

# 平成 30 年度入学者選抜試験問題

## 工 学 部

(高分子・有機材料工学科, 化学・バイオ工学科,  
情報・エレクトロニクス学科,  
機械システム工学科, システム創成工学科)

## 理 科 ( 物 理 )

### 前 期 日 程

#### 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 この問題冊子の本文は, 1 ページから 8 ページまでです。
- 3 解答は, 物理専用の解答用紙を使用してください。
- 4 問題は 4 問からなっています。解答は問題番号と一致した解答用紙に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には, 計算過程も記入してください。
- 5 すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は, 採点できないことがあります。
- 6 試験終了後, 問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

## 第1問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (10) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。なお、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、円周率を  $\pi$  とする。

[A] 図1のように、天井にバネ定数が  $k$  [N/m] で自然の長さが  $X$  [m] の軽いバネをつり下げた。自然の長さのときのバネの先端の位置を原点  $O$  とし、鉛直下向きに  $x$  軸をとる。バネの先に質量  $m$  [kg] の小球を取り付けたところ、バネは  $x_1$  [m] 伸びて静止した。小球を静止した位置から原点  $O$  まで手で持ち上げたのち静かにはなしたところ、小球は単振動をした。

- (1) バネ定数  $k$  を、 $g, m, x_1$  を用いて表せ。
- (2) 小球が  $x = 2x_1$  にあるとき、小球にはたらく合力  $F$  [N] を、 $k, x_1$  を用いて表せ。
- (3) 小球が  $x = 2x_1$  にあるとき、バネに蓄えられている弾性エネルギー  $U$  [J] を、 $k, x_1$  を用いて表せ。
- (4) 単振動の周期  $T_1$  [s] を、 $\pi, g, x_1$  を用いて表せ。

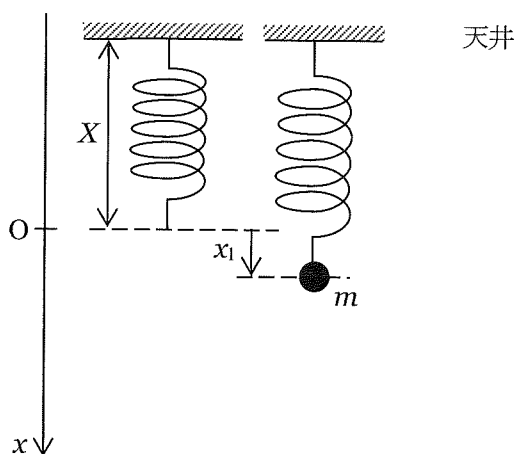


図1

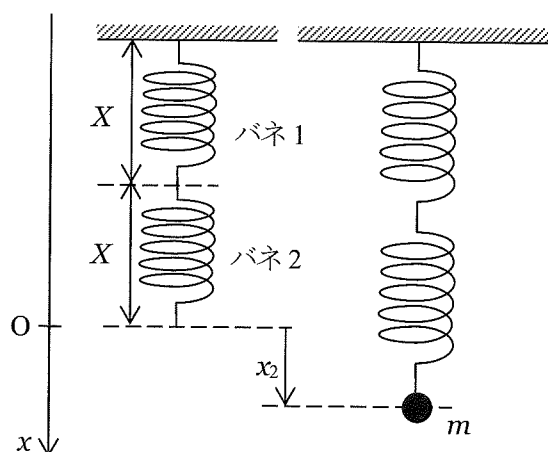


図2

[B] バネ定数が  $k$  [N/m] で自然の長さが  $X$  [m] の軽いバネ1とバネ2がある。図2のように、天井にバネ1をつり下げ、さらにバネ1の先にバネ2を取り付けた。バネ2の先端の位置を原点  $O$  とし、鉛直下向きに  $x$  軸をとる。バネ2の先に質量  $m$  [kg] の小球を取り付けたところ、小球は  $x_2$  [m] で静止した。小球を静止した位置から原点  $O$  まで手で持ち上げたのち静かにはなしたところ、小球は単振動をした。

- (5) 小球のつり合いの位置  $x_2$  を、 $g, k, m$  を用いて表せ。
- (6) 単振動の周期  $T_2$  [s] を、 $\pi, k, m$  を用いて表せ。

[C] バネ定数が  $k$  [N/m] で自然の長さが  $X$  [m] の軽いバネ 1 とバネ 2 がある。図 3 のように、床からの高さが  $2X$  [m] の天井にバネ 1 をつり下げた。バネ 1 の先端の位置を原点  $O$  とし、鉛直下向きに  $x$  軸をとる。バネ 1 の先に質量  $m$  [kg] の小球を取り付け、さらに小球の先にバネ 2 を取り付けた。バネ 1、小球およびバネ 2 が鉛直線上に並ぶように、バネ 2 の他端を床に固定したところ、小球は  $x_3$  [m] で静止した。なお、小球は横に動かないように、図 3 のような、なめらかな内面をもつ円筒に入っている。小球を静止した位置から原点  $O$  まで持ち上げたのち静かにはなしたところ、小球は単振動をした。

- (7) 小球のつり合いの位置  $x_3$  を、 $g, k, m$  を用いて表せ。
- (8) 単振動の中心の位置  $x_c$  [m] を、 $x_3$  を用いて表せ。
- (9) 小球が単振動しているときの位置  $x$  [m] における小球の加速度  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を、 $g, x, x_3$  を用いて表せ。
- (10) 小球の速さの最大値  $v_{\max}$  [m/s] を、 $g, k, m$  を用いて表せ。

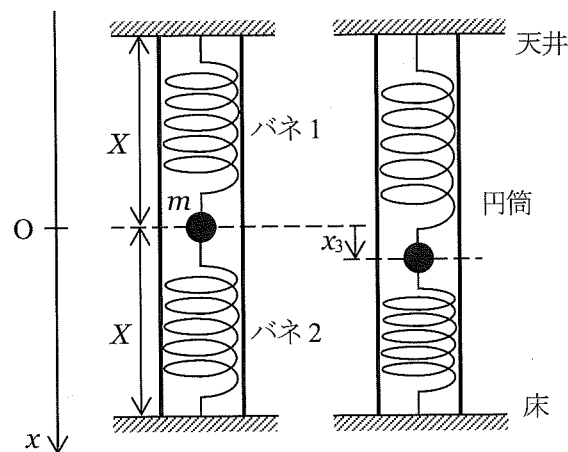
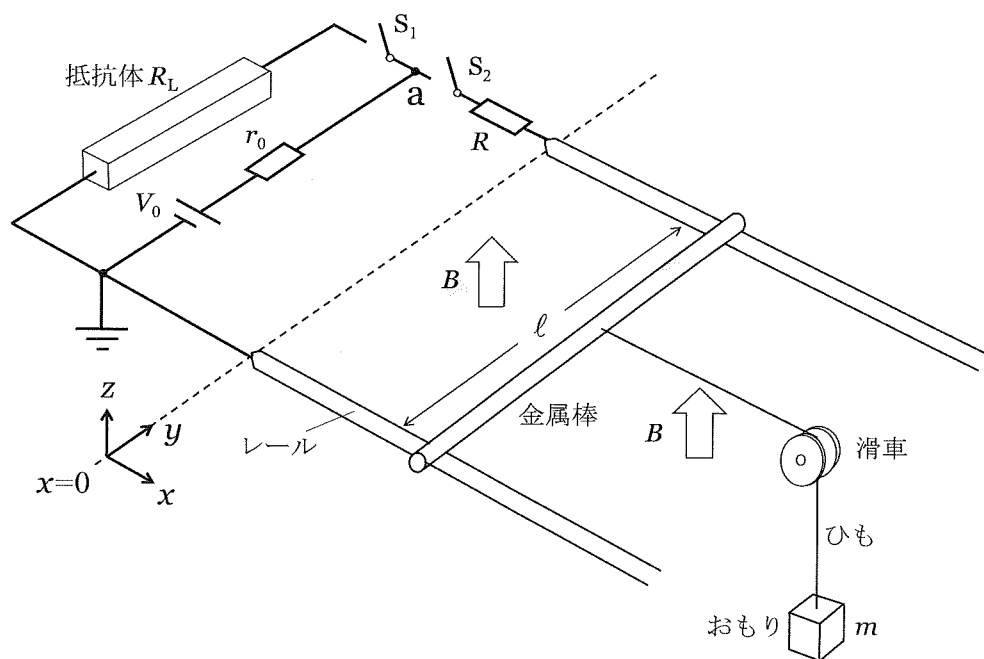


図 3

## 第2問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (8) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図のように、水平な  $xy$  面上の  $x > 0$  の領域に間隔  $l$  [m] の 2 本の長い平行なレールがあり、その上に金属棒が置かれている。レールは  $x$  軸と平行で、金属棒は  $y$  軸と平行である。この領域には  $z$  軸正の向きに磁束密度  $B$  [T] の一様な磁界（磁場）がある。  $x < 0$  の領域には磁界はなく、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$ , 起電力  $V_0$  [V] で内部抵抗  $r_0$  [Ω] の直流電源、抵抗  $R$  [Ω] の抵抗、および抵抗  $R_L$  [Ω] の抵抗体からなる電気回路がある。抵抗体は抵抗率  $\rho$  [Ω・m] の材料で作られた直方体であり、断面積  $A$  [m<sup>2</sup>]、長さ  $d$  [m] である。レールと金属棒の電気抵抗、およびレールと金属棒との摩擦は無視でき、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。



図

はじめ、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  は開いている。その後、スイッチ  $S_1$  を閉じた。

- (1) 抵抗体の抵抗  $R_L$  を、 $\rho, A, d$  を用いて表せ。
- (2) スイッチ  $S_1$  を閉じる前の  $a$  点の電位  $V_a$  [V] と、閉じた後の電位  $V_a'$  [V] を、それぞれ  $r_0, R_L, V_0$  の中から必要な記号を用いて表せ。
- (3) スイッチ  $S_1$  を閉じた後、抵抗体で消費される電力  $P_L$  [W] を、 $r_0, R_L, V_0$  を用いて表せ。

次に、軽いひもに取り付けた質量  $m$  [kg] のおもりと滑車を使って金属棒を引き、スイッチ  $S_1$  を開いて  $S_2$  を閉じた。すると、 $x$  軸正の向きに動いていた金属棒は運動の向きを変え、やがて  $x$  軸負の向きに一定の速さ  $v$  [m/s] で運動した。このとき、金属棒には誘導起電力  $E$  [V] が生じた。

- (4) 誘導起電力  $E$  の大きさを、 $r_0, \ell, v, B, R$  の中から必要な記号を用いて表せ。
- (5) 金属棒を流れる電流を  $I$  [A] とするとき、金属棒にはたらく力のつり合いの式を、 $g, \ell, m, B, I$  を用いて表せ。
- (6)  $I$  を、 $\ell, r_0, v, B, R, V_0$  を用いて表せ。
- (7)  $v$  を、 $g, \ell, m, r_0, B, R, V_0$  を用いて表せ。

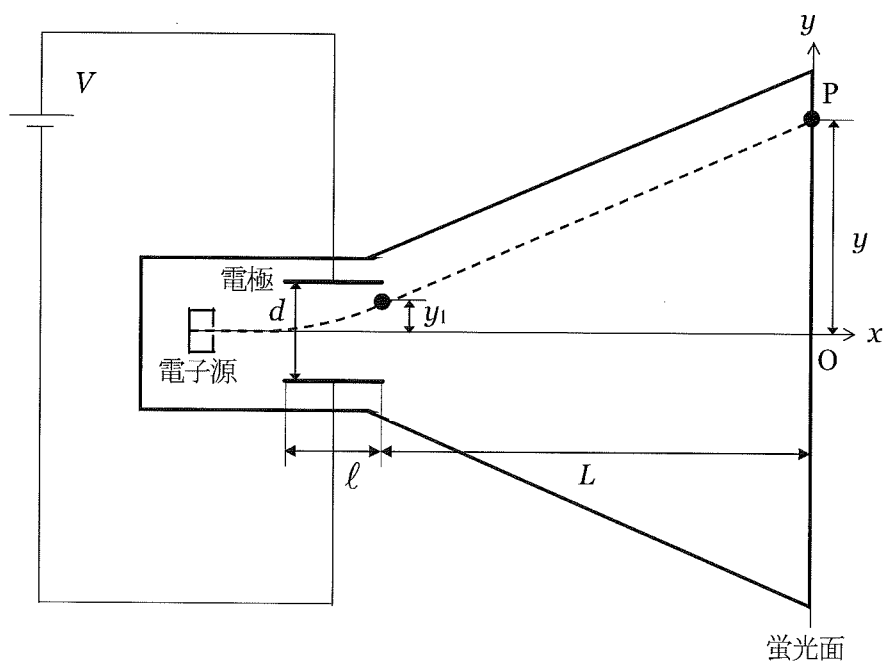
最後に、 $V_0$  を徐々に小さくしていくと、ある起電力  $V_0'$  [V] になったときに金属棒は停止した。起電力を  $V_0'$  に保ったままスイッチ  $S_1$  を閉じたところ、金属棒は再び動き始めた。

- (8) 金属棒は  $x$  軸の正負どちらの向きに動いたか、金属棒に流れる電流の増減に着目して、理由とともに答えよ。

### 第3問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (9) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 図は電子の比電荷を測定する装置の模式図である。水平右向きに  $x$  軸を、鉛直上向きに  $y$  軸をとる。真空中で電子源から  $x$  軸に平行に速度  $v_0$  [m/s] で放出された電子は、間隔  $d$  [m]、長さ  $\ell$  [m] の平行板電極間に進入する。電極間に電界 (電場) がなければ、電子はそのまま  $x$  軸上を正の向きに直進し、電極の右端から距離  $L$  [m] の位置にある  $x$  軸に垂直な蛍光面の点  $O$  に当たる。電子の電気量を  $-e$  [C]、質量を  $m$  [kg] とし、重力の影響や極板の端の影響は無視する。



図

電極間に電圧  $V$  [V] をかけると、 $y$  軸方向に生じた電界により、電子は電極間で等加速度運動をして、図の点線のように進行方向をななめ上向きに変えた。

- (1) 電極間に生じる電界の強さ  $E$  [V/m] を、 $d$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $V$  の中から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 電極間における電子の加速度の  $x$  成分  $a_x$  [m/s<sup>2</sup>] と、 $y$  成分  $a_y$  [m/s<sup>2</sup>] を、それぞれ  $d$ ,  $e$ ,  $m$ ,  $V$  の中から必要な記号を用いて表せ。

電子が電極を通過するのに要する時間を  $t_1$  [s]、その後、電極の右端を出てから蛍光面の点  $P$  に当たる

までの時間を  $t_2$  [s] とすると、それぞれ  $t_1 = \frac{\ell}{v_0}$ ,  $t_2 = \frac{L}{v_0}$  と表される。

- (3) 電極を通過した直後の電子の速度の  $y$  成分  $v_y$  [m/s] と、変位の  $y$  成分  $y_1$  [m] を、それぞれ  $a_y$ ,  $\ell$ ,  $v_0$  を用いて表せ。
- (4) OP間の距離  $y$  [m] を、 $a_y$ ,  $\ell$ ,  $v_0$ ,  $L$  を用いて表せ。

次に、U字型の磁石を設置し、電極間に生じる電界の領域に、さらに磁束密度  $B$  [T] の一様な磁界(磁場) をかけたところ、電子は直進し、点Oに当たった。

- (5) 磁石は図中にどのように設置されたか。最も適切なものを以下の4つの中から選び、番号で答えよ。
- ① 紙面表側にN極 裏側にS極                      ② 紙面表側にS極 裏側にN極
- ③ 上にN極 下にS極                                      ④ 上にS極 下にN極
- (6) 電子源から放出された電子の速度  $v_0$  を、 $d$ ,  $B$ ,  $V$  を用いて表せ。

電界のみと、電界と磁界の両方をかけた実験の結果から、

- (7) 比電荷  $\frac{e}{m}$  [C/kg] を、 $d$ ,  $\ell$ ,  $y$ ,  $B$ ,  $L$ ,  $V$  を用いて表せ。

[B] ミリカンは、空気で満たされた平行板電極の間に帯電した油滴を吹き込み、油滴の運動を観察する実験を行い、電気素量を測定した。油滴は軽いので、極板間に電界がないときは、落下を始めてすぐに重力と空気の抵抗力がつり合って終端速度  $v_G$  [m/s] に達する。空気の抵抗力は速さに比例するので、その比例定数を  $k$  [N·s/m] とする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、ある油滴の質量を  $M$  [kg]、電気量を  $q$  [C] とすると、終端速度  $v_G$  に達したときの力のつり合いの式は、 $Mg = kv_G$  と書ける。

次に、極板間の間隔が  $d$  [m] の平行板電極に電圧  $V$  [V] をかけ、鉛直方向の電界により、その油滴を上昇させたところ、静電気力と重力と空気の抵抗力がつり合って、終端速度  $v_E$  [m/s] に達した。

- (8) 電界があるときの力のつり合いの式を求めよ。

平行板電極間に電界がないときとあるときの終端速度  $v_G$ ,  $v_E$  を測定し、いくつかの油滴の電気量  $q$  を求めたところ、以下の数値を得た。ところが、空気抵抗の比例定数として間違えた値  $k'$  [N·s/m] を用いて計算していたことが判明した。

2.4    3.6    8.4    7.2    6.0    [ $\times 10^{-19}$  C]

- (9) 真の電気素量  $e$  は、 $1.6 \times 10^{-19}$  C である。間違った空気抵抗の比例定数  $k'$  を、 $k$  を用いて表せ。

## 第4問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (10) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

図1に示すように、なめらかに動くピストンがついたシリンダーが水平な床の上に置かれており、シリンダーとピストンは断熱材でできている。シリンダー内部にはヒーターが取り付けられている。大気圧は常に  $p_0$  [Pa] とする。このシリンダーに、物質質量  $n$  [mol] の単原子分子の理想気体 A を閉じ込め、ストッパーによりピストンを固定した。このとき、気体 A の圧力は  $p_0$ 、温度は  $T_0$  [K] であった。この状態を状態0とする。なお、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とする。

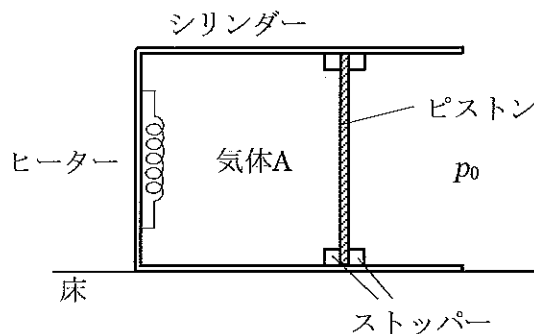


図1

- (1) 状態0における気体Aの内部エネルギー  $U_0$  [J] を、 $n, R, T_0$  を用いて表せ。

ここで、ヒーターにより気体Aに熱量  $Q_0$  [J] を加えた。この状態を状態1とする。

- (2) 状態1における気体Aの内部エネルギー  $U_1$  [J] を、 $Q_0, U_0$  を用いて表せ。  
(3) 状態1における気体Aの温度  $T_1$  [K] を、 $Q_0, T_0, U_0$  を用いて表せ。  
(4) 状態1における気体Aの圧力  $p_1$  [Pa] を、 $p_0, Q_0, U_0$  を用いて表せ。

さらに、ピストンが急に動かないよう手で押さえながらストッパーを外し、手の力をゆるめていくと、ピストンがゆっくり右向きに動き、やがて停止した。この状態を状態2とする。

- (5) 状態1から状態2になる間に気体Aが外部にした仕事は  $W_1$  [J] であった。状態2における気体Aの内部エネルギー  $U_2$  [J] を、 $U_0, U_1, W_1$  の中から必要な記号を用いて表せ。



再び図1の状態0に戻し、それからシリンダーを鉛直に置いた。ここで、ストッパーを外し、シリンダーに密度  $d$  [kg/m<sup>3</sup>] の液体 B を静かに注ぐと、図2に示すような状態で静止した。気体 A の圧力は  $p_3$  [Pa] であり、シリンダー底面からピストンまでの高さ、液体 B の深さ、液体 B 上面からシリンダー上端までの高さは、いずれも  $h$  [m] であった。この状態を状態3とする。シリンダーの高さは  $3h$  [m]、断面積は  $S$  [m<sup>2</sup>] である。ピストンの質量は  $m$  [kg] であり、厚さは無視できるものとする。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

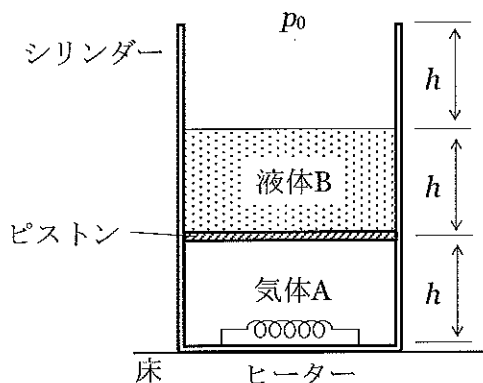


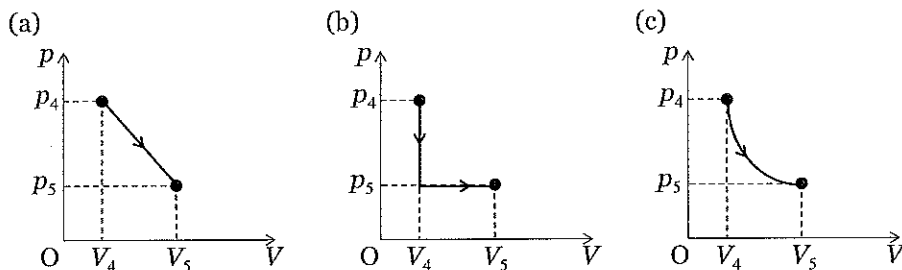
図2

(6)  $p_3$  を、 $d, g, h, m, p_0, S$  を用いて表せ。

状態3においてヒーターにより気体 A をゆっくりと加熱すると、ピストンが上昇し、やがて液体 B 上面がシリンダー上端と一致した。この状態を状態4とする。さらに加熱し続けると、ピストンの上昇とともに液体 B がシリンダー上端から少しずつあふれ出し、ピストンが液体 B を全て押し出したところで加熱を止めた。この状態を状態5とする。なお、加熱はピストンの上昇速度が十分小さくなるように調整しながら行った。

(7) 状態4から状態5になる過程において、シリンダー底面からピストンまでの高さが  $x$  [m] であるときの気体 A の圧力  $p_x$  [Pa] を、 $d, g, h, m, p_0, x, S$  を用いて表せ。

(8) 状態4と状態5における気体 A の体積と圧力をそれぞれ  $V_4$  [m<sup>3</sup>] と  $V_5$  [m<sup>3</sup>]、 $p_4$  [Pa] と  $p_5$  [Pa] としたとき、状態4から状態5への変化として正しいグラフを、以下の(a)~(c)のうちから一つ選べ。



(9) 状態4から状態5になる間に気体 A が外部にした仕事  $W_4$  [J] を、 $p_4, p_5, V_4, V_5$  を用いて表せ。

(10) 状態4から状態5になる間に気体 A に与えた熱量  $Q_4$  [J] を、 $p_4, p_5, V_4, V_5$  を用いて表せ。