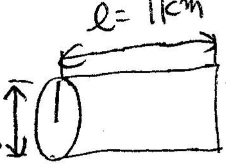
492 

$R = 5.487\Omega$

$\rho = R\dfrac{S}{l}$

$l = 10^3\ [m]$

$S = \pi r^2 = \pi(10^{-3})^2$

$= 3.14 \times 10^{-6}\ [m^2]$

$2R = 2mm$

$R = 1mm$

$R = 10^{-3}\ m$

$R = \rho\dfrac{l}{S}$

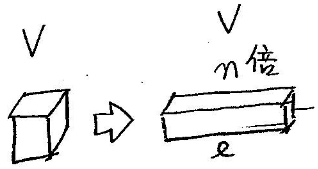
$\rho = 5.487 \times \dfrac{3.14 \times 10^{-6}}{10^3}$

$= 17.2 \times 10^{-9}$

$= 1.72 \times 10^{-8}\ [\Omega m]$

496

$R = \rho\dfrac{l}{S}$



$\frac{1}{n}$倍(S)

V一定　l が n倍なら Sは $\frac{1}{n}$倍

$R = \rho\dfrac{nl}{\frac{1}{n}S} = R\dfrac{l}{S}n^2$　　n^2倍

497.　$S_A = 4 \times 10^{-6}\ [m^2]$　　$V = IR$　$R_A = V/I = \dfrac{20}{5} = 4\Omega$　(1)

$S_B = 1 \times 10^{-6}\ [m^2]$　　$R_B = V/I = \dfrac{20}{8} = 2.5\Omega$　(1)

$R_A = \rho_A\dfrac{l}{S_A}$　　$\rho_A = \dfrac{S_A}{l}R_A = \dfrac{S_A}{\frac{R_B S_B}{\rho_B}}R_A$

$R_B = \rho_B\dfrac{l}{S_B}$　　$l = \dfrac{R_B S_B}{\rho_B}$　　$= \dfrac{S_A \rho_B R_A}{R_B S_B}$

$\rho_A = \dfrac{R_A S_A}{R_B S_B}\rho_B$　　$\dfrac{R_A S_A}{R_B S_B} = \dfrac{4 \times 4\times10^{-6}}{2.5 \times 1\times10^{-6}} = \dfrac{16}{2.5} = 6.40$

(1) $R_A = 4.00[\Omega]$　$R_B = 2.50[\Omega]$

(2) $\rho_A = 6.40\rho_B$　　6.40[倍]

498.　$R = R_0 + R_0\alpha t = R_0(1+\alpha t)$

$t = 0℃$　$R = R_0 = 12[\Omega]$　　$\alpha = 3.33\times10^{-3}\ [\Omega/℃]$

$t = 1000℃$　　$\alpha t = \dfrac{R}{R_0} - 1$

$\dfrac{R}{R_0} = 1 + \alpha t$　　$\alpha = \dfrac{\left(\frac{R}{R_0} - 1\right)}{t} = \dfrac{\left(\frac{52}{12} - 1\right)}{1000} = \dfrac{3.33}{1000} = 3.33\times10$

498 100V 100W $I = 1A$ $R = 100\,\Omega$

$$t = \frac{\left(\frac{R}{R_0} - 1\right)}{\alpha} = \frac{\left(\frac{100}{12} - 1\right)}{3.33 \times 10^{-3}} = 2.20 \times 10^{3}\,[°C]$$

500
(1) グラフより 0℃で0.50[Ω] 400℃で 1.30[Ω]

(2) $R = R_0(1 + \alpha t)$ $R_0 = 0.50\,\Omega$ $t = 400[°C]$ $R = 1.30[\Omega]$を代入

$$\alpha = \frac{\left(\frac{R}{R_0} - 1\right)}{t} = \frac{\frac{1.30}{0.50} - 1}{400} = 4.00 \times 10^{-3}\ [\Omega/°C]$$

$R = R_0(1 + \alpha t)$ $R_0 = 0.50$ $\alpha = 4.00 \times 10^{-3}$

(3) $t = \frac{\left(\frac{R}{R_0} - 1\right)}{\alpha}$ より

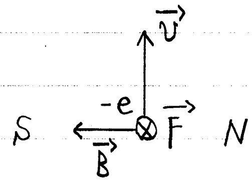
$$t = \frac{\left(\frac{1.085}{0.5} - 1\right)}{4 \times 10^{-3}} = 2.93 \times 10^{2}\,[°C]$$

293[℃]

$$t = \frac{\left(\frac{0}{0.5} - 1\right)}{4 \times 10^{-3}} = -250[°C]$$

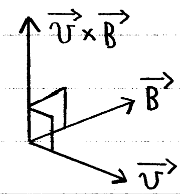
524、なし

598 陰極線は電子の流れであり，
電子には右図のように，下向き
のローレンツ力が働くから，陰
極線は下向きに曲がる．



ローレンツ力
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

外　積



599 水素原子の質量を $x\,[\mathrm{g}]$ とすると，

$$x \times 6.0 \times 10^{23} = 1.008$$

$$x = \frac{1.008}{6.0 \times 10^{23}} \fallingdotseq 1.68 \times 10^{-24}\,[\mathrm{g}]$$

$$= 1.68 \times 10^{-27}\,[\mathrm{kg}]$$

だから，

$$\frac{1.68 \times 10^{-27}}{9.10 \times 10^{-31}} \fallingdotseq 1.85 \times 10^{3}\,[倍]$$

公　式
原子量Mの原子1molの質量
M[g]

600 電子と陽子の比電荷をそれぞれ x_e, x_p とおくと，
比電荷は質量に反比例するので，

$$x_p : x_e = \frac{1}{1836} : \frac{1}{1} = 1 : 1836$$

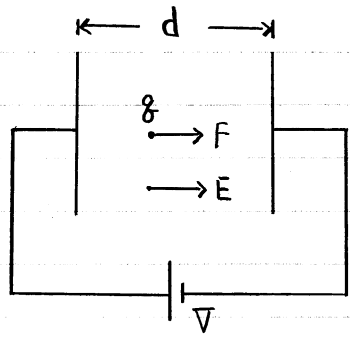
$$x_e = 1836 \times x_p$$

よって，1836倍．

比電荷
$$\frac{|q|}{m}$$

601

公　式



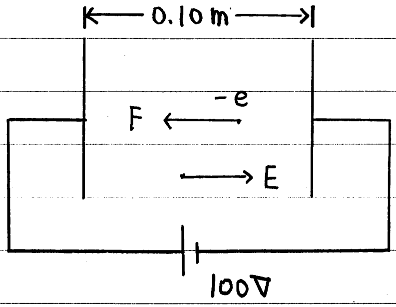
電場の大きさ

$$E = \frac{V}{d}\,[\mathrm{V/m}]$$

↑
[N/C]

クーロン力

$$F = |q|E\,[\mathrm{N}]$$



電場の大きさを$E[V/m]$とすると,

$$E=\frac{100}{0.10}=1.0\times10^{3}[V/m]$$

より, 電子の受ける力$F[N]$は, 左向きを正とすると,

$$F=1.6\times10^{-19}\times1.0\times10^{3}=1.60\times10^{-16}[N]\ (左向き)$$

である. また, 生ずる加速度$a[m/s^2]$は, 左向きを正とすると, 運動方程式より,

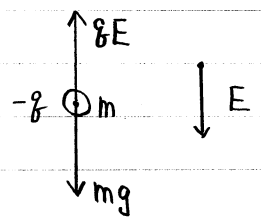
$$9.10\times10^{-31}\times a=1.60\times10^{-16}$$

$$a\fallingdotseq1.76\times10^{14}[m/s^2]\ (左向き).$$

$\boxed{602}$ つりあいの式より,

$$q\times3.0\times10^{4}=4.5\times10^{-15}\times9.8$$

$$q=14.7\times10^{-19}[C]$$



だから,

$$\frac{q}{e}=\frac{14.7\times10^{-19}}{1.60\times10^{-19}}=9.19[倍]$$

$\boxed{603}$ $100[eV]$

$$100\times1.60\times10^{-19}=1.60\times10^{-17}[J]$$

1[eV]
静止していた電子が1[V]で加速されるときに得る運動エネルギー

公式
$1[eV]=1\times1.6\times10^{-19}\times1$
$=1.6\times10^{-19}[J]$

$\boxed{604}$ 陽極に達したときの電子の運動エネルギーは, 電子に加えた仕事に等しいから,

$$1.60\times10^{-19}\times1000=1.60\times10^{-16}[J]$$

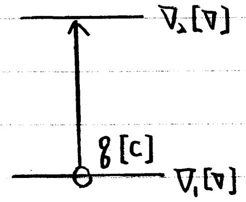
である. よって, 求める速さ$v[m/s]$は,

$$\frac{1}{2}\times9.11\times10^{-31}\times v^2=1.60\times10^{-16}$$

公式
(運動エネルギーの変化分)
=(加えた仕事)

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1.60 \times 10^{-16}}{9.11 \times 10^{-31}}} = 1.87 \times 10^{7}\,[\mathrm{m/s}]$$

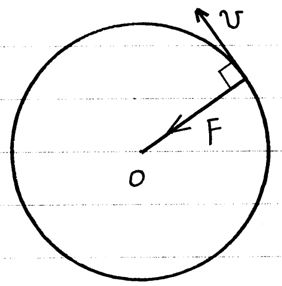
電荷に加えた仕事W



$$W = q(V_2 - V_1)\,[\mathrm{J}]$$

605

等速円運動



r：半径
v：速さ
F：向心力
a：加速度
ω：角速度
T：周期

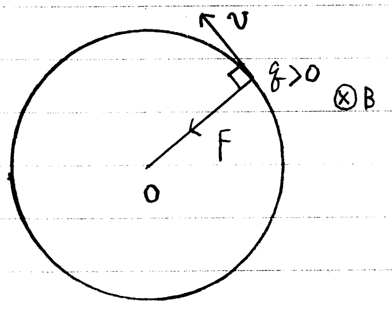
$$T = \frac{2\pi}{\omega}\,[\mathrm{s}] \qquad a = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}\,[\mathrm{m/s^2}]$$

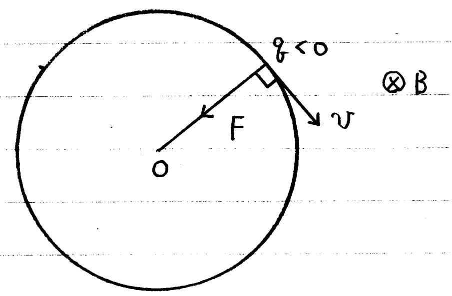
$$v = \frac{2\pi r}{T} = r\omega\,[\mathrm{m/s}]$$

運動方程式

$$m\frac{v^2}{r} = F$$

(1)





向心力Fはローレンツ力である。よって，運動方程式より，半径をrとすると，

$$m\frac{v^2}{r} = |q|vB$$

$$r = \frac{mv}{|q|B}$$

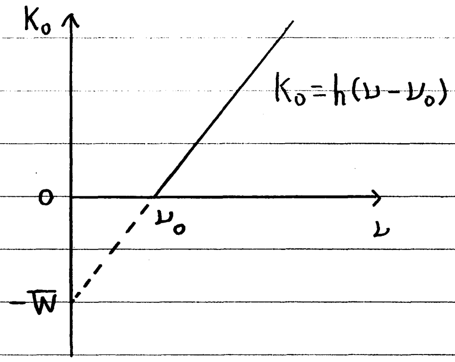
(2) 加速度の大きさは，

$$\frac{v^2}{r} = \frac{|q|vB}{m}$$

であり，向きは円の中心に向かう向き。

606

光電効果



K_0：光電子の運動エネルギーの最大値
ν：入射光の振動数
ν_0：限界振動数
λ_0：限界波長
W：仕事関数

$$\lambda_0=\frac{c}{\nu_0} \qquad W=h\nu_0=\frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\lambda_0=\frac{hc}{W}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3.0\times10^{8}}{4.2\times1.60\times10^{-19}}\fallingdotseq2.96\times10^{-7}\,[\mathrm{m}]$$

607 $4.00\times10^{-7}\leqq\lambda\leqq8.00\times10^{-7}$ より，

$$\frac{1}{8.00\times10^{-7}}\leqq\frac{1}{\lambda}\leqq\frac{1}{4.00\times10^{-7}}$$

$$\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{8.00\times10^{-7}\times1.60\times10^{-19}}\leqq\frac{hc}{\lambda}\leqq\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{4.00\times10^{-7}\times1.60\times10^{-19}}$$ ← 単位はeV.

$$1.55\leqq\frac{hc}{\lambda}\leqq3.11$$

よって，1.55[eV]から3.11[eV]の範囲である.

608 $$\nu_0=\frac{c}{\lambda_0}=\frac{3.00\times10^{8}}{5.30\times10^{-7}}=0.566\times10^{15}\fallingdotseq5.66\times10^{14}\,[\mathrm{Hz}]$$

$$W=h\nu_0=6.63\times10^{-34}\times5.66\times10^{14}\fallingdotseq3.75\times10^{-19}\,[\mathrm{J}]$$

609 ターゲットに衝突する直前の電子の運動エネルギーは，

$$eV=1.60\times10^{-19}\times10\times10^{3}=1.60\times10^{-15}\,[\mathrm{J}]$$

である. このエネルギーがすべてX線の光子に変わるとき，X線の波長が最短になるから，

$$eV=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda=\frac{hc}{eV}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3.0\times10^{8}}{1.60\times10^{-15}}\fallingdotseq1.24\times10^{-10}\,[\mathrm{m}]$$

である. また，

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} \fallingdotseq \frac{3.00\times10^8}{1.24\times10^{-10}} \fallingdotseq 2.40\times10^{18}\,[\mathrm{Hz}]$$

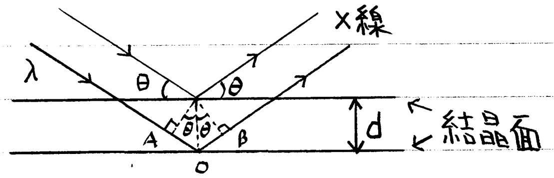
$\boxed{610}$

$$eV = \frac{hc}{\lambda} \text{ より,}$$

$$V = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^8}{1.60\times10^{-19}\times3.00\times10^{-11}} \fallingdotseq 4.14\times10^4\,[\mathrm{V}]$$

$\boxed{611}$

ブラッグの条件



(光路差) $= \overline{AO} + \overline{OB} = 2d\sin\theta$

強めあう条件

$2d\sin\theta = n\lambda \ (n = 1, 2, 3, \cdots)$

$$\lambda = 2d\sin\theta = 2\times2.8\times10^{-10}\times\sin12^\circ = 1.16\times10^{-10}\,[\mathrm{m}]$$

$\boxed{612}$

物質波

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}\,[\mathrm{m}]$$

(1) $\lambda = \dfrac{6.63\times10^{-34}}{0.10\times50} = 1.33\times10^{-34}\,[\mathrm{m}]$

(2) $\lambda = \dfrac{6.63\times10^{-34}}{5.3\times10^{-26}\times500} = 2.50\times10^{-11}\,[\mathrm{m}]$

(3) $\lambda = \dfrac{6.63\times10^{-34}}{9.11\times10^{-31}\times6.00\times10^6} = 1.21\times10^{-10}\,[\mathrm{m}]$

$\boxed{613}$ (1) $p = \dfrac{h}{\lambda} = \dfrac{6.63\times10^{-34}}{3.00\times10^{-11}} = 2.2\times10^{-23}$ [kg·m/s]

(2) $\dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{(mv)^2}{2m} = \dfrac{p^2}{2m} = \dfrac{2.2^2\times10^{-46}}{2\times9.11\times10^{-31}} \fallingdotseq 2.66\times10^{-16}$ [J]

$\boxed{614}$ (1) $\dfrac{1}{2}mv^2 = eV = 1.60\times10^{-19}\times1000 = 1.60\times10^{-16}$ [J]

(2) $\dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{p^2}{2m} = 1.60\times10^{-16}$ より,

$p = \sqrt{2\times9.11\times10^{-31}\times1.60\times10^{-16}} \fallingdotseq 1.71\times10^{-23}$ [kg·m/s]

よって, $\lambda = \dfrac{h}{p} \fallingdotseq \dfrac{6.63\times10^{-34}}{1.71\times10^{-23}} \fallingdotseq 3.9\times10^{-11}$ [m] $= 3.88\times10^{-2}$ [nm]

615

等速直線運動

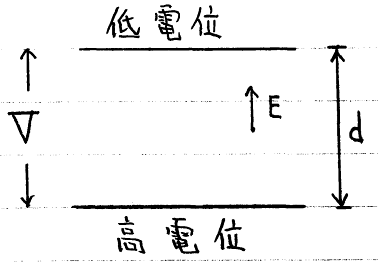
$$x = x_0 + v_0 t$$

等加速度直線運動

$$v = v_0 + at$$

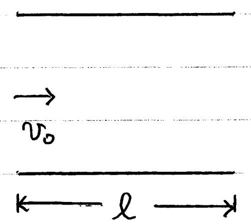
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

(1)



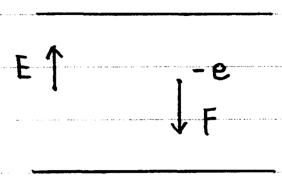
$$E = \frac{V}{d} = \frac{1000}{5.00\times10^{-2}} = 2.00\times10^{4}\,[V/m]\ (上向き)$$

(2)



$$t = \frac{l}{v_0} = \frac{5.0\times10^{-2}}{2.0\times10^{7}} = 2.50\times10^{-9}\,[s]$$

(3)



$$F = eE = 1.60\times10^{-19}\times2.00\times10^{4} = 3.20\times10^{-15}\,[N]\ (下向き)$$

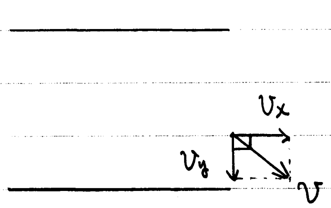
(4) 運動方程式は,

$$ma = F$$

より,

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3.20\times10^{-15}}{9.11\times10^{-31}} = 10^{16}\times0.3513\cdots \quad 3.51\times10^{15}\,[m/s^2]\ (下向き)$$

(5)

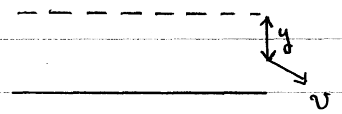


$$\begin{cases} v_x = v_0 = 2.0\times10^{7}\,[m/s] \\ v_y = at \fallingdotseq 3.52\times10^{15}\times2.5\times10^{-9} \fallingdotseq 8.80\times10^{6}\,[m/s] \end{cases}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\fallingdotseq \sqrt{2.0^2\times10^{14} + 8.8^2\times10^{12}} = 2.19\times10^{7}\,[m/s]$$

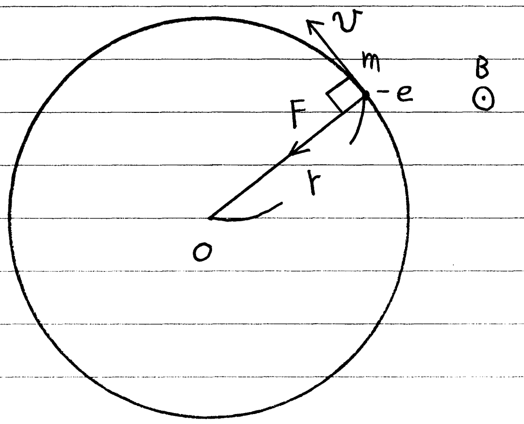
(6)



$$y = \frac{1}{2}at^2$$

$$\fallingdotseq \frac{1}{2} \times 3.52 \times 10^{15} \times 2.5^2 \times 10^{-18} = 1.10 \times 10^{-2}\ [\mathrm{m}]$$

$\boxed{616}$



$\frac{1}{2}mv^2 = eV$ より,

$$\frac{v^2}{2V} = \frac{e}{m} \cdots ①$$

となる. 運動方程式は,

$m\frac{v^2}{r} = evB$ より,

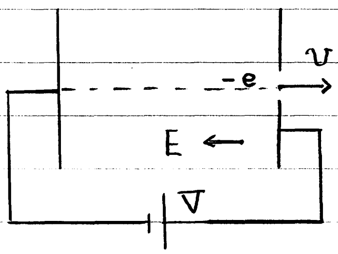
$$v = \frac{eBr}{m} \cdots ②$$

となる. ②を①に代入すると,

$$\frac{1}{2V}\left(\frac{e}{m}\right)^2 B^2 r^2 = \frac{e}{m}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2} = \frac{2 \times 3.00 \times 10^2}{9.70^2 \times 10^{-8} \times 5.00^2 \times 10^{-4}}$$

$$\fallingdotseq 2.55 \times 10^{11}\ [\mathrm{C/kg}]$$

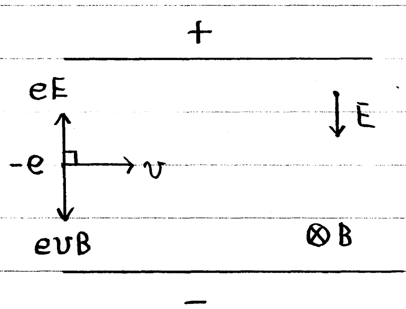


$\boxed{617}$ $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ より,

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

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.60 \times 10^{-19} \times 1000}{9.11 \times 10^{-31}}}$$

$$\fallingdotseq 1.87 \times 10^7\ [\mathrm{m/s}]$$



つりあいの式より,

$$evB = eE$$

$$B = \frac{E}{v} \fallingdotseq \frac{4.0 \times 10^4}{1.87 \times 10^7}$$

$$\fallingdotseq 2.14 \times 10^{-3}\ [\mathrm{T}]$$

618

$$K_0 = h(\nu - \nu_0) = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

$$= 6.63\times10^{-34} \times 3.00\times10^{8} \times \left(\frac{1}{5.00\times10^{-7}} - \frac{1}{9.00\times10^{-7}}\right) = 1.99\times10^{-25}\times8.89\times10^{5} = 1.77\times10^{-19}$$

$K_0 = \frac{1}{2}mv^2$ より,

$$v = \sqrt{\frac{2K_0}{m}} = \sqrt{\frac{2\times1.77\times10^{-19}}{9.11\times10^{-31}}} \fallingdotseq 6.23\times10^{5}\ [\mathrm{m/s}]$$

619 (1) $h\nu = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{3.0} = 6.63\times10^{-26}\ [\mathrm{J}]$

(2) $10\ [\mathrm{kW}] = 1.00\times10^{4}\ [\mathrm{J/s}]$ より, 求める個数は,

$$\frac{1.00\times10^{4}\ [\mathrm{J/s}]}{6.63\times10^{-26}\ [\mathrm{J/個}]} = 1.51\times10^{29}\ [\mathrm{個/s}].$$

620 (1) $\frac{1}{2}mv^2 = eV$

(2) $v = \sqrt{\dfrac{2eV}{m}}$ より, $mv = \sqrt{2meV}$

(3) $\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$

621 (1) $\frac{1}{2}mv^2 = eV = 1.60\times10^{-19}\times2.00\times10^{4} = 3.20\times10^{-15}\ [\mathrm{J}]$

(2) $v = \sqrt{\dfrac{2\times3.20\times10^{-15}}{9.11\times10^{-31}}} = 8.38\times10^{7}\ [\mathrm{m/s}]$

(3) $p = mv \fallingdotseq 9.11\times10^{-31}\times8.38\times10^{7} = 7.63\times10^{-23}\ [\mathrm{kg\cdot m/s}]$

(4) $\lambda = \dfrac{h}{p} \fallingdotseq \dfrac{6.63\times10^{-34}}{7.63\times10^{-23}} = 8.69\times10^{-12}\ [\mathrm{m}]$

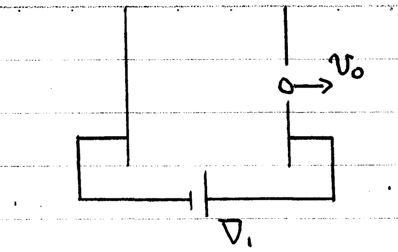
No.

Date . .

622

(1) $\frac{1}{2}mv_0^2 = eV_1$ より,

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eV_1}{m}}$$



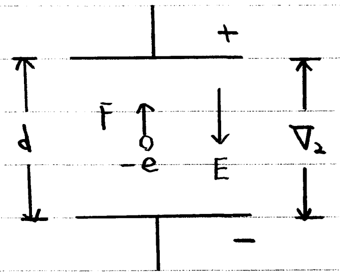
(2) $v_0 t = l$ より,

$$t = \frac{l}{v_0} = l\sqrt{\frac{m}{2eV_1}}$$

(3) 運動方程式は, 上向きを正として,

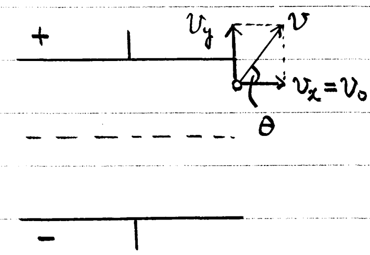
$$ma = F = eE = e\left(\frac{V_2}{d}\right)$$

$$a = \frac{eV_2}{md}$$



(4) $v_y = at$

$$= \frac{eV_2 l}{md}\sqrt{\frac{m}{2eV_1}} = \frac{lV_2}{d}\sqrt{\frac{e}{2mV_1}}$$



(5) $\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{eV_2 l}{md}\sqrt{\frac{m}{2eV_1}} \times \sqrt{\frac{m}{2eV_1}}$

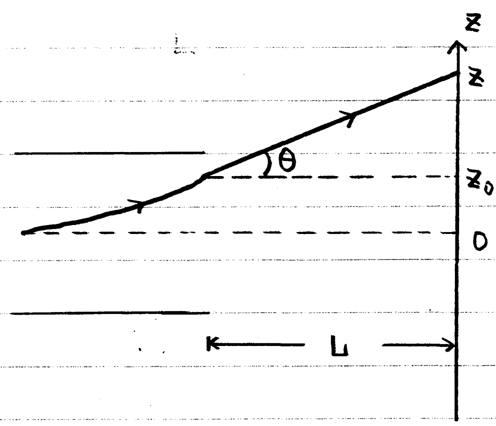
$$= \frac{lV_2}{2dV_1}$$

(6) $Z = Z_0 + L\tan\theta$

$$= \frac{1}{2}at^2 + \frac{lLV_2}{2dV_1}$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{eV_2}{md} \times \frac{l^2 m}{2eV_1} + \frac{lLV_2}{2dV_1}$$

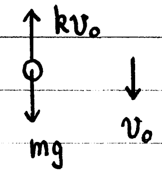
$$= \frac{l(l+2L)V_2}{4dV_1}$$



623 (1) 終速度の大きさをv_0とする。

運動方程式は、下向きを正として、

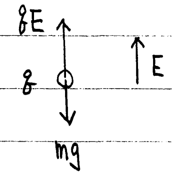
$$ma = mg - kv_0$$
$$= 0$$



$$k = \frac{mg}{v_0} = \frac{5.00\times10^{-15}\times9.80}{1.30\times10^{-4}}$$
$$= 3.77\times10^{-10}\ [\mathrm{kg/s}] \qquad [\mathrm{N\cdot s/m}] = [\mathrm{kg/s}]$$

(2) つりあいの式より、

$$qE = mg$$
$$= 5.00\times10^{-15}\times9.80$$
$$= 4.90\times10^{-14}\ [\mathrm{N}]$$

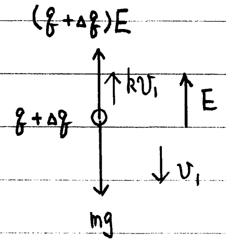


$\Leftarrow q > 0$

(3) 終速度の大きさをv_1とする。

運動方程式は、下向きを正として、

$$ma' = mg - (q+\Delta q)E - kv_1$$
$$= -\Delta q\cdot E - kv_1$$
$$= 0$$



$\Leftarrow \Delta q < 0$

$$\Delta q = -\frac{kv_1}{E} \fallingdotseq -\frac{3.77\times10^{-10}\times1.50\times10^{-5}}{3.5\times10^{4}}$$
$$\fallingdotseq -1.60\times10^{-19}\ [\mathrm{C}]$$

だから、電気素量の1倍。

(4) $qE = 4.9\times10^{-14}$ より、

$$q = \frac{4.90\times10^{-14}}{3.50\times10^{4}} = 1.40\times10^{-18}\ [\mathrm{C}]$$

$$\frac{q}{e} = \frac{1.40\times10^{-18}}{1.60\times10^{-19}} = 8.75 \text{倍}$$

624 (1) $\overline{W} = \dfrac{hc}{\lambda_0} = \dfrac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{300\times10^{-9}} = 6.63\times10^{-19}\,[J]$

$= \dfrac{6.63\times10^{-19}}{1.60\times10^{-19}} = 4.14\,[eV]$

(2) $K_0 = \dfrac{hc}{\lambda} - W_0 = \dfrac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{2.0\times10^{-7}} - 6.6\times10^{-19} = 3.34\times10^{-19}\,[J]$

$= \dfrac{3.34\times10^{-19}}{1.60\times10^{-19}} = 2.09\,[eV]$

625 (1) $\lambda = \dfrac{h}{mv}$ より,

$v = \dfrac{h}{m\lambda}$

(2) $\dfrac{1}{2}mv^2 = eV$ より,

$V = \dfrac{mv^2}{2e} = \dfrac{m}{2e}\times\left(\dfrac{h}{m\lambda}\right)^2 = \dfrac{h^2}{2em\lambda^2}$

(3) $V = \dfrac{6.63^2\times10^{-68}}{2\times1.60\times10^{-19}\times9.11\times10^{-31}\times1.00\times10^{-4}\times10^{-18}} \fallingdotseq 1.51\times10^{4}\,[V]$

626 (1) $\dfrac{1}{2}mv^2 = eV$ より,

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

よって,

$\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{h}{m}\sqrt{\dfrac{m}{2eV}} = \dfrac{h}{\sqrt{2meV}} = \dfrac{6.63\times10^{-34}}{\sqrt{2\times9.11\times10^{-31}\times1.60\times10^{-19}\times10}}$

$= \dfrac{6.63\times10^{-34}}{1.71\times10^{-24}} = 3.88\times10^{-10}\,[m]$

(2) $2d\sin30^\circ = \lambda$ より,

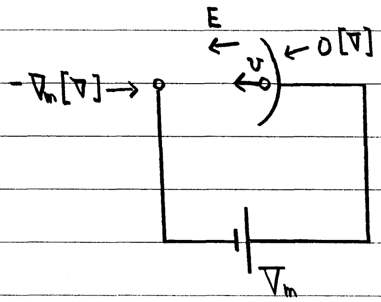
$d = \dfrac{\lambda}{2\sin30^\circ} = \dfrac{3.88\times10^{-10}}{2\times0.50} = 3.88\times10^{-10}\,[m]$

$\boxed{627}$ (1) ① $p = \dfrac{h}{\lambda}$ ② $E = h\nu$

(2) ③ $h\nu$ ④ $eV_m \left(= \dfrac{1}{2}mv^2\right)$ ← (加えた仕事) = (運動エネルギーの変化分) より,

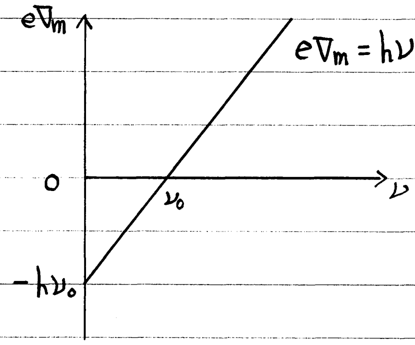
$-(-e)(-V_m) = 0 - \dfrac{1}{2}mv^2$

$eV_m = \dfrac{1}{2}mv^2$



⑤ $\left(\dfrac{1}{2}mv^2\right) = h\nu - W$

⑥ eV_m ⑦ ν ⑧ 仕事関数



(3) ⑨ デビソン・ガーマーの実験

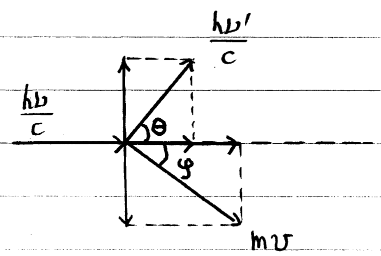
⑩ $\dfrac{1}{2}mv^2 = eV$ より,

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

$\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{h}{\sqrt{2meV}}$

⑪ 物質波

$\boxed{628}$ (1)



(2) $h\nu = h\nu' + \dfrac{1}{2}mv^2$

<u>x方向</u>

$\dfrac{h\nu}{c} = \dfrac{h\nu'}{c}\cos\theta + mv\cos\varphi$

<u>y方向</u>

$0 = \dfrac{h\nu'}{c}\sin\theta - mv\sin\varphi$

$$(mv\cos\varphi)^2 + (mv\sin\varphi)^2 = m^2v^2 = 2mh(\nu - \nu')$$

$$= \left(\frac{h}{c}\right)^2(\nu - \nu'\cos\theta)^2 + \left(\frac{h}{c}\right)^2(\nu'\sin\theta)^2$$

$$= \left(\frac{h}{c}\right)^2(\nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta)$$

$$= \left(\frac{h}{c}\right)^2\left\{(\nu - \nu')^2 + 2\nu\nu'(1 - \cos\theta)\right\}$$

$$\fallingdotseq \left(\frac{h}{c}\right)^2 \times 2\nu\nu'(1 - \cos\theta)$$

$$\nu - \nu' = \frac{h}{mc^2}\nu\nu'(1 - \cos\theta).$$

ちなみに,

$$\frac{\nu}{\nu\nu'} - \frac{\nu'}{\nu\nu'} = \frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu} = \frac{\lambda'}{c} - \frac{\lambda}{c}$$ より,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta).$$

No.

Date

No.
Date

629.

(1) 与えられた式

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

$$\frac{1}{\lambda} = R \frac{n^2 - 4}{4n^2} \quad \text{(通分)}$$

$$\lambda = \frac{4n^2}{R(n^2-4)} \quad \text{(上下逆にする)}$$

(2) リュードベリ定数 $R = 1.097 \times 10^7$ を代入して

$n=3$ のときの波長 λ_3

$$\lambda_3 = \frac{4 \times 3^2}{1.097 \times 10^7 \times (3^2 - 4)}$$

$$= \frac{36}{1.097 \times 10^7 \times 5} = 6.5633\cdots \times 10^{-7}$$

$$= 6.56 \times 10^{-7} \text{ [m]}$$

$n=4$ のときの波長 λ_4

$$\lambda_4 = \frac{4 \times 4^2}{1.097 \times 10^7 \times (4^2 - 4)}$$

$$= \frac{64}{1.097 \times 10^7 \times 12} = 4.8617 \cdots \times 10^{-7}$$

$$= 4.86 \times 10^{-7} \text{ [m]}$$

No.
Date

$n=5$ のときの波長 λ_5

$$\lambda_5 = \frac{4\times5^2}{1.097\times10^7\times(5^2-4)}$$

$$= \frac{100}{1.097\times10^7\times21} = 4.3408\cdots\times10^{-7}$$

$$= \underline{4.34\times10^{-7}\ [\mathrm{m}]}$$ //

$n=6$ のときの波長 λ_6

$$\lambda_6 = \frac{4\times6^2}{1.097\times10^7\times(6^2-4)}$$

$$= \frac{144}{1.097\times10^7\times32} = 4.10209\cdots\times10^{-7}$$

$$= \underline{4.102\times10^{-7}\ [\mathrm{m}]}$$ //

630

与えられた公式 $E_n = -\dfrac{hcR}{n^2}$

プランク定数 $h = 6.6\times10^{-34}\ [\mathrm{J\cdot s}]$

光速 $c = 3.00\times10^8\ [\mathrm{m/s}]$

リュードベリ定数 $R = 1.097\times10^7\ [1/\mathrm{m}]$ として.

$n=1$ のときのエネルギー準位を E_1 とすると

$$E_1 = -\frac{6.6\times10^{-34}\times3.0\times10^8\times1.097\times10^7}{1^2}$$

$$= -6.6\times3.0\times1.097\times10^{-19}$$

$$= -21.7206\times10^{-19}\ [\mathrm{J}]$$

$1.0\ [\mathrm{eV}] = 1.6\times10^{-19}\ [\mathrm{J}]$ なので

$$E_1 = -\frac{21.7206 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = -13.575\cdots$$

$$= \underline{-13.6 \ [\mathrm{eV}]}_{\,//}$$

$n=2$のときのエネルギー準位をE_2とすると

$$E_2 = -\frac{6.6\times10^{-34} \times 3.0\times10^{8} \times 1.097\times10^{7}}{2^2}$$

$$= -5.43015 \times 10^{-19} \quad [\mathrm{J}]$$

$$= \frac{-5.4015 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= -3.3938\cdots$$

$$= \underline{-3.39 \quad [\mathrm{eV}] \quad //}$$

$n=3$のときのエネルギー準位をE_3とすると

$$E_3 = -\frac{6.6\times10^{-34} \times 3.0\times10^{8} \times 1.097\times10^{7}}{3^2}$$

$$= -2.4134 \times 10^{-19} \ [\mathrm{J}]$$

$$= -\frac{2.4134 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = -1.508375$$

$$= \underline{-1.51 \ [\mathrm{eV}]}_{\,//}$$

$n=4$のときのエネルギー準位をE_4とすると

$$E_4 = -\frac{6.6\times10^{-34} \times 3.0\times10^{8} \times 1.097\times10^{7}}{4^2}$$

$$= -1.3575375 \times 10^{-19} \ [\mathrm{J}]$$

$$= -\frac{1.3575375 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = -0.848\cdots$$

$$= \underline{-0.85 \ [\mathrm{eV}]}_{\,//}$$

No.
Date

631

(1) ボーアの振動数条件

n番目のエネルギー準位 E_n の定常状態から
n'番目のエネルギー準位 $E_{n'}$ の定常状態に移るとき
放出する光子のエネルギー E は、プランク定数h、
放出する光の振動数を ν とすると

$E = h\nu$ となり、これは、2つのエネルギー準位の差 $E_n - E_{n'}$
となる。

$$h\nu = E_n - E_{n'}$$

この関係を用いると 電子が量子数 $n=3$ から $n=2$ の
軌道に移るとき 放出される光の振動数 ν は

$$\nu = \frac{1}{h}(E_3 - E_2)$$

ここで 630の答えを利用して、$h = 6.6 \times 10^{-34}$ [J・S] とすると

$$E_3 - E_2 = -1.5 + 3.4 = 1.9 \text{ [eV]}$$

$$1 \text{ [eV]} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [J]} \text{ なので}$$

$$E_3 - E_2 = 1.9 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.04 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

よって $$\nu = \frac{3.04 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}} = 4.606 \cdots \times 10^{14}$$

$$= \underline{4.61 \times 10^{14} \text{ [Hz]}}$$

(2) $n=1$ の状態にある電子に 10.2[eV] の光子を当てると
より高い準位のエネルギーの軌道に移る。このエネルギー準位
との差 ΔE は光子のエネルギーと同じになることがボーアの
振動数条件より分かる。よって高い準位のエネルギーを E_n とすると

$$10.2 = E_n - E_1$$ となる。

これより $E_n = 10.2 + E_1$

$$= 10.2 - 13.6 = -3.60 \text{[eV]}$$

よって $n=2$ のときのエネルギー準位と近い値になるので
$n=2$ の軌道に電子は移る。

632. (1) 電子は半径 r で速さ v の等速円運動しているので
円運動のときの加速度は $a = \frac{v^2}{r}$

また、向心力は、原子核と電子の間のクーロン力
であるので $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$

よって運動方程式により

$$ma = F \Rightarrow m\frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

運動エネルギー $K = \frac{1}{2}mv^2$ なので

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} = \underline{\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}}_{\,//}$$

No.
Date

(2) 力学的エネルギー $E = U + K$ で

$$U = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}, \quad K = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} \text{ より}$$

$$E = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} + \frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

$$= -\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r} \text{ //}$$

(3) 電子の電荷 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ [C]
電子の軌道半径 $r = 5.3 \times 10^{-11}$ [m]
$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9$ [$N \cdot m^2/C^2$] を (2) の式に代入して

$$E = -\frac{1}{2}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

$$= -\frac{1}{2} \times 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{5.3 \times 10^{-11}}$$

$$= -\frac{9.0 \times 1.6^2}{2 \times 5.3} \times 10^{-18} = -2.17358\ldots \times 10^{-18}$$

$$= -2.2 \times 10^{-18} \text{ [J] //}$$

1 [eV] $= 1.6 \times 10^{-19}$ [J] より

$$E = \frac{-2.17 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = -13.562\ldots$$

$$= -14.0 \text{ [eV] //}$$

No.
Date

633.

速さv. 半径rの等速円運動のとき. 加速度 a は.

$$a = \frac{v^2}{r}$$ となる。水素原子模型では.

働く力は. $$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{e^2}{r^2}$$

(e: 電子, 原子核の電荷.
ε_0: 真空の誘電率) となる

よって 運動方程式 $ma = F$ は

$$m\frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \quad \cdots\cdots ①$$

また. ボーアの量子条件. は. 電子の運動量 p により

$$p\cdot 2\pi r = nh \quad \cdots\cdots ②$$

$p = mv$ より. ① は.

$$\frac{p^2}{mr} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{e^2}{r^2}$$

$$p^2 = \frac{me^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r} \quad \cdots\cdots ③$$

② より $p = \dfrac{nh}{2\pi r}$. ③ へ代入して

$$\frac{n^2h^2}{4\pi^2 r^2} = \frac{me^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r}$$

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2}\cdot\frac{4\pi\varepsilon_0}{me^2} = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi me^2}$$

No.
Date . .

(2) 真空の誘電率 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ [$C^2/N\cdot m^2$]
プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ [J.s]
電子の質量 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ [kg]
電気素量 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ [C] を(1)の式へ代入して

$n=1$ として

$$r = \frac{1^2 \times (6.63 \times 10^{-34})^2 \times 8.85 \times 10^{-12}}{3.14 \times 9.11 \times 10^{-31} \times (1.60 \times 10^{-19})^2}$$

$$= \frac{6.63^2 \times 8.85}{3.14 \times 9.11 \times 1.60^2} \times 10^{-11}$$

$$= \underline{5.31 \times 10^{-11} \text{ [m]}} \,/\!/$$

634. 水素の原子模型を使うとヘリウム原子核のまわりを電子1個が円運動をするとき、円の半径をr、速さをvとすると、
円運動の加速度は $a = \frac{v^2}{r}$，力は $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r^2}$
ε_0は真空の誘電率と表わせるので、運動方程式は、

$$ma = F \Rightarrow m\frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r^2}$$

$$mv^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r} \quad \cdots ①$$

ここでボーアの量子条件 $p \cdot 2\pi r = nh$
（hはプランク定数，nは整数）より

$$p = \frac{nh}{2\pi r} \text{ となる。}$$

①へ代入して．

① ⇒ $$\frac{p^2}{m} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r}$$

$$\frac{1}{m}\left(\frac{nh}{2\pi r}\right)^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r}$$

$$\frac{1}{m}\frac{n^2h^2}{4\pi^2r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{r}$$

$$r = \frac{n^2h^2}{m\cdot 4\pi^2}\cdot\frac{4\pi\varepsilon_0}{2e^2}$$

$$= \frac{n^2h^2\varepsilon_0^2}{2\pi me^2}$$

最小の軌道半径は $n=1$ のときで

$$r_{He} = \frac{h^2\varepsilon_0^2}{2\pi me^2}$$

633の答えより　水素原子の最小半径 $(n=1)$ は

$$r_H = \frac{h^2\varepsilon_0}{\pi me^2}$$

なので　$r_{He} = \frac{1}{2}r_H$

答え.　$\frac{1}{2}$倍

No.

Date

635

原子核

$^{A}_{Z}X$　X：元素記号
Z：原子番号 ＝陽子の数
A：質量数 ＝陽子の数と中性子の数の和

(1) $^{235}_{92}U$　陽子の数 92コ
中性子の数 $235-92=143$コ

(2) $^{226}_{88}Ra$　陽子の数 88コ
中性子の数 $226-88=138$コ

(3) $^{23}_{11}Na$　陽子の数 11コ
中性子の数 $23-11=12$コ

(4) $^{27}_{13}Al$　陽子の数 13コ
中性子の数 $27-13=14$コ

636

放射線と崩壊

α線：高速のヘリウム原子核($^{4}_{2}He$)の流れ → α崩壊
β線：高速の電子($^{0}_{-1}e$)の流れ → β崩壊
γ線：電磁波 → γ崩壊

$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}Th$　質量数が4減少しているので、α崩壊
①α　② $92-2=90$.

$^{234}_{90}Th \longrightarrow {}^{234}Pa$　質量数が変化せず、原子核が変化しているので、β崩壊
③β　④ $90-(-1)=91$.

$^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta線} {}_{92}U$　⑤ 234.

637

半減期

$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$　T：半減期
N_0：$t=0$での原子核の個数
N：t秒後に残っている原子核の個数

$t=0$　$t=T$　$t=2T$　---

$N_0 \longrightarrow \frac{1}{2}N_0 \longrightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^2 N_0 \longrightarrow$ ---

質量は原子核の個数に比例する.

(1) $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{800}{1600}} \times 1.0 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.71\,[g]$

$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3200}{1600}} \times 1.0 = \left(\frac{1}{2}\right)^{2} = \frac{1}{4} = 0.25\,[g]$

(2) $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^{3} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{1600}} \times 1.0$

$\frac{t}{1600} = 3$ より，$t = 4800$ [年]

$\boxed{638}$

ベクレル

1秒間に1個の割合で原子核が崩壊するときの放射能の強さを1[Bq]という.

$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の導出

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$ ①

①式で t＝半減期の時(t＝T)、$N = N_0/2$

$\therefore \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$ $\quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$ ②

②の両辺を $\frac{t}{T}$ 乗すると、$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = e^{-\lambda T \cdot \frac{t}{T}} = e^{-\lambda t}$

$e^{-\lambda t} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ ③

③を①に代入すると

$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ $\quad \frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ ④

N_0：t＝0 の時のN、N：t＝tの時のN
T ：$N = N_0/2$ の時の時間(半減期)

$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の式を使用。 設問より T＝5.27年、t＝2.64年，$N_0 = 3.70\times10^{10}$[Bq]

$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = 3.70\times10^{10}\times\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2.64}{5.27}} = 2.61\times10^{10}$ [Bq]

639 (1) 原子番号 $= (7+2) - 8 = 1$
質量数 $= (14+4) - 17 = 1$
① ${}^{1}_{1}H$

(2) 原子番号 $= (3+1) \div 2 = 2$
質量数 $= (7+1) \div 2 = 4$
② ${}^{4}_{2}He$

(3) 原子番号 $= (5+1) - 6 = 0$
質量数 $= (10+2) - 11 = 1$
③ ${}^{1}_{0}n$

(4) 原子番号 $= (13+0) - 1 = 12$
質量数 $= (27+1) - 1 = 27$
④ ${}^{27}_{12}Mg$

640

質量とエネルギーの関係

$$E = mc^2 \, [J]$$

$$E = 1.00 \times 10^{-3} \times 9.00 \times 10^{16} = 9.00 \times 10^{13} \, [J]$$

このエネルギーが重油 x [t] の燃焼熱に等しいとすると,

$$x \times 10^3 \times 10^3 \times 1.0 \times 10^4 \, [\mathrm{cal}] = x \times 1.00 \times 10^{10} \times 4.20 \, [J]$$
$$= 9.00 \times 10^{13} \, [J]$$

$$x = \frac{9.00 \times 10^{13}}{4.20 \times 10^{10}} = 2.14 \times 10^3 \, [t]$$

641

質量欠損と結合エネルギー(放出エネルギー)

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \, [J]$$

ΔE: 結合エネルギー(放出エネルギー)
Δm: 質量欠損

(1) ${}^{235}_{92}U$ の場合,

$$\Delta E = (8.20 \times 10^{-4} \times 1.660 \times 10^{-27}) \times 9.00 \times 10^{16} \, [J]$$

$$= \frac{8.20 \times 1.660 \times 9.00 \times 10^{-14}}{1.60 \times 10^{-19}} \, [eV] = 7.66 \times 10^6 \, [eV]$$

質量数120程度の原子核の場合,

$$\Delta E = \frac{(91 \times 10^{-4} \times 1.660 \times 10^{-27}) \times 9.0 \times 10^{16}}{1.60 \times 10^{-19}} \, [eV] = 8.50 \times 10^6 \, [eV]$$

(2) $7.63 \times 10^6 \times 235 = 1.79 \times 10^9 \, [eV]$

$\boxed{642}$ 陽子と中性子の質量をそれぞれ m_p, m_n とし, ${}^2_1H$, ${}^3_1H$, ${}^4_2He$ の質量をそれぞれ m_2, m_3, m_4 とする.

$$\begin{cases} 2m_p + 2m_n - m_4 = 75 \times 10^{-4} \times 4\,[u] \cdots ① \leftarrow {}^4_2He\text{の質量欠損} \\ m_p + m_n - m_2 = 12 \times 10^{-4} \times 2\,[u] \cdots ② \leftarrow {}^2_1H\text{の質量欠損} \\ m_p + 2m_n - m_3 = 30 \times 10^{-4} \times 3\,[u] \cdots ③ \leftarrow {}^3_1H\text{の質量欠損} \end{cases}$$

(1) 放出するエネルギーは, ① − ②×2 より,

$$\frac{(2m_2 - m_4)c^2}{1.6 \times 10^{-19}}[eV] = \frac{(75 \times 4 - 12 \times 2 \times 2) \times 10^{-4} \times 1.660 \times 10^{-27} \times 9.0 \times 10^{16}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$\fallingdotseq 2.35 \times 10^7\,[eV]$$

(2) 放出するエネルギーは, ③ − ②×2 より, ← ${}^1_1H$ の質量は m_p.

$$\frac{(2m_2 - m_3 - m_p)c^2}{1.6 \times 10^{-19}}[eV] = \frac{(30 \times 3 - 12 \times 2 \times 2) \times 10^{-4} \times 1.660 \times 10^{-27} \times 9.0 \times 10^{16}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 3.92 \times 10^6\,[eV]$$

$\boxed{643}$ (1) $A = 238 - 4m$

$Z = 92 - 2m + n$

(2) $\begin{cases} 208 = 232 - 4m \\ 82 = 90 - 2m + n \end{cases}$

$m = 6,\ n = 4 \rightarrow$ α崩壊6回, β崩壊4回

$\boxed{644}$ (1) $4.0026 - 0.00055 \times 2 = 4.0026 - 0.0011 = 4.0015\,[u]$ ← ${}^4_2He$ の質量

$\Delta m = 1.0073 \times 2 + 1.0087 \times 2 - 4.0015$

$= 2.0160 \times 2 - 4.0015 = 0.0305\,[u]$

$= 0.0305 \times 1.660 \times 10^{-27}\,[kg] = 0.05063 \times 10^{-27} = 5.06 \times 10^{-29}\,[kg]$ ← 質量欠損

(2) $\dfrac{0.05063 \times 10^{-27} \times 9.00 \times 10^{16}}{1.60 \times 10^{-19}} \fallingdotseq 2.85 \times 10^7\,[eV]$

645 (1) $\dfrac{1.0078\times4-4.0026}{1.0078\times4}\times100[\%] \fallingdotseq 0.709 \fallingdotseq 0.71[\%]$

(2) $1.0\times9.0\times10^{16}\times\dfrac{0.709}{100}=6.38\times10^{14}$ [J]

(3) 1秒間にx[kg]の水素が消費されるとすると,

$$x\times6.38\times10^{14}=4.00\times10^{26}$$
$$x=6.27\times10^{11}\ [\mathrm{kg}]$$

646 t年前の$^{14}_{6}C$の個数をN_0とし,現在の個数をNとすると,

$$\frac{N}{N_0}=\frac{1}{2\sqrt{2}}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5.7\times10^3}}$$
$$t=\frac{3}{2}\times5.7\times10^3=8.55\times10^3$$

よって,8.55×10^3年前.

647 (1) α粒子 $4m$, R_n $222m$

(2) $^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$

運動量保存則より,

$$0=222mV+4m(-v)$$
$$v=\frac{222m}{4m}V=55.5V$$

よって,55.5倍

648 (1) 中性子がx個,電子がy個放出されるとする.

質量数について,

$$235+1=137+97+x$$
$$x=2 \quad ①$$

$^{0}_{-1}e$

原子番号について,

$$92=55+42-y$$
$$y=5 \quad ②$$

(2) $^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{137}_{55}Cs+{}^{97}_{42}Mo+2\,{}^{1}_{0}n+5\,{}^{0}_{-1}e$

(2) $\Delta m = (235.04 + 1.01) - (136.91 + 96.91 + 1.01 \times 2)$ [u]
$= 0.21$ [u] $= 0.21 \times 1.660 \times 10^{-27}$ [kg] $= 0.3486 \times 10^{-27}$
$\fallingdotseq 3.49 \times 10^{-28}$ [kg]

(3) $\Delta m \cdot c^2 \fallingdotseq 0.349 \times 10^{-27} \times 9.0 \times 10^{16} = 3.141 \times 10^{-11} \fallingdotseq 3.14 \times 10^{-11}$ [J]
$\fallingdotseq \dfrac{3.14 \times 10^{-11}}{1.60 \times 10^{-19}}$ [eV] $\fallingdotseq 1.96 \times 10^{8}$ [eV]

(4) $\dfrac{1.0}{235.04 \times 1.660 \times 10^{-27}}$ [個] $\times 3.14 \times 10^{-11}$ [J/個] $\times \dfrac{1}{4.20}$ [cal/J]
$\fallingdotseq 1.92 \times 10^{13}$ [cal]

$\boxed{649}$ (1) エネルギー保存則より，光子のエネルギーを E [eV] とすると，
$$\frac{9.11 \times 10^{-31} \times 9.0 \times 10^{16} \times 2}{1.60 \times 10^{-19}} = E \times 2$$
$$E \fallingdotseq 5.12 \times 10^{5} \text{ [eV]}$$

(2)
光子のエネルギー E と運動量 p との関係
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad p = \frac{h}{\lambda}$$
ν：振動数
λ：波長
c：光速
$$\Downarrow$$
$$E = cp$$

2個の光子の運動量をそれぞれ $\vec{p}$，$\vec{p}\,'$ とすると，運動量保存則より，
$$\vec{0} + \vec{0} = \vec{p} + \vec{p}\,'$$
↑ ↗
ゆっくり近づくから．
$$\vec{p}\,' = -\vec{p}$$
よって，互いに反対向きに進む．また，
$$|\vec{p}| = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 9.0 \times 10^{16}}{3.0 \times 10^{8}} \fallingdotseq 2.73 \times 10^{-22} \text{ [kg·m/s]}$$

No.

Date

650

向心力はローレンツ力であり，円運動なので，運動方程式は

$$m\frac{v^2}{r} = evB \qquad (e:\text{電子の電荷})$$

$$v = \frac{eBr}{m} \quad \cdots ①$$

電子の運動エネルギーを K とすると

$K = \frac{1}{2}mv^2$ より $v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$

①へ代入して

$$\sqrt{\frac{2K}{m}} = \frac{eBr}{m}$$

$$\therefore r = \frac{1}{eB}\sqrt{2mK}$$

運動エネルギーが2倍になるときの半径 r' は

$$r' = \frac{1}{eB}\sqrt{2m\cdot 2K} = \sqrt{2}\cdot\frac{1}{eB}\sqrt{2mK}$$

$$= \sqrt{2}\,r$$

よって $\sqrt{2}$ 倍になる．

答え $\sqrt{2}$ 倍

(2) 周期 $T = \frac{2\pi r}{v}$ より

$$T = \frac{2\pi\frac{1}{eB}\sqrt{2mK}}{\sqrt{\frac{2K}{m}}} = \frac{2\pi m}{eB}$$

よって運動エネルギーに関係なく一定

答え 変わらない

No.
Date

651.

(1) ナトリウム光の振動数をνとすると 光速度c. 波長λによって

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$ と表わせる。

$c = 3.0 \times 10^8$ [m/s], $\lambda = 589$ [nm] $= 5.89 \times 10^{-7}$ [m] より

$$\nu = \frac{3.0 \times 10^8}{5.89 \times 10^{-7}} = \frac{3.0}{5.89} \times 10^{15}$$

$$= 0.5093 \cdots \times 10^{15}$$

$$\fallingdotseq \underline{5.09 \times 10^{14}\ [\mathrm{Hz}]}$$ //

(2). 光子のエネルギーEは. プランク定数hを用いて.

$E = h\nu$ となる. $h = 6.63 \times 10^{-34}$ [J・s].

νは(1)の答えより 5.09×10^{14} [Hz] とすると

$$E = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.09 \times 10^{14}$$

$$= 6.63 \times 5.09 \times 10^{-20}$$

$$= 33.75 \times 10^{-20}$$

$$\fallingdotseq 3.38 \times 10^{-19}\ [\mathrm{J}]$$

1 [eV] = 1.60×10^{-19} [J] なので

$$E = \frac{3.38 \times 10^{-19}}{1.60 \times 10^{-19}} = \underline{2.11\ [\mathrm{eV}]}$$ //

(3) 電流は 1[s]間にある断面を流れた電気量であるので、電流 $I = 1.0 \times 10^{-5}$[A] から

1[s]間に 1.0×10^{-5}[C] の電荷が流れたことになる。
この電荷は、すべて光電子であるので、陰極から飛び出す
光電子の 1[s]間の個数 n は、電子の電荷 e により

$$n = \frac{I}{e}$$ と表わせる。 $e = 1.60 \times 10^{-19}$[C] より

$$n = \frac{1.0 \times 10^{-5}}{1.6 \times 10^{-19}} = \frac{1.0}{1.6} \times 10^{14}$$

$$= 0.625 \times 10^{14} \qquad \underline{6.25 \times 10^{13} \text{[個]}}$$

652. (1) 電子線のもつエネルギー E は、運動量を p とすると
電子の質量 m を用いて

$$E = \frac{p^2}{2m}$$ と表わせる。

ド・ブロイ波の式により 電子線の波長 λ と p の間には

$$p = \frac{h}{\lambda}$$ (h：プランク定数)

という関係がある。よって

$$E = \frac{\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

ここで $h = 6.6 \times 10^{-34}$[J·s]、 $m = 9.1 \times 10^{-31}$[kg]
$\lambda = 5.00 \times 10^{-11}$[m] なので

$$E = \frac{(6.6 \times 10^{-34})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times (5.00 \times 10^{-11})^2}$$

$$= \frac{6.6^2}{2 \times 9.1 \times 5.00^2} \times 10^{-15} = 9.573\cdots \times 10^{-17} \text{[J]}$$

~~$= 9.57 \times 10^{-17}$[J]~~

No.

Date

$1\,[eV] = 1.6 \times 10^{-19}\,[J]$ より

$$E = \frac{9.57 \times 10^{-17}}{1.6 \times 10^{-19}} = \underline{5.98\cdots \times 10^{2}\,[eV]}$$

(2) 100[eV]の運動エネルギーをもつ電子を(1)より
600[eV]にすれば良いので 500[eV]分のエネルギーを
加えれば良い。よって必要な加速電圧は 500[V]と
なる。

答え 500[V]

653 (1)

電流の定義

ある断面をt秒間にQ[C]の電荷が通過するとき,電流

$$I = \frac{Q}{t} [A]$$

が流れると定義する.

毎秒N個の電子が陽極に到達するとき,

$$6.4 \times 10^{-3} [A] = \frac{Ne}{1} = N \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$N = 4.00 \times 10^{16} [個]$$

(2) $\frac{1}{2} m v^2 = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 40 \times 10^3 = 6.40 \times 10^{-15} [J]$

(3) $eV = \frac{hc}{\lambda_0}$ より,

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eV} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{6.40 \times 10^{-15}} \fallingdotseq 3.11 \times 10^{-11} [m]$$

No.

Date

No.
Date

654. (1) $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ より、nを固定して、mを変化させると

波長が最小のとき $\frac{1}{\lambda}$ は最大になるので $m=1$ となる。

$m=1$ として、n を変化させるとき、n が大きい方が $\frac{1}{\lambda}$ は大きくなるので　$n=\infty$

答え　$m=1$，$n=\infty$

(2) $m=1$，$n=\infty$ を

$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ に代入して、

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

$\lambda = \frac{1}{R}$　ここでリュードベリ定数 $R = 1.097 \times 10^7$ [1/m]

なので

$\lambda = \frac{1}{1.097 \times 10^7} = 9.115\cdots \times 10^{-8}$

$= 9.12 \times 10^{-8}$ [m]

$= 912$ [nm]

(3) 光子のエネルギー　$E = h\frac{c}{\lambda}$　　h：プランク定数
c：光速

なので

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ [J.s]　$c = 3.00 \times 10^8$ [m/s]

(2) より $\lambda = 9.12 \times 10^{-8}$ [m] として、

$E = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{9.12 \times 10^{-8}} = \frac{6.6 \times 3.0}{9.12} \times 10^{-18}$

$= 2.171\cdots \times 10^{-18} = 2.17 \times 10^{-18}$ [J]

1 [eV] $= 1.6 \times 10^{-19}$ [J] なので

$E = \frac{2.17 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = 13.56$　13.6 [eV]

No.

Date . .

655

(1) 等速円運動の加速度 a は $a = \frac{v^2}{r}$ なので

運動方程式は $ma = F$

$$m\frac{v^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2} \quad \cdots ①$$

となる。電子の運動エネルギー $K = \frac{1}{2}mv^2$ は、①より

$$K = \frac{1}{2}k\frac{e^2}{r} = \underline{\frac{ke^2}{2r}} \text{ //}$$

(2) 電子波の波長を λ として、運動量 $p = mv$ なので
ド・ブロイ波の式より

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad h: プランク定数$$

なので $$\lambda = \frac{h}{p} = \underline{\frac{h}{mv}} \text{ //}$$

(3) 量子条件より $2\pi r = n\lambda$

(2)より $$2\pi r = \frac{nh}{mv}$$

$$v = \frac{nh}{2\pi mr} \quad \cdots ②$$

①より $mv^2 = \frac{ke^2}{r}$ ②を代入して

$$m\left(\frac{nh}{2\pi mr}\right)^2 = \frac{ke^2}{r}$$

$$m\frac{n^2h^2}{4\pi^2m^2r^2} = k\frac{e^2}{r}$$

$$\frac{n^2h^2}{4\pi^2mr} = ke^2 \quad \therefore\ r = \underline{\frac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}} \text{ //}$$

No.
Date

(4) エネルギー準位 $E_n = K + U$ なので

$$E_n = \frac{ke^2}{2r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{ke^2}{2r}$$

(3)で求めた r を代入して

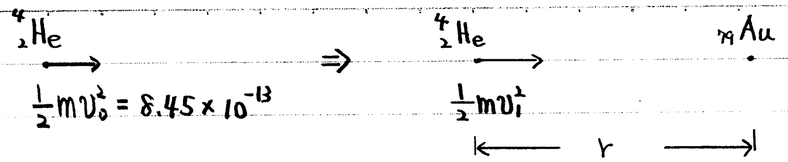
$$E_n = -\frac{ke^2}{2}\,\frac{1}{\frac{n^2h^2}{4\pi^2kme^2}}$$

$$= -\frac{2\pi^2k^2me^4}{n^2h^2}$$ //

No.

Date

$\boxed{656}$



力学的エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + k\frac{(2e)(79e)}{r}$$

となる．最も近づいたとき，$v_1 = 0$ より，

$$8.45\times10^{-13} = 9.0\times10^9\times\frac{(2\times1.6\times10^{-19})\times(79\times1.6\times10^{-19})}{r}$$

$$r = \frac{9.0\times2\times1.6\times79\times1.6}{8.45}\times10^{-16}$$

$$= 4.31\times10^{-14}\,[\mathrm{m}]$$

$\boxed{657}$ (1)

$$\Delta m\cdot c^2 = \frac{\{(2.0136+2.0136)-(3.0150+1.0087)\}\times1.660\times10^{-27}\times9.0\times10^{16}}{1.6\times10^{-19}}\,[\mathrm{eV}]$$

$$= 3.27\times10^6\,[\mathrm{eV}]$$

(2) ^2_1H, ^3_2He, ^1_0n の速さをそれぞれ v_1, v_2, v_3 とし，^2_1H, ^3_2He, ^1_0n の質量をそれぞれ m_1, m_2, m_3 とする．エネルギー保存則より，

$$(m_1c^2 + \frac{1}{2}m_1v_1^2)\times2 = (m_2c^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2) + (m_3c^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2)$$

$$(2m_1 - m_2 - m_3)c^2 + \frac{1}{2}m_1v_1^2\times2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2$$

$$\Delta m\cdot c^2 + \frac{1}{2}m_1v_1^2\times2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2 \quad \cdots ①$$

が成り立つ．(1)より，

$$\Delta m\cdot c^2 + \frac{1}{2}m_1v_1^2\times2 = 3.30\times10^6 + 2\times10^6 = 5.30\times10^6\,[\mathrm{eV}]$$

(3) 運動量保存則より，

$$m_1v_1 + m_1(-v_1) = m_2v_2 + m_3(-v_3)$$

が成り立つ．よって，

$$v_2 : v_3 = m_3 : m_2 = 1.0087 : 3.0150$$

(4) $\frac{1}{2}m_2v_2^2 : \frac{1}{2}m_3v_3^2 = m_2v_2^2 : m_3v_3^2 = m_2v_2^2 : m_3\left(\frac{m_2}{m_3}v_2\right)^2 = m_3 : m_2$

であり，①より，

$$\frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2 = 5.27\times10^6\ [\mathrm{eV}]$$

である．よって，

$$\begin{cases} \frac{1}{2}m_2v_2^2 \fallingdotseq 5.27\times10^6\times\dfrac{1.0087}{3.0150+1.0087} \fallingdotseq 1.32\times10^6\ [\mathrm{eV}] \\ \frac{1}{2}m_3v_3^2 = (5.27-1.32)\times10^6 = 3.95\times10^6\ [\mathrm{eV}] \end{cases}$$

である．

$\boxed{658}$ (1) $\Delta m = (11.0066+1.0073) - 4.0015\times3 = 0.0094\ [\mathrm{u}]$

$$= 0.0094\times1.660\times10^{-27} = 1.560\times10^{-29}\ [\mathrm{kg}]$$

(2) 陽子の速さをv_1とし，質量をm_1とすると，

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \Delta m\cdot c^2 = \frac{1}{2}\times1.0073\times1.660\times10^{-27}\times16\times10^{14} + 1.560\times10^{-29}\times9.0\times10^{16}$$

$$\fallingdotseq 1.3377\times10^{-12} + 1.40\times10^{-12} = 2.74\times10^{-12}\ [\mathrm{J}]$$

(3) ${}^4_2\mathrm{He}$の速さをv_2とすると，エネルギー保存則より，

$$\frac{1}{2}\times4.0015\times1.660\times10^{-27}\times v_2^2\times3 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \Delta m\cdot c^2$$

$$= 2.74\times10^{-12}$$

$$v_2^2 = \frac{2\times2.74\times10^{-12}}{4.0015\times1.660\times3\times10^{-27}} \fallingdotseq 2.75\times10^{14}$$

$$v_2 = 1.66\times10^7\ [\mathrm{m/s}]$$

$\boxed{659}$ 毎秒x[g]の${}^{235}_{92}\mathrm{U}$が必要だとすると，

$$\frac{x\times10^{-3}}{235.0\times1.660\times10^{-27}}[個/\mathrm{s}]\times200\times10^6[\mathrm{eV}/個] = \frac{32\times10^4\times10^3\ [\mathrm{J/s}]}{1.6\times10^{-19}\ [\mathrm{J/eV}]}$$

$$x = \frac{235.0\times1.660\times10^{-27}\times32\times10^4\times10^3}{10^{-3}\times200\times10^6\times1.6\times10^{-19}} \fallingdotseq \frac{1.25\times10^{-16}}{3.20\times10^{-14}} = 3.91\times10^{-3}\ [\mathrm{g/s}]$$