第1問

Ⅰ　ア　$-mg\ell\cos\theta_0$　イ　$\dfrac{1}{2}mu^2-mg\ell\cos\theta$　ウ　$\sqrt{2g\ell(\cos\theta-\cos\theta_0)}$

Ⅱ(1)　運動量保存則より，$(m_A+m_B)v_0=m_Av_A$　$\therefore\ v_A=\dfrac{m_A+m_B}{m_A}v_0$

(2)　力学的エネルギー保存則より，

$$-mg\ell\cos\theta_0=\frac{1}{2}mv_0^2-mg\ell\quad\therefore\ v_0=\sqrt{2g\ell(1-\cos\theta_0)}$$

A の滞空時間を t とすると，$h=\dfrac{1}{2}gt^2$　$\therefore\ t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

求める距離は，$GG'=v_At=\dfrac{2(m_A+m_B)}{m_A}\sqrt{h\ell(1-\cos\theta_0)}$

数値代入して，$GG'=2\times2\times\sqrt{2.0\times0.30\times(1-0.85)}=1.2\ \mathrm{m}$

Ⅲ(1)　力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}mv'^2-mg(\ell-\Delta\ell)\cos\theta'=-mg(\ell-\Delta\ell)\cos\theta''$$

$$\therefore\quad\frac{1}{2}mv'^2-mg(\ell-\Delta\ell)\left\{1-\frac{(\theta')^2}{2}\right\}\fallingdotseq-mg(\ell-\Delta\ell)\left\{1-\frac{(\theta'')^2}{2}\right\}$$

$$\therefore\quad(\theta'')^2=(\theta')^2+\frac{v'^2}{g(\ell-\Delta\ell)}$$

(2)　面積速度一定（与式）より，$v'=\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}v$

力学的エネルギー保存則より，$-mg\ell\cos\theta_0=\dfrac{1}{2}mv^2-mg\ell\cos\theta'$

$$\therefore\ -mg\ell\left(1-\frac{\theta_0^2}{2}\right)=\frac{1}{2}mv^2-mg\ell\left\{1-\frac{(\theta')^2}{2}\right\}\quad\therefore\ v^2=gl\{\theta_0^2-(\theta')^2\}$$

(1)の答に v' と v^2 を順次代入して，$(\theta'')^2=\left(\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}\right)^3\theta_0^2-\left\{\left(\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}\right)^3-1\right\}(\theta')^2$

(3)　(2)より，　$\theta'=0$ のとき，θ'' は最大値 $\left(\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}\right)^{\frac{3}{2}}\theta_0$　となる。

(4)　サイクル１回ごとに，角度振幅が $\left(\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}\right)^{\frac{3}{2}}$ 倍になるから，$\theta_n=\left(\dfrac{\ell}{\ell-\Delta\ell}\right)^{\frac{3}{2}n}\theta_0$

(5)　上式において，$n=N$ のとき，$\theta_N>2\theta_0$ より，$\left(1-\dfrac{\Delta\ell}{\ell}\right)^{-\frac{3}{2}N}=(1-0.1)^{-\frac{3}{2}N}>2$

両辺の対数をとって，$-\dfrac{3}{2}N\log_{10}0.9>\log_{10}2$　$\therefore\ N>\dfrac{2\times0.30}{3\times0.046}\fallingdotseq4.3$

N は自然数だから，$N=5$

第2問

I　(1) 板A，B間の電場の強さは，$\dfrac{Q}{\varepsilon S}$，電位差は，$V=\dfrac{Q}{\varepsilon S}d$　∴　$C_0=\dfrac{Q}{V}=\underline{\dfrac{\varepsilon S}{d}}$

(2) 板A，C，Bからなるコンデンサーの電気容量は，$\dfrac{\varepsilon S}{d-x}$なので，

静電エネルギーは，$\underline{\dfrac{\varepsilon SV^2}{2(d-x)}}$

(3) 板A，C間の距離が$\dfrac{d}{4}$のときの電気容量は，$\dfrac{4\varepsilon S}{3d}$なので，コンデンサーの静電エネルギー変化を$\Delta U$とすると，$\Delta U=-\dfrac{\varepsilon SV^2(4x-d)}{6d(d-x)}$

電源がした仕事は，$W_0=-\dfrac{\varepsilon SV^2(4x-d)}{3d(d-x)}$

エネルギー保存より，$W=\Delta U-W_0=\underline{\dfrac{\varepsilon SV^2(4x-d)}{6d(d-x)}}$　　また，$\dfrac{W}{W_0}=\underline{-\dfrac{1}{2}}$〔倍〕

II　(1) 板A，C，Dを導線で接続したときDの電荷は，$2C_0V$，導線aを外したときの回路の式，電荷保存はそれぞれ，$V-\dfrac{Q_1}{4C_0}-\dfrac{Q_2}{2C_0}=0$，　$-Q_1+Q_2=2C_0V$

よって，　$Q_1=\underline{0}_{ア}\times C_0V$　　$-Q_2=-\underline{2}_{イ}\times C_0V$

(2) 板Bを電位の基準として，板C，Dの電位をyとすると，電荷保存は，
$4C_0(y-\alpha V)+2C_0(y-0)=2C_0V$

∴　$y=\dfrac{2\alpha+1}{3}V$

よって，$V_1=\alpha V-y=\underline{\dfrac{\alpha-1}{3}V}$　　$V_2=y-0=\underline{\dfrac{2\alpha+1}{3}V}$

III　(1) 任意の時刻において，板A,Dの電荷を，Q_3，Q_4として，回路の式，電気量保存はそれぞれ，$\dfrac{Q_3}{4C_0}+\dfrac{Q_4}{2C_0}+\left(-L\dfrac{dI}{dt}\right)=0$　$-Q_3+Q_4=2C_0V$　　また，$I=-\dfrac{dQ_3}{dt}$

3式より，$\dfrac{d^2Q_3}{dt^2}=-\dfrac{3}{4LC_0}\left(Q_3+\dfrac{4}{3}C_0V\right)$　・・・・・①

問題文の式より，Tは電気振動の周期なので，$T=\underline{4\pi\sqrt{\dfrac{C_0L}{3}}}$

(2)　コイルの両端にかかる電圧は板 A，B 間の電圧に等しく，$t=0$ のとき，$\underline{2V}$

問題文の式より，$2V = LI_0\dfrac{2\pi}{T}$　　∴　$I_0 = \underline{\dfrac{TV}{\pi L}}$

(3) 回路の式は，$\dfrac{Q_3}{4C_0}+\dfrac{Q_4}{2C_0}=0$　∴　$Q_3 = \underline{-2}$ ゥ $\times Q_4$

①式より，時刻 t における板 A の電荷は，$Q_3 = -\dfrac{4}{3}C_0V + \dfrac{8}{3}C_0V\cos\dfrac{2\pi}{T}t$

$Q_3 = 0$ となる時刻は，$t' = \underline{\dfrac{1}{6}T}$ ，$\underline{\dfrac{5}{6}T}$

(4) $E_1 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\left(\dfrac{4}{3}C_0V\right)^2}{4C_0}+\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\left(\dfrac{10}{3}C_0V\right)^2}{2C_0} = \underline{3C_0V^2}$

$t=\dfrac{T}{4}$ において，(3) の結果と電荷保存，$-Q_3+Q_4 = 2C_0V$ より，

$Q_3 = -\dfrac{4}{3}C_0V$ ，$Q_4 = \dfrac{2}{3}C_0V$

よって，$E_2 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\left(\dfrac{4}{3}C_0V\right)^2}{4C_0}+\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\left(\dfrac{2}{3}C_0V\right)^2}{2C_0} = \underline{\dfrac{1}{3}C_0V^2}$

$t=\dfrac{T}{4}$ において，電流は最大値 I_0 であるから，エネルギー保存則は，$E_1 = E_2 + \dfrac{1}{2}LI_0{}^2$

∴　$\Delta E = E_2 - E_1 = \underline{-\dfrac{1}{2}LI_0{}^2}$

(5) $t=\dfrac{T}{4}$ において，α の値に依らず，$Q_3 = -\dfrac{4}{3}C_0V$，$-Q_4 = -\dfrac{2}{3}C_0V$ となる。

また，Q_3，$-Q_4$ の振動の周期は T となる。以上より，正しいグラフは，④

第3問

Ⅰ (1)　$\sin\theta = \underline{n\sin\phi}$

(2)　$p = \underline{\dfrac{Q}{c}\Delta t}$

(3)　$\Delta p = \underline{2p\sin(\theta-\phi)}$　<u>CからOの向き</u>

(4)　$f = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} = \dfrac{2p\sin(\theta-\phi)}{\Delta t} = \underline{\dfrac{2Q}{c}\sin(\theta-\phi)}$　<u>OからCの向き</u>

(5)　与えられた近似を用いると $\theta \fallingdotseq n\phi$ なので　$f \fallingdotseq \dfrac{2Q}{c}(n-1)\phi \fallingdotseq \underline{2(n-1)\dfrac{Q}{c}\times\dfrac{d}{r}}$

Ⅱ (1)　図3−3の場合，光子の運動量変化がないので<u>力は働かない</u>

(2)　Ⅰの結果より，光からの力は，微粒子を光線の方向に引き寄せる向きに働く。対称性より，2本の光から受ける力の合力は　<u>上</u>　に働く

(3)　光線が入射する点をA，点OからAFに下ろした垂線の足をEとする。∠OFE＝α とおくと
$f' = 2f\sin\alpha$ である。一方 $nd \fallingdotseq \mathrm{OE} = \Delta y\sin\alpha$　なので，
$f' \fallingdotseq 2\times 2(n-1)\dfrac{Q}{c}\times\dfrac{d}{r}\times\sin\alpha = \dfrac{4(n-1)}{n}\dfrac{Q}{c}\sin^2\alpha\times\dfrac{\Delta y}{r}$ である。ところで，Δy が微小であることから，$\sin\alpha$ は Δy によらない定数と見なすことができる。したがって f' は Δy に比例する。　<u>イ</u>

Ⅲ (1)　$h = \underline{\Delta x\cos\alpha}$，$h = r\sin\theta$，$d = r\sin\phi$ より，$d = \dfrac{h}{n} = \underline{\dfrac{\Delta x\cos\alpha}{n}}$

(2)　$f' = 2f\cos\alpha \fallingdotseq \underline{\dfrac{4(n-1)}{n}\dfrac{Q}{c}\cos^2\alpha\times\dfrac{\Delta x}{r}}$

(3)　$f_0 = f' = \dfrac{4\times0.5\times5\times10^{-3}}{1.5\times3\times10^{8}\times10^{-5}}\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)^2\times10^{-6} \fallingdotseq \underline{1\times10^{-12}\ \mathrm{N}}$