

令和 6 年度学力検査問題

工学部・後期日程

物 理

ペ ー ジ	解答用紙枚数
1 ～ 10	2 枚

解答時間 120 分

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. 本冊子のページ数は上記のとおりである。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 解答はすべて別紙解答用紙のそれぞれの指定の解答欄に記入すること。
4. 解答用紙 2 枚の指定された欄(計 4 箇所)に、忘れずに本学の受験番号を記入すること。
5. この問題冊子は試験終了後持ち帰ること。

1 図のように、左端が壁に固定されたばね定数 k [N/m] のばねがなめらかで水平な床の上にある。質量 m [kg] の小球 1 をばねの右端に押しつけ、ばねを自然の長さから L [m] だけ縮めた。

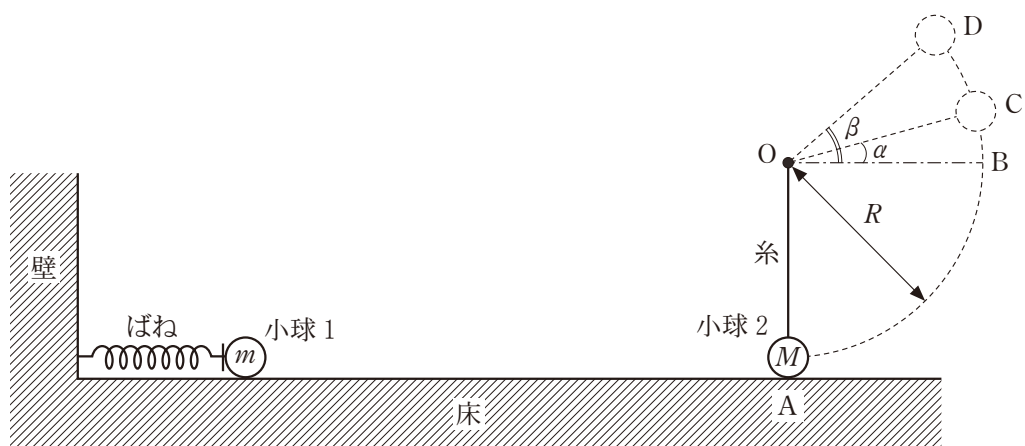
また、長さ R [m] の伸び縮みしない糸の一端を点 O に固定し、他端に質量 M [kg] ($m < M$) の小球 2 をとりつけた。小球 2 は糸がたるまないようにつり下げられており、最下点の点 A で床に接している。なお、点 A は壁から十分離れた位置にある。

ばねに押しつけている小球 1 を静かに離すと、小球 1 は床の上を右向きに運動し、ばねが自然の長さになったときにばねから離れて、そののち小球 2 に衝突した。衝突後に、小球 1 は静止し、小球 2 は鉛直面内で点 O を中心とする半径 R の円運動をおこない、点 O と同じ高さにある点 B を通り、さらに点 C を通って、点 D まで円運動を続けた。ここで、 $\angle BOC = \alpha$ [rad]、 $\angle BOD = \beta$ [rad] ($0 < \alpha < \beta < \frac{\pi}{2}$) である。ばねと糸の質量、小球 1 と小球 2 の大きさ、すべての摩擦および空気抵抗は無視でき、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。このとき以下の文章中の (a) ~ (g) に適切な数式を記入せよ。

問 1 小球 2 に衝突する直前の小球 1 の速さは (a) [m/s] である。また、小球 1 と衝突した直後の小球 2 の速さは (b) [m/s] である。この小球 1 と小球 2 の衝突における反発係数 (はね返り係数) は (c) である。

問 2 点 C において、小球 2 の速さは (d) [m/s] であり、小球 2 にはたらく向心力の大きさは (e) [N] である。このとき、糸の張力の大きさは (f) [N] である。

問 3 小球 2 が点 D に到達したところで糸がたるんで、小球 2 は円軌道からはずれた。 $\beta = \frac{\pi}{6}$ [rad] のとき、はじめにばねを縮めた長さ L は、 m 、 M 、 R 、 k 、 g のうち必要な記号を用いて (g) [m] と表される。



図

2 図のように、ピストン A を持つ円柱形シリンダー A、ピストン B を持つ円柱形シリンダー B がコックのついた連結管につながれている。ピストン A の直径は D [m]、ピストン B の直径は $2D$ [m] である。シリンダー A は水平に、シリンダー B は鉛直に置かれている。シリンダー A、B にはいずれも圧力 P_0 [Pa]、温度 T_0 [K] の単原子分子理想気体が閉じ込められている。シリンダー A 内の気体の体積は V_0 [m³]、シリンダー B 内の気体の体積は $4V_0$ [m³] である。

また、ピストン A、B はなめらかに動き、質量を無視できるものとする。シリンダー A、B ならびにコック、連結管およびピストン A、B は断熱材でできている。連結管の容積は無視できるものとする。なお、周囲の圧力を P_0 [Pa]、重力加速度の大きさを g [m/s²]、比熱比を γ 、気体定数を R [J/(mol·K)] とし、断熱変化では (圧力) $\times$ (体積) ^{γ} = 一定となる。

コックを閉じた状態で、ピストン A をゆっくりと右方向に移動させ、シリンダー A 内の気体の体積を半分にし、ピストン A の位置を固定した。

問 1 シリンダー A 内の気体の圧力を求めよ。

問 2 シリンダー A 内の気体の温度を求めよ。

問 3 シリンダー A 内の気体がピストン A を押す力の大きさを求めよ。

次に、ピストン A の位置を固定したままで、コックを開くとピストン B は上昇し、しばらくして静止した。

問 4 シリンダー B 内の気体の圧力を求めよ。

問 5 ピストン B の上昇した高さを求めよ。

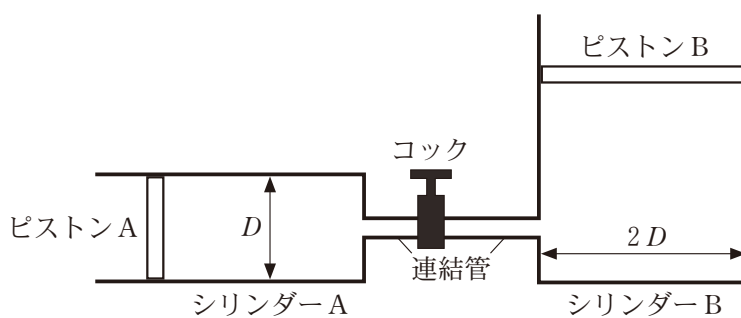
問 6 このとき、シリンダー内の気体が外部にした仕事を求めよ。

さらに、ピストン A の位置を固定したままで、ピストン B におもりをゆっくり載せると、ピストン B は下降し、はじめの高さで静止した。

問 7 おもりの質量を求めよ。

問 8 このとき、おもりがシリンダー内の気体にした仕事を求めよ。

問 9 はじめの状態からのシリンダー内の気体の内部エネルギー変化を求めよ。



図

3 以下の文章中の (ア) ~ (ク) に適切な数式を記入せよ。ただし、
 空気の屈折率を 1，水の屈折率を $\frac{4}{3}$ ，油の屈折率を $\frac{3}{2}$ とする。また、水および油は透明であるとする。なお、空欄 (イ) 以外では θ_1 ， θ_2 を、空欄 (オ) では r を使わないこと。

問 1 2 点 A，B が L [m] 離れて水面上にある。また、点 P が点 A から高さ h_1 [m] に、点 Q が点 B から高さ h_2 [m] にある。点 P から点 Q を水面での反射により見ると、点 A から (ア) [m] 離れた水面上に映っているのが見える。

問 2 図 1 のように、鉛直で不透明な壁を持つプールがある。壁から w [m] 離れて水面から高さ h [m] の位置に点 T がある。また、水面から深さ d [m] の壁面に光源 S がある。なお、点 T と光源 S は壁に垂直な同一平面上にある。光源 S から発した光が、水面上の点 M で屈折し点 T に到達することで、点 T から光源 S が見える。このとき点 T からは、直線 TM の延長線が壁と交わる点 S' に光源 S があるように見える。この光の屈折において、入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の間には $\sin \theta_1 =$ (イ) という関係が成り立つ。 w が十分に小さいとき、 θ_1 と θ_2 も十分に小さくなり、 $\sin \theta_1 = \tan \theta_1$ および $\sin \theta_2 = \tan \theta_2$ が成り立つ。この条件の下で、点 M から壁面までの距離を r [m] とすると、 $\sin \theta_1 =$ (ウ) ， $\sin \theta_2 =$ (エ) と表される。以上より、点 T から光源 S は水面から深さ (オ) [m] にあるように見える。また、 $r =$ (カ) [m] である。

続けて、点 T を壁から離れる方向に、ゆっくりと水平に移動させると、点 M も壁から離れる。点 M から壁までの距離が (キ) [m] に達するときに、点 T から光源 S が見えなくなる。

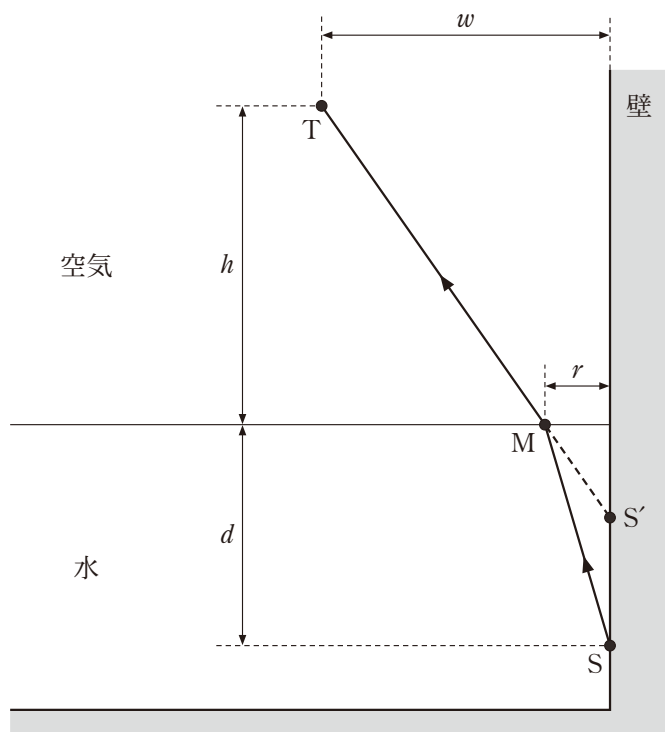


图 1

問 3 図 2 のように、鉛直で不透明な壁を持つプールがある。深さ $\frac{d}{2}$ [m] までは油で、それより深いところは水である。壁から w [m] 離れて油面から高さ h [m] の位置に点 T がある。また、油面から深さ d [m] の壁面に光源 S がある。なお、点 T と光源 S は壁に垂直な同一平面上にある。光源 S から発した光が油面にある点 M' を経て点 T に到達することで、点 T から光源 S が見える。このとき点 T からは、直線 TM' の延長線が壁と交わる点 S'' に光源 S があるように見える。 w が十分に小さいとき、光源 S は油面から (ク) [m] の深さにあるように見える。

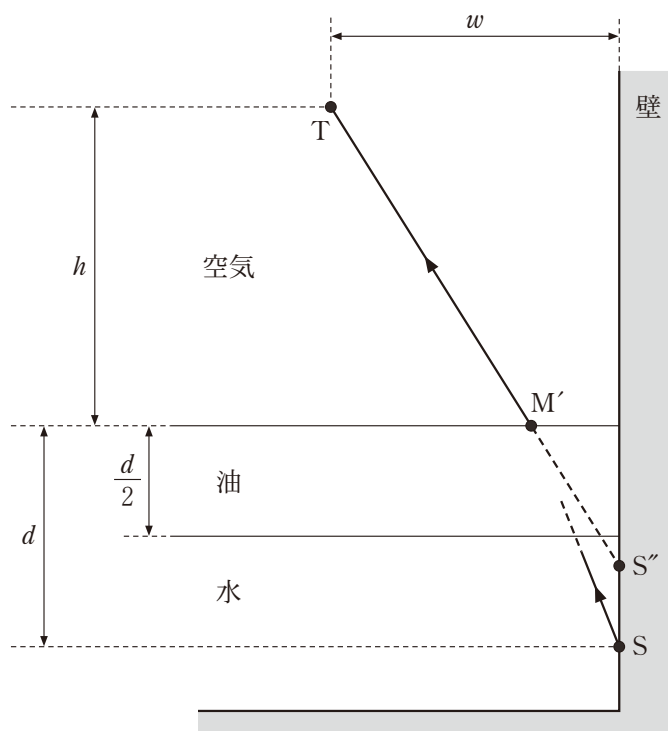


図 2

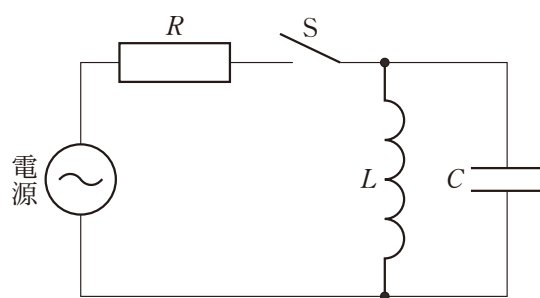
4 以下の文章中の (i) ～ (xii) の空欄に適切な数式および数値を記入せよ。

抵抗値 $R[\Omega]$ の抵抗，自己インダクタンス $L[\text{H}]$ のコイル，電気容量 $C[\text{F}]$ のコンデンサー，スイッチ S および正弦波交流電圧を発生する電源を図のように接続した回路がある。スイッチ S は閉じられてから十分時間が経っており，時刻 $t[\text{s}]$ においてコイル及びコンデンサーにかかる電圧が $V = V_0 \sin \omega t [\text{V}]$ であった。ただし $\omega [\text{rad/s}]$ は角周波数である。また，電源の内部抵抗，配線およびコイルの抵抗は無視できるものとする。

問 1 このとき，コイルに流れる電流を $I_L[\text{A}]$ とすると $I_L =$ (i) $[\text{A}]$ と表され，コンデンサーに流れる電流を $I_C[\text{A}]$ とすると $I_C =$ (ii) $[\text{A}]$ と表される。 $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ であるとき，抵抗にかかる電圧 $V_R[\text{V}]$ の最大値は (iii) $[\text{V}]$ であり， V を基準とした V_R の位相差は (iv) $[\text{rad}]$ である。また，電源の電圧 $V_s[\text{V}]$ の最大値は (v) $[\text{V}]$ であり， V を基準とした V_s の位相差を $\phi[\text{rad}]$ とすると $\tan \phi =$ (vi) となる。

問 2 この回路が消費する電力の時間平均値 $P[\text{W}]$ は $P =$ (vii) $[\text{W}]$ となる。 P が最小となる角周波数 $\omega_1[\text{rad/s}]$ は $\omega_1 =$ (viii) $[\text{rad/s}]$ であり， P の最小値は，(ix) $[\text{W}]$ である。このとき電源の電圧 V_s は $V_s =$ (x) $[\text{V}]$ となる。

問 3 $t = \frac{\pi}{\omega}[\text{s}]$ のとき S を開くと回路に振動電流が流れた。 S を開いた瞬間にコイルに流れている電流 $I_0[\text{A}]$ は (xi) $[\text{A}]$ である。また，コイルに流れている電流が $\frac{I_0}{2}[\text{A}]$ のとき，コンデンサーにかかる電圧を I_0 を用いずに表すと (xii) $[\text{V}]$ である。



図