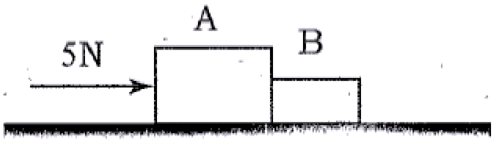
平成１８年度技術士第一次試験
共通科目
物理学　問題と解答

（B）　物理学　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　９時～11時

Ⅲ　次の20問題を解答せよ。（解答欄に１つだけマークすること。）

Ⅲ－１　滑らかな水平面上に質量が1.5kgと1.0kgの２つの物体A，Bが下図のように接して置かれている。いま，物体Aの左側から５Nの力を水平に作用させると，物体Bには水平右方向に何Nの力が作用するか。次の中から選べ。

①　１N　　②　２N　　③　３N　　④　４N　　⑤　５N



解説と解答：

水平面上の摩擦が無いものと仮定できるので、物体 A,B に力が作用すると、加速度αで動き始めると考えられる。

これに運動の法則を適用する。

$$F = \alpha(m_A + m_B) = \alpha m_A + \alpha m_B = F_A + F_B$$

$$\alpha = \frac{F}{(m_A + m_B)}$$

この加速度は物体 A,B で同じと考えられる。

ここで、物体 A,B に作用する力を F_A ,F_B とする。

$$F = F_A + F_B$$

$$F_B = \alpha m_B = \frac{F}{(m_A + m_B)} m_B = \frac{m_B}{(m_A + m_B)} F$$

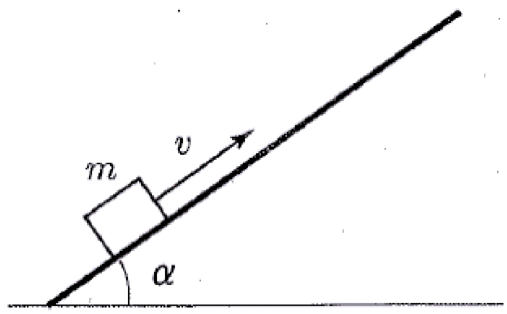
これに数値を代入すると、

$$F_B = \frac{1.0}{1.5 + 1.0} \times 5 = \frac{5}{2.5} = 2N$$

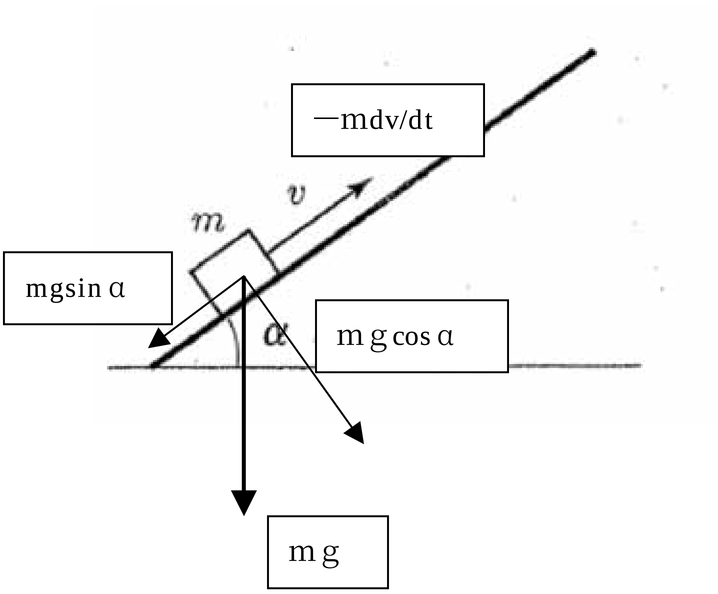
従って、正解は②である。

Ⅲ－２　水平面から角度αだけ傾いた平らな斜面がある。斜面上の一点に置かれた質量mの物体を，斜面上方に向かって初速度vで放ったとき，元の位置に戻るまでの時間はいくらか。次の中から選べ。ただし，重力加速度をgとし，物体と斜面との間の摩擦は無視できるものとする。

① $\dfrac{v^2}{2g\cos\alpha}$　② $\dfrac{v^2}{2g\sin\alpha}$　③ $\dfrac{2v}{g\cos\alpha}$　④ $\dfrac{2v}{g\sin\alpha}$　⑤ $\dfrac{2v}{g}$



解説と解答：



斜面には摩擦がないと仮定できる。

図のように、重力を斜面に垂直方向と平行方向に分解し、斜面に平行方向の力の釣合いを考える。

$$-m\frac{dv}{dt}-mg\sin\alpha=0$$
$$\frac{dv}{dt}=-g\sin\alpha$$
$$v=\frac{dx}{dt}=-(g\sin\alpha)t+C$$
$$x=-\frac{1}{2}(g\sin\alpha)t^2+Ct+D$$

ここで、初期条件　$t=0$, $v=v_0$, $C=v_0$, $x=0$, $D=0$

$v=-(g\sin\alpha)t+v_0$, $x=-\frac{1}{2}(g\sin\alpha)t^2+v_0t$

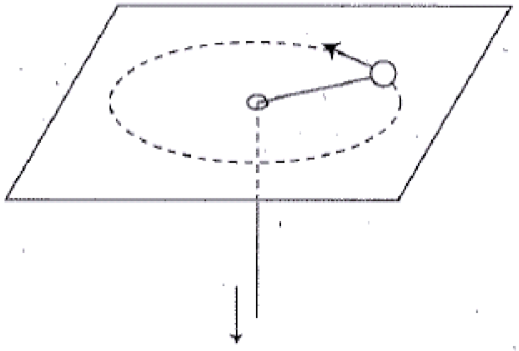
ここで、元の位置は $x=0$ であるから、これから時間を求める。

$$x=-\frac{1}{2}(g\sin\alpha)t^2+v_0t=0$$
$$t=\frac{2v_0}{g\sin\alpha}$$

以上により、正解は④である。

Ⅲ－３　下図のように，水平な板に開けた小さな穴に糸を通して，その先端に質点を結び，板の上で等速円運動させた。ゆっくりと糸を引いて，円運動の半径を半分にしたとき，質点の速さは，はじめの速さの何倍になるか。次の中から選べ。ただし，質点と板との間の摩擦は無視できるものとする。

①　$\frac{1}{4}$倍　　②　$\frac{1}{2}$倍　　③　１倍　　④　２倍　　⑤　４倍



解説と解答：

この問題は、水平な板の平面上での角運動量保存の法則を適用する。

但し、糸はゆっくり引かれるので、これによる影響は無視できるとする。

$L = rmv$

ここで、L ：角運動量

r ：半径

m ：質点の質量

v ：円運動の速さ

これより、半径が半分になると速さは２倍になる必要がある。

従って、正解は④である。

Ⅲ－４　下図のように，中心をＡとする半径$2a$の円板から，中心をＢとする半径aの内接円をくりぬいた密度が一様な薄い板がある。この薄い板の重心の位置はABを結ぶ直線上のどこか。次の中から選べ。

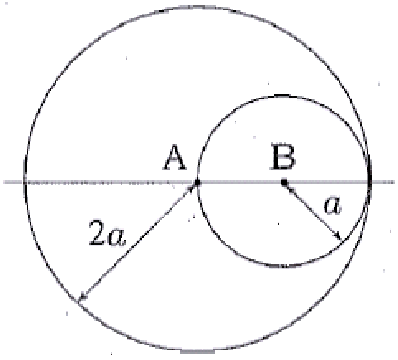
① 点Ａから左に $\frac{1}{5}a$ だけ離れた位置

② 点Ａから左に $\frac{1}{4}a$ だけ離れた位置

③ 点Ａから左に $\frac{1}{3}a$ だけ離れた位置

④ 点Ａから左に $\frac{1}{2}a$ だけ離れた位置

⑤ 点Ａから左に a だけ離れた位置



解説と解答：

B 円をくりぬくので重心は図の A 点から左側（B の反対側）に移動する。

A からの距離を x とし、慣性モーメントの釣合いを考える。

ρを密度として、

$$\rho\pi(2a)^2 x = \rho\pi a^2 (x + a)$$

$$4x = x + a$$

$$3x = a \ , \ \ x = \frac{1}{3}a$$

従って、正解は③である。

Ⅲ－5　x 軸上を運動する質点の位置のエネルギーが $U(x)=-x^3+3x^2$ で与えられる。いま，位置 $x=1$ に質点を静かに置いた。その後，質点はどのような運動をするか。次の中から選べ。

① 周期運動をする。

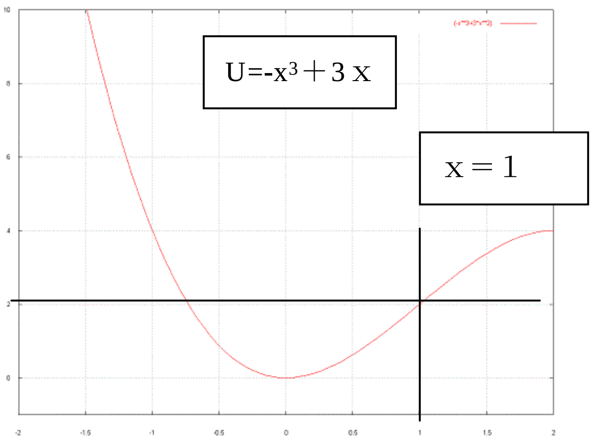
② x の負の向きへ運動し続ける。

③ x の負の向きに進んだ後，正の向きに運動し続ける。

④ x の正の向きへ運動し続ける。

⑤ 静止したままである。

解答と解説：



力学エネルギーE の保存則を利用する。

運動エネルギーを $K=\dfrac{1}{2}m\dot{x}^2$ とすると、$E=K+U$ である。

初期条件は $x=1$, $\dot{x}=0$ であり、$K=0$, $E=U(1)=-x^3+3x^2=2$ である。

この関係を速度で表すと

$$\dot{x}=\sqrt{\frac{2}{m}(E-U)}=\sqrt{\frac{2}{m}(2+x^3-3x^2)}$$

U をグラフ化すると上図のようになり、$E-U\geq 0$ の範囲で運動が存在する。

即ち、$U\leq 2$ の範囲、約（$-0.75)\leq x\leq 1$ の範囲で、この質点は動く（振動）することとなる。（$x^3-3x^2+2=0$ の解は $x=1$, $x=1\pm\sqrt{3}=-0.73205$, 2.73205　である。）

従って、正解は①である。

参考：

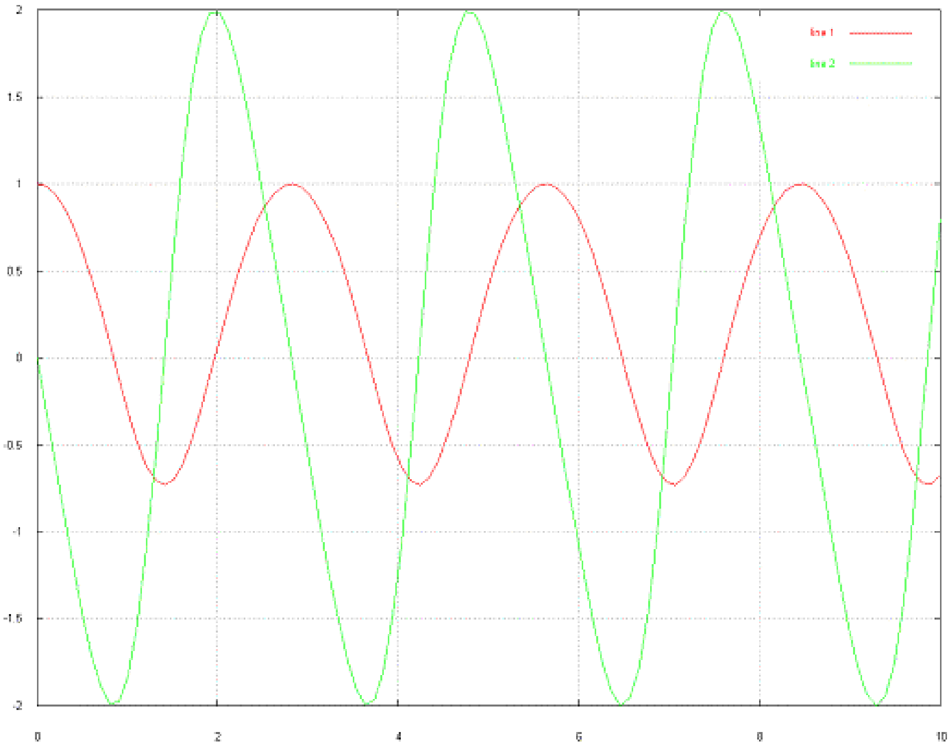
これを運動方程式に直すと、

$$m\ddot{x} = -\frac{\partial U}{\partial x} = -(-3x^2 + 6x) = 3x^2 - 6x = -6x(1 - \frac{1}{2}x)$$

$$m\ddot{x} + 6x(1 - \frac{1}{2}x) = 0$$

ここで、質量m＝１として、数値積分によって計算すると下図となり、周期運動している。前式の $6x$ が近似的に弾性項になるため、周期はほぼ $T = \frac{2\pi}{\sqrt{6}} = 2.5 \sec$　程度を示している。

変位、速度

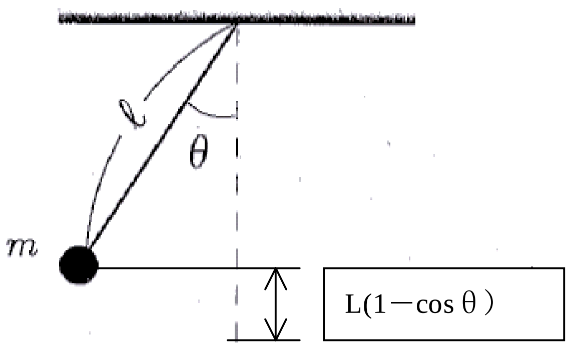


時間軸（秒）

Ⅲ－6　質量が無視できる長さ ℓ のひもの先に，質量 m の質点をとりつけ，天井からつるした。いま，下図のように，ひもと鉛直下方とのなす角が θ になるまで，ひもがたるまないように質点を持ち上げ，静かに手を離した。質点が最下点に達した時の速さは，次のどれか。なお，重力加速度を g とする。

①　$\sqrt{2g\ell}$　　②　$\sqrt{2g\ell\cos\theta}$　　③　$\sqrt{2g\ell\sin\theta}$

④　$\sqrt{2g\ell(1-\cos\theta)}$　　⑤　$\sqrt{2g\ell(1-\sin\theta)}$



解説と解答：

最下点を基準にして、位置エネルギーと運動エネルギーを考える。

ひもの角度がθの所では、速さ v が零であり、位置エネルギーのみである。また最下点を位置の基準にするので、この点の位置エネルギーは零である。この所の早さを V とすると、

$$\frac{1}{2}mV^2 = mgl(1-\cos\theta)$$

$$V = \sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$$

従って、正解は④である。

Ⅲ－７　平面内のx軸上に１m離れて２点A，Bがあり，B点は，A点の右側に位置している。A点に4.0×10^{-9}C，B点に-1.0×10^{-9}Cの電荷があるとき，生じる電場の強さが０になるのは，この平面内のどこか。次の中から選べ。

①　Bから右側に $\frac{1}{3}$ m 離れたx軸上の点を中心とする半径 $\frac{2}{3}$ m の円周上

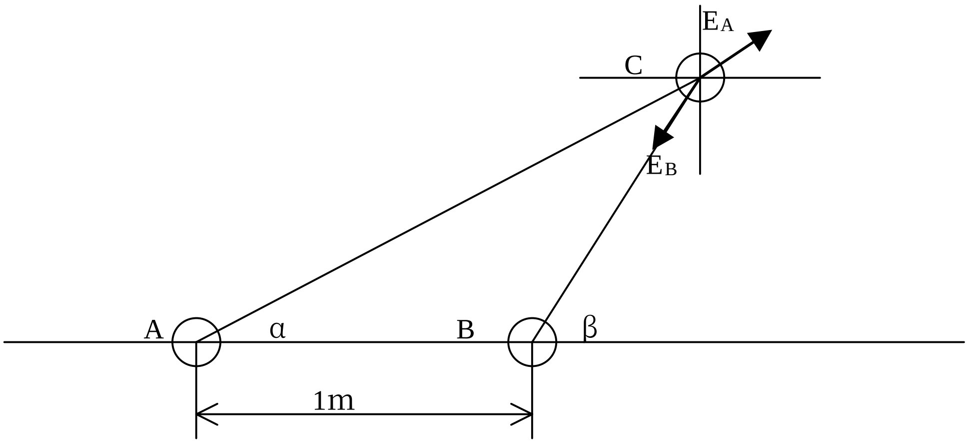
②　Bから右側に $\frac{1}{3}$ m 離れたx軸上の点

③　Bから右側に 1 m 離れたx軸上の点

④　Bから右側に $\frac{1}{15}$ m 離れたx軸上の点を中心とする半径 $\frac{4}{15}$ m の円周上

⑤　Bから左側に $\frac{1}{3}$ m 離れたx軸上の点とBから右側に 1 m 離れた点

解説と解答：



A 点が正の電荷 Q_A、B 点が負の電荷 Q_B であり、C 点に正の単位電荷があるとすると、ベクトルである電場は、A 方向 E_A が外向き、B 方向 E_B が B 点向きである。

電場の強さがゼロになることは、ベクトル E_A と E_B が打消すことが必要である。

さらに、$Q_A = +4.0\times10^{-9}C$,$Q_B = -1.0\times10^{-9}C$ を考えると、ベクトル E_A と E_B が打消す条件を満足する領域は、B 点の右側と考えられる。B 点の左側はお互いに強めあうし、A,B の軸外では、ベクトルで見ると打消しあわない。以上より、A,B の軸上で考える。B 点からの距離を x とすると

$$E_A + E_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{4.0\times10^{-9}}{(1+x)^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1.0\times10^{-9}}{x^2} = 0$$

これを解いて x を求める。

$$4x^2 - (1+x)^2 = 0$$

$$3x^2 - 2x - 1 = 0$$

$$x = \frac{2\pm\sqrt{4+12}}{6} = \frac{2\pm4}{6} = 1\ or\ -\frac{1}{3}$$

ここで、 x は正の領域であるから、 $x = 1$ である。

従って、正解は③である。

ベクトルで考えた電場の強さ E は次のようになる。

$$E^2 = (E_A\cos\alpha + E_B\cos\beta)^2 + (E_A\sin\alpha + E_B\sin\beta)^2$$

$$= {E_A}^2 + {E_B}^2 + 2E_AE_B\cos(\alpha-\beta)$$

$$E = \sqrt{{E_A}^2 + {E_B}^2 + 2E_AE_B\cos(\alpha-\beta)}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{(\frac{4.0\times10^{-9}}{{r_A}^2})^2 + (\frac{-1.0\times10^{-9}}{{r_B}^2})^2 - 2\frac{4.0\times10^{-9}}{{r_A}^2}\frac{1.0\times10^{-9}}{{r_B}^2}\cos(\alpha-\beta)}$$

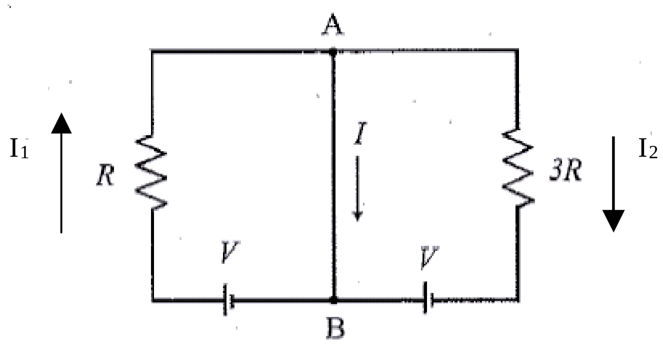
ここで、 $E = 0$ 　になるためには、 $\alpha = 0$, $\beta = 0$ 　以外に無い。

即ち、

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}(\frac{4.0\times10^{-9}}{{r_A}^2} - \frac{1.0\times10^{-9}}{{r_B}^2}) = 0$$

Ⅲ－８　抵抗値が R と $3R$ の２つの抵抗および電圧 V の２つの電源からなる，下図のような電気回路がある。ＡからＢに流れる電流 I はいくらか。次の中から選べ。

①　$\dfrac{V}{3R}$　　②　$\dfrac{V}{2R}$　　③　$\dfrac{V}{R}$　　④　$\dfrac{2V}{R}$　　⑤　$\dfrac{2V}{3R}$



解説と解答：

図のように、電流の方向を決めると、$I = I_1 - I_2$　である。

また、AB 間は短絡しているため、各抵抗の電圧は V であり、流れる電流をオームの法則から求めることができる。

$$I_1 = \frac{V}{R}\ ,\ I_2 = \frac{V}{3R}$$

$$I = I_1 - I_2 = \frac{V}{R} - \frac{V}{3R} = \frac{2V}{3R}$$

従って、正解は⑤である。

Ⅲ－９　下図のように，導体球が同心導体球殻に囲まれていて，互いに絶縁されている。図(a)では外側の導体球殻が接地されているのに対して，図(b)では接地されていない。導体球に電荷 Q を与えたとき，導体球殻の外側表面に現れる電荷の総量を，(a)と(b)で，それぞれ，Q_a と Q_b とする。Q_a と Q_b の正しい組合せを次の中から選べ。

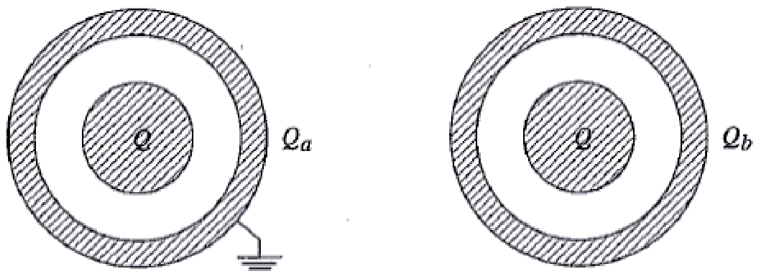
① $Q_a = Q_b = Q$

② $Q_a = Q$，$Q_b = 0$

③ $Q_a = 0$，$Q_b = Q$

④ $Q_a = 0$，$Q_b = -Q$

⑤ $Q_a = -Q$，$Q_b = 0$



(a)　　(b)

解説と解答：

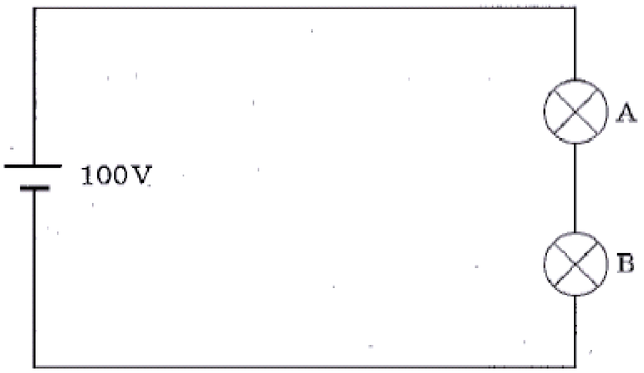
中心部の導体球はその電荷が表面に均一に分布している。それに相対する同心円球殻には内側に－Q、外側には＋Q が現れる。しかしながら、（a）の場合は接地されているためその電荷は外部に流出し、電位が零になる。従って内側の電荷を消える。すなわち $Q_a=0$

一方、（b）の場合は　Q_b＝＋Q　である。

従って、正解は③である。

Ⅲ－10　100Ｖ用100Ｗの電球Ａと100Ｖ用50Ｗの電球Ｂがある。いま，下図のように，Ａ とＢを直列につなぎ，その両端に100Ｖの電源をつないだ。このとき，Ａの消費電力はＢ の消費電力の何倍になるか。次の中から選べ。ただし，電球Ａ，Ｂの抵抗値は温度によって変化しないものとする。

①　0.25倍　　②　0.50倍　　③　1.0倍　　④　2.0倍　　⑤　4.0倍



解説と解答：

まず、A、B それぞれの電球の抵抗値を求める。この抵抗値は設問により一定と仮定する。

$$P = VI = V \cdot \frac{V}{R} = RI \cdot I = RI^2 \ , \therefore R = \frac{V^2}{P}$$

$$Case\ A:\ R_A = \frac{100^2}{100} = 100\ \Omega$$

$$Case\ B:\ R_B = \frac{100^2}{50} = 200\Omega$$

上図の回路を流れる電流は直列回路のため A,B の電球共に共通である。

$$I = \frac{V}{R_A + R_B} = \frac{100}{100 + 200} = \frac{1}{3}\ A$$

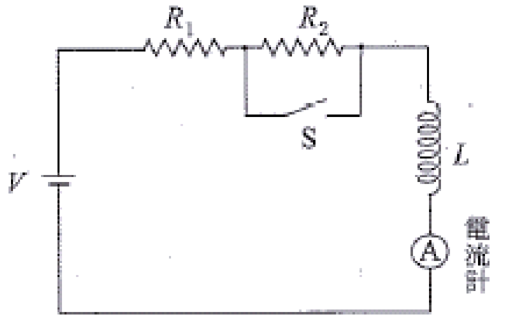
消費電力の比は前式から求められる。

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{R_A I^2}{R_B I^2} = \frac{R_A}{R_B} = \frac{100}{200} = 0.5$$

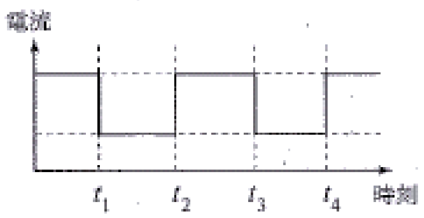
従って、正解は②である。

注）本問題の公表された正答は①であり、公表が誤りと考える。

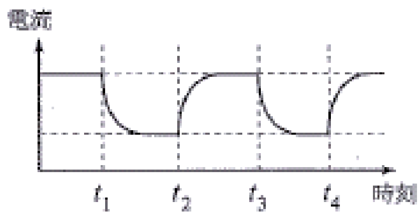
Ⅲ－11　下図のような回路でスイッチＳを開閉させる。このとき電流計に流れる電流の時間変化を図示したものは，次のどれか。ただし，はじめＳは開いており，時刻 t_1, t_3 にはＳを閉じ，t_2, t_4 にはＳを開いた。



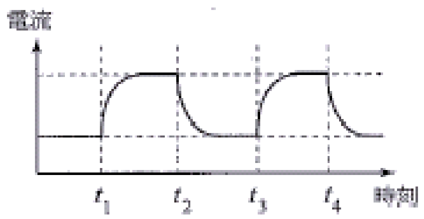
①



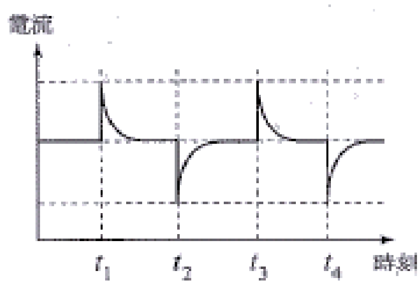
②



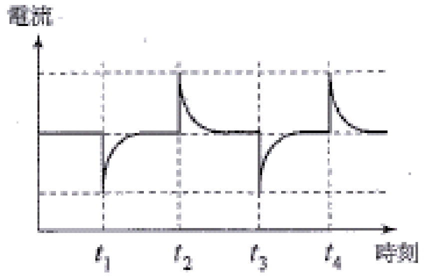
③



④



⑤



解説と解答：

　この問題は、まずスイッチ開と閉の２つの定常状態を考える。この場合コイルの内部抵抗は無視できるとする。

初期状態は、スイッチが開であるから、２つの抵抗が直列である。この場合の電流は

$$i_0 = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

である。また、スイッチが閉状態で定常状態になった場合の電流は

$$i_1 = \frac{V}{R_1}$$

である。

この問題はスイッチが開から閉の場合の過渡応答を考えればよい。コイルの場合は、力学における質量に対応しており、外力に対して徐々に変化するので、直感的には、電流の変化は　$i_0 \Rightarrow i_1$　$i_0 < i_1$　に徐々に上昇する。図では③に相当する。

従って、正解は③である。

参考：

これを回路の過渡応答の微分方程式で見てみる。

本問題は抵抗とコイルが電源に直列に接続されている回路である。

$$L\frac{di}{dt} + Ri = V$$

これは、１階線形微分方程式であり、変数分離できる。

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{V}{L}\ ,\ \frac{di}{dt} = -\frac{R}{L}i + \frac{V}{L} = -\frac{R}{L}(i - \frac{V}{R})$$

$$\frac{di}{(i - \frac{V}{R})} = -\frac{R}{L}dt$$

$$\log(i - \frac{V}{R}) = -\frac{R}{L}t + C'$$

$$(i - \frac{V}{R}) = Ce^{-\frac{R}{L}t}$$

ここで、初期条件として、$t = 0\ ,\ i = i_0$

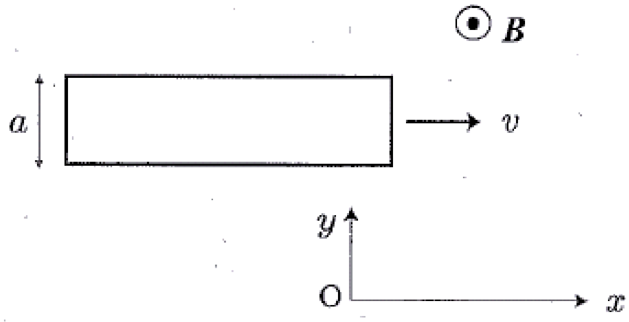
$$(i_0 - \frac{V}{R}) = C\ ,\ (i - \frac{V}{R}) = (i_0 - \frac{V}{R})e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$i = \frac{V}{R} + (i_0 - \frac{V}{R})e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{V}{R}(1 - e^{-\frac{R}{L}t}) + i_0 e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{V}{R_1}(1 - e^{-\frac{R}{L}t}) + \frac{V}{R_1 + R_2}e^{-\frac{R}{L}t}$$

時間がゼロの時は第一項はゼロであり、時間がたつと第２項が小さくなるので、電流の変化は図の③のようになることが、この式によって表されている。

Ⅲ－12　水平面を x-y 面とすると，$x>0$ の領域に，水平面に垂直で磁束密度の大きさが B の一様な磁場がある。いま，水平面上を動く幅 a，抵抗 R の矩形の導線コイルを下図のように $+x$ 方向に一定速度 v で磁場の中に入れようとするとき，どれだけの力が必要か。次の中から選べ。なお，水平面とコイルとの摩擦は無視できるものとする。

①　avB^2　②　av^2B^2　③　$\dfrac{avB^2}{R}$　④　$\dfrac{av^2B^2}{R}$　⑤　$\dfrac{a^2vB^2}{R}$



解説と解答：

基本的には、ローレンツの力とファラデーの電磁誘導の法則を使用する。

ローレンツの力 f

$f = qvB$　これを導体内の電流 I に直し、電流が発生するのに必要な力 F に直すと

$F = IBa$　また、ファラデーの法則から、一様な磁束 $\Phi = BS = Bal$ での発生電圧 V は

$$V = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -Bav \;,\; v = \frac{dl}{dt}$$

導体の抵抗が R であるから、発生する電流は $I = \dfrac{V}{R} = \dfrac{Bva}{R}$　これを力の式に代入すると

$$F = \frac{Bva}{R}Ba = \frac{a^2vB^2}{R}$$

従って、正解は⑤である。

Ⅲ－13　次の変化のうち，可逆変化はどれか。

①　摩擦により物体の温度が上昇する。

②　高温物体から低温物体へ熱が移動する。

③　断熱された真空容器の中で気体が自由膨張する。

④　０℃の水の中で氷が溶ける。

⑤　２つに仕切られた容器に別々に入っていた異なる種類の気体が混合する。

解説と解答：

　各項目を検討する。

①水平面上を摩擦のある物体を運動させると、摩擦熱により物体の温度が上昇すし、物体の運動は停止する。逆に静止している物体の温度を上昇させても、物体は運動しな。この変化は可逆変化ではない。

②高温物体から低温物体へ移動した熱は、熱力学第２法則により、「熱は低温物体から高温物体へひとりでに移動することは無い」従って、この変化は可逆変化ではない。

③断熱された真空容器の中での気体の自由膨張が、外部からの何らかの作用が無い限り収縮しないので、可逆変化ではない。

④氷は０℃を境にして、溶けるしまた逆に氷になる。即ち可逆変化をする。

⑤気体分子の運動エネルギーによって混合するが、この混合気体を外的エネルギー無しにもとの気体に分離は出来ない。この変化は可逆変化ではない。

　従って、正解は④である。

Ⅲ－14　下図のように一定量の気体を状態ＡからＡ→Ｂ→Ｃ→Ｄ→Ａのように変化させた。気体が外部から正の仕事をされたのはどの過程か，次の中から選べ。

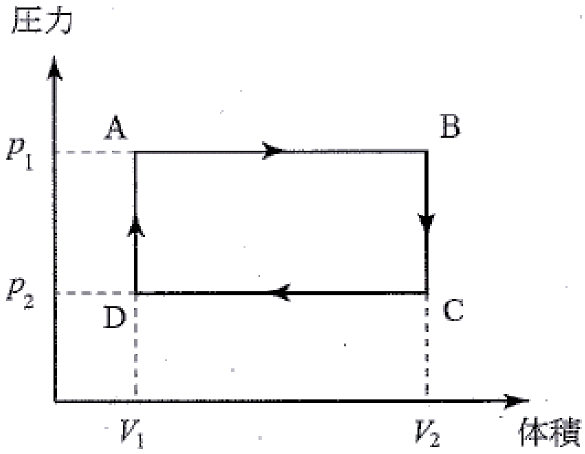
①　どの過程でも正の仕事をされていない

②　Ａ→Ｂの過程

③　Ｂ→Ｃの過程

④　Ｃ→Ｄの過程

⑤　Ｄ→Ａの過程



解説と解答：

気体のなす仕事は $dW = pdV$ である。すなわち、体積一定である変化では仕事をしないことである。逆に気体が外部からされる仕事は $dW = -pdV$ である。

従って、B→C 及び D→A の変化はは仕事はしない。仕事をする過程は A→B か又は C→D の場合である。

これらの過程における仕事は

$$W = -\int_a^b pdV = -p(V_b - V_a)$$

であり、設問の気体が外部から正の仕事をされる過程では、前式が正になる場合であり $V_b < V_a$ の場合であり、C→D の過程である。即ち

$W = -p(V_1 - V_2) = p(V_2 - V_1)$ となる。

従って、正解は④である。

Ⅲ－15　x 軸の正の向きに進行する正弦波 $u_1(x, t) = a\sin(kx - \omega t)$ に，x 軸の負の向きに進行する別の波 $u_2(x, t)$ を重ね合わせたところ，$x = 0$ における合成波の変位が常に 0 になった。$u_2(x, t)$ として正しいものを次の中から選べ。

① $a\sin(-kx - \omega t)$

② $a\sin(kx + \omega t)$

③ $-a\sin(kx - \omega t)$

④ $a\cos(kx + \omega t)$

⑤ $a\sin(-kx + \omega t)$

解説と解答：

設問にある $u_1(x,t) = a\sin(kx - \omega t)$ を展開する。

$$u_1(x,t) = a\sin(kx - \omega t) = a\sin kx\cos\omega t - a\cos kx\sin\omega t$$

この式において、$x = 0$ では、与式では $-a\sin\omega t$ であり、変位が常にゼロになることはこれを打消す波であり、$+a\sin\omega t$ を与えればよい。

① $u_2(x,t) = a\sin(-kx - \omega t) = a\sin(-kx)\cos\omega t - a\cos(-kx)\sin\omega t$
$x = 0$, $u_2(0,t) = -a\sin\omega t$

② $u_2(x,t) = a\sin(kx + \omega t) = a\sin kx\cos\omega t + a\cos kx\sin\omega t$
$x = 0$, $u_2(0,t) = a\sin\omega t$

③ $u_2(x,t) = -a\sin(kx - \omega t)$
$u_1(x,t) + u_2(x,t) = 0$ であり、合成波が存在しなくなるので、設問に対応しない。

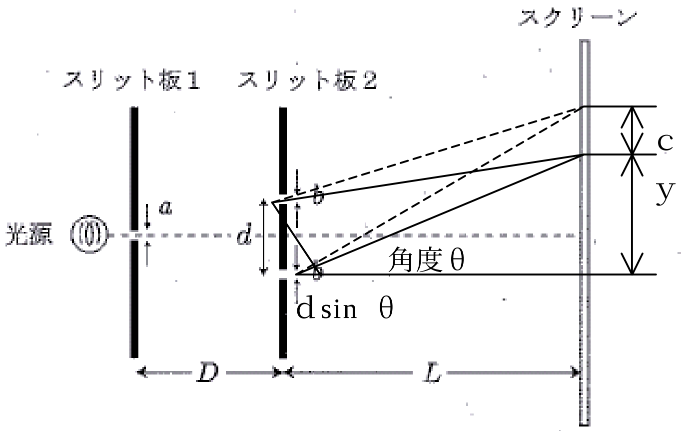
④ $u_2(x,t) = a\cos(kx + \omega t) = a\cos kx\cos\omega t - a\sin kx\sin\omega t$
$x = 0$, $u_2(0,t) = a\cos\omega t$

⑤ $u_2(x,t) = a\sin(-kx + \omega t) = a\sin(-kx)\cos\omega t - a\cos(-kx)\sin\omega t$
$x = 0$, $u_2(0,t) = -a\sin\omega t$

従って、正解は②である。

Ⅲ－16　下図のようなヤングの実験で，スリット板１上の幅 a のスリットから出た波長 λ の単色光を，このスリット板から距離 D に置かれたスリット板２上の幅 b の２つのスリットを透過させて干渉させる。この２つのスリットの間隔を d とすると，スリットの後方に距離 L だけ離して置かれたスクリーン上に生じる干渉縞の間隔はおよそいくらか。次の中から選べ。ただし，a，b 及び d は D と L に比べて十分小さいとする。

①　$\dfrac{a\lambda L}{bd}$　②　$\dfrac{b\lambda D}{ad}$　③　$\dfrac{\lambda D}{a}$　④　$\dfrac{\lambda L}{b}$　⑤　$\dfrac{\lambda L}{d}$



解説と解答：

まず、スクリーン上での干渉縞が強まる条件を求める。この場合スリット２から出た単色光の位相が一致することである。

この場合、スクリーンまでの距離Ｌがｙ、ｃに比べ十分大きいと仮定する。

干渉縞が出来る条件は、　$d\sin\theta = n\lambda$　である。

次の干渉縞までの間隔をｃとすると

$d\sin\theta' = (n+1)\lambda$　となる。

ここで $c \leq L$，$y < L$　，$\sin\theta \simeq \tan\theta = \dfrac{y}{L}$, $\sin\theta' \simeq \dfrac{y+c}{L}$

$$d\sin\theta' = d\frac{y+c}{L} = n\lambda + \lambda = d\frac{y}{L} + \lambda$$

$$d\frac{c}{L} = \lambda \ , \ \therefore \ c = \frac{\lambda L}{d}$$

以上より、正解は⑤である。

Ⅲ－17　ある金属に電磁波を照射したとき，飛び出した電子の運動エネルギーの最大値は 1.4×10^{-19}［J］であった。金属の仕事関数を 3.6×10^{-19}［J］とすると，照射した電磁波の波長はいくらか。次の中から選べ。ただし，プランク定数を 6.6×10^{-34}［J・s］，真空中の光速度を 3.0×10^{8}［m/s］とする。

①　4.0×10^{-7}［m］　②　9.0×10^{-7}［m］　③　1.4×10^{-6}［m］

④　4.0×10^{-10}［m］　⑤　9.0×10^{-10}［m］

解説と解答：

アインシュタインの光量子仮説によると

$$E = h\nu - W$$

ここで、
E：　放出電子のエネルギー
ν：　照射した光の振動数
h：　プランク定数
W：　金属の仕事関数

照射した光の波長λは

$$\nu = \frac{c}{\lambda},\ h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E + W,\ \lambda = \frac{hc}{E+W}$$

この式により数値計算すると、

$$\lambda = \frac{6.6\times10^{-34}\times3.0\times10^{8}}{1.4\times10^{-19}+3.6\times10^{-19}} = 3.96\times10^{-7}m \simeq 4.0\times10^{-7}m$$

従って、正解は①である。

Ⅲ－18　水素原子内の電子が，高いエネルギー準位から低いエネルギー準位に遷移するときに放出する光の波長は

$$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

で表される。ここに，n' と n は自然数で $n'<n$ である。また，R はリュードベリ定数である。基底状態にある水素原子のイオン化エネルギーとして正しいものを次の中から選べ。ただし，h はプランク定数，c は光速である。

①　$\frac{R}{hc}$　②　$\frac{hc}{R}$　③　$\frac{hcR}{4}$　④　hcR　⑤　$\frac{4hc}{R}$

解説と解答：

ボーアの振動数条件は、$h\nu = E_{n'} - E_n$　に設問の与式は対応している。

この場合、基底状態にある水素原子のイオン化エネルギーは、電子が無限に離れた状態（自由電子）になることを考えればよいので、$n' = 1$，$n = \infty$ とすればよい。

これより、$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = hcR$

従って、正解は④である。

Ⅲ－19　単原子分子からなる気体が温度 T の平衡状態にあるとき，分子の運動エネルギーの平均値は $\frac{3}{2}kT$ で与えられる。ここで，k はボルツマン定数である。常温（$T = 300\,\mathrm{K}$ とする）において，平均の運動エネルギーをもつ分子の速さはいくらか。次の中から選べ。ただし，単原子分子の分子量を 20 とする。ボルツマン定数は $k = 1.38\times10^{-23}$ J/K，アボガドロ定数は $N_A = 6.02\times10^{23}$ /mol　とせよ。

①　6×10^{-1} m/s　②　6×10^{0} m/s　③　6×10^{1} m/s

④　6×10^{2} m/s　⑤　6×10^{3} m/s

解説と解答：

単原子分子の１分子あたりの粒子としての運動エネルギー $E = \frac{1}{2}mv^2$ を考えればよい。

単原子分子の質量は、$m = \frac{20}{N_A}g = \frac{20}{N_A}\times10^{-3}kg$　SI 単位　kgにすることが必要

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$$

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \times 6.02 \times 10^{23}}{20 \times 10^{-3}}} = 6.1 \times 10^2 m/s$$

従って、正解は④である。

Ⅲ－20　断面積が 2.0×10^{-6} m^2 の導線に 2.0 A の電流が流れているとき，導線中の自由電子の平均の移動速度はいくらか。次の中から選べ。ただし，この導線 1 m^3 中の自由電子の個数は 8.3×10^{28} 個であり，電子の電荷は -1.6×10^{-19} C とする。

①　3.8×10^{-5} m/s　　②　7.5×10^{-5} m/s　　③　1.5×10^{-4} m/s

④　2.2×10^{-4} m/s　　⑤　3.0×10^{-4} m/s

解説と解答：

電流は電荷の時間変化であり、ある断面を単位時間に流れる電子（電荷）の量と考えられる。

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(Ne)}{dt} = \frac{d(Sl \cdot n \cdot e)}{dt}$$

ここで、Q ：電荷の総量、 N ：電子の総数、 e ：電子の電荷

S ：断面積で一定とする、l ：導体の長さ、 n ：電子の密度

$$I = \frac{Snedl}{dt} = Snev$$、

電荷の単位は（C＝As)であり、この式は単位系から見ても妥当である。

即ち、 $I = vSne\ (A)$

ここで、
v:電子（電荷）の平均速さ
S:断面積
n:電荷の密度
e:電子の電荷

これより、電子の平均速度を求めることが出来る。

$$v = \frac{I}{Sne} = \frac{2.0}{2.0 \times 10^{-6} \times 8.3 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 0.075 \times 10^{-3} = 7.5 \times 10^{-5} m/s$$

従って、正解は②である。