第１問

Ⅰ(1) X の速さを v として，運動方程式は，$4m\dfrac{v^2}{\frac{a}{2}} = 2qvB$

よって，小窓から集められる X の運動エネルギーは，$\dfrac{1}{2}\cdot 4mv^2 = \underline{\dfrac{(qBa)^2}{8m}}$

(2) X が小窓に達するまでの時間を t_0 とすると，$t_0 = \dfrac{\pi\cdot\frac{1}{2}a}{v} = \dfrac{2\pi m}{qB}$

求める条件は，$\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t_0}{T}} = \left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{2\pi m}{qBT}} \geqq f$　　$\therefore$　$B \geqq \underline{\dfrac{2\pi m}{qT\log_2\left(\dfrac{1}{f}\right)}}$

(3)　分裂における運動量保存則とエネルギー保存則は,

$0 = mv_{\mathrm{A}} - 3mv_{\mathrm{B}}$,　　$\Delta m\cdot c^2 = \dfrac{1}{2}m{v_{\mathrm{A}}}^2 + \dfrac{1}{2}\cdot 3m{v_{\mathrm{B}}}^2$

２式より，$v_{\mathrm{A}} = \underline{c\sqrt{\dfrac{3\Delta m}{2m}}}$　　$v_{\mathrm{B}} = \underline{c\sqrt{\dfrac{\Delta m}{6m}}}$

Ⅱ(1)　(ア) X の加速度は，$\dfrac{2qE}{4m} = \dfrac{{v_{\mathrm{A}}}^2}{L}$　であり，分裂地点 x_0 における速さが αv_{A} なので,

$$\alpha v_{\mathrm{A}} = \sqrt{2\frac{{v_{\mathrm{A}}}^2}{L}x_0} = \sqrt{\frac{2x_0}{L}}\cdot v_{\mathrm{A}} \qquad \therefore\quad \alpha = \underline{\sqrt{\frac{2x_0}{L}}}$$

(イ)　求める時間は，$\dfrac{\alpha v_{\mathrm{A}}}{\frac{{v_{\mathrm{A}}}^2}{L}} = \underline{\dfrac{\alpha L}{v_{\mathrm{A}}}}$

(ウ)　分裂直後の A の初速度の x 成分は，$(\cos\theta_0 + \alpha)v_{\mathrm{A}}$　で，これが負になる条件は，$\cos\theta_0 < \underline{-\alpha}$

(エ) $-\alpha < -1$　であれば転回軌道は実現しないので，(ア) を用いて，$x_0 > \underline{\dfrac{L}{2}}$

(オ) A が $x<0$　の領域に入らない条件は，エネルギー保存則より,

$$\frac{1}{2}m\left\{(\cos\theta_0 + \alpha)v_{\mathrm{A}}\right\}^2 - qEx_0 < 0$$

E を代入して，　$\cos\theta_0 > \underline{-\left(1+\sqrt{2}\right)\alpha}$

(カ) (オ) より，$-\left(1+\sqrt{2}\right)\alpha < -1$　　これより，$x_0 > \underline{\dfrac{1}{\left(2+\sqrt{2}\right)^2}L}$

(2) 測定される運動エネルギーK を，エネルギー保存則から考えると，

$x=x_0$ で分裂した直後の速度成分が$(1+\alpha)v_A$ の場合，

$$K=\left\{-2\left(\sqrt{\frac{x_0}{L}}-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2+6\right\}\cdot\frac{1}{2}mv_A{}^2$$

$0\leqq x_0\leqq L$ において，　$\frac{5}{2}mv_A{}^2\leqq K\leqq 3mv_A{}^2$

$x=x_0$ で分裂した直後の速度成分が$(-1+\alpha)v_A$ の場合，

$$K=\left\{-2\left(\sqrt{\frac{x_0}{L}}+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2+6\right\}\cdot\frac{1}{2}mv_A{}^2$$

（1）（カ）の結果を踏まえ，検出器に到達する状況を考えると，

$\frac{1}{\left(2+\sqrt{2}\right)^2}L\leqq x_0\leqq L$ において，　$\frac{3-2\sqrt{2}}{2}mv_A{}^2\leqq K\leqq 2mv_A{}^2$

以上より，$\underline{\frac{3-2\sqrt{2}}{2}mv_A{}^2\leqq K\leqq 2mv_A{}^2}$　，$\underline{\frac{5}{2}mv_A{}^2\leqq K\leqq 3mv_A{}^2}$

(3)　（2）の結果より，$x=L$に近い所で崩壊したほうが運動エネルギーは小さくなる。よって，Tが$\frac{L}{v_A}$に比べて<u>はるかに長い場合の方</u>が，運動エネルギーが小さい原子核の割合は多い。

第２問

Ⅰ(1)　導線１巻が単位時間あたりに横切る磁束は$2\pi r v_0 B_0$なので，

$V_1 = \underline{2\pi N r v_0 B_0}$

(2)　$V(z) = V_L + V_L \sin(kz)$なので，極大から次の極大までの$z$の差$\Delta z$は，$\Delta z = \dfrac{2\pi}{k}$

それに対応する，光の経路は往復なので$2\Delta z = \lambda$である。$\lambda = \dfrac{c}{f}$なので，

$k = \underline{\dfrac{4\pi f}{c}}$

(3) 求める力の合力をF，導線に流れる電流をiとすると，$F = (m+M)g - T - 2\pi N r i B_0$

一方，$i = \dfrac{1}{R}\{A V_L \sin(kz) + 2\pi N r v B_0\}$

$F = \underline{(m+M)g - T - \dfrac{2\pi N r B_0}{R}\{A V_L \sin(kz) + 2\pi N r v B_0\}}$

(4) $v = 0$，$T = Mg$，$F = 0$，$\sin(kz_1) \fallingdotseq kz_1$と見なせるので，

$V_2 = iR = A V_L k z_1$，$mg = \dfrac{2\pi N r B_0}{R} A V_L k z_1 = \dfrac{2\pi N r B_0}{R} V_2$

，　$\therefore$　$z_1 = \underline{\dfrac{mgR}{2\pi N r B_0 A V_L k}}$，$V_2 = \underline{\dfrac{mgR}{2\pi N r B_0}}$

(5) Ⅰ(1)(4)より，$V_2 = \dfrac{m g v_0 R}{V_1}$　$\therefore$　$m = \underline{\dfrac{V_1 V_2}{g R v_0}}$

Ⅱ(1)　$V = \underline{R_H I_1 - R I_2}$，$H = \underline{|n_1 I_1 - n_2 I_2 - n_3 I_3|}$

(2)　R'における電圧降下から$V'_A = R' I_3$，

$\dfrac{R' I_3}{A} = V = R_H I_1 - R I_2$　$\therefore$　$\dfrac{R_H}{R} = \dfrac{I_2}{I_1} + \dfrac{R' I_3}{A R I_1}$

$H = 0$より，$\dfrac{I_2}{I_1} = \dfrac{n_1}{n_2} - \dfrac{n_3 I_3}{n_2 I_1}$なので，ソレノイド

$\dfrac{R_H}{R} = \underline{\dfrac{n_1 I_1 - n_3 I_3}{n_2 I_1}}$ア $+ \dfrac{1}{A} \times \underline{\dfrac{R' I_3}{R I_1}}$イ

(3)　与えられた近似式より，$R \fallingdotseq \dfrac{n_2 I_1}{n_1 I_1 - n_3 I_3} R_H$

これにn_1，n_2，n_3および表２－１の測定値を代入して，

$R = \dfrac{10 \times 540}{1290 \times 540 - 129 \times 400} \times 12.9 \times 10^3 = \underline{108\,\Omega}$

相対誤差は，

$\dfrac{108 - 106}{106} \times 100 = 1.8\cdots$　　$\underline{2\%}$

第3問

Ⅰ⑴ 体積の変化をΔV，ピストンの断面積をA，外力を$F_{外力}$とすると

$$\Delta V=\frac{4}{3}\pi r^2\cdot 3\Delta r=4\pi r^2\cdot\Delta r$$

力のつりあい：$pA=p_0A+F_{外力}$　より，　$F_{外力}=(p-p_0)A$

よって，要した仕事$\Delta W_{外}$は，

$$\Delta W_{外}=(p-p_0)\cdot\Delta V=\underline{4\pi r^2(p-p_0)\cdot\Delta r}$$

⑵ 表面積の変化は，$\Delta S=4\pi r\cdot 2\Delta r=8\pi r\cdot\Delta r$

要した仕事は，$\Delta W=\sigma\cdot\Delta S=\underline{8\pi\sigma r\cdot\Delta r}$

⑶ $\Delta W_{外}=\Delta W$ より，　$8\pi\sigma r\cdot\Delta r=4\pi r^2(p-p_0)\cdot\Delta r$　　$p=\underline{p_0+\dfrac{2\sigma}{r}}$

Ⅱ⑴ ア：②　　イ：④

⑵ 左右の気体の物質量を各々n_{A}，n_{B}，気体定数をR，一定の温度をTとして，状態方程式は

変化前：
$$\begin{cases}\left(p_0+\dfrac{2\sigma}{r_{\mathrm{A}}}\right)\cdot\dfrac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{A}}}^3=n_{\mathrm{A}}RT\\[2ex]\left(p_0+\dfrac{2\sigma}{r_{\mathrm{B}}}\right)\cdot\dfrac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{B}}}^3=n_{\mathrm{B}}RT\end{cases}$$

変化後：
$$\left(p_0+\frac{2\sigma}{r_{\mathrm{C}}}\right)\cdot\frac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{C}}}^3=(n_{\mathrm{A}}+n_{\mathrm{B}})RT$$

より，

$$\left(p_0+\frac{2\sigma}{r_{\mathrm{A}}}\right)\cdot\frac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{A}}}^3+\left(p_0+\frac{2\sigma}{r_{\mathrm{B}}}\right)\cdot\frac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{B}}}^3=\left(p_0+\frac{2\sigma}{r_{\mathrm{C}}}\right)\cdot\frac{4}{3}\pi {r_{\mathrm{C}}}^3$$

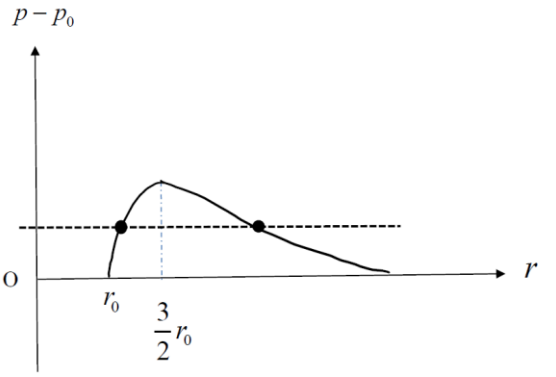
よって，

$$\sigma=\underline{\frac{p_0}{2}\cdot\frac{{r_{\mathrm{C}}}^3-{r_{\mathrm{A}}}^3-{r_{\mathrm{B}}}^3}{{r_{\mathrm{A}}}^2+{r_{\mathrm{B}}}^2-{r_{\mathrm{C}}}^2}}$$

Ⅲ⑴ $\sigma(r)=a\dfrac{r-r_0}{r^2}$

半径rでの圧力$p(r)$は，$p(r)=p_0+\dfrac{2\sigma(r)}{r}=p_0+2a\dfrac{r-r_0}{r^3}$

$p(r)-p_0$ のグラフは右のようになる。



グラフは $\frac{3}{2}r_0$ で極大となる。

同一の圧力となるような，異なる２つの半径 r が存在すればよい。また，手でしぼませた後，変化が後戻りしないことが必要なので，

$$r_D > \frac{3}{2}r_0$$

(2) 温度を上げると全体の体積が増えることになるので，平衡状態の圧力を表すグラフ上の水平線の位置は下がる。よって，圧力は低くなる。

(3) ⑥