1　(ここには 1 の解答を記入すること。)

問(1) (a)　考え方や計算の過程：

力のつり合い　$kx_0 = mg\sin\theta$

結果：$x_0 = \dfrac{mg\sin\theta}{k}$

(b)　考え方や計算の過程：

力学的エネルギーの保存

$mgl_0\sin\theta = \dfrac{1}{2}mV^2$

結果：$V = \sqrt{2gl_0\sin\theta}$

(c)　考え方や計算の過程：

基準から鉛直下方に $x\sin\theta$ 変位した位置なので重力による位置エネルギーが $mg(-x\sin\theta)$ であり，ゴムひもの伸びが x なので弾性力による位置エネルギーは $\frac{1}{2}kx^2$ と書ける。

結果：$U = -mgx\sin\theta + \dfrac{1}{2}kx^2$

(d)　考え方や計算の過程：

力学的エネルギーの保存　$mg(l_0 + x_1)\sin\theta = \dfrac{1}{2}kx_1^2$

問(1)(a)の結果を用いて　$x_0(l_0 + x_1) = \dfrac{1}{2}x_1^2$

解は，

$x_1 = x_0 \pm \sqrt{x_0^2 + 2x_0l_0}$

$x_1 > 0$ を選ぶ。

結果：$x_1 = x_0 + \sqrt{x_0^2 + 2x_0l_0}$

問(2) (a)　考え方や計算の過程：

物体にはたらく慣性力は水平右向きに mA である。

力のつり合い　水平方向　$kd\cos\phi = mA$

鉛直方向　$kd\sin\phi = mg$

結果：$d = \dfrac{mg}{k\sin\phi}$，$A = \dfrac{g}{\tan\phi}$

(b)

記号：(う)

1　(表より続く。)

問(3) (a)　考え方や計算の過程：

運動方程式　$ma = mg\sin\theta + \mu mg\cos\theta$

結果：$a = g(\sin\theta + \mu\cos\theta)$

(b)　考え方や計算の過程：

等加速度直線運動　$0^2 - v_0{}^2 = 2a(-\ell_1) \cdots ①$

結果：$\ell_1 = \dfrac{v_0{}^2}{2a}$

(c)　考え方や計算の過程：

斜面をくだるときの加速度を b として運動方程式

$mb = mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta$ より $b = g(\sin\theta - \mu\cos\theta)$

等加速度直線運動　$v_1{}^2 - 0^2 = 2b\ell_1 \cdots ②$

①, ② より ℓ_1 を消去する。

結果：$v_1 = v_0\sqrt{\dfrac{\sin\theta - \mu\cos\theta}{\sin\theta + \mu\cos\theta}}$

(d)　考え方や計算の過程：

物体が $N-1$ 回目に $x=0$ を上向きに通過してから最高点に達するまでの移動距離を ℓ_N とすると，　$0^2 - v_{N-1}{}^2 = 2a(-\ell_N)$

$v_N{}^2 - 0^2 = 2b\ell_N$

ℓ_N を消去して　$\dfrac{v_N}{v_{N-1}} = \sqrt{\dfrac{b}{a}} = \dfrac{v_1}{v_0}$ となるので $\{v_N\}$ は等比数列となる.

結果：$v_N = \left(\dfrac{v_1}{v_0}\right)^N v_0$

(e)

記号：(ア)

理由：公比 $\dfrac{v_1}{v_0} < 1$ より十分時間が経過すると $x=0$ を通過するときの速さは 0 に収束する。よって，つり合いの位置 x_0 を中心とし，$x=0$ が端となる単振動になる。

2　(ここには2の解答を記入すること。)

問(1) (a)　考え方や計算の過程：

オームの法則　$V=RI_0$

電流が磁場から受ける力　$F=-I_0Bl$

結果：$I_0=\dfrac{V}{R}$　，$F_0=-\dfrac{VBl}{R}$

(b)　考え方や計算の過程：

力のつりあい　$0=-I_0Bl-kx_0$

$\therefore x_0=-\dfrac{I_0Bl}{k}$

結果：$x_0=-\dfrac{VBl}{kR}$

問(2) (a)　考え方や計算の過程：

ファラデーの法則　$V_1=vBl$

回路方程式　$vBl=-\dfrac{Q}{c}$

結果：$V_1=vBl$　，$Q=-cvBl$

(b)　考え方や計算の過程：

求めるエネルギー和は

$E=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}cV_1^2$

結果：$E=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}c(vBl)^2$

(c)　考え方や計算の過程：

問(2)(b)の結果より　$E=\frac{1}{2}\{m+c(Bl)^2\}v^2+\frac{1}{2}kx^2$

なので，この単振動は質量が$m+c(Bl)^2$，ばね定数がkの単振動と同じである。

単振動の周期公式を用いる。

結果：$T=2\pi\sqrt{\dfrac{m+c(Bl)^2}{k}}$

2　(表より続く。)

問(3) (a)　考え方や計算の過程：

自己誘導起電力の大きさ $V_2=\left|L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$

結果：$V_2 = L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$

(b)　考え方や計算の過程：

回路方程式　$\dfrac{\Delta x}{\Delta t}Bl - L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}=0$

$\therefore \Delta I=\dfrac{Bl}{L}\Delta x$

結果：$c = \dfrac{Bl}{L}$

(c)　考え方や計算の過程：

$t=0$ のとき $I=0$，$x=x_1$ なので，$\Delta I=I-0$，$\Delta x=x-x_1$

$\therefore I-0=\dfrac{Bl}{L}(x-x_1)$

結果：$\alpha = \dfrac{Bl}{L}$　，$\beta = x_1$

(d)　考え方や計算の過程：

問(3)(c)の結果を用いて，合力は

$F=-kx-IBl$

結果：$F = -\dfrac{kL+(Bl)^2}{L}\left(x-\dfrac{(Bl)^2}{kL+(Bl)^2}x_1\right)$

(e)　考え方や計算の過程：

問(3)(d)の結果より，導体棒は振幅 $\dfrac{(Bl)^2}{kL+(Bl)^2}x_1-x_1=\dfrac{-kL}{kL+(Bl)^2}x_1$

の単振動をする。よって x の最大値を x_m とすると，

$x_m=x_1+\left(\dfrac{-kL}{kL+(Bl)^2}x_1\right)\times 2$

これを $I=\alpha(x-\beta)$ へ代入して，

$|I|_{max}=\dfrac{Bl}{L}(x_m-x_1)$

結果：$|I|_{\max} = -\dfrac{2Blkx_1}{kL+(Bl)^2}$

3 （ここには 3 の解答を記入すること。）

問(1) (a)

(i) 考え方や計算の過程：$L_1=\left\{L^2+\left(x-\frac{d}{2}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}=L\left\{1+\left(\frac{x-\frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}$

$d\ll L$, $|x|\ll L$であるから、$L_1 \fallingdotseq L\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{x-\frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\}$

同様に, $L_2 \fallingdotseq L\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{x+\frac{d}{2}}{L}\right)^2\right\}$

$\Delta L=L_2-L_1$に代入する。

結果：$\Delta L=\dfrac{dx}{L}$

(ii) 考え方や計算の過程：明線の干渉条件式 $\dfrac{da_k}{L}=k\lambda$

a_kについて解く。

結果：$a_k=\dfrac{L\lambda}{d}k$

(iii) 考え方や計算の過程：暗線の干渉条件式 $\dfrac{db}{L}=\dfrac{1}{2}\lambda$

bについて解く。

結果：$b=\dfrac{L\lambda}{2d}$

(b) 考え方や計算の過程：光の強度と振幅の2乗の比例定数をαとする。

板Fを置く前の原点Oについて, $I_0=\alpha\cdot(2E_0)^2$

板Fを置いた後, $x=a_1$について, $I(a_1)=\alpha(E_0+rE_0)^2$

$x=b$について, $I(b)=\alpha(E_0-rE_0)^2$

3式より, αを消去して$I(a_1)$, $I(b)$を求める。

結果：

$I(a_1)=\left(\dfrac{1+r}{2}\right)^2 I_0$

$I(b)=\left(\dfrac{1-r}{2}\right)^2 I_0$

3 (表より続く。)

問(2) (a)

(i) 考え方や計算の過程：

入射X線，反射X線のそれぞれで $D\sin\theta$ の経路差が生じる。

結果：$\Delta\ell =$ $2D\sin\theta$

(ii) 考え方や計算の過程：

$\Delta\ell$ が波長 λ の正の整数倍となるとき，強いX線が観測される。

結果： $2D\sin\theta = m\lambda$

(b) 考え方や計算の過程：

隣り合う格子面によって反射されるX線の経路差は D である。

強いX線が観測される条件式は、正の整数 n を用いて，

$D = n\lambda$ である。よって、$2.0\times10^{-10}\,\mathrm{m} \leqq n\times(1.54\times10^{-10}\,\mathrm{m}) \leqq 4.0\times10^{-10}\,\mathrm{m}$

これを満たす n は $n=2$ である。このとき，

$D = 2\times(1.54\times10^{-10}\,\mathrm{m}) \fallingdotseq 3.1\times10^{-10}\,\mathrm{m}$

結果：$D =$ $3.1\times10^{-10}\,\mathrm{m}$

(c)

(i) 考え方や計算の過程： θ を小さい角度から大きくしていくと，はじめて

$\theta=\theta_1'$ のとき，X_1 同士が強めあい，X_2 同士が強めあう。

このとき，$2D\sin\theta_1' = \lambda$ である。経路差 $\Delta\ell'$ は，$\Delta\ell' = D\sin\theta_1'$

であるから，2式より，$\Delta\ell' = \frac{1}{2}\lambda$

結果：$\Delta\ell' =$ $\frac{1}{2}\lambda$

(ii)

記号： (オ)