

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入しなさい。 2 から 5 は解答の過程も示しなさい。

1 以下の文章の (①) から (⑳) に適切な語句、数値または式を入れなさい。

※設問に不備がありました。25ページを参照してください。

- [1] 板状の導体に電流を流し、それに対して垂直に磁束密度 B [Wb/m²]の磁場(磁界)を加える場合を考える。電流の向きを x 軸の正の方向、磁場の向きを y 軸の正の方向として、 x 軸方向と y 軸方向に垂直な軸を z 軸とする。このとき導体中を速さ v [m/s] で x 軸の負の方向に動く電気量 $-e$ ($e > 0$) [C]の電子が受けるローレンツ力の向きは (①) 軸に平行であり、その大きさは (②) [N]と表すことができる。ローレンツ力により、導体中の (①) 軸方向に電位差が生じる。この現象を (③) 効果という。電位差によって生じた電場(電界)を E [N/C]とすると、電場が電子に対して及ぼす力の大きさは (④) [N]である。この力とローレンツ力とがつりあうような磁束密度 B [Wb/m²]の大きさは (⑤) [Wb/m²]である。
- [2] 重力加速度を g [m/s²]とし、空気抵抗は無視できるものとする。反発(はねかえり)係数 e の水平な床から高さ h [m]のところにある質量 m [kg]の小球は、床を基準にしたときに (⑥) [J]の位置エネルギーをもつ。この小球を時刻 $t = 0$ s で静かに落下させた。落下中に小球に加わっている力の大きさは (⑦) [N]である。床に衝突する直前の小球の速さは (⑧) [m/s]であり、衝突直後の小球の運動エネルギーは (⑨) [J]である。この後、最初に小球の速さが 0 m/s になったときの、小球の床からの高さは (⑩) [m]である。
- [3] 気体全体の質量が m [g]、モル数が n [mol]の理想気体に熱量 Q [J]を与えたところ、温度が T [K]だけ上昇した。したがって、この理想気体の熱容量は (⑪)、比熱(比熱容量)は (⑫)である。この加熱を体積を一定に保つように行っていたとするとモル比熱は (⑬)、圧力を一定に保つように行っていたとするとモル比熱は (⑭)である。また、この加熱により気体が W [J]の仕事をしたとするとその熱効率は (⑮)である。
- [4] 焦点距離が 6 cm の (⑯) レンズから 10 cm の光軸上の位置に物体を置くと、レンズに対して物体と反対側の (⑰) cm の位置に倒立の実像が生じた。このレンズを用いて倍率 2 倍の正立の虚像をつくるためにはレンズから (⑱) cm の光軸上の位置に物体を置けばよい。空気中にあるこのレンズに物体からの光が通過する場合、光軸上の光線は (⑲) 回屈折し、光軸上以外の光線は (⑳) 回屈折する。



2 起電力 E [V] の電池 E 、抵抗値 R [Ω] の抵抗 R 、電気容量 C_1 、 C_2 [F] のコンデンサー C_1 、 C_2 、電流計、および抵抗線 ab が図 1 のように接続されている。抵抗線 ab は長さ L [m] で断面積が D [m²]、抵抗率 ρ [Ω m] の均質な抵抗線で、この抵抗線には電流計より伸びる導線が位置 c で接続するものとする。はじめ、コンデンサー C_1 、 C_2 に蓄えられている電気量はそれぞれ 0 C、スイッチ S_1 、 S_2 は開いている。以下の各問に答えなさい。

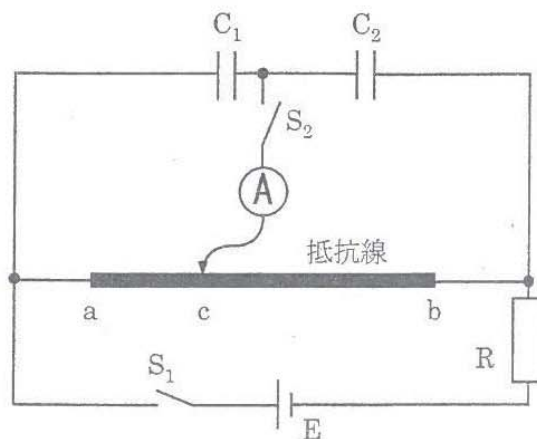


図 1

〔1〕 抵抗線 ab の抵抗値 R_0 を求めなさい。

以下、抵抗線 ab の抵抗値を R_0 として答えなさい。

- 〔2〕 S_1 を閉じた瞬間に電池より流れる電流を求めなさい。
- 〔3〕 S_1 を閉じてから十分に時間が経過したときに電池より流れる電流を求めなさい。
- 〔4〕 S_1 を閉じてから十分に時間が経過したときに C_1 、 C_2 に蓄えられる電気量をそれぞれ求めなさい。
- 〔5〕 S_1 を閉じてから十分に時間が経過した後に S_2 を閉じた。このとき電流計に電流が流れないようにする ac の長さを求めなさい。
- 〔6〕 〔5〕での c の位置を b の方向へ x [m] だけ変化させたところ、電流計に電流が流れはじめ、十分に時間が経過した後、電流計に電流が流れなくなった。このとき電流計を通過した総電気量を L 、 x 、 R_0 、 R 、 C_1 、 C_2 、 E を用いて求めなさい。

3 図 2 に示されるように鉛直に立てられた半径 ℓ [m] の円環があり、この円環の円周上のみを滑らかに動ける質量 m [kg] の質点がある。重力加速度を g [m/s²] とし、空気抵抗は無視できるものとする。以下の各問に答えなさい。

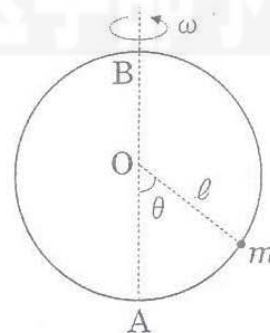


図 2

最初、円環は静止していた。

- 〔1〕 質点が図 2 の最下点 A の位置にあり静止していたとき、円環が質点に与える力の大きさを求めなさい。
- 〔2〕 A の位置に静止していた質点に、水平方向に初速度 v [m/s] を与えたところ、質点は継続的に円環上を回転運動した。質点が回転中に A の位置にきたときの、円環が質点に与える力の大きさを求めなさい。

次に中心を通る鉛直線 AB のまわりに円環を一定の角速度 ω [rad/s] で回転させた。図 2 に示されるように、質点と円環の中心を通る線分が円環の中心を通る鉛直な線分 OA となす角を θ [rad] とする。



- [3] ある瞬間に質点が角度 θ の位置にあるとき、円環の回転によって質点が受ける遠心力の大きさを求めなさい。ただし、 $0 < \theta < \pi/2$ であるとする。
- [4] 質点が角度 $\theta = \theta_0$ の位置でつりあい、円環上からみて静止した。このような θ_0 が $0 < \theta_0 < \pi/2$ の範囲で存在できるための ω の大きさの下限值 ω_1 を求めなさい。
- [5] A の位置は角速度 ω によらず常につりあいの位置であるが、特に $0 \leq \omega < \omega_1$ の場合には、質点が A から非常に小さい角度 θ' だけ変位したときに θ' に比例し、A に戻ろうとする復元力が質点にはたらく。この復元力による質点の運動は円環上からみて単振り子に相当する。このときの振動の周期を、 l 、 g 、 ω を用いて求めなさい。ただし、 θ' が非常に小さい場合に成り立つ近似式 $\sin \theta' \simeq \theta'$ 、 $\cos \theta' \simeq 1$ を用いてよい。

- 4** 圧力 p_{A0} [Pa] の単原子分子理想気体が入った体積 V_{A0} [m³] の密閉された変形しない容器 A と密度 ρ [kg/m³] の液体に満たされた管 B がある。図 3 のように、容器 A を管 B に角度 θ (ただし $\theta \leq 90^\circ$) で挿入し容器の先端 a を開いたところ液体が容器 A に流入し、その後流入が止まった。図 3 は、流入が止まった状態を示している。実験は、大気圧 p_0 [Pa]、大気温 T_0 [K] の地面上の室内で行い、挿入前の容器 A の温度と容器 A 内の気体の温度は大気温と同じにした。ポンプによって、管 B 内の液体の量は一定、液体の圧力は一定かつ一様に保たれ、管 B 内の液体の温度は常に大気温と同じにした。管 B 内での液体の圧力は $p_0 + p_B$ [Pa] (ここでは p_B を液圧という) とする。容器 A 内での液体の蒸発、気体の溶解、管 B 内の液体の流れは無視できる。また、重力加速度は g [m/s²] とする。以下の各問に答えなさい。
- [1] 流入が止まったときの容器 A の先端 a から液面までの高さ h [m] であった。このときの容器 A 内の気圧 p_A [Pa] を求めなさい。

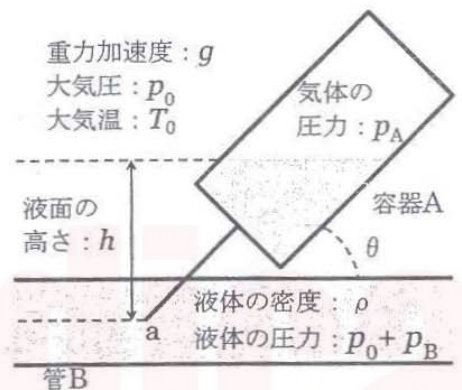


図 3

以下、流入が止まったときの容器 A 内の気圧を p_A [Pa] として答えなさい。

- [2] 容器 A に流入した液体の体積を求めなさい。ただし、流入中の気体圧縮は断熱的である。なお、気体の断熱変化の場合、比熱比を $\gamma > 1$ として、変化の前後で気体の圧力と気体の体積の γ 乗との積は一定である。
- [3] [2] のときの容器 A 内の気体の温度を求めなさい。
- [4] 流入が止まった後、容器 A の先端 a を静かに閉じ管 B から抜いて十分長い時間放置した。大気と容器 A 内の気体および液体が熱平衡状態に達するまでに、容器 A と大気の間で移動した熱量 Q [J] の大きさを求めなさい。また、その熱量は、容器 A から大気へ移動したか、大気から容器 A へ移動したかを答えなさい。ただし、放置している間の大気温の変化はない。

- [5] 条件を一つだけ変えて同様の実験を行ったところ、容器に流入した液体の体積は減少した。このような結果になる条件変更を〔選択肢〕の①～④からすべて選び、選択肢番号を小さい順に答えなさい。ただし、当てはまる条件がないときは、「なし」と記入しなさい。

- 〔選択肢〕 ① 容器 A に入れる気体量を増やした。
 ② 容器 A の挿入角度 θ を大きくした (ただし $\theta \leq 90^\circ$)。
 ③ 容器 A と管 B を同じ室内で同時に自由落下させた。
 ④ 容器 A 内の気体の温度を大気温より高くした。

- 5** 周波数が 1000 Hz の正弦波の音波を発する音源が、変位 $z[\text{m}] = 2.00 \cos(17.0t)$ で z 軸上を単振動している。 $t[\text{s}]$ は時刻であり、音源の単振動の周期を T としたとき $0 < t \leq T$ とする。また、音速を 340 m/s、円周率を 3.14 とする。以下の各問に答えなさい。なお、数値を指定された桁数にするには四捨五入するものとする。

- [1] 単振動の振幅、角振動数、周期を有効数字 2 桁の単位のついた数値で求めなさい。
 [2] 音源の速さが最大になる時刻、および最小になる時刻を、 T を用いて求めなさい。
 [3] 音源の最大の速さを有効数字 2 桁の単位のついた数値で求めなさい。
 [4] 観測者が z 軸上の点 $z = 5.00 \text{ m}$ でこの音源の音を観測した。観測される音の周期の最大値、および最小値をそれぞれ有効数字 2 桁の単位のついた数値で求めなさい。

z 軸と直交する x 軸上の点 A ($x = 10.0 \text{ m}$, $z = 0 \text{ m}$) で、観測者がこの音源の音を観測した。 $\tan \theta \leq 0.2$ のとき、近似式 $\sin \theta \approx \tan \theta$ が成り立つとして、以下の各問に答えなさい。

- [5] 周波数が 1000 Hz の正弦波が観測されるすべての時刻を、 T を用いて求めなさい。
 [6] 時刻 t において音源が z 軸上の点 S にあったとする。このときの音源の速度の SA 方向の大きさ v_{SA} を求めなさい。
 [7] 音源と観測者との相対速度が v_{SA} であることから、音源は静止している観測者に対して v_{SA} で移動していることになり、観測者が観測する音の高さは周期的に変化する。もっとも低い音が観測される時刻を、 T を用いてすべて求めなさい。
 [8] [7] の場合に観測される音の周期を有効数字 3 桁の単位のついた数値で求めなさい。

以 上

