テストコード：62010

SEG高校理科

受験物理演習クラス分け試験

実施日　：2020 年 3 月 15 日（日）
試験時間：9:30～10:50（80 分）

【配布物】
問題冊子　　　　　……4 問／全 15 頁（表紙を含む）
解答用紙（両面）……1 枚

【注意事項】
(1)　問題は 4 問あり、4 ページ目より始まり 15 ページ目まであります。
(2)　解答する前に、3 ページの「注意」をお読みください。
(3)　落丁・乱丁・不明の箇所を見いだした場合はすみやかにお申し出ください。
(4)　試験中の私語、不正行為に対しては退室を命ずることがあります。
(5)　試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置き、試験監督の指示に従ってください。

会員番号						
氏名						

科学的教育グループSEG

下 書 き 欄

物　　　　理

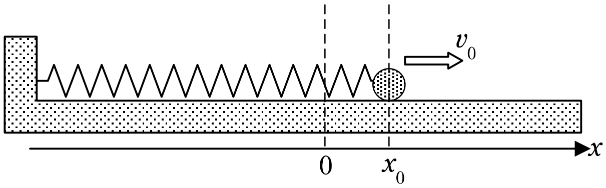
注 意

1. 受験物理演習の2020年4月～6月のクラスを振り分けるための試験です。
2. 問題は全部で4問です。
3. 新学期の授業内容は「力学」ですが、今回のクラス分け試験では秋～冬の授業内容（電磁気・波動）も出題しています。
4. Hクラスは1つの曜日にしか開講されません。Hクラスに選抜されても、曜日の都合がつかない場合は受講できなくなります。その場合は希望曜日のGクラスにクラス分けされます。
5. 受験の足音も聞こえてきましたので、それらしい答案の書き方を工夫してください。答案の書き方の基本姿勢は「採点者に自分が理解していることを納得させるような答案とする」です。
6. 問題の編集・作成は全ての問題について授業を担当していない麓が行なっています。
7. 配点および採点基準が特殊であることがあります。公平性を保つように慎重に定めますが、配点・採点基準の説明はご容赦ください。

第１問　次の文章を読んで、[A][B]の問 1〜問 7 と小設問に答えてください。答えは結果のみ答えてもかまいません。途中経過が記載されている場合は部分点を与えることがあります。

[A]　水平で滑らかな床の上に、質量が無視できるばね定数k[N/m]のばねの一端を固定し他端に質量m[kg]の物体をとりつける。ばねの向きに沿うように水平方向にx軸をとり物体の位置を表すこととする。物体の位置が$x=0$のときばねは自然長である。ばねは水平方向に伸び縮みし、物体はx軸方向に運動する。

時刻$t=0$で物体の位置が$x=x_0$[m]（$x_0>0$）であり、速度v_0[m/s]（$v_0>0$）で運動を始めたとする（下図）。



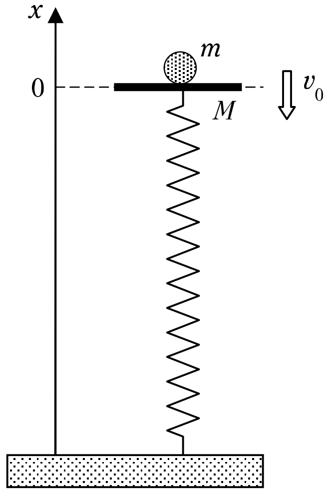
問1　物体の運動は単振動である。その周期を円周率πとk, mで表せ。

問2　物体の位置が$x=0$に至った時の物体の運動エネルギーを本文中から必要となる文字を用いて表せ。

問3　この単振動の振幅を答えよ。

[B]　床の上に質量が無視できるばね定数kのばねの下端を固定し、上端に質量$M\,[\mathrm{kg}]$の平坦な板をとりつける。板は水平を保ちながら鉛直方向に運動するものとする。板の上面には質量mの物体をのせる。物体も鉛直方向に運動するものとする。鉛直上向きにx軸をとり物体および板の位置を表すことにする。物体の大きさと板の厚みは考えないものとする。物体と板の位置が$x=0$のときばねは自然長である。

時刻$t=0$で物体の位置が$x=0$（ばねが自然長）であり、鉛直下向きで大きさv_0（$v_0>0$）の初速が板と物体に与えられたとする。重力加速度の大きさを$g\,[\mathrm{m/s^2}]$とする。



問4　物体および板が一体となって運動している場合を考える。物体と板の位置がx（$x<0$）であるときの運動方程式は次のとおりである。ここで$N\,[\mathrm{N}]$は物体と板の間に働く垂直抗力の大きさである。また、$\ddot{x}\,[\mathrm{m/s^2}]$は物体と板の加速度の$x$成分を表す記号である。空欄(a)(b)に適切な文字式を答えよ。

$$m\ddot{x} = \boxed{\text{(a)}} + N \qquad M\ddot{x} = \boxed{\text{(b)}} - kx - Mg$$

問5　問4の運動方程式から次の式が得られる。

$$N = -\frac{m}{m+M}kx$$

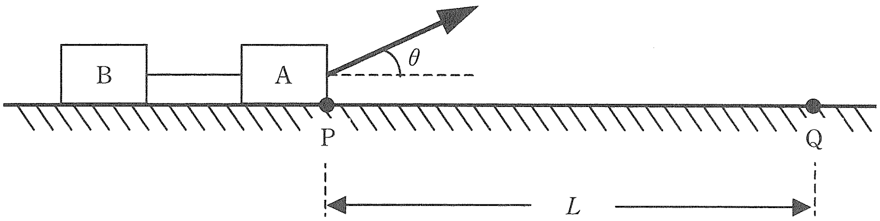
この式から、初速を与えた後、物体が板と離れる瞬間の位置を答えよ。

問6　物体と板の速さが最大になった後に一旦速さが0になるまでの時間を円周率πとk, m, Mで表せ。

問7　初速を与えてから物体と板が離れる瞬間までの時間が、問6で求めた時間の3倍であったとする。このとき、v_0をk, m, M, gで表せ。

第 2 問 次の問 1〜4 の設問に答えてください。答えは結果のみ答えてもかまいません。途中経過が記載されている場合は部分点を与えることがあります。

問1 **（等加速度運動と運動方程式）** 質量 m の物体Aと同じ質量 m の物体Bを水平に張られた質量が無視できる糸で連結し、水平な床面上におく。Aに水平面と θ の角をなす向きに一定の大きさの「力」を加えると、AとBは一定の大きさ a の加速度で水平面を動き始めた（下図のようにAの右端が点Pにあるときの速さは0）。重力加速度の大きさを g とする。



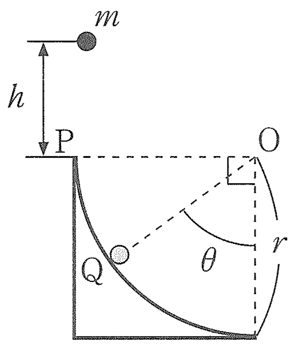
(1) Aの右端がQに至るまでの時間を L, a を用いて答えよ。$L = \overline{\mathrm{PQ}}$ である。

(2) A，Bと床面の間に摩擦がないとしたとき、Aに加えた「力」の大きさを m, a, θ を用いて答えよ。

(3) Aに加えた「力」の大きさが F_0 を超えると、Aは床面から浮き上がる。F_0 を m, g, θ を用いて答えよ。

(4) Bと床面の間にのみ動摩擦係数 μ の摩擦が働くとしたとき、糸の張力の大きさを m, a, g, μ を用いて答えよ。

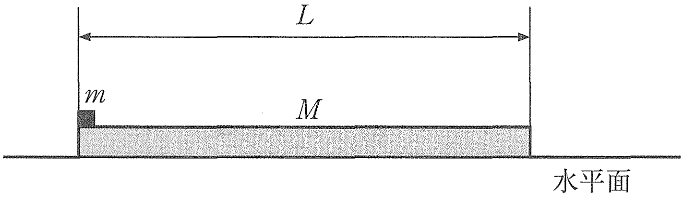
問2 **（力学的エネルギー保存則と摩擦の仕事）** 半径rの四分の一円の斜面をもつ台がある。斜面の最上点Pと円の中心Oを結ぶ線は水平で、最下点と中心を結ぶ線は鉛直である。点Pの鉛直上方高さhの位置から質量mの大きさが無視できる物体を自由落下（初速0）させる。物体は点Pで速さを変えることなく斜面に乗り、斜面に沿って滑り降りる。台が動かないように台は支えられている。重力加速度の大きさをgとする。



(1) 物体が点Pに至ったときの速さをg, hを用いて答えよ。

(2) 物体が図の点Q（$\overline{\mathrm{OQ}}$が鉛直線となす角度はθ）に至ったときの速さはv_0であった。斜面に摩擦があったとき、区間$\overset{\frown}{\mathrm{PQ}}$で摩擦により失われた力学的エネルギーを$m, g, h, v_0, r, \theta$を用いて答えよ。

問3 **（運動量保存則）** 滑らかな水平面上に質量Mの板を置く。板の上面の左端には大きさが無視できる質量mの物体を置く。板と物体の間には摩擦力が働く（水平面と板の間には摩擦がない＝滑らか）。板の上面も水平である。問題文中にある速度とは水平面に対する速度である。

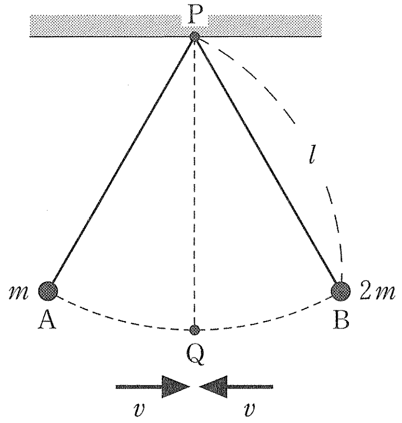


(1) 物体にのみ図の右向きに大きさv_0の初速を与えたところ、しばらくして物体は板の上面で板に対して静止した。このとき、物体と板は同じ速度であるが、その速度の大きさ（速さ）をm, M, v_0を用いて答えよ。

(2) 物体に図の右向きに大きさv_0の初速を与えると同時に、板に図の左向きに大きさV_0の初速を与える。このとき、物体が板の右端にきたとき、物体と板は水平面に対して停止した。V_0をm, M, v_0を用いて答えよ。

(3) (2)において、物体と板が停止したとき、板は水平面上で初速を与えた位置からどれだけの距離を動いていたか。板の上面の長さL（図参照）とm, Mを用いて答えよ。

問4 **（衝突）** 長さlの質量が無視できる2本の糸の一端を天井の点Pに固定する。1本の他端には質量mの物体Aを、もう1本の他端には質量$2m$の物体Bをとりつけ、糸がたるまないように図のように持ち上げて同時に放す。物体の大きさは無視できる。このとき、AとBはPの鉛直真下の点Qで正面衝突した。衝突する直前でのAとBの速さは等しくvであった。



(1) AとBの衝突が完全弾性衝突（反発係数が1の衝突）であったとする。このとき、衝突後のBの速度は図の右向きか左向きか答えよ。

(2) AとBの衝突の反発係数が0.5であったとする。このとき、AとBが衝突した直後のBの速さを答えよ。

第 3 問　次の文章を読んで、[A]~[C]の各設問に答えてください。答えは結果のみ答えてもかまいません。途中経過が記載されている場合は部分点を与えることがあります。この問題は 3 ページにわたります。

[A]　図 1 のように容量C[F]のコンデンサーと抵抗値R[Ω]の抵抗を起電力V_0[V]の電池に直列に接続した回路、図 2 のように容量$C, 2C$[F]の 2 つのコンデンサーと抵抗値R[Ω]の抵抗を起電力V_0[V]の電池に直列に接続した回路がある。はじめ、スイッチが開いているとき、どのコンデンサーにも電荷は蓄えられていない。

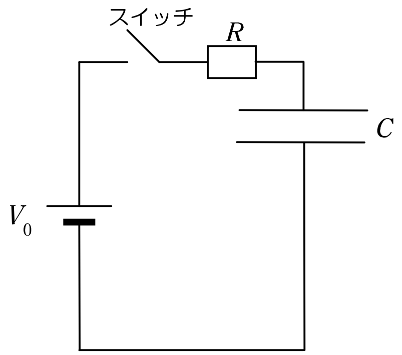


図1

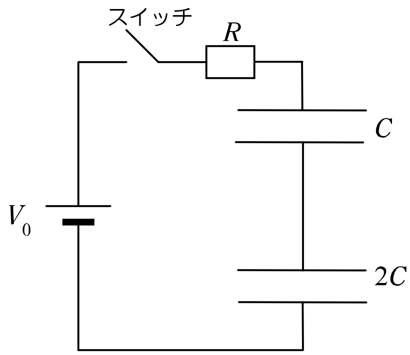


図2

問1　図1の回路でスイッチを入れて十分に時間が経過し抵抗に流れる電流が 0 になった状態を考える。

(1)　コンデンサーに蓄えられた電気量の大きさを答えよ。

(2)　コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを答えよ。

(3)　スイッチを入れてから電池が回路にした仕事を答えよ。

(4)　スイッチを入れてからの抵抗のジュール熱（の総量）を答えよ。

問2　図2の回路でスイッチを入れて十分に時間が経過し抵抗に流れる電流が 0 になった状態を考える。コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの和を答えよ。

[B]　図 3 のように容量$C, 2C$[F]の 2 つのコンデンサーと抵抗値R[Ω]の 2 つの抵抗を起電力V_0[V]の電池に接続した回路がある。はじめ、スイッチS_1, S_2が開いているときコンデンサーには電荷は蓄えられていない。

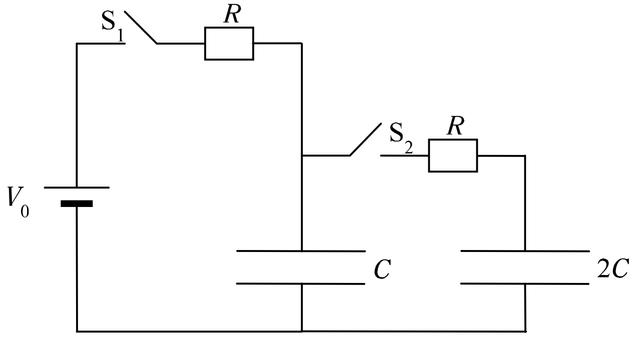


図3

問3　図3の回路で、スイッチS_1だけを閉じ十分に時間が経過し（図3の左の）抵抗に流れる電流が0になった状態でS_1を開く。その後、スイッチS_2だけを閉じ十分に時間が経過し（図3の右の）抵抗に流れる電流が0になった状態を考える。

(1)　容量$2C$のコンデンサーの極板間電圧を答えよ。

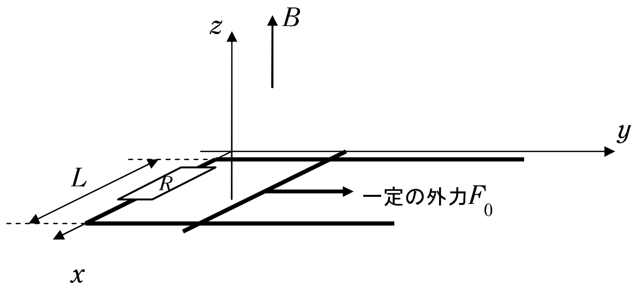
(2)　スイッチを入れてからの図3の右の抵抗のジュール熱（の総量）を答えよ。

問4　問3の抵抗に流れる電流が0になった状態からスイッチS_2を開き、スイッチS_1だけを閉じ十分に時間が経過し（図3の左の）抵抗に流れる電流が0になった状態を考える。スイッチS_1だけを閉じてから電池が回路にした仕事を答えよ。

[C]　xy 平面内にコの字型の導線（3 本の辺は直交している）を設置する。コの字型導線の平行な 2 辺（間隔は $L[\mathrm{m}]$）に渡すように直線状の導線を乗せる。直線状の導線とコの字型導線の 2 辺は直交と接触が保たれる。導線の抵抗は下図の抵抗器（抵抗値 $R[\Omega]$）のみ考え他の抵抗はないとする。下図のように座標軸が設定されている。

$+z$ 向きに一様一定な磁束密度 $B[\mathrm{T}](>0)$ の平行一様磁場があり、直線状の導線に $+y$ 向きに一定の大きさ $F_0[\mathrm{N}]$ の外力を加え初速 0 から加速していくことを考える。

摩擦や重力の影響は考えない。直線状の導線の質量は $m[\mathrm{kg}]$ である。



問5　導線の速度が $v(v>0)[\mathrm{m/s}]$ であるとき、抵抗を流れる電流の大きさと向きを答えよ。

問6　導線の速度が $v(v>0)$ であるときの加速度の大きさは、外力を加えた直後の導線の加速度の大きさにくらべてどれだけ小さいか答えよ。

問7　導線が初速 0 で動き始めてから距離 $s[\mathrm{m}]$（$+y$ 向きの距離）移動するまでの抵抗でのジュール熱の総和を答えよ。ただし、距離 s 移動したときの導線の速度を v として、m, v, F_0, s で答えよ。

下 書 き 欄

第 4 問　次の文章を読んで、問 1～問 6 に答えてください。答えは結果のみ答えてもかまいません。途中経過が記載されている場合は部分点を与えることがあります。

[A]　片開口管が共鳴するとき、管内の音波の波長 $\lambda[\mathrm{m}]$ は次の式 1 を満たす。$L[\mathrm{m}]$ は片開口管の管の長さで開口端の補正は考えない。m は1以上の整数（正の整数）である。

$$L = \frac{\lambda}{4}(2m-1) \qquad \text{式1}$$

両開口管が共鳴するときは次の式 2 が成り立つ。

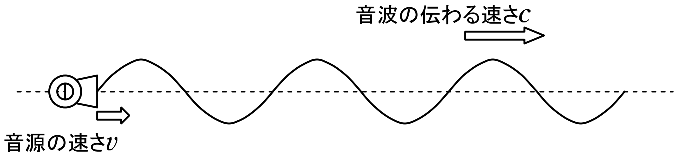
$$L = \frac{\lambda}{2}m \qquad \text{式2}$$

式 1 と式 2 の違いは管の開口部と閉口部（管の底）で定常波が節であるか腹であるかを理由とする。

問1　管の開口部は定常波の腹であるか節であるか理由をつけて答えよ。なお、この設問では音波の波形を媒体である空気の平衡位置からの変位で考える。

問2　式1から、管が共鳴するときの片開口管での振動数 $[1/\mathrm{s}]=[\mathrm{Hz}]$ を答えよ。なお、音速を $c[\mathrm{m/s}]$ とする。

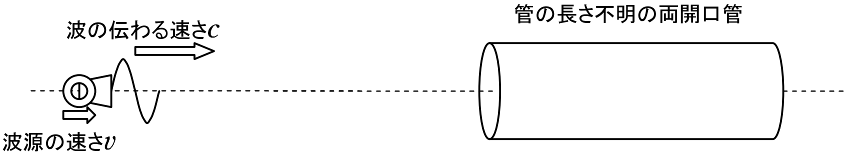
[B]　音源から送り出される音波の波長は音源の運動によって異なる。この問題では下図のように、音源の速さ・音波の伝わる速さが同じ向きであり、音波の進行は直線的（下図の点線方向）であると考える。音速を $c[\mathrm{m/s}]$，音源の速さを $v[\mathrm{m/s}]$，音源の振動数を $f[\mathrm{Hz}]$ とする。



問3　上図での音波の波長を c, v, f で表せ。

問4　上図の右に静止する観測者がいたとすると、その観測者が観測する振動数を c, v, f で表せ

[C]　音源から少し離れた位置（下図の右）に管の長さ不明の両開口管を置く。音源が静止している状態で、振動数 f[Hz] の音を音源から送り出すと両開口管は共鳴した。音源の静止している状態からゆっくりと加速すると両開口管は共鳴しなくなったが、音源の速さが v[m/s] になった瞬間に再び共鳴した。なお、音速を c[m/s] とし、開口端の補正は考えない。また、音源から両開口管に音が伝わる時間は、十分小さく無視できるものとする。



問5　管の長さを c, v, f で表せ。

問6　波源の速さを逆（上図の左向き）として、静止している状態から徐々に加速すると両開口管は共鳴しなくなったが、音源の速さが u[m/s] になった瞬間に再び共鳴した。u を c, v で表せ