医学部進学予備校 メビオ

解答速報

近畿大学医学部（前期）物理

2019年1月27日実施

I

(1)　小球には，遠心力を含めて図 1 のように力が作用するので，

接線方向成分の運動方程式：$ma =$ $\boxed{1 : mx\omega^2\cos\theta - mg\sin\theta}$

接線に垂直な成分の力のつりあい：$N =$ $\boxed{2 : mg\cos\theta + mx\omega^2\sin\theta}$

針金の形を示す関数の微分を考えると，小球の位置 $\left(x,\ \dfrac{1}{2}bx^2\right)$ における接線の傾きは bx となるので，$\tan\theta =$ $\boxed{3 : bx}$．

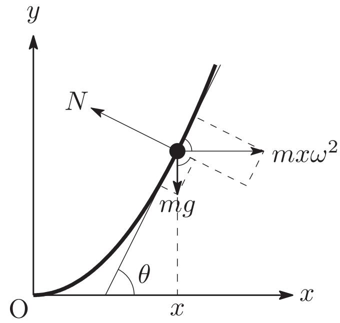


図 1

図 2 のような関係を考慮して，

$\sin\theta =$ $\boxed{4 : \dfrac{bx}{\sqrt{1+(bx)^2}}}$、$\cos\theta =$ $\boxed{5 : \dfrac{1}{\sqrt{1+(bx)^2}}}$

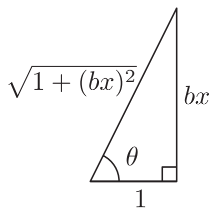


図 2

小球が止まっているとき，接線方向の加速度が 0 であるので，

$\omega = \sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{x}} =$ $\boxed{6 : \sqrt{bg}}$

N の式に，ω，$\cos\theta$，$\sin\theta$ の値を代入して，$N =$ $\boxed{7 : mg\sqrt{1+(bx)^2}}$

(2)　問題文で指定された近似を適用すると，運動方程式は，

$$ma \fallingdotseq mx\omega^2\cos\theta - mg\tan\theta \fallingdotseq mx\omega^2 - mgbx = -m\left(bg-\omega^2\right)x$$

$$\therefore\ a = -\left(bg-\omega^2\right)x$$

単振動の角振動数を Ω として，$x = -\Omega^2 x$ であるので，$\Omega = \sqrt{bg-\omega^2}$ となり，

周期 $T = \dfrac{2\pi}{\Omega} =$ $\boxed{8 : \dfrac{2\pi}{\sqrt{bg-\omega^2}}}$

(3)　小球が上向きに動き始める直前，小球には図 1 に示した力に加えて，接線方向下向きに最大摩擦力がはたらいている．針金の接線と x 軸のなす角を θ_0，最大摩擦力の大きさを f として，接線方向の力のつりあいより，

$f = mx_0\omega^2\cos\theta_0 - mg\sin\theta_0$

このとき $f = \mu N$ なので，

$\omega = \sqrt{\dfrac{\sin\theta_0 + \mu\cos\theta_0}{\cos\theta_0 - \mu\sin\theta_0}\cdot\dfrac{g}{x_0}} =$ $\boxed{9 : \sqrt{\dfrac{bx_0+\mu}{1-\mu bx_0}\cdot\dfrac{g}{x_0}}}$

小球が下向きに動き始める直前，小球には接線方向下向きに最大摩擦力がはたらいている．これは，上記の式で μ を $-\mu$ に置き換えた場合に相当するので，

$\omega = \sqrt{\dfrac{\sin\theta_0 - \mu\cos\theta_0}{\cos\theta_0 + \mu\sin\theta_0}\cdot\dfrac{g}{x_0}} =$ $\boxed{10 : \sqrt{\dfrac{bx_0-\mu}{1+\mu bx_0}\cdot\dfrac{g}{x_0}}}$

Ⅱ

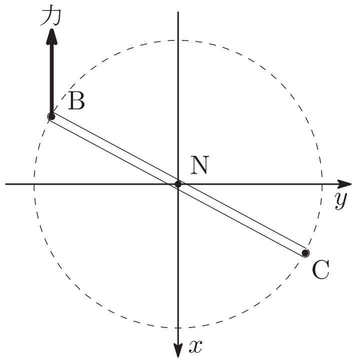
(1) 時刻 t[s] でコイル ABCD と x 軸のなす角が ωt [rad] であることから，

コイル ABCD を貫く磁束は $\Phi(t) = \boxed{1 : Bab\cos\omega t}$ [Wb].

ファラデーの電磁誘導の法則より，時刻 t[s] にコイルに発生する誘導起電力 $V(t)$ は，$V(t) = -\dfrac{d\Phi(t)}{dt} = Bab\omega\sin\omega t$ [V] となる．電流の正の向きが ABCD の向きであることに注意すると，時刻 t[s] にコイルに流れる電流は，$I(t) = \dfrac{V(t)}{R} = \boxed{2 : \dfrac{Bab\omega}{R}\sin\omega t}$ [A]

抵抗で消費される電力 P_0[W] の時間平均は，$\overline{P_0} = \overline{R\{I(t)\}^2} = \dfrac{(Bab\omega)^2}{R}\overline{\sin^2\omega t} = \boxed{3 : \dfrac{(Bab\omega)^2}{2R}}$ [W]

$\boxed{4 :\ \ }$ フレミングの左手の法則より，AB に流れる電流が磁場から受ける力の向きは下図のようになる．



AB に流れる電流が磁場から受ける力の大きさは，$f_{\mathrm{AB}} = I(t)Ba = \boxed{5 : \dfrac{B^2a^2b\omega}{R}\sin\omega t}$ [N].

エネルギー保存則より，外力全体による仕事率 P_1[W] の時間平均 $\overline{P_1}$[W] は抵抗で消費される電力の時間平均 $\overline{P_0}$ と等しくなるので，$\overline{P_1} = \overline{P_0} = \boxed{6 : \dfrac{(Bab\omega)^2}{2R}}$ [W] である．

(2) コイルに発生する起電力は (1) と同じであるから，$V(t) = Bab\omega\sin\omega t$ [V].

したがって，キルヒホッフの第 2 法則より，$Bab\omega\sin\omega t - Ri(t) - L\dfrac{di(t)}{dt} = 0$

$\iff \boxed{7 : Bab\omega\sin\omega t - RI\sin(\omega t-\phi) - \omega LI\cos(\omega t-\phi) = 0}$ を得る．

(7) の結果より，$Bab\omega\sin\omega t = \sqrt{R^2+(\omega L)^2}I\sin(\omega t-\phi+\alpha)\cdots$ ㊟ ただし，$\tan\alpha = \dfrac{\omega L}{R}$.

㊟式の両辺を比較することで，$I = \boxed{8 : \dfrac{Bab\omega}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}}$ [A]，$\tan\phi = \tan\alpha = \boxed{9 : \dfrac{\omega L}{R}}$ を得る．

抵抗で消費される電力 P_2[W] の時間平均は，$\overline{P_2} = RI_{\mathrm{e}}{}^2 = \dfrac{1}{2}RI^2 = \boxed{10 : \dfrac{1}{2}R\dfrac{(Bab\omega)^2}{R^2+(\omega L)^2}}$ [W].

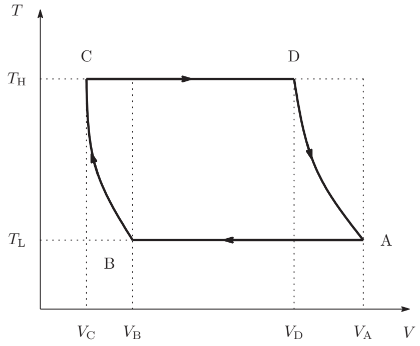
回路の合成インピーダンスは $Z = \sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ [Ω] であるから，

力率 $= \dfrac{\overline{P_2}}{I_{\mathrm{e}}V_{\mathrm{e}}} = \dfrac{RI_{\mathrm{e}}{}^2}{ZI_{\mathrm{e}}{}^2} = \dfrac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$ $\quad\therefore\ \dfrac{\omega L}{R} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$.

したがって，$\tan\phi = \dfrac{\omega L}{R} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$ $\quad\therefore\ \phi = \boxed{11 : \dfrac{\pi}{6}}$ [rad]

Ⅲ

(1)　C→D が温度 T_{H}，A→B が温度 T_{L} の等温過程であることに注意すると，$\boxed{1：下図}$ が答えとなる。



また温度が上昇するときのみ $\Delta U > 0$ となるため，内部エネルギーが増加するのは $\boxed{2：\ \mathrm{B}\to\mathrm{C}}$ の過程である。

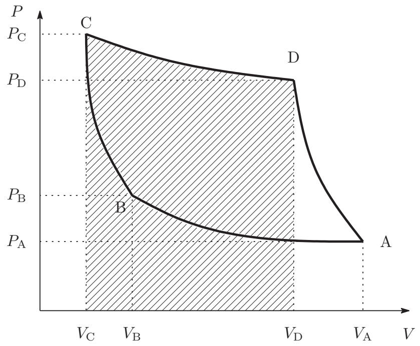
このときの内部エネルギーの増加量は $\Delta U = \boxed{3:\ \dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}})}$

また B→C は断熱過程であるため，熱源から吸収した熱量は $\boxed{4：\quad 0\quad}$ である。

さらにこのとき気体が外部にした仕事は熱力学の第一法則より，内部エネルギーの増加量の -1 倍になり，

$\boxed{5：\ -\dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}})}$

(2)　等温膨張過程は C→D であるから $\boxed{6：\ 下図の斜線部}$ が気体が外部にした仕事である。



この等温過程で吸収した熱量は気体が外部にした仕事に等しく，$Q = \boxed{7：\ RT_{\mathrm{H}}\log\dfrac{V_{\mathrm{D}}}{V_{\mathrm{C}}}}$

(3)　以上から正味の仕事は

$W_{\mathrm{total}} = RT_{\mathrm{H}}\log\dfrac{V_{\mathrm{D}}}{V_{\mathrm{C}}} + RT_{\mathrm{L}}\log\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}} - \dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}}) + \dfrac{3}{2}R(T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}}) = \boxed{8：\ R\left(T_{\mathrm{H}}\log\dfrac{V_{\mathrm{D}}}{V_{\mathrm{C}}} + T_{\mathrm{L}}\log\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}}\right)}$ と

計算される。

ここで断熱過程より $T_{\mathrm{H}}V_{\mathrm{C}}^{\gamma-1} = T_{\mathrm{L}}V_{\mathrm{B}}^{\gamma-1}$ と $T_{\mathrm{H}}V_{\mathrm{D}}^{\gamma-1} = T_{\mathrm{L}}V_{\mathrm{A}}^{\gamma-1}$ が成立。よって $\dfrac{V_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{D}}} = \dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}}$ を用いると

$W_{\mathrm{total}} = R(T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}})\log\dfrac{V_{\mathrm{D}}}{V_{\mathrm{C}}}$ と変形できる。熱効率の定義に代入すると $e = \boxed{9：\ \dfrac{T_{\mathrm{H}} - T_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{H}}}}$ となる。

$T_{\mathrm{H}} = 373[\mathrm{K}]$ と $T_{\mathrm{L}} = 293[\mathrm{K}]$ を代入すると $e = \boxed{10：\ 2.1\times10^{-1}}$ となる。

講評

Ⅰ［力学：遠心力・単振動・摩擦力］（やや難）遠心力が作用する系での力学の総合問題．問題冒頭で与えられている針金の形状を示す式を微分して，接線の傾きを求める必要がある．解答に使う文字の指定がなく分かりにくい問題もあった．数学的には平易であるが，物理の問題中で微分をすることに抵抗がある受験生もいただろう．メビオでは，近大直前対策で回転する系での力のつりあい，単振動を扱った．問題文中で与えられている三角関数の公式は，使わなくても解答可能である．

Ⅱ［電磁気：電磁誘導・交流］（標準）前半はシンプルな交流発電機の問題．後半は交流回路の問題．後半の電源に前半の起電力を用いることがわかり辛い出題だったので，後半で手が止まってしまった受験生も多かっただろう．いずれも標準的な出題内容であり，時間をかけずに完答したい．特に $\overline{P_0}$ と $\overline{P_1}$ が等しくなることはすぐに見抜き，作業時間を節約したいところ．

Ⅲ［熱力学：気体の状態変化・熱サイクル］（標準）昨年度前期に引き続き熱サイクルの問題．等温変化時の気体のする仕事については扱いなれていない受験生も多いと思うが，問題文中に式で与えられている．問題文の誘導が丁寧なので，それに従っていけば正答が得られるが，登場する文字が多く，落ち着いて作業ができたかどうかで点差がついたのでは？

各問題それぞれを見れば標準的な出題内容ともいえるが，理科 2 科目で 120 分ということを考えると，かなり効率よく作業をする必要がある．目標は，70%