物　　理

解答はすべて各問題の指示にしたがって解答用紙の該当欄に記入せよ。

1　次の文章を読み，問１から問３の $\boxed{}$ の中に適切な数式を入れよ。ただし，問４は解答用紙のグラフに答えよ。

図１に示すように，水平な床面上に質量 m〔kg〕の物体Ａをおき，つるまきばねを取り付ける。ばねが床面と水平となるように，ばねの他端を壁に固定する。物体Ａは図の x 軸上を運動し，その位置を座標 x〔m〕で表す。ばねが自然長のとき物体Ａの位置を原点 $x = 0$ にとり，ばね定数を k〔N/m〕とする。物体Ａと床面との間の動摩擦係数を μ とする。ただし，重力加速度の大きさは g〔m/s^2〕とし，ばねの質量は無視できるものとする。

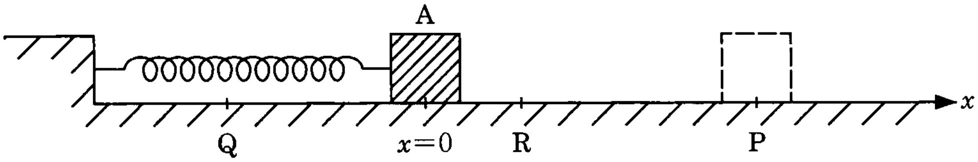

図１

物体ＡをＰ点($x = 5\ell$)まで引っ張り，時刻 $t = 0$ で静かに手を放した。このとき，物体Ａは x 軸の負の向きに動きはじめ，Ｑ点($x = -3\ell$)で運動の向きを反転し，再び x 軸の正の向きに運動した。その後，物体Ａは時刻 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$〔s〕でＲ点($x = \ell$)に停止した。なお，以下の問では ℓ を用いて答えてもよい。

問 1　物体AがPからQまで移動するとき，ばねにたくわえられた位置エネルギー(弾性エネルギー)の変化は $\boxed{\quad (1) \quad}$ 〔J〕と表される。また，この間に動摩擦力がした仕事は $\boxed{\quad (2) \quad}$ 〔J〕である。両者の仕事は相等しいので，動摩擦係数 μ は $\boxed{\quad (3) \quad}$ と求められる。

問 2　時刻 $t=0$ で手を離れた物体Aはしだいに速さを増し，最大の速さになったのち，徐々に減速してQ点で0となった。この間，物体Aが受ける力は右向きを正として $\boxed{\quad (4) \quad}$ 〔N〕と表される。したがって，物体Aの運動は $x=$ $\boxed{\quad (5) \quad}$ 〔m〕を中心とする単振動の動きに等しいことがわかる。よって，この中心で物体Aの速さは最大となり，その値は $\boxed{\quad (6) \quad}$ 〔m/s〕となる。また，物体AがQ点で反転する時刻は $\boxed{\quad (7) \quad}$ 〔s〕である。

問 3　つぎに物体AがQからRまで移動するとき，物体Aに作用する力は右向きを正として $\boxed{\quad (8) \quad}$ 〔N〕と表され，この区間の振動の中心は $x=$ $\boxed{\quad (9) \quad}$ 〔m〕である。

問 4　物体Aの座標 x と時間 t との関係を解答用紙のグラフに示せ。

2 次の文章の $\boxed{\quad}$ の(1)〜(9)の中に適当な数式，または数値を入れよ。また，(i)には答えの導出も記入せよ。数値計算は有効数字 2 桁で答えよ。

図 1 のように，ピストンのついたシリンダーの中に質量 m〔kg〕の分子 N 個からなる理想気体がある。シリンダーの左の面を x 軸の原点 O とし，ピストンを引く向きを正に選ぶ。ピストンの面積を S〔m^2〕，時刻 $t=0$〔s〕におけるピストンの位置を L〔m〕，気体の温度を T〔K〕とする。ピストンは滑らかに動き，シリンダー，およびピストンは断熱されている。k〔J/K〕はボルツマン定数である。

I　気体を断熱的に膨張させると温度が下がることを，気体分子の運動から考えてみよう。気体分子のシリンダー面，およびピストン面との衝突は完全弾性衝突($e=1$)で，ピストンを引く速さ u〔m/s〕は気体分子の速さにくらべて十分小さい。

問 1　一定の速さ u でピストンを位置 L から引いていく。いま，分子 A が x 方向の速さ v_x でピストン面にぶつかった後に，速さ v_x' で離れていった。衝突係数の式 $e=$ $\boxed{(1)}$ から，衝突後の速さは v_x より $2u$ だけ小さい。分子 A がピストン面と n 回衝突を繰り返した後の速さは $\boxed{(2)}$〔m/s〕である。

問 2　ピストンの速さ u の 2 乗に比例する項を無視すると，分子 A の運動エネルギーは n 回の衝突後には，衝突前に比べて $\boxed{(3)}$〔J〕だけ減少している。分子 A は n 回ピストンに衝突するのに Δt 秒かかった。Δt 秒間では L，v_x はほとんど変化しないと見なして，Δt，L，v_x を使うと $n=$ $\boxed{(4)}$ と表せる。このとき，分子 A の Δt 秒間の運動エネルギーの減少量は n を消去すると $\boxed{(5)}$〔J〕となる。

問 3　シリンダー中には N 個の多数の分子があり，分子の速さ v_x の 2 乗平均を $\overline{v_x^2}$ と表す。それぞれの分子の Δt 秒間のエネルギーの減少量を合計すると，シリンダー内の運動エネルギーの減少量は $\boxed{(6)}$ $\times \frac{1}{2}m\overline{v_x^2}$〔J〕となる。

問 4　一方，ピストンとの衝突による x 方向の運動エネルギーの変化量は，多数の分子との衝突によって x，y，z の 3 方向に均等化され，$\frac{1}{2}m\overline{v_x^2}=\frac{1}{2}m\overline{v_y^2}=\frac{1}{2}m\overline{v_z^2}=\frac{1}{2}kT$〔J〕が成立している。体積 V〔m^3〕からピストンを動かし始め $\Delta V(=Su\Delta t)$ だけ増加したとき，気体の温度変化 ΔT は V，ΔV，T を用いると $\boxed{\quad(7)\quad}$〔K〕となる。

II　つぎに，断熱膨張によって気体の温度が下がることを，熱力学の第 1 法則と理想気体の状態方程式から考えてみよう。n_0 をモル数，R〔J/K〕を気体定数とすると，気体の定積比熱は $C_V=\frac{3}{2}n_0R$〔J/K〕である。

問 5　はじめ，気体の温度が T〔K〕，体積 V〔m^3〕の状態から，ピストンを断熱的にゆっくり引き気体に仕事をさせる。小さな体積 ΔV だけ膨張させたところ，内部エネルギーが ΔU〔J〕だけ変化した。気体の圧力がする仕事と内部エネルギーの変化から，(7)の温度変化 ΔT が導かれることを $\boxed{\quad(\mathrm{i})\quad}$ に示せ。

問 6　いま，シリンダー内に閉じ込められた温度 300 K，圧力 1.00×10^5 Pa (= N/m^2) の気体の体積が 2.00×10^{-2} m^3 であった。この気体を断熱的にゆっくり膨張させたところ，体積が 2.05×10^{-2} m^3 となった。このとき，気体の温度は $\boxed{\quad(8)\quad}$ K だけ下がる。また，この気体の内部エネルギーの減少量は $\boxed{\quad(9)\quad}$ J である。

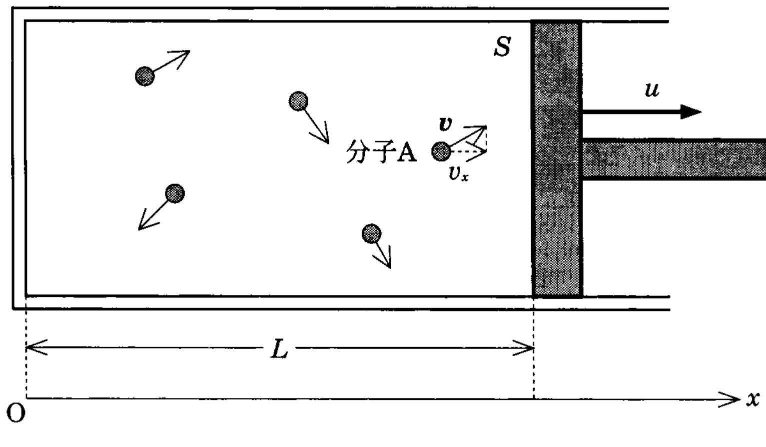

図 1

3　次の文章の　(1)　から　(11)　には有効数字2桁の適切な数値を，また，　(i)　には適切な文章を，　(ii)　には選択した番号を記入し解答せよ。

問 1　自動車やオートバイの照明用豆電球の直流電圧 V〔V〕を変えて，電流 I〔A〕を測定したところ，図1のような電流—電圧特性曲線を得た。電圧 V を0からゆるやかに増加していくと，電球のフィラメントは特性曲線上の点Aで暗く，点Bでは明るく輝く。図1から，点Aでの電気抵抗と消費電力は　(1)　Ω，　(2)　W，点Bでは　(3)　Ω，　(4)　Wとなる。このように実際の電気抵抗はその動作状態で異なる。この豆電球の場合，電気抵抗の違いは点Aと点Bとではフィラメントである金属線の温度が異なるためと考えられる。

金属の電気抵抗が温度により異なる理由を解答欄　(i)　に説明せよ。

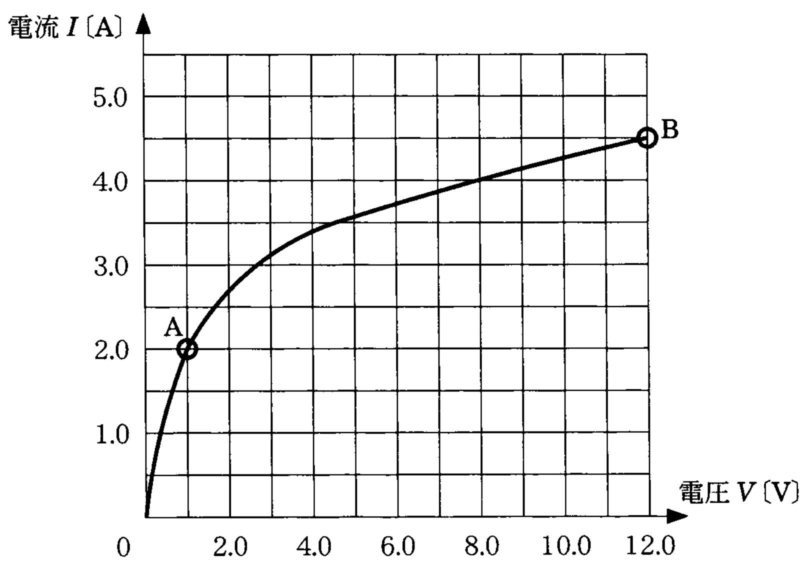

図1

問 2　つぎに，起電力 $E=12\,\mathrm{V}$ の電池にこの豆電球 1 個を接続した。図 2 に示すように，電池の内部には一定の抵抗値 $R=0.50\,\Omega$ の電気抵抗が起電力 E と直列に存在する。豆電球の特性曲線図 1 と起電力 E, 電気抵抗 R を用いると，作図によって $V=$ [(5)] V，$I=$ [(6)] A，ならびに豆電球の消費電力は [(7)] W と求められる。

問 3　図 3 のように，同じ豆電球を並列に追加した。この場合の電流―電圧特性曲線は，図 1 の目盛り数値を変更するだけで描くことができる。その結果を [(8)] に記入せよ。解答欄グラフには縦軸，横軸に正しく目盛り数値を記入すること。

この豆電球 2 個の並列接続による特性曲線，起電力 E，電気抵抗 R を用いて作図により，電圧 $V=$ [(9)] V, 豆電球 2 個分の電流 $I=$ [(10)] A，ならびに豆電球 2 個分の消費電力は [(11)] W と求められる。

並列接続の場合の一個分の電球の明るさは，一個を単独に電池に接続する場合より [(ii) | ①明るい，②変わらない，③暗い] 。

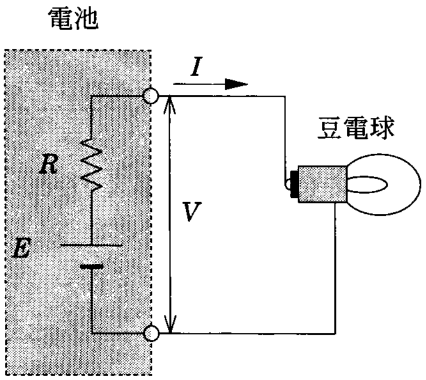

図 2

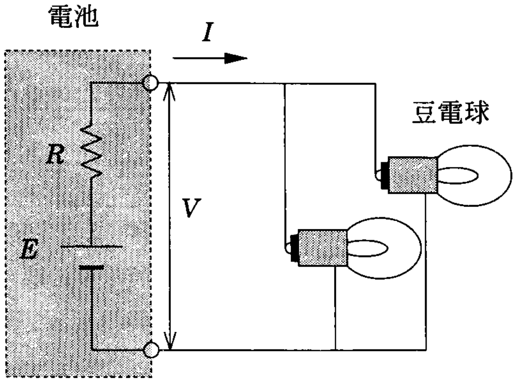

図 3