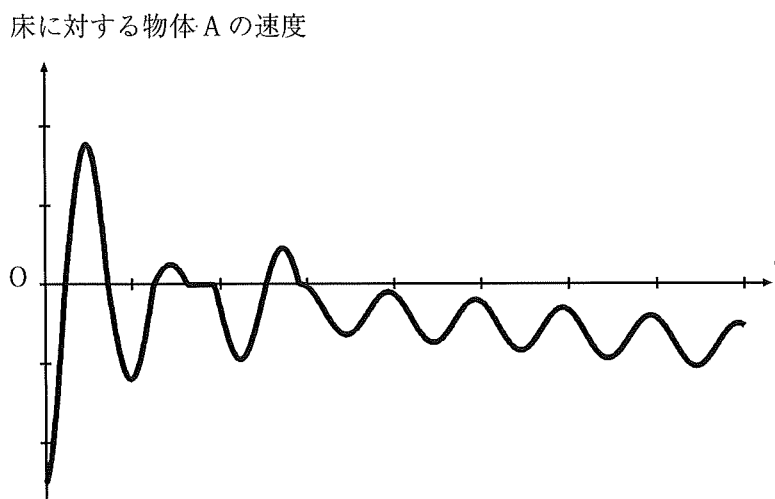


図4

ばねの伸び z が一定の周期で振動を始めた後の、ばねと物体 A の運動について考える。

- (7) 端 P とともに運動する観測者からみた物体 A の加速度を a とする。その観測者からみた A の運動方程式を、 $g, \mu, \mu', M, k, z, a_0, a$ のうち必要なものを用いて答えよ。ただし、ばねの伸びる向きを、加速度や力の正の向きとする。
- (8) 図 3 に示された振動の中心の z の値と振動の周期を、 $g, \mu, \mu', M, k, L, a_0$ のうち必要なものを用いて、それぞれ答えよ。

〔Ⅱ〕 気体に関する以下の問いに答えよ。

〔A〕 物質質量 n の単原子分子理想気体を考える。気体の単位物質質量あたりの質量を M 、気体定数を R とする。気体は、密度 ρ 、体積 V 、温度 T の状態にあった。

(1) 気体の圧力 P を、 n は使わずに、 V 、 T 、 ρ 、 M 、 R のうち必要なものを用いて答えよ。

気体の圧力 P を一定に保った状態で、気体に熱量 Q をゆっくりと与えたところ、気体の体積が $\Delta V (> 0)$ だけ膨張した。

(2) この過程で気体が外部にした仕事を、 P 、 Q 、 ΔV 、 T のうち必要なものを用いて答えよ。

(3) この過程で、気体の密度はどのように時間変化するかを、以下の選択肢から最も適切なものを選び、記号で答えよ。

(ア) 変わらない

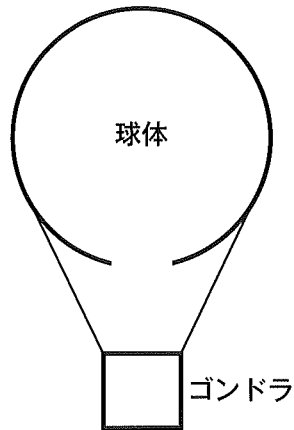
(イ) 単調に減少する

(ウ) 単調に増加する

(エ) 増加と減少を繰り返す

(4) この過程での気体の温度の変化を ΔT とする。気体の内部エネルギーの変化および与えた熱量 Q を、 ΔT 、 n 、 R のうち必要なものを用いてそれぞれ答えよ。

〔B〕 図に示すように下端に開口部がある薄い素材でできた球体に、積荷を搭載できるゴンドラが吊り下げられた気球を考える。開口部があるため、そこでの球体内部の空気の圧力は周囲の大気の圧力と等しくなる。空気以外の気球全体（ゴンドラ、吊り下げるひもを含む）の質量を 100 kg 、積荷の質量を 240 kg 、球体内部の体積を $V = 600 \text{ m}^3$ とする。大気の温度は $T_0 = 280 \text{ K}$ で高度によらず一定とする。地表での大気の密度は $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 、大気の圧力は $P_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。空気は理想気体として風の影響は無視する。積荷の体積も無視する。またゴンドラ、吊り下げるひもの体積は無視する。重力加速度の大きさは高度によらず $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする。



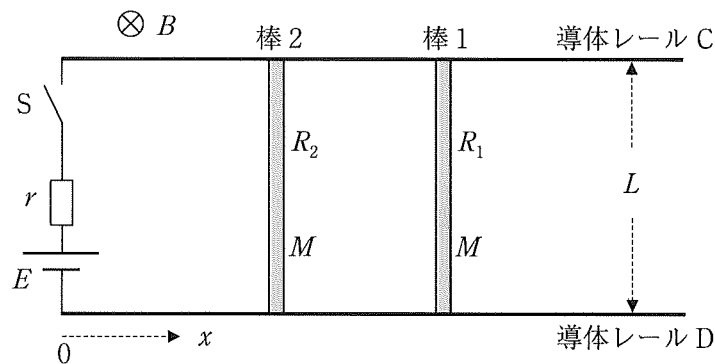
気球が地表にある場合を考える。

- (1) 球体内の空気の質量の値を答えよ。
- (2) 球体内の空気を加熱したところ、気球は浮上した。浮上した瞬間の球体内部の空気の密度と温度の値をそれぞれ答えよ。
- (3) 気球には、球体内部の空気の温度をいくら上げても気球が浮かなくなる質量の限界値がある。この気球が浮上できる積荷の質量の最大値を答えよ。

次に、ゴンドラの積荷を減らして、球体内部の空気の温度を問(2)の値に保ち続けたところ、周囲の大気の密度が 1.1 kg/m^3 となる高度まで気球は上昇して静止した。

- (4) ある高度 h での大気の圧力を P_h 、密度を ρ_h とする。 P_h を $T_0, P_0, \rho_0, \rho_h, g$ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (5) 上昇した気球に搭載されている積荷の質量の値、および上昇して気球が静止した高度での大気の圧力の値をそれぞれ答えよ。

〔Ⅲ〕 図のように、鉛直下向き（紙面の表から裏向き）に一様な大きさ B の磁束密度の磁場（磁界）の中に、十分に長く抵抗の無視できる 2 本の導体レール C, D が水平面上に間隔 L で平行に配置されている。導体レール C, D は、抵抗値 r の内部抵抗をもつ起電力 E の電池とスイッチ S を通じて接続されている。2 本の導体レール間には、抵抗値 R_1 、質量 M の棒 1 と、抵抗値 R_2 、質量 M の棒 2 が置かれている。棒 1 と棒 2 は、2 本の導体レールと垂直を保ちながら導体レールから外れることなく、なめらかに動くことができる。図のように導体レールと平行に x 軸をとる。また、回路に流れる電流が作る磁場は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。



〔A〕 スイッチ S を開いた状態を考える。棒 2 を固定し、棒 1 に外力を加えて、 x 軸の正の向きに一定の速さ u で動かすものとする。

- (1) 時間 Δt の間に棒 1 が横切る磁束を答えよ。
- (2) 棒 1 に生じる誘導起電力の大きさ V を答えよ。
- (3) 棒 1 を流れる電流の大きさを、 B, L, R_1, R_2, V のうち必要なものを用いて答えよ。
- (4) 棒 1 に加えた外力の大きさと、その外力が単位時間あたりに行う仕事 W を、 B, L, R_1, R_2, V, M の中から必要なものを用いてそれぞれ答えよ。
- (5) 棒 1 と棒 2 のそれぞれで消費される電力を、 P_1, P_2 とする。 P_2 を、 B, L, R_1, R_2, V, M のうち必要なものを用いて答えよ。また、問 (4) で求めた W を、 B, L, M, P_1, P_2 のうち必要なものを用いて答えよ。

〔B〕 スイッチ S を閉じた状態を考える。ただし、各棒の抵抗値 R_1 、 R_2 と電池の内部抵抗値 r の間には、 $R_1=R_2=2r$ の関係があるものとする。

(1) 棒 1 と棒 2 をともに固定するとき、棒 1 に流れる電流の大きさを、 B 、 L 、 E 、 r のうち必要なものを用いて答えよ。

次に、スイッチ S を一旦開いてから、棒 1 と棒 2 を静止させた後、棒 2 のみを固定し、棒 1 を自由に動けるようにした。その後、再びスイッチ S を閉じると、棒 1 は動き出し、徐々に加速しながら、十分時間が経過した後、一定の速さに達した。

(2) スイッチ S を閉じた直後、棒 1 に生じる加速度を、 B 、 L 、 E 、 r 、 M のうち必要なものを用いて答えよ。

(3) 棒 1 が徐々に加速し、速さが v になった瞬間に棒 1 と棒 2 に流れる電流の大きさを、 B 、 L 、 E 、 r 、 M 、 v のうち必要なものを用いてそれぞれ答えよ。

(4) 棒 1 が一定の速さに達したとき、この速さを、 B 、 L 、 E 、 r 、 M のうち必要なものを用いて答えよ。

再びスイッチ S を開き、棒 1 と棒 2 を静止させた後、ともに自由に動けるようにした。その後、スイッチ S を閉じて、十分に時間が経過すると、棒 1、棒 2 はそれぞれ一定の速さ v_1 、 v_2 に達した。

(5) 一定の速さ v_1 、 v_2 を、 B 、 L 、 E 、 r 、 M のうち必要なものを用いてそれぞれ答えよ。