

物理チャレンジ2008

第1チャレンジ

理論問題コンテスト

2008年6月15日（日）
13:30～15:00

理論問題コンテストにチャレンジする前に下記の＜注意事項＞をよく読んでください。
問題は第1問から第5問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。
最後まであきらめず、チャレンジしてください。

＜注意事項＞

1. 開始の合図があるまで、問題冊子（全15頁）を開けてはいけません。
2. 電卓その他電機・電子機器を使用することはできません。携帯電話などを時計として使用することはできません。携帯電話などの電源は切ってください。
3. 参考図書（教科書、参考書、問題集、専門書、ノート）を1冊持ち込むことができます。解答用紙の指定の欄に、持ち込んだ参考図書名を記入してください（参考図書を持ち込まなかった場合は「なし」と書いてください）。
4. 開始の合図の後、最初に、**解答用紙のすべてのページ（全3枚）に、第1チャレンジ番号、氏名、会場名を必ず記入**してください。解答用紙のステープル（ホチキス）ははずさないでください。
5. 解答欄は問題ごとに指定されているので、必ず所定の解答欄に解答してください。
6. 問題冊子に計算用紙がはさんであります。計算等に利用してください。
7. 終了の合図があるまで、監督者の許可なしに、部屋の外に出ることはできません。
8. 気分が悪くなったとき、トイレに行きたくなったときは、手をあげて監督者に知らせてください。
9. 他の参加者の迷惑にならないように静粛に解答をすすめてください。迷惑行為があった場合は退出していただきます。
10. 提出前に解答用紙に第1チャレンジ番号、氏名、会場名が記入してあることを確認してください。
11. 退出の際に問題冊子、計算用紙は持ち帰ってください。

第1問 次の問い（問1～問10）に答えなさい。

問1 小物体を、鉛直上向きに初速度を与えて投げ上げた。すると小物体は、重力と空気抵抗を受けながら鉛直上向きに運動して、やがて最高点に達し、その後、鉛直下向きに運動して最初の投げ上げの地点に戻った。この小物体が運動している間、重力と空気抵抗が小物体にどのような仕事をしたかを述べた、次の文①～④の中から、最も適当なものを1つ選びなさい。

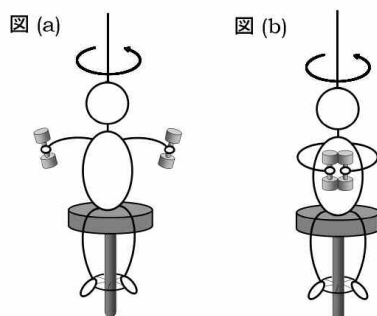
- ① 最高点に達するまでの間、重力は負の仕事をし、空気抵抗も負の仕事をした。最高点から元の地点に戻るまでの間は、重力は正の仕事をし、空気抵抗も正の仕事をした。
- ② 最高点に達するまでの間、重力は負の仕事をし、空気抵抗も負の仕事をした。最高点から元の地点に戻るまでの間は、重力は正の仕事をし、空気抵抗は負の仕事をした。
- ③ 最高点に達するまでの間、重力は負の仕事をし、空気抵抗は正の仕事をした。最高点から元の地点に戻るまでの間は、重力は正の仕事をし、空気抵抗も正の仕事をした。
- ④ 最高点に達するまでの間、重力は負の仕事をし、空気抵抗は正の仕事をした。最高点から元の地点に戻るまでの間は、重力は正の仕事をし、空気抵抗は負の仕事をした。

問2 高層ビル上階のエレベーターの中にヘリウムで膨らんだ風船が、ひもで床に固定されている。エレベーターはしばらく等速度で下降していたが、突然、エレベーターのケーブルが切れてエレベーターは重力加速度 g で落下を始めた。またその直後、風船と床をつなぐひもが切れた。この風船はエレベーターの床に対してどんな運動をするか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

- ① 風船は上昇する
- ② 風船は下降する
- ③ 風船は天井と床を行ったり来たりする
- ④ 風船はひもが切れた位置から上昇も下降もしない

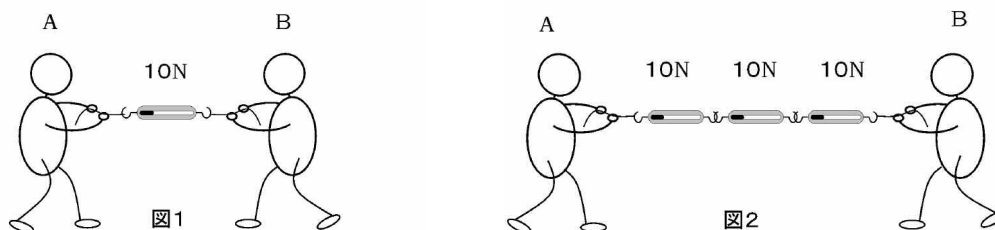
問3 次の図のように、両手にダンベルを持って回転椅子の上に座った人の回転運動を考える。図(a)の状態ですべての角速度（1秒間あたりの回転角）でこの椅子が回転運動しているとき、広げている腕を図(b)のように縮め、再び図(a)のように腕を広げる。

このとき、角速度はどのように変化するか。最も適当なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし、回転軸の摩擦の効果、空気抵抗は無視できるものとする。



- ① 角速度は、図(b)で小さくなり、再び図(a)で元に戻る
- ② 角速度は、図(b)で小さくなり、再び図(a)でも小さいまま
- ③ 角速度は、図(b)で大きくなり、再び図(a)で元に戻る
- ④ 角速度は、図(b)で大きくなり、再び図(a)でも大きいまま
- ⑤ 角速度は、変化しない

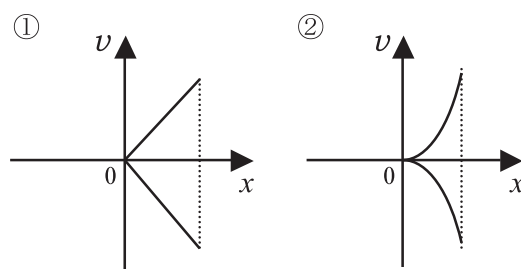
問4 次の図1と図2は、それぞれA,Bの2人が床上ではねはかりを引っ張っている状態を示している。ばねはかりはニュートン表示で、すべて10 Nになっている。図1と図2で、A,Bは、それぞれどれだけの力で引っ張り合っているだろうか。ばねはかりの質量は無視できるものとして、次の①～④の中から最も適当な組み合わせを1つ選びなさい。



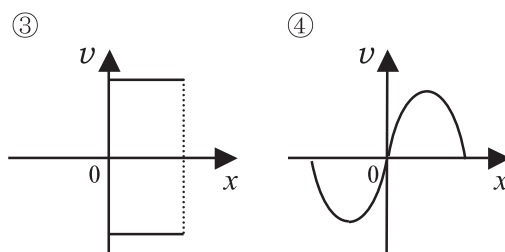
- ① 図1 A = 5 N, B = 5 N 図2 A = 15 N, B = 15 N
- ② 図1 A = 10 N, B = 10 N 図2 A = 30 N, B = 30 N
- ③ 図1 A = 20 N, B = 20 N 図2 A = 60 N, B = 60 N
- ④ 図1 A = 10 N, B = 10 N 図2 A = 10 N, B = 10 N

問5 次の(1)～(3)のように、小球が一直線上で周期運動を行っている。これらの小球の運動の様子を、位置 x を横軸、速度 v を縦軸にとって表すとどのようなグラフになるか。ただし、空気抵抗は無視できるものとする。

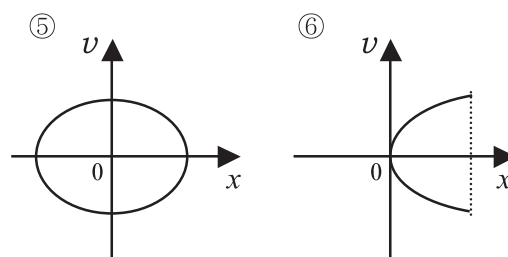
(1) 重力が無視できる空間において、一定の距離を隔てて平行な2枚の壁と垂直に弾性衝突を繰り返しながら一定の速さで往復運動している小球。最も適当なものを、右の図①～⑥の中から1つ選びなさい。



(2) 床からある高さの位置から初速0で落下し、床と弾性衝突をして跳ね返る運動を繰り返している小球。最初の位置から鉛直下向きを x 軸の正の向きにとる。最も適当なものを、右の図①～⑥の中から1つ選びなさい。



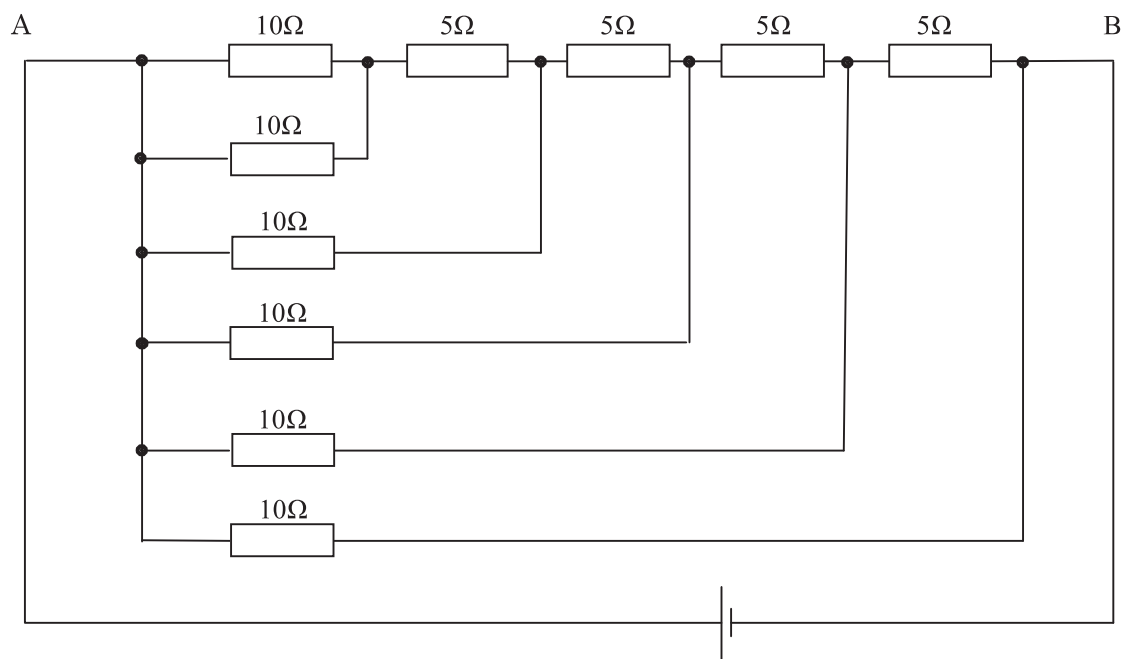
(3) 原点を中心とし、一定の振幅、周期で単振動している小球。最も適当なものを、右の図①～⑥の中から1つ選びなさい。



問6 密度 0.92 g/cm^3 、体積 1000 cm^3 の氷が水に浮いている。この氷にはたらいっている浮力はいくらか。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 として計算し、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

- ① 98 N ② 92 N ③ 90 N
 ④ 9.8 N ⑤ 9.2 N ⑥ 9.0 N

問7 抵抗値 10Ω の抵抗と抵抗値 5Ω の抵抗を用いて、次の回路を作った。AB間の合成抵抗はいくらか。



問8 1 kg の銅粒の入った袋を高さ 1.5 m から初速 0 m/s で堅い床に落下させる。この袋は床に衝突してもまったく跳ね返ることはない。この衝突によって、力学的エネルギーの70%が袋の中の銅粒に熱量として与えられるとする。この銅粒の温度を 5 K 上げるためにはこの袋をおよそ何回落下させなければならないか。最も適当なものを、次の①～④から1つ選びなさい。

ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 ，銅の比熱を $0.38\text{ J/g}\cdot\text{K}$ とする。また、銅は熱をよく伝えるので銅粒に与えられた熱は短時間のうちに袋の中の銅粒全体に伝わるものとする。

- ① 約90回 ② 約130回 ③ 約190回 ④ 約1800回

問9 ハイヒールを履いた人の全体重 50 kgが、ハイヒールの両かかとの先（ハイヒールのかかとの先1本あたり断面積 5 cm^2 ）に加わる圧力は、象の全体重 4000 kgが象の4本の足の裏（足1本あたり断面積 0.2 m^2 ）に加わる圧力の何倍か。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

- ① $\frac{1}{20}$ 倍 ② $\frac{1}{10}$ 倍 ③ $\frac{1}{5}$ 倍 ④ 5倍 ⑤ 10倍 ⑥ 20倍

問10 心臓の左心室から、血液が大動脈に送り出される。休息状態のときでも、毎分 6 l の血液が大動脈の中を流れている。大動脈の直径は、 20 mm である。ただし、 l はリットルを表す単位記号である。

(1) 大動脈を流れる血液の速さは何 m/s か。最も適当なものを、次の①～⑤から1つ選びなさい。

- ① $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ② 0.1 m/s ③ 0.3 m/s ④ 1 m/s ⑤ 3 m/s

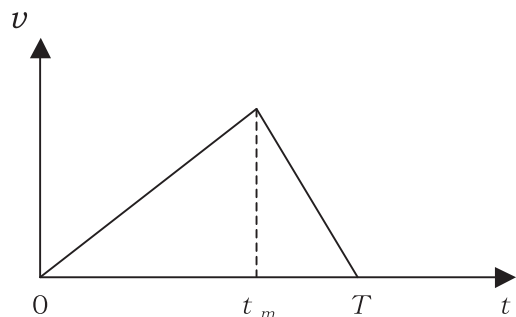
(2) 左心室は血液を送り出すことにより仕事をしている。血圧の平均値が 100 torr であるとして左心室が血液を送り出す際の仕事率は何 W か。最も適当なものを、次の①～⑤から1つ選びなさい。なお、 torr は圧力を表す単位で $1 \text{ torr} = 130 \text{ Pa}$ ($1 \text{ 気圧} = 760 \text{ torr} = 1013 \text{ hPa}$) である。

- ① 0.13 W ② 1.3 W ③ 13 W ④ 130 W

第2問 次の問いA（問1）、B（問2、3）に答えなさい。

A 次の文章中の空欄□ア～□コに適切な数式あるいは数を入れなさい。解答は解答欄に記入せよ。

問1 A 駅からB 駅まで移動する電車の運動が、右図のグラフのように表される。横軸は時間、縦軸は速度である。ただし、A 駅とB 駅は一直線上にあるとする。



A 駅で停車していた電車が、時刻 $t = 0$ のとき一定の加速度 a で発車し、 t_m 秒後から、一定の加速度 β (< 0) で減速しはじめた。そのうち、隣のB 駅で時刻 $t = T$ で到着してちょうど停車したとする。

発車してから時刻 t_m まで等加速度運動しているのて、速度 v は a と時間 t を用いて、 $v = \square\text{ア} \cdots (1)$ と記せる。

また時刻 t_m より後の速度 v は、 $v = \beta t + c \cdots (2)$ と記すことができる。この(1)と(2)の式は $t = t_m$ で一致しているのて、 $c = \square\text{イ} \times t_m$ となる。これより t_m より後の時間 t における速度は、

$$v = \beta (t - t_m) + \square\text{ウ} \cdots (3) \text{ と表すことができる。}$$

また時刻 t におけるA 駅から電車までの距離を s とすると時刻 t_m までは

$$s = \square\text{エ} \cdots (4) \text{ となる。また } t_m \text{ より後は、}$$

$$s = \square\text{オ} \times (t - t_m)^2 + \square\text{カ} \times (t - t_m) + d \cdots (5) \text{ と記せる。これらが } t = t_m \text{ で一致しているのて、(4)式と(5)式から、} d = \square\text{キ} \text{ となる。}$$

また、 t_m と T の関係は a と β を用いて、

$t_m = \square\text{ク} \times T \cdots (6)$ と表すことができる。 T までの移動距離、すなわちA 駅とB 駅の距離を L とすると、 L と T^2 の関係は、(5)と(6)式から、 a と β を用いて、

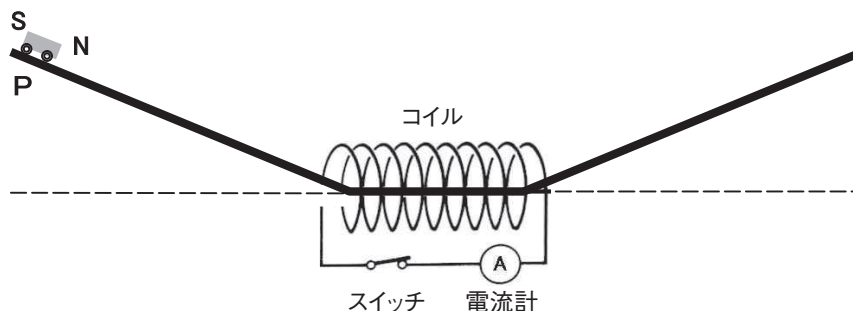
$$\frac{L}{T^2} = \square\text{ケ}$$

と表せる。

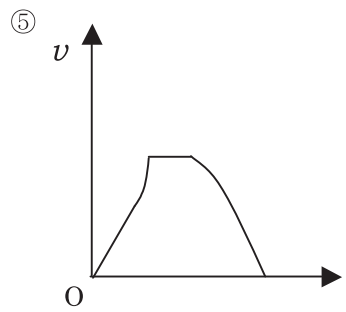
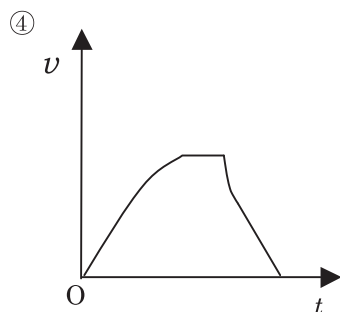
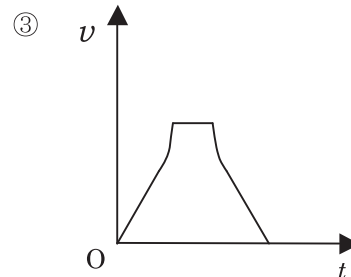
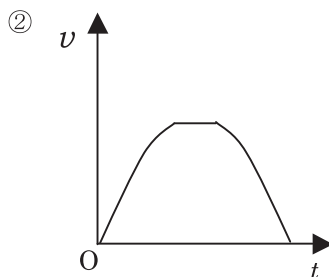
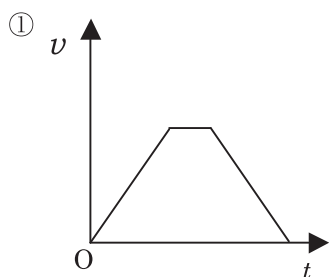
A 駅からB 駅までの距離は1.8 km、加速度 $a = 0.20 \text{ m/s}^2$ 、 $\beta = -0.80 \text{ m/s}^2$ であったとすると、この電車の所要時間は $\square\text{コ}$ 秒である。

B 図のように、磁石を固定した台車を、不導体のレール上を走らせる。レールはなめらかに接続されており、コイルの内部を貫いている。

次の各問い（問2, 3）に答えなさい。ただし、台車とレールの間の摩擦、空気の抵抗は無視できるものとする。また、磁石と台車はコイルに比べると十分に小さく、コイルはある程度の大きさの電気抵抗をもつものとする。

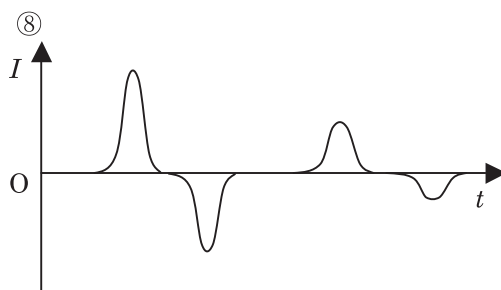
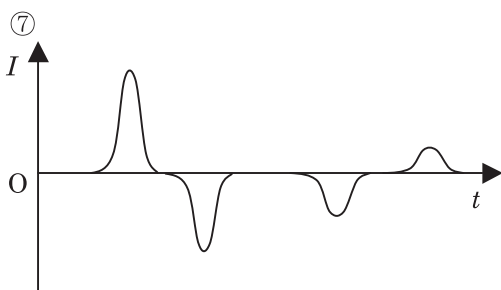
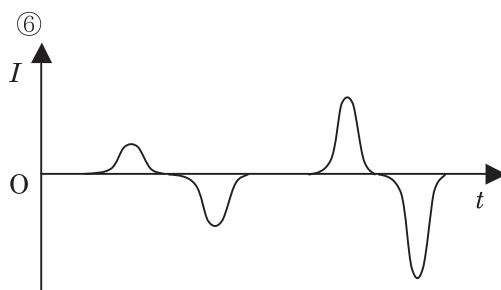
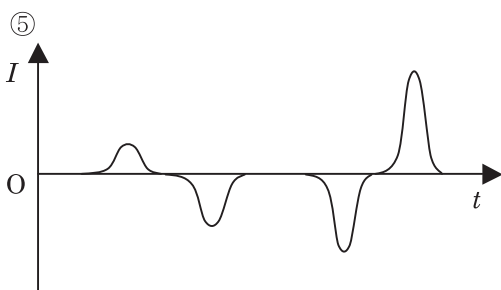
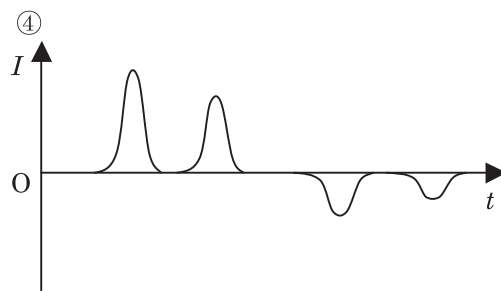
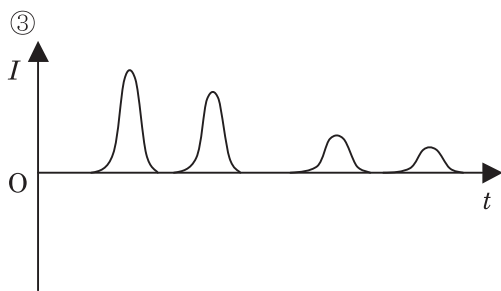
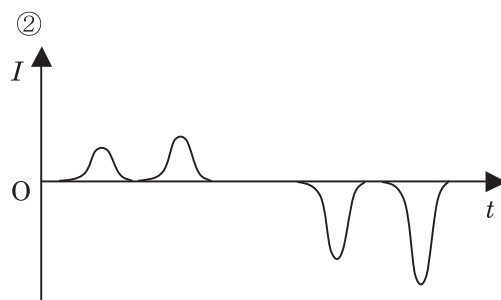
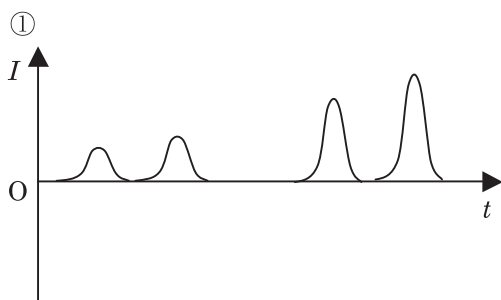


問2 台車を図のPの位置から静かに放した。台車がコイルを通り抜け、最高点に達するまでに、速さ v はどのように変化するだろうか。台車の速さ v を縦軸に、台車を放してから時間 t を横軸にとったグラフとして、最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。



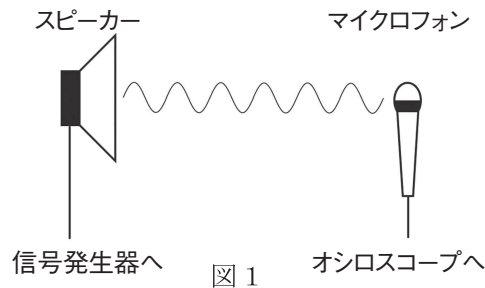
問3 台車を放した後、台車はコイルを中心に往復運動をした。電流計で測定される誘導電流 I は、どのように変化するか。 I を縦軸に、台車を放してから時間 t を横軸にとったグラフとして、最も適当なものを、次の①～⑧の中から1つ選びなさい。

ただし、最初に台車がコイル内に右向きに入るとき、電流計を流れる誘導電流の向きを正にとる。



第3問 次の文を読んで、問い（問1～問5）に答えなさい。

スピーカーとマイクロフォンからなる装置がある（図1）。スピーカーから、さまざまな波長の音が出ている。またマイクロフォンは、音を電気信号に変換することによって音の波形をオシロスコープで測定することができる。以下において、音波が距離とともに減衰することはない、また、マイクロフォンを置くことによって音波が影響を受けることはないものとする。



波長 λ の音がスピーカーから出ているとする。スピーカーの置かれた位置にマイクロフォンを置いて音の波形を調べたところ、出力電圧の振幅は1V、時間変化は図2の曲線㉗であった。次に、スピーカーから距離 $L = \frac{1}{4}\lambda$ だけ離れた位置に、別のマイクロフォンを置いた。これらの音の波形を同時に測定したところ、図2の㉗に㉘が加わった。

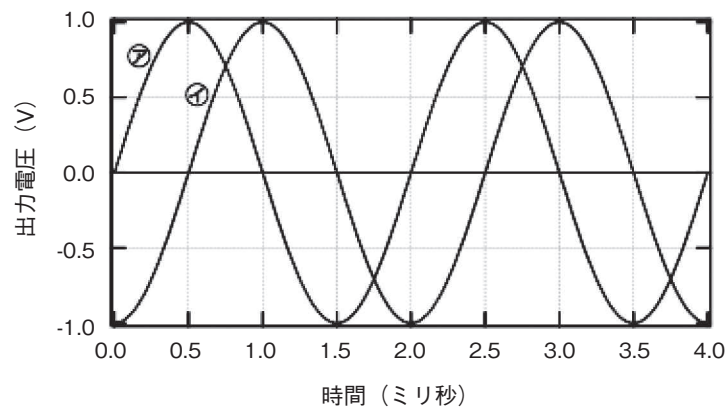
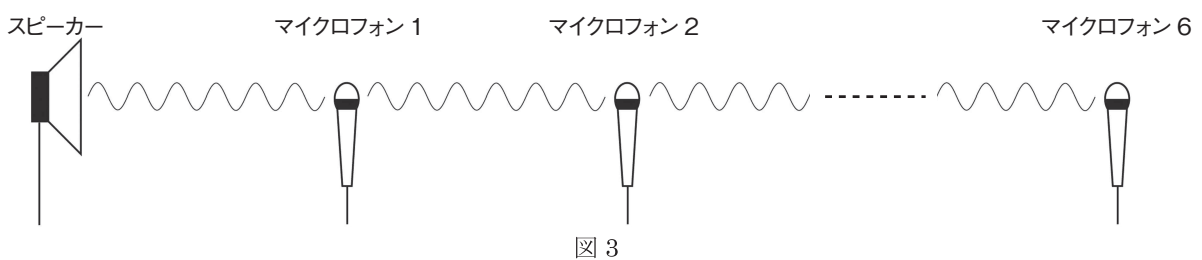


図2

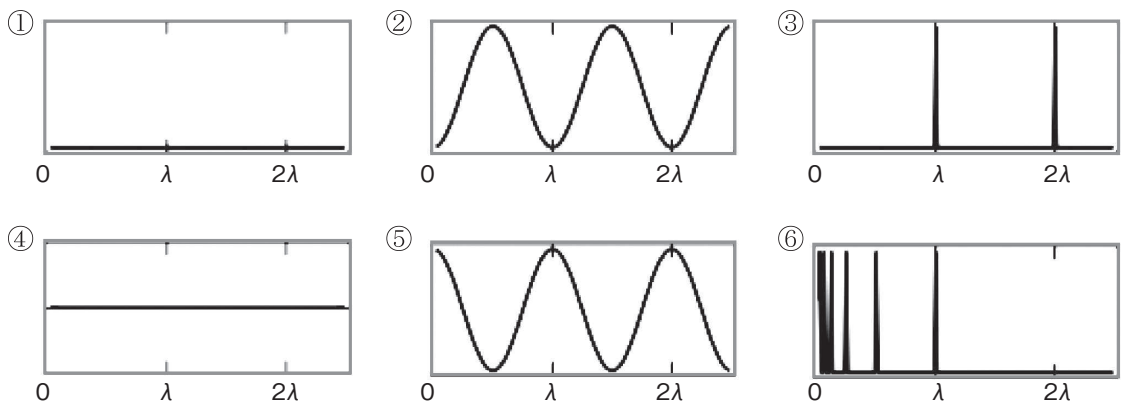
問1 図3に示すように、距離 L の間隔をおいて6本のマイクロフォンを直線上に配置した。 $L = \lambda$ のとき、6本のマイクロフォンの出力電圧を合わせたとき、振幅は何Vか。



問2 次に、 $L = \frac{5}{6}\lambda$ にした。マイクロフォン1とマイクロフォン4の出力電圧を合わせた振幅は何Vか。

問3 同様にマイクロフォン2とマイクロフォン5の出力電圧の和、マイクロフォン3とマイクロフォン6の出力電圧の和を考えると、6本のマイクロフォンの出力電圧を合わせた振幅は何Vか。

問4 非常に多数のマイクロフォンを、それぞれ等間隔 L だけ離して配置する。いろいろと L を変化させたとき、すべてのマイクロフォンの出力電圧を合成したものが L の変化とともにどのように変化するかをグラフに表すとすると、その概形として最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。



問5 非常に多数のマイクロフォンを用意するのは現実的でないので、図4に示すような装置を考えた。スピーカーから L だけ離れたマイクロフォンで受けた音波をその振幅が変わらないように調整してスピーカーから出力する。その音波を再び同じマイクロフォンで受けるということを繰り返せば、向かい合わせた2つの鏡と同じように、無数に多くのマイクロフォンを等間隔 L で配置したことと同じになる。

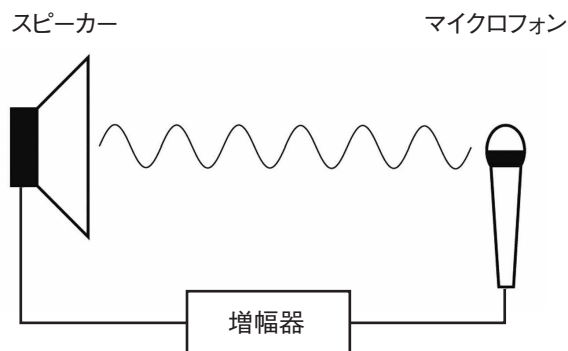


図4

今、この装置に外から雑音が入った。この雑音にはあらゆる波長の音波が含まれている。このとき、何が起こるか。最も適当なものを、次の①~④の中から1つ選びなさい。

- ① 何も聞こえない
- ② 入ってきた雑音そのまま大きく聞こえる
- ③ 距離 L の整数倍の波長の音が聞こえる
- ④ 距離 L の整数分の1の波長の音が聞こえる

このような機構は管楽器や弦楽器などの様々な楽器や、電磁波を発生する装置、レーザー装置などに利用されている。ギターに比べて、バイオリンが大きな音が出せるのもこのような機構が働いているからである。バイオリンの弓が弦をこする運動を細かく観察すると、なめらかにこすっているように見えていても実際には弓と弦がお互いに滑ったり固着したりする運動が繰り返されていることがわかる。弦は振動しているので、この繰り返しの周期は弦の振動数と一致する。そのため、その振動数の音が増幅されて大きな音となって聞こえてくるのである。

第4問 次の文を読んで、問い（問1,2）に答えなさい。

ばね定数 k の長さの等しい2本のばねを用意し、質量 m_0 の中空の角柱内に図1のように質量 m の小球とともに取り付けた。

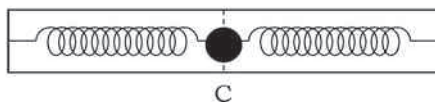


図1

角柱を水平な台の上に置いて、ばねを水平面と平行になるようにすると、小球は角柱の中心の位置Cでつり合った。ばねの質量は無視でき、柱の内壁は滑らか、それに空気の影響はないものとする。また、この2本のばねはつり合いの位置でともに自然長であり、小球は一直線に並んだばねに沿って動くものとする。

問1 この装置を図2に示すように、水平から 30° 傾けて固定した。また、ばねに沿って x 軸をとり、その原点をCの位置にとる。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

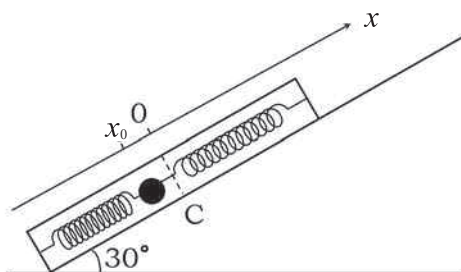


図2

- (1) 小球はCからずれた位置 x_0 でつり合った。 x_0 を求めなさい。
- (2) 次に、この小球をゆっくりとCまで戻した。すると、2本のばねの弾性エネルギーの和は ΔE_e だけ減少し、重力による小球の位置エネルギーは ΔE_p だけ増加した。 ΔE_e と ΔE_p をそれぞれ求めなさい。
- (3) Cに戻した小球を静かに放すと、その後、小球は x_0 の位置を中心に単振動をした。このときの振幅と周期をそれぞれ求めなさい。

問2 再び、装置を滑らかな水平の台の上に置いて、ばねが水平面と平行になるように設置し、小球をつり合いの位置Cで静止させた。この状態で角柱のみに、水平方向に瞬間的な力を加えたところ、角柱は x 軸の正の向きに速さ V_0 で動き出した。ただし、図3に示すように水平方向に x 軸をとり、その原点は動き出す直前の角柱の中央とした。以下では、角柱が動き出した瞬間を時刻 $t=0$ とし、時刻 t における C の位置を X 、小球の位置を x で表す。

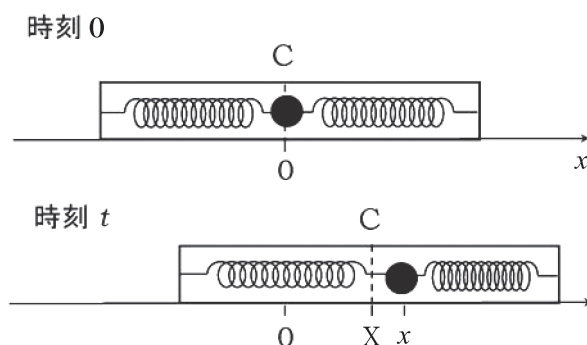
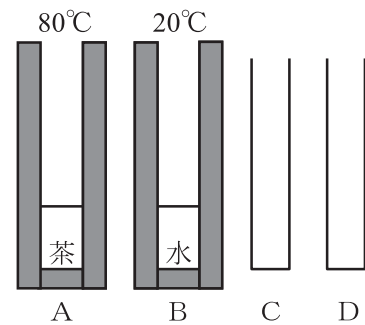


図 3

- (1) 角柱が動き出すと同時に、小球は角柱に対して C を中心とする単振動を始めた。すなわち、小球の C に対する相対的な位置 $x_r = x - X$ は、 $x_r = A \sin(\omega t)$ のように表されたとする (A と ω は t に無関係の定数である)。このとき、小球の角柱に対する相対速度 v_r はどのように表されるか。また時刻 $t=0$ における v_r が $-V_0$ であることを利用して、 A を ω と V_0 で表しなさい。
- (2) 小球の C からのずれが最大になる瞬間は、小球の角柱に対する相対速度は 0 になる。運動量保存則を用いて、その時の小球の速度の大きさを求めよ。さらに、力学的エネルギー保存則を考慮することにより、 ω を k 、 m_0 、 m を用いて表しなさい。
- (3) 任意の時刻 t における角柱の速度を V とすると小球の速度 v は、 $v = V + v_r$ と表わされる。運動量保存則を考慮することにより、 V を m_0 、 m 、 V_0 、 ω 、 t を用いて表しなさい。
- (4) x_r を m_0 、 m 、 V_0 、 ω 、 t を用いて表しなさい。

第5問 次の文を読んで、問い（問1, 2）に答えなさい。

断熱性のよい容器A, Bと熱伝導性の高い容器C, Dがある。容器A, Bにはそれぞれ、80℃のお茶（ただし、比熱は水と等しいとする）1ℓと、20℃の水1ℓが入っている（ℓはリットルを表す単位記号である）。A, Bは容器C, Dの中に入れられる大きさで、中の液体がこぼれることはない。



これらの容器は、次のような使い方ができる。

- 1) 容器Bに入っている水をすべて容器Cに移し、容器Cを容器Aの中に入れる。
- 2) 熱伝導によって、しばらくすると、容器Aのお茶と、容器Cの水の温度は等しくなる。

このとき、

$$(\text{移動する熱量}) = (\text{物質の量}) \times (\text{比熱}) \times (\text{温度変化})$$

とすると、

$$(\text{容器Aの中のお茶が放出した熱量}) = (\text{容器Cの中の水が吸収した熱量})$$

という関係が成り立つと考えられる。ただし、ここでは、容器の温度変化のために吸収する熱量は考えないものとし、周囲の環境への熱の放出もないものとしている。

問1 上の式の考え方は「熱量保存則」と呼ばれている。18～19世紀の頃は、熱の正体は「熱素」という物質だと思われており、この熱素説によって、熱現象を説明していた。

たとえば、上のような熱伝導は、「高温物体中の熱素が低温物体に移動し、全体の熱素の量は変わらない」ということで理解された。

また摩擦熱は、「物体をこするとその中に含まれている熱素がにじみ出てくる」ということで理解された。

現在では、この熱素というような物質は存在しないことがわかっている。上記の2つの説明の中から矛盾を見つけて、熱素説が成り立たないことを説明しなさい。

問2 容器A～Dを利用した熱伝導の過程だけを用いて、お茶と水を混ぜることなく、最終的な水全体の温度を、最終的なお茶全体の温度より高くすることはできるだろうか。できるとすればその方法の1例を、またできないとすればその理由を述べなさい。



物理チャレンジ2008