

H8-2025-

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]—(2025)—**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。また、重力加速度の大きさを g とし、物体の運動に対して空気の抵抗は無視できるものとする。

I. 図 I のように、滑らかで水平な床の上に、滑らかで傾斜角 θ の斜面を有する台が固定されており、台のふちである点 A の床からの高さは h である。点 A から斜面に沿った距離が l の位置に、質量 m の小球 P を静かに置いた。P は斜面を下降し、点 A から台を離れ、床と衝突して跳ね返り、その後も P は床との衝突を繰り返した。P と床との反発係数を e として、以下の問いに答えよ。ただし、P は転がることなく紙面に平行な面のみで運動するものとし、座標軸は水平方向右向きを x 軸の正の向き、鉛直方向上向きを y 軸の正の向きとする。

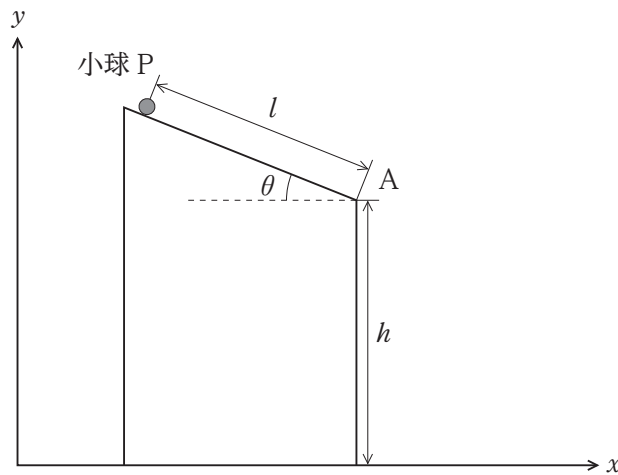


図 I

(1) P が初めて床に衝突する瞬間の P の速度 \vec{v}_0 の大きさ v_0 を、 g 、 h 、 l 、 θ を用いて表せ。

(2) 図 II は、P が初めて床に衝突して跳ね返った直前及び直後の様子を表している。 \vec{v}_0 の方向と鉛直線との成す角度を α_0 、床と衝突して跳ね返った直後の P の速度を \vec{v}_1 として、 \vec{v}_1 の水平成分 v_{1x} と鉛直成分 v_{1y} をそれぞれ、 v_0 、 e 、 α_0 のうち必要なものを用いて表せ。

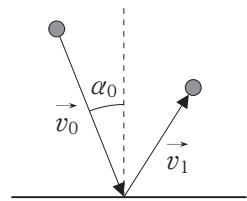


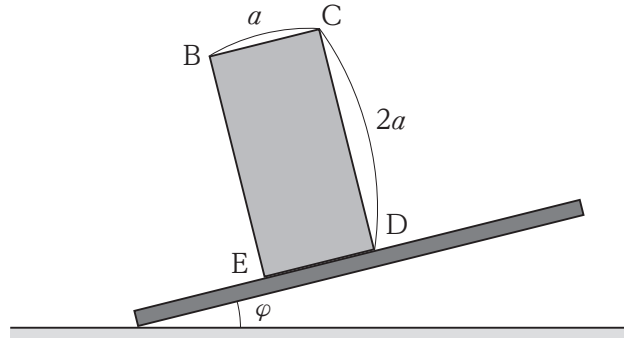
図 II

(3) \vec{v}_1 の大きさ v_1 を v_0 、 e 、 α_0 を用いて表せ。

(4) P が n 回目に床から跳ね返った直後の速度を \vec{v}_n とする。 \vec{v}_n の水平成分 v_{nx} と鉛直成分 v_{ny} をそれぞれ、 v_0 、 e 、 α_0 、 n のうち必要なものを用いて表せ。

(5) \vec{v}_n の大きさ v_n を、 v_0 、 e 、 α_0 、 n を用いて表せ。

II. 水平な床の上に上面が粗い板を置き、板の一端を床に固定して、板の上に質量が M 、底面の隣り合う 2 辺の長さがともに a 、高さが $2a$ の均質な直方体を乗せ、板の另一端を徐々に上げること考える。図Ⅲは、板による傾斜角が φ ($0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$) のときの様子について、直方体の側面に平行で重心を通る断面を表すものであり、この図に現れる直方体の断面の各頂点を点 B、C、D、E とする。直方体と板との間の静止摩擦係数を μ とし、以下の問いに答えよ。ただし、直方体は紙面に平行な方向にのみ運動するものとする。



図Ⅲ

- (1) 直方体が板上を滑り始めないための条件式を、 μ 、 φ を用いて表せ。
- (2) 傾斜角 φ を徐々に大きくしていき、ある角度 φ_0 を超えると、直方体は点 E のまわりを回転し始めた。 $\tan \varphi_0$ の値を求めよ。
- (3) 傾斜角が φ_0 を超えるまで、直方体は板上を滑ることがなかったとき、 μ の満たす条件を求めよ。
- (4) 傾斜角を $\varphi = \frac{\pi}{4}$ に固定すると、直方体は板上を滑ることなく点 E のまわりを回転する。これを防ぎ、直方体の底面が全て板に接する状態を保つために、点 B を水平右向きに押す。この押す力の、必要最小限の大きさ F を、 M 、 g を用いて表せ。ただし、この力によって直方体が板上を滑ることはないものとする。

【No. 2】 図 I のように、地点 O に振動数 f_0 の音波を発することのできる音源があり、そこから少し離れたところにある物体の運動の特徴を知るために、物体で反射されて戻ってくる音波を O で検知するリモート観測を行う。いま、物体 P が直線 L 上を音速 V より十分に遅い一定の速さ v で運動しており、そこに到達した音波を周囲の広い角度へと一様に反射すると考える。これに関して、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し、答えはできるだけ簡潔な形で表せ。なお、角度 φ が十分に小さいとき、 $\cos\varphi \doteq 1$ と近似できる。

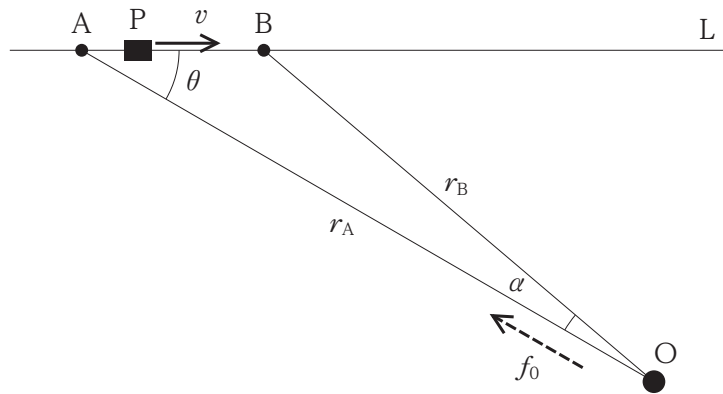
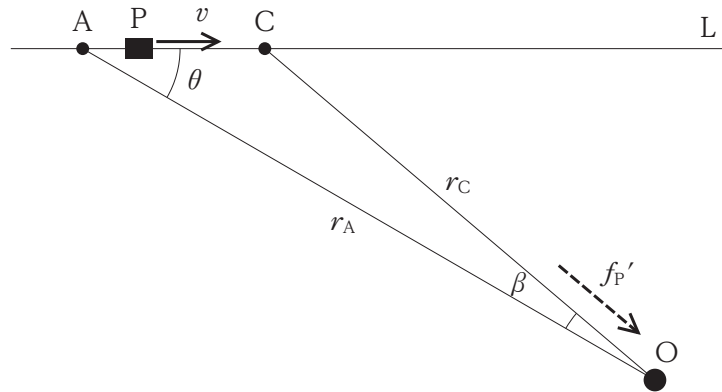


図 I

まず、O から発した振動数 f_0 の音波を P で観測することを考える。

- (1) O で時刻 $t = 0$ から $t = T_0$ までの短時間、音波を発したところ、P では $t = T_A$ に音が聞こえ始め、そのとき P は地点 A に位置し、OA 間の距離は r_A であった。その後、P では $t = T_B$ に音が聞こえなくなり、そのとき P は地点 B に位置し、OB 間の距離は r_B であった。 r_A と r_B をそれぞれ、 T_0 、 T_A 、 T_B 、 V のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) P の進行方向と OA が成す角 ($\angle BAO$) は θ であり、OA と OB が成す角 ($\angle AOB$) は α であるとき、 \overline{AB} を AB 間の距離として、 $r_A = \overline{AB}\cos\theta + r_B\cos\alpha$ と表すことができる。これと(1)の結果を使って、P で音波が観測されていた時間 $T_B - T_A$ を、 T_0 、 v 、 V 、 θ を用いて表せ。なお、O で音波を発する時間 T_0 が十分に短かったため、 α も十分に小さいとして、近似を用いてよい。
- (3) O で発した音波は振動数 f_0 であったのに対して、P で観測された音波は振動数 f_P であったとするとき、 f_P と f_0 との関係を、 T_0 、 T_A 、 T_B を用いて表せ。
- (4) (1)~(3)の結果より、P で聞こえた音波の振動数 f_P を、 f_0 、 v 、 V 、 θ を用いて表せ。

次に、図Ⅱのように、速さ v で運動する P により反射された音波を O で観測することを考える。

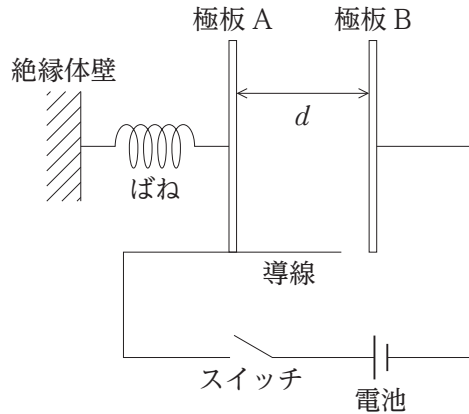


図Ⅱ

- (5) P で反射された音波が O で最初に観測された時刻を $t = T_C$ とする。これを地点 A に位置する P で振動数 f_P の音波として最初に聞いた時刻 $t = T_A$ から、 $t = T_C$ までの時間 $(T_C - T_A)$ と、その時間内に P が反射した音波の波の数 n_P をそれぞれ求め、 f_P 、 r_A 、 V のうち必要なものを用いて表せ。
- (6) P により反射された音波は、O では振動数 f_P' の音として聞こえた。それが聞こえ始めた時刻 ($t = T_C$) には P は地点 C にあり、OC 間の距離は r_C であった。 f_P' と、P で観測されていた振動数 f_P との関係を、 r_A と r_C を用いて表せ。
- (7) OA と OC が成す角 ($\angle AOC$) を β として、 r_C を、 r_A 、 V 、 v 、 θ 、 β のうち必要なものを用いて表せ。なお、 β は十分に小さいものとして、近似を用いてよい。
- (8) (6) と (7) の結果から、O で観測された音波の振動数 f_P' を、 f_P 、 V 、 v 、 θ 、 β のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) (4) と (8) の結果から、O で観測された音波の振動数 f_P' を、O で発した音波の振動数 f_0 、 V 、 v 、 θ を用いて表せ。また、物体 P の速度 v を、 f_0 、 f_P' 、 V 、 θ を用いて表せ。

【No. 3】 図のように、一对の金属平板を極板とする平行板コンデンサーに、起電力 V [V] の電池とスイッチが接続されている。一方の極板 B は固定されているが、もう一方の質量 m [kg] の極板 A には、一端を絶縁体壁で固定したばね定数 k [N/m] のばねが極板面に垂直に取り付けられており、極板 A は極板 B と平行を保ったまま、導線と常に接触し、摩擦なく、極板に垂直な水平方向にのみ動くことができる。電池の内部抵抗、導線とコンデンサー及びそれらの接続部の電気抵抗は無視できるものとする。ばねが自然長のときのコンデンサーの極板間の距離を d [m]、コンデンサーの電気容量を C [F] とし、極板の縦と横の長さは極板間の距離に比べて十分に大きく、極板間の電場(電界)は一様とみなす。最初、スイッチは開いており、極板上に電荷がない状態であった。

以下の問いに、それぞれ m 、 k 、 d 、 C 、 V 、 x の中から必要なものを用いて答えよ。ただし、答えのみでなく、考え方や計算の過程も記すこと。また、電磁波の発生は考えない。



極板 A をばねが自然長となる位置で静止させ、スイッチを閉じた。十分に時間が経過した後、スイッチを閉じたまま極板 A を静かに放すと、極板 A は右向き(極板 B に向かう向き)にゆっくりと動き始めた。

- (1) 極板間の距離が x [m] になったときのコンデンサーの電気容量 C_1 [F] と極板 A に蓄えられている電荷の電気量 Q_1 [C] を求めよ。
- (2) (1) のときの極板間の電場 E_1 [V/m] と極板 A にはたらく力 F_1 [N] をそれぞれ求めよ。ただし、電場と力は右向きを正とし、符号を含めて答えよ。
- (3) 極板 A が動き始めるときにコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーを U_0 [J]、極板間の距離が x [m] になったときの静電エネルギーを U_1 [J] とする。コンデンサーの静電エネルギーの変化量 $\Delta U_1 = U_1 - U_0$ [J] を求めよ。
- (4) その後、極板 A は極板 B に最も近づき、極板間の距離は $\frac{2}{3}d$ [m] になった。極板間の距離が d から $\frac{2}{3}d$ へ変化する間に電池から供給されたエネルギー W_1 [J] を求めよ。

再び極板 A をばねが自然長となる位置に戻し静止させ、コンデンサーを最初の帯電していない状態にしてからスイッチを閉じた。十分に時間が経過した後、今度はスイッチを開き、そのままの状態で極板 A を静かに放すと、極板 A は右向きにゆっくりと動き始め、単振動をした。

- (5) 極板間の距離が x [m] になったとき、極板 A に蓄えられている電荷の電気量 Q_2 [C] を求めよ。
- (6) (5)のときの極板間の電場 E_2 [V/m] と極板 A にはたらく力 F_2 [N] をそれぞれ求めよ。ただし、電場と力は右向きを正とし、符号を含めて答えよ。
- (7) 極板 A が動き始めるときにコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーを U_0 [J]、極板間の距離が x [m] になったときの静電エネルギーを U_2 [J] とする。静電エネルギーの変化量 $\Delta U_2 = U_2 - U_0$ [J] を求めよ。
- (8) その後、極板 A は極板 B に最も近づく。そのときの極板間の距離 x_2 [m] を求めよ。
- (9) 極板 A が動き始めてから最初に極板 B に最も近づくまでに要する時間 t_2 [s] を求めよ。