

理 科

15：00～17：30

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は55ページある。このうち、「物理」は2～10ページ、「化学」は11～28ページ、「生物」は29～47ページ、「地学」は48～55ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

科目	総合入試					学部別入試					歯学部	獣医学部	水産学部	
	理系					医学部								
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医学科	保健学科							
							看護学専攻	放射線技術科学専攻	検査技術科学専攻	理学療法学専攻				作業療法学専攻
物理	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○
化学	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
生物	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
地学	○	○	○	○	○									○

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督者の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

物 理

1 以下の文中の (1) ~ (11) に適切な数式を入れよ。また、(あ) には末尾の選択肢から適切なものを選び、(A) には80文字程度で記述せよ。

図1のように、なめらかな床の上に質量 M [kg] の箱があり、自然長 l [m]、ばね定数 k [N/m] のばねが取り付けられている。箱の内部には質量 m [kg] の大きさを無視できる物体があり、ばねと箱の右端の間を運動できる。物体を自然長のばねに触れるように置いたとき、物体と箱の右端の間の距離を L [m] とする。以下では、床と箱および箱と物体の間の摩擦、ばねの質量は無視できるものとし、また、箱と物体は図1の右方向を正とする x 軸に平行な運動だけをするとしてよい。

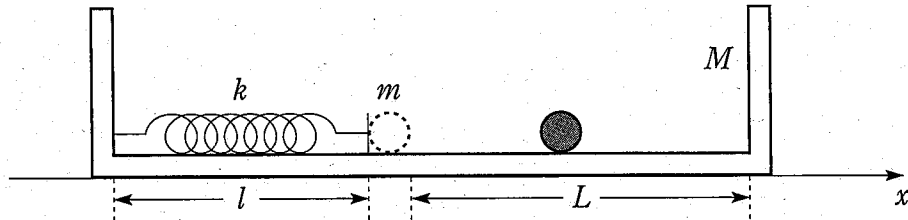


図 1

問 1 最初に、箱が床に固定されている場合を考える。図2のように、物体をばねに押しつけ、ばねを自然長より d [m] だけ縮めた状態にする。時刻 $t = 0$ s に物体を静かに放した。物体がばねから離れるまでに行う運動は周期 (1) [s] の単振動の一部であり、物体がばねから離れるときの速さは (2) [m/s] である。その後、物体は時刻 (3) [s] に箱の右端に達する。

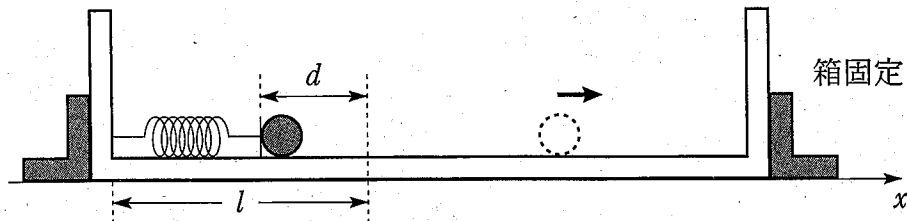


図 2

問 2 次に、箱が床の上で自由に動ける場合を考える。物体をばねに押しつけ、ばねを自然長より d [m] だけ縮めた状態で箱に固定し、静止させる。時刻 $t = 0$ s に静かに固定を放すと、箱と物体は運動を始める。図 3 の右方向を正に取り、物体がばねから離れるときの箱の速度を V [m/s]、物体の速度を v [m/s] とすると、運動量保存の法則より (4) , 力学的エネルギー保存の法則より (5) の関係が成り立つ。これより、箱の速度は $V =$ (6) [m/s]、物体の速度は $v =$ (7) [m/s] であることがわかる。

物体がばねから離れるまでは、箱と物体はばねから力を受けて運動している。この運動が箱と一緒に動く観測者にとってどのように見えるか考える。図 4 のように、物体と箱の左端の間の距離を X [m] とおく。箱から見た物体の加速度 A [m/s²] は、箱の加速度を a_M [m/s²]、物体の加速度を a_m [m/s²] とすると $A = a_m - a_M$ である。箱と物体の運動方程式より、 A は X 、 l 、 M 、 m 、 k を用いて $A =$ (8) [m/s²] と表される。これは箱から観測する物体の運動が、問 1 のように箱を固定したままの状態での物体の質量を (9) [kg] としたときに、物体が行う運動と同じになることを示している。

その後、ばねから離れた物体は時刻 (10) [s] に箱の右端に達し、箱に付着した。物体が付着した後の箱の速度は (11) [m/s] となる。

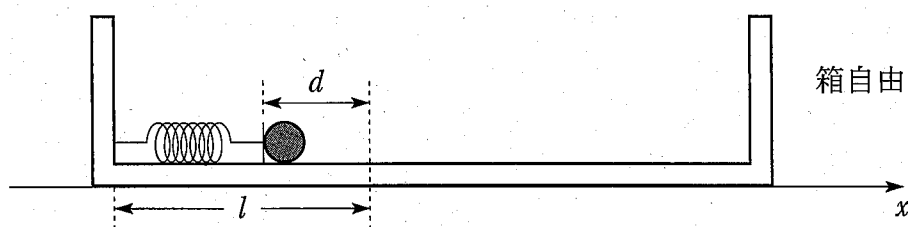


図 3

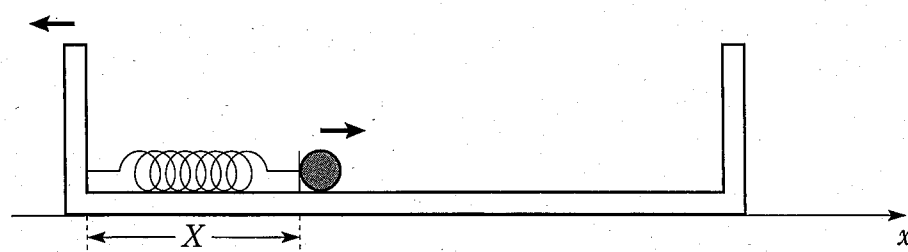


図 4

問 3. 最後に、図 5 のように箱を一定の大きさ a (m/s^2) の加速度で右向きに動かす場合を考える。このとき、箱と一緒に動く観測者にとっては、物体は大きさ ma (N) の慣性力を受ける。これは、重力加速度の大きさが a の重力中の運動と対応づけて考えられることを意味している。

物体をばねに押しつけ、ばねを自然長より d (m) だけ縮めた状態から物体を静かに放す。物体を放したときから物体がばねから離れるまでにかかる時間は、問 1 のように箱を固定している場合にかかる時間と比べて

(あ)

その理由は次のとおりである。

(A)

ただし、 $d > \frac{2ma}{k}$ とする。

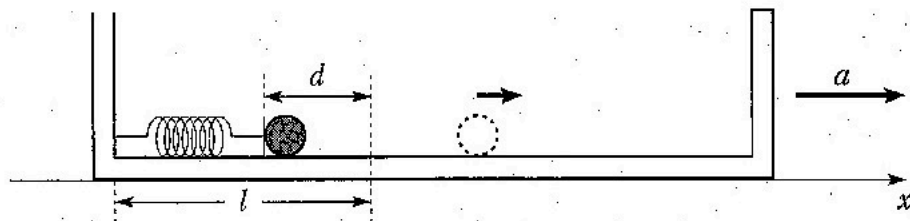


図 5.

(あ)

の選択肢：(ア)短い、(イ)同じである、(ウ)長い

2 以下の文中の (1) ~ (11) に適切な数式を入れよ。また、問3は解答欄に作図し、問4の (あ), (い) には選択肢から適切なものを選べ。

図1(1)のように、ピストンが付いた容器内に、 m [g]の物質が液体の状態に入っている。外部の圧力は p_0 [Pa]である。容器の底には加熱・冷却器が設置してあり、容器内の物質を液体→気体または気体→液体に状態変化させることができる構造になっている。ピストンは、鉛直方向になめらかに動き、任意の位置で固定できる構造である。ただし、ピストンの質量は無視できるものとする。また、容器側面とピストンから熱の流入・流出はないものとする。この物質の蒸発熱を H [J/g]、液体状態での比熱を C [J/(g·K)]として、これらの量は温度によらず一定とする。また、気体の状態では理想気体としてあつかうことができ、1 molあたりの質量を M [g/mol]、定圧モル比熱を C_p [J/(mol·K)]、定積モル比熱を C_v [J/(mol·K)]、比熱比を $\gamma (= C_p/C_v)$ 、気体定数を R [J/(mol·K)]とする。なお、容器内に液体と気体が共存する場合、液体と気体の温度は同じとする。また、液体の体積は無視できるものとする。

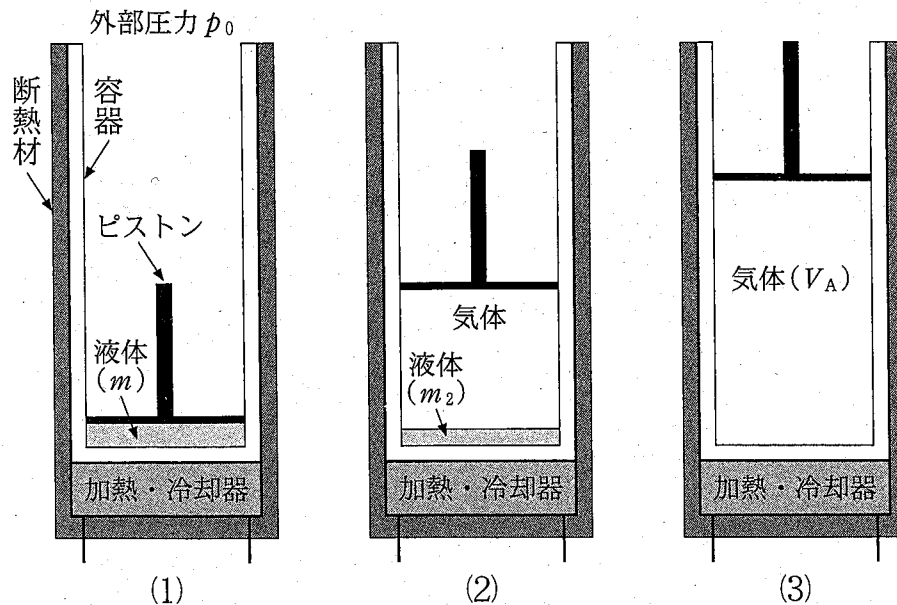


図1

問 1 図 1(1)のように、前述の物質が温度 T_0 [K] の液体の状態に入っている容器を、加熱・冷却器により E [W] でゆっくりと加熱し、容器内の温度の時間変化を計測したところ、図 2 に示す結果を得た。ただし、時刻 $t = 0$ s が加熱開始時刻である。また、加熱・冷却器からの熱は全て容器に伝わるものとして、容器内の圧力は外部圧力 p_0 と等しいとする。時刻 t_1 [s] で液体の温度は T_A [K] となり、液体の一部が気体になり始めた。この時刻 t_1 は (1) [s] と求められる。時刻 t_2 [s] では容器内の液体は m_2 [g] まで減少した。この状況を図 1(2)に示す。この時刻 t_2 は $t_1 +$ (2) [s] と求められる。また、このときに気体の占める体積は (3) [m³] となる。時刻 t_3 [s] で、液体は全て気体に変化した。この状況を図 1(3)に示す。このとき、容器中の気体のモル数 n は (4) [mol]、気体の体積 V_A は (5) [m³] となる。また、 t_1 から t_3 の間に気体が外部にした仕事は (6) [J] と表される。したがって、 t_1 から t_3 の間の物質の内部エネルギーの変化 ΔU は (7) [J] となり、この ΔU が、液体の分子同士の結びつきを切り、気体の状態にするために使われたエネルギーである。

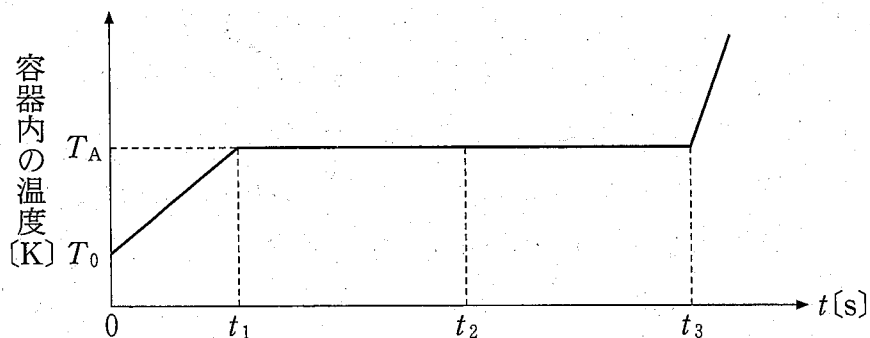


図 2

問 2 問 1 の時刻 t_3 の状態を A とする。このときの気体のモル数を n とし、以下ではこの n を用いてよい。状態 A から、気体の圧力を p_0 に保ったままゆっくりと加熱し、温度を T_B [K] にした (状態 B)。つづいて、加熱・冷却器を作動させずにゆっくりとピストンを移動させ、気体の体積を V_A にした (状態 C)。この過程 B→C で、容器から加熱・冷却器への熱の移動はなく、気体は断熱変化をするため、気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m³] の間には、 $pV^\gamma = \text{一定}$ の関係が成り立つ。したがって、 T_A 、 T_B を用いると、状態 C での気体の温度は [K] となり、過程 B→C で気体が外部からされた仕事は [J] となる。状態 C から、ピストンの位置を固定したまま容器をゆっくりと冷却し、状態 D となったところで容器中の気体の一部が液体に変わり始めた。過程 C→D で冷却器が気体から吸収した熱は、 T_A 、 T_B を用いて [J] となる。状態 D から、ピストンを自由に動くようにして、容器をゆっくり冷却し続けると、気体は全量が液体にもどり、さらに液体の温度は T_0 まで低下し、図 1 (1) のような時刻 $t = 0$ s の状態にもどった (状態 E)。過程 D→E で冷却器が容器から吸収した熱は [J] である。

問 3 解答用紙の p - V 図には、状態 A を示す点が白丸 (○) で記されている。この p - V 図上に、状態 B、C、D、E を示す点を黒丸 (●) で記し、状態間の変化の特徴がわかるように黒丸の間を実線で結べ。また、状態変化 B→C→D の過程で、気体が外部からされた仕事に対応する面積を斜線で示せ。状態 B の体積、状態 C の圧力の値を記す必要はないが、ほかの状態での体積、圧力との大小関係がわかるように作図すること。

問 4 過程 A→B のかわりに、ピストンを状態 A の位置に固定したまま容器内の気体の温度が T_B になるまでゆっくりと加熱した場合、過程 A→B と比較して、気体が吸収した熱は 。また、内部エネルギーの変化量は 。

, の選択肢 :

(ア) 大きくなる, (イ) 小さくなる, (ウ) 変わらない

3 以下の文中の (1) ~ (13) に適切な数式を入れよ。また、
 (あ) には図3の選択肢から適切なものを選べ。ただし、コンデンサーは真空中に置かれており、真空の誘電率は ϵ_0 [F/m] とする。

問1 図1のように、極板面積が S [m²] で極板間の距離が d [m] である2つの平行板コンデンサー C_1 , C_2 と、抵抗 R_1 とスイッチ S_1 が起電力 E [V] の電池につながれている。はじめは S_1 は開かれており、このとき C_1 と C_2 には電荷はないものとする。

C_1 の電気容量を C とすると、 $C =$ (1) [F] である。以下の解答では C を用いてよい。 S_1 を閉じ十分に時間が経過したときの C_1 の電気量は (2) [C] であり、 C_1 と C_2 の静電エネルギーの和は (3) [J] である。このとき電池のした仕事は (4) [J] である。したがって、 R_1 で発生したジュール熱は (5) [J] である。

つぎに、 S_1 を閉じたまま、誘電率 ϵ [F/m] の誘電体を C_1 の極板間をすべて満たすように挿入した。このときの C_1 の電気量は (6) [C] となる。 C_1 と C_2 の静電エネルギーの和は誘電体を挿入する前と比べ (7) [J] 増加している。

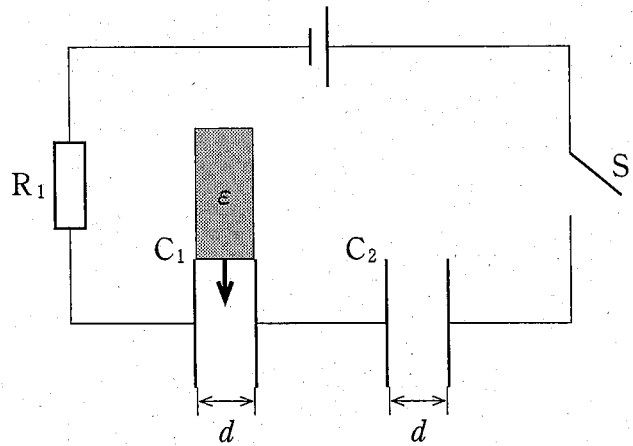


図1

問 2 図 2 のように、極板面積が $S[\text{m}^2]$ である 2 つの平行板コンデンサー C_3 、 C_4 と、抵抗値が $R[\Omega]$ の抵抗 R_2 とスイッチ S_2 から構成される回路を考える。 C_3 の極板間の距離は $2d[\text{m}]$ で一定である。一方 C_4 は、平行を保ったまま極板間の距離を変えることができる。はじめは S_2 は開かれており、 C_4 の極板間の距離を $d[\text{m}]$ に固定してある。また、 C_3 の電気量は $Q[\text{C}]$ で C_4 には電荷はないものとする。

まず、 S_2 を閉じて十分に時間が経過したときの C_4 の電気量は $[\text{C}]$ である。

つぎに、 S_2 を開いてから、外力を加えながら C_4 の極板間の距離を $d[\text{m}]$ から $d + \Delta d[\text{m}]$ までゆっくりと広げた。このときの C_4 の電圧は $[\text{V}]$ である。 C_4 の静電エネルギーの増加分は、加えた外力がした仕事に等しいことから外力の大きさは $[\text{N}]$ である。

このあと、再び S_2 を閉じた。この瞬間を時刻 $t = 0\text{s}$ とすると、 $t = 0\text{s}$ に流れる電流 $I_0[\text{A}]$ は $I_0 = \text{input type="text" value="(11)"} [\text{A}]$ である。 $\Delta d = d$ とすると、この時刻から十分に時間が経過したときの C_4 の電圧は $[\text{V}]$ となり、 $t = 0\text{s}$ からこのときまでに R_2 で発生したジュール熱は $[\text{J}]$ である。また、電流の時間変化を表すグラフは次ページ図 3 の のようになる。以下の解答では前問の電気容量 C を用いてよい。

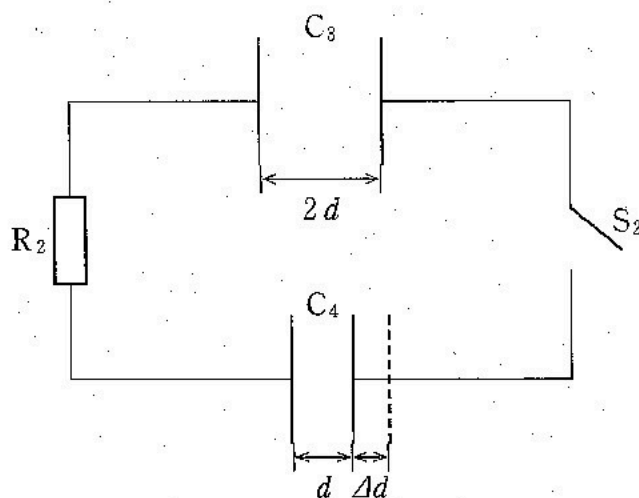
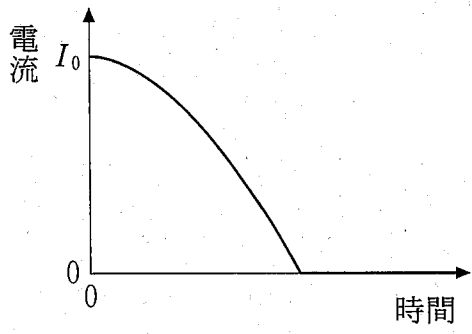
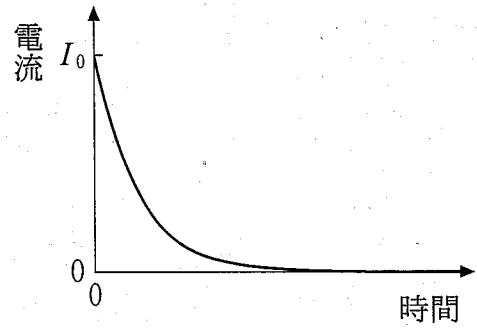


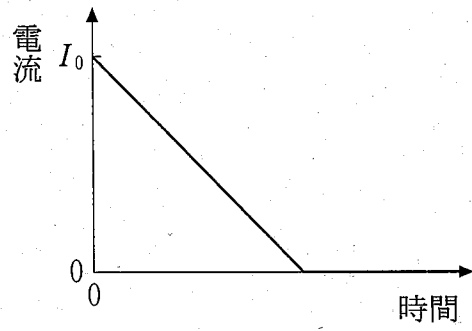
図 2



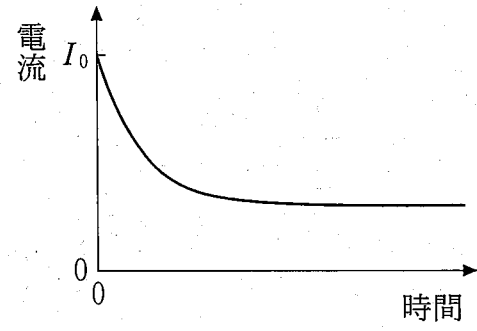
(A)



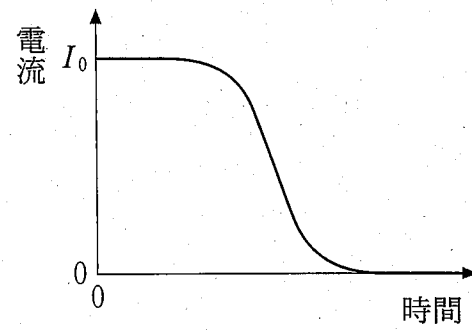
(B)



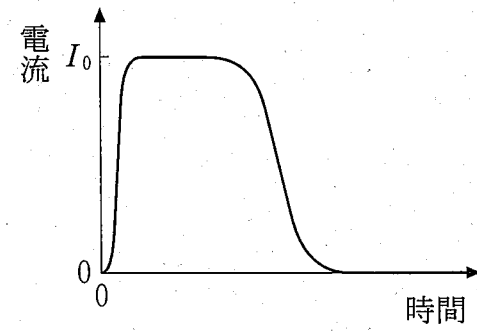
(C)



(D)



(E)



(F)

図 3