

物 理 I

(全 問 必 答)

第1問 次の文章を読み、各問い(問1～6)に答えよ。

〔解答番号 ～ 〕 (配点 30)

図1～3のように、一辺の長さ a [m] の正方形の板 ABCD (密度が^{ちゆうつがい}一様で重さ W [N]) の頂点 A を、鉛直に立てて床に固定した棒の先端に、なめらかに動く蝶番で接続し、板の面が鉛直面内でのみなめらかに回転するようにする。板の辺 AB の中点 M には、シリンダに入ったピストンの柄の先端を、なめらかに動く蝶番で接続する。シリンダと床との摩擦は無視できるものとし、板の回転に合わせてシリンダは常に点 M の鉛直下に位置するよう水平に動くものとする。また、板、棒、ピストン付きシリンダは、お互いに蝶番以外で接触することはないとする。シリンダの断面積は S [m²] で、シリンダの中には空気があり、ピストンで密閉されている。ただし、ピストンの重さ、およびシリンダとピストンとの摩擦は無視できるものとし、周りの空気の圧力は P_0 [N/m²] である。なお、シリンダ内と周りの空気の温度は一定の値のまま変化しないとする。空気は理想気体と見なせるものとする。

図1は、頂点 A の鉛直上に頂点 C が来るように板を回転した状態であり、他の力を加えることなく静止している。このときのシリンダ内の空気の高さを y_1 [m] とする。

図2は、辺 AB が水平になるように板を回転した状態であり、他の力を加えることなく静止している。このときのシリンダ内の空気の高さを y_2 [m] とする。

図3は、頂点 A と C を結ぶ直線が水平になるように板を回転した状態であり、この状態を保つには頂点 C に鉛直方向に大きさ X [N] の力を加える必要があった。

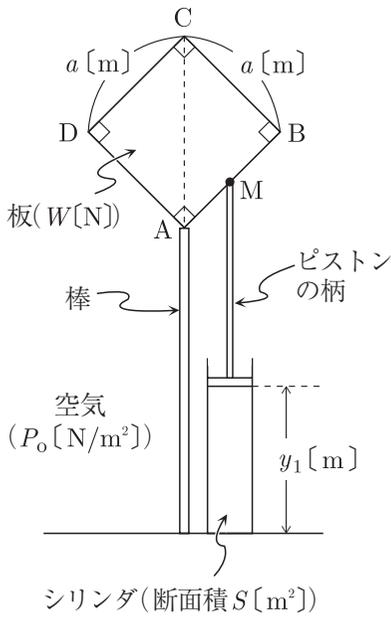


図 1

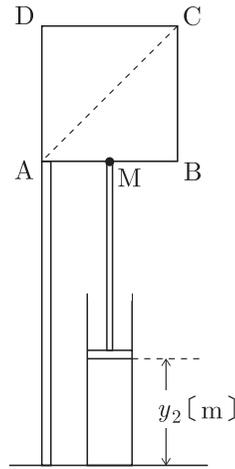


図 2

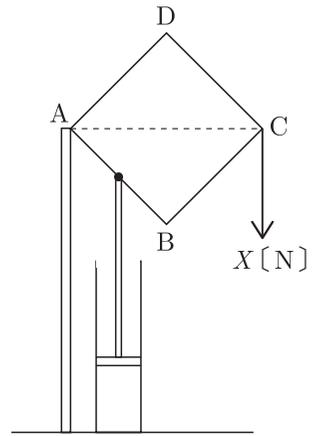


図 3

問1 図1の状態のとき、点Mで板がピストンの柄から受ける力の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 1 [N]

- ① W ② $\frac{\sqrt{2}W}{2}$ ③ $\frac{W}{2}$ ④ 0

問2 図1から図2の状態へ変化させたときに、ピストンの下がる距離 $d (= y_1 - y_2)$ [m] はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

$d =$ 2 [m]

- ① $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ ② $\frac{a}{2}$ ③ $\frac{\sqrt{2}a}{4}$ ④ $\frac{a}{4}$

物理 I

問3 図1と図2の状態を比べたとき、シリンダ内の空気の高さの比 $\frac{y_2}{y_1}$ はいくらか。

正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $\frac{y_2}{y_1} = \boxed{3}$

- ① $\frac{P_0 S}{P_0 S + W}$ ② $\frac{P_0 S - W}{P_0 S}$ ③ $\frac{W}{W + P_0 S}$ ④ $\frac{W - P_0 S}{W}$

問4 y_1 と $d (= y_1 - y_2)$ との関係はどうなるか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $y_1 = \boxed{4} d$

- ① $\frac{P_0 S + W}{P_0 S}$ ② $\frac{P_0 S - W}{P_0 S}$ ③ $\frac{W + P_0 S}{W}$ ④ $\frac{W}{W - P_0 S}$

問5 図3の状態のとき、点Mで板がピストンの柄から受ける力の大きさ F [N] はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $F = \boxed{5}$ [N]

- ① $\frac{2P_0 S W}{P_0 S + W}$ ② $\frac{2P_0 S W}{P_0 S - W}$
 ③ $\frac{2(P_0 S + W) W}{P_0 S}$ ④ $\frac{2(P_0 S - W) W}{P_0 S}$

問6 問5において、頂点Cに鉛直方向に加えた力の大きさ X [N] はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $X = \boxed{6}$ [N]

- ① $\frac{F - 2W}{4}$ ② $\frac{W}{3}$ ③ $\frac{3F - 2W}{4}$ ④ $\frac{F}{2}$

第2問 次の文章を読み、各問い(問1～6)に答えよ。

[解答番号 ～] (配点 30)

図1のような中心O、半径 r の円弧状の面ABCとこれになめらかにつながる斜面CDを質量 m の小物体が重力を受けながら運動する。OAは水平、OBは鉛直、 $\angle BOC = \theta$ 、直線CDは点Cで円Oに接している。円弧状の面ABCには摩擦がない。斜面CDには摩擦があり、動摩擦係数を μ とする。いま、点Aから小物体を静かに離した。

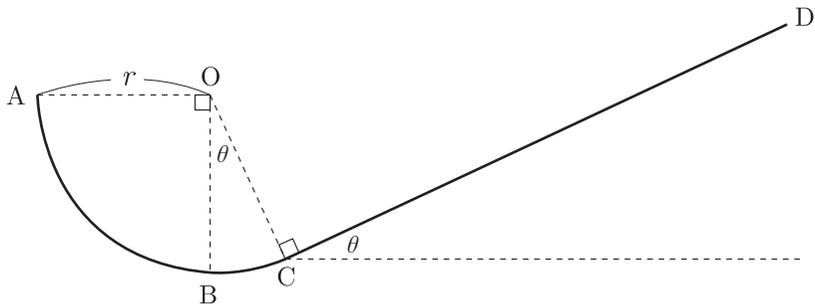


図 1

問1 小物体が斜面の端の点Cに達したときの速さ v_1 はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $v_1 =$

- ① \sqrt{gr} ② $\sqrt{2gr}$ ③ $\sqrt{2gr \sin \theta}$ ④ $\sqrt{2gr \cos \theta}$

問2 その後、小物体は斜面 CD を上り、点 P で一瞬止まった。止まるまで斜面上 CP 間で小物体にはたらく摩擦力の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 2

- ① μmg ② $\mu mg \sin \theta$ ③ $\mu mg \cos \theta$ ④ $\mu mg \tan \theta$

問3 斜面上向きを正として、止まるまでの CP 間での小物体の加速度 a はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $a =$ 3

- ① $(-\sin \theta + \mu \cos \theta)g$ ② $-(\sin \theta + \mu \cos \theta)g$
 ③ $(-\cos \theta + \mu \sin \theta)g$ ④ $-(\cos \theta + \mu \sin \theta)g$

問4 点 C から点 P に達するまでの時間 T はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 $T =$ 4

- ① $\frac{v_1}{a}$ ② $-\frac{v_1}{a}$ ③ $\frac{v_1}{2a}$ ④ $-\frac{v_1}{2a}$

問5 2点 CP 間の距離はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。
5

- ① $\frac{r \cos \theta}{\sin \theta + \mu \cos \theta}$ ② $\frac{r \cos \theta}{\sin \theta - \mu \cos \theta}$
 ③ $\frac{r \sin \theta}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$ ④ $\frac{r \sin \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$

物理 I

問 6 点 P で一瞬止まった小物体は再び下方に向かって斜面をすべり降りていった。

点 C に戻ったときの速さを v_2 とすると $\frac{v_2}{v_1}$ はいくらか。正しいものを、次の

①～④のうちから一つ選べ。 $\frac{v_2}{v_1} = \boxed{6}$

① $\sqrt{\frac{\cos\theta + \mu \sin\theta}{\cos\theta - \mu \sin\theta}}$

② $\sqrt{\frac{\cos\theta - \mu \sin\theta}{\cos\theta + \mu \sin\theta}}$

③ $\sqrt{\frac{\sin\theta + \mu \cos\theta}{\sin\theta - \mu \cos\theta}}$

④ $\sqrt{\frac{\sin\theta - \mu \cos\theta}{\sin\theta + \mu \cos\theta}}$

第3問 次の各問い(問1～6)に答えよ。〔解答番号 ～ 〕 (配点 25)

問1 図1は静止している音源に観測者が速度 v_1 で近づいている状態を表している。なお、音源の振動数を f_0 、観測者が観測する振動数を f_1 とし、音速は V とする。また、図1で示されているように、観測者が静止していても動いていても、波長 λ_1 は同じである。音源について波の基本式を適用すると、

$$V = f_0 \times \lambda_1$$

となる。観測者が音源に向かって近づいているため、観測者にとっての見かけの音速は大きくなる。したがって、観測者について波の基本式を適用すると、

$$V + v_1 = f_1 \times \lambda_1$$

となる。これらの式を組合せて、観測者が観測する振動数 f_1 はいくらか。正しいものを、下の①～⑤のうちから一つ選べ。 $f_1 =$

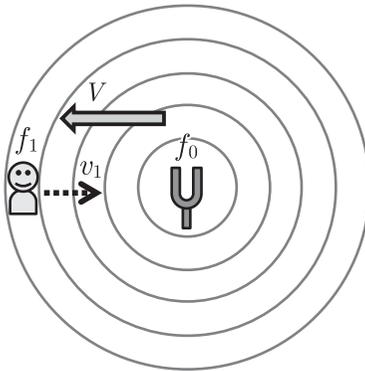


図 1

- ① $\frac{V}{V+v_1} f_0$ ② $\frac{V}{V-v_1} f_0$ ③ $\frac{V-v_1}{V} f_0$
 ④ $\frac{V+v_1}{V} f_0$ ⑤ f_0

問2 図2は静止している観測者に音源が速度 v_2 で近づいている状態を表している。音源の振動数を f_0 、観測者が観測する振動数を f_2 とし、音速は V とする。

問1 のときと同様に、観測者から見た波長と、音源から見た波長は同じなので、これを λ_2 とする。音源は速度 v_2 で移動しているので、音源にとっての音速は $V - v_2$ となる。音源について波の基本式を適用すると、

$$V - v_2 = f_0 \times \lambda_2$$

となる。観測者は静止しているので、観測者にとっての音速は V のままである。したがって、観測者について波の基本公式を適用すると、

$$V = f_2 \times \lambda_2$$

となる。これらの式を組合せて、観測者が観測する振動数 f_2 はいくらか。正しいものを、下の①～⑤のうちから一つ選べ。 $f_2 = \boxed{2}$

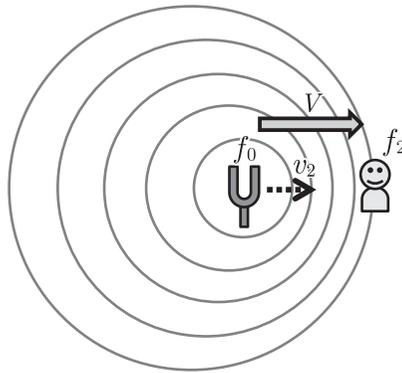


図 2

- ① $\frac{V}{V + v_2} f_0$ ② $\frac{V}{V - v_2} f_0$ ③ $\frac{V - v_2}{V} f_0$
 ④ $\frac{V + v_2}{V} f_0$ ⑤ f_0

物理 I

図3のように、観測者は振動数 f_0 の音源を持って速度 v_1 の車に乗っており、観測者の前方をトラックが速度 v_2 で走行している。

観測者が持っている音源から発せられた音波が、トラックの後部で反射されて再び観測者に戻ってきた音波の振動数を f_2 とする。ただし、音速は V とし、 $V > v_1, v_2$ であるものとする。

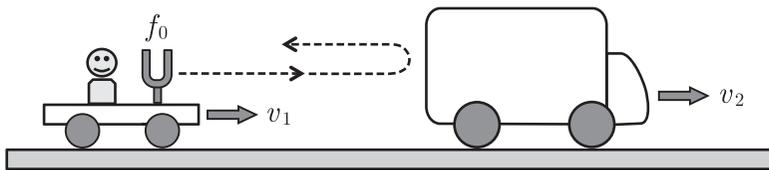


図 3

問3 トラックの後部にマイクが設置されているものとして、このマイクで観測される音波の振動数 f_1 はいくらか。正しいものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

$f_1 =$

① $\frac{V + v_2}{V + v_1} f_0$

② $\frac{V - v_2}{V - v_1} f_0$

③ $\frac{V - v_2}{V + v_1} f_0$

④ $\frac{V + v_1}{V - v_2} f_0$

⑤ $\frac{V - v_1}{V - v_2} f_0$

問4 トラックの後部で反射されて再び観測者に戻ってきた音波の振動数 f_2 を求めるために、問3で観測された振動数 f_1 の音波が、トラックの後部から観測者に向けて発せられたものと考え、振動数 f_2 はいくらか。正しいものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 $f_2 =$ 4

- ① $\frac{V+v_2}{V+v_1} f_1$ ② $\frac{V-v_2}{V-v_1} f_1$ ③ $\frac{V-v_2}{V+v_1} f_1$
- ④ $\frac{V+v_1}{V+v_2} f_1$ ⑤ $\frac{V+v_1}{V-v_2} f_1$

問5 問3・問4より、振動数 f_2 と振動数 f_0 との関係が求まる。この関係式で、

$$\frac{v_2}{v_1} = r, \quad \frac{V}{v_1} = p, \quad \frac{f_2}{f_0} = k$$

とおいて、 r を p と k で表す関数はどうなるか。

正しいものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 5

- ① $r = \frac{(p+1)-(p-1)k}{(p+1)+(p-1)k}$ ② $r = \frac{(p+1)+(p-1)k}{(p+1)-(p-1)k}$
- ③ $r = \frac{(p+1)+(p-1)k}{(p+1)+(p-1)k}$ ④ $r = \frac{(p+1)+(p-1)k}{(p+1)-(p-1)k} p$
- ⑤ $r = \frac{(p+1)-(p-1)k}{(p+1)+(p-1)k} p$

物理 I

問 6 観測者は自分の車の速度 v_1 と音速 V から $p \left(= \frac{V}{v_1} \right)$ を計算し、反射波の計測によって $k \left(= \frac{f_2}{f_0} \right)$ の値を計算することができる。問 5 の関係式を用いれば、これらの観測値を使って前方を走っているトラックの速度を計算することができる。音速 V は、 $340 \text{ [m/秒]} = 340 \times \frac{3600}{1000} \text{ [km/時]} = 1224 \text{ [km/時]}$ なので、自分の車の速度 v_1 が 58 [km/時] のときは、 $p = \frac{V}{v_1} = \frac{1224}{58} \cong 21$ となる。 $p = 21$ 、 $k = 0.9$ のときの速度比 $r \left(= \frac{v_2}{v_1} \right)$ はいくらか。正しい数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 $r = \boxed{6}$

① 0.5

② 0.7

③ 1.5

④ 1.8

⑤ 2.1

物理 I

第4問 次の文章を読み、各問い(問1～3)に答えよ。

[解答番号 ～] (配点 15)

図1のように、 $R[\Omega]$ の電気抵抗2個と $2R[\Omega]$ の電気抵抗と起電力 $E[V]$ の直流電源2個と切り替えスイッチSとを接続した。3個の電気抵抗以外の回路の抵抗はすべて無視できるものとする。

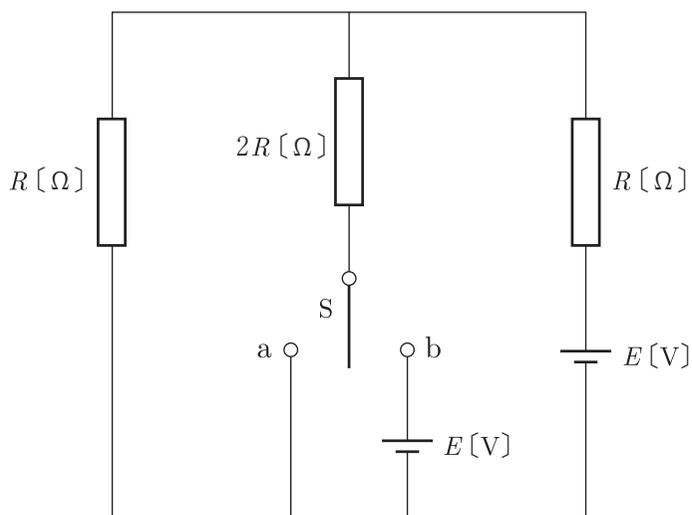


図 1

問1 切り替えスイッチ S の端子を a に入れたとき、 $2R[\Omega]$ の電気抵抗を流れる電流の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

1 [A]

- ① $\frac{E}{5R}$ ② $\frac{2E}{5R}$ ③ $\frac{3E}{5R}$ ④ 0

問2 切り替えスイッチ S の端子を b に入れたとき、 $2R[\Omega]$ の電気抵抗を流れる電流の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

2 [A]

- ① $\frac{E}{5R}$ ② $\frac{2E}{5R}$ ③ $\frac{3E}{5R}$ ④ 0

問3 問2において、回路に含まれる電気抵抗3個での消費電力の和はいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 3 [W]

- ① $\frac{E^2}{5R}$ ② $\frac{2E^2}{5R}$ ③ $\frac{3E^2}{5R}$ ④ 0