

2020年度

理 科

R 1

物 理

〔問題ページ数〕

6 ページ

〔解答用紙枚数〕

3 枚

2月25日(火)

【前期日程】

理 学 部 (数学科, 物理学科, 地球科学科)

農 学 部

地域創造学環 (選抜方法A)

13 : 40 ~ 15 : 00

工 学 部

14 : 30 ~ 15 : 50

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 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

科目 理科（物理）

訂正箇所

問題 1

1 ページ 問 2(3)

(誤) このとき, 台 A と床の間の . . .

(正) 動き始める直前, 台 A と床の間の . . .

問題 2

3 ページ 問 2 下から 4 行目

(誤) このため, g 点に対する h 点の電圧 V_L は, . . .

(正) このため, g 点に対する h 点の電位 V_L は, . . .

問題 3

6 ページ 問 3(1)

(誤) . . . T_0 から次第に上げていく。このとき . . .

(正) . . . T_0 から少しずつ段階的に上げ, 各温度で音波を発生させて測定を行う。このとき . . .

1 図1と図2のように、なめらかな表面をもつ半径 r の半円筒の台 A が水平な床に置かれている。半円筒の断面の中心を O とし、 O に対し鉛直方向の台上の点を P とする。この P の位置に、大きさが無視できる物体 B を置く。いまこの物体 B が P から矢印の向きに静かにすべり出し、台 A の上を進んでいくとする。 P より右側にある台 A 上の位置を Q とし、 $\theta = \angle POQ$ とする。物体 B と台 A の間には摩擦はない。台 A と床の間には摩擦が生じ、このときの静摩擦係数と動摩擦係数をそれぞれ μ 、 μ' とする。また、台 A と物体 B の質量をそれぞれ M 、 m とし、重力加速度の大きさを g とする。(配点 35%)

問 1 図1のように台 A がブロックによって床に固定されているとする。

- (1) 物体 B が台 A を離れることなく P から台上の Q まで進むとき、 Q での物体 B の速さを r 、 g 、 θ を用いて表せ。
- (2) Q において物体 B が台 A から受ける垂直抗力の大きさ N を m 、 g 、 θ を用いて表せ。
- (3) 物体 B が Q よりさらに進んだ R の位置で物体 B が台 A から離れた。 $\theta_0 = \angle POR$ とするとき、 $\cos \theta_0$ の値を求めよ。

問 2 図2のようにブロックを取り除き、台 A が床の上を動けるようにした。この状態で再び物体 B を P に静かに置いた。

- (1) 物体 B が Q の位置まで進んだとき、台 A はまだ静止しているとする。このとき物体 B が台 A から受ける垂直抗力の大きさ N は問 1(2)の N と一致する。台 A が物体 B から受ける水平方向の力の大きさを N 、 θ を用いて表せ。
- (2) 問 2(1)のとき、台 A が床から受ける垂直抗力の大きさを N 、 M 、 g 、 θ を用いて表せ。
- (3) 物体 B が Q よりさらに進んだ S の位置に来たとき、台 A が動き始めた。 $\theta_1 = \angle POS$ とする。このとき、台 A と床の間の静摩擦力が最大摩擦力に達する。この最大摩擦力の大きさを μ 、 m 、 M 、 g 、 θ_1 を用いて表せ。ただし、このとき物体 B は台 A から離れていない状態である。
- (4) 問 2(3)のとき、静摩擦係数 μ を m 、 M 、 θ_1 を用いて表せ。
- (5) 台 A が動き始めた直後の台 A の加速度の大きさを μ' 、 m 、 M 、 g 、 θ_1 を用いて表せ。

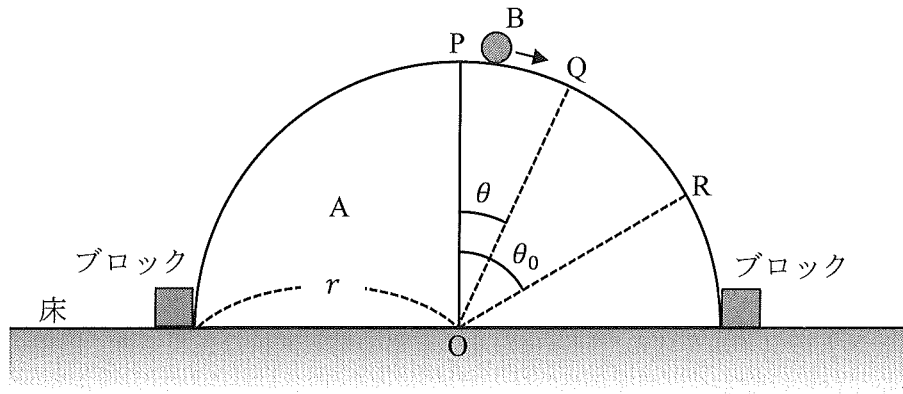


図 1

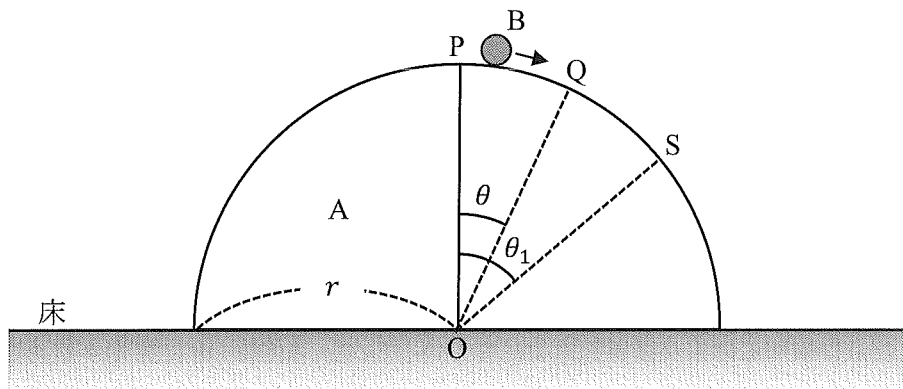


図 2

2 図1のような、発電機を組み込んだ回路を作製した。発電機では、電気抵抗が無視できる導体で作製したO点を中心とする半径 l の円環の上を、長さ l で電気抵抗が無視できる導体棒OPが円環と常に接しながら、一定の角速度 ω_A で矢印の方向になめらかに回転している。この円環の内部にだけ鉛直上向きに磁束密度の大きさが B の一様な磁場がかかっている。導体棒OPのO点と円環からは導線が伸びており、スイッチを接点 S_A につなげば発電機と電気容量 C の平行板コンデンサーとの回路になり、スイッチを接点 S_B に切り替えるとコンデンサーと自己インダクタンス L のコイルを含んだ回路になる。回路の電気抵抗は無視でき、円環の囲む範囲以外への磁場の影響は無視できるとする。

このような条件のもとで、以下の文章中にある に適切な式を入れて文章を完成させよ。ただし、(1)と(2)については、O、Pで答えよ。(配点：35%)

問1 まず発電機に着目する。導体棒OPにある自由電子は、OかPのうち (1) の方向にくローレンツ力を受け、かつそれにつりあう静電気力を受けている。このため、OとPでは (2) の方が電位が高い。

導体棒OPが時間 Δt の間に磁場を横切る面積 ΔS は、OPP'で囲まれる扇形の面積である。この ΔS は、 ω_A 、 l 、 Δt を用いて表すと $\Delta S =$ (3) なので、導体棒が単位時間あたりに横切る磁束が誘導起電力に等しいとして、導体棒OPに発生する誘導起電力の大きさ V は ω_A 、 l 、 B を用いて $V =$ (4) と表すことができる。

スイッチを接点 S_A につないで十分な時間が経つと、コンデンサーに電荷 Q_0 が蓄えられる。このときの電荷 Q_0 は、 C 、 ω_A 、 l 、 B を用いて $Q_0 =$ (5) と表される。

問2 コンデンサーに十分電荷がたまった段階でスイッチを接点 S_B に切り替えると、コンデンサーの電荷 Q は Q_0 から変化し始め、一定の角周波数 ω_B の振動電流が回路内に流れる。コンデンサーにかかる電圧 V_C (aに対するbの電位)は、最大電圧を V_0 とした場合に $V_C = V_0 \cos \omega_B t$ と表すことができる。この ω_B を以下の手順で求める。

回路を流れる電流 I はコンデンサーの電荷 Q の時間変化に比例するため、図1中の矢印の方向を正とした場合、電荷と時間の微小変化(ΔQ および Δt)を用いて $I = -\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ と表すことができる。したがって、次頁に示した①式から、電流 I は C 、 V_0 、 ω_B を用いて $I =$ (6) と表せる。

つぎに、コイルに着目する。電流 I がコイルに流れる場合、コイルには自己誘導に起因する逆起電力が生じる。このため、g点に対するh点の電圧 V_L は、電流と時間の微小変化(ΔI および Δt)を用いた誘導起電力の式 $V_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ と、次頁に示した②式から、 V_0 、 C 、 L 、 ω_B を用いて $V_L =$ (7) と表すことができる。キルヒホッフの第2法則により $V_C + V_L = 0$ なので、 ω_B は L と C を用いて $\omega_B =$ (8) と表される。

< 微小時間 Δt に対する三角関数の変化率 >

- ① $\frac{\Delta \cos \omega t}{\Delta t} = -\omega \sin \omega t$
 ② $\frac{\Delta \sin \omega t}{\Delta t} = \omega \cos \omega t$

問 3 最後に、図 1 で使用されているコンデンサーに着目する。図 2—1 にそのコンデンサーの拡大図を示した。コンデンサーでは、一辺 r の正方形の極板が $2d$ の距離を隔てて対向しており、極板間は空気で満たされている。この場合の電気容量 C_1 は、 d 、 r および空気の誘電率 ϵ を用いて表すと $C_1 = \boxed{(9)}$ である。

この極板の間に、面積が同じで厚さ d の導体板を極板と平行に挿入した場合(図 2—2 参照)、このコンデンサーの電気容量 C_2 は、 d 、 r および ϵ を用いて表すと $C_2 = \boxed{(10)}$ となる。

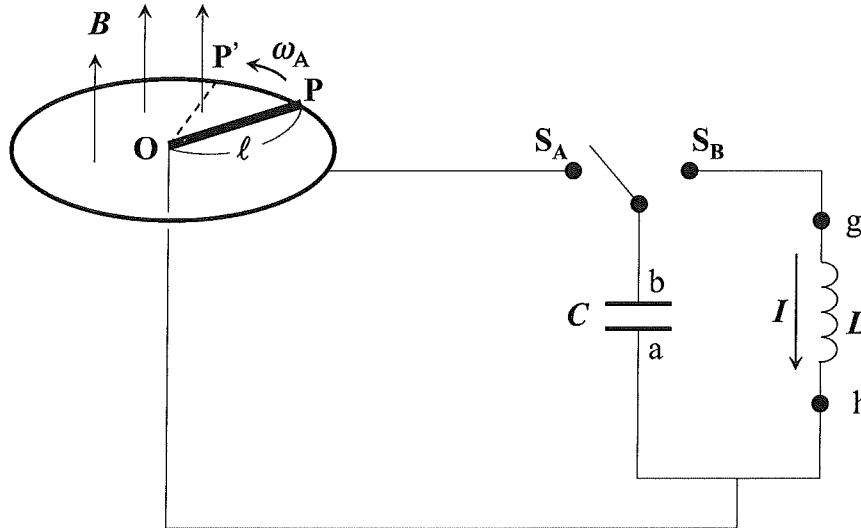


図 1

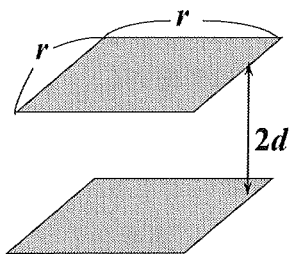


図 2—1

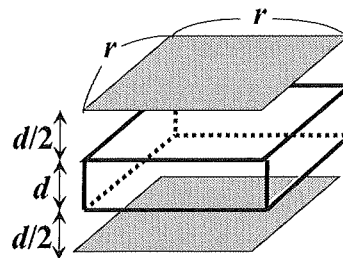


図 2—2

- 3 以下の問いに、かつこの中に与えられた記号の中から適当なものを用いて答えよ。1 に比べ $|\delta|$ が十分小さい δ に対して次の近似を使って良いとする。

$$\sqrt{1+\delta} \approx 1 + \frac{\delta}{2}$$

以下の実験を無風の実験室内で行う。(配点 30%)

問 1 図 1 のように、大きさの無視できる二つの音源 S_1, S_2 が X' 軸上で原点 O' を中心に距離 $2d$ だけ離れて置かれている。これらの音源は、必ずある決まった初期位相から、温度によらず一定の振動数 f の音を出すように調整されている。 S_1, S_2 から発生される音波の波長を λ とし、 X' 軸に平行で h だけ離れた X 軸上で観測する。 $\left(\frac{d}{h}\right)^2$ は十分小さいとする。 X 軸上で S_1, S_2, O' から h だけ離れた点をそれぞれ S_1, S_2, O とする。

- (1) S_1 から発生させた音波がはじめて S_1 に達するまでにかかる時間 t_1 を求めよ。[d, h, f, λ]
- (2) S_1 から発生させた音波がはじめて O に達するまでにかかる時間を t_2 とする。近似式を用いて $t_2 - t_1 = Ad^2$ と表すことができる。係数 A を求めよ。[h, f, λ]
- (3) 次に S_1, S_2 から同時に音波を発生させる。この音波を X 軸上のいろいろな点で観測したところ、音量が非常に小さくなる点が複数存在した。この中で O から最も近い点と O との距離を x とすると、近似式を用いて $x = Bh$ と表すことができる。 B を求めよ。ただし $\left(\frac{x-d}{h}\right)^2, \left(\frac{x+d}{h}\right)^2$ のいずれも十分小さいとしてよい。[d, f, λ]
- (4) 次に S_2 より時間を Δt だけ遅らせて S_1 から音波を発生させ、 O 点でこれを観測した。 Δt の値により、観測される音量は大きくなったり小さくなったりする。音量が最小となる時間のうちもっとも小さい Δt を求めよ。[d, h, f, λ]

問 2 実験室内の空気を理想気体として取り扱おうと、空気中を伝わる音速 v は

$$v = \sqrt{C \frac{PV}{n}} \dots \textcircled{1}$$

となることが知られている。ただし C はある定数で、 P, V, n は気体の圧力、体積、モル数である。これらの条件を変えることにより音速は変化する。一方、その振動数は変化しないとしてよい。

- (1) $P = P_0, V = V_0$ で、温度 $T = T_0$ での音速を v_0 とする。ただし、温度とは絶対温度を意味する。実験室内の気体のモル数を一定に保ち、温度を $T = T_0 + \Delta T$ に変化させる。このときの音速を v とする。 $\left|\frac{\Delta T}{T_0}\right|$ が十分小さいとみなせる ΔT に対して、近似式を用いて $v - v_0 = D\Delta T$ と書ける。係数 D を求めよ。[v_0, T_0]
- (2) 問 1(3)の実験は $P = P_0, V = V_0, T = T_0$ で行われていたとする。そこでの実験室の温度を $T = T_0 + \Delta T$ に変化させると、 x も $x + \Delta x$ に変化する。このとき $\Delta x = G\Delta T$ と書ける。問 2(1)の係数 D も用いて係数 G を求めよ。[D, d, h, f]

問 3 再び実験室を $P = P_0$, $V = V_0$, $T = T_0$ の状態にもどす。図 2 のように問 1 と同じ音源 S'_1 , S'_2 を用いて同時に振動数 f , 波長 λ の音波を発生させ, 同じ材質でできた長さ L の 2 つの管 U_1 , U_2 により, それぞれ S'_1 , S'_2 に伝える。 S'_1 , S'_2 では音波が届いた瞬間に, 再び問 1 と同じ音波がでるようになっていく。このようにして発生した音波を h だけ離れた X 軸上で測定する。 U_1 , U_2 は中の空気がもれないよう密閉してあり, その内部の温度を上下させたり固定したりすることができる。管内での音波の反射などを考える必要はなく, 内部の音速に対して式①はそのまま成立するとして良い。

(1) S'_1 につながる管 U_1 内部の温度を T_0 に保ち, S'_2 につながる管 U_2 内部の温度を T_0 から次第に上げていく。このとき音量の大きな点は O より次第にずれていく。理由とともに, S_1 , S_2 のいずれの方向にずれていくか答えよ。文字数はとくに制限しないが, 解答欄におさまるように簡潔にのべよ。

(2) S'_2 につながる管の内部の温度を T_0 から ΔT だけ上げたときはじめて問 1 (4) のように O 点で観測される音量が最小になったとする。 ΔT は十分小さく問 2 (1) の近似がそのまま成立する。問 2 (1) の係数 D も用いて ΔT を求めよ。 [D , L , d , h , f , v_0]

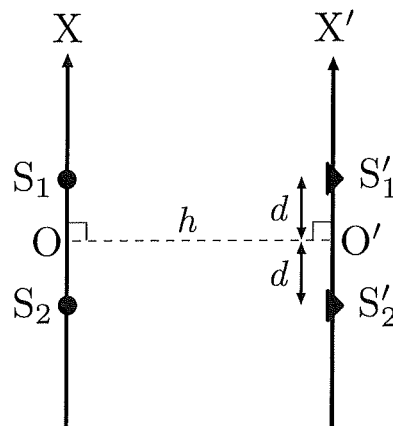


図 1

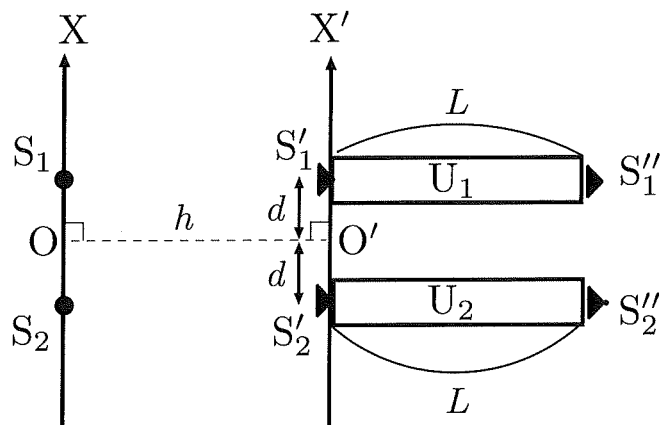


図 2