技術士第一次試験
平成 13 年度　共通科目物理　問題と解答

Ⅲ－１

原点に静止している質点が時刻 $t=0$ にて初速 0 で動き出し、x 軸上を正の向きに運動する。時刻 $t(\geq 0)$ におけるこの質点の加速度 α は $\alpha = at$（a は正の定数）で与えられる。時刻 $t_0(>0)$ における質点の x 軸上の位置は次のどの表式で与えられるか。

①$\frac{1}{2}at_0$　②$\frac{1}{2}at_0^{\frac{3}{2}}$　③$\frac{1}{2}at_0^2$　④$\frac{1}{6}at_0^2$　⑤$\frac{1}{6}at_0^3$

解説と解答：

x 軸上の位置は次に微分方程式によって求められる。

$$\ddot{x} = at$$

$$\dot{x} = \frac{1}{2}at^2 + C_1,\ \ t=0\ ,\ \dot{x}=0\ ,\ \therefore C_1 = 0$$

$$x = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}at^3 + C_2\ ,\ t=0\ ,\ x=0\ ,\therefore C_2 = 0$$

$$= \frac{1}{6}at^3$$

従って、正解は　⑤　。

Ⅲ－２

滑らかで水平な床の上に質量 M の小球が静止している。速さ v で水平に走ってきた質量 m の物体がこの小球に衝突して合体した。この合体した物体の速さは次のうちどの表式で与えられるか。

①$\frac{M}{m}v$　②$(1+\frac{m}{M})v$　③$(1+\frac{M}{m})v$　④$\frac{m}{M+m}v$　⑤$\frac{M}{M+m}v$

解説と解答：

衝突の前後に対して運動量保存の法則を適用する。　合体後の速度を v_2 とする。

$$mv = (m+M)v_2$$

$$v_2 = \frac{m}{m+M}v$$

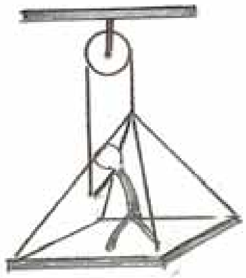
従って、正解は　④　。

Ⅲ－３

図のように体重 60 kg重の人が重さ 20 kg重の台にのり、台に結ばれたロープの一端を滑車を通して引っ張っている。ロープや滑車の重さを無視できるとして、台上の人がこの台

を引っ張り上げるには少なくともいくらの力が必要か。

①80 kg重　②70 kg重　③60 kg重　④50 kg重　⑤40 kg重



解説と解答：

人が滑車を通じて引っ張る力を F とすると、この F によって、自分は上方に持ち上げられる。これを考慮して力の釣り合いを考える。

$$F = W - F$$

$$2F = W$$

$$F = \frac{1}{2}W = \frac{1}{2}(60 + 20) = 40$$

この F は自重より小さいので、引っ張ることが可能。

従って、正解は　⑤　。

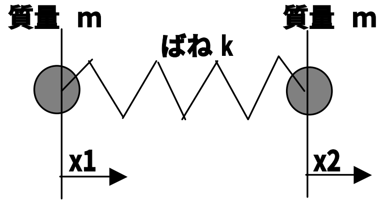
III－4

ばね定数kのつるまきばねの両端に質量mの物体を取り付け、滑らかな水平な床の上で伸縮運動をさせるとき、伸縮運動の周期はどうなるか。

① $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$　② $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$　③ $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$　④ $4\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$　⑤ $\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

解説と解答：

質点が２個あるので、２質点系の振動方程式を考える。この場合、ダランベールの原理による慣性力で考えると便利である。



$$-m\ddot{x}_1 + k(x_2 - x_1) = 0$$
$$-m\ddot{x}_2 - k(x_2 - x_1) = 0$$
$$u = x_2 - x_1$$
$$m\ddot{u} + 2ku = 0 \ ,\ \ddot{u} + \omega^2 u = 0 \ ,\ \omega = \frac{2\pi}{T}\sqrt{\frac{2k}{m}} \ , T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$$

従って、正解は　③　。

Ⅲ－５

図のように半径aの円盤から中心が同じ半径$a/2$の円盤を抜き取った質量Mの４ドーナツ型の円盤がある。この円盤の中心Oを通り板面に垂直な軸のまわりの慣性モーメントはどうなるか。ただし質量M_0、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$M_0a^2/2$と表される。

①$\frac{5}{8}Ma^2$　②$\frac{15}{32}Ma^2$　③$\frac{7}{12}Ma^2$　④$\frac{7}{24}Ma^2$　⑤$\frac{3}{8}Ma^2$

解説と解答：

全体質量を単位面積当りの質量mに置き直して、慣性モーメントの式を書き換える。

$$I_0 = \frac{1}{2}M_0a^2 = \frac{1}{2}m\pi a^2 \cdot a^2 = \frac{1}{2}\pi m a^4$$

また､ドーナツ型円盤の質量は　$M = \pi m(a^2 - (a/2)^2) = m\pi\frac{3}{4}a^2$ これ等を使って計算する。

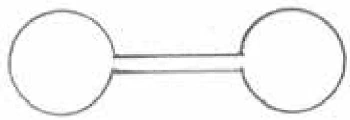
$$I = \frac{1}{2}m\pi a^4 - \frac{1}{2}m\pi(\frac{a}{2})^4 = \frac{1}{2}m\pi(a^2 - (\frac{a}{2})^2)(a^2 + (\frac{a}{2})^2)$$

$$= \frac{1}{2}M(a^2 + (\frac{a}{2})^2) = \frac{1}{2}M(a^2 + \frac{1}{4}a^2) = \frac{1}{2}\frac{5}{4}Ma^2 = \frac{5}{8}Ma^2$$

従って、正解は　①　。

Ⅲ－６

図のように容積の等しい２つの容器ＡとＢを細い管でつなぎ、０℃、１気圧の理想気体を入れる。次に容器Ａの温度を０℃に保ったまま容器Ｂの温度を 100℃にすると両容器の圧力は何気圧になるか。



A　　　　　　B

①1.05 気圧　②1.15 気圧　③1.25 気圧　④1.35 気圧　⑤1.45 気圧

解説と解答：

２つの状態における、圧力ｐ、体積 V、絶対温度 T に対して、ボイル・シャールの法則を適用する。

$$\frac{p_1 2V}{T_1} = p_2(\frac{V}{T_1} + \frac{V}{T_2}) \text{ , } p_2 = p_1\frac{2}{T_1}\frac{1}{\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}} = p_1\frac{2T_2}{T_1 + T_2}$$

$$p_2 = 1.0 \times \frac{2(273+100)}{273+0+273+100} = 1.1548$$

従って、正解は　②　。

Ⅲ－７

次の主張で正しくないものはどれか。

①一定量の理想気体の内部エネルギーは体積に比例する。

②単原子分子理想気体の定圧比熱は２原子分子理想気体の定圧比熱よりも小さい。

③同じ温度の２種類の異なる理想気体を混ぜると、全エントロピーは混ぜる前より増加する。

④熱は温度の低い物体から温度の高い物体に自然に流れることは無い。

⑤１つの熱源から取った熱を全て仕事に変換することができる熱機関はない。

解説と解答：

各項目の解説

①気体の内部エネルギーは、分子の運動エネルギーと分子間の結合力に基づく位置エネルギーによって決定される。従って、体積には関係していない。

②気体の定積比熱は、ほぼ次のように表される。 $c_v = \frac{f}{2} R$

R は気体定数　約 8.3J/mol・K

１原子分子　　f＝3　：ヘリウム、アルゴン

２原子分子　　f＝5　：水素、酸素、窒素

多原子分子　　f＞5　：水、二酸化炭素

従って、正しい。

２種類の気体を混ぜると、状態変化のためエントロピーは増大する。従って、正しい。

④、⑤　熱力学の基本原理で正しい。

従って、正解は　①　。

Ⅲ－８

理想気体のカルノーサイクルは次の４つに過程からなっている。

（ア）高温熱源に接触し、これと熱平衡を保ちながら、準静的に等温膨張を行う。

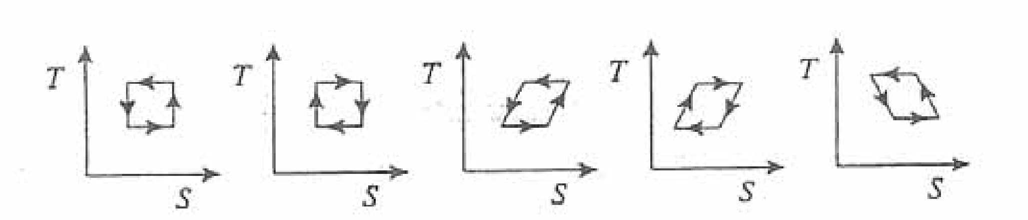
（イ）準静的に断熱膨張し、温度を下げる。

（ウ）低温熱源と接触し、これと熱平衡を保ちながら、準静的に等温圧縮を行う。

（エ）準静的に断熱圧縮して、始めの状態に戻る。

このカルノーサイクルを横軸にエントロピーS、縦軸に温度T、をとった図に表すと、以下のどれになるか。

①　②　③　④　⑤



解説と解答

エントロピーの変化は次のように表される。

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dU + pdV}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{pdV}{T}$$

これにより、カルノーサイクルの温度、エントロピー関係を考える。

（ア）　温度一定で体積増加するのでエントロピーは増加

（イ）　断熱変化では $dU = -pdV$ であり、エントロピーは変化しない、温度が下がる。

（ウ）　温度一定で、体積が減少するので、エントロピーは減少する。

（エ）断熱変化であるため、エントロピーは変化せず、温度は上がる。

従って、正解は　②　。

Ⅲ－９

エチルアルコールの沸点は 78℃であり、その１ｇが気化すると、エントロピーが 2.4J/K だけ変化する。エチルアルコール１ｇの気化熱は何 J か。

①354Ｊ　②631Ｊ　③842Ｊ　④953Ｊ　⑤1023Ｊ

解説と解答

エネルギー（熱量）の変化は　$dQ = TdS$　である。

エントロピー変化量が既知であるので気化熱を求めることができる。

$dQ = TdS = (273+78)\times 2.4 = 842\,J$

従って、正解は　③　。

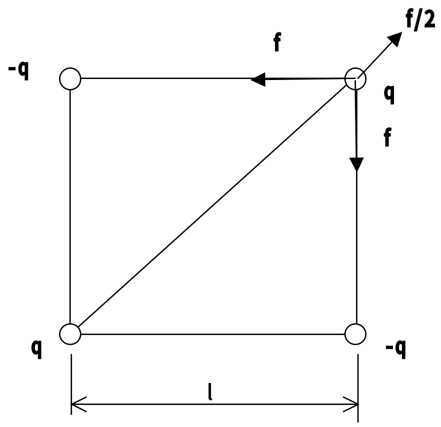
Ⅲ－１０

電荷 $q(>0)$ と $-q$ の点電荷がそれぞれ２つずつある。その２つの電荷を距離 l だけはなしておくときに働くクーロン力の大きさをｆとする。一辺の長さが l の正方形の各頂点にこれらの点電荷を、対角線の両端に同符号の点電荷が来るように配置する。このとき、１つの電荷が受けるクーロン力の合力はｆの何倍になるか。

①$\sqrt{2}$　②$\dfrac{1}{2}$　③$\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　④$\sqrt{2}-\dfrac{1}{2}$　⑤$\sqrt{2}-\dfrac{1}{\sqrt{2}}$

解説と解答：

クーロンの法則より



対辺上の引力は

$$f = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{l^2}$$

対角線上の反発力は

$$f' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{(\sqrt{2}l)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{2l^2} = \frac{1}{2}f$$

クーロン力の合成は図より、対角線上に発生し

$$\sqrt{2}f - \frac{1}{2}f = (\sqrt{2} - \frac{1}{2})f$$

従って、正解は　④　。

Ⅲ－１１

ある金属線の両端間の電気抵抗値は $r[\Omega]$ である。この金属線と同質で長さが２倍、断面積が半分の金属線の両端間の電気抵抗値は r の何倍になるか。

①1.5　　②2.0　　③2.5　　④3.5　　⑤4.0

解説と解答：

導線の抵抗は長さ L に比例し断面積 S に反比例する。

$$R = \rho\frac{L}{S}$$　　ρ：比抵抗

長さが２倍、断面積が半分になると、

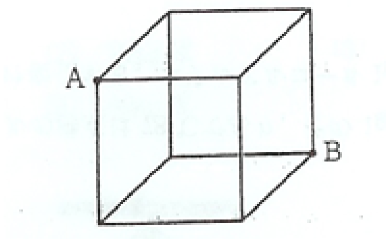
$$R' = \rho\frac{2L}{S/2} = 4\rho\frac{L}{S} = 4R$$

従って、正解は　⑤　。

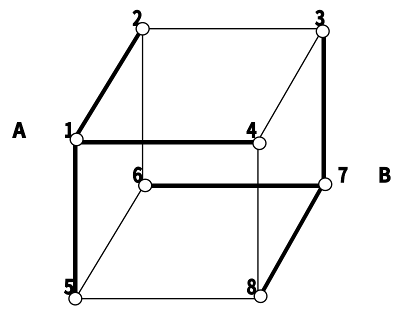
Ⅲ－１２

抵抗値が $R[\Omega]$ である導線 12 本を用いて図のような回路を組んだ。このとき、ＡＢ間の抵抗値はいくらか。

① $3R[\Omega]$　　② $R[\Omega]$　　③ $\frac{5}{6}[\Omega]$　　④ $\frac{3}{4}[\Omega]$　　⑤ $\frac{2}{3}[\Omega]$



解説と解答：



Ⅲ－12

図より、各辺の抵抗 R は全て等しいので、

１を中心にした、２、４、５の電圧は等しい、また 12、14、15 の電流も等しい。

A に流れ込む電流を I とすると、12 の電流は I/3 である。

同様に、B から流出する電流も I であり、37、67、87 の電流も I/3 である。

また 2 には２本の抵抗が接合されているので、23、26 の電流は I/3/2＝I/6 である。

これより、各点の電圧を計算する。

$$V_2 = V_A - R\frac{I}{3}$$

$$V_3 = V_2 - R\frac{I}{6}$$

$$V_B = V_3 - R\frac{I}{3}$$

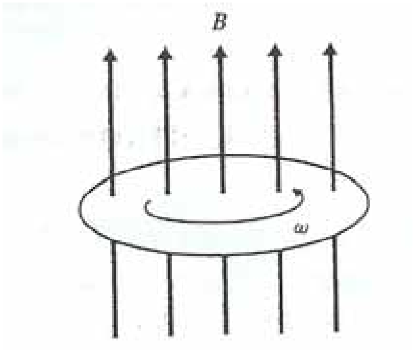
これより、$V_A - V_B = (\frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3})I = \frac{5}{6}RI$

従って、正解は　③　。

Ⅲ－１３

図のように一様な磁束密度Ｂの磁界に垂直な平面におかれた半径aの金属導体円盤を､円盤の中心の周りに角速度ωで回転させるとき、円盤の中心から外縁の向きに生じる起電力の大きさはいくらか。

①$\dfrac{1}{2}\omega^2 Ba$　　②$\omega^2 Ba$　　③0　　④$\dfrac{1}{2}\omega Ba^2$　　⑤ωBa^2



解説と解答：

ファラデーの法則　$V=-\dfrac{d\Phi}{dt}=-BL\dfrac{dx}{dt}=-BLv$

これを適用する。　$V=-\int Bdr\omega r=-\int_0^a B\omega rdr=-B\omega\left|\dfrac{1}{2}r^2\right|_0^a=-\dfrac{1}{2}\omega Ba^2$

従って、正解は　④

Ⅲ－１４

細長い棒を伝わる縦波の速さはヤング率Ｅと棒の質量密度ρとで表される。このとき縦波の速さは以下のどれに比例するか。

①$\dfrac{E}{\rho}$　　②ρE　　③$\sqrt{\dfrac{E}{\rho}}$　　④$\sqrt{\dfrac{\rho}{E}}$　　⑤$\dfrac{\rho}{E}$

解説と解答：

回答群は全てヤング率Ｅ、密度ρ、速度ｖの組合せであるから、次元解析を適用する。

$$E:\frac{N}{m^2}=\frac{kgm}{s^2m^2}=\frac{kg}{s^2m}$$

$$\rho:\frac{kg}{m^3}$$

$$v:\frac{m}{s} \qquad E^a\rho^b=(\frac{kg}{s^2m})^a(\frac{kg}{m^3})^b$$

$$kg:a+b=0\ ,\ s:-2a=-1\ ,\ m:-a-3b=1$$

$$a=\frac{1}{2}\ ,b=-\frac{1}{2}$$

$$\therefore v\propto\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

従って、正解　③　。

参考：振動方程式による解法

細長い棒の縦振動は、軸方向をｘ、その変位をｕとすると

$$-\rho A\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+EA\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=a^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\ ,\ a^2=\frac{E}{\rho}$$

$$u=TX\ ,\ \frac{\ddot{T}}{T}=a^2\frac{X''}{X}=k$$

$$\ddot{T}=kT\ ,\ T=T_0e^{i\omega t}\ ,\ -\omega^2T_0e^{i\omega t}=kT_0e^{i\omega t}\ ,\ k=-\omega^2\ ,\omega=2\pi f$$

$$X''=\frac{k}{a^2}X\ ,\ X=X_0\sin\frac{2\pi}{L}\ ,-(\frac{2\pi}{L})^2X_0\sin\frac{2\pi}{L}=\frac{k}{a^2}X_0\sin\frac{2\pi}{L}$$

$$\frac{\omega^2}{a^2}=(\frac{2\pi}{L})^2\ ,\ \frac{\omega}{a}=\frac{2\pi}{L}\ ,\ (2\pi f)\frac{L}{2\pi}=a=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

速度$v=Lf=a=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$

上記では棒の両端支持の境界条件を仮定したが、他の場合でも同様である。

Ⅲ－１５

図のように気柱共振管の上端近くで音さを鳴らしながら水の入った容器の位置を変化させ、管内の水面を徐々に下げて管内の空気柱の長さlを変えると、空気柱の固有振動数が音さの振動数に一致するところで管は音さに共鳴して大きな音を出す。今$l=l_1$のとき初めて管は音さに共鳴し、次に$l=l_2(l_2>l_1)$のときに共鳴したとする。音さの振動数は、音速をvとして、どのように表されるか。

① $\dfrac{v}{2(l_2-l_1)}$　② $\dfrac{v}{(l_2-l_1)}$　③ $\dfrac{2v}{(l_2-l_1)}$　④ $\dfrac{v}{4(l_2-l_1)}$　⑤ $\dfrac{4v}{(l_2-l_1)}$

解説と解答：

気柱振動において、上端が開放端で腹になっている場合、共鳴している場合は、下端で節になるモードである。

従って、第１共鳴では波長の 1/4 となる。第２共鳴では 3/4 である。

$$\frac{\lambda}{2}=(l_2-l_1)$$

これを数式化すると、　$v=\lambda f$

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{2(l_2-l_1)}$$

従って、正解は　①　。

Ⅲ－１６

440 H_Z の音の出す音源が時速 100 Km/h で、静止している観測者に向かって近づいてくる。このとき観測者には何 H_Z の音が聞こえるか。ただし音速を 340m/ｓとし、また風が音源の運動方向と同じ向きに吹いているものとする。

①$403H_Z$　②$464H_Z$　③$470H_Z$　④$478H_Z$　⑤$487H_Z$

解説と解答：

ドップラー効果　音源の速度ｖ、音の速さＶ

$$f'=\frac{V}{V-v}f$$　但し、風の速度があると V=V+w

ｖ＝100,000/3600＝27.8m/ｓ　　風速ｗ＝10m/ｓ

$$f'=\frac{340+10}{340+10-27.8}\times 440=478\ Hz$$

従って、正解は　④　。

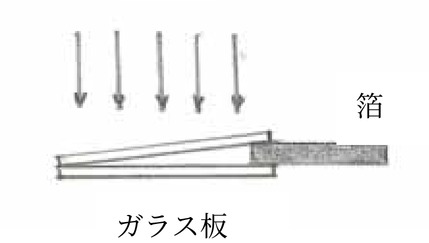
Ⅲ－１７

図のように２枚のガラス板の一端に薄い箔を挟み、ガラス板に垂直に波長$660nm$の光を当てたら、１０本の干渉縞が観測できた。挟んだ箔の厚さはいくらか。

①$6.0\times10^{-4}mm$　②$3.0\times10^{-3}mm$　③$3.0\times10^{-2}mm$

④$6.0\times10^{-2}mm$　⑤$3.0\times10^{-1}mm$

光



ガラス板

解説と解答：

薄膜の厚さｄ、干渉縞の本数ｎ、光の波長λ、

$$d=\frac{1}{2}n\lambda=\frac{1}{2}\times10\times600\times10^{-9}m=3000\times10^{-9}m=3.0\times10^{-3}mm$$

従って、正解は　②　。

Ⅲ－１８

質量m、電荷eをもつ荷電粒子を静止した状態から電圧Vで加速すると、この荷電粒子の物質波の波長はどうなるか。ただし、プランク定数をhとする。

①$\frac{\sqrt{2meV}}{h}$　②$\frac{2h}{\sqrt{meV}}$　③$\frac{h}{2\sqrt{meV}}$　④$\frac{2\sqrt{meV}}{h}$　⑤$\frac{h}{\sqrt{2meV}}$

解説と解答：

荷電 e の荷電粒子の加速エネルギーは eV（J）である。

クーロンの単位は As、電圧 V 従って eV=AsV=Ws=J,　AV=W

また、運動量ｐはド・ブロイの関係より p＝h/λである。ｈ：プランク定数

この関係より、物質波の波長λを求める。

最初に加速粒子の速度ｖを求める。

$$\frac{1}{2}mv^2=eV$$

$$v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}\ ,\ \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{m\sqrt{\frac{2eV}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2eVm}}$$

従って、正解は　⑤　。

Ⅲ－１９

金属に光を当てると、金属表面より電子が飛び出す現象を光電効果といい、飛び出す電子を光電子をいう。この光電効果に関する以下の記述で正しいものはどれか。

①照射する光を強くすると、より高いエネルギーを持った光電子が出てくる。

②より長い波長の光を照射すると、より高いエネルギーを持った光電子が出てくる。

③光電子の運動エネルギーは皆ほぼ等しい。

④照射する光の強さによらず、光電子は光の照射開始直後より出る。

⑤光電子の数は照射する光の波長のみに依存する。

解説と解答：

光電効果の実験結果は

（１）　光電子のエネルギーは照射した光の振動数νによって決まり、光の強さにはよらない。光電子の個数は光の強さに比例して増える。

（２）　光電効果が生ずるためには、ある振動数ν_0よりも大きな振動数を持つ光を照射せねばならない。

（３）　この限界振動数は金属によって異なり、限界振動数より大きな振動数νをもつ光を当てた場合、光電子の運動エネルギーは振動数νに比例する。

これ等より考えると、①、②，③、⑤は誤りである。

従って、正解は　④　。

Ⅲ－２０

１kgのウラン 235 がすべて核分裂をするとおよそ9×10^{-4}kgの質量が欠損する。このとき発生するエネルギーは何Jか。ただし、光速を$3\times10^{8}m/s$とする。

①$8\times10^{13}J$　②$8\times10^{14}J$　③$8\times10^{15}J$　④$8\times10^{16}J$　⑤$8\times10^{17}J$

解説と解答：

相対性理論によるエネルギー質量等価原理　$E = mc^2$により計算する。

$$E = mc^2 = 9\times10^{-4}\times(3\times10^{8})^2 = 81\times10^{16-4} = 8.1\times10^{13}J$$

$$J = Nm = (kgm/s^2)m = kgm^2/s^2$$

従って、正解は　①　。

以上