平成 16 年度　技術士第一次試験　共通科目　物理

問題と解説・解答

1.　火星の質量と半径は、それぞれ地球の 0.107 倍と 0.533 倍である。火星表面での重力加速度の大きさは、地球表面での重力加速度の大きさの何倍か。

① 0.06　② 0.11　③ 0.20　④ 0.38　⑤ 1.0

解説と解答：

表面上の加速度を g とすると、万有引力の公式により

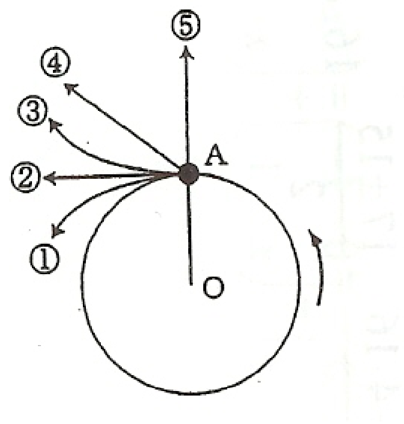
添字　M は火星、E は地球を示す。

$$mg_M = \frac{GM_M m}{r_M{}^2},\ mg_E = \frac{GM_E m}{r_E{}^2}$$

$$\frac{g_M}{g_E} = \frac{M_M}{M_E}\left(\frac{r_E}{r_M}\right)^2 = \frac{0.107}{0.533^2} = 0.377$$

従って解答は④

2.　糸の一端をなめらかで水平な平面上の点 O に固定し、他端におもりをつけた。点 O を中心に、このおもりをこの平面上で反時計回りに等速円運動させたところ、おもりが図の A 点に来たときに糸が切れた。この後、おもりはどのような軌跡を描くか」、図の①～⑤の中から選べ。



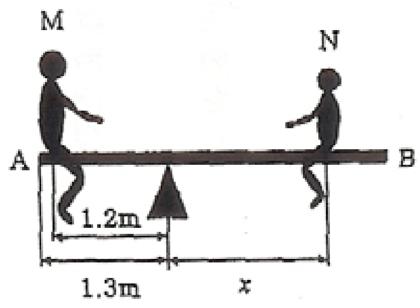
解説と解答：

A 点では糸が切れているため、おもりには全ての力が作用していない。またおもりの速度は接線方向であるため、糸が切れた瞬間より考えると、その後の錘には、力が作用しない質点系の運動で、初期条件は接線方向速度で考えればよい。

従って解答は②

3.　重さ 20 kg重、長さ 3.0mの一様な板 AB でできたシーソーがある。A から 1.3mのところを支点で支え、体重 50 kg重の人 M が支点から 1.2mの位置にのり、体重 40 kg重の人N が支点から x m離れたところにのったらつりあった。x はいくらか。

①　1.2　　②　1.3　　③　1.4　　④　1.5　　⑤　1.5



解説と解答：

板 AB の重心は A 端から 3.0/2＝1.5m　即ち支点から右側 0.2m の位置にある。

この状態での左右のモーメントの釣合いを計算する。

$$50\times1.2=20\times0.2+40x$$

$$x=\frac{50\times1.2-20\times0.2}{40}=1.4$$

従って解答は③

4.　水平面と角度θをなす摩擦のない斜面上を物体が初速度 0 で滑り落ちる場合を考える。θ が θ_1 と θ_2 のときに、物体が滑り始めてから同じ距離だけ滑るのに要する時間をそれぞれ t_1 , t_2 とすれば、それらの間にはどのような関係があるか。

① $\frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}}$　　② $\frac{t_1}{t_2}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$　　③ $\frac{t_1}{t_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

④ $\frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}}$　　⑤ $\frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}}$

解説と解答：

斜面上の質点の運動方程式は

$$\ddot{x}=mg\sin\theta\ ,\ \dot{x}=mgt\sin\theta+A\ \ ,\ A=0$$

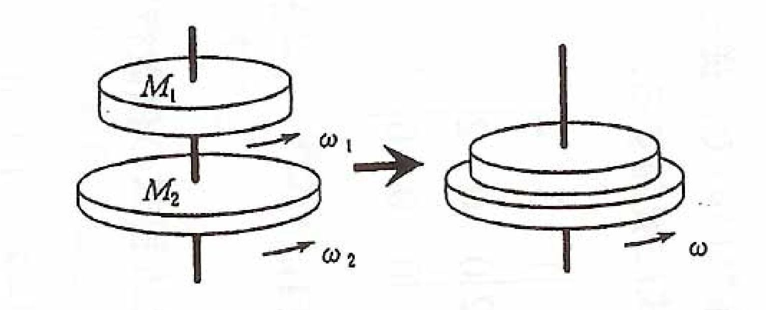
$$x=\frac{1}{2}t^2mg\sin\theta+B\ ,\ B=0$$

滑る距離が同一の場合の時間を求める。

$$\frac{1}{2}t_1^2 mg\sin\theta_1 = \frac{1}{2}t_2^2 mg\sin\theta_2,\quad \frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta 1}}$$

従って、解答は⑤

5.　下図のように２つの一様な円盤（一方は半径a_1、質量M_1、他方は半径a_2、質量M_2）が、中心を通り板面に垂直な共通の中心軸のまわりにそれぞれ一定の角速度ω_1とω_2で回転している。この２つの円盤を合体させると合体後の角速度ωはどうなるか。ただし、質量M、半径aの一様な円盤の中心を通り板面に垂直な軸のまわりの慣性モーメントは $(1/2)Ma^2$ である。



① $\sqrt{\dfrac{8(M_1{a_1}^2{\omega_1}^2+M_2{a_2}^2{\omega_2}^2)}{(M_1+M_2)(a_1+a_2)}}$　② $\dfrac{(M_1{a_1}^2+M_2{a_2}^2)\omega_1\omega_2}{M_1{a_1}^2\omega_2+M_2{a_2}^2\omega_1}$

③ $\sqrt{\dfrac{M_1{a_1}^2{\omega_1}^2+M_2{a_2}^2{\omega_2}^2}{M_1{a_1}^2+M_2{a_2}^2}}$　④ $\dfrac{8(M_1{a_1}^2\omega_1+M_2{a_2}^2\omega_2)}{(M_1+M_2)(a_1+a_2)^2}$

⑤ $\dfrac{M_1{a_1}^2\omega_1+M_2{a_2}^2\omega_2}{M_1{a_1}^2+M_2{a_2}^2}$

解説と解答：

保存系の場合は、運動量および角運動量は保存される。

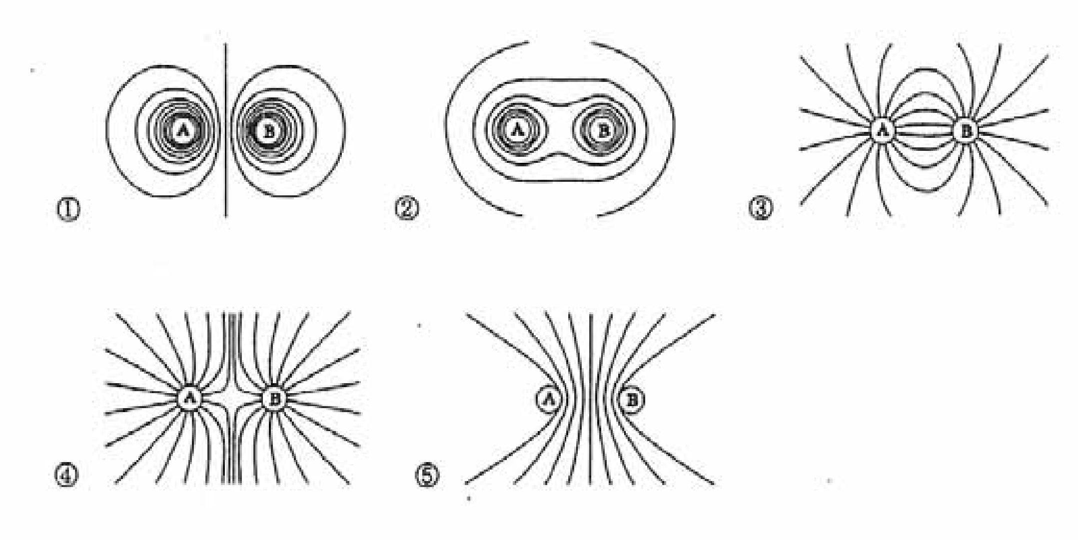
この場合、Iω＝一定で考える。

$$\frac{1}{2}M_1a_1^2\omega_1+\frac{1}{2}M_2a_2^2\omega_2=(\frac{1}{2}M_1a_1^2+\frac{1}{2}M_2a_2^2)\omega$$

$$\omega=\frac{\frac{1}{2}M_1a_1^2\omega_1+\frac{1}{2}M_2a_2^2\omega_2}{(\frac{1}{2}M_1a_1^2+\frac{1}{2}M_2a_2^2)}=\frac{M_1a_1^2\omega_1+M_2a_2^2\omega_2}{(M_1a_1^2+M_2a_2^2)}$$

従って解答は⑤

6.　下図に示すように、電気量がＱと－Ｑの２つの点電荷が真空中のⒶ、Ⓑの位置にあるとき、等電位線はどのようになるか。次の図の中から選べ。



解説と解答：
　正と負電荷による電位Ｖは

$$V=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$ 　である、即ちｒ₁ とｒ₂が等しい点では電位は０である。

　これを模式的にあらわすと、等距離線での鏡像関係になる。
　従って解答は①

7.　十分離れて置かれた半径 R_A と R_B の２つの導体球 A , B が、細くて長い導線で結ばれている。これに電荷を与えたとき、 A の表面での電界の強さは B の表面での電界の強さは何倍か。次の中から選べ。

① 1　② $\frac{R_A}{R_B}$　③ $\frac{R_B}{R_A}$　④ $\left(\frac{R_A}{R_B}\right)^2$　⑤ $\left(\frac{R_B}{R_A}\right)^2$

解説と解答：
　十分離れた導球体が静電界上の干渉がないものとし、また十分時間がたっており、定常状態にあるものと考えると、この二つの導球体が細い導線で結ばれているので、お互いの電位は等しい。
　電位Ｖと電界Ｅの関係は距離をｄとすれば、$V=Ed$ と表される。
これをＡ球、Ｂ球に適用する。球体ではその電荷は中心にあるとして取り扱われるので、距離ｄは半径Ｒと考えてよい。

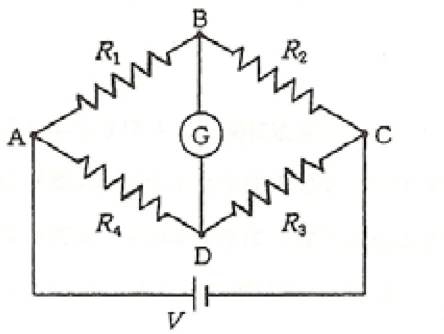
$$V=E_AR_A=E_BR_B,\quad E_A=E_B\frac{R_B}{R_A}$$

　従って解答は③

8.　電気抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 と起電力 V の電池で下図のような回路を作った。端子 BD 間に入れた検流計Gに流れる電流が 0 となるための条件は次のうちどれか。

① $R_1R_2 = R_3R_4$　　② $R_1R_3 = R_2R_4$　　③ $R_1R_4 = R_2R_3$

④ $R_1 + R_2 = R_3 + R_4$　　⑤ $\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_4} = \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}$



解説と解答：

キルヒホッフの法則を適用する。

検流計に流れる電流を i_G とし、それぞれの抵抗に流れる電流を $i_{1,2,3,4}$ 、電源の電流を i とする。

$$i = i_1 + i_4 = i_2 + i_3,\ i_1 = i_2 + i_G,\ i_2 = i_4 + i_G$$
$$R_1i_1 + R_2i_2 = V,\ R_4i_4 + R_3i_3 = V$$
$$(R_1 - R_3)i_G = (R_4 + R_3)i_4 - (R_1 + R_2)i_2$$

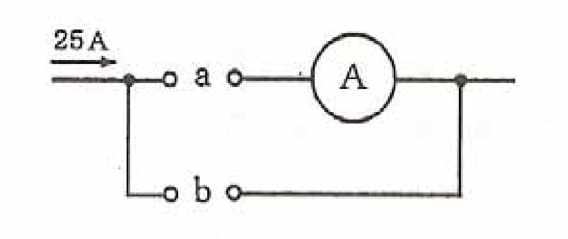
検流計に電流が流れない場合は　$i_G = 0$、

$$R_1i_1 = R_4i_4,\quad R_2i_2 = R_3i_3$$
$$(R_1 + R_2)R_3 = (R_3 + R_4)R_2,\qquad \therefore R_1R_3 = R_2R_4$$

従って解答は②

本問題はホイートストーンブリッジという有名な回路で抵抗値計測などに利用されています。

9.　5Aまで測れる電流計がある。この電流計と抵抗とを用いて、25Aまで測れるようにするには、下図の a と b　の位置に何Ωの抵抗を取り付ければよいか。次の中から選べ。ただし、電流計の内部抵抗は 10Ωとする。



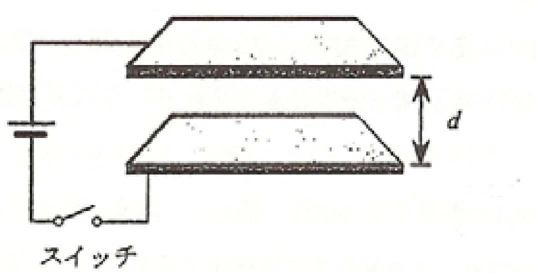
① a に５Ω、b は開放
② a に 10Ω、b は開放
③ a は短絡、b に 5Ω
④ a に短絡、b に 10Ω
⑤ a に 10Ω、b に 5Ω

解説と解答：
解答群の中で、a を開放すると電流が測れない。また b を開放すると電流計に 25Ａが流れる。従って解答は⑤以外にない。これを数値的に検証する。
a に５A、b に 20A 流れる条件で考える。ここで電流計の内部抵抗を r とする。

$$20R_b = 5(R_a + r) \quad R_a = \frac{20R_b - 5r}{5} = 4R_b - 10$$

これに択一解答条件を当てはめると、R_b＝5Ω、R_a＝10Ω、が適合する。
従って解答は⑤

10. 極板間の距離がｄの平行板コンデンサーと電池で下図のような回路を作った。はじめスイッチをいれてコンデンサーを充電し、その後スイッチを切る。次にコンデンサーの極板間の距離ｄを変化させたとき、極板間の電圧 V と電界 E について正しい記述は次のうちどれか。ただし平行板コンデンサーの一辺の長さはｄに比べて十分大きいものとする。



① ｄを大きくすると V は大きくなるが、E は変化しない。
② ｄを大きくすると V は変化しないが、E は大きくなる。
③ ｄを大きくすると V は小さくなるが、E は変化しない。
④ ｄを大きくすると V は変化しないが、E は小さくなる。
⑤ ｄを大きくしても V も E も変化しない。

解説と解答：

平行平板コンデンサの特性式で考えればよい。

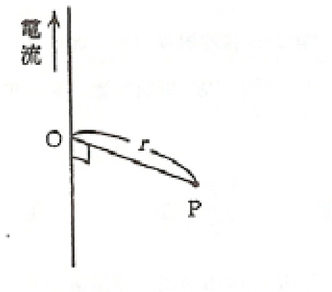
面積 S、距離ｄ、電界の強さ E、電位差V とすると、

$$\varepsilon_0 E = \frac{Q}{S},\ V = Ed = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} d$$ 、Q が最初に与えられて一定であるから

電界 E は変化せず、電圧 V は距離に比例して大きくなる。

従って、解答は①

11.　下図のように、十分に長い直線導体を流れる電流が、直線導体から距離rだけ離れていた点Ｐにつくる磁界Ｈについて正しい記述は次のうちどれか。ただし、図の点 O は点Ｐから直線導体に下ろした垂線の足である。



①Ｈは直線導体に平行で、その大きさはrに反比例する。
②Ｈは直線導体に平行で、その大きさはrの２乗に反比例する。
③Ｈは直線導体と垂線ＯＰに垂直で、その大きさはrに反比例する。
④Ｈは直線導体と垂線ＯＰに垂直で、その大きさはrの２乗に反比例する。
⑤Ｈは垂線ＯＰに平行で、その大きさはrの２乗に反比例する。

解説と解答：

アンペールの法則により、直線導体に流れる電流を I とすると

$$H = \frac{1}{2\pi}\frac{I}{r}$$ この磁界は右ネジの進む方向に同心円状に発生する。

従って、解答は③

12.　ある遠方の天体のスペクトルを測定したら、水素などのスペクトルの波長が 1.03 倍長い方にずれていた。この天体は、我々に対してどのような運動をしているか、次の中から選べ。ただし、光の速さをｃとする。

①0.03ｃの速さで近づいている。
②0.03ｃの速さで遠ざかっている。
③$\dfrac{c}{1.03}$の速さで近づいている。

④$\dfrac{c}{1.03}$の速さで遠ざかっている。

⑤天体表面が$\dfrac{c}{1.03}$の速さで回転している。

解説と解答：
　天体の速度が光の速度に比べかなり遅いので相対性原理の効果を無視すれば、音速に関するドップラー効果と同一で計算できるとする。
　光の速度をｃ、天体の速度をＶ（近づく場合を正）、静止時の振動数 ν_0、移動時の振動数を ν とすると、

$$\nu = \frac{c}{c-V}\nu_0,\quad \frac{\nu}{\nu_0} = \frac{1}{1-\dfrac{V}{c}},\quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$ 波長：λ

　これより波長と天体の速度の関係を求める。

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1-\frac{V}{c},\ V = c(1-\frac{\lambda}{\lambda_0}),\quad \frac{\lambda}{\lambda_0} = 1.03,\ V = -0.03c$$

　Ｖが負であり天体が遠ざかっていることを示す。
　従って解答は②

13.　弦を伝わる横波の速さは、弦の張力Ｔと弦の単位当たり質量σのみで表される。このとき横波の速さは次のどれに比例するか。

①$\dfrac{\rho}{T}$　②$\dfrac{T}{\sigma}$　③$\sqrt{\dfrac{\sigma}{T}}$　④$\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$　⑤$T\sigma$

解説と解答：
解法１
　次元解析で考える。
　横波の速さは $m/s \Rightarrow L/T$
　弦の張力　$N = kgm/s^2 \Rightarrow ML/T^2$
　弦の単位体積当たり質量　$kg/m^3 \times m^2 = kg/m \Rightarrow M/L$ これらを組合わせると

$$\frac{L}{T} = (\frac{ML}{T^2})^n (\frac{M}{L})^m$$

$$M \Rightarrow n+m=0$$

$$T \Rightarrow -2n=-1\ ,n=\frac{1}{2}$$

$$L \Rightarrow n-m=1\ ,\ m=n-\frac{1}{2}=-\frac{1}{2}$$

これから、$\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$ となる。

従って、解答はまる④である。

解法２

張力 T の弦の振動方程式は単位長さ当りの質量をσとすると

$\sigma \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2} = T\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}$　　ここで、時間関数 H(t)と位置関数 Y(x)に変数分離して解く。

$$c^2 = \frac{\sigma}{T},\ \ c^2 \ddot{H}(t)Y(x) = H(t)Y''(x),\ \ c^2\frac{\ddot{H}}{H} = \frac{Y''}{Y} = \lambda$$

$$c^2\ddot{H} = \lambda H,\ Y'' = \lambda Y$$

ここで、時間成分は振動成分のため　$H = H_0 e^{i\omega t}$　と仮定できる。

$\lambda = -c^2\omega^2$　として、位置関数を求めると

$Y = A\sin c\omega x + B\cos c\omega x$　　A,B は境界条件　ｘ＝０、L で Y=0 より決まる。

B=0,であるから $c\omega L = n\pi, n = 1, 2, 3....$　これよりωは

$$\omega = \frac{n\pi}{L}\sqrt{\frac{T}{\sigma}},\ \ \omega = 2\pi f,\ \therefore f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\sigma}}$$

弦を伝わる横波の速度ｖは　波長λ＝2L であるから　ｖ＝ｆλであり

$v = n\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$　となる。従って解答は④

14.　気温がｔ（℃）のときの空気中の音速は、$331.5 + 0.6t\ \ (m/s)$ である。あるパイプ中の気柱の共鳴周波数が 20℃のとき $1000Hz$ だとすると、24℃のときは何 Hz か。次の中から選べ。ただしパイプの熱膨張および開口端の補正は無視できるものとする。

①993　②997　③1000　④1003　⑤1007

解説と解答：

気柱の共鳴振動数ｆは、その半波長λ/2 が気柱長さ L に等しいので

$$\lambda = 2L,\ \ f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

速さが気温により変化すると、共鳴振動数は音速 v に比例するから

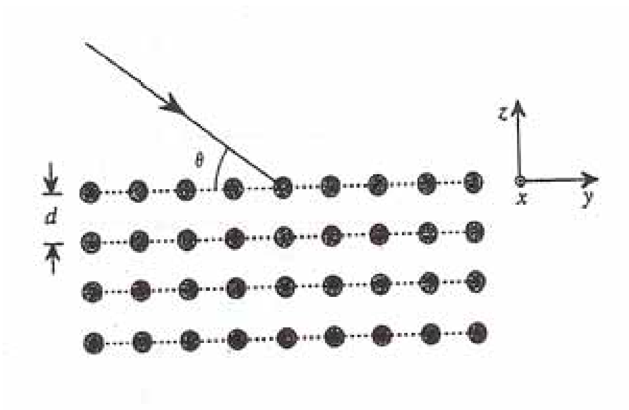
$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{v_2}{v_1},\quad f_2 = f_1\frac{v_2}{v_1} = 1000\times\frac{331.5 + 0.6\times 24}{331.5 + 0.6\times 20}$$

$$= 1000\times\frac{345.9}{343.5} = 1007$$

従って解答は⑤である。

15.　下図のように、xy 平面に平行な原子面が z 軸方向に間隔 d で積層している。

いま xy 平面と角度θをなすような波長λのX線が入射するとき、反射されるX線が強くなるための条件は次のうちどれか。ただし、n は自然数とする。



①$2d\sin\theta = \dfrac{\lambda}{n}$　　②$2d\cos\theta = \dfrac{\lambda}{n}$　　③$2d\tan\theta = n\lambda$

④$2d\sin\theta = n\lambda$　　⑤$d\cos\theta = n\lambda$

解説と解答：
　結晶のX線干渉でのブラッグの条件であり、下記参照。
　表面入射X線とその下層へのX線入射との光線路線長の差は $2d\sin\theta$ が波長λの整数倍であることである。従って解答は④である。

参考

X線回折装置について

X線回折装置は上記に書いてあるように物質中の結晶情報を得る事ができる。何故このような情報が得られるのか見ていく。
結晶性の物質は原子、イオンまたは分子が三次元的に規則正しく整列している。その結晶性物質にX線が照射されると規則正しく整った各原子が散乱X線をだす、この散乱したX線がブラッグの条件とよばれる条件を満たすと散乱線が互いに干渉しあって回折現象をしめし、回折線として観測される。この回折線はそれぞれの結晶固有のものなので既知のデーターベースを利用する事により結晶を定性する事ができる。例えば酸化ケイ素といっても Quartz, Tridymite, Cristobalite, Opal, Chalcedony などの結晶状態があるがそれぞれ化学組成が同じでも、結晶状態が違うのでX線回折法を用いる事によりどの物質が特定する事ができる。
ブラッグの条件　$n\lambda=2d\sin\theta$ (n=1,2,3...)
n: 回折次数　λ: 入射X線の波長(Å)　d: 結晶の面間隔(Å)　θ: 反射角

結晶の大きさなど結晶に関する情報を得る事ができる。

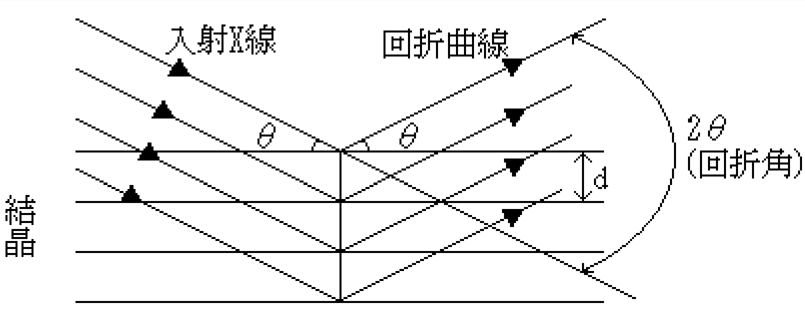


Fig.1　結晶によるX線の回折

16.　１気圧、100℃の水１kgをすべて１気圧、100℃の水蒸気にしたとき、エントロピーの変化は、ほぼ何 $kcal/K$ か。次の中から選べ。ただし、水の蒸発熱を $540 cal/g$ とせよ。

解説と解答：

エントロピーの変化は、エントロピーをS,熱量をQ、温度（絶対温度）をTとすると

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{1000 \times 0.54}{273.15 + 100} = 1.447\ kcal/K$$

また水が蒸発する場合はエントロピーは増大するので変化は正

従って、解答は④

17.　定圧比熱 $20.9 J/K \cdot mol$ 、定積比熱 $12.6 J/K \cdot mol$ の理想気体 $1 mol$ の温度を $20K$ 上げた。このとき、圧力が一定だったとすると、気体のする仕事はいくらか。次の中から選べ。

①166Ｊ　②209Ｊ　③252Ｊ　④335Ｊ　⑤418Ｊ

解説と解答：

気体のする仕事Wは　$W = pdV$　一方　理想気体の状態式は　$pV = RT$ である。

これを微分して、 $pdV + dpV = RdT$ 、圧力一定では $dp = 0$ 、従って $pdV = RdT$

$W = pdV = RdT$ 、またマイヤーの法則より $R = C_p - C_v$ である。

これより、$W = RdT = (20.9 - 12.6) \times 20 = 166 J$

従って解答は①

18.　$^{238}_{92}U$ は、α崩壊とβ崩壊を何度か行い、最後には $^{206}_{82}Pb$ となる。この間、１個の $^{238}_{92}U$ ははβ崩壊を何回行うか、次の中から選べ。

①　4　　②　5　　③　6　　④　8　　⑤　10

解説と解答：
　原子核のα崩壊は陽子２個、中性子２個　質量数４の放出であり、β崩壊は単純には中性子が陽子に変化する過程において電子と中性微子を放出する。ウラン238が鉛206になると、質量数AはA=238－206＝32　　原子数（陽子数）Z＝92－82＝10　減少する。この場合ではα粒子は32/4＝8　放出するため、陽子は8×２＝16減少するはずである。陽子数の変化は10であるから、その差　16－10＝6　が中性子から陽子に変化した、即ちβ崩壊した数である。
　従って解答は③

19.　次の現象の中で、ブラウン運動に関係しているものはどれか。

①微粒子が水中で不規則な運動をする。
②木の葉が乱流空気で落下するときの、不安定な運動。
③α粒子を金箔に照射すると、入射方向に対して90°以上の方向に散乱されることがある。
④Ｘ線を炭素によって散乱させると、波長が散乱前より長くなる。
⑤石けん水にレーザー光を当てると、レーザー光の道筋が光って見える。

解説と解答：
　ブラウン運動は、顕微鏡下で花粉が不規則に運動する現象で、1827年に英国のロバート・ブラウンが発見したものである。これは水の分子の熱運動によるものである。
　従って解答は①
参考
　②木の葉に作用する重力と空気力の乱流による運動である。
　③ラザフォード散乱として有名である。
　④Ｘ線散乱現象である。
　⑤水中のコロイド粒子によるレーザー光の散乱でチンダル現象という。

20.　暑さ2.0mmで、あるＸ線を50%吸収する板がある。この板と同じ材質の板で同じＸ線を75%吸収させるには、板の厚さを何mmにすればよいか。次の中から選べ。
①　2.5　　②　3.0　　③　3.5　　④　4.0　　⑤　4.5

解説と解答：
解法１
　半減する厚さが2.0mmであり吸収率75%は透過率25%であるので、05×0.5＝0.25のため、更に半減する厚さは2.0mm、
　即ち20.＋2.0＝4.0mm　となる。

解法２

　Ｘ線の透過吸収は、単純モデルで考えると、厚さｔをn等分しnを無限大とすると吸収率をμ、初期強度をX_0　とすれば、

　n層目の透過強度Xは $X = X_0(1-\mu\frac{t}{n})^n$ 、従って $\lim_{x\to\infty}(1-\mu\frac{t}{n})^n = e^{-\mu t}$ 、厚さ２.0mm　で透過強度50％（吸収率も50％）であるから、

$$-\mu t = \log 0.5 = -0.6931, \quad \mu = -\frac{-0.6931}{2.0} = 0.3466$$

吸収率75％、即ち透過強度25％の場合の厚さｔは

$$t = \frac{\log 0.25}{-\mu} = \frac{-1.386}{-0.3466} = 4.0\,mm$$

　従って解答は④