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：

基準からの高さは $R(1-\cos\theta)$ である。

結果：$U=mgR(1-\cos\theta)$

(b) 考え方や計算の過程：

力学的エネルギー保存則より，

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv^2+mgR(1-\cos\theta)$

これを $v$ について解く。

結果：$v=\sqrt{v_0^2-2gR(1-\cos\theta)}$

(c) 考え方や計算の過程：

$\theta=\pi$ における速さを $v_2$ とすると，力学的エネルギー保存則

$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_2^2+mg\cdot 2R$ より，$v_2=\sqrt{v_0^2-4gR}$

$v_2>0$ であれば $\theta=\pi$ を超えるので，$\sqrt{v_0^2-4gR}>0$

よって，$v_0>2\sqrt{gR}$

結果：$v_1=2\sqrt{gR}$

問(2) (a) 考え方や計算の過程：

角度 $\theta$ における遠心力の大きさは $m\cdot R\sin\theta\cdot\omega^2$ である。

よって，$F=-mg\sin\theta+(m\cdot R\sin\theta\cdot\omega^2)\cos\theta$

結果：$F=-mg\sin\theta+mR\omega^2\sin\theta\cos\theta$

**1**　(表より続く。)

問(2) (b)　考え方や計算の過程：

$|\theta|$が十分に小さいとき，$F \fallingdotseq -mg\theta + mR\omega^2\theta = -m(g-R\omega^2)\theta$

点Pへ向かう復元力となるとき，$-m(g-R\omega^2) < 0$ より，

$g-R\omega^2 > 0$　　よって，$\omega < \sqrt{\dfrac{g}{R}}$

結果：$\omega_0 = \sqrt{\dfrac{g}{R}}$

(c)　考え方や計算の過程：

角度$\theta$における小球の接線方向の加速度を$a$とする。運動方程式

$ma=F$ より，$ma = -m(g-R\omega^2)\theta = -m(g-R\omega^2)\cdot\dfrac{x}{R}$

角振動数を$\Omega$とすると，$a=-\Omega^2 x$であるから，$\Omega = \sqrt{\dfrac{g-R\omega^2}{R}}$

これを $T=\dfrac{2\pi}{\Omega}$ に代入する。

結果：$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R}{g-R\omega^2}}$

問(3) (a)　考え方や計算の過程：

問(2)(a)の結果について，$\theta=\theta_0$で$F=0$として，

$0 = -mg\sin\theta_0 + mR\omega^2\sin\theta_0\cos\theta_0$

これを$\omega$について解く。

結果：$\omega = \sqrt{\dfrac{g}{R\cos\theta_0}}$

(b)

記号：(う)

理由：

小球には $\theta=\theta_0$ に向かう復元力がはたらくので，

$\theta=0$ を中心に振動することはない。

**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：

一様電場と電位差の式　$V_0 = Ed_1$

運動方程式　$ma = qE$

2式を $E$ と $a$ について解く。

結果：$E = \dfrac{V_0}{d_1}$　　$a = \dfrac{qV_0}{md_1}$

(b)　考え方や計算の過程：

等加速度運動　$d_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ ，$v_1^2 - 0^2 = 2ad_1$

上式へ問(1)(a)の $a$ を代入する。

結果：$t_1 = d_1\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}}$　　$v_1 = \sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$

(c)　考え方や計算の過程：

エネルギー保存則　$q \cdot nV_0 = \frac{1}{2}mv_n^2$

上式を $v_n$ について解き $\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}} = v_1$ を代入する。

結果：$v_n = \sqrt{n}\,v_1$

(d)　考え方や計算の過程：

$D_{n-1}$ と $D_n$ の間を通過するときの加速度の大きさを $a_n$ として

等加速度運動　$d_n = \sqrt{n-1}\,v_1 \cdot t_1 + \frac{1}{2}a_n t_1^2$

運動方程式　$ma_n = q \cdot \dfrac{V_0}{d_n}$

2式より $a_n$ を消去し，問(1)(b)の $t_1$ と $v_1$ を代入する。

$d_n > 0$ に注意して結果を得る。　結果：$d_n = (\sqrt{n-1} + \sqrt{n})d_1$

2　(表より続く。)

問(2) (a)　向き：　正　・　負

(b)　考え方や計算の過程：

エネルギー保存則　$\frac{1}{2}mu_0^2+qV_0=\frac{1}{2}mu_1^2$

円運動の加速度の大きさ　$b_1=\frac{u_1^2}{r}$

2式を$u$と$b_1$について解く。

結果：$u_1=\sqrt{u_0^2+\frac{2qV_0}{m}}$　　$b_1=\frac{1}{r}\left(u_0^2+\frac{2qV_0}{m}\right)$

(c)　考え方や計算の過程：

$N$周目の速さを$u_N$として，エネルギー保存則　$\frac{1}{2}mu_0^2+q\cdot NV_0=\frac{1}{2}mu_N^2$

また，$T_N=\frac{2l+2\pi r}{u_N}$

2式より$u_N$を消去する。

結果：$T_N=\dfrac{2(l+\pi r)}{\sqrt{u_0^2+\frac{2NqV_0}{m}}}$

(d)　考え方や計算の過程：

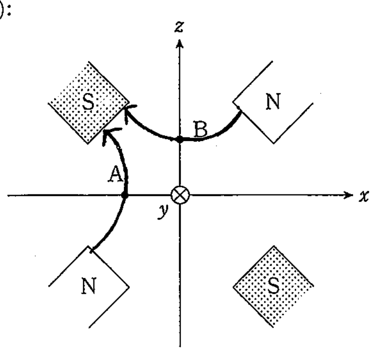
運動方程式　$m\frac{u_N^2}{r}=qu_NB_N$

上式へ問(2)(c)で用いた$u_N$を代入する。

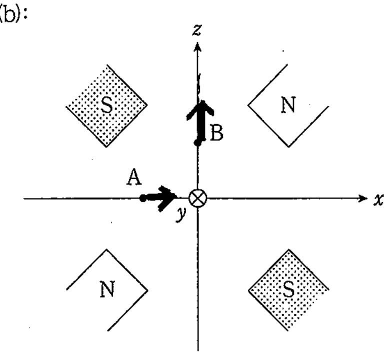
結果：$B_N=\frac{m}{qr}\sqrt{u_0^2+\frac{2NqV_0}{m}}$

問(3)

(a):




(b):




(c)　記号：　(イ)

3 (ここには3の解答を記入すること。)

問(1) (a) 考え方や計算の過程：

$x$ が $\lambda$ 変化すると位相が $2\pi$ 変化するので,

$$2\pi f\frac{\lambda}{V}=2\pi$$

結果：$\lambda=\dfrac{V}{f}$

(b) 考え方や計算の過程：

$x=d$ で $F=-F_R$ より, $A\sin 2\pi f\left(t-\dfrac{d}{V}\right)=A\sin 2\pi f\left(t+\dfrac{d-a}{V}\right)$

両辺の位相が等しいことから, $-\dfrac{2\pi fd}{V}=\dfrac{2\pi f(d-a)}{V}$

結果：$a=2d$

(c) 考え方や計算の過程：

合成波の変位 $F_S$ は, $F_S=F+F_R=A\sin 2\pi f\left(t-\dfrac{x}{V}\right)-A\sin 2\pi f\left(t+\dfrac{x-2d}{V}\right)$

$$=2A\sin\frac{2\pi f}{V}(d-x)\cos 2\pi f\left(t-\frac{d}{V}\right)$$

$-1$ と $1$ の間を振動する項 $\cos 2\pi f\left(t-\dfrac{d}{V}\right)$ の係数の絶対値が振幅になる。

結果：$A_S=2A\left|\sin\dfrac{2\pi f}{V}(d-x)\right|$

(d) 考え方や計算の過程：

節の位置は $A_S=0$ より,

$\dfrac{2\pi f}{V}(d-x)=n\pi$ ($n$ は自然数) なので, $x=d-\dfrac{nV}{2f}$

$0<x<d$ に節が存在する条件は, $d-\dfrac{V}{2f}>0$

結果：$d>\dfrac{V}{2f}$

問(2) (a) 考え方や計算の過程：

観測者Pの変位は $u\Delta t$ である。

結果：$x=x_0+u\Delta t$

3　(表より続く。)

問(2) (b)　考え方や計算の過程：

$F$の式で　$t=t_0+\Delta t$，$x=x_0+u\Delta t$とする。

結果：$F'=A\sin\left\{2\pi f\left(t_0+\Delta t-\dfrac{x_0+u\Delta t}{V}\right)\right\}$

(c)　考え方や計算の過程：

問(2)(b)の結果を変形して，　$F'=A\sin 2\pi f\left\{\left(1-\dfrac{u}{V}\right)\Delta t+t_0-\dfrac{x_0}{V}\right\}$

経過時間$\Delta t$を変数と見なせば，その係数が$2\pi f'$に等しいので，

$2\pi f\left(1-\dfrac{u}{V}\right)=2\pi f'$

結果：$f'=\dfrac{V-u}{V}f$

問(3) (a)　考え方や計算の過程：

余弦定理より，　$r=\sqrt{r_0^2+(u\Delta t)^2-2r_0u\Delta t\cos(\pi-\theta_0)}$

$\fallingdotseq r_0\sqrt{1+\dfrac{2u\Delta t\cos\theta_0}{r_0}}\fallingdotseq r_0\left(1+\dfrac{u\Delta t\cos\theta_0}{r_0}\right)$

結果：$r=r_0+u\Delta t\cos\theta_0$

(b)　考え方や計算の過程：

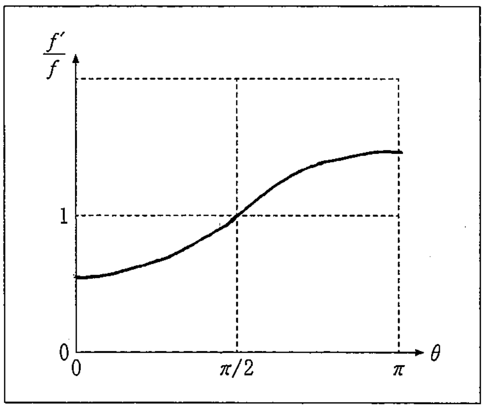
$F_r$の式で　$t=t_0+\Delta t$，$r=r_0+u\Delta t\cos\theta_0$　とする。

結果：$F_r'=A\sin 2\pi f\left(t_0+\Delta t-\dfrac{r_0+u\Delta t\cos\theta_0}{V}\right)$

(c)　考え方や計算の過程：

問(3)(b)の結果で$\Delta t$の係数が

$2\pi f'$に等しい。なお$\theta_0$を$\theta$と書き換える。




結果：$f'=\dfrac{V-u\cos\theta}{V}f$