

平成 30 年度 入学試験問題

理 科

Ⅰ 物 理・Ⅱ 化 学・Ⅲ 生 物・Ⅳ 地 学

2 月 25 日(日)(情—自然) 13:45—15:00

(情—コン・理・)
(医・工・農) 13:45—16:15

注 意 事 項

1. 試験開始の合図まで、この問題冊子と答案冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子のページ数は、59 ページである。
3. 問題冊子とは別に、答案冊子中の答案紙が理学部志望者と情報学部自然情報学科とコンピュータ科学科志望者には 20 枚(物理 3 枚、化学 5 枚、生物 4 枚、地学 8 枚)、医学部志望者と農学部志望者には 12 枚(物理 3 枚、化学 5 枚、生物 4 枚)、工学部志望者には 8 枚(物理 3 枚、化学 5 枚)ある。
4. 落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつたら、ただちに申し出よ。
5. 情報学部自然情報学科志望者は、物理、化学、生物、地学のうち 1 科目を選択して解答せよ。
情報学部コンピュータ科学科志望者は、物理、化学、生物、地学のうち 2 科目を選択して解答せよ。ただし、物理を必ず含むこと。
理学部志望者は、物理、化学、生物、地学のうち 2 科目を選択して解答せよ。ただし、物理、化学のいずれかを必ず含むこと。
医学部志望者と農学部志望者は、物理、化学、生物のうち 2 科目を選択して解答せよ。
工学部志望者は、物理と化学の 2 科目を解答せよ。
6. 解答にかかる前に、答案冊子左端の折り目をていねいに切り離し、自分が選択する科目の答案紙の、それぞれの所定の 2 箇所受験番号を記入せよ。選択しない科目の答案紙には、大きく斜線を引け。
7. 解答は答案紙の所定の欄に記入せよ。所定の欄以外に書いた解答は無効である。
8. 答案紙の右寄りに引かれた縦線より右の部分には、受験番号のほかは記入してはいけない。
9. 問題冊子の余白は草稿用として使用してもよい。
10. 試験終了後退室の許可があるまでは、退室してはいけない。
11. 答案冊子および答案紙は持ち帰ってはいけない。問題冊子は持ち帰ってもよい。

I

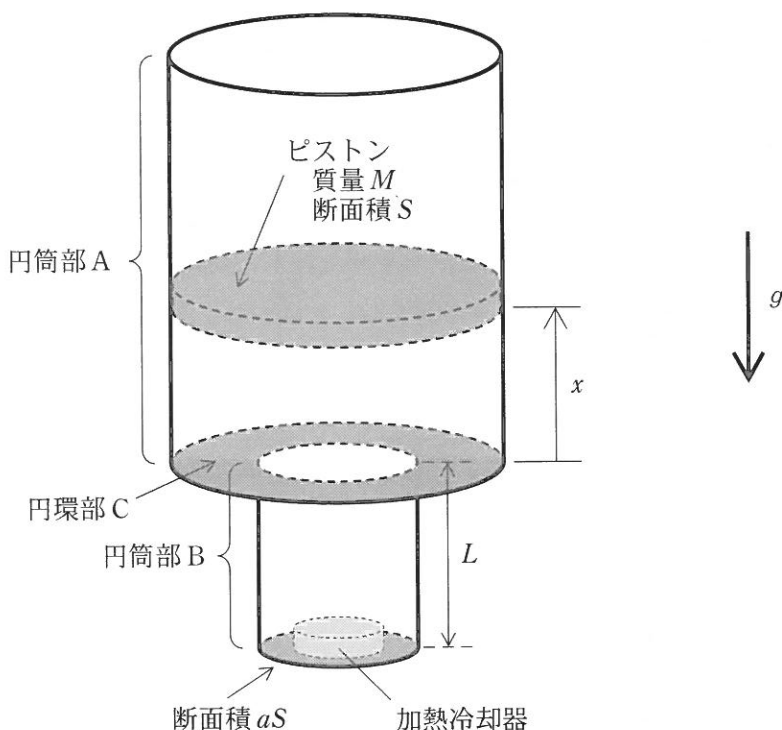
物 理

問題は次のページから書かれていて、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの3題ある。3題すべてに解答せよ。

解答は、答案紙の所定の欄の中に書け。計算欄には、答えにいたるまでの過程について、法則、関係式、論理、計算、図などの中から適宜選んで簡潔に書け。文字や記号は、まぎらわしくないようはっきり記せ。

物理 問題 I

図のように，異なる断面積の円筒部 A, B をもつシリンダーが，真空中に鉛直に置かれている。円筒部 A には，気密性を保ちつつなめらかに動く質量 M のピストンがはめ込まれている。円筒部 A の断面積は S で，その長さは十分長くピストンが外れることはない。円筒部 B は断面積 aS (a は 1 より小さい正の定数)，長さ L で底面が閉じている。A と B は，相互に中心軸を合わせて，その中心軸に垂直な円環状のシリンダー壁 C (円環部 C) で連結されている。シリンダーとピストンで密閉された空間には，物質量 n の単原子分子理想気体が封入されている。図のように，ピストンの位置を C からピストンの底面までの距離 x ($x \geq 0$) で表す。シリンダーおよびピストンは断熱材でできていて，シリンダー壁の厚さは無視できる。また，円筒部 B の内側底面には，体積および熱容量の無視できる加熱冷却器がとりつけられている。重力加速度の大きさを g ，気体定数を R として，以下の設問に答えよ。



設問(1)：以下の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{サ}}$ に入る適切な数式を、 $\{\quad\}$ の中に与えられた文字を用いて答えよ。ただし、与えられた文字がすべて必要とは限らない。なお、同じ記号をもつ $\boxed{\quad}$ には同じ数式が入る。

はじめ、ピストンは C から距離 $x(x > 0)$ の位置に静止していた。このとき、気体の圧力は $P_0 = \boxed{\text{ア}}\{M, g, S, a\}$ ，体積は $V_0 = \boxed{\text{イ}}\{S, L, x, a\}$ ，温度は $T_0 = \boxed{\text{ウ}}\{M, g, n, R, L, x, a\}$ である。この状態を「状態 0」とする。

つぎに、気体をゆっくり冷却したところ、ピストンはゆっくり下降して気体の温度が $T = \boxed{\text{エ}}\{M, g, L, n, R, a\}$ になったときに $x = 0$ となり、ピストンは C にぴったりと接し静止した。それと同時に冷却をやめた。このとき、気体はピストンの面積 aS の部分にのみ接している。ピストンが C に接したときの気体の圧力は $P_0 = \boxed{\text{ア}}$ であるので、ピストンは C に接した直後に C から抗力 $N = \boxed{\text{オ}}\{M, g, a\}$ を受ける。

ピストンが C に接した状態で気体をゆっくり加熱したところ、気体の圧力が $P_1 = \boxed{\text{カ}}\{M, g, S, a\}$ ，温度が $T_1 = \boxed{\text{キ}}\{M, g, L, n, R\}$ になったとき、ピストンは C から離れた。その瞬間に加熱をやめた。ピストンが C から離れる直前の状態を「状態 1」とする。C から離れたピストンは、C に再び接することなく、しばらく振動運動を行ったのち静止した。このときのピストンの位置を $x = x_2$ ，気体の温度を T_2 とする。この状態を「状態 2」とする。状態 1 から状態 2 に変化した過程で気体の内部エネルギーの変化は $\Delta U = \boxed{\text{ク}}\{n, R, T_1, T_2\}$ ，ピストンの位置エネルギーの増加分は $\boxed{\text{ケ}}\{M, g, L, x_2\}$ である。この過程において、気体とピストンを合わせた系と、それ以外の系(加熱冷却器を含めた外部)との間にエネルギーのやりとりはないとすると、エネルギー保存則より関係式 $\boxed{\text{ク}} + \boxed{\text{ケ}} = 0$ が成り立つ。すなわち、気体の内部エネルギーとピストンの位置エネルギーの和は保存する。この関係式と、理想気体の状態方程式を用いると、 $x_2 = \boxed{\text{コ}}\{L, a\}$ ， $T_2 = \boxed{\text{サ}}\{T_1, a\}$ であることが分かる。

設問(2)：状態0 (体積 V_0 ，圧力 P_0) から出発して状態1 (体積 V_1 ，圧力 P_1) に至る設問(1)の過程を，圧力 P を縦軸，体積 V を横軸にとった P - V 図として表せ。ただし，状態1の気体の体積を V_1 とした。解答では， V 軸上に V_0 と V_1 を， P 軸上に P_0 と P_1 を明記せよ。また，変化の方向を矢印で表せ。

草 稿 用 紙

(切りはなしてはならない)

物理 問題Ⅱ

図1のように、2本の導体レールが鉛直平面に沿って固定されている(紙面を鉛直平面とする)。2本の導体レールは、内部抵抗が無視できる直流電源に導線でつながれている。直流電源の電圧は V_0 で常に一定であるとする。導線は水平で、この導体レールと導線のなす角は θ である。この導体レールと導線の抵抗は無視できるとする。また、鉛直平面と垂直に、紙面の裏から表向きに一様な磁場(磁束密度 B)がかかっている。

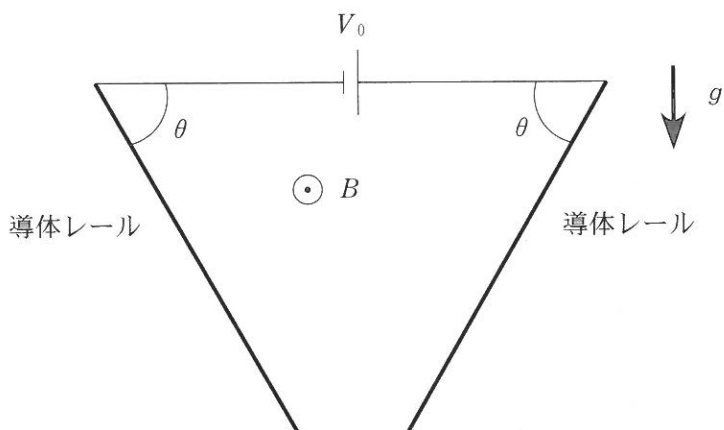


図1

図2のように、質量 m で断面積 S の導体棒が、2本の導体レールと常に接しながら、水平を保ちつつ滑らかに動くとする。導体棒は、抵抗率 ρ の物質でできており、長さが L の場合の抵抗値は $\rho \frac{L}{S}$ で表される。

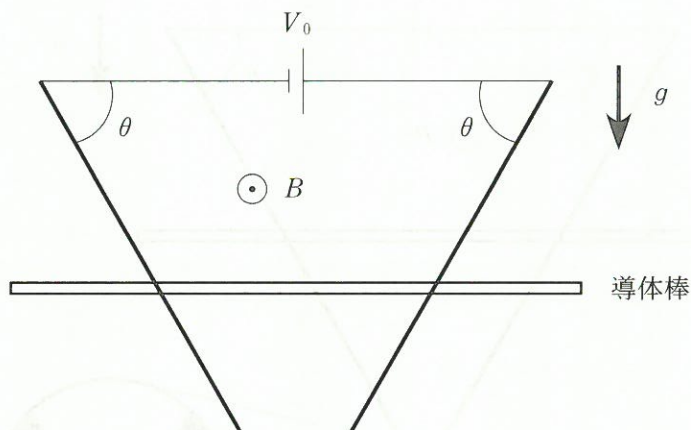


図2

重力加速度の大きさを g とする。導体レールと導体棒との摩擦、および導体棒以外での電気抵抗は無視でき、この導体棒に対してはオームの法則が成り立つとする。回路を流れる電流によって生じる磁場の影響は無視できるものとして以下の設問に答えよ。

設問(1)：導体棒と2本の導体レールとの接点間の距離が ℓ_0 になるように導体棒を固定した。

- (a) 導体棒を流れる電流の大きさ I_0 を、 V_0 、 S 、 ℓ_0 、 ρ を用いて表せ。
- (b) 前問(a)の場合の、導体棒が磁場から受ける力の大きさ F_0 を、 B 、 S 、 V_0 、 ρ を用いて表せ。

設問(2)：設問(1)の場合に、導体棒の固定を外しても、導体棒は動かなかった。電源の電圧 V_0 を、 B 、 S 、 g 、 m 、 ρ を用いて表せ。

次に、図2の導体レールを延長し、図3のように下端を長さが無視できるほど短い抵抗 R_1 を通してつないだ。

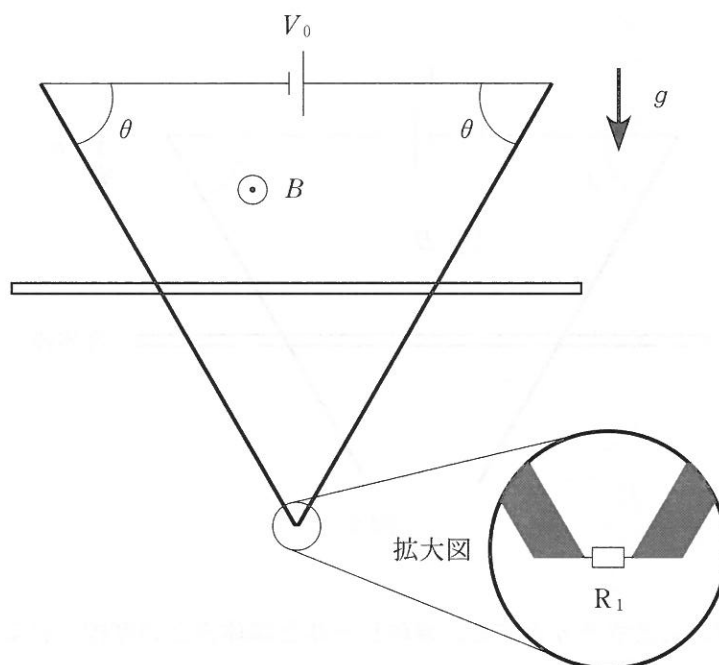


図 3

設問(3)：導体棒と2本の導体レールとの接点間の距離が ℓ_0 になるように導体棒を固定した。つづいて、導体棒の固定を外したとき、導体棒は「静止する」か、「上昇する」か、または、「下降する」か。解答欄で適切なものを選んで丸で囲め。

次に、固定を外された導体棒が下向きに一定の速さ v で動くように力を加えた。動かし始める時刻を $t = 0$ ，抵抗 R_1 の位置に到達する時刻を $t = t_1$ とする。ある時刻 t ($0 < t < t_1$) において，導体棒と 2 本の導体レールとの接点間の距離が ℓ であるとして，以下の設問に答えよ。

設問(4)：以下の (ア) ～ (ウ) に入る数式を， B ， ℓ ， v ， θ のうちから適当なものを用いてあらわせ。

時刻 t から微小時間 $\frac{\Delta t}{2}$ 前の接点間の距離は， $\ell_- = \ell + \text{(ア)} \times \Delta t$ ，
 $\frac{\Delta t}{2}$ 後の接点間の距離は， $\ell_+ = \ell - \text{(ア)} \times \Delta t$ となる。よって， Δt が経過する間に，導体棒と電源を含む回路の面積は， $\Delta S = \text{(イ)} \times \Delta t$ だけ変化する。これより，導体棒に働く誘導起電力の大きさは， $V = \text{(ウ)}$ となる。

設問(5)：導体棒に流れる電流の大きさ I を， B ， S ， g ， ℓ ， m ， v ， ρ を用いて表せ。

設問(6)：導体棒が磁場から受ける力 F_B を， B ， S ， g ， ℓ ， m ， v ， ρ を用いて表せ。ただし，力は上向きを正とする。

設問(7)：一定の速さ v で動かすために加えている力 F を， B ， S ， t ， t_1 ， v ， ρ ， θ を用いて表せ。ただし，力は上向きを正とする。

物理 問題Ⅲ

図1のように質量 m の物体 A, 質量 M の物体 B, 質量 $2m$ の物体 C からなる系がある。各物体の重心は同一の鉛直平面内にあるとする。物体 B はなめらかな水平の床に静止している。また, 物体 B から水平方向に十分に離れた位置に, 固定点から糸でつるされた物体 C が静止している。糸の長さは L で伸び縮みせず, 重さは無視できるものとする。なお, 物体 A の大きさは物体 B にくらべて十分に小さく, 質点とみなせる。また, 物体 C の大きさは糸の長さにくらべて十分に小さいものとする。

いま, 物体 B の重心に向けて, 物体 A を速さ v_0 で水平に衝突させた。物体 B は, 衝突と同時に運動を開始した。その後, 図2に示すように, 物体 A が表面から深さ d まで物体 B に食い込んだところで両者は一体となり, 同じ速さ V となった。ここで, 物体 A は物体 B の中で向きを変えることなく水平に移動し, 物体 B は回転することなく運動したとする。なお, 物体 A と物体 B が一体となったものを物体 A' と呼ぶ。各物体の重心は同一の鉛直平面内で運動する。床と物体の間には摩擦はなく, 空気による抵抗は無視してよい。重力加速度の大きさを g として, 以下の設問に答えよ。

設問(1): 物体 B に衝突する直前の物体 A の速さ v_0 を, M , m , V を用いて表せ。

設問(2): 衝突から, 両者が一体となって運動を始めるまでに失われた力学的エネルギーを, M , m , V を用いて表せ。

設問(3): 物体 A が物体 B に食い込んでいくときに, 物体 A と物体 B の間にはたらく水平方向の力の大きさ F は一定であったとする。このときの力の大きさ F を, d , M , m , V を用いて表せ。ただし, 衝突によって失われた力学的エネルギーのすべてが, この力による仕事に費やされたと考えてよい。

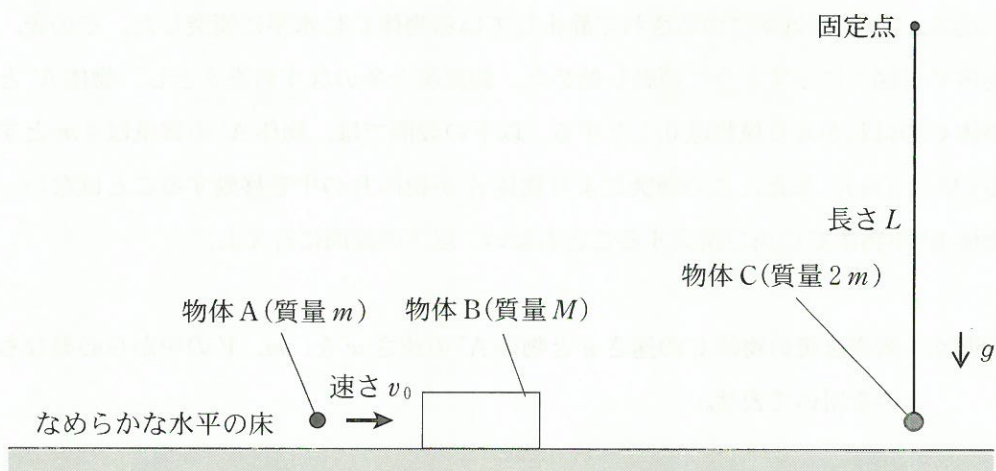


図 1

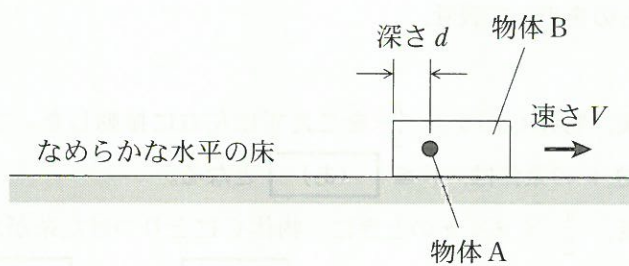


図 2

次に、物体 A' は糸につるされて静止している物体 C に水平に衝突した。その後、物体 C は図 3 に示すように運動し始めた。鉛直線と糸のなす角を θ とし、物体 A' と物体 C のはねかえり係数は 0.5 とする。以下の設問では、物体 A' の質量は $4m$ とする ($M = 3m$)。また、この衝突により物体 A が物体 B の中を移動することはない。物体 A' が物体 C に再び衝突することもない。以下の設問に答えよ。

設問(4)：衝突直後の物体 C の速さ u と物体 A' の速さ w を、 m 、 V の中から必要なものを用いて表せ。

設問(5)：角度 θ における糸の張力 T を、 g 、 L 、 m 、 V 、 θ を用いて表せ。

設問(6)：以下の文章中の (あ)，(い) に入る数式を、 g 、 L 、 m の中から必要なものを用いて表せ。

衝突後、物体 C が $\theta = \frac{\pi}{2}$ をこえずに左右に振動した。このときの物体 A' の速さ V の条件は、 $V \leq$ (あ) となる。

衝突後、 $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$ のときに、物体 C にとりつけた糸がたるんだ。このときの物体 A' の速さ V の条件は、(あ) $< V <$ (い) となる。

設問(7)：衝突後、 $\theta = \frac{2\pi}{3}$ のときに糸がたるんだ。糸がたるんだ後、物体 C が到達する最高点の、物体 C の最初の位置 ($\theta = 0$) からの高さ h を、 L を用いて表せ。

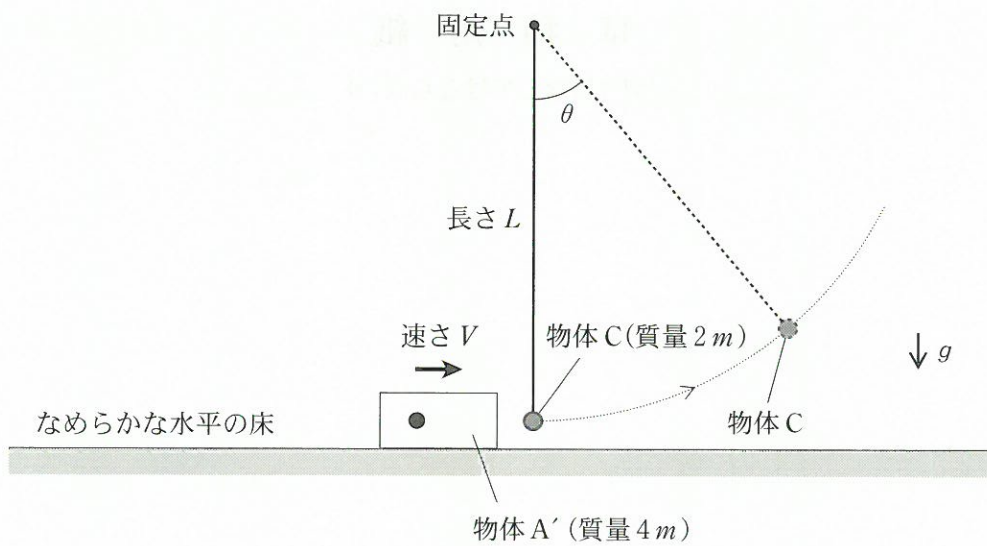


図 3

草 稿 用 紙

(切りはなしてはならない)