1

(a) $-\dfrac{\mu mg}{k}$

(b) 力のつり合う位置で加速度が０となるので，

$$k|x_1| = \frac{2}{3}\mu mg \qquad x_1 < 0 \quad \text{なので，} \qquad x_1 = -\frac{2\mu mg}{3k}$$

(c) 運動の中心は $x = x_1$，振幅は $x_1 - x_0$ であり，運動の右端が $x = 0$ を越えればよいので，
$x_1 + (x_1 - x_0) \geqq 0$ より，

$$x_0 \leqq -\frac{4\mu mg}{3k}$$

(d) 落下にかかる時間を t として，

水平方向の変位：$L = v_{x0}t$　　鉛直方向の変位：$h = \dfrac{1}{2}gt^2$

２式から t を消去して，

$$v_{x0} = L\sqrt{\frac{g}{2h}}$$

(e)

(ア) $\dfrac{\Delta V}{V}$　(イ) $\dfrac{3}{2}nR$　(ウ) $-\dfrac{2}{3}\cdot\dfrac{p}{nR}$　(エ) $-\dfrac{5}{3}\cdot\dfrac{p}{V}$

(f) 力のつり合い

$p_1S = p_0S + Mg$　(ただし，$S = \pi r^2$)

より，

$$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{\pi r^2}$$

(g) 衝突直後の小球の速度を u として，

運動量保存則より，$m(-\sqrt{2gh}) = mu + Mv_y{}'$

弾性衝突ゆえ，　$(-1)(-\sqrt{2gh} - 0) = u - v_y{}'$

以上より　$v_y{}' = -\dfrac{2m}{m+M}\sqrt{2gh}$

(h) $F_y = (p_1 + \Delta p)S - p_0 S - Mg$ と書けるが，問(f)の結果を用いて $F_y = \Delta p \cdot S$ となる。

問(e)の式(2)と $V = Sl$，$\Delta V = Sy$，$S = \pi r^2$ を用いて，

$$F_y = \Delta p \cdot S = -\frac{5}{3} \cdot \frac{p_1 S}{V} \cdot \Delta V = -\frac{5}{3} \cdot \frac{p_1 S}{Sl} \cdot yS = -\frac{5}{3} \cdot \frac{\pi r^2 p_1}{l} \cdot y$$

$$F_y = -\frac{5}{3} \cdot \frac{\pi r^2 p_1}{l} \cdot y$$

(i) エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2} k_1 A_1^{\ 2} = \frac{1}{2} M v_y'^2$$

よって，　$A_1 = \left| v_y' \right| \sqrt{\frac{M}{k_1}}$

2

(a) キルヒホッフの第２法則：$V_E = I_{Ra}R + V_D$

ダイオードの特性：$I_{Ra} = \dfrac{V_D - V_T}{r}$

以上より，$I_{Ra} = \underline{\dfrac{V_E - V_T}{r + R}}$

電流が流れるためには，$V_D > V_T$ でなければならないので，$V_E > V_T$

$V_{Ea} = \underline{V_T}$

(b) ダイオード D₁ に流れる電流を I_1，電圧を V_1，ダイオード D₂ に流れる電流を I_2，電圧を V_2，抵抗に流れる電流を I_{Ra} とする。

キルヒホッフの第１法則：$I_1 = I_{Ra} + I_2$　　キルヒホッフの第２法則：$V_E = V_1 + V_2$

ダイオード D₁ の特性：$I_1 = \dfrac{V_1 - V_T}{r}$　　ダイオード D₂ の特性：$I_2 = \dfrac{V_2 - V_T}{r}$

オームの法則：$I_{Ra} = \dfrac{V_2}{R}$

以上より，$I_{Rb} = \dfrac{V_E}{2R + r}$　　$V_2 = \dfrac{R}{2R + r}V_E$

また，ダイオード D₂ に電流が流れる条件は $V_2 > V_T$ より，$V_E > \dfrac{2R + r}{R}V_T$

$I_{Rb} = \underline{\dfrac{V_E}{2R + r}}$　　$V_{Eb} = \underline{\dfrac{2R + r}{R}V_T}$

(c)　$V_{2a} = \underline{\dfrac{C_1}{C_1 + C_2}V_E}$　　$V_{2c} = \underline{V_E - V_T}$　　$V_{Ec} = \underline{\dfrac{C_1 + C_2}{C_2}V_T}$

(d) 電荷保存則　$(C_1 + C_2)V_{2d} = (-C_1V_T) + C_2(V_E - V_T)$

$V_{2d} = \underline{\dfrac{C_2}{C_1 + C_2}V_E - V_T}$

(e) $V_{\mathrm{D}}(t)=\underline{(Blg\sin\theta\cos\theta)t}$

(f) $V_{\mathrm{D}}(t_1)=V_{\mathrm{T}}$ より，$(Blg\sin\theta\cos\theta)t_1=V_{\mathrm{T}}$

$$t_1=\underline{\frac{V_{\mathrm{T}}}{Blg\sin\theta\cos\theta}}$$

(g) 力のつり合い　$mg\sin\theta=IBl\cos\theta$　より，$I=\dfrac{mg}{Bl}\tan\theta$

ダイオードについて，$I=\dfrac{V_{\mathrm{D}g}-V_{\mathrm{T}}}{r}$

以上より，$V_{\mathrm{D}g}=\underline{\dfrac{mgr}{Bl}\tan\theta+V_{\mathrm{T}}}$

(h) 誘導起電力が $V_{\mathrm{D}g}$ のときの導体棒の速さ u は，$V_{\mathrm{D}g}=Blu\cos\theta$ より $u=\dfrac{V_{\mathrm{D}g}}{Bl\cos\theta}$

このときの運動エネルギーは，$K=\dfrac{1}{2}mu^2=\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{V_{\mathrm{D}g}}{Bl\cos\theta}\right)^2$

位置エネルギーの減少分を U として，エネルギー保存則より，

$$U=K+W\qquad W=U-K=mgL\sin\theta-\frac{1}{2}m\left(\frac{V_{\mathrm{D}g}}{Bl\cos\theta}\right)^2$$

$$W=\underline{mgL\sin\theta-\frac{1}{2}m\left(\frac{V_{\mathrm{D}g}}{Bl\cos\theta}\right)^2}$$

3

(a) $a\sin\theta + a\sin\theta' = N\lambda$　より，　$\underline{\sin\theta' = \dfrac{\lambda}{a}N - \sin\theta}$

(b) $a\cos\theta - a\cos\theta' = M\lambda$　より，　$\underline{\cos\theta' = \cos\theta - \dfrac{\lambda}{a}M}$

(c) (ア) $\underline{\dfrac{\lambda}{2a}N}$　(イ) $\underline{\dfrac{M}{N}}$　(ウ) $\underline{\dfrac{\lambda}{2a}\sqrt{N^2+M^2}}$

(d) $v_V = \underline{\sqrt{\dfrac{2eV}{m}}}$　　$v_C = \underline{\sqrt{\dfrac{2e(V+\Delta V)}{m}}}$

(e) $\lambda_V = \underline{\dfrac{h}{\sqrt{2meV}}}$　　$\lambda_C = \underline{\dfrac{h}{\sqrt{2me(V+\Delta V)}}}$

(f) XX′ と YY′ の位相差が等しいので，$\dfrac{2\pi}{\lambda_V}\mathrm{XX'} = \dfrac{2\pi}{\lambda_C}\mathrm{YY'}$

図より，$\mathrm{XX'} = \mathrm{X'Y}\sin i$，$\mathrm{YY'} = \mathrm{X'Y}\sin r$

以上より，$n_r = \dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\lambda_V}{\lambda_C} = \underline{\sqrt{1+\dfrac{\Delta V}{V}}}$

(g) 運動量について，表面に平行な成分は不変ゆえ，真空中での成分と等しい。

$$p_{\parallel} = \underline{mv_V \sin i}$$

垂直な方向の成分は，

$$p_{\perp} = mv_C\cos r = m\cdot n_r v_V\cdot\frac{\sqrt{{n_r}^2-\sin^2 i}}{n_r} = mv_V\sqrt{{n_r}^2-\sin^2 i}$$

n_r を代入，また $\sin^2 i = 1-\cos^2 i$ なので，

$$p_{\perp} = mv_V\sqrt{\left(1+\frac{\Delta V}{V}\right)-(1-\cos^2 i)} = mv_V\sqrt{\frac{\Delta V}{V}+\cos^2 i}$$

(d)より，$V = \dfrac{m{v_V}^2}{2e}$ も代入して，

$$p_{\perp} = \underline{\sqrt{2me\Delta V + (mv_V\cos i)^2}}$$

(h) 回折の条件は　$2d\cos r = n\lambda_C$ であり，

$$\cos r = \frac{\sqrt{{n_r}^2 - \sin^2 i}}{n_r},\quad n_r = \sqrt{1 + \frac{\Delta V}{V}}\quad \text{より，}\quad \cos r = \sqrt{1 - \frac{V}{V + \Delta V}\sin^2 i}$$

これと　$\lambda_C = \dfrac{h}{\sqrt{2me(V + \Delta V)}}$　を回折の条件式に代入して，

$$\underline{V = \frac{1}{\cos^2 i}\left(\frac{n^2h^2}{8med^2} - \Delta V\right)}$$