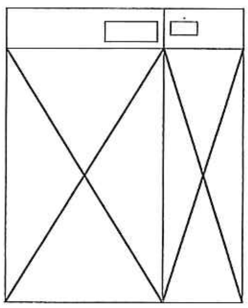
平成26年度入学試験問題（一般入試）

理　　科

注　意

1. 問題冊子は，物理：1～7ページ，化学：9～12ページ，生物：13～20ページで，8ページは余白である。問題冊子は，指示があるまで開かないこと。
2. 解答紙は計3枚で，物理：1枚，化学：1枚，生物：1枚である。
3. 解答開始前に，試験監督者の指示にしたがって，選択しない科目も含めすべての解答紙それぞれ2カ所に受験番号を記入すること。
4. 試験監督者の指示にしたがって，選択しない科目の解答紙に╳印を大きく2カ所記入すること。



5. 「始め」の合図があったら，問題冊子のページ数を確認すること。
6. 解答は，黒色鉛筆（シャープペンシルも可）を使用し，すべて所定の欄に記入すること。欄外および裏面には記入しないこと。
7. 下書き等は，問題冊子の余白を利用すること。
8. 試験終了後，監督者の指示にしたがって，解答紙を物理，化学，生物の順番をそろえること。
9. 解答紙は持ち帰らないこと。

◇M3(008―16)

物理　問題訂正

物理

〔２〕

３ページ

本文　２行目

	誤	正
	C_0	C

４ページ

問題(7)　２行目

	誤	正
	C_0	C

４ページ

実験２　４行目

	誤	正
	Q_0	Q_1

物　　理

〔1〕 次の文章の $\boxed{}$ の中に適当な式，数字または記号を記入しなさい。

理想気体のある過程Xに対するモル比熱を Cx[J/(mol・K)]とする。この過程では「VT^f = 一定」の関係が成立する。ここで V[m^3]は体積，T[K]は絶対温度，f は定数である。この気体の定圧モル比熱を Cp[J/(mol・K)]，定積モル比熱を Cv[J/(mol・K)]とする。気体定数を R[J/(mol・K)]とする。

まず，「VT^f = 一定」の関係における定数 f を求めよう。1モルの理想気体を考える。過程Xでの温度変化を ΔT[K]，体積変化を ΔV[m^3]とするとき，この過程で吸収される熱量は $\boxed{1}$ [J]である。気体がこの過程でした仕事を W[J]とすると，熱力学第一法則より，$\boxed{1} = \boxed{2} + W$ となる。圧力を p[Pa]とすれば，ΔV が充分小さいとき，仕事 $W = p\Delta V$ と書くことができるので，1モル理想気体の状態方程式：$pV = RT$ および，Cp と Cv の関係式：$\boxed{3} = R$ により，$W = \boxed{4} \times \Delta V$ となる。

結局，$\boxed{1} = \boxed{2} + \boxed{4} \times \Delta V$ は

$$\boxed{5} \times \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta V}{V}$$

と書きかえることができる。ΔT と ΔV を微少量と見なして微積分の記号 dT および dV でおきかえ，両辺を積分する。$\boxed{5}$ は定数なので，

$$\boxed{5} \times \int \frac{dT}{T} = \int \frac{dV}{V}$$

となり，積分すると，

$\boxed{5} \times \log T = \log V + k$（$k$ は積分定数），

すなわち，「$VT^{-\boxed{5}}$ = 一定」となる。つまり，$f = -\boxed{5}$ である。

断熱過程の場合は「$VT^{\frac{Cv}{Cp-Cv}}$ = 一定」の関係がある。断熱過程は $Cx = \boxed{6}$ [J/(mol・K)]の場合に相当する。

次に過程Xのモル比熱が $Cp > Cx > Cv$ を満たしている場合を考える。図1は横軸が絶対温度，縦軸が体積で，理想気体が同じ温度・体積(T・V)の状態から様々な道筋を経て別の温度 $T'(> T)$ に変化する様子を示している。道筋(ア)から(オ)のうち，過程Xを表しているのは $\boxed{\quad 7 \quad}$ ，等圧過程は $\boxed{\quad 8 \quad}$ ，断熱過程は $\boxed{\quad 9 \quad}$ である。

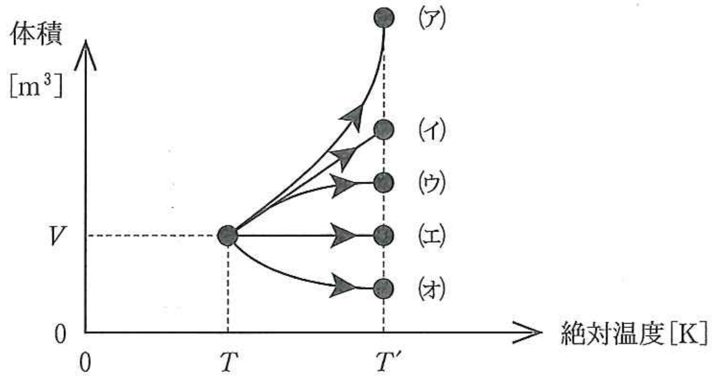


図1

〔2〕 次の文章を読んで，以下の設問に答えなさい。

図2のように，紙面裏から手前向きの一様な磁束密度B[T]の磁場内にd[m]の間隔で水平に置かれた2本の十分長い導線レールbcとdeがある。bd間をコンデンサー(容量C_0[F])と抵抗(R[Ω])およびスイッチSでつなぎ，レール上に質量m[kg]の導体棒PQを置く。導体棒はつねにレールと直角の状態をたもって左右になめらかにレール上を動くことができる。また，導線レールと導体棒の電気抵抗は無視できる。

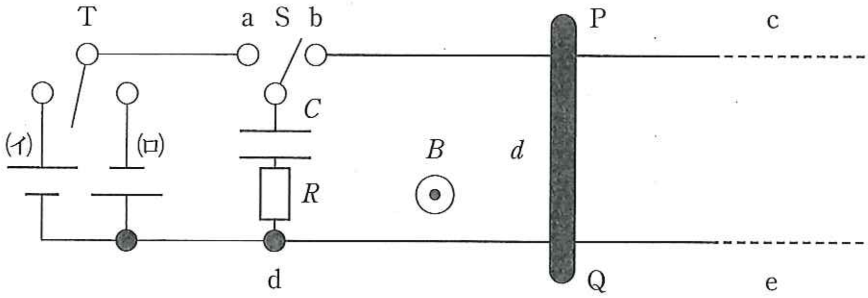


図2

実験1　まずスイッチSをaにつなぎ，コンデンサーを充電する。電源は電極の向きの違う2種類(イ)と(ロ)があり，スイッチTによって，どちらかに接続されている。充電終了後スイッチTを切り，スイッチSをbにつなぐと導体棒が図の右向きに動き出した。電流により発生する磁場は無視する。

(1)　充電に使ったのは(イ)と(ロ)どちらの電源か，解答欄の正しい方に○をつけなさい。

スイッチSをbにつないだ時刻を0として時刻t[s]での導体棒の速度を求めよう。時間t[s]をN個の短い時間Δt[s]の区間に分割する。時刻$t_0=0$，$t_1=t_0+\Delta t$，$t_2=t_1+\Delta t$，…，$t_n=t_{n-1}+\Delta t$，…，$t_N=t_{N-1}+\Delta t=t$とする$(1\leqq n\leqq N)$。時刻t_0[s]，t_{n-1}[s]，t_n[s]，t[s]でのコンデンサーの電荷をそれぞれ，Q_0[C]，Q_{n-1}[C]，Q_n[C]，Q[C]とする。

(2)　時刻t_{n-1}[s]から時刻t_n[s]までの時間Δt[s]に導体棒を通過する電気量を与えられた記号で表しなさい。

(3)　このときの電流を与えられた記号で表しなさい。ただし，時間Δt[s]は十分短く，この時間の電流は一定と見なすことができる。$t=0$に流れた電流の向きを正とする。

(4)　時刻t_{n-1}[s]から時刻t_n[s]までの時間Δt[s]に，ローレンツ力により導体棒が受けた力積$P_{n-1,n}$[N·s]を与えられた記号で表しなさい。ただし，図2の右向きを正とする。

(5)　$P_{0,1}+P_{1,2}+\cdots+P_{n-1,n}+\cdots$のように順に足していくことによって，時刻0から$t$[s]までにローレンツ力により導体棒が受けた力積を与えられた記号で表しなさい。ただし，図2の右向きを正とする。

(6) 時刻t[s]での導体棒の速度v[m/s]を与えられた記号で表しなさい。ただし，図2の右向きを正とする。

(7) 充分に時間が経過し，回路を流れる電流の値が限りなく0に近づいたとき，導体棒の速度はいくらか。$d = 1.0\times10^{-2}$ m，$m = 7.8\times10^{-5}$ kg，$B = 2.0$ T，$C_0 = 1.0\times10^{-2}$ F，$Q_0 = 0.24$ C として有効数字2桁で答えなさい。ただし，図の右向きを正とする。

実験2　導線を流れる電流による磁場の影響が無視できない場合を考える。図2で外部磁場による磁束密度Bを0とし，抵抗(R[Ω])およびコンデンサーは，それぞれ抵抗0の導線および急速な充放電に耐えられるもの(容量C_1[F])に交換する。簡単のため導体棒は動かないようにレールに固定する。スイッチTをどちらかの電源に接続しコンデンサーを電気量Q_0[C]まで充電する。充電終了後，スイッチSを切り，時刻0にスイッチSをbにつなぎ放電する。放電開始後，回路に電気振動が生じた。電流の最大値はI_0[A]であった。これを，回路全体が巻数1のコイルとして機能していると考え，この回路をコンデンサーとコイルの直列回路であるとして以下の問に答えよ。ただし，ジュール熱や電磁波によるエネルギーの損失は考えない。

(8) コイルの自己インダクタンスを与えられた記号で表しなさい。

(9) 電気振動の周期を与えられた記号で表しなさい。

(10) 放電開始直後に回路を流れる電流I[A]の時間変化に最も近い関数はどれか，図3の(ア)~(オ)の中から選び，記号で答えなさい。グラフの横軸は全て時間である。

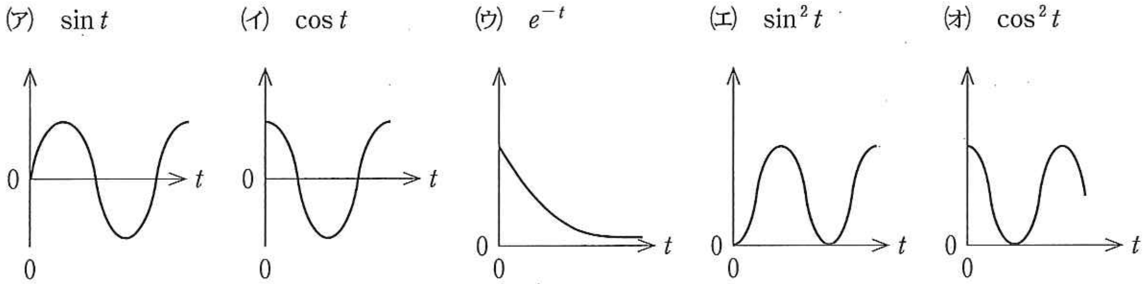


図3

(11) 導体棒以外の部分を流れる電流が導体棒の位置につくる磁場の向きは，回路の中心での磁場の向きと同じであることがわかっている。図2の回路は四角形であるが，流れる電流が回路の中心につくる磁場の向きは円形コイルの場合と同じとみなしてよい。電流が流れているときに導体棒が磁場から受ける力について述べた次の(ア)~(オ)の文章の中から適切なものを選び，記号で答えなさい。

(ア) つねに回路の外向き(図2の右向き)

(イ) つねに回路の内向き(図2の左向き)

(ウ) 充電に使った電源が(イ)か(ロ)によって力の向きは異なる

(エ) 力はつねに0

(オ) 外向きと内向き繰り返す

〔3〕 次の文章を読んで，以下の設問に答えなさい。

図4のように，質量 m[kg]の小さい物体が半径 a[m]の円環にとりつけられている。物体は円環に沿ってはずれることなく，摩擦なしになめらかに動けるようになっている。円環の一点をA，A を通る直径の反対側の円環上の点をBとする。物体の位置を，円環の中心Oから物体に向かうベクトルが線分OBとなす角度 θ[rad]によってあらわす。物体がBにあるときは $\theta = 0$，A にあるときは $\theta = \pi$ である。以下では，空気の抵抗および重力は考慮しない。必要ならば角度 α[rad]が十分小さいときの近似式，$\sin\alpha \fallingdotseq \alpha$，$\cos\alpha \fallingdotseq 1$，$\sin(\pi - \alpha) \fallingdotseq \alpha$，$\cos(\pi - \alpha) \fallingdotseq -1$ を用いてもよい。

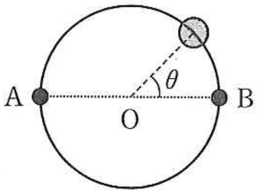


図4

実験1　図5のように円環外部の点XとAを剛体の棒で接続し，Xを中心に一定の角速度 Ω [rad/s]で回転させた(X，A，Bはつねに同一直線上にあり，Aでの接続部は円環上での物体の運動を妨げないものとする)。以下ではこの回転を円環の「公転」と呼ぶ。円環の中心Oから X までの距離を R[m]とする。R[m]は a[m]に比べて十分大きく，物体の位置が θ[rad]の時には X を通る公転の回転軸から物体までの距離は $R + a\cos\theta$ と近似できる。また，公転によって物体にかかる遠心力はつねに直径ABに平行とする。

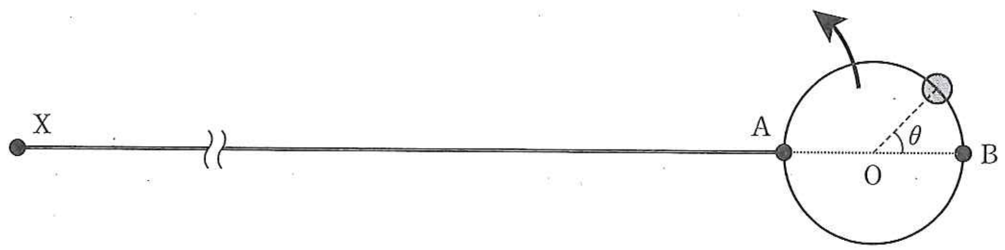


図5

(1) 物体をBからわずかにずらして離したところ，Bを中心として単振動をした。単振動の周期を与えられた記号を用いて表しなさい。

実験2　図6のように円環は直径ABを軸として回転することができる(以下では円環のこの回転を「自転」と呼ぶ)。実験1と同様にXを中心に一定の角速度Ω[rad/s]で円環を公転させ，同時に円環を一定の角速度ω[rad/s]で自転させる。ただし，自転していても，物体の位置がθ[rad]の時には公転の回転軸から物体までの距離は$R + a\cos\theta$であり，公転による遠心力はつねに直径ABに平行とする。

図6

(2)　AとBの他にもう1カ所，物体がつり合う位置が存在する場合がある。この時のつり合いの点Cの角度をθ_c[rad]とする。$\cos\theta_c$を与えられた記号を用いて表しなさい。

(3)　物体をCからわずかにずらして離すと，物体はCを中心にして単振動を始めた。単振動の周期を$\sin\theta_c$と与えられた記号を用いて表しなさい。ただし，この問題では，角度α[rad]が十分小さいときの近似式として，$\cos(\theta_c + \alpha) \fallingdotseq \cos\theta_c - \alpha\sin\theta_c$，$\sin(\theta_c + \alpha) \fallingdotseq \sin\theta_c$，を用いること。

(4)　つり合いの位置がAとBしか存在しない時，物体をBからわずかにずらして離すと，Bを中心として単振動をした。単振動の周期を与えられた記号を用いて表しなさい。

実験 3　図 7 のようにばね定数 k[N/m]のばねで A と物体をつなぐ。ばねの自然長は十分小さく無視できるので，A から物体までの距離をばねの伸びとしてよい。この状態で，実験 2 と同様に，一定の角速度 Ω[rad/s]で円環を公転させ，同時に一定の角速度 ω[rad/s]で自転させる。物体および A でのばねの接続部は物体の運動に影響を与えず，物体は円環上の全ての点においてなめらかに動くことができる。必要ならば次の数学公式，$\sin 2\phi = 2\sin\phi\cos\phi$，$\cos 2\phi = 2\cos^2\phi - 1$（$\phi$ は任意の角度）を用いなさい。

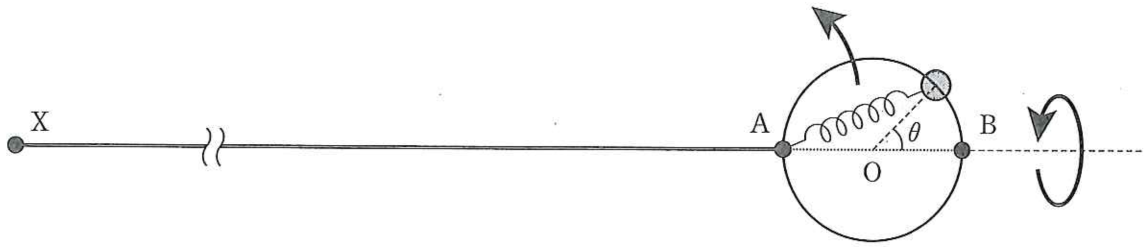


図 7

(5)　自転の角速度 ω[rad/s]と公転の角速度 Ω[rad/s]を調整したところ，物体が円環上で等速円運動を行うようになった。このときの次の諸量の間に成り立つ関係式を示しなさい。

(a)　ω[rad/s]と Ω[rad/s]

(b)　Ω[rad/s]，k[N/m]，m[kg]，a[m]，R[m]

(6)　物体の角度 θ が一定値 θ_D[rad/s]に保たれるように角速度 ω[rad/s]と Ω[rad/s]を調整した。ただし，$\theta_D \neq 0$，π とする。このとき，円環から物体が受ける垂直抗力が 0 であった。

(a)　k[N/m]，m[kg]，ω[rad/s]の間に成り立つ関係式を示しなさい。

(b)　$\dfrac{\pi}{2} < \theta_D < \pi$ であった。Ω[rad/s]，ω[rad/s]，R[m]，a[m]の満たすべき条件を，不等式を用いて示しなさい。