第 1 問

問 1 A まわりの力のモーメントのつり合いの式より

$$\frac{2}{3}L \times Mg - L \times F = 0 \qquad \therefore \quad F = \boldsymbol{\frac{2}{3}Mg}$$

$\boxed{\ 1\ }$ **⑤(答)**

問 2 単原子分子理想気体の質量を m，速度の 2 乗の平均を $\overline{v^2}$，ボルツマン定数を k，絶対温度を T とすると，

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$$

の関係がある．つまり，運動エネルギーの平均値は絶対温度に比例する．問題文より，太陽の中心部の温度は $1500 \times 10000\,\mathrm{K}$ である．この温度は $300\,\mathrm{K}$ の

$$\frac{1500 \times 10000}{300} = 50000\,\text{倍}$$

であるから，運動エネルギーも **50000 倍** $\boxed{\ 2\ }$ **⑤(答)**

また，温度は同じなので，水素もヘリウムの運動エネルギーの平均値も同じである．$\boxed{\ 3\ }$ **③(答)**

問 3 水とガラスの間で全反射をすると仮定し，臨界角（屈折角が 90° になるときの入射角）を θ_{C1} とする．水とガラスの間での屈折の法則より全反射するときは次の式を満たす．

$$n\sin\theta_{\mathrm{C1}} = n'\sin 90^\circ \qquad \therefore \quad \sin\theta_{\mathrm{C1}} = \frac{n'}{n} \quad \cdots①$$

しかし，$n' > n$ より，$\dfrac{n'}{n} > 1$ なので，① を満たす θ_{C1} は存在しない．よって，水とガラスの間では，水から光を入射したときには全反射しない．

ガラスと空気の間の臨界角を θ_{C2} とすると，屈折の法則より次式が成り立つ．

$$n\sin\theta = n'\sin\theta_{\mathrm{C1}} = 1 \cdot \sin 90^\circ \qquad \therefore \quad \sin\theta = \frac{1}{n} \text{ かつ } \sin\theta_{\mathrm{C1}} = \frac{1}{n'}$$

$\dfrac{1}{n'} < 1$ なので，θ_{C2} は存在し，**ガラスと空気** の境界で全反射をする．よって $\sin\theta_{\mathrm{C}} = \sin\theta = \boldsymbol{\frac{1}{n}}$ $\boxed{\ 4\ }$ **④(答)**

問 4 xy 平面で円運動をしているとき，荷電粒子の速度とローレンツ力の向きは xy 平面に平行である．フレミング左手の法則を考えれば，磁場の向きは xy 平面に垂直．つまり，**z 軸に平行**．

また，x 軸に平行に直線運動をしているときは，ローレンツ力がはたらいていない．よって，磁場の向きと荷電粒子の速度が平行なとき，つまり **x 軸** に平行．$\boxed{\ 5\ }$ **⑦(答)**

問 5 水素と炭素の質量の和は $1.0073\,\mathrm{u} + 11.9967\,\mathrm{u} = 13.0040\,\mathrm{u}$．窒素の質量は $13.0019\,\mathrm{u}$ なので，質量が減少している．よって，この反応では質量の減少分のエネルギーが **放出された** ことがわかる．

また，半減期を T［分］とすると，半減期の式より

$$\frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{40}{T}}$$

左辺は $\left(\dfrac{1}{2}\right)^4$ なので，

$$4 = \frac{40}{T} \qquad \therefore \quad T = \textbf{10 分}$$

$\boxed{\ 6\ }$ **⑦(答)**

第 2 問

問 1 ノズルから噴出する水の速さが u なので，Δt で噴出する体積は $\Delta V = \boldsymbol{su\Delta t}$．また，ペットボトル内で下降する水面の速さが u_0 なので，このときペットボトル内で減った分の体積は $S_0 u_0 \Delta t$ である．これが ΔV と等しいので

$$S_0 u_0 \Delta t = su\Delta t \qquad \therefore \quad u_0 = \boldsymbol{\frac{s}{S_0}u}$$

$\boxed{\ 7\ }$ ⑥(答)

問 2 水の密度が ρ_0，噴出した水の体積が ΔV なので，噴出した水の質量 Δm は

$$\Delta m = \boldsymbol{\rho_0 \Delta V}$$

$\boxed{\ 8\ }$ ②(答)

また，圧縮空気の圧力が p で一定という仮定より，圧縮空気がした仕事は $W' = \boldsymbol{p\Delta V}$ $\boxed{\ 9\ }$ ①(答)

問 3 圧縮空気がした仕事は噴出した **水の運動エネルギー** に等しい．運動エネルギーは $\frac{1}{2}\cdot(\Delta m)\cdot u^2$ なので，

$$\frac{1}{2}\cdot(\Delta m)\cdot u^2 = W' \qquad \therefore \quad u = \boldsymbol{\sqrt{\frac{2W'}{\Delta m}}}$$

$\boxed{\ 10\ }$ ⑨(答)

問 4 運動量保存則より

$$0 = M\Delta v + (\Delta m)\cdot(-u) \qquad \therefore \quad \boldsymbol{M\Delta v - \Delta m\, u = 0}$$

$\boxed{\ 11\ }$ ④(答)

問 5 ロケットに関して，運動量変化と力積の関係より

$$F\Delta t = M\Delta v \qquad \therefore \quad F = \frac{M\Delta v}{\Delta t}$$

$F > Mg$ となるのは

$$\frac{M\Delta v}{\Delta t} > Mg \qquad \therefore \quad \boldsymbol{\Delta v > g\Delta t}$$

$\boxed{\ 12\ }$ ④(答)

第 3 問

問 1 電流は x 軸に平行に流れ，磁場は y 軸に平行にかかっているので，電流が受ける力はフレミング左手の法則から **z 軸**に平行にはたらく．中央に力がはたらくため，ここが大きく振動し，定常波の **腹** となる． $\boxed{13}$ **⑤(答)**

問 2 波長を λ とすると

$$\frac{6}{4}\lambda = L \qquad \therefore \quad \lambda = \boldsymbol{\frac{2L}{3}}$$

$\boxed{14}$ **③(答)**

問 3 腹が n 個のときの波長を λ_n とすると

$$\frac{2n}{4}\lambda_n = L \qquad \therefore \quad \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad \cdots①$$

弦を伝わる波の速さを V とすると，波の基本式より

$$V = f_n\lambda_n \quad \cdots②$$

①, ② より λ_n を消去して

$$f_n = \frac{V}{2L}n$$

よって，f_n は n に比例する．このときの比例定数は $\dfrac{V}{2L}$ であるから，縦軸を f_n，横軸を n としたときのグラフの傾きは $\dfrac{V}{2L}$ である．よって，直線の傾きに比例する物理量は **弦を伝わる波の速さ**． $\boxed{15}$ **②(答)**

問 4 横軸が $\sqrt{S}$ になっているグラフが直線であり，原点を通る（ように見える）ので，f_3 は $\boldsymbol{\sqrt{S}}$ に比例する． $\boxed{16}$ **②(答)**

問 5 表 1 より，d が 2 倍 3 倍になると，振動数が約 $\dfrac{1}{2}$ 倍，$\dfrac{1}{3}$ 倍 になっている．よって，f_n は $\boldsymbol{\dfrac{1}{d}}$ に比例する． $\boxed{17}$ **④(答)**

ちなみに，弦を伝わる速さ V は張力の大きさを S，線密度を ρ とすると

$$V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

と表わされる．$f_n = \dfrac{V}{2L}n$ の式に代入すれば

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

となる．d を 2 倍 3 倍にすると，断面積が 4 倍 9 倍となり，線密度が 4 倍，9 倍となる．その結果 f_n は $\dfrac{1}{2}$ 倍，$\dfrac{1}{3}$ となる．

第 4 問

問 1 ⑤ について，点電荷 2 つでは一様な電場を作らないので不適．大きさが同じで符号が逆の点電荷を置いているので，2 つの点電荷からの距離が等しい位置では電位が 0 の等電位線ができる．よって，② と ③ にしぼられる．また，正電荷より少し右（距離を ΔL）にいった場所には電場は正電荷による右方向の電場，負電荷による左方向の電場（正電荷より少し遠いのでやや弱い）を重ね合わせた右方向の電場ができる．一方，正電荷より ΔL 左方向にいった場所の電場は正電荷による左方向の電場，負電荷による左方向の電場（正電荷より少し遠いのでやや弱い）を重ね合わせた左方向の電場ができる．このことから考えて，正電荷から等距離離れた位置での電場は左側の方向が大きい．等電位面が密なところほど電場が強いことを考慮すれば，適するのは ②． $\boxed{18}$ **②(答)**

問 2 (a)，(c) は正しい．(b) は電場の大きさが異なれば距離も異なる． $\boxed{19}$ **⑤(答)**

問 3 導体紙付近では等電位線と辺が直交している．等電位線と電気力線は直交するので，電場はその辺に **平行** である．電場と電流の向きは **同じ** であり，辺の近くの電流はその辺に **平行** に流れている． $\boxed{20}$ **①(答)**

問 4 図 3 の原点のすぐ隣にある 2 点 $x = -15\,\mathrm{mm}$，$V = -0.10\,\mathrm{mV}$ と $x = 15\,\mathrm{mm}$，$V = 0.10\,\mathrm{mV}$ の傾きは

$$\frac{0.10-(-0.10)}{15-(-15)} \fallingdotseq \mathbf{7\times10^{-3}\,V/m}$$

であり，これが原点付近の電場の強さと近似できる．よって， $\boxed{21}$ **⑥(答)**

問 5 小さい幅の距離を Δx とすると，この間の電位差 ΔV は $\Delta V = E\Delta x$ である．一方，抵抗値 R は抵抗率 ρ と断面積 S，距離 Δx を用いて

$$R = \rho\frac{\Delta x}{S}$$

と表わされる．オームの法則より，$\Delta V = RI$ から

$$E\Delta x = \rho\frac{\Delta x}{S}\times I \qquad \therefore\quad \rho = \boldsymbol{\frac{SE}{I}}$$

$\boxed{22}$ **④(答)**