
木暮隆夫の物理（直前講習）

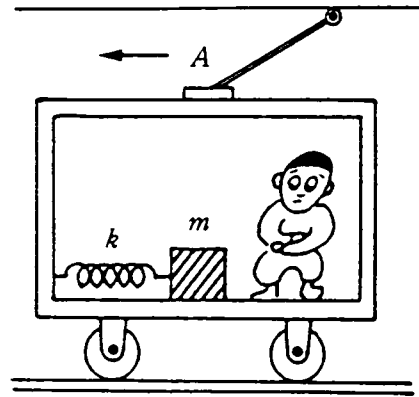
目 次

〔1〕	力 学	.....	2
〔2〕	熱 力 学	.....	9
〔3〕	波 動	.....	14
〔4〕	電 磁 気	.....	20
〔5〕	原 子 物 理	.....	24

〔1〕 力 学

【1】 次の文中の□の中に適するものをそれぞれの解答群から一つ選び、番号を記せ。

図のように、水平な直線軌道を走る電車のなめらかで水平な床の上に、質量 m の物体が乗せられている。この物体は、一端を電車前方の壁に固定されたばね定数 k のばねに、電車の進む方向に沿ってつながれている。電車内には、電車に対して静止した観測者がいて、この物体の運動を観測している。電車が静止しているとき、ばねの長さは l_0 であった。



電車が前方に一定の加速度 A で動き出すと、物体も動き始めた。電車の進行方向に物体に加わる力は、ばねの長さが l のとき (ア) □ であるが、車内の観測者には、物体に (イ) □ の力が電車の進行方向に働いて、物体が、ばねの長さが (ウ) □ であるときの位置を中心として、単振動しているように見えた。そして物体の速さの最大値 v_m は (エ) □ であるように観測された。

さて電車の加速は、ばねが最も伸びた瞬間に終わり、それから電車は一定の速さ V で走った。このときも車内の観測者には、物体がやはり単振動しているように見えた。しかし今度は、ばねの長さが (オ) □ のときの物体の位置を中心として振動し、振幅は (カ) □、また周期は電車が加速していたときの (キ) □ 倍、物体の最大の速さは v_m の (ク) □ 倍と観測された。

なおこの運動中、ばねの伸びちぢみはフックの法則に従う範囲内であって、またばねの質量は無視できるものとする。

(ア) □, (イ) □ の解答群

- ① kl ② $-kl$ ③ $k(l-l_0)$ ④ $-k(l-l_0)$
 ⑤ $mA+k(l-l_0)$ ⑥ $-mA+k(l-l_0)$ ⑦ $mA-k(l-l_0)$
 ⑧ $-mA-k(l-l_0)$

(ウ) , (カ) の解答群

- ① l_0 ② $l_0 + \frac{mA}{k}$ ③ $l_0 - \frac{mA}{k}$ ④ $l_0 + \frac{2mA}{k}$
⑤ $l_0 - \frac{2mA}{k}$ ⑥ $l_0 + \frac{mA}{2k}$ ⑦ $l_0 - \frac{mA}{2k}$

(イ) の解答群

- ① $l_0 \sqrt{\frac{m}{k}}$ ② $l_0 \sqrt{\frac{k}{m}}$ ③ $A \sqrt{\frac{m}{k}}$ ④ $A \sqrt{\frac{k}{m}}$
⑤ $\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{m}{k}}$ ⑥ $\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$ ⑦ $\frac{A}{2} \sqrt{\frac{m}{k}}$ ⑧ $\frac{A}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$

(ク) の解答群

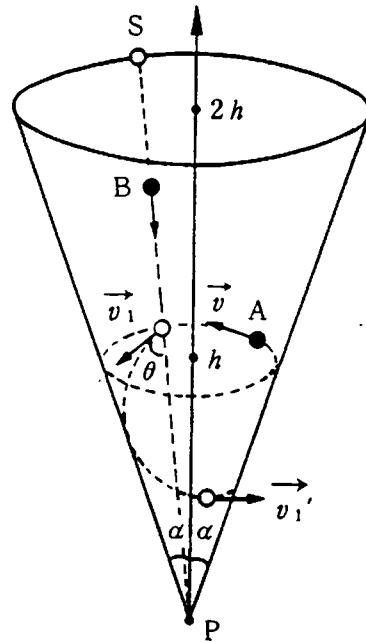
- ① $\frac{mA}{k}$ ② $\frac{2mA}{k}$ ③ $\frac{mA}{2k}$ ④ $\frac{V^2}{A}$ ⑤ $\frac{2V^2}{A}$
⑥ $\frac{V^2}{2A}$

(キ) , (コ) の解答群

- ① 1 ② 2 ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{V}{A} \sqrt{\frac{k}{m}}$ ⑤ $\frac{2V}{A} \sqrt{\frac{k}{m}}$
⑥ $\frac{V}{2A} \sqrt{\frac{k}{m}}$

(明治大 理工)

【2】 図に示すように、頂点を下にして円錐（頂角 2α ）が鉛直に置かれている。この円錐の滑らかな内面上にある質量 m の2つの物体 A, B の運動について、次の問いに答えよ。ただし、重力加速度を g とする。



(1) A は円錐の頂点 P から高さ h の水平面上を円運動している。

- ① A の速度 \vec{v} の大きさと、
- ② 角速度の大きさを求めよ。

(2) 高さ $2h$ の地点 S から初速度 0 で B を落下させたところ、A に衝突した。

衝突直前の B の速度の大きさを求めよ。

(3) 衝突直後、B は速度 0 となり、A は図のように S と P を結ぶ直線と角度 θ をなす方向に速度 \vec{v}_1 で円錐の内面上を運動しはじめた。

このときの、

- ① \vec{v}_1 の大きさと、
- ② $\sin \theta$ の値を求めよ。

ただし、衝突は弾性衝突とする。

(4) 衝突後、A は図のように高さ $h/2$ の地点で水平の速度 \vec{v}_1' をもち、その後上方へ運動した。 \vec{v}_1' の大きさを求めよ。 (愛媛大)

【3】 次の文を読んで(1)～(6)に答えよ。

図1のように、水平に固定された十分長いまっすぐな棒に沿って自由に運動できる質量 m の小物体 P がある。物体 P は質点とみなせるものとし、物体 P と棒との摩擦は無視できる。

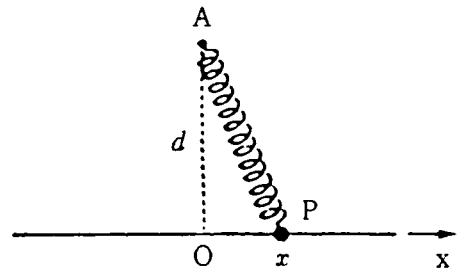


図1

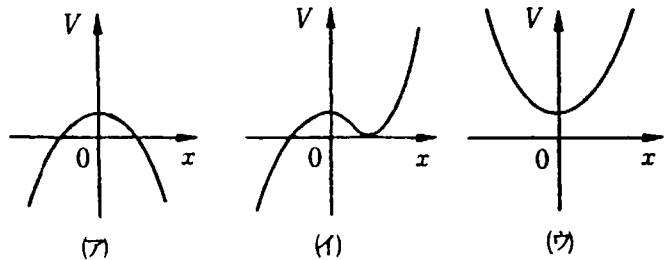
次に、軽いばねの一端を物体 P に、他端を棒から距離 d だけ離れた固定点 A に接続する。点

A から棒に下ろした垂線が棒と交わる点 O を原点とし、棒に沿って x 軸をとる。ばねは自然の長さ l 、ばね定数 k をもち、圧縮されて l より短くなっても曲がらないようになっている。

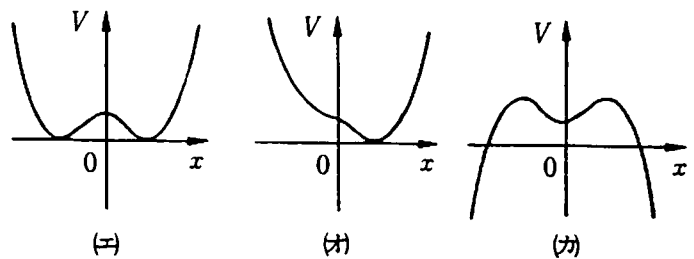
- (1) 物体 P の位置が x であるとき、それに働く力の x 成分 F を求めよ。
- (2) 物体 P の位置が x であるとき、ばねに蓄えられた位置エネルギー V を求めよ。
- (3) 物体 P が原点 O にあるとき $F=0$ であるが、 l と d についてある条件が満たされれば原点 O 以外の位置でも $F=0$ になる。

①その条件、②そのときの原点以外のつり合いの位置 x_0 、③そのときのばねの長さを求めよ。

- (4) (2)で求めた位置エネルギー V を x の関数とみると、そのグラフはどのようになるだろうか。



① $l < d$ の場合、② $l > d$ の場合について、それぞれ右のグラフから適当なものを記号で答えよ。



- (5) $l < d$ のとき、(1)で求めた F の符号は常に x の符号と反対である。この場合、物体 P を原点 O から微小な距離だけ離れた位置に置き、

静かに手をはなすと、以後物体 P は原点のまわりで単振動をする。その周期 T を求めよ。導出の過程も書け。

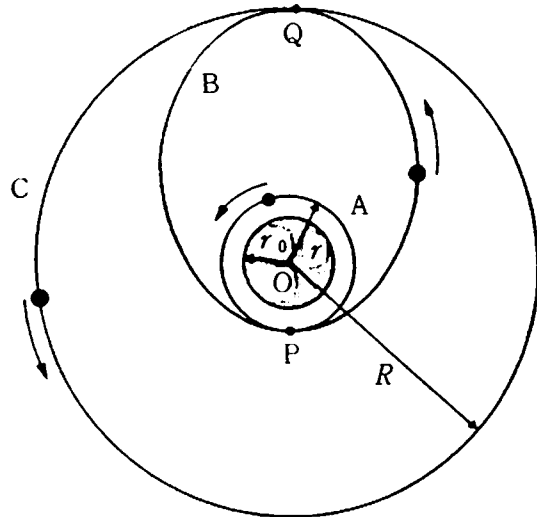
- (6) $l > d$ のとき、(5)と同様に、物体 P を原点 O から微小な距離だけ離れた位置

に置き，静かに手をはなしたとする。以後の物体Pの運動について大体の様子を簡単に述べよ。

(福井大)

【4】 次の問いに答えよ。解答するにあたっては、結果だけではなく、考えの筋道がはっきり第三者にもわかるように書かれていなくてはならない。

赤道上に静止した人工衛星から、われわれは毎日気象に関する情報を得ている。このように地表からかなり遠い所をまわる人工衛星を打ち上げるには、一度に行うのではなく、まず地表に近い軌道に乗せ、その後もう一度ロケットを噴射し、目的とする軌道に乗せる。



図の円軌道Aにまず人工衛星を乗せたとして、この軌道の半径は r で、衛星の速度は V_0 とする。

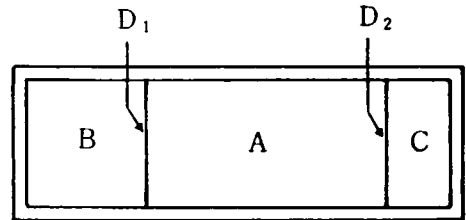
衛星がP点に来たとき、ロケットを噴射し衛星の速度は V になった。衛星はその結果楕円軌道Bに乗り、地球から最も遠い点(遠地点)Qに到達したとき、速度は W になった。

遠地点Qで衛星は再びロケットを噴射し、速度を W_0 にし、円形の軌道Cに乗った。軌道Cの半径を R とする。

- (1) V_0 と W_0 の間の関係を r と R を使って表せ。
- (2) V/V_0 , W/W_0 を r と R を使って表せ。そのさい $RW = rV$ の関係を使ってよい。これは「ケプラーの第2法則」、あるいは「面積速度一定の法則」と呼ばれる。
- (3) 軌道Cが静止衛星の軌道であるとき、半径 R を地球の自転周期 T , 地球の半径 r_0 及び地表における重力加速度 g を使って表せ。 (青学大 理工)

〔 2 〕 熱 力 学

【 1 】 図のように、断熱材でできている密閉された容器があり、その内部は断熱材で作られた薄い仕切り D_1 と D_2 で気密な 3 つの部分 A, B, C におけられている。この薄い仕切り D_1 と D_2 は開閉できる。



はじめに、仕切り D_1 と D_2 は閉じられており、部分 A は圧力 $2p$ 、温度 $2T$ 、体積 $4V$ 、 n_A [mol] の単原子分子の理想気体で満たされていた。部分 B も圧力 p 、温度 T 、体積 $2V$ 、 n_B [mol] の同種類の理想気体で満たされていた。部分 C は真空中に保たれており、その容積は V である。

この容器全体の熱容量は無視できるものとして、以下の設問に答えよ。答えは解答群の中から選び、その番号を記せ。解答群の番号は何回用いてもよい。

(1) $\frac{n_B}{n_A}$ は (ア) である。

(2) 薄い仕切り D_2 を閉じたままにして、仕切り D_1 を開けた。じゅうぶん時間が経過した後、気体の温度が T_1 になり、気体の圧力が p_1 になったとすると、

$\frac{T_1}{2T}$ は (イ) であり、 p_1 は (ウ) $\times p$ となる。

(3) 次に、(2) の状態で仕切り D_2 を開けた。じゅうぶん時間が経過した後、気体の温度が T_2 になり、気体の圧力が p_2 になったとすると、 T_2 は (エ) $\times T$ であり、 p_2 は (オ) $\times p$ である。

解答群	10. $\frac{15}{7}$	11. 2	12. $\frac{13}{7}$	13. $\frac{11}{7}$	14. $\frac{10}{7}$	15. $\frac{9}{7}$
	16. $\frac{8}{7}$	17. 1	18. $\frac{6}{7}$	19. $\frac{5}{7}$	20. $\frac{4}{7}$	21. $\frac{13}{6}$
	22. $\frac{11}{6}$	23. $\frac{5}{3}$	24. $\frac{3}{2}$	25. $\frac{5}{6}$	26. $\frac{2}{3}$	27. $\frac{1}{2}$
	28. $\frac{1}{3}$	29. $\frac{1}{6}$				

(東京理大 理)

【 2 】 図1のような円筒形シリンダーに、気密でなめらかに動くピストンによって理想気体Gを封じ、ピストンとシリンダーとの間に軽いばねをとりつける。ばねは自然の長さになっており、容器内Gの圧力は $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ で、温度は 273 K 、体積は 5.6 l であった。

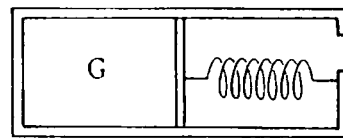


図 1

図 2 は、次の設問の過程における G の状態を、圧力 (p) と体積 (V) の関係で示したものである。

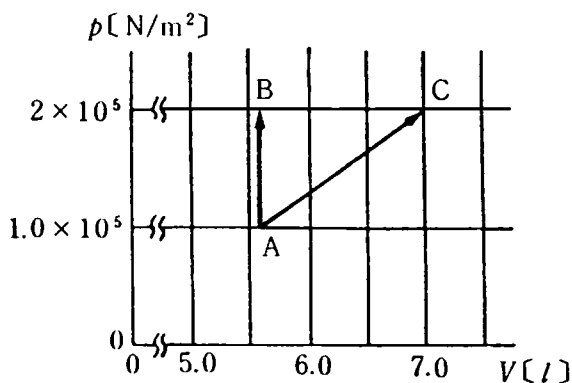


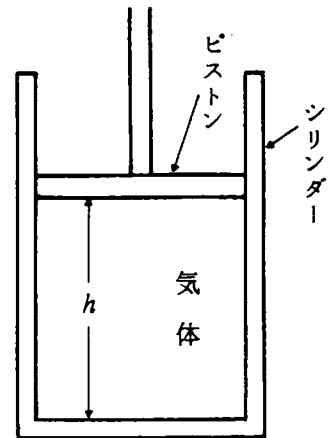
図 2

- (1) ピストンを固定し、外部から理想気体Gに熱を加えたとき、Gの圧力は $2.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ になった。
1. 内部の温度は何度上昇したか。
 2. 気体に与えた熱量は何 J か。

- (2) 最初の状態に戻し、ピストンが自由に動けるようにしたのち、Gにある量の熱量を与えたところ、ピストンは右へ動いてGの圧力は $2.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ となった。
1. 内部の温度は何度になったか。
 2. 気体の内部エネルギーは何 J 増したか。
 3. 気体が外部にした仕事は何 J か。
 4. ばねに蓄えられたエネルギーは何 J か。
 5. 気体に与えた熱量は何 J か。

(関西学院大 理)

【3】 図に示すように、鉛直に立てたシリンダーに、1モルの単原子分子の理想気体を入れ、滑らかに動くことが出来るピストンで封じた。シリンダーの断面積を S 、ピストンの質量を M 、外部の圧力を P_0 とする。シリンダー及びピストンの熱容量は無視できるものとする。重力加速度は g 、気体定数を R とする。



[1] はじめ、ピストンの高さは h_1 であった。このときの気体の状態を状態1とする。状態1に外部から熱量 Q の熱をゆっくりと加えたところ気体は膨張し、ピストンの高さは h_1 から h_2 になった。このときの気体の状態を状態2とする。次の問いに答えよ。

- (1) 状態1における気体の圧力 P_1 と絶対温度 T_1 を求めよ。
- (2) 状態2における気体の絶対温度を T_2 とする。 h_1 、 h_2 、 T_1 、 T_2 の間に成り立つ関係式を求めよ。
- (3) 状態1から状態2まで変化する間に気体が外部にする仕事 W を P_1 、 S 、 h_1 、 h_2 を用いて表せ。
- (4) 状態1から状態2まで変化する間の気体の内部エネルギーの増加 ΔU を Q と W で表せ。また ΔU と Q を定積モル比熱 C_v あるいは定圧モル比熱 C_p を用いて表現せよ。
- (5) 以上の考察を参考にして、この理想気体では $C_p - C_v = R$ の関係式が成り立つことを示せ。

[2] 次に状態2から温度を一定に保ったまま、ピストンにおもりを少しずつのせていって、ピストンの高さを再び h_1 にした。この状態を状態3とする。次の問いに答えよ。

- (1) 状態3の気体の圧力 P_3 は圧力 P_1 の何倍か。
- (2) 状態1から状態2を経て状態3に達するまでの、気体の圧力とピストンの高さとの関係を表すグラフの概略を描け。 (新潟大)

【4】 次の問いに答えよ。

n [mol] の理想気体がある。この気体の圧力、絶対温度、体積をそれぞれ P [N/m²], T [K], V [m³] とする。この気体の状態方程式は P , T および V の関係を示し、次のように表される。

$$PV = (1) \boxed{}$$

ここで R は気体定数で次のようになる。

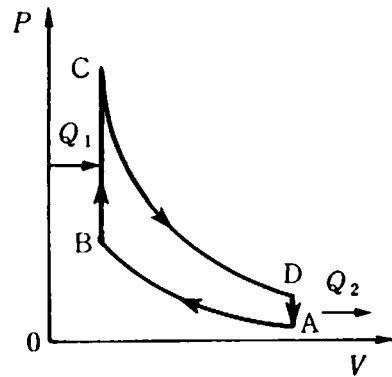
$$R = 8.31 \text{ [J/(mol}\cdot\text{K)]}$$

この気体の状態を変化させるときは静かに行うことにする。ここで断熱変化の場合には次の関係が成立する、

$$PV^\gamma = \text{一定}$$

ここで γ は定圧モル比熱 C_p [J/(mol·K)] と定積モル比熱 C_v [J/mol·K] の比である。断熱変化の場合に T と V の関係は (2) $\boxed{}$ のように表される。

熱機関がある。この熱機関においては以上に示した n [mol] の理想気体を用い、これを図の矢印で示すように状態 A から状態 B, C, D を経て状態 A に変化させる。なお P, T, V の状態 A, B, C, D における値をそれぞれ $P_A, T_A, V_A, P_B, T_B, V_B, P_C, T_C, V_C, P_D, T_D, V_D$ とする。そして A → B の間と C → D の間は断熱変化であり、



B → C の間は定積変化で気体は熱量 Q_1 [J] を吸収し、D → A の間は定積変化で気体は熱量 Q_2 [J] を放出する。ここで

$$\frac{V_A}{V_B} = \varepsilon, \quad \frac{P_C}{P_B} = \rho$$

とする。このとき T_B を r, T_A, ε を用いて表すと

$$T_B = (3) \boxed{}$$

となる。次に T_C を $r, T_A, \varepsilon, \rho$ を用いて表すと

$$T_C = (4) \boxed{}$$

となる。また T_D を T_A, ρ を用いて表すと

$$T_D = (5) \boxed{}$$

となる。この熱機関において気体が状態 A から変化し一巡して再び状態 A にもど

ったときに気体の内部エネルギーは(6) 。したがって気体のした仕事は

$$W = (7) \text{ }$$

となる。この熱機関の熱効率 e は次のようになる。

$$e = \frac{W}{Q_1}$$

以上において Q_1 と Q_2 は次のように表される。

$$Q_1 = (8) \text{ } (T_C - T_B), \quad Q_2 = (8) \text{ } (T_D - T_A)$$

e を r と ϵ を用いて表すと(9) のようになる。 (千葉工大)

〔 3 〕 波 動

【 1 】 次の の中に適当な語句，式あるいは数値を入れよ。

(1) x 軸上を正の方向に進む横波 1 の，時刻 t における媒質の変位を y とすると，

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \text{ と表される。ここで，} A \text{ は波の振幅，} T \text{ は波の周期} \text{ ，}$$

λ は波長である。

また，(1) を波の位相という。

(2) 時刻 $t = 0$ と $t = T/3$ における横波 1 の変位のグラフを，それぞれ図 1，2 として描け。

(3) 次に， x 軸上を負の方向に進む横波 2 の，時刻 t における媒質の変位は，

$$y = A \sin 2\pi \left(-\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

と表される。時刻 $t = 0$ と $t = T/3$ における横波 2 の変位のグラフを，それぞれ図 3，4 として描け。

(4) 横波 1 と横波 2 が干渉したときできる合成波の変位のグラフは，時刻 $t = 0$ と $t = T/3$ の場合どのようなようになるか。それぞれのグラフを図 5，6 として描け。干渉の結果，最大振幅が(イ) である(ロ) ができることが分かる。

(5) さらに，二次元の波の干渉を考えてみよう。図は，距離 3λ 離れた点 P および Q から等しい位相で発生した波長 λ の波の，ある時刻 t における変位を示す。実線は波の山の部分，破線は波の谷の部分を表している。

時刻 t における点 R での二つの波の干渉を考えると，距離 $\overline{PR} = r_1$ ， $\overline{QR} = r_2$ ，整数 $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ として，

山と山が重なって強めあう条件は

$$|r_1 - r_2| = \text{(イ)} \text{ ，}$$

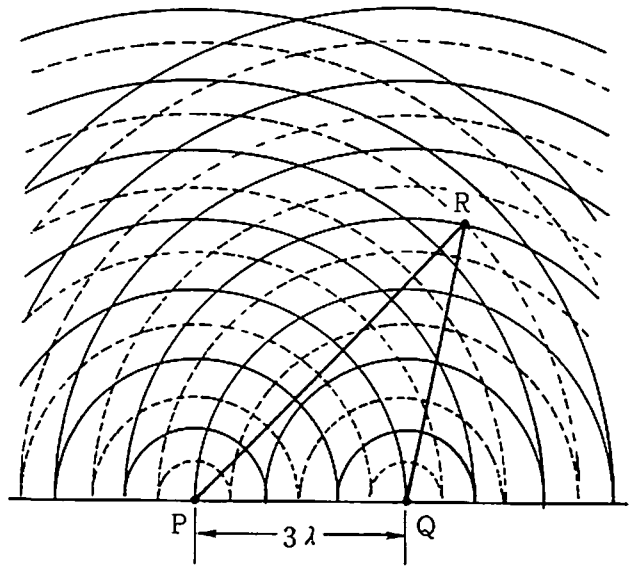
山と谷が重なって弱めあう条件は

$$|r_1 - r_2| = \text{(ロ)} \text{ }$$

である。

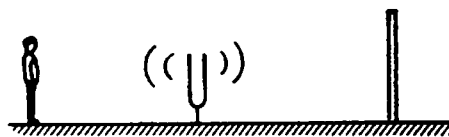
$m = 1$ で強めあう条件を満足している点を結ぶ曲線を，図に実線で示せ。

- (6) 波の波長が λ でなく 2λ の場合， $m = 1$ で強めあう条件を満足している点を結ぶ曲線を，図に破線で示せ。
 (静岡大)



【 2 】 静止している観測者，振動数 f [Hz]

の音を発するおんさ，音を反射する壁が図のよう
に左から右へ一直線上に並んでおり，壁はこ
の直線に対して垂直に置かれている。おんさと



壁はその直線上を移動できるものとする。音速を c [m/s] として，以下の問いに
答えよ。

(1) 壁は固定して，おんさを左から右へ速さ v [m/s] で動かす場合，

ア．おんさから観測者に直接到達する音の振動数はいくらか。

イ．壁で反射して観測者に到達する音の振動数はいくらか。

ウ．観測者には 1 秒間に n_1 回のうなりが聞こえたとする。このとき，おんさの
動く速さ v はいくらか。

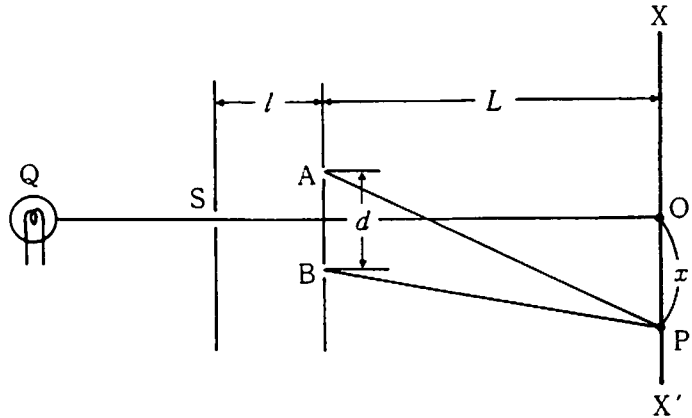
(2) おんさを固定して，壁を左から右へ速さ V [m/s] で動かす場合，

ア．壁で反射して観測者に到達する音の振動数はいくらか。

イ．観測者には 1 秒間に n_2 回のうなりが聞こえたとする。このとき，壁の動く
速さ V はいくらか。

(名城大 理工)

【3】 図はヤングの実験を示す。間隔 d の複スリット A, B は単スリット S から等距離にあり、スクリーン XX' は A, B に平行である。A, B と XX' は L だけ離れている。点 O は、S と AB の中点を結んだ直線が XX' と交わる点である。この場合、



光源 Q から放射された波長 λ の光は、S を通過した後、複スリット A, B に同位相で到着する。A, B を通過した 2 つの光が、スクリーン XX' 上の P 点に到着した。次の問いに答えよ。

- (1) $\overline{OP} = x$ とするとき、 $\overline{AP} - \overline{BP}$ を L, d, x を用いて表せ。ただし、 d, x は L に比べて十分小さいとし、また、 α が 1 に比べて十分小さいとき、

$$\sqrt{1 + \alpha^2} = 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 \text{ と表せるものとする。}$$

- (2) $\overline{AP} - \overline{BP}$ が波長 λ の整数倍となる場合、P 点は明るくなるか、暗くなるか、理由をつけて答えよ。
- (3) スクリーン XX' 上にできる明暗の縞模様の間隔（隣り合う明線と明線の間隔） Δx を L, d, λ を用いて表せ。
- (4) 次に、単スリット S を AB に平行に y だけ移動したところ、スクリーン上の明暗の様子が反転した。単スリット S と複スリット A, B の距離を l とするとき、 y を l, d, λ を用いて表せ。ただし、 l は d に比べて十分大きいものとする。
- (5) 単スリット S を更に AB に平行に y だけ移動すると、再びスクリーン上の明暗の様子が反転する。このとき、S は図の位置からどれだけ移動しているか。ただし、 $l = 2.0 \text{ cm}$, $d = 0.10 \text{ cm}$, $\lambda = 590 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) とする。

【4】 次の文を読んで、 に適した式を、 に適した数値を、また 中の正しいものの番号を、それぞれ記せ。ただし、数値は整数または有効数字3けたで解答せよ。

(1) 厚さが一定の薄膜が真空中に置かれ、単色で平行な光束が図1のように入射している。膜の厚さは d [m] である。真空中での光の波長を λ [m]、この波長の光に対する膜の屈折率を $n (> 1)$ 、光の入射角を θ [rad] とする。膜の表面の点Cで反射する光と、点Aで入射し裏面の点Bで反射し点Cで透過する光が重なっている。

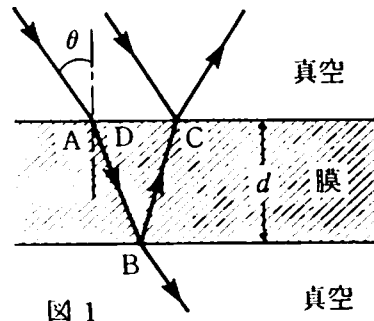


図1

同時に出発した2つの光の一方が点Aを
通って点Dまで進んだとき、他方が点Cに
達しそこで反射されたとすると、線分 DBC
の長さは、 d 、 θ および n により、(1)
 [m] と表される。表面Cで反射する光
と、裏面Bで反射する光の間には、経路の
差による位相のずれが生じる。また、(2) ①

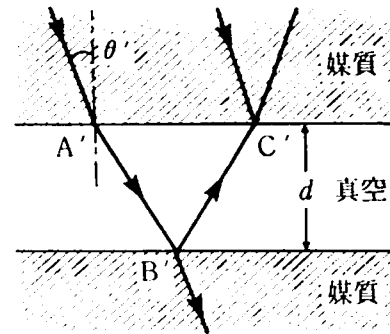


図2

反射の結果として、位相差 $\frac{\pi}{2}$ が生じる。 ② 反射の結果として、位相差 π が
生じる。 ③ 反射によっては位相差は生じない。} したがって、膜による反
射光が干渉によって最も弱くなる条件を表すと、(2) = $m\lambda$ 、($m = 1, 2,$
……) となる。この整数 m を干渉の次数と呼ぶ。

薄膜の場合とは逆に、図2のように、屈折率 n の媒質の間に、幅が d [m] の
平行な真空のすきまがあるとすると。真空中での波長が λ [m] の平行光線が、媒
質の側から入射角 θ' [rad] で投射されるとき、媒質側への反射光が最も弱くな
る条件は、(3) = $m\lambda$ 、($m = 1, 2, \dots$) である。なお、入射光の全反射
が起こらないための条件は、(4) である。

(2) 図1の場合に戻って、入射する単色光の波長を連続的に変化させた場合の、
反射光の強度の変化を考える。波長の変化に伴って、反射光の強度に山(光の
強度が強くなる場合)と谷(光の強度が弱くなる場合)が交互に現れる。

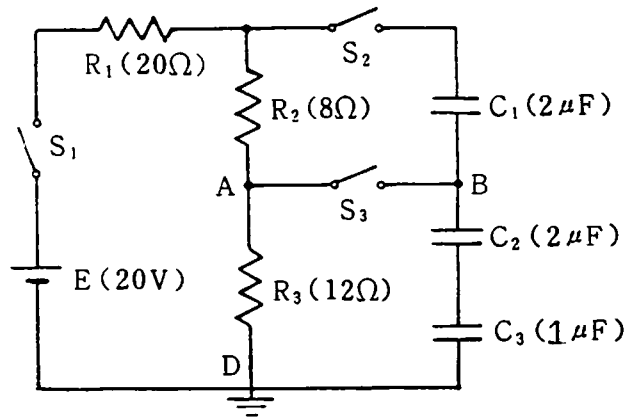
いま、厚さのわかっている膜について、光を膜の表面に垂直に入射させ、光の波長を変化させながら反射光の強さを測定する。波長の長い領域で測定を行ったとき、隣り合う2つの谷の波長として λ_1 [m]、 λ_2 [m] ($\lambda_1 > \lambda_2$) が得られたとする。その谷の干渉の次数をそれぞれ m_1 、 m_2 とすると、 m_1 、 m_2 の間には(ハ) の関係がある。

屈折率は光の波長の変化に伴って変化する。しかし、その変化は波長の長い領域では緩やかであり、波長が λ_1 [m] から λ_2 [m] まで変化する間、屈折率は変化せず一定であると見なすと、そのときの屈折率 n と次数 m_1 は λ_1 、 λ_2 および d を用いて、 $n =$ (ト) , $m_1 =$ (チ) と表される。

測定値として、 $\lambda_1 = 7.24 \times 10^{-7}$ [m]、 $\lambda_2 = 6.84 \times 10^{-7}$ [m]、 $d = 3.50 \times 10^{-6}$ [m] が得られたとすると、波長 λ_1 [m] の谷の次数 m_1 は(リ) である。光の波長を短波長の方向へ変化させていくと、隣り合う谷の波長に対してでも、屈折率は一定と見なせなくなってくる。しかし、干渉の谷の波長と次数を知れば、その谷の波長における屈折率を求めることができる。次数 m_3 の谷が、 m_1 の谷より短波長側で、 m_1 の谷の次の谷 (m_2 の谷) から数えて25番目にあり、その谷の波長が 3.52×10^{-7} m であったとすると、この波長の光に対する屈折率は(ヌ) となる。
(京大(前期))

〔 4 〕 電 磁 気

【 1 】 図に示すように、直流電源 E 、抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、コンデンサー C_1 、 C_2 、 C_3 およびスイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 からなる回路がある。直流電源 E の起電力は 20V 、抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 の抵抗値はそれぞれ 20Ω 、 8Ω 、 12Ω 、コンデンサー C_1 、 C_2 、 C_3 の電気容量はそれぞれ $2\mu\text{F}$ 、 $2\mu\text{F}$ 、 $1\mu\text{F}$ ($1[\mu\text{F}] = 10^{-6}[\text{F}]$)



である。点 D は接地されており、この点の電位は 0V である。最初 3 つのスイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 は開かれており、3 つのコンデンサー C_1 、 C_2 、 C_3 には電荷は蓄えられていないものとする。

(1) まずスイッチ S_1 だけを閉じた。

- ① 点 A の電位は何 V になるか。
- ② 抵抗 R_3 で消費される電力は何 W か。

(2) 続いてスイッチ S_2 も閉じた。

- ① 点 B の電位は何 V になるか。
- ② コンデンサー C_1 に蓄えられる電気量は何 C か。
- ③ 3 つのコンデンサー C_1 、 C_2 、 C_3 に蓄えられる全静電エネルギーは何 J か。

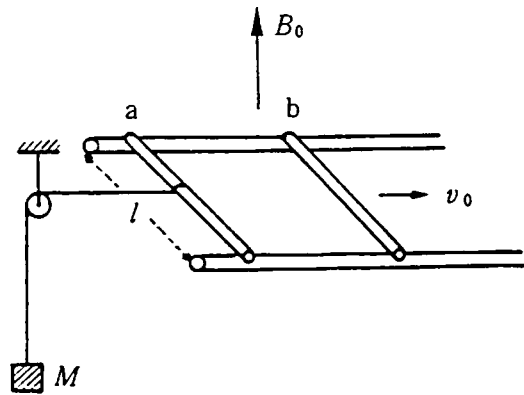
(3) さらにスイッチ S_3 も閉じた。

- ① スイッチ S_3 を閉じた瞬間にこのスイッチを通して電荷が移動する。移動する電荷の電気量は何 C か。このとき正電荷が移動すると仮定した場合、その方向は (イ) 点 A から点 B 、(ロ) 点 B から点 A のいずれか。記号 (イ)、(ロ) で答えよ。
- ② スイッチ S_3 を閉じた後に、コンデンサー C_1 および C_2 に蓄えられている電気量はそれぞれ何 C か。

(4) (3) に続いてスイッチ S_3 だけを再び開いた。

コンデンサー C_1 に蓄えられている電気量は何 C になるか。 (茨城大)

【 2 】 図のように，鉛直上向きの磁束密度 B_0 の一様な磁界内の水平上に，平行な 2 本の直線状導体レールが間隔 l で固定されている。このレールに接して，つねにレールと直角の位置を保ちながら，摩擦なくすべることができる導体の棒 a（質量 m ，電気抵抗 R_a ）と棒 b（電気抵抗 R_b ）とが置かれている。



棒 a の中央からレールに平行に糸を張り，糸の先に滑車を通して質量 M のおもりが結びつけられている。棒 a および棒 b は，いずれもレールと電氣的接触を保ちながら運動できるものとし，レールの電気抵抗，糸の質量，滑車の摩擦は無視する。また，重力加速度を g とし，糸およびレールは十分長いものとする。

次の問いに答えよ。

(1) 棒 b は図の右方向に一定の速さ v_0 で動いているものとして，まず，棒 a を手で押さえて静止させておいてから，静かに手を離れたところ，棒 a は図の右方向に動きはじめた。ただし，誘導電流のつくる磁界は無視する。

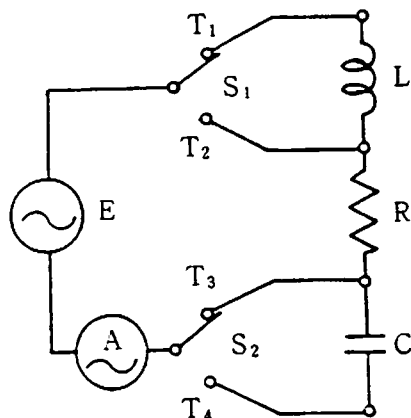
1. この状況が実現するためには，おもりの質量 M に許される最大限の大きさはいくらか。
2. 棒 a の速さが v になったときの加速度 α を求めよ。
3. 十分に時間がたって，棒 a の速さが一定の値に達した。このとき，棒 a の速さ v_1 ，および回路に流れる電流の大きさ I_1 を求めよ。
4. 棒 a の速さが一定の値 v_1 に達したとき，棒 b には外から仕事 W_b がなされている。この仕事の一部は，おもりを持ち上げる仕事 W_a に使われる。このとき，仕事の効率 $\eta = W_a / W_b$ はどのように表されるか。また， W_b のうちで W_a 以外に消費されるエネルギーの大きさを求めよ。

(2) (1)では無視した誘導電流のつくる磁界を考慮すると，回路に流れる電流の大きさは，(1)3で求めた電流の大きさ I_1 に比べて，(a) 大きくなる，(b) 小さくなる，(c) 変わらない，のどれか。1つを選んで記号で答え，その理由を 40 字以内で記せ。

(都立大)

【3】 次の文を読み、に入れるのに最も適した数値または語句を、対応する解答群の中から選び、その記号を記せ。

電気抵抗が無視できるインダクタンス $L = 40$ [mH] のコイル，抵抗値 $R = 4.0$ [k Ω] の抵抗，および電気容量 C [μ F] のコンデンサーを直列につないだ回路と，内部抵抗が無視できる角周波数 ω ($= 2\pi f$) $= 2.5 \times 10^4$ [rad/s] の交流電源 E と，電流計 A およびスイッチ S_1, S_2 がある。



これを図のように結線した。 S_1 は端子 T_1 と T_2 を， S_2 は端子 T_3 と T_4 を切り換える。以下の問いに答えよ。（必要ならば $\sqrt{2} = 1.41$ を用いよ。）

(1) S_1 を T_2 に， S_2 を T_4 に入れ，電流計 A が 2.0 mA を示すように交流電源 E の電圧を調節した。そして端子 T_2, T_3 をオシロスコープの垂直軸入力端子につなぎ，その電位差を測定すると，ブラウン管上で輝点が ± 3.0 cm 振れた。

次に，端子 T_2, T_4 を垂直軸入力端子につなぐと輝点の振れはまえの $\sqrt{2}$ 倍になった。この RC 回路のインピーダンスは① [k Ω] である。

(2) 端子 T_3, T_4 をオシロスコープの垂直軸入力端子につなぐと輝点は \pm ② [cm] 振れた。

(3) S_1 を T_1 に S_2 を T_3 に切り換え，端子 T_1, T_2 間の電位差がオシロスコープのブラウン管上で輝点の振れ ± 1.5 cm となるように交流電源 E の電圧を調節した。このとき電流計 A は③ [mA] を示した。

(4) このとき RL 回路で消費される平均電力は④ [mW] である。

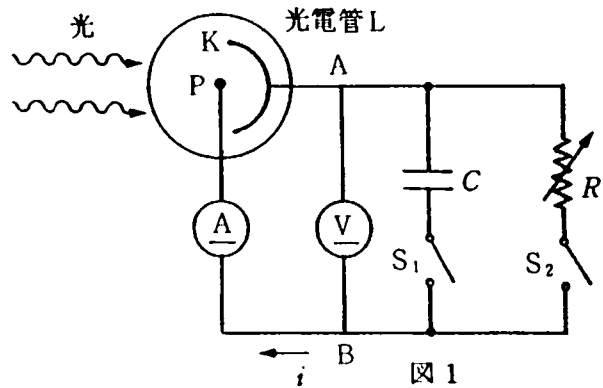
(5) S_1 を T_1 に， S_2 を T_4 につなぎ， T_2, T_3 をオシロスコープの水平軸入力端子につなぐ。 T_3, T_4 を垂直軸入力端子につなぐと，オシロスコープのブラウン管上に⑤ の図形が見られ，また， T_1, T_2 を垂直軸入力端子につなぐと，⑥ の図形が見られる。

- [解答群]
- | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (1) (a) | 8.0 | (b) | 5.6 | (c) | 4.0 | (d) | 2.8 | (e) | 2.0 |
| (2) (a) | 6.0 | (b) | 4.2 | (c) | 3.0 | (d) | 2.1 | (e) | 1.5 |
| (3) (a) | 8.0 | (b) | 5.6 | (c) | 4.0 | (d) | 2.8 | (e) | 2.0 |
| (4) (a) | 128 | (b) | 64 | (c) | 32 | (d) | 16 | (e) | 8.0 |

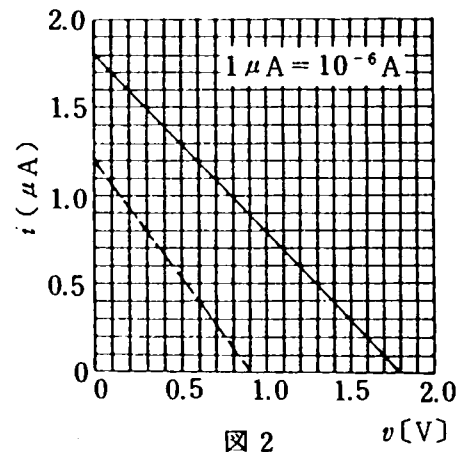
- (5) (a) 縦長の楕円 (b) 横長の楕円 (c) 円 (d) 直線
(e) 正弦波 (甲南大 理)

〔 5 〕 原 子 物 理

【 1 】 図 1 は光電管を含む回路である。光電管の陰極 K に光をあてると光電子がそこからとびだして陽極 P に達し、外部の回路に電流が流れる。スイッチ S_1 を閉じ S_2 を開いたままで、光電管に波長 $\lambda_1 = 0.50 [\mu\text{m}] = 0.50 \times 10^{-6} [\text{m}]$ の光を一定の強度



I で照射し続けたところ、B 点を基準にした A 点の電位 v はしだいに増加して一定値 1.8 V になった。その間、図の矢印の方向に流れる電流 i はしだいに減少し、 v と i の間に図 2 の実線の関係が得られた。以下の設問に答えよ。



ただし、電子の電荷の大きさ $e = 1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ 、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} [\text{J}\cdot\text{s}]$ 、光速度 $c = 3.0 \times 10^8 [\text{m}/\text{s}]$ 、 $1 [\text{eV}] = 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]$ とせよ。

- (1) 照射光の波長を λ_1 とし、電位 v が 0 V のとき、陽極 P に到達した電子の最大の速さを求めよ。ただし、電子の質量を $m = 0.9 \times 10^{-30} [\text{kg}]$ と近似して計算せよ。
- (2) コンデンサー C に蓄えられた電荷を放電した後、 S_1 を閉じ S_2 を開く。照射する光の波長を λ_2 にかえて、 i と v の関係を同じように測定したところ、図 2 の破線の関係が得られた。波長 λ_2 を求めよ。
- (3) 光の波長と強度をそれぞれもとの λ_1, I にもどし、スイッチ S_1, S_2 を閉じ可変抵抗 R を $2.0 [\text{M}\Omega] = 2.0 \times 10^6 [\Omega]$ に調整する。十分に長い時間が経過すると、回路には一定の電流が流れるようになる。その電流の大きさを求めよ。また、コンデンサーの容量を $C = 5.0 [\mu\text{F}]$ とすると、このコンデンサーにはどれだけの電荷が蓄えられているか。

- (4) 設問(3)における定常電流の値は可変抵抗 R の値によって変化する。この定常電流により可変抵抗で発生するジュール熱を最大にする R の値を求めよ。
- (5) 可変抵抗値は $2.0 \text{ M}\Omega$ ，波長は λ_1 のまま照射光の強度を $I/2$ にして設問(3)の実験を行った。定常的になったときの電流の値を求めよ。 (東大)

【 2 】 放電管の中に気体を封入して放電させると、封入された元素特有な光を放つ。これらの光はそれぞれの元素に固有な線スペクトルからなっており、元素番号 $Z=1$ の水素原子の放つ可視光部分の線スペクトルの波長 λ [m] は

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots)$$

で表されることがバルマーによって発見され、この一連の線スペクトルはバルマー系列と呼ばれている。ここで R [1/m] は、電子の質量を m [kg]、 e [C] を電荷、 k をクーロン法則の比例定数、 h をプランクの定数、 c を光の速さとする、

$$R = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{c h^3}$$

で与えられるリュードベリ定数である。

この水素原子の放つ線スペクトルはボーアが次の2つの仮定をして、提案した原子模型（ボーアの原子模型）により説明された。

1. 原子内の電子は、電子の運動量と軌道半径の積が $\frac{h}{2\pi}$ の正の整数倍に等しいという条件を満たす特別の円軌道上だけに存在し、この円軌道上を回る電子は、電磁波を放射することなく、安定な運動を続ける。
2. 電子が、このような安定な軌道の1つから、エネルギーの異なる他の安定な軌道へ移るとき、この2つの軌道のエネルギーの差を光子として放出または吸収する。

しかし、放電管の中に純粋な水素を封入して、出てくるバルマー系列の線スペクトルを非常に精密に測定すると、それぞれの輝線は非常に近接した2本の線（強度は1本は強く、1本は弱い）からなっている。

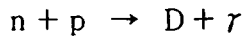
これは、水素原子には質量数の異なる2種類の同位体が存在すると考え、ボーアの原子模型において、電子と原子核はお互いの重心として各々が円運動していると考えることにより説明でき、水素原子の同位体の発見につながった。以下の問いに答えよ。

- (1) 電子の質量を m [kg]、原子核の質量を M [kg] として、ボーアの原子模型において、電子と原子核はお互いの重心を中心としてそれぞれが円運動していると考えて、バルマー系列の線スペクトルが次の式で表せることを導け。

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \left/ \left(1 + \frac{m}{M} \right) \right. \quad (n = 3, 4, 5, \dots)$$

- (2) バルマー系列の波長の長いほうから2番目の H_β 線と呼ばれる輝線は波長が 1.3×10^{-10} m だけ違う2本の線スペクトルからなっている。これは原子核の質量が M_1 [kg] と M_2 [kg] ($M_1 < M_2$) の2種類の水素原子の同位体からそれぞれ放たれた光であるとして、それぞれの同位体の原子核の質量が電子の質量の何倍であるかを計算して求めよ。ただし、陽子の質量は電子の質量の1840倍で、リュードベリ定数 $R = 1.097 \times 10^7$ [1/m] とする。 (関西学院大 理)

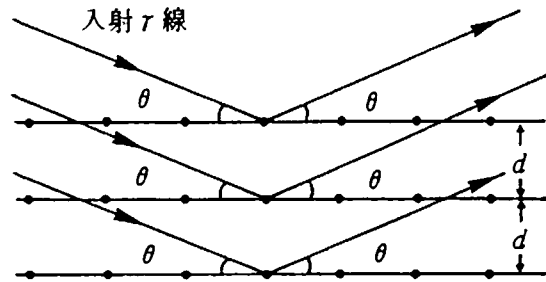
【3】 静止している水素原子核に非常に遅い中性子を衝突させたところ、次の反応が起こった。



ここで n は中性子、 p は陽子、 D は重陽子、 γ は γ 線を表す。この反応で生じた γ 線のエネルギーを測定して重陽子の結合エネルギーを求めたい。以下の問いに答えよ。

(1) この反応で生じた γ 線を、図のよ

うに格子面間隔 d の結晶面に当て、反射 γ 線の強度を観測した。 γ 線の入射角を $\theta = 0$ から増加させていったところ、 $\theta = \alpha$ の角度で強度が極大を示した。この γ 線のエネルギー E_1 を、 d と α を用いて表せ。ただし、光速を c 、プランク定数を h とする。



(2) 他の実験からエネルギーの値が E_0 と分かっている γ 線について、(1)と同じ実験を行ったところ、 $\theta = \beta$ で反射 γ 線の強度が極大になった。この結果を利用して、上の反応で生じた γ 線のエネルギー E_1 を、 E_0 、 α および β によって表せ。

(3) 上の反応で γ 線の放出とともに生成される重陽子は、運動量と運動エネルギーを持っている。この運動量の大きさ p_D および運動エネルギー E_D を、放出 γ 線のエネルギー E_1 を用いて表せ。ただし、重陽子の質量を m_D とし、衝突する中性子の速度は無視してよいものとする。

(4) 重陽子の結合エネルギー E_b を、上の反応において得られる γ 線のエネルギー E_1 と重陽子の運動エネルギー E_D を用いて表せ。

(5) 実験によれば、 $\alpha = 0.0023$ [rad] であり、 $E_0 = 0.51$ [MeV] の場合に $\beta = 0.010$ [rad] であった。 γ 線のエネルギー E_1 を、MeV の単位で求めよ。

また、重陽子の運動エネルギーとして運び去られたエネルギー E_D は、 E_1 の何%になっているか。ただし E_D の計算に当たっては、 m_D の値として陽子の質量 m_p と中性子の質量 m_n の和を用いてよい。また、 θ の小さな値に対しては、 $\sin \theta \approx \theta$ の近似が成り立つとしてよい。

(6) 重陽子の結合エネルギー E_b を、MeV の単位で求めよ。次にこの E_b の値を用

いて，重陽子の正確な質量 m_D を，原子質量単位 (u) で表せ。

計算に当たっては次の数値を用いよ。

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ [m/s]} \quad 1 \text{ [MeV]} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ [J]} \quad m_p = 1.0073 \text{ [u]}$$
$$m_n = 1.0087 \text{ [u]} \quad 1 \text{ [u]} = 1.7 \times 10^{-27} \text{ [kg]} \quad (\text{名古屋大})$$