

令和 2 (2020) 年度入学試験問題(前期)

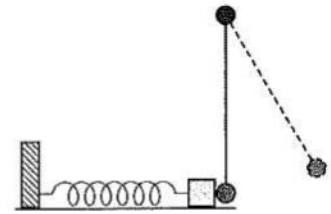
理 科

注 意

1. 合図があるまで表紙をあけないこと。
2. 化学、物理、生物のうちから 2 科目を選択し、別紙解答用紙に受験番号、氏名を記入すること。
(ただし受験票、入学願書に記入した 2 科目に限る。)
3. 選択した科目以外の科目(例えば化学、物理を選択した場合は生物)の解答用紙にも受験番号、氏名を記入し、全体に大きく×印をすること。
4. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
5. 裏表紙は計算に使用する。
6. 選択した科目以外の解答用紙に解答を記入した場合、及び解答用紙に解答以外のことを書いた場合、その答案は無効とする。
7. 問題冊子は 1 冊、別紙解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
8. 受験票は机に出しておくこと。

I 重力加速度の大きさを $g[\text{m/s}^2]$ として下記の問の()には, g, k, A, m, μ のうち必要なものを用いた式を, []には数値を入れよ。なお, すべての運動は一つの鉛直平面内で起こり, 糸とばねの質量は無視できるものとする。

- (1) ばね定数 $k[\text{N/m}]$, 自然長 $A[\text{m}]$ のばねと, 質量 $m[\text{kg}]$ の小さなおもりでできているばね振り子を水平な台の上におき, 壁に固定した。このとき, 台とおもりとの間に摩擦はないものとする。ばねを自然の長さから少し伸ばし静かに手を離すと, ばね振り子は周期 $T = (\text{①})[\text{s}]$ の単振動を始めた。



糸の先に質量 m の小球をつるした単振り子は単振動をするとし, その周期をばね振り子の周期 T と等しくするために, 糸の長さ L を (②) $[\text{m}]$ とした。

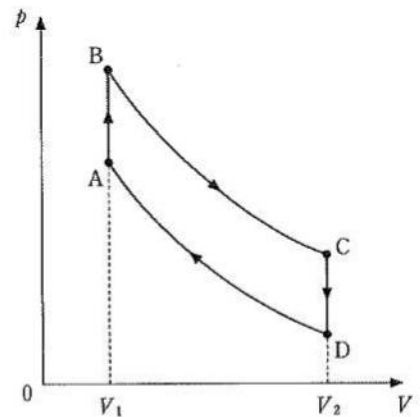
- (2) 図のように, ばねが自然長でおもりが静止しているとき, 鉛直に垂れ下がった小球とおもりが接するように, 単振り子を設置した。単振り子の小球を静止の位置から $\frac{1}{5}L$ だけ高い位置まで糸がたるまないように移動させた。静かに手を離すと, 小球は速さ $V_0 = [\text{③}] \times \sqrt{gL}$ $[\text{m/s}]$ でばね振り子のおもりに衝突した。

衝突は弾性衝突であったとすると, 単振り子の小球は速さ [④] $\times V_0$ で跳ね返り, 高さ [⑤] $\times L$ の位置まで振れる(戻る)。一方, ばね振り子のおもりは速さ [⑥] $\times V_0$ で動き出し, ばねは [⑦] $\times L$ だけ縮み, その後は伸びる方向に動き出す。

単振り子の小球とばね振り子のおもりは, 最初の衝突から [⑧] $\times T$ 後に再び衝突する。衝突後の速さは, 前者は [⑨] $\times V_0$, 後者は [⑩] $\times V_0$ である。単振り子の小球はその後高さ [⑪] $\times L$ の位置にまで達する。単振り子の小球が高さ $\frac{1}{5}L$ の位置から出発し, この位置にまで戻るのにかかる時間は [⑫] $\times T$ である。

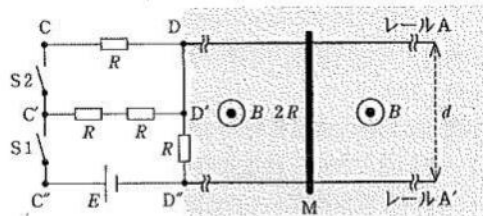
- (3) 台を表面の粗いものに変えた。台とおもりの間の静止摩擦係数と動摩擦係数は, どちらも μ とする。そして, (2)と同じように単振り子の小球を静止の位置から $\frac{1}{5}L$ だけ高い位置まで移動させ, 静かに手を離した。動き出したばね振り子のおもりは (⑬) $\times L$ だけ進んで止まった。ばね振り子のおもりがこのまま動かないためには, $\mu > [\text{⑭}]$ でなければならない。

II 理想気体の断熱変化では, 圧力 $p[\text{Pa}]$ と体積 $V[\text{m}^3]$ に $pV^\gamma = \text{一定}$ という関係式が成り立つ。ここで γ は, 定圧モル比熱を $C_p[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$, 定積モル比熱を $C_v[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ として, $\gamma = C_p/C_v$ である。図は, 2つの断熱変化を含む1モルの理想気体の状態を示す。状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ とゆくり変化させた。 $A \rightarrow B$ と $C \rightarrow D$ の過程は, それぞれ体積 $V_1[\text{m}^3]$ と $V_2[\text{m}^3]$ のときの定積変化, $B \rightarrow C$ と $D \rightarrow A$ は断熱変化である。状態 A, B, C, D の温度を, それぞれ $T_A[\text{K}]$, $T_B[\text{K}]$, $T_C[\text{K}]$, $T_D[\text{K}]$ とし, 次の間に答えよ。なお, (2)~(6)で問われた値は $C_v, C_p, T_A, T_B, T_C, T_D$ のうち必要な記号を用いて答えよ。



- (1) T_A, T_B, T_C, T_D の中で最も高温なのはどれか。また最も低い温度はどれか。
- (2) 定積変化 $A \rightarrow B$ における内部エネルギー $[\text{J}]$ の変化はいくらか。
- (3) 断熱変化 $B \rightarrow C$ における内部エネルギー $[\text{J}]$ の変化はいくらか。
- (4) 状態変化 $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$ の中で, 気体が熱を吸収する変化はどれか。また, その吸収した熱量 $Q_{\text{in}}[\text{J}]$ はいくらか。
- (5) 状態変化 $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$ の中で, 気体が熱を放出する変化はどれか。また, その放出した熱量 $Q_{\text{out}}[\text{J}]$ はいくらか。
- (6) 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の1サイクルの間に, 気体が外にした正味の仕事 $[\text{J}]$ はいくらか。
- (7) 熱機関で状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ が行われたとき, その熱機関の効率(熱効率)を, $Q_{\text{in}}, Q_{\text{out}}$ を用いて表せ。
- (8) $pV^\gamma = \text{一定}$ の関係式を, p の代わりに温度 $T[\text{K}]$ を使って T と V との関係式にすると, () = 一定となる。() に入る式を表せ。
- (9) (7)の熱効率を, V_1, V_2, γ を用いて表せ。

III 図のように、水平な床の上に直線状の長い導体レール A, A' を間隔 d [m] で平行に置き、それぞれの端を電気回路 CC'C'D'D'D' の D と D' に接続した。導体レールを置いた空間には、鉛直上向きに一樣な磁場(磁束密度 B [T])がある(図の灰色部分)。質量 m [kg] の導体棒 M は2本のレールに直交するように置かれ、レール上を図の左右方向になめらかに水平移動することができる。電気回路 CC'C'D'D'D' には、電気抵抗 R [Ω] の抵抗が4つ、



起電力 E [V] の電池が1つ、スイッチ S1, S2 が、図のように配置されている。M のレール間の電気抵抗は $2R$ 、電池の内部抵抗や導線、レールの電気抵抗は無視でき、回路を流れる電流によって生じる磁場の影響はないものとする。

はじめ、図の様にスイッチは2つとも開いており、M はレール上に静止していた。これを初期状態とする。以下の間に答えよ。ただし、速度、加速度、力の向きはいずれも図の右向きを正とし、M を流れる電流は A→A' 方向を正とする。

- (1) S1, S2 を開いたまま、M を図の右方向に一定の速度 v [m/s] で動かして続けた。このとき M を流れる電流 [A] はいくらか。
- (2) (1) のとき、M に加えた力 [N] はいくらか。
- (3) (1) のとき M で1秒あたりに発生した熱量 [J] はいくらか。
- (4) 初期状態に戻してから、S1 だけを閉じると、M は動き出した。動き出したときの M の加速度 [m/s²] はいくらか。
- (5) 初期状態に戻してから、S1 と S2 を同時に閉じた。その直後に M を流れる電流 [A] はいくらか。
- (6) (5) の後、十分に長い時間が経過すると、M の動く速度は一定になった。この速度 [m/s] はいくらか。
- (7) S1 と S2 を閉じた状態で M を左右どちらかの方向に一定の速度で動かしたところ、D'D' 間の抵抗に流れる電流がゼロになった。このときの M の速度 [m/s] はいくらか。

IV 以下の間に答えよ。

- (1) 発電所から遠く離れた町に送電線で電気が送られている。その町の1軒の家が電気を使用すると、送電線で0.01%の電力損失が生じた。1000軒の家が同時に電気を使用すると、送電線での電力損失は何%になるか。また、電力損失が10%になるのは何軒の家が同時に電気を使用したときか。なお、1軒あたりの使用電力はすべて同じとする。(電力損失は小数点以下1桁目まで、軒数は一の位まで答えよ)
- (2) 80℃の湯で0℃の水1kgを全部とくすには、少なくとも何kgの湯が必要か。ただし、水の比熱を4.2J/(g・K)、水の融解熱を3.3×10²J/gとし、有効数字2桁で答えよ。
- (3) アルミニウムでできた中空円筒状のパイプがある。垂直に立てたそのパイプを用い、直径がパイプの内径より僅かに小さい円柱状の磁石(上面がN極で下面がS極となっている)をパイプ上端開口部から真空中においてパイプ内を自由落下させた。ただし落下運動中に磁石とパイプ内面は接触しないとする。このとき、磁石の落下速度は、質量が同じで磁石ではない同様な形状の円柱体と同じ条件のもとに自由落下させたときと比べてどうなるかを記号で答えよ。①(ア:磁石でできた円柱体のほうが速く落下する、イ:両者の落下速度は同一である、ウ:磁石でできた円柱体のほうが遅く落下する)
また上の実験で、磁石のN極とS極を上下逆にした場合はどうなるかを記号で答えよ。②(ア:磁石でできた円柱体のほうが速く落下する、イ:両者の落下速度は同一である、ウ:磁石でできた円柱体のほうが遅く落下する)
さらにこの現象に最も関連が深い語句を次の中から2つ選んで記号で答えよ。③(ア:ボイルの法則、イ:レンツの法則、ウ:フックの法則、エ:クーロンの法則、オ:静電遮蔽、カ:光電効果、キ:渦電流、ク:振動電流)