

H8-2023-

物 理

学科(記述式)試験問題

注 意 事 項

1. 問題は **3 題**で、解答時間は **1 時間 20 分**です。
2. 答案用紙の記入について
 - (ア) 答案は濃くはっきり書き、書き損じた場合は、解答の内容がはっきり分かるように訂正してください。また、答案用紙の表側だけで書ききれないときは、「**裏に続く**」と書いて裏側を使用してください。
 - (イ) 答案用紙は、表紙を除き **6 枚つづり 1 冊**です。
 - (ウ) 答案用紙の表紙の各欄にそれぞれ必要事項を記入してください。
[]-()-[]の欄は[H8]-(2023)-**物 理**と記入してください。
 - (エ) 答案用紙各枚の右上の(ページ)欄に上から順にページ数を記入してください。
 - (オ) 下記のとおり指定されたページを使って解答してください。

【問題番号】	(ページ)
【No. 1】	(1 ~ 2)
【No. 2】	(3 ~ 4)
【No. 3】	(5 ~ 6)
 - (カ) 答案用紙各枚の左上にある(No.)の欄には問題番号を記入してください。
 - (キ) 試験の公正を害するおそれがありますので、答案用紙の氏名欄以外に氏名その他解答と関係のない事項を記載しないでください。
3. この問題集で単位の明示されていない量については、全て国際単位系(SI)を用いることとします。
4. この問題集は、本試験種目終了後に持ち帰りができます。
5. 本試験種目の途中で退室する場合は、退室時の問題集の持ち帰りはできませんが、希望する方には後ほど渡します。別途試験官の指示に従ってください。なお、試験時間中に、この問題集を切り取ったり、転記したりしないでください。
6. 下欄に受験番号等を記入してください。

第1次試験地	受験番号	氏 名
--------	------	-----

指示があるまで中を開いてはいけません。

【No. 1】 力学に関する以下のⅠ、Ⅱの設問に答えよ。ただし、答えのみでなく、考え方や計算の過程も記すこと。

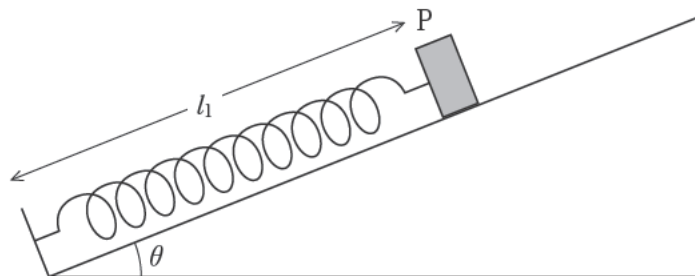
Ⅰ. 水平面とのなす角 θ の滑らかな斜面に軽いばねを置き、その一端を斜面の下端に固定する。このばねの他端に質量 M の小物体 P を取り付けると、図Ⅰのようにばねの長さが l_1 となって静止した。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。なお、ばねやおもりの運動は、紙面に平行な方向でのみ生じるものとする。

(1) 斜面上で P のすぐ上に質量 m の小物体 Q を静かに置くと、図Ⅱのように Q が P に接触した状態でばねの長さが l_2 ($l_2 < l_1$) となって静止した。このばねの自然長 l_0 とばね定数 k を、 M 、 m 、 g 、 θ 、 l_1 、 l_2 のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

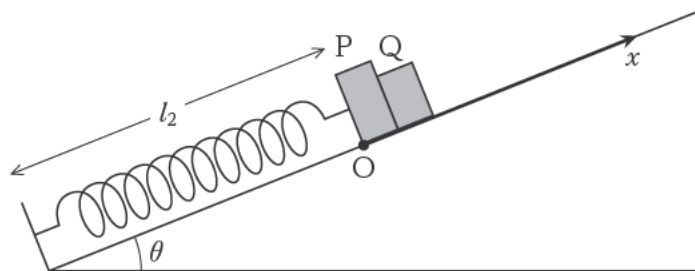
(2) (1)の状態、図Ⅱのようにばねの長さが l_2 のときの P の位置を原点 O として、斜面に沿って上向きに x 軸をとる。この状態から斜面上でばねを押し縮めて長さが l_3 ($l_3 < l_2$) になる位置で P を静止させ、静かに手を離すと、P と Q は一体となって斜面上で運動するようになった。このとき Q が P から受ける力を S として、P と Q それぞれの運動方程式を示せ。また、P の位置が x のときの S を、 M 、 m 、 g 、 θ 、 l_1 、 l_2 、 x のうち必要なものを用いて表せ。

(3) (2)において、 l_3 の値によっては Q が P から離れることがある。このときの l_3 の条件を、 M 、 m 、 g 、 θ 、 l_1 、 l_2 のうち必要なものを用いて表せ。

(4) (2)において、P と Q が一体となって運動を続ける場合、その振動の周期を、 M 、 m 、 g 、 θ 、 l_1 、 l_2 のうち必要なものを用いて表せ。



図Ⅰ



図Ⅱ

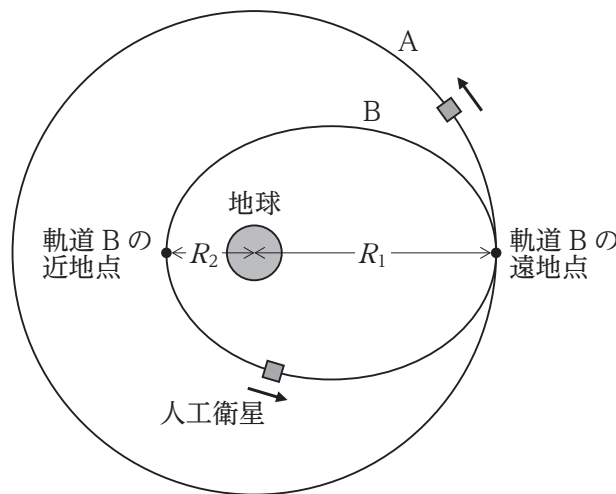
II. 赤道上空で公転周期が地球の自転周期と一致するような等速円運動をする人工衛星(静止衛星)の軌道(静止軌道)を、図に円軌道 A として示す。人工衛星を赤道上空に打ち上げてこの円軌道 A に乗せるためには、まず人工衛星打ち上げ直後に楕円軌道 B に乗せる。この楕円軌道 B は、その焦点に地球が位置し、軌道の地球中心から最も遠い地点(遠地点)が円軌道 A 上となる。その位置で人工衛星の燃料を燃焼して運動エネルギーを加えれば、人工衛星は楕円軌道 B から円軌道 A に移行することができる。

この人工衛星の軌道に関する以下の問いに答えよ。なお、人工衛星の質量は地球と比較して十分小さいものとする。

- (1) はじめに、静止軌道に限定せず、地球のまわりを等速円運動する人工衛星を考える。地球の質量を M 、人工衛星の質量を m としたとき、地球のまわりを等速円運動する人工衛星にはたらく力のつり合いから、この円運動の半径 R と周期 T との関係式を求めよ。ただし、万有引力定数を G とする。

以下では、万有引力定数 $6.7 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ 、地球の質量 $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ とし、有効数字 2 桁で答えよ。その際、必要に応じて単位を明記すること。

- (2) 月が地球を中心とする半径 $3.8 \times 10^8 \text{ m}$ の円軌道上を周期 27 日で等速円運動していることを用いて、人工衛星が円軌道 A(静止軌道)上を等速円運動するときの半径 R_1 の値を求めよ。なお、月の質量は地球と比較して十分小さいものとする。
- (3) 楕円軌道 B で地球中心から最も近い地点(近地点)までの距離が $R_2 = 1.4 \times 10^7 \text{ m}$ であったとき、人工衛星の遠地点と近地点における速さをそれぞれ V_1 と V_2 としてそれらの比 $\frac{V_2}{V_1}$ の値を求めよ。
- (4) 楕円軌道 B 上を進む人工衛星の遠地点における速さ V_1 の値を求めよ。必要であれば、 $\sqrt{2} = 1.4$ 、 $\sqrt{3} = 1.7$ 、 $\sqrt{5} = 2.2$ を用いてよい。



【No. 2】 単一の振動数の音波を出す音源を、
 図 I のように、太さが一様な管の左の管口に
 向けて置く。管はピストンを入れて閉管とす
 ることができ、ピストンを左右に移動させて
 閉管の長さ L [m] を変えることができる。音
 波の振動数や閉管の長さを変えると、管内に
 定常波が生じ、共鳴が起こった。

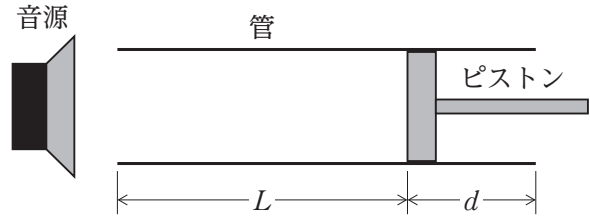


図 I

空気中の音速を V [m/s] とし、以下の問いに答えよ。ただし、開口端補正は無視できるものとする。答えのみでなく、考え方や計算の過程も記すこと。

はじめ、長さ L_0 [m] の管をピストンが入っていない状態の開管とし、音源から振動数 f_0 [Hz] の音波を出したところ、図 II に示すような 3 個の節をもつ定常波が管内にできた。なお、波形は、管の中心線に平行な向きの空気の変位を、垂直な向きに置き換えて表してある。

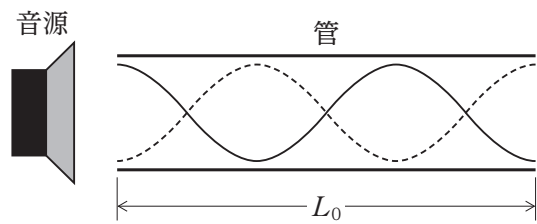


図 II

- (1) 音源からの音波の振動数 f_0 を、 V 、 L_0 を用いて表せ。
- (2) 管に右からピストンを入れて閉管とし、ピストンを左向きにゆっくり移動させると、図 I のようにその左端が管の右端から距離 d [m] の位置まで来たとき、最初の共鳴が起こった。ピストンの移動距離 d を、 L_0 を用いて表せ。
- (3) (2) で生じた定常波の節の数を答えよ。

次に、音源から別の振動数 f_1 [Hz] の音波を出したところ、閉管の長さを L_1 [m] にすると共鳴が起こった。このときの定常波の節の数は n 個であった。

- (4) この定常波の波長 λ [m] を、 L_1 、 n を用いて表せ。
- (5) ここからピストンをゆっくり右へ移動させ、閉管の長さを少しずつ長くしていくと、長さが L_2 [m] になったとき、次の共鳴が起きた。長さが L_1 のときの定常波の節の数 n を、 L_1 、 L_2 を用いて表せ。
- (6) 閉管の長さを L_1 に保ったまま、音波の振動数を f_1 から少しずつ大きくすると、振動数が f_2 [Hz] になったときに再び共鳴が起こった。振動数 f_2 は f_1 の何倍か。 n を用いて答えよ。
- (7) 音速 V は気温 t [°C] により変化し、その関係が $V = 331.5 + 0.6t$ で与えられるものとする。気温が 0 °C のとき、閉管内に $n = 19$ の定常波ができて共鳴が起こった。音波の振動数と閉管の長さを一定に保ったまま、この状態から気温を徐々に上昇させていくと、気温が t_1 [°C] に達したとき再び共鳴が起こった。気温 t_1 の値はおよそいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。

【No. 3】 図 I のように、極板間の距離が d 、静電容量が C の平行板コンデンサー、起電力が V の電池とスイッチから成る回路がある。この回路のスイッチを閉じて十分時間が経過したところ、平行板コンデンサーを構成する極板 A、B に電荷が蓄えられた。以下の問いに答えよ。ただし、答えのみでなく、考え方や計算の過程も記すこと。

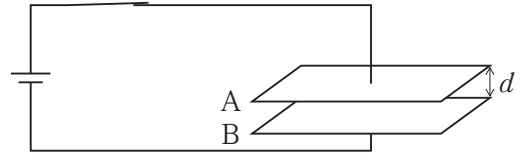


図 I

- (1) 平行板コンデンサーの極板間の距離 d が極板の面積に対して十分に小さい場合、極板間の電場は一様と見なすことができる。極板間の電場の大きさ E を、 V 、 d を用いて表せ。

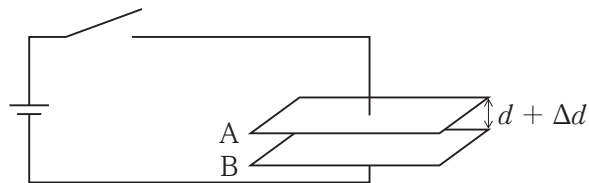


図 II

次に、スイッチを開いた後、図 II のように極板間の距離が $d + \Delta d$ となるよう、A のみをゆっくり動かした。ただし、 Δd は d に比べて十分小さいものとする。

- (2) 図 II において、平行板コンデンサーの静電容量 C' を、 C 、 d 、 Δd を用いて表せ。
- (3) A と B はそれぞれ正と負に帯電して引力を及ぼし合っており、A を動かすには力が必要となる。A を動かすために外力がした仕事は、平行板コンデンサーの静電エネルギーの A を動かす前から動かした後までの増加 ΔU に等しい。 ΔU を、 C 、 V 、 d 、 Δd を用いて表せ。
- (4) この外力と極板間の引力が等しいとしたとき、極板間の引力の大きさ F を、 C 、 V 、 d を用いて表せ。

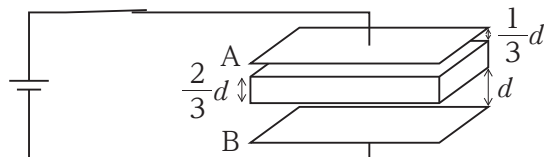
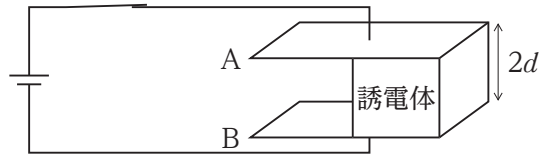


図 III

極板間の距離を $2d$ とした後、図 III のように面積が極板と同じで厚さが $\frac{2}{3}d$ の金属板を、A からの距離が $\frac{1}{3}d$ 、B からの距離が d となるように極板と平行に挿入し、スイッチを閉じた。

- (5) スwitch を閉じて十分時間が経過した後に、A に蓄えられている電荷 Q を、 C 、 V を用いて表せ。



図IV

極板間の距離を $2d$ としたまま、金属板の代わりに、図IVのように面積が極板の半分で厚さが $2d$ の誘電体を極板間に挿入し、スイッチを閉じた。

- (6) この誘電体の比誘電率が 5 であるとき、スイッチを閉じて十分時間が経過した後に、A に蓄えられている電荷 Q' を、 C 、 V を用いて表せ。ただし、空気の誘電率は真空の誘電率と等しいものとする。