令和３年度入学試験問題

理　　　科

（注　意　事　項）

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。

2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。

3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。

	問題冊子	解答紙	
科目	ページ	解答紙番号	枚数
物理基礎・物理	1 ～ 14	32 ～ 34	3
化学基礎・化学	15 ～ 32	35 ～ 38	4
生物基礎・生物	33 ～ 52	39 ～ 43	5
地学基礎・地学	53 ～ 63	44 ～ 47	4

4. 各解答紙の２箇所に受験番号を記入すること。

5. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。

6. 計算その他を試みる場合は，解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。

7. この教科は，２科目250点満点（１科目125点満点）です。なお，医学部保健学科（看護学専攻）については，２科目100点満点に換算します。

物　理　基　礎・物　理

〔 1 〕 (45 点)

図1のように，先端を壁に固定したばね定数k_1，k_2のばね1，2に，質量m_1，m_2の小球1，2がそれぞれ取り付けられ，なめらかな水平面上に置かれている。ばね1，2ともに自然の長さで，小球1，2が接した状態で静止している。小球1，2は2つのばねの固定端を結ぶ直線上に置かれ，この直線に沿ってのみ運動できる。小球の大きさ，ばねの質量，空気抵抗は無視できるものとする。小球の変位，速度，加速度はそれぞれ右向きを正として，以下の問いに答えよ。

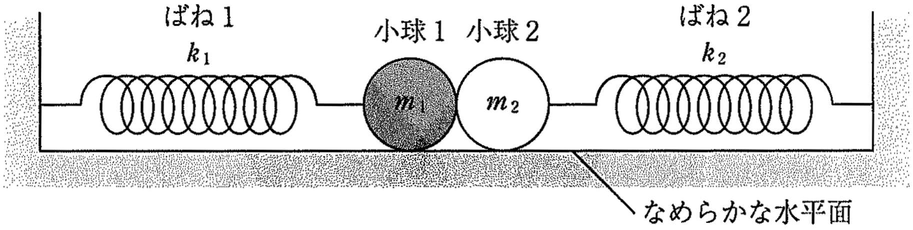

図1

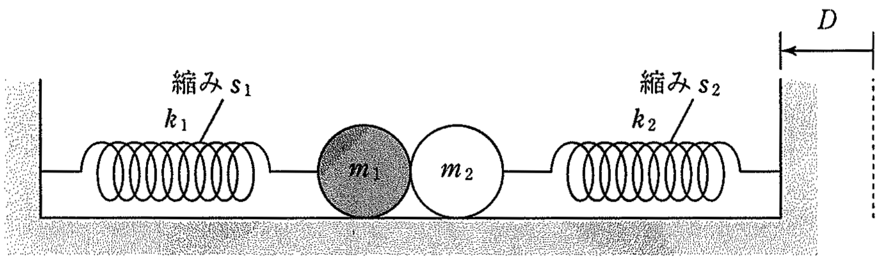

図2

問 1. 図1の状態から，図2のように右側の壁を左に距離Dだけゆっくり移動させたところ，ばね1はs_1，ばね2はs_2だけ縮み，小球1，2が静止した。その後，壁を固定した。

(1) 小球1が小球2を押す力の大きさをs_1を使って表せ。

(2) s_1およびs_2の大きさを求めよ。

問 2. 次に，図2の状態から小球1を手でゆっくりと左に移動させる。小球2も小球1と接した状態で左に移動し，さらに小球1を左に移動させるとやがて小球2は小球1とはなれて停止した。図3のように小球間の距離がdになった状態で静かに手をはなしたところ，小球1は動き出し，小球2に衝突した。このとき，衝突時間はきわめて短く，運動量保存則が成り立つものとする。以下の問いに答えよ。

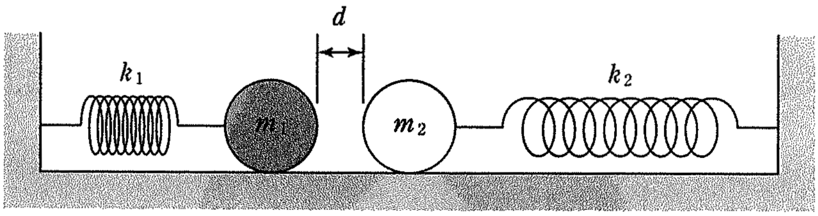

図3

(1) 手をはなす直前のばね1の縮みをDおよびdを用いて表せ。

(2) 小球2に衝突する直前の小球1の速度V_0を求めよ。

(3) V_0および衝突直後の小球1と小球2の速度V_1，V_2を用いて，衝突前後での運動量保存則を表す式を書け。

(4)　小球1，2の間の反発係数$e(e>0)$をV_0，V_1およびV_2を用いて表せ。

(5)　V_1およびV_2をそれぞれV_0を用いて表せ。

(6)　図4のように，衝突後，小球2は小球1とはなれて右側へ運動し始めた。小球2は，小球1と再び衝突する前に，衝突点からの変位x_2が最大となる位置に達した。この最大変位をV_2を用いて表せ。

(7)　衝突から**問2**(6)の最大変位に達するまでの時間を求めよ。

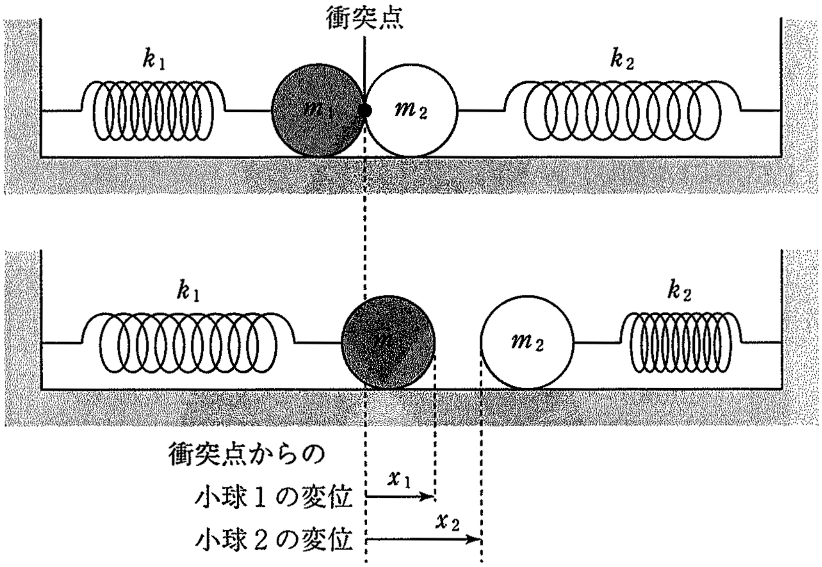

図4

(8) $d = 2D$, $m_1 = m_2 = m_0$, $k_1 = 4k_0$, $k_2 = k_0$, $e = 1$とする。このとき，小球１，２の衝突点からの変位x_1およびx_2の時間変化を，x_1は実線で，x_2は破線で図示せよ。ただし，方眼紙の縦軸は変位x_1，x_2を，横軸は衝突からの時間tを表す。$T_0 = \pi\sqrt{\frac{m_0}{k_0}}$として，$0 \leqq t \leqq T_0$の範囲で示せ。

〔**2**〕（40点）

問 1．図1のように，起電力 V の電池，抵抗値 R の抵抗，平行板コンデンサー，およびスイッチが，直列につながれている回路を考える。平行板コンデンサーは，面積 S の同じ形の非常に薄い極板①，②を，間隔 d で向かい合わせて作られている。極板間は真空で，誘電率は ε_0 とする。最初，スイッチは開いており，コンデンサーの電気量は0である。極板の端での電場の歪み，電池内部と導線の抵抗，および回路の自己誘導は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。

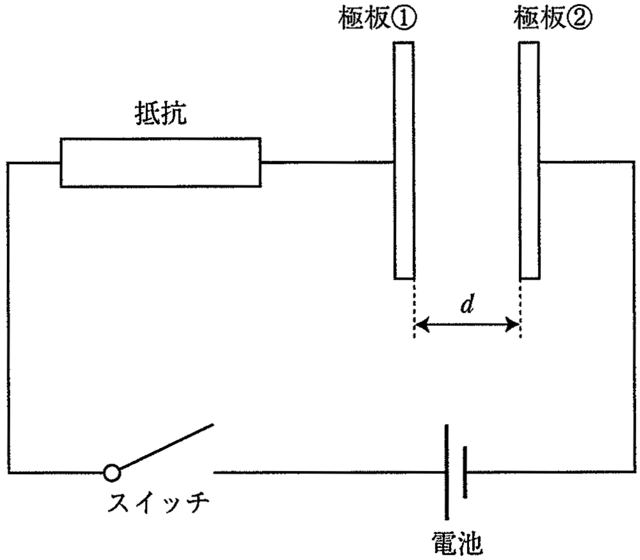

図1

(1) スイッチを時刻 $t=0$ で閉じた直後に，抵抗の両端にかかる電圧を求めよ。

(2) 時刻 $t=0$ から十分に時間が経過した後，極板①に蓄えられている電気量 Q，およびコンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U を求めよ。

(3)　時刻 $t = 0$ から十分に時間が経過するまでに，電池のした仕事 W を求めよ。解答には，**問 1** (2)の電気量 Q を用いてよい。

(4)　**問 1** (2)，(3)より，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U は電池のした仕事 W よりも小さな値であることがわかる。この理由を，W と U の差は，回路のどの場所で，どのようなエネルギーとして主に消費されたかがわかるように，25 字以内で説明せよ。(解答欄：25 マス)

(5)　スイッチを閉じた後 $(t > 0)$ に抵抗に流れる電流 I の時間変化を，時刻 $t = 0$ から十分に時間が経ったときの様子がわかるように図示せよ。

問 2．真空中に置かれた図 2 の装置における，質量 M，電荷 $q(q > 0)$ をもつ荷電粒子 P の xy 平面内での運動を考える。図 1 の平行板コンデンサーの極板①，②を，x 軸に垂直になるように $x = -2d$，$-d$ にそれぞれ配置し，起電力 V の電池につなぐ。$x = 0$ には，厚みの無視できる無限に広がったスクリーン状検出器が，x 軸と垂直に置かれている。極板②およびスクリーン状検出器には，x 軸に沿って荷電粒子 P が通過できる小孔が開いている。領域 $x > 0$ (図 2 の灰色の部分)には，磁束密度の大きさ B の一様な磁場が，紙面と垂直にかけられている。

初速度 0 で座標 $(x,\ y) = \left(-\dfrac{3}{2}d,\ 0\right)$ の点 A に置かれた荷電粒子 P は，x 軸に沿って直線運動し，極板②とスクリーン状検出器の小孔を通りぬけて，磁場中に入射した。その後，荷電粒子 P は，図 2 の破線のように等速円運動を行い，スクリーン状検出器で検出された。荷電粒子 P には，極板間では一様電場から受ける静電気力，領域 $x > 0$ では一様磁場から受けるローレンツ力のみがはたらき，極板②とスクリーン状検出器の小孔の影響は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

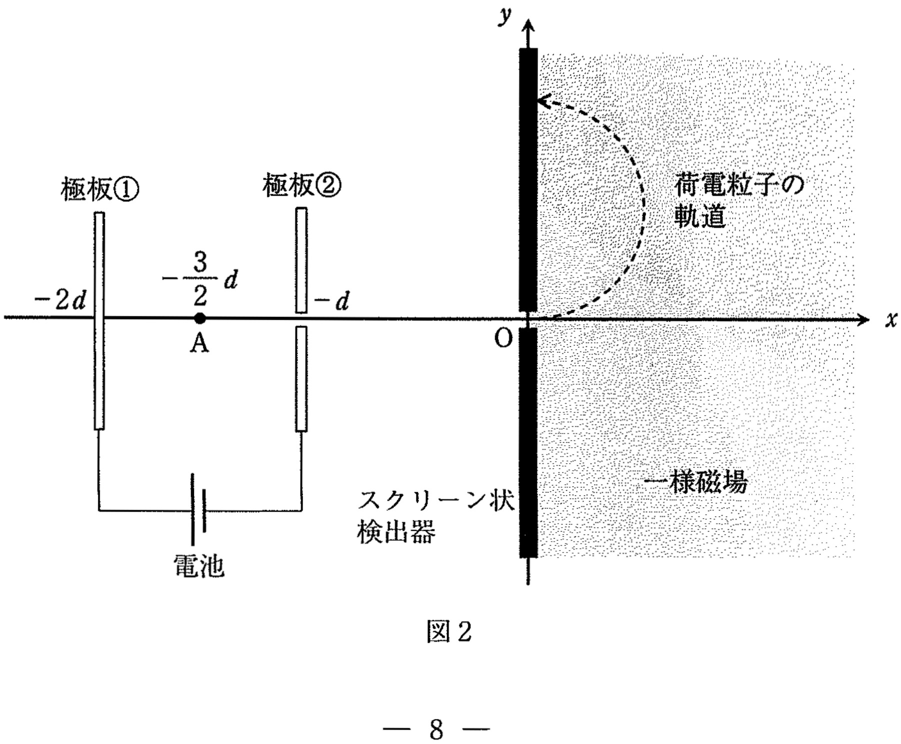

図 2

(1) 荷電粒子 P が原点 O を通過するときの速さ v を求めよ。

(2) 領域 $x > 0$ の一様磁場は，紙面の「表から裏」の向き，「裏から表」の向き，いずれの向きにかけられているか。解答欄の選択肢のいずれかに丸をつけよ。

(3) 領域 $x > 0$ において，荷電粒子 P が等速円運動を行う理由を 30 字程度で答えよ。(解答欄：40 マス)

(4) 荷電粒子 P が検出される位置の y 座標 Y を求めよ。解答には，**問 2** (1) の速さ v を用いてよい。

(5) 以下の選択肢の中から，スクリーン状検出器上の $y = 2Y$ となる位置で検出される荷電粒子をすべて選べ。ただし，選択肢にある荷電粒子はすべて，点 A に初速度 0 で置かれるものとする。

選択肢

(a) 質量 $2M$，電荷 q

(b) 質量 $4M$，電荷 q

(c) 質量 M，　電荷 $2q$

(d) 質量 $2M$，電荷 $2q$

(e) 質量 $4M$，電荷 $2q$

(f) 質量 $8M$，電荷 $2q$

(g) 質量 $2M$，電荷 $4q$

(h) 質量 $4M$，電荷 $4q$

〔 3 〕 (40 点)

1 mol の単原子分子理想気体の圧力 p と体積 V を，図 1 のように，A → B → C → D → A → … と繰り返し変化させる熱機関のサイクルを考える。気体は，過程 A → B では断熱圧縮され，過程 B → C では一定の圧力 p_B を保ちながら膨張し，過程 C → D では断熱膨張し，過程 D → A では一定の圧力 p_A($p_A < p_B$)を保ちながら圧縮される。状態 A と C の気体の体積は等しい。

ここで，状態 A，B，C，D の温度を，それぞれ T_A，T_B，T_C，T_D とし，p_B と p_A の比を $G = \dfrac{p_B}{p_A}$ と定義する。気体定数を R とすると，この気体の定積モル比熱は $\dfrac{3}{2}R$，定圧モル比熱は $\dfrac{5}{2}R$ である。断熱変化では，圧力 p と温度 T の間に，$Tp^{-\frac{2}{5}}$ = 一定 の関係が成り立つものとして，以下の問いに答えよ。

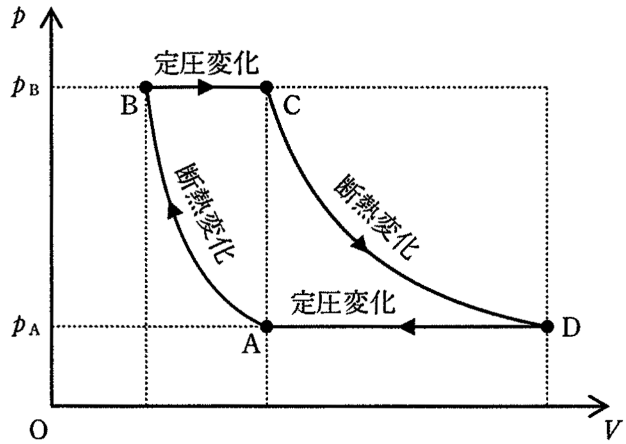

図 1

(1) T_B，T_C，T_D と T_A の比 $\dfrac{T_B}{T_A}$，$\dfrac{T_C}{T_A}$，$\dfrac{T_D}{T_A}$ を，G を用いて表せ。

(2) 過程 B → C において，気体が外部から吸収した熱量 Q_{BC}($Q_{BC} > 0$)と RT_A の比 $\dfrac{Q_{BC}}{RT_A}$ を，G を用いて表せ。

(3) 過程 C → D において，気体が外部にした仕事 W_{CD}($W_{\mathrm{CD}} > 0$) と RT_{A} の比 $\dfrac{W_{\mathrm{CD}}}{RT_{\mathrm{A}}}$ を，G を用いて表せ。

(4) 過程 D → A において，気体が外部に放出した熱量 Q_{DA}($Q_{\mathrm{DA}} > 0$) と RT_{A} の比 $\dfrac{Q_{\mathrm{DA}}}{RT_{\mathrm{A}}}$ を，G を用いて表せ。

(5) 図 1 に示した気体の状態変化を，気体の温度 T と体積 V の関係で表すとき，A → B，B → C，C → D，D → A の各過程を，解答紙に図示せよ。なお，各過程の変化が，直線の場合は破線で，曲線の場合は実線で結び，上下どちらに凸であるかを，はっきりとわかるように描け。

(6) 本サイクルの熱効率に関する以下の文章中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{エ}}$ に適切な式を，$\boxed{\text{a}}$，$\boxed{\text{b}}$ に適切な数値を記入せよ。

1 サイクルの間に気体が外部から吸収した熱量のうち，外部にした仕事に変換された割合を熱効率という。したがって，本サイクルの熱効率 e_1 は，Q_{BC} と Q_{DA} を用いて

$$e_1 = 1 - \boxed{\text{ア}}$$

で与えられるが，T_{A}，T_{B}，T_{C}，T_{D} を用いれば

$$e_1 = 1 - \frac{\boxed{\text{イ}}}{\boxed{\text{ウ}}}$$

と表される。さらに，e_1 を G を用いて表すと

$$e_1 = 1 - G^{\boxed{\text{a}}}$$

となり，圧力の比のみに依存することがわかる。

次に，本サイクルで気体が外部に放出した熱を利用して，熱効率を改善する新たなサイクルを考える。図2のように，状態Dから圧力を保ちながら状態D′へ変化させる間に気体が外部に放出した熱 Q_R を用いて状態Bの気体を加熱し，圧力を保ちながら状態B′へ変化させた。このとき，過程B→B′→Cにおいて，気体が外部から吸収した熱量は $Q_{BC} - Q_R$ と減少し，状態D′とB′の温度は，ともに $\frac{1}{2}(T_D + T_B)$ と等しくなった。

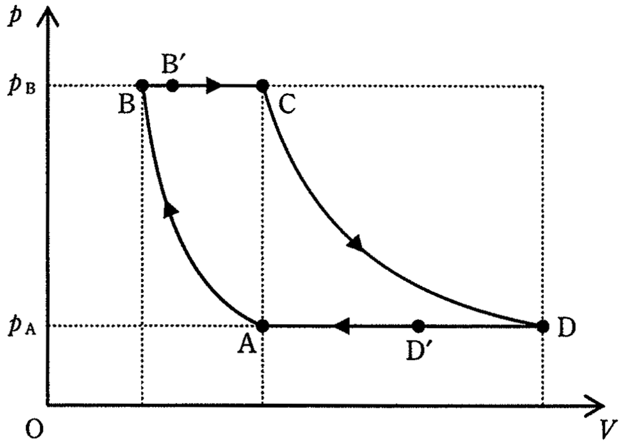

図2

したがって，新たなサイクルの熱効率 e_2 は，T_A，T_B，T_C，T_D を用いて

$$e_2 = 1 - \frac{\boxed{\text{イ}} + \boxed{\text{エ}}}{\boxed{\text{ウ}} + T_C - T_D}$$

で与えられる。熱効率の差は

$$e_2 - e_1 = \frac{T_C - T_D}{\boxed{\text{ウ}} + T_C - T_D}\left(G^{\boxed{\text{a}}} - \frac{\boxed{\text{エ}}}{T_C - T_D}\right)$$

となるが，ここで，$\dfrac{\boxed{\text{エ}}}{T_C - T_D}$ を G を用いて表すと

$$\frac{\boxed{\text{エ}}}{T_C - T_D} = G^{\boxed{\text{b}}}$$

である。

すなわち，$G^{\boxed{\mathrm{b}}} < G^{\boxed{\mathrm{a}}}$ であるから，熱効率の差 $e_2 - e_1$ は正となり，熱効率が改善できたことがわかる。