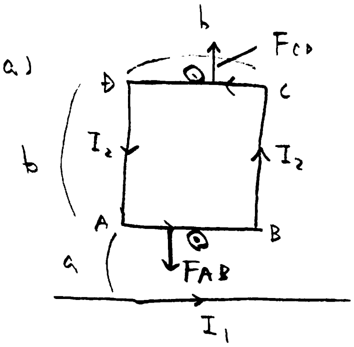
1 (a)



① $B_1 = \dfrac{I_1}{2\pi a}\times\mu = \dfrac{\mu I_1}{2\pi a}$

② 右ねじの法則より表向き. (イ)

③ AB部にかかる電磁気力は,

$$F_{AB} = B_1\times I_2\times b = \frac{\mu b I_1 I_2}{2\pi a}$$

④ 上辺にかかる力は, 電流が逆向きなので

上向きで $F_{CD} = \dfrac{I_1}{2\pi(a+b)}\mu\times I_2\times b$

$$= \frac{\mu b I_1 I_2}{2\pi(a+b)} < F_{AB}$$

よって合力は下向きの引力. (イ)

⑤ $F_{AB} - F_{CD} = \dfrac{\mu b I_1 I_2}{2\pi}\left(\dfrac{1}{a} - \dfrac{1}{a+b}\right)$

$$= \frac{\mu b^2 I_1 I_2}{2\pi a(a+b)}$$

(b) ⑥ 単位長さあたりの巻き数は $\dfrac{N}{l}$ だから $B = \mu\cdot\dfrac{N}{l}\cdot I = \dfrac{\mu N I}{l}$

⑦ 1巻きあたりに生じる起電力は $v = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\dfrac{\Delta BS}{\Delta t} = -\dfrac{\mu NS}{l}\times\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

$V = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\dfrac{\mu N^2 S}{l}\times\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ ∴ $L = \dfrac{\mu N^2 S}{l}$

⑧ 公式 $\dfrac{1}{2}LI^2$

(c) ⑨ $U_m(l) = \dfrac{1}{2}\times\dfrac{\mu N^2 S}{l}\times I^2 = \dfrac{\mu N^2 S I^2}{2l}$

$$F_m\Delta l = U_m(l+\Delta l) - U_m(l)$$

$$= \frac{\mu N^2 S I^2}{2}\left\{(l+\Delta l)^{-1} + l^{-1}\right\} = \frac{\mu N^2 S I^2}{2}\left\{\frac{1}{l}\left(1-\frac{\Delta l}{l}\right) - \frac{1}{l}\right\}$$

$$= -\frac{\mu N^2 S I^2 \Delta l}{2l^2}$$

$F_m = -\dfrac{\mu N^2 S I^2}{2l^2}$ ∴ $|F_m| = \dfrac{\mu N^2 S I^2}{2l^2}$

⑩ $F_m + kz = 0$ が成り立つので $z = \dfrac{\mu N^2 S I^2}{2kl^2}$

問1 針金が水銀に浸っているときは通電するのでばねが縮み、針金が水銀面から離れると、ばねの長さが l_0 を中心とした単振動を行い、再び針金が水銀面に触れるまで続く。以下この繰り返しの単振動を行う。

(a)

2 問1 物体Aについて 運動量の変化と力積の関係より $m_1v_1' - m_1v_1 = F_1\Delta t$ …①

同様にBについて $m_2v_2' - m_2v_2 = F_2\Delta t$ …②

運動量保存則より、 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$ …③

①②を③に代入して、 $m_1v_1 + m_2v_2 = F_1\Delta t + m_1v_1 + F_2\Delta t + m_2v_2$

$$(F_1 + F_2)\Delta t = 0$$

よって $F_1 + F_2 = 0$

これは
A、Bにかかる力の大きさは同じで、逆きであることを示しており、

作用・反作用の法則が成り立つ。

① 相対速度 $u_1 = \underline{v_1 - v_2}$

②③ Ⓠから見て、

運動量保存 $m_1u_1 + m_2 \times 0 = m_1u_1' + m_2u_2'$

はねかえり $\dfrac{u_1' - u_2'}{u_1 - 0} = -e$

これらを連立して、 $u_1' = \underline{\dfrac{m_1 - em_2}{m_1 + m_2}}u_1$ 、 $u_2' = \underline{\dfrac{m_1 + em_1}{m_1 + m_2}}u_1$

④.⑤ $u_1' = v_1' - v_2$、 $u_2' = v_2' - v_2$ だから、

$$v_1' = u_1' + v_2 = \frac{m_1 - em_2}{m_1 + m_2} \times (v_1 - v_2) + v_2 = \frac{m_1 - em_2}{m_1 + m_2}v_1 + \underline{\frac{(1+e)m_2}{m_1 + m_2}}v_2 \quad ④$$

$$v_2' = u_2' + v_2 = \frac{(1+e)m_1}{m_1 + m_2}v_1 + \underline{\frac{m_2 - em_1}{m_1 + m_2}}v_2 \quad ⑤$$

(b)
⑥ はねかえり $\dfrac{-V' - w}{V - w} = -r$ より $V' = rV - rw - w$

$$V' - V = rV - rw - w - V = \underline{(r-1)V - (r+1)w}$$

※ Vは速度ではなく速さなので注意

問2 (a)において、m_1をm、v_1をV、またv_2をw、eをrとすると、

$$v_1' = \frac{m - rm_2}{m + m_2}V + \frac{(1+r)m_2}{m + m_2} \times w$$

これと $-V' = -rV + (1+r)w$ が等しくなればよいので

v_1'より $v_1' = \dfrac{\frac{m}{m_2} - r}{\frac{m}{m_2} + 1}V + \dfrac{1+r}{\frac{m}{m_2} + 1}w$ で $\dfrac{m}{m_2} \to 0$となればよい。

すなわち、m_2がm_1と比べて十分に大きいときの衝突と考えればよい。

⑦ $V'-V$ に $r=1$ を代入して $V'-V=-2w$ $\quad\therefore\ \underline{-2w}$

問3 ΔLだけ変化するのにΔt秒かかったとすると $\Delta L = w\Delta t$.

1回の衝突にかかる時間は $\frac{2L}{V}$ だから 1秒間に $\frac{V}{2L}$ 回衝突する

Δt秒間での速さの変化ΔVは

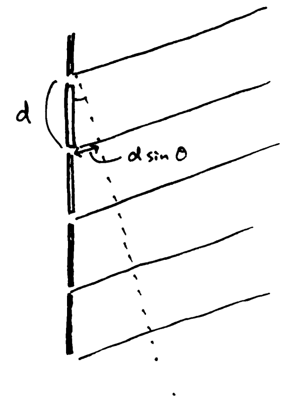
$$\Delta V = -2w \times \frac{V}{2L}\Delta t$$

ここに $\Delta t = \frac{\Delta L}{w}$ を代入して.

$$\Delta V = -\frac{\cancel{w}}{L}V\frac{\Delta L}{\cancel{w}}$$

$$\underline{\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta L}{L}}$$

3 (a) ① 右図より　$d\sin\theta$

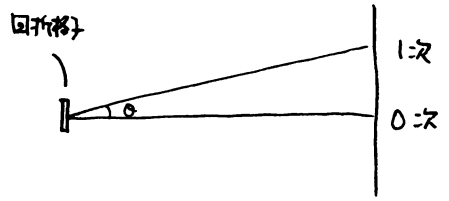


② $\delta = \dfrac{d\sin\theta}{\lambda}\times 2\pi = \dfrac{2\pi d\sin\theta}{\lambda}$

③ となりあうスリットからの回折光が強めあうとき、全ての回折光が強めあうので

$$\delta = 2\pi\times n = \frac{2\pi d\sin\theta}{\lambda}$$

$$n = \underline{\frac{d}{\lambda}\sin\theta}$$



問1　0次の回折光は $\theta = 0$ のときだから、1次の回折光について考えればよいので

$n = 1,\ d = 2.0\times10^{-5},\quad \sin\theta \fallingdotseq \tan\theta = \dfrac{3.4\times10^{-2}}{\ell} = 3.4\times10^{-2}$ を代入して

$$\lambda = 2.0\times10^{-5}\times3.4\times10^{-2} = \underline{6.8\times10^{-7}\ \mathrm{m}}$$

④ $A\displaystyle\sum_{m=1}^{N}\sin\{\omega t-(m-1)\delta\}$

$$= \frac{A}{\sin\frac{\delta}{2}}\left\{\cancel{\frac{1}{2}\cos\left(\omega t-\frac{\delta}{2}\right)}-\frac{1}{2}\cos\left(\omega t+\frac{\delta}{2}\right)+\cancel{\frac{1}{2}\cos\left(\omega t-\frac{3}{2}\delta\right)}+\cancel{\frac{1}{2}\cos\left(\omega t-\frac{\delta}{2}\right)}+\cdots\right.$$

$$\left.\cdots\ \frac{1}{2}\cos\left(\omega t-(N-1)\delta-\frac{\delta}{2}\right)-\cancel{\frac{1}{2}\cos\left(\omega t-N\delta+\frac{\delta}{2}\right)}\right\}$$

$$= \frac{A}{2\sin\frac{\delta}{2}}\left\{\cos\left(\omega t-(N-1)\delta-\frac{\delta}{2}\right)-\cos\left(\omega t+\frac{\delta}{2}\right)\right\}\quad\cdots(*)$$

ここで　$\cos A-\cos B = -2\cos\dfrac{A+B}{2}\cos\dfrac{A-B}{2}$ を用いて

$$(*) = \frac{A}{\sin\frac{\delta}{2}}\sin\frac{2\omega t-N\delta+\delta}{2}\sin\frac{N\delta}{2}$$

$$= \underline{A\frac{\sin\frac{N\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\times\sin\left(\omega t-\frac{N-1}{2}\delta\right)} = (**)$$

⑤ $\theta\to0$ のとき、$\delta\to0$ だから

$$(**)\ \longrightarrow\ A\frac{\frac{N\delta}{2}}{\frac{\delta}{2}}\sin\omega t = AN\sin\omega t$$

明線の強度は振幅の2乗に一致するので　$\underline{A^2N^2}$

⑥ (**) で振幅が0になるときを考えると、$\sin\dfrac{N\delta}{2} = 0$

③の結果を $\frac{1}{\alpha}$ とするということなので $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{\alpha}$

これを用いて. $\delta = \frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\alpha}\sin\theta$

だから. $\frac{N\delta}{2} = \pi \frac{N}{\alpha}\sin\theta$. 1次の明線では $\sin\theta = \alpha$ だから.

0次〜1次のあいだでは $0 < \sin\theta < \alpha$. だから

$$0 < \pi \frac{N}{\alpha}\sin\theta < N\pi$$

であり. $\sin\frac{N\delta}{2} = 0$ となるのは $\pi\frac{N}{\alpha}\sin\theta = \pi, 2\pi, 3\pi, \cdots (N-1)\pi$ の N-1 回

そのあいだに小さな山が生じるので 弱い山は N-1回生じる

問2 最初の弱い山と0次の明線のあいだの谷は $\sin\frac{N\delta}{2} = \sin\left(\pi\frac{N}{\alpha}\sin\theta\right)$

が最初に0になるときで $\pi\frac{N}{\alpha}\sin\theta = \pi$ すなわち $\sin\theta = \frac{\alpha}{N}$ のときである

$\therefore \frac{\delta}{2} = \frac{\alpha}{N}$ $\therefore \delta = \frac{2}{N}\alpha = \frac{2\lambda}{Nd}$

問3 回折格子で生じる明線の強度は $N^2\alpha^2$ であり. Nを大きくすることで強度を上げることができる。また明線の幅は問2より $\frac{2\lambda}{Nd}$ であり. Nを大きくすることで明線の幅を小さくして. 鋭い明線を得ることができるから.

(c) $\frac{\omega}{2}\sin\theta = \frac{1}{2}\lambda$ に $\sin\theta = \beta$ を代入して $\beta = \frac{\lambda}{\omega}$

問4 $\omega = \frac{d}{4}$ のとき $\beta = \frac{\lambda}{\omega} = \frac{4\lambda}{d} = 4\alpha$

したがって 4次の明線までが現れる (4次は強度0)