第１問

問１　板が回転しないような（ぎりぎりの）F の最大値は，力のモーメントがちょうどつり合うときの値です。回転する直線の状態で，板には次の力がはたらきます：

- 点Ｂに，水平方向右向きに力 F
- 重心に，鉛直方向下向きに重力 Mg
- 点Ａで，水平方向左向きに壁からの垂直抗力
- 点Ａで，鉛直方向上向きに床からの垂直抗力

力のモーメントを点Ａのまわりに取れば，上記の後二者は作用線までの距離が 0 ですから考えなくてよい。力のモーメントのつり合いから　$-F \cdot L + Mg \cdot (2/3) L = 0$，$\therefore F = 2/3 Mg$。$\boxed{1}$ の正解は⑤。

なお，一般の剛体の重心位置は解析的に（積分を使って）求めますが，三角形の板のような単純な形の剛体の重心位置は幾何学的に求められる中心（三角形では重心）の位置に一致します。

問２　単原子分子理想気体の運動エネルギーの平均値 $(1/2) m\overline{v}^2$ は，物質量を n，アボガドロ数を N_A，気体定数を R，絶対温度を T とすると，次のように書けます：

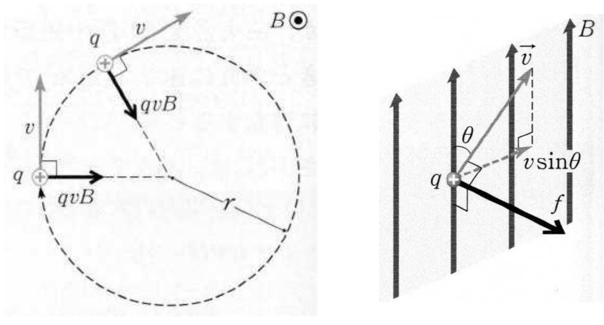
$$nN_A \cdot (1/2) m\overline{v}^2 = n \cdot (3/2) RT$$

これより $(1/2) m\overline{v}^2 = (3/2) R/N_A \cdot T$ となり，運動エネルギーは T に比例し，分子の種類によらないことがわかります。よって，1500 万 K での運動エネルギーは 300K での運動エネルギーの 1500 万 K ／ 300K ＝ 5 万(倍)。また，太陽の中心部での水素原子核とヘリウム原子核では，温度が等しいので運動エネルギーも等しくなります（質量はヘリウム原子核が水素原子核の約 4 倍なので，速さの 2 乗平均はヘリウム原子核が水素原子核の約 1/4 となります)。$\boxed{2}$ の正解は⑤，$\boxed{3}$ の正解は③。

問３　屈折角が 90°になるときを全反射といいます。水とガラスの境界面での屈折では $n \sin\theta = n' \sin\theta'$ の関係が成り立ち，$n < n'$ より $\sin\theta > \sin\theta'$，$\therefore \theta > \theta'$ ですから，$\theta' = 90°$ となることはなく，この境界面では全反射は起こりません。よってガラスと空気の境界面で全反射しており，$\theta = \theta_C$ で $\theta'' = 90°$ となります。これと $n'' = 1$ を関係式 $n \sin\theta = n' \sin\theta' = n'' \sin\theta''$ に代入すると $n \sin\theta_C = n' \sin\theta' = 1$。

$\therefore \sin\theta_C = 1/n$ となります。$\boxed{4}$ の正解は④。

問４



【図はいずれも啓林館『物理』より借用】

荷電粒子の電気量を q（$q>0$），磁束密度を B とします。荷電粒子が速さ v で円運動するとき，ローレンツ力 $f = qvB$ が向心力となっており，フレミングの左手則により，磁場の向きは右図上に示すようになります（粒子が負に帯電しているときは，磁場の向きは逆向きです)。粒子が xy 平面内で円運動するとき，磁場の方向は z 軸に平行です。また，荷電粒子が直線運動しているとき，粒子の速度は磁場と方向が同じで，ローレンツ力ははたらいていません（運動は等速直線運動)。粒子の速度と磁場が角 θ をなすと

き，ローレンツ力は $f = qvB\sin\theta$ と表され，$\theta > 0$ であれば $f > 0$ となり，粒子の運動の方向は変化していくからです。粒子が x 軸に平行に直線運動するとき，磁場の方向は x 軸に平行です。$\boxed{5}$ の正解は⑦。

問５　この原子核反応は　${}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{13}_{7}\mathrm{N}$　と書けます。左辺の核エネルギーは 11.0067u ＋ 1.0073u ＝ 13.0040u，右辺の核エネルギーは 13.0019u ですから，反応により核エネルギーが減少している,つまり核エネルギーが放出されたことがわかります。次に，${}^{13}_{7}\mathrm{N}$ の半減期を T 分とすると，$1/16 = (1/2)^4$ より原子核の個数が 1/16 になるのは $4T$ 分後ですから，$4T = 40$，$\therefore T = 10$〔分〕。$\boxed{6}$ の正解は⑦。

第２問

問１　時間 Δt の間にノズルから噴出する水の体積は，断面積 s，高さ $u\Delta t$ の円柱の体積として $\Delta V = su\Delta t$ と表されます。また ΔV は，ペットボトル内で下降する水の体積に等しく，断面積 S_0，高さ $u_0\Delta t$ の円柱の体積として $\Delta V = S_0u_0\Delta t$ とも表されます。2 つの式から $su\Delta t = S_0u_0\Delta t$，$\therefore u_0 = su / S_0$。$\boxed{7}$ の正解は⑥。

問２　時間 Δt の間に噴出した水の質量は(水の密度)×(噴出した水の体積)で表され，$\Delta m = \rho_0\Delta V$。$\boxed{8}$ の正解は②。また同じ時間に圧縮空気がした仕事 W' は，圧縮空気の圧力を一定とみなせば(空気の圧力)×(空気の体積の変化)で表され，空気の体積の変化は ΔV に等しいので，$W' = p\Delta V$。$\boxed{9}$ の正解は①。

問３　時間 Δt の間に水全体がされた仕事が時刻 $t = \Delta t$ での水全体の運動エネルギーに等しくなります。水の運動による摩擦，空気抵抗，大気圧，重力による影響は無視するので，水に対して仕事をするのは圧縮空気のみ。また，ペットボトルやノズルの中にある水の運動エネルギーは考えないので，圧縮空気がした仕事が噴出した水の運動エネルギーに変わると考えます。時間 Δt の間の仕事 W' が時刻 $t = \Delta t$ での水の運動エネルギーに等しいので $W' = (1/2)(\Delta m)u^2$。これより $u = \sqrt{2W' / \Delta m}$。$\boxed{10}$ の正解は⑨。

問４　鉛直上向きを正にとると，時刻 $t = \Delta t$ でのロケットの運動量は $M'\Delta v \fallingdotseq M\Delta v$，噴出した水の運動量は $\Delta m(-u') \fallingdotseq \Delta m(-u)$。また時刻 $t = 0$ でのロケットの運動量は 0 ですから，運動量保存の法則により $0 = M\Delta v + \Delta m(-u)$ が成り立ちます。$\boxed{11}$ の正解は④。

問５　ロケットにはたらく推進力（鉛直上向き）の大きさを F とすると，推進力 F と F がはたらいた時間 Δt との力積がロケットの運動量の変化に等しいことから，$F\Delta t = M\Delta v - 0$，$\therefore F = M\Delta v / \Delta t$。これがロケットにはたらく重力 Mg より大きいとき，$M\Delta v / \Delta t > Mg$，$\therefore \Delta v > g\Delta t$。$\boxed{12}$ の正解は④。

第３問

問１　フレミングの左手則により，弦の中央部分が磁場から受ける力は z 軸方向です。磁束密度の大きさ・向きは一定ですが，電流の大きさ・向きが周期的に変化するので，電流が磁場から受ける力の大きさ・向きも周期的に変化します。こうして弦の中央部分が振動し，その振動が波として弦を伝わり，両端で反射した波との重ね合わせで合成波ができ，さらに交流電流の周波数を調整すると定在波ができるというわけです。弦の中央部分は振動しているので定在波の腹でなくてはならず，また弦の両端は固定されているので定在波の節となります。$\boxed{13}$ の正解は⑤。

　なお，弦の中央が腹であることは図２の横軸で腹の数が 1，3，5，…と奇数であることからもわかります。

問２　定在波の腹の数が 3 のとき，波長 λ の 1/2 が $L/3$ ですから，$(1/2)\lambda = L/3$ より $\lambda = 2L/3$ となります。$\boxed{14}$ の正解は③。

問３　定在波の腹の数 n を扱い易い物理量に直して考えます。波長 λ_n の 1/2 が L/n ですから，(1/2) $\lambda_n = L/n$ より $n = 2L/\lambda_n$。交流電流の周波数 f_n が腹の数 n に比例するとき，比例定数（直線の傾き）を k として $f_n = kn = k(2L/\lambda_n)$ と書けます。よって $k = f_n\lambda_n ／ 2L$ 。弦を伝わる波の速さを v_n とすれば $v_n = f_n\lambda_n$ ですから，$k = v_n ／ 2L$ と表され，k は v_n に比例することがわかります。$\boxed{15}$ の正解は②。

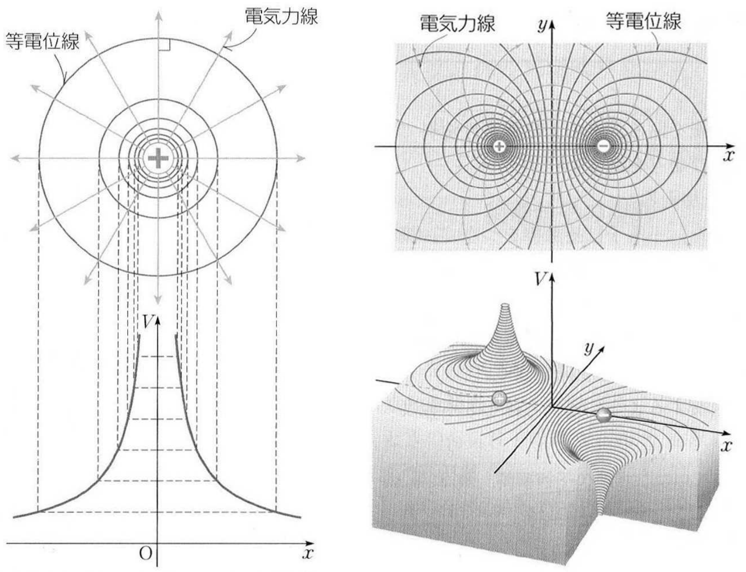
問４　f_3 がある量 x に比例するとき，f_3 と x の関係を表すグラフは原点を通る直線になりますから，ここでは「$\sqrt{\mathrm{S}}$ に比例する」が適当です。$\boxed{16}$ の正解は②。

なお，f_3 と $\sqrt{\mathrm{S}}$ のグラフが直線なので，f_3 と $1／\sqrt{\mathrm{S}}$ のグラフは直線になりません。よって⑤は不適。また，f_3 と $1／S$ のグラフは原点を通らないので，f_3 と $1／S^2$ のグラフもまた原点を通りません。よって⑥も不適です。

問５　金属線の直径 d が 2 倍，3 倍となると f_1，f_3，f_5 のいずれもほぼ 1/2 倍，1/3 倍となっているので，f_1，f_3，f_5 は d に反比例すると考えられます。$\boxed{17}$ の正解は④。

第４問

問１



【図はいずれも啓林館『物理』より借用】

正の点電荷の周りの電位 V は，点電荷の電気量を Q，点電荷からの距離を r とすれば $V = kQ ／ r$（k は比例定数）…❶ と表され，点電荷がつくる一定の電位差ごとの等電位線は左図(上)のように点電荷に近づくほど間隔が狭くなります。正の点電荷の周りは山，負の点電荷の周りは窪地に喩えられ，電気量の絶対値が等しい正負の点電荷が存在する場合，等電位線は右図(上)のようになります。$\boxed{18}$ の正解は②。

電位が連続的に変化する場合は等電位線は交わらないので①は不適。正電荷と負電荷の中央に電位 0 の場所ができるので④と⑥は不適。また❶より点電荷の位置では電位の絶対値は無限大になるので⑤と⑥は不適。正解は②か③となりますが，③は中央の電位 0 の両側の等電位線との間隔がおかしいので不適です。

問２　（ａ）…電気力線の本数は，等電位面を貫く単位面積あたりの本数が電場の強さと等しくなるように定めるので，電場が強いところほど電気力線の本数は多い，つまり密です。正しい。（ｂ）…問１で見たように，等電位線の間隔は点電荷から離れるほど大きくなります。誤り。（ｃ）…等電位面に沿って点電荷を動かすとき，電位差が生じない（0 である）ため静電気力のする仕事は 0 です。力がする仕事が 0 であるのは，力の方向と動く方向が垂直であるためです。よって正しい。$\boxed{19}$ の正解は⑤。

問３　電場の方向は電気力線上の各点での接線の方向です。問２（ｃ）で見たように，等電

位線と電気力線は直交しますから，等電位線と電場の方向もまた垂直です。よって導体紙の辺の近くではその辺に平行となります。また，電場の中での自由電子の運動が電流であり，電場の向きは正→負，電流の向きも正→負ですから，電流と電場の向きは同じです。よって辺の近くの電流はその辺に平行に流れています。$\boxed{20}$ の正解は①。

導体紙全体に正→負の向きに電流が流れ，各辺の近くでも電流は流れているはずです。このことからも上のことは了解がいきます。

問４　図２に見られるように，直線PQ上 $x = 0$ mm 付近ではほぼ一様な電場が生じています。また図３では $x = 0$ mm 付近では電位 V〔mV〕は位置 x〔mm〕に対してほぼ一定の傾きをなし，-70 mm $\leqq$ x $\leqq$ 70 mm の区間で－ 0.50 mV から 0.50 mV まで変化しています。一様な電場における電場の大きさ E〔V/m〕は電位差 $\triangle V$〔V〕，距離 ℓ〔m〕を用いて $E = \triangle V / \ell$ …❷と表されるので，$x = 0$ mm での電場の大きさは

$$1.00\ \text{mV} / 140\ \text{mm} = 1.00 / 140\ (\text{V/m}) \fallingdotseq 7 \times 10^{-3}\ \text{V/m}$$

とすることができます。$\boxed{21}$ の正解は⑥。

問５　導体の抵抗 R〔Ω〕は抵抗率 ρ〔Ω·m〕，導体の長さ ℓ〔m〕，断面積 S〔m^2〕を用いて $R = \rho \cdot \ell / S$ …❸と表されます。また電位差 $\triangle V$〔V〕と電流 I〔A〕を用いればオームの法則より $R = \triangle V / I$，さらに❷より $R = E\ell / I$ …❹と書けます。❸，❹より R を消去すれば $\rho \cdot \ell / S = E\ell / I$，$\therefore \rho = SE / I$。$\boxed{22}$ の正解は①。

なお，E〔V/m〕，I〔A〕，S〔m^2〕を用いて書かれた量のうち単位がΩ·m となるのは①だけです。