平成 29 年度入学者選抜試験問題（前期日程）
物理基礎・物理　〔解答例〕

問題 1

(1)　運動エネルギーKは A の初期位置での位置エネルギーと等しいため，

$$K = 2mg \cdot 3h = \frac{1}{2} 2mv_0^2 = mv_0^2$$

$$K = 6mgh, \qquad v_0 = \sqrt{6gh}$$

(2)　質点 A と糸を単振り子とみなせば周期は$2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$　。衝突までの時間は 1/4 周期であるので

$$\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$$

張力は遠心力と重力の和とつり合うから$\frac{2mv_0^2}{l} + 2mg = 2mg(\frac{6h}{l} + 1)$

(3)　運動量保存の法則より$2mv_0 = 2mv_1 + mv_2$
反発係数の公式より$e_1 = -\frac{v_1 - v_2}{v_0}$
上記連立 1 次方程式を簡略化すると，$\left.\begin{aligned} 2v_0 &= 2v_1 + v_2 \\ e_1 v_0 &= -v_1 + v_2 \end{aligned}\right\}$

$$2v_0 - e_1 v_0 = 3v_1 \text{より，} \ v_1 = \frac{(2 - e_1)}{3} v_0$$

$$2v_0 + 2e_1 v_0 = 3v_2 \text{より，} \ v_2 = \frac{2(1 + e_1)}{3} v_0$$

(4)　A と衝突直後の B の運動エネルギーは C と衝突直前の B の運動エネルギー＋位置エネルギーであるから，

$$\frac{1}{2} mv_2^2 = \frac{1}{2} mv_3^2 + mg \cdot 4h$$

変形して$v_3^2 = v_2^2 - 8gh$より，$v_3 = \sqrt{v_2^2 - 8gh}$

(5)　質点 C との衝突直後の B の速さを v_4，質点 C の速さを v_5 とすると(3)と同様に
運動量保存の法則より$mv_3 = mv_4 + mv_5$
反発係数の公式より$e_2 = -\frac{v_4 - v_5}{v_3}$
上記連立 1 次方程式を簡略化すると，$\left.\begin{aligned} v_3 &= \ \ v_4 + v_5 \\ e_2 v_3 &= -v_4 + v_5 \end{aligned}\right\}$

$$v_5 = \frac{(1 + e_2)}{2} v_3$$

質点 C の最大高さを h_c とすると

$$mgh_c = \frac{1}{2}mv_5^2$$

$$h_c = \frac{v_5^2}{2g} = \frac{(1+e_2)^2}{2g \cdot 4}v_3^2 = \frac{(1+e_2)^2}{8g}(v_2^2 - 8gh) = \frac{(1+e_2)^2}{8g}\left\{\frac{4(1+e_1)^2 \cdot 6gh}{9} - 8gh\right\}$$

$$= \frac{(1+e_2)^2\{(1+e_1)^2 - 3\}}{3}h$$

問題２

（１）　R_1に流れる電流もI_1〔A〕だから，R_1での電位降下はR_1I_1となる。

よって，$\mathbf{E_1 = R_1I_1 + V_1}$

（２）　（1）で求めた式に，$R_1=5.0\ \Omega$，$E_1=17\ V$を代入すると，$17=5I_1+V_1$（$I_1=-0.2V_1+3.4$）となる。

この直線と電流-電圧特性のグラフとの交点を求めると，$V_1=10$ V，$I_1=$**1.4 A**となる。

（３）　R_1とR_2に流れる電流をI_4〔A〕，I_3〔A〕とすると，$I_4=I_2+I_3$。また，R_2とLは並列接続なので,

$V_2=R_2I_3$となるから，$I_3=V_2\div R_2$。

回路全体の電位降下に関する式は，$E_1=R_1I_4+V_2=R_1(I_2+I_3)+V_2$より，

$$\boldsymbol{E_1}=R_1(I_2+I_3)+V_2=R_1I_2+\frac{R_1}{R_2}V_2+V_2=\boldsymbol{R_1I_2+\frac{R_1+R_2}{R_2}V_2}$$

（４）　（3）で求めた式に，$R_1=5.0\ \Omega$，$R_2=2.5\ \Omega$，$E_1=17\ V$を代入すると，

$$17=5I_2+\frac{5.0+2.5}{2.5}V_2=5I_2+3V_2$$　（$I_2=-0.6V_2+3.4$）となる。

この直線と電流-電圧特性のグラフとの交点を求めると，$V_2=4.0$ V，$I_2=1.0$ Aとなる。

よって，回路全体での電流の大きさは，$I_4=I_2+I_3=1.0+4\div2.5=1.0+1.6=2.6$ A。

だから，求める消費電力Pは，$P=I_4\times E_1=2.6\times17=$**44.2 W**

（５）　スイッチSが開いているので，電源→L→A→R_1→電源の回路も，電源→R_1→B→L→電源の回路のどちらの回路も，E_1をE_2にすれば，（1）と同様の関係式が成り立つ。

⇒電球Lに流れる電流をI_5〔A〕，電圧をV_5〔V〕とすれば，$E_2=R_1I_5+V_5\rightarrow7=5I_5+V_5$となる。この直線と電流-電圧特性のグラフとの交点を求めると，$V_5=3.0$ V，$I_5=0.80$ Aなので，Aの電位はE_2-3〔V〕，Bの電位は$E_2-5\times0.8=E_2-4$〔V〕。

よって，求めるAB間の電位差は（E_2-3）－（E_2-4）＝1だから，**1.0 V**。

（６）　検流計Gに電流が流れないのは，AB間の電位差が0のときだから，電球Lに流れる電流をI_6〔A〕，電圧をV_6〔V〕とすれば，$V_6=R_1I_6\rightarrow V_6=5I_6\rightarrow I_6=0.2V_6$となる。

この直線と電流-電圧特性のグラフとの交点を求めると，$V_6=6$ V，$I_6=1.2$ Aとなるので，電源E_2の電圧は，$E_2=R_1I_6+V_6=2V_6=2\times6=$**12 V**となる。

（電源E_2の電圧が0〔V〕のときも検流計Gには電流が流れないが，そのことについて説明がなされていれば点数を与えることとする。）

問題３

(1)　Ｇの内部エネルギーは絶対温度に正比例し，絶対温度は圧力と体積の積に正比例する。圧力と体積の積が減少する変化を図から求めればよい。

答　A→BとC→D

(2)　熱力学第一法則 Q=w+u を用いて考える。
（ここでＱはＧが吸収する熱量Ｑ 。w は外にする仕事（＝圧力×体積増加量)。u は内部エネルギーの増加量である。）
過程Ｂ→Ｃ，Ｄ→Ｅはｗ＞０，ｕ＞０なので、Ｇが吸収する熱量Ｑ＞０。
（過程Ａ→Ｂ，Ｃ→Ｄはｗ＝０，ｕ＜０なのでＧが吸収する熱量Ｑ ＜０）

答　B→CとD→E

(3)　A と C は温度が等しいので，圧力×体積が同じ値になる。したがって C の体積 ＝8.0 / 2.5 [m^3]。
Ｇが外にした仕事Ｗは、Ｂ→ＣとＤ→Ｅそれぞれの過程で外にする仕事（＝圧力×体積増加量）の和である：

$W = (2.5\times10^5)\times\{(8.0 / 2.5)-2\} + (1.0\times10^5)\times\{4.0-(8.0 / 2.5)\}$

$=3.8\times10^5$

答　3.8×10^5 [J]

問題４

(1)　f ：ドップラー効果による振動数，f_0 ：音源の振動数，V ：音速，v ：音源の移動速さとすると，

$$\frac{f}{f_0}=\frac{V}{V-v}$$ より，$$\frac{403}{400}=\frac{340}{340-v}$$　従って，$v \approx 2.53\cdots$ m/s

答　2.5 m/s

(2)　単振動を等速円運動の投影と見なし，v ：等速円運動の速さ，r ：円の半径，ω ：角速度，T ：周期，とすると，

$$v=r\omega=\frac{l}{2}\frac{2\pi}{T}=\frac{l\pi}{T}$$ より，$$l=\frac{vT}{\pi}$$　従って，$$l=\frac{2.53\cdots\times 2}{\pi}=1.61\cdots$$ m

答　1.6 m

(3)　$f_{近}$ ：音源が近づくときのドップラー効果による振動数，$f_{遠}$ ：音源が遠ざかるときのドップラー効果による振動数とすると，

$$f_{近}=\frac{340}{340-1}400=401.17\cdots$$ Hz，$$f_{遠}=\frac{340}{340+1}400=398.82\cdots$$ Hz

従ってうなりの回数は，$401.17\cdots-398.82\cdots=2.35\cdots$ Hz

答　2 回