前期日程試験

平成 24 年度医学科入学試験問題

物　　　理

〔注意事項〕

1 監督者の指示があるまで，この冊子を開いてはいけない。
2 **解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。**
3 この問題冊子の本文は，7ページからなっている。落丁，乱丁及び印刷不鮮明な箇所などがあれば，手をあげて監督者に知らせなさい。
4 この問題冊子の白紙と余白は，適宜下書きに使用してもよい。
5 解答は，すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
6 解答欄には解答の導出過程も簡潔に記すこと。
7 この問題冊子は持ち帰ること。

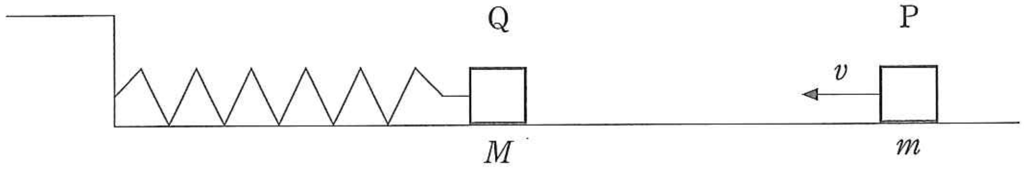
1 図のように，なめらかな水平面上に，質量の無視できるばねがある。その一端は固定され，他端に質量Mの小物体Qが付いている。また，左向きに一定の速さvで進んでくる質量mの小物体PはQと衝突する。ただし，ばねの固定端，P，Qは一直線上にあるとする。PとQのはね返り係数を1とする。ばね定数をkとし，$M > m$として，以下の問いに答えよ。

問1　ばねは自然の長さで，Qが静止している場合を考える。PがQと衝突した。その後のPの速さと向きを求めよ。また，Qは衝突後に単振動を始めた。その単振動の角振動数ωを求めよ。

問2　Qが，ばねの自然の長さでの位置を中心として，振幅Aの単振動をしている場合を考える。Qが右向きに進んで単振動の中心にきたとき，左向きに進んできた速さvのPと衝突した。衝突後，Pは右向きに進む。そのPの速さを求めよ。

問3　問2と同じように振幅Aの単振動をしているQが，左向きに進んで単振動の中心にきたとき，左向きに進んできた速さvのPと衝突した。$v = v_0$の場合，Pは衝突後に静止する。v_0をM，m，A，kを用いて表せ。また，$v > v_0$の場合，衝突後，Pは右向きに進む。そのPの速さを求めよ。

問4　問2と同じように振幅Aの単振動をしているQが，こんどは，単振動の右端にきたときPと衝突した。衝突後，Qの単振動の角振動数は変わらないが，振幅と位相は変化する。ばねが自然の長さのときのQの位置を原点とし，右向きを正とするx軸をとると，衝突してからt秒後のQの変位xは，$x = A_1\cos(\omega t + \alpha)$，$\left(0 < A_1,\ 0 < \alpha < \dfrac{\pi}{2}\right)$と表せる。振幅$A_1$と$\tan\alpha$を求めよ。



2 図1～5をみて，以下の問いに答えよ。

図1～3は，それぞれ電池と抵抗をつないだものである。図4は，図3を拡張し，スイッチを含め，はしご状につないだものである。図4を抵抗網と呼び，図1～3を，それぞれブロック1～3と呼ぶ。電池の内部抵抗や導線の抵抗は無視できるものとする。

問 1　起電力E_0[V]の電池$\mathrm{E_0}$と抵抗値R_0[Ω]の抵抗$\mathrm{R_0}$をつないだブロック1を考える。端子間$\mathrm{X_1Y_1}$に，抵抗値R[Ω]の抵抗Rを接続したとき，端子$\mathrm{Y_1}$に対する端子$\mathrm{X_1}$の電圧V_0[V]と端子$\mathrm{X_1}$を通ってRに流れる電流I_0[A]は，

$$V_0 = \frac{[①]R}{R+[②]},\qquad I_0 = \frac{[①]}{R+[②]}$$

とかける。①，②にあてはまる式を答えよ。

問 2　次に，起電力E_1，E_2[V]の電池$\mathrm{E_1}$，$\mathrm{E_2}$，抵抗値R_1，R_2[Ω]の抵抗$\mathrm{R_1}$，$\mathrm{R_2}$をつないだブロック2を考える。端子間$\mathrm{X_2Y_2}$に抵抗Rを接続したとき，端子$\mathrm{Y_2}$に対する端子$\mathrm{X_2}$の電圧V[V]と端子$\mathrm{X_2}$を通ってRに流れる電流I[A]は，

$$V = \frac{[③]R}{R+[④]},\qquad I = \frac{[③]}{R+[④]}$$

とかける。③，④にあてはまる式を答えよ。

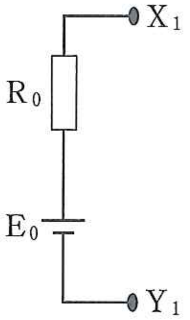


図　1

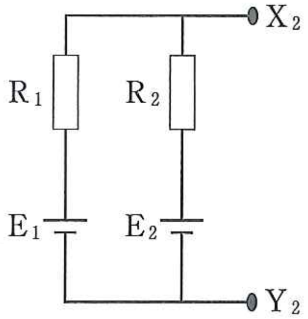


図　2

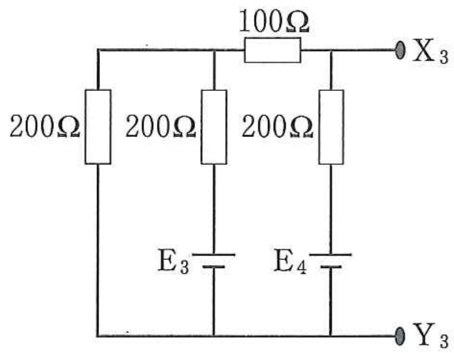


図　3

ここで，問 1 と問 2 で得られる式を比べると，それぞれ分子，分母の形式が対応していることがわかる。したがって，端子間 X_2Y_2 の電圧とそれらを流れる電流を求める場合，ブロック 2 は，起電力 E_0[V] を③[V]，抵抗値 R_0[Ω] を④[Ω] としたブロック 1 に置き換えられる。なお，ブロック 2 のどちらか，もしくはその両方の電池を導線にする，すなわち，電池の起電力を 0 V にする場合でも置き換え可能である。さらに，任意の抵抗網やブロックにも，このような置き換えは可能である。

問 3　起電力 E_3，E_4[V] の電池 E_3，E_4，抵抗値 100 Ω と 200 Ω の抵抗をつないだブロック 3 を考える。ブロック 3 をブロック 1 に置き換えたときの R_0[Ω]，E_0[V] に対応する式，または，値を求めよ。

問 4　次に，起電力 E_1〜E_5[V] の電池 E_1〜E_5 と 100 Ω，200 Ω の抵抗をつなぎ，スイッチ S_1〜S_5 を組み込んだ図 4 の抵抗網を考える。ただし，S_1〜S_5 は，それぞれ左側(電池側)か右側のどちらかに閉じているものとする。S_1〜S_5 をすべて左側に閉じたとき，端子 Y_4 に対する端子 X_4 の電圧を求めよ。

問 5　図 4 の抵抗網において，すべての電池の起電力を 128 V とし，いくつかのスイッチを左側に閉じ，残りを右側に閉じると，端子間 X_4Y_4 の電位差は 52 V になった。このとき，左側に閉じたスイッチ番号 S_1〜S_5 のセットを答えよ。

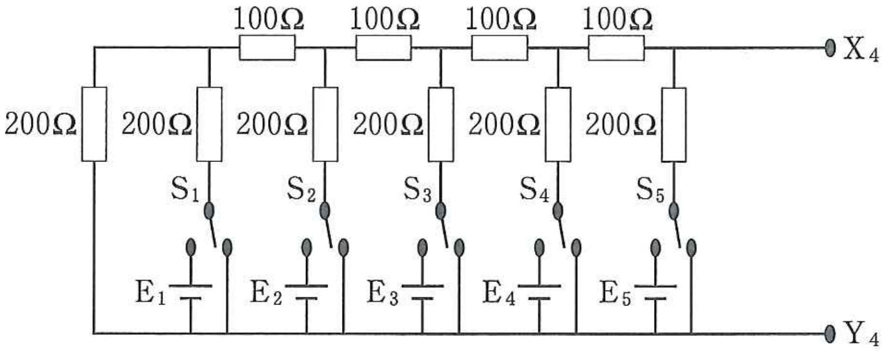


図　4

問 6　図5は，ある電球Lに電圧 V[V]をかけ，各電圧で流れた電流 I[A]をプロットした曲線である。なお，点線は，曲線(実線)の原点における接線である。Lを図4の抵抗網の端子間 X_4Y_4 に接続する。Lを100 V で使用したとき，Lのフィラメントの温度はいくらか。ただし，フィラメントの抵抗の温度係数を 2.50×10^{-3} 1/K，室温を0℃とする。

問 7　問5の場合と同様に，すべての電池の起電力を128 V とし，S_1〜S_5 をいろいろと切りかえ，Lのフィラメントの温度を計測した。あるスイッチの状態から，いくつかのスイッチを切りかえ，別の状態にすると，切りかえ前後のフィラメントの温度差が最小になった。このときの切りかえ前後のスイッチの状態を，それぞれ左側に閉じたスイッチ番号 S_1〜S_5 のセットを用いて答えよ。また，このときのフィラメントの温度差を有効数字3桁で答えよ。ただし，図5の曲線は，電圧20 V から130 V の間では直線とみなせるものとし，端子間 X_4Y_4 の電圧が20 V 以下のスイッチの状態は考えないこととする。

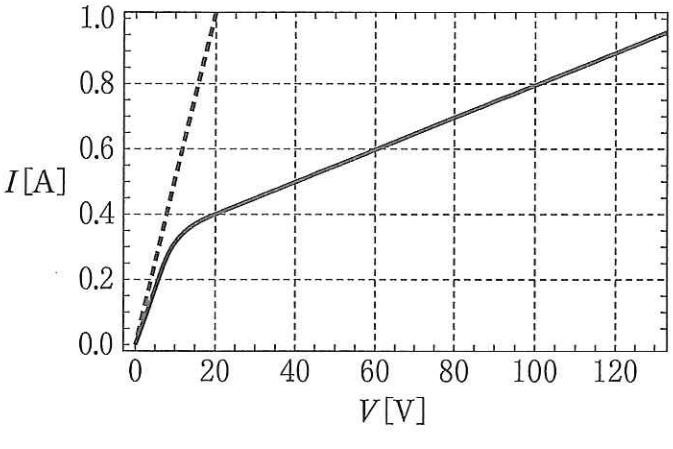


図　5

3 n モルの理想気体が，ある状態Aから熱力学的な循環をする，次のような2種類のサイクルC－Ⅰ，C－Ⅱを考える。

C－Ⅰ：A→B→C→D→A

A→B：断熱変化，B→C：外部より熱量 Q_1 を加える定圧変化，

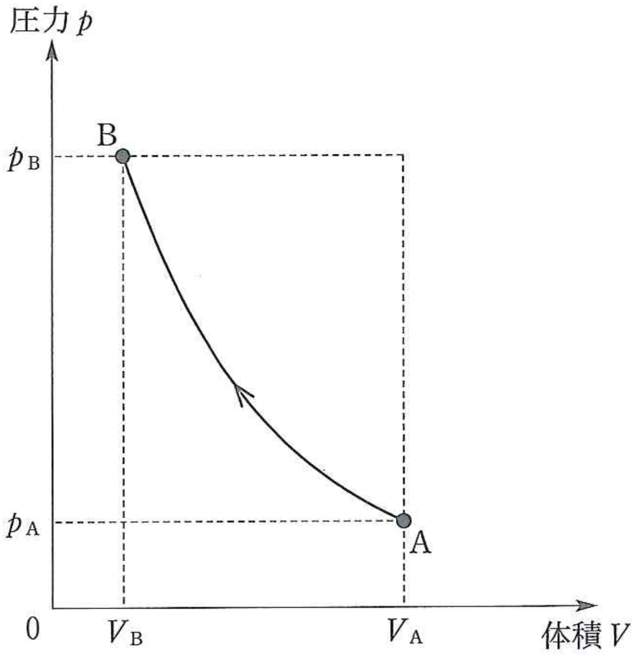
C→D：断熱変化，D→A：外部へ熱量 Q_2 を放出する定圧変化

C－Ⅱ：A→B→E→F→A

A→B：断熱変化，B→E：外部より熱量 Q_3 を加える定圧変化，

E→F：断熱変化，F→A：外部へ熱量 Q_4 を放出する定積変化

ただし，$Q_i > 0$ $(i = 1,\ 2,\ 3,\ 4)$ とする。気体定数を R，この理想気体の定積モル比熱を C_V，状態A，B，C，D，E，Fそれぞれの圧力と体積を，$(p_A,\ V_A)$，$(p_B,\ V_B)$，$(p_C,\ V_C)$，$(p_D,\ V_D)$，$(p_E,\ V_E)$，$(p_F,\ V_F)$ とする。図は，C－Ⅰ，C－Ⅱに共通の状態変化A→Bの圧力と体積の関係を表したグラフである。次の問いに答えよ。



問 1　理想気体の断熱変化では，圧力 p と体積 V には pV^{γ} =一定の関係が成り立つ。ここで，γ は定圧モル比熱と定積モル比熱の比で１より大きい（$\gamma > 1$）。C−Ⅰ，C−Ⅱの理想気体の γ を，C_V，n，p_A，p_B，R，V_A，V_B の中から必要なものを用いて表せ。

問 2　体積比 $\dfrac{V_C}{V_B}$ と $\dfrac{V_D}{V_A}$ の関係式を求めよ。

問 3　C−Ⅰ，C−Ⅱそれぞれの圧力と体積の関係を表すグラフの概形を描け。ただし，解答欄の各グラフには状態変化A→Bを表す部分が描かれている。前問で得られる関係式も考慮して，状態C，D，E，Fを表す点C，D，E，Fを，C−Ⅰのグラフに４点A，B，C，D，C−Ⅱのグラフに４点A，B，E，Fの相対的な位置関係が正しくなるように加えること。また，各サイクルの経路を実線で描き，各状態変化の向きを矢印で表すこと。

問 4　Q_1 を，γ，C_V，n，p_A，p_B，R，V_A，V_B，V_C の中から必要なものを用いて表せ。

問 5　Q_2 を，γ，C_V，n，p_A，p_B，R，V_A，V_B，V_D の中から必要なものを用いて表せ。

問 6　Q_3 を，γ，C_V，n，p_A，p_B，R，V_A，V_B，V_E の中から必要なものを用いて表せ。

問 7　Q_4 を，γ，C_V，n，p_A，p_B，R，V_A，V_B，V_E の中から必要なものを用いて表せ。

問 8　C−Ⅰをサイクルとする熱機関の熱効率 e_1 を，γ，C_V，n，R，V_A，V_B，V_C の中から必要なものを用いて表せ。

問 9　C−IIをサイクルとする熱機関の熱効率e_2を，γ，C_V，n，R，V_A，V_B，V_Eの中から必要なものを用いて表せ。

問10　前問で，体積差$\Delta V = V_E - V_B$がわずかである場合を考える。任意の実数αに対して，$|x|$が1に比べて十分小さい場合，$(1+x)^\alpha \fallingdotseq 1+\alpha x$と近似できることを用いて，$\left|\dfrac{\Delta V}{V_B}\right|$が1に比べて十分小さい場合の近似した熱効率$e_2$を，$\gamma$，$C_V$，$n$，$R$，$\Delta V$，$V_A$，$V_B$の中から必要なものを用いて表せ。