2016 広島大学　全問

[1]　図1のように、水平な床から高さhの天井の点Pに、長さℓの軽い糸の一端を固定し、他端に質量Mの小物体1を取り付けた。

小物体1の糸の反対側には質量mの小物体2が取り付けられていて、二つの小物体は一体となって運動する。ただし、小物体2が小物体1から受ける力の方向は、糸に平行な方向に限られ、その力の大きさがF以上になると、二つの小物体は分離するようになっている。糸が鉛直下向きとなす角をθとして、以下の問いに答えよ。重力加速度の大きさをgとし、空気抵抗は無視できるものとする。

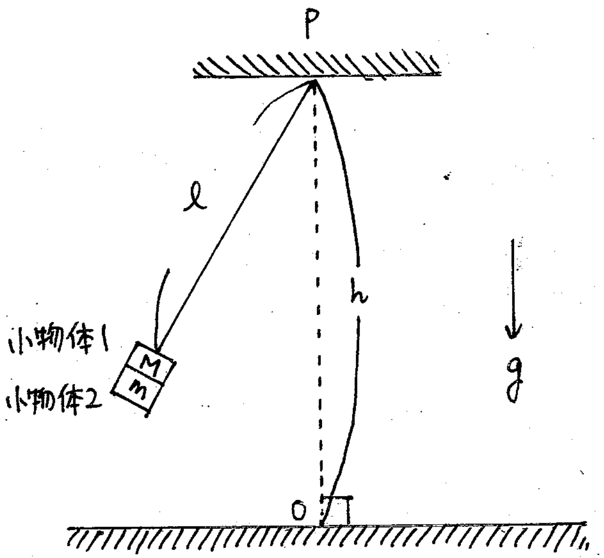


図1

$\theta = \alpha$の位置から一体となった小物体を静かに放したところ、小物体と糸は長さℓの単振り子として運動した。

問 1　小物体の速さvを、θの関数として求めよ。また、導き方も記せ。

問 2　糸の張力Tを、M、m、g、θ、α、ℓのうち必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

はじめの角αをいろいろな値に変えて、同じ実験を繰り返したところ、$\alpha \geqq \beta$のときにのみ、運動の途中で小物体2が分離することが分かった。

問 3　$\alpha=\beta$のとき、小物体1と2が分離する角θを求めよ。

問 4　Fを、M、m、g、β、ℓのうち必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

問 5　$\alpha=\beta$のとき、小物体1から分離した小物体2は、図1の点Oから距離xの地点に落ちた。距離xを、M、m、g、β、ℓ、hのうち必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

問 6　問5で小物体2が分離した後、小物体1と糸の長さℓの単振り子として運動した。この単振り子の振れ角θの最大値を求めよ。また導き方も記せ。

広島あおば物理塾
(082) 274-9555

[2] 図1に示すような、抵抗、コンデンサー、コイル、電源、スイッチからなる回路がある。抵抗の抵抗値をR、コンデンサーの静電容量をC、 コイルの自己インダクタンスをL、電源の電圧を一定値$V(V>0)$とする。最初、スイッチ1とスイッチ2は開いており、コンデンサーに電荷は蓄えられていなかった。抵抗に流れる電流をIとして、 以下の問いに答えよ。

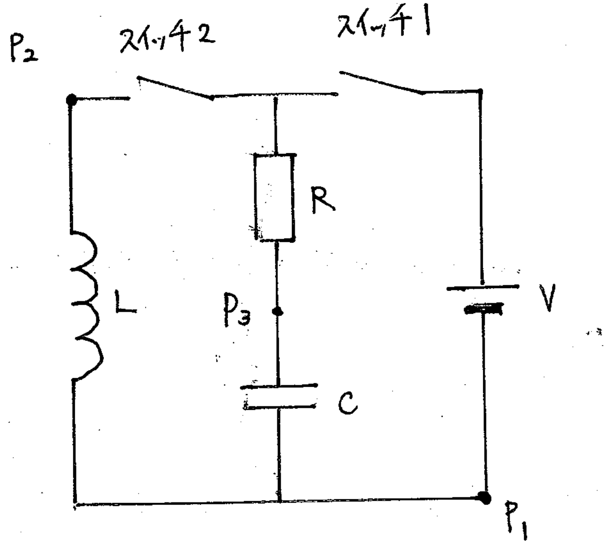


図1

問 1 まず、 スイッチ1を閉じた。その直後の電流Iの大きさI_0を記せ。

問 2 問1の後、Iは減少し、十分に長い時間が経過すると 0 とみなすことができるほど小さくなった。
このとき、 コンデンサーに蓄えられているエネルギーW_cを記せ。

問 3 スイッチ1を閉じてから問2の状態になるまでの間に、抵抗でジュール熱として消費されたエネルギーW_Rを求めよ。また導き方も記せ。

次に、スイッチ1を開いた後に、スイッチ2を閉じた。その時刻を0とすると、電流Iは時刻tとともに図2のように変化し、0に近づいていった。

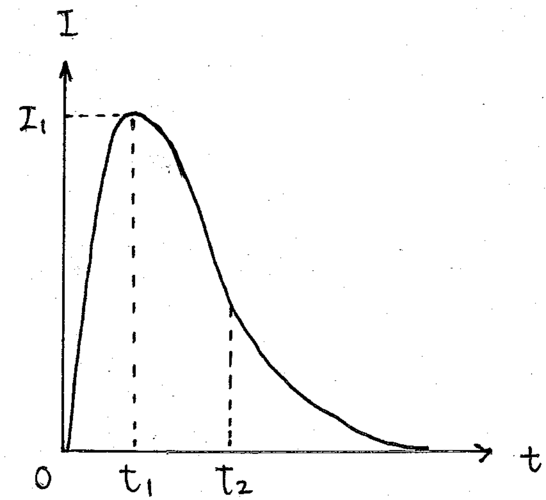


図2

問 4 次の文章中の空欄 $\boxed{ア}$ ～ $\boxed{オ}$ に入る適切な数式または記号を解答欄に記入せよ。

$t=0$では、$I=0$より、コイルの誘導起電力の大きさは $\boxed{ア}$ である。$t=t_1$においては、Iは最大値I_1となった。このとき、回路上の点P_1を基準とした点P_2の電位は $\boxed{イ}$ 、点P_3の電位は $\boxed{ウ}$ である。
$t=t_2$における短い時間Δtの間の電流の変化をΔIとすると、コイルに生じる誘導起電力の大きさは $\boxed{エ}$ と表される。

このとき、点P_1の電位に対する、点P_2、点P_3の電位を表すグラフとして最も適切なものは図3(a)~(e)のうち $\boxed{オ}$ である。

広島あおば物理塾
(082) 274-9555

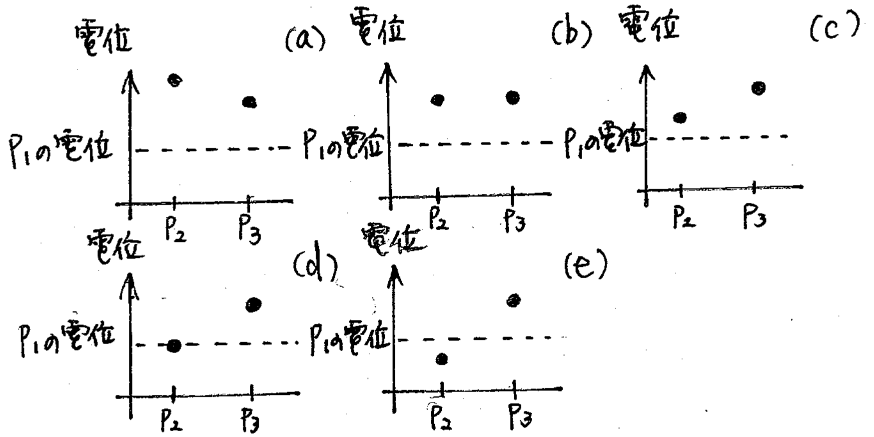


図3　空欄 $\boxed{\text{オ}}$ の選択肢。横軸は回路上の点の位置を示す。

[3] 次の問いに答えよ。

問１　図１のような、一辺の長さが L の立方体の容器に閉じ込められた温度 T の理想気体の圧力を、次のようなモデルで考える。

- 気体分子は質量 m の質点とみなす。
- 気体分子は容器の中に N 個あるが、互いに衝突することはない。
- 気体分子は容器の壁と弾性衝突する。
- N 個の気体分子は全て同じ速さ v で、特定の方向に偏らず、容器の壁と衝突するとき以外は等速直線運動をしている。

アボガドロ数を N_A、気体定数を R とする。このとき、下の文章中の空欄 $\boxed{\text{い}}$ ～ $\boxed{\text{と}}$ に入る適切な数式を解答欄に記入せよ。

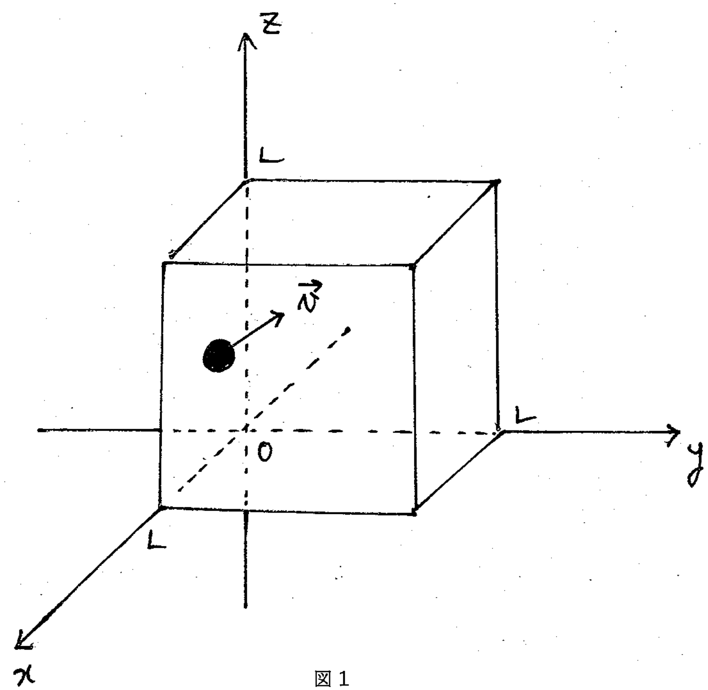


図１

速度 $\vec{v}=(v_x, v_y, v_z)$ をもつ気体分子が x 軸に垂直な壁面に衝突すると速度の x 方向成分は $-v_x$ になる。よって、この衝突で壁に与えられる力積の大きさは $\boxed{\text{い}}$ である。この気体分子は時間 $\boxed{\text{ろ}}$ の後、再び同じ壁面に衝突する。
したがって、分子１個が壁に与える力積の大きさは $\boxed{\text{は}}$ となる。一方 $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ であるが、N 個の分子の速度の向きに偏りがないので、v_x^2 を気体全体で平均した値は、v を用いて、$\boxed{\text{に}}$ と表すことができる。よって、N 個の分子がこの壁に及ぼす力の大きさは、L、m、N、v を用いて $\boxed{\text{ほ}}$、気体の圧力は $\boxed{\text{へ}}$ と書ける。これを理想気体の状態方程式と比較すると N_A、R、T を用いて、分子１個の運動エネルギーは $\boxed{\text{と}}$ と書ける。

問２　以下の文章中の空欄 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$ に入る適切な数式や記号、語句を解答欄に記入せよ。ただし、$\boxed{2}$・$\boxed{4}$ では欄内の選択肢から選べ。

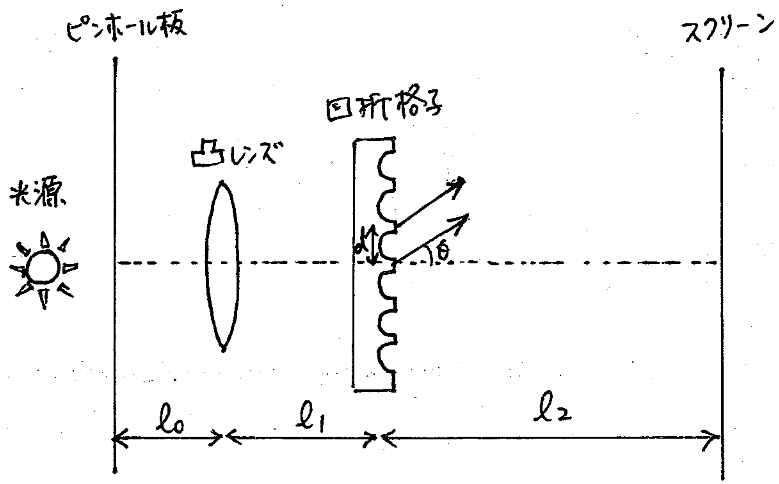


図2

図2のように、小さい穴が開いた板(ピンホール板)、凸レンズ、回折格子、スクリーンをおき、破線で示すレンズの光軸上に、波長λの単色光源と、ピンホール板の小さい穴を配置する。ピンホール板とレンズの距離をℓ_0、レンズと回折格子の距離をℓ_1、回折格子とスクリーンの距離をℓ_2、レンズの焦点距離をf、回折格子の格子定数をd、回折光と光軸のなす角をθとする。回折格子とスクリーンは、レンズの光軸に対して垂直に、十分離して設置されている。

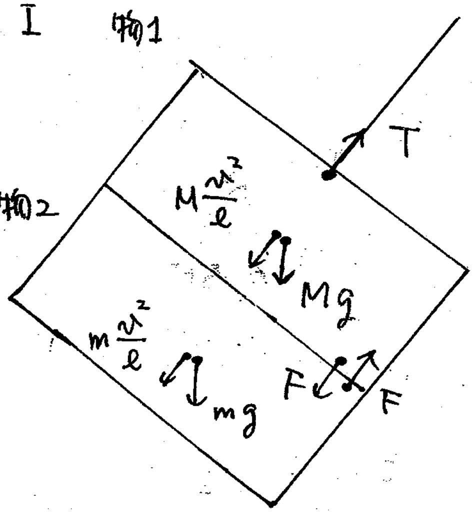
ピンホールの板の穴が十分小さいとき、穴を通った光は回折によって放射状に広がる。波の回折は「波面上の各点を波源とした［ 1 ］波を出す。」とするホイヘンスの原理によって説明することができる。

以下、ピンホール板の穴を点光源と考える。

ピンホール板と凸レンズの距離ℓ_0を［ 2 $\left\{ l_1, \dfrac{fl_1}{f+l_1}, f \right\}$ ］にしたところ光軸に平行な光線が回折格子に入射し、スクリーン上には明るい線(明線)が並んだ縞模様が現れた。これらの明線は回折格子から出た隣り合う回折光が強め合ったために現れたもので、強め合うためのθの条件は、隣り合う回折光の経路差$\Delta x =$［ 3 ］が、光の［ 4 位相、波長、半波長 ］のm倍($m=0$、1、2、・・・)になることである。$m=n$の明線と、その隣の$m=n+1$の明線のθを、それぞれ$\theta=\theta_n$、$\theta=\theta_{n+1}$とすると、スクリーン上の明線の間隔Δsはθ_n、θ_{n+1}を用いて、$\Delta s=$［ 5 ］と書ける。または、角度θが十分小さいときは、dはΔsを用いて、$d=$［ 6 ］と書ける。

広島大学 2016

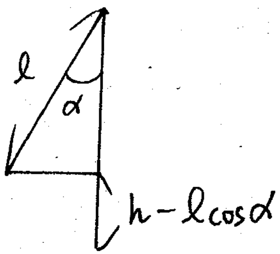
I 物1



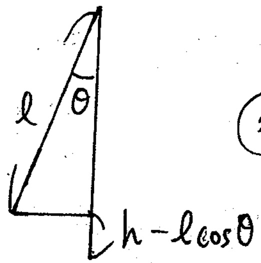
以下、小物体1,2を止めた座標系で考える。小物体にかかる力は、慣性力も含めて左図のようになる。

(Fは接着であるので、このような向き)

問1 1,2を一体として考えると、エ・保より



前



後

慣れた人は「mg」と手が勝手に動いてミスるので注意!!

$$\left\{\frac{1}{2}(M+m)v^2+(M+m)g(h-l\cos\theta)\right\}_{後}-\left\{0+(M+m)g(h-l\cos\alpha)\right\}_{前}=0$$

〈解答用紙例〉 エネルギー保存則より

$$\left\{\frac{1}{2}(M+m)v^2+(M+m)g(h-l\cos\theta)\right\}-\left\{0+(M+m)g(h-l\cos\alpha)\right\}=0$$

ただし、重力による位置エネルギーの基準は床とした。

$$\therefore\ v=\sqrt{2gl(\cos\theta-\cos\alpha)}$$

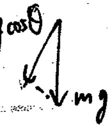
問2 〈解答用紙例〉 物体1,2を止めた座標系で考える。

それらを合体させたものについての半径方向のつり合いの式は

$$T-M\frac{v^2}{l}-Mg\cos\theta-m\frac{v^2}{l}-mg\cos\theta=0$$

もちろん答案には書かない

(Fは内力なので無視。



とsin, cosの判別のメモを1つ書いておく)

これと問1の結果より $T=(M+m)g(3\cos\theta-2\cos\alpha)$

問3 物体2について ㋐ を考える。Fが最大になるには、$m\frac{v^2}{l}$ が最大になり、$mg\cos\theta$ (重力の半径成分)も最大になる $\theta=0$ がちょうどよい。

$$\theta=0$$

問4

問3の結果より，$\alpha=\beta$で実験すると $\theta=0$のとき接着部分にかかる力はFになる。

物体2について $\theta=0$のときの⑦は

$$m\frac{v^2}{l}+mg\cos\underbrace{\theta}_{0}-F=0 \quad \cdots\cdots ①$$

問1のvに$\theta=0$，$\alpha=\beta$を代入したものを①に代入すると

$$F=mg(3-2\cos\beta)$$

〈解答用紙例〉

物体1,2を止めた座標系で考える。$\theta=0$のときの物体2についてのつり合いの式は

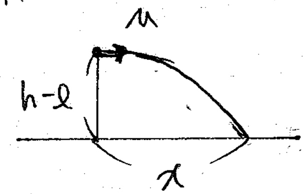
$$m\frac{v^2}{l}+mg\cos\theta-F=0$$

問1の結果より

$$v=\sqrt{2gl(\cos\theta-\cos\beta)}$$

以上より $F=mg(3-2\cos\beta)$

問5



〈解答用紙例〉

落下時間tは「$y=\frac{1}{2}gt^2$」より

$$h-l=\frac{1}{2}gt^2$$

$$\therefore t=\sqrt{\frac{2(h-l)}{g}}$$

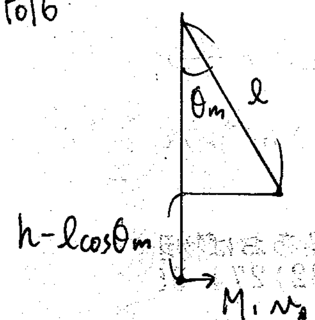
vは問2の結果で$\theta=0$，$\alpha=\beta$としたもの

また，$x=0$のときの速さvは

$$v=\sqrt{2gl(1-\cos\beta)}$$

$$x=vt=2\sqrt{l(h-l)(1-\cos\beta)}$$

問6



〈解答用紙例〉

求める最大値をθ_mとする。エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}Mv_\beta^2=Mgl(1-\cos\theta_m)$$

ただし，位置エネルギーの基準は床とした。

$$\therefore \cos\theta_m=\cos\beta \quad \therefore \theta_m=\beta$$

II 問1 Cの電荷ゼロ → 導線とみなせる。 $I_0 = \frac{V}{R}$

問2 Iがゼロ → 抵抗の電圧降下はゼロ

→ ㋖より Cの両端の電圧はV　$\frac{1}{2}CV^2$

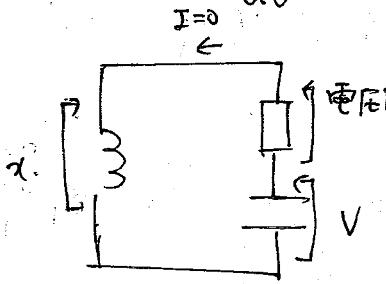
問3 <解答用紙例>　　テンプレート問題だ‥

電池のした仕事は $CV \cdot V = CV^2$

エネルギー保存則より

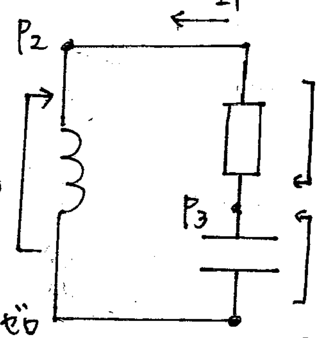
$$\frac{1}{2}CV^2 + W_R = CV^2 \quad \therefore W_R = \frac{1}{2}CV^2$$

問4 ア．$V = -L\frac{dI}{dt}$ が使えないので、㋖で出す。



$x = V$ … ア

t=t₁のとき



③元々、コンデンサには上側に正電荷がたまっていたので I_1 はこの向き

④ ③より電圧降下は I_1R

② $\frac{dI}{dt}=0$ より 誘起ゼロ

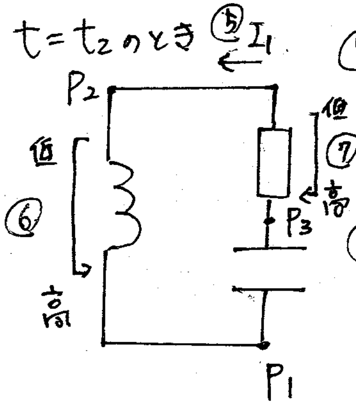
放電途中なので直接電位差はわからない

① 題意より電位ゼロ

①,②より P_2 の電位は 0 … イ

それと④より P_3 の電位は I_1R … ウ

t=t₂のとき



⑤問題に与えられたグラフより、Iの向きは左図の向きが正で $t=t_2$ のとき $\frac{dI}{dt}<0$ とわかる。

⑥従ってコイルは電流を増やそうとし、⑥のように相対的に低電位・高電位となる。

この電位差は $\left|-L\frac{dI}{dt}\right|$ … エ

また、Iの向きから抵抗の電圧降下を考えると、⑦のように低電位・高電位となる。従ってグラフは(e) … オ

広島あおば物理塾
(082)274-9555

Ⅲ (い) $|2mv_x|$ (ろ) $\left|\dfrac{2L}{v_x}\right|$

(は) $2mv_x : \dfrac{2L}{v_x} = \underbrace{x}_{\text{求める力積}} : \underbrace{1}_{\text{1秒}}$ $\therefore \dfrac{2L}{v_x}x = 2mv_x$

$$x = \frac{mv_x^2}{L}$$

(に) $\dfrac{v^2}{3}$ (ほ) t秒間に受ける力積は、(は)の答えの v_x^2 を $\dfrac{v^2}{3}$ にして

$$N\cdot\frac{m\cdot\frac{1}{3}v^2}{L}t = Ft$$

$$\therefore F = \frac{Nmv^2}{3L}$$

(へ) 「$p = \dfrac{F}{S}$」より $p = \dfrac{Nmv^2}{3L^3}$

「$pV = nRT$」に代入して

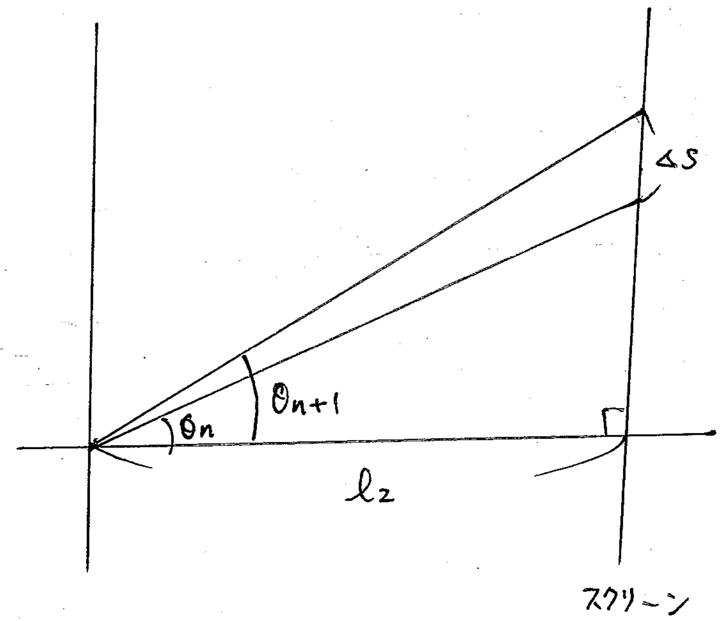
$$\frac{Nmv^2}{3L^3}\cdot L^3 = \frac{N}{N_A}RT$$

ここから $\dfrac{1}{2}mv^2$ を作る。両辺 $\times\dfrac{3}{2}\cdot\dfrac{1}{N}$ をして

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}\cdot\frac{1}{N_A}RT$$

(1) 素元 (or 球面) (2) f (3) $d\sin\theta$ (4) 波長

(5) 一般に回折格子はスクリーンに比べて十分小さく出来ているので、回折格子を一点とみなして作図できる。



上図より $\Delta s = l_2\tan\theta_{n+1} - l_2\tan\theta_n$

(6) $\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta$ を使う。干渉条件より

$$d\sin\theta_n = n\lambda \quad \cdots ①$$

$$d\sin\theta_{n+1} = (n+1)\lambda \quad \cdots ②$$

また(5)より

$$\Delta s = l_2\underbrace{\tan\theta_{n+1}}_{\sin\theta_{n+1}\text{にする}} - l_2\underbrace{\tan\theta_n}_{\sin\theta_n\text{にする}}$$

広島あおば物理塾
(082)274-9555

(6) つづき

$$\Delta S = l_2 \sin\theta_{n+1} - l_2 \sin\theta_n$$

$$= l_2 \frac{(n+1)\lambda}{d} - l_2 \frac{\lambda}{d} \qquad (①,②を代入)$$

$$\therefore \Delta S = \frac{l_2 \lambda}{d} \qquad \therefore d = \frac{l_2 \lambda}{\Delta S}$$

以上