1 (1) ばね S_1 は X 伸びて、S_2 は自然長、S_3 は X だけ縮んだ状態で始まる。

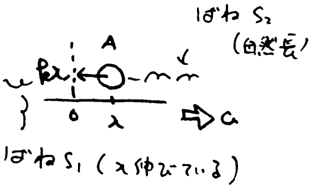
このとき、A と B が受ける力は、いずれも左向きで kX の大きさであり、そのため

A と B はその後も同じ動きをする。(ばね S_2 は常に自然長となる)

A が右方に x だけ変位しているとき

A が受ける水平方向の力は左向き

の kx のみで、運動方程式は



$$Ma = -kx$$

となり、かかっている力が x に比例して逆向きなので、(復元力) 単振動を行う。

$$= -Mx\omega^2$$

となり、$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$

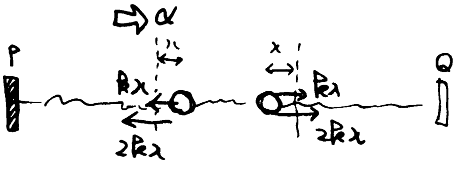
振幅は X なので　$V = X\omega = X\sqrt{\frac{k}{M}}$

(エネルギーでもとめると

$\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}kX^2$ より $V = X\sqrt{\frac{k}{M}}$)

(2) $T_B = T_A = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$

(3) A と B は対称な動きをする。



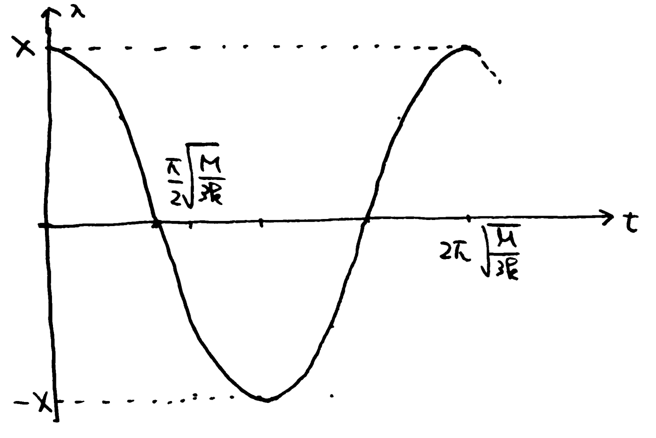
S_1 と S_3 が x だけ伸びている

とき、S_2 は $2x$ 縮んでいる。

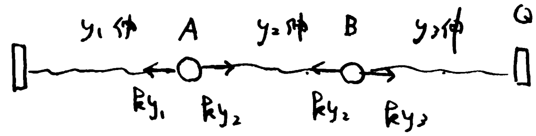
A について、運動方程式は、　$M\alpha = -kx - 2kx$　となり、

$\alpha = -x\omega^2$ より、　$\omega = \sqrt{\frac{3k}{M}}$，　周期は $\frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{3k}}$ となる。

最初の A の変位が 0 だから、A の位置の時間変化は下のようになる。



(4)



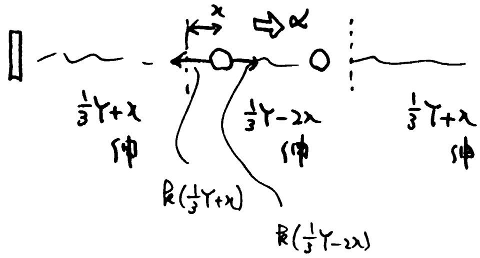
上のように各ばねの伸びを定めると、力のつりあいより、

$$ky_1 = ky_2 \ , \quad ky_2 = ky_3$$

また、$y_1 + y_2 + y_3 = Y$ なので、これらを連立して、$y_1 = y_2 = y_3 = \frac{1}{3}Y$

したがって 小球Bの右への変位は $\Delta Y = y_1 + y_2 = \underline{\frac{2}{3}Y}$

(5)

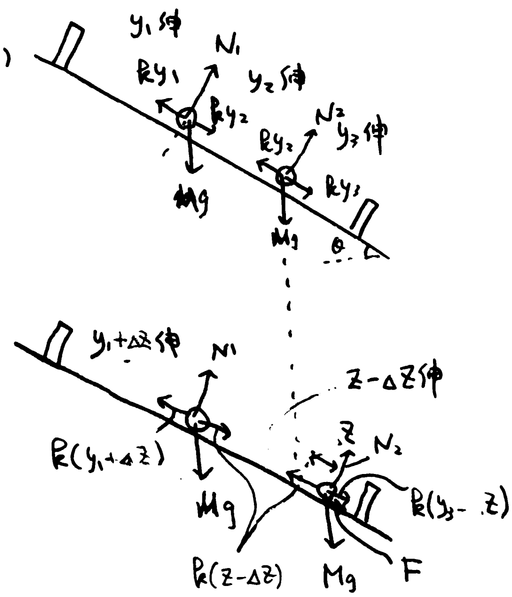


Aについて

$$M\alpha = k\left(\frac{1}{3}Y - 2x\right) - k\left(\frac{1}{3}Y + x\right)$$
$$= -3kx$$
$$= -Mx\omega^2 \text{ より}$$

$\omega = \sqrt{\frac{3k}{M}}$, $\underline{T_A = 2\pi\sqrt{\frac{M}{3k}}}$

(6)



$$\begin{cases} ky_1 = ky_2 + Mg\sin\theta \\ ky_2 = ky_3 + Mg\sin\theta \\ y_1 + y_2 + y_3 = 0 \end{cases}$$

これらを連立して　$y_2 = 0$

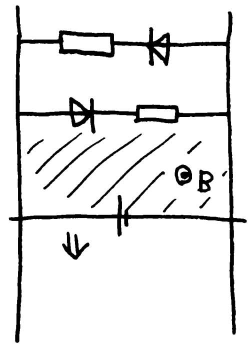
$y_1 = \frac{Mg}{k}\sin\theta$, $y_3 = -\frac{Mg}{k}\sin\theta$

よってAの変位は $\underline{L + \frac{Mg}{k}\sin\theta}$

$$\begin{cases} (7) \ k(y_1 + \Delta z) = k(z - \Delta z) + Mg\sin\theta \\ (8) \ k(z - \Delta z) = k(y_3 - z) + Mg\sin\theta + F \end{cases}$$

これらを連立して、$\Delta z = \underline{\frac{1}{2}z}$　　$F = \underline{\frac{3}{2}kz}$

2 (1) 右図の斜線部を貫く磁束が増加(紙面手前向き)するのを妨げる向き(紙面奥)の磁場を作るような電流(右ねじの法則で時計まわりと判定)を流そうとする起電力が発生する。(右図の電池の向き) ∴ (B)

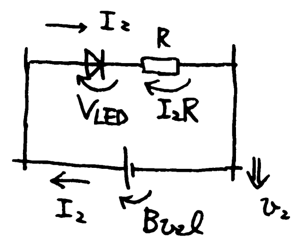


(2) 誘導起電力の大きさ Bv_1l が V_0 を超えたとき、ダイオードが発光を始める。 $Bv_1l = V_0$ より $v_1 = \dfrac{V_0}{Bl}$

(3) (回路の式) $Bv_2l = V_{LED} + I_2R$ …①

(ダイオード) $I_2 = (V_{LED} - V_0)/R_0$ …②

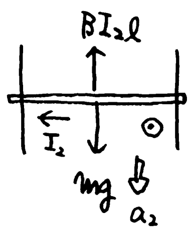
②より $V_{LED} = I_2R_0 + V_0$



(4) ①,②を連立して、V_{LED} を消去

$Bv_2l = I_2R_0 + V_0 + I_2R \iff I_2 = \dfrac{Bv_2l - V_0}{R + R_0}$ ((2)を用いて $\dfrac{Bl(v_2 - v_1)}{R + R_0}$ も可)

(5)



導体棒の運動方程式

$ma_2 = mg - BI_2l$

$a_2 = g - \dfrac{BI_2l}{m}$ ((4)を用いて I_2 を消去も可)

(6) $W_2 = (V_{LED} \times I_2 + I_2^2R)\Delta t = I_2(I_2R_0 + V_0)\Delta t + I_2^2R\Delta t$

$= (I_2^2R_0 + I_2V_0 + I_2^2R)\Delta t$ 他に $BI_2lv_2\Delta t$ なども可

(7) ア 位置 イ 運動 ウ 力学的

(8) 位置エネルギーの減少量は $mg \times v_2\Delta t$

運動エネルギーの増加量は $\frac{1}{2}m(v_2 + a_2\Delta t)^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 \fallingdotseq ma_2v_2\Delta t$

力学的エネルギーの減少量は $mgv_2\Delta t - ma_2v_2\Delta t$

$= mgv_2\Delta t - mv_2\Delta t\left(g - \dfrac{BI_2l}{m}\right)$

$= BI_2v_2l\Delta t$

$= \underbrace{I_2\Delta t \times (I_2R_0 + V_0 + I_2R)}_{(4)を代入した} = (6)$

よって W_2 と力学的エネルギーの減少量は一致する。

(9) 落下速度が一定となるのは、加速度が 0 となるときなので、

$$0 = g - \frac{BI_3 l}{m}$$

また (4) より $I_3 = \dfrac{Bv_3 l - V_0}{R+R_0}$ を代入

$$g = \frac{Bl}{m} \times \frac{Bv_3 l - V_0}{R+R_0}$$

$$mg(R+R_0) = B^2 v_3 l^2 - BV_0 l$$

$$v_3 = \frac{mg(R+R_0)+BV_0 l}{B^2 l^2}$$

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{mg(R+R_0)+BV_0 l}{B^2 l^2} \times \frac{\cancel{Bl}}{V_0} = \underline{\frac{mg(R+R_0)+BV_0 l}{BlV_0}}$$

(10)

(9) で $I_3 = \dfrac{Bv_3 l - V_0}{R+R_0} = \dfrac{\dfrac{mg(R+R_0)+BV_0 l}{Bl} - V_0}{R+R_0} = \dfrac{mg(R+R_0)+BV_0 l - BV_0 l}{Bl(R+R_0)} = \dfrac{mg}{Bl}$

よって LED が壊れない条件は $I_3 \leqq I_0$ で $\dfrac{mg}{Bl} \leqq I_0$

$$m \leqq m_0 = \underline{\frac{BI_0 l}{g}}$$

$\boxed{3}$ (1) $S_2P = \sqrt{R^2+\left(x+\frac{d}{2}\right)^2} = R\left(1+\left(x+\frac{d}{2}\right)^2\frac{1}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}} \fallingdotseq R + \frac{1}{2R}\left(x+\frac{d}{2}\right)^2$

$S_1P = \sqrt{R^2+\left(x-\frac{d}{2}\right)^2} \fallingdotseq R + \frac{1}{2R}\left(x-\frac{d}{2}\right)^2$

$S_2P - S_1P = \underline{\frac{xd}{R}}$

(2) $S_2P - S_1P = m\lambda$ となるときに明線が生じる.

$\frac{x_m d}{R} = m\lambda$. より $x_m = \underline{\frac{R\lambda m}{d}}$

(3) $x_{m+1} - x_m = \frac{R\lambda}{d}$ より $\lambda = \frac{d}{R}(x_{m+1}-x_m) = \frac{0.2\times10^{-3}}{40\times10^{-2}} \times 1.2\times10^{-3} = \underline{6.0\times10^{-7}\,\mathrm{m}}$

(4) 太陽光は波長の長い方から、赤,橙,黄緑,青,藍,紫の色の波長が混ざっている。このうち、最も原点に近い位置に現れるのは波長の短かい<u>紫</u>色

(∵ (2)の結果より $x_1 = \frac{R\lambda}{d}$ なので波長が短かいほど x_1 も小さい)

(5) $S_1S_0 - S_2S_0$ は (1)と同様に計算して. $S_1S_0 - S_2S_0 = \frac{hd}{L}$

$(S_0S_2 + S_2P) - (S_0S_1 + S_1P) = S_0S_2 - S_0S_1 + S_2P - S_1P$

$= -\frac{hd}{L} + \frac{x_m' d}{R} = m\lambda$ となったときが m 番目の明線

$\frac{d}{R}x_m' = m\lambda + \frac{hd}{L} \iff x_m' = \underline{\frac{R\lambda m}{d} + \frac{R}{L}h}$

(6) S_0S_1 の光学距離が $nD - D$ だけ伸びる. $(S_1S_0 - S_2S_0 = nD - D)$

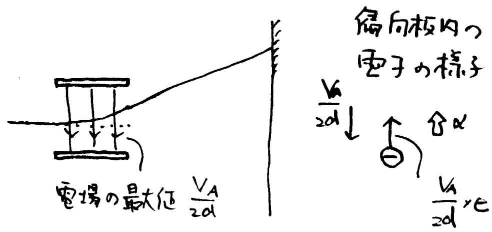
$(S_0S_2 + S_2P) - (S_0S_1 + S_1P) = -nD + D + \frac{x_m'' d}{R} = m\lambda$.

$x_m'' = \frac{R\lambda m}{d} + \frac{R}{d}(n-1)D \ > x_m$

よって<u>上</u>側にずれる。またずれ幅は $\Delta x = x_m'' - x_m = \underline{\frac{RD(n-1)}{d}}$

4

(1) $eV_0 = \frac{1}{2}mv_z^2$ より $v_z = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}}$



(2) 偏向板内の電場の大きさは最大 $\frac{V_A}{2d}$

よってそのときの加速度をαとして

運動方程式 $m\alpha = \frac{V_A}{2d}\cdot e$

$$\alpha = \frac{eV_A}{2dm}$$

偏向板を通り抜けるのにかかる時間は $\frac{l}{v_z}$ なので通り抜けたときのx座標は、

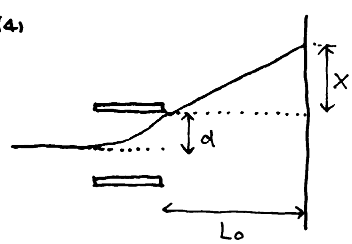
$$x = \frac{1}{2}\alpha\left(\frac{l}{v_z}\right)^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{\cancel{e}V_A}{2d\cancel{m}}\cdot l^2\cdot\frac{\cancel{m}}{2\cancel{e}V_0} = \frac{V_A l^2}{8dV_0}$$

電圧は $-V_A \sim V_A$ の範囲で変化するので

$$-\frac{l^2V_A}{8dV_0} \le x \le \frac{l^2V_A}{8dV_0}$$

(3) $x = d$ となったときに偏向板に衝突する $d = \frac{l^2V_M}{8dV_0}$ より $V_M = \frac{8d^2V_0}{l^2}$

(4)



V_Mのとき、x方向の速度は

$$\alpha\cdot\frac{l}{v_z} = \frac{eV_M}{2dm}\times l\times\sqrt{\frac{m}{2eV_0}} = \frac{e\cancel{l}}{\cancel{2d}m}\sqrt{\frac{m}{2eV_0}}\cdot\frac{\overset{4}{\cancel{8}}d^{\cancel{2}}V_0}{l^{\cancel{2}}}$$

$$= \frac{4dV_0}{l}\sqrt{\frac{e}{2mV_0}} \quad (= v_M \text{とする})$$

左図中で $L_0 : X = v_z : v_M$ だから

$$X = \frac{v_M}{v_z}L_0 = \frac{\frac{4dV_0}{l}\sqrt{\frac{e}{2mV_0}}}{\sqrt{\frac{2eV_0}{m}}}L_0 = \frac{4dV_0}{l}\times\frac{L_0}{2V_0} = \frac{2dL_0}{l}$$

よってもとめる範囲は $-d-X \le x \le d+X$ で

$$-d - \frac{2L_0}{l}d \le x \le d + \frac{2L_0}{l}d$$

(5) Q点に達する電子の持っているエネルギーは eV_0

この全てのエネルギーと等しいエネルギーを持ったX線の波長がλ_Qだから。

$$\frac{hc}{\lambda_Q} = eV_0 \quad \text{より} \quad \lambda_Q = \frac{hc}{eV_0}$$

(6) 偏向板でx軸方向に最大 $\frac{V_M}{2}$ の電位差によって加速されているので最もx軸方向に離れた点に衝突した電子によって生じるX線の波長が短くなる。

$$\frac{hc}{\lambda_M} = e\left(V_0 + \frac{V_M}{2}\right)$$

$$\lambda_M = \frac{\hbar c}{e(V_0+\frac{V_M}{2})} = \frac{2\hbar c}{2e(V_0+\frac{8d^2V_0}{\ell^2})} = \frac{\hbar c\ell^2}{eV_0(\ell^2+4d^2)}$$

$v_2 \to \sqrt{2}v_2$ になるので

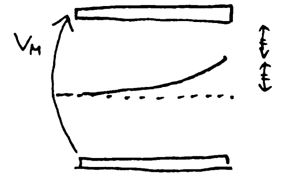
(7) 偏向板を通り抜けるのにかかる時間は $\frac{1}{\sqrt{2}}$

偏向板さ , ときの x座標は $\quad \frac{1}{2}\times\alpha\times\left(\frac{\ell}{\sqrt{2}v_2}\right)^2 = \frac{1}{2}\times\frac{\cancel{e}V_M}{2d\cancel{m}}\times\frac{\ell^2}{2}\times\frac{\cancel{m}}{2\cancel{e}V_0}$

$$= \frac{1}{\underset{2}{\cancel{16}}}\cdot\frac{\cancel{\ell^2}}{\cancel{d}V_0}\cdot\frac{8d^2V_0}{\cancel{\ell^2}} = \frac{1}{2}d$$

したがって偏向板内で加速によって得られるエネルギーは

$$\frac{V_M}{2}\times\frac{1}{2}\times e$$



$$\lambda_M' = \frac{\hbar c}{e(2V_0+\frac{V_M}{4})}$$ となるので

$$\frac{\lambda_M'}{\lambda_M} = \frac{V_0+\frac{1}{2}V_M}{2V_0+\frac{1}{4}V_M} = \frac{V_0+\frac{4d^2V_0}{\ell^2}}{2V_0+\frac{2d^2V_0}{\ell^2}} = \underline{\frac{\ell^2+4d^2}{2\ell^2+2d^2}}$$

(8) 固有X線は電子の衝突によって励起状態になった原子が基底状態へと遷移していく過程によって生じるものであり、電子のエネルギー準位の差によって定まるため、原子毎に固有の値をとる。そのため、固有X線の波長を調べることによって、原子を特定することができ、ひいては元素を特定することができる。