

令和3年度(前期日程)

入学者選抜学力検査問題

物 理

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この冊子と解答用紙を開いてはいけません。
2. この冊子の問題は6ページからなっています。また、解答用紙は3枚、下書用紙は1枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、この冊子、解答用紙を確認し、落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答用紙には、受験番号を記入する欄がそれぞれ2箇所ずつあります。監督者の指示に従って、すべての解答用紙(合計3枚)の受験番号欄(合計6箇所)に受験番号を必ず記入しなさい。
4. この冊子の白紙と余白は、計算などに適宜使用してよい。
5. 解答は、必ず別紙の解答用紙の指定された場所(問題番号や設問の番号・記号などが対応する解答欄の中)に記入しなさい。その際、特に要求されていなければ、途中の計算式などを書かずに、問いに対する答えのみを記入しなさい。
6. 解答用紙の欄外や裏面には何も記入しないこと。
7. 下書用紙への記入の有無・内容は自由です。
8. 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
9. この冊子および下書用紙は、持ち帰りなさい。

I 図1に示すように、表面が水平でなめらかな台と半径 R のなめらかな半円筒の内面をもった剛体の板が段差なく接続されて床に固定されている。水平な台の左端にはばね定数がわからない軽いばねを設置する。ばねを自然長より縮ませて質量 m の小球を押しつけ、静かに放すことにより小球を水平右向きに発射する。水平な台の表面と半円筒の内表面とが接する点を原点 O とし、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。また、半円筒の中心軸に対して、鉛直下向きから反時計回りに角度 θ をとる。小球は xy 平面内を運動し、重力加速度の大きさを g とする。小球にはたらく空気抵抗は無視できるとして、以下の問いに答えなさい。

まず、ばねの自然長から l_0 だけ縮めて小球を試射したところ、小球は点 O から半円筒の内表面に沿って上昇し、 $\theta = \pi/2$ の点 A を通過して $\theta = 2\pi/3$ の点 B で内表面を離れた。

- (1) ばね定数を k としたとき、自然長から l だけ縮めたばねに蓄えられるエネルギーを示しなさい。
- (2) ばねから離れた直後の小球の速さ(ア)を R と g を用いて表しなさい。また、点 B で半円筒の内表面を離れたときの小球の速さ(イ)を R と g を用いて表しなさい。

試射の結果をもとに、ばねを縮める長さを l_1 に変更して小球を発射したところ、小球は点 O から半円筒の内表面に沿って点 A まで上昇したあと、内表面に沿って降下した。

- (3) l_0 に対する l_1 の比 (l_1/l_0) の値を求めなさい。

次に、図2のように、半円筒の剛体板を角度 θ ($0 < \theta < \pi/2$) に対応する点 C で切断した場合を考える。このとき、ばねを自然長から l_1 だけ縮めて小球を発射すると、小球は端点 C から速さ v_C で空中に飛び出す。その後、小球は放物線の軌道を描いて頂点 $P(x_P, y_P)$ まで上昇したあと降下し、軌道上の $y = 0$ の点 Q を速さ v_Q で通過する。

- (4) v_C を、 R と g および θ を用いて表しなさい。
- (5) x_P (ウ)と y_P (エ)を、 R と θ を用いて表しなさい。
- (6) x_P が最大となる角度 θ の値(オ)を求めなさい。また、そのときの x_P (カ)を R を用いて表しなさい。
- (7) v_Q を R と g を用いて表しなさい。

(配点率 34%)

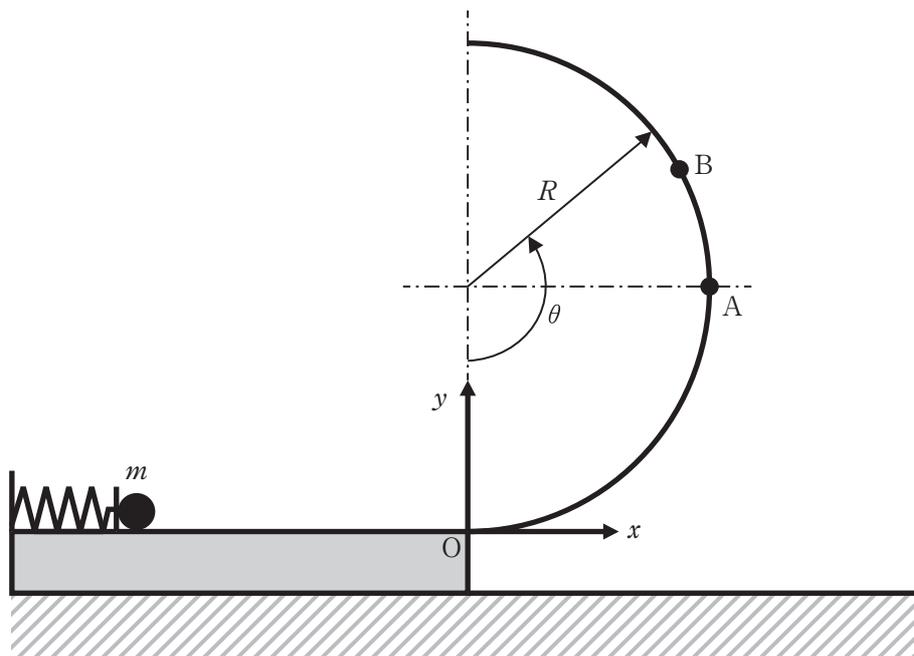


图 1

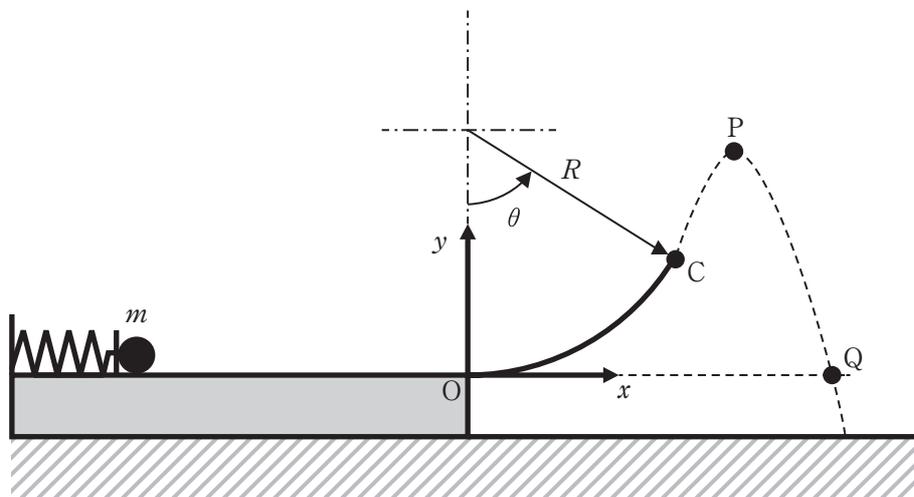


图 2

II 図のように、鉛直上向きの一様な磁束密度 B の磁場内に、十分に長くて抵抗の無視できる2本の平行な金属レール ab と cd を間隔 l で水平面に対して角 θ で設置した。これら2本の金属レールの下端 ac 間に、抵抗値 R の抵抗と電圧を変えられる直流電源 E と2つのスイッチ S_1, S_2 を接続する。金属レール上に、質量 m の導体棒 PQ を金属レールに垂直に置く。最初、スイッチは2つとも開いており、 PQ は固定されていた。この状態を初期状態とする。また、導体棒は金属レールと常に垂直を保ちながらなめらかに動くものとする。ただし、回路における抵抗値 R の抵抗以外の電気抵抗、および回路に流れる電流によって生じる磁場の影響は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

まず、時刻 $t = 0$ に PQ の固定を静かにはずすと PQ は金属レールに沿って落下し始め、 PQ 間に誘導起電力が生じた。

- (1) 電位が高いのは P, Q のどちらか。
- (2) 時刻 t における誘導起電力の大きさを求めよ。

つぎに、初期状態に戻して、 S_1 を閉じてから、 PQ の固定を静かにはずすと PQ は金属レールに沿って落下し始めた。

- (3) PQ の速さを v として、 PQ に生じる誘導起電力の大きさを B, l, v, θ から必要なものを用いて表せ。
- (4) (3)のとき、 PQ に流れる電流の大きさを B, l, R, v, θ から必要なものを用いて表せ。

しばらく待つと、 PQ の速さは一定になった。

- (5) PQ に流れる電流の大きさを B, g, l, m, θ から必要なものを用いて表せ。
- (6) PQ の速さを B, g, l, m, R, θ から必要なものを用いて表せ。
- (7) PQ が単位時間あたりに失う力学的エネルギーを B, g, l, m, R, θ から必要なものを用いて表せ。
- (8) 抵抗で単位時間あたりに発生するジュール熱を B, g, l, m, R, θ から必要なものを用いて表せ。

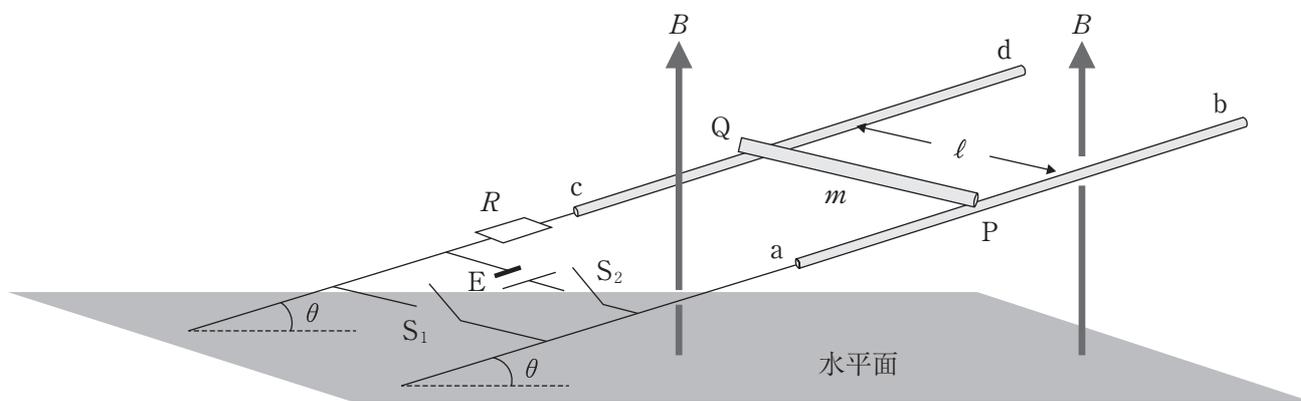
つぎに、初期状態に戻して、スイッチ S_2 を閉じてから、 PQ の固定を静かにはずしても PQ は静止したまま動かなかった。

(9) 直流電源 E の電圧の大きさを求めよ。

さらに、 E の電圧の大きさを V に変えると PQ はレール上を上昇し、やがて一定の速さ u になった。

(10) u を $B, V, g, \ell, m, R, \theta$ から必要なものを用いて表せ。

(配点率 33%)



図

Ⅲ 以下の空欄に入る適切な語句，数値または数式を答えよ。(カ)および(キ)の空欄には，図1の A または B から適切なものを選択せよ。数値を答える場合は，小数点以下を四捨五入して自然数で答えよ。

太鼓を叩くと，太鼓の膜が振動し，接する空気も振動する。このとき，空気の一部が圧縮されて圧力がわずかに上昇する部分と，膨張して圧力がわずかに低下する部分とが生じる。音波は，このように媒質の圧縮と膨張が連なって進行する (ア) 波である。空気中の音波の伝わる速さ(音速) V [m/s] は，温度 t [°C] のとき，およそ $V = 331.5 + 0.6t$ で表される。また，水中の音速は空気中よりも (イ) 。このように音速は，媒質の種類や温度によって変化する。このため音速の異なる媒質の境界面においては (ウ) が生じる。また，山に向かって大声で叫ぶと聞くことができる山びこは，音波の (エ) によるものである。

ところで，夜間には，昼間には聞こえなかった遠くの鐘の音が聞こえる。この現象を音波の(ウ)で説明してみよう。地表近くから上空までの間の大気の温度は，連続的かつ単調に変化すると考えられ，音速もそれに応じて変化する。ここでは，大気の様子を図1のように，温度の異なる3つの層を仮定し，単純化して考える。地表近くを層1，地表近くと上空の間を層2，上空を層3とし，各層の中では温度はどこでも同じものとする。昼間はよく晴れて，層1の大気の温度 t_1 は10°Cであった。夜になると，放射冷却の影響により冷え込み， t_1 は0°Cであった。一方，層3の大気の温度はほとんど変わらず， t_3 は昼夜ともに2°Cであった。このとき，図中の層1を音波が進む角度 θ_1 と，層2を音波が進む角度 θ_2 の間には，それぞれの層での音速 V_1 ， V_2 を用いて， $\sin \theta_1 / \sin \theta_2 =$ (オ) の関係が成り立つ。そのため，音波の進む方向は，昼間は (カ) の方向に曲がり，夜間は (キ) の方向に曲がる。このように，夜間と昼間とは空気の温度分布が異なるため，音の聞こえ方が異なる。

さて，図2のように平野部に，山の麓から鐘①を通して鐘②に向かう直線の道があるとする。鐘①と鐘②は，それぞれ138 Hz と135 Hz の振動数で鳴る。気温は0°Cとする。観測者が山の麓から鐘①に向かって自転車で出発すると，鐘①が鳴った。このとき自転車の速さ v が9 km/h であり，観測者には鐘①から直接届く音と，少し遅れて真後ろの山からの(エ)による音の両方が聞こえた。それぞれの振動数は，鐘①から直接届いた音が (ク) Hz であり，山からの(エ)による音が (ケ) Hz であった。次に，観測者が鐘①を通過し，山から十分離れた鐘②との間で止まって休憩していたところ，鐘①と鐘②が同時に鳴った。すると，山からの(エ)による音は聞こえなかったが，音の大小が周期的に繰り返される (コ) が聞こえた。その回数 は1秒当たり (サ) 回であった。しかし，観測者が再び鐘②に向かって自転車で移動を始めたあと，鐘①と鐘②が同時に鳴ったときには，観測者には(コ)が聞こえなかった。このときの自転車の速さは (シ) km/h であった。

(配点率 33%)

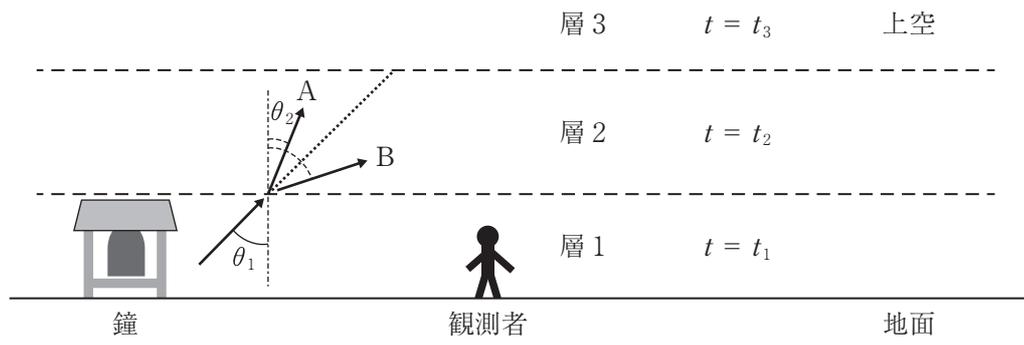


圖 1

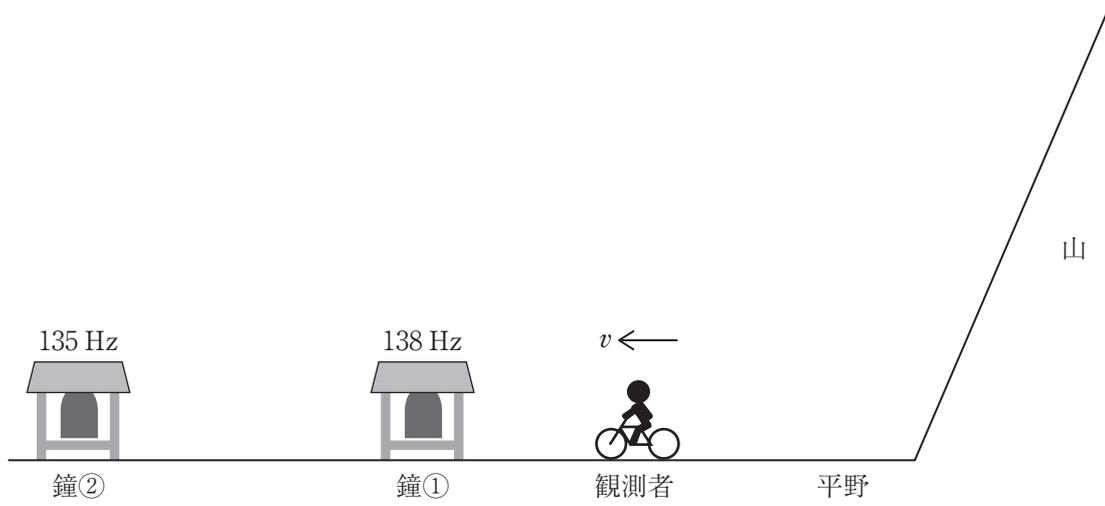


圖 2

(以 上)