物理チャレンジ 2006 理論問題【解答】　物理チャレンジ組織委員会

第１問

問１　光源である原子が観測者から遠ざかれば，波長は引き伸ばされるから，

$$\underline{l = \frac{c+v}{c} l_0}$$

（別解）

音のドップラー効果の式より，光の振動数 f は，原子の発する振動数を f_0 とすると，

$$f = \frac{c}{c+v} f_0$$

となる。これより，観測される光の波長 l は，$f_0 = \dfrac{c}{l_0}$ を用いて，

$$l = \frac{c}{f} = \underline{\frac{c+v}{c} l_0}$$

問２　(1)式の両辺を r_0 で割り，

$$\frac{1}{r_0} v(t) = \frac{1}{r_0}\frac{dr}{dt} = \frac{da}{dt}, \qquad \frac{r}{r_0} = a$$

を用いると，

$$\underline{H(t) = \frac{1}{a}\frac{da}{dt}} \qquad \cdots①$$

問３　質点 P には，半径 r の球内の質量 $r\dfrac{4}{3}pr^3$ が万有引力を及ぼすから，P の質量を m とすると，運動方程式は，

$$m\frac{d^2r}{dt^2} = -G\frac{r\frac{4}{3}pr^3 m}{r^2} = -\frac{4pGm}{3} r\, r$$

両辺を r で割り(2)式を用いると，

$$\frac{1}{a}\frac{d^2a}{dt^2} = \underline{-\frac{4pG}{3} r}$$

問４　質点 P は，運動エネルギー $\dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{dr}{dt}\right)^2$ と万有引力による位置エネルギー $-\dfrac{G\cdot r\frac{4p}{3}r^3 m}{r} = -\dfrac{4pG}{3} r\, r^2 m$ をもつから，力学的エネルギー保存則は，

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 - \frac{4pG}{3} r\, r^2 m = 0 \quad \therefore \quad \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \frac{8pG}{3} r\, r^2$$

さらに両辺を r^2 で割り(2)式を用いると，

$$\left(\frac{1}{a}\frac{da}{dt}\right)^2=\underline{\frac{8pG}{3}r} \qquad \cdots②$$

問５　半径 r の球内の質量が保存されることから，

$$r\cdot\frac{4}{3}pr^3=r_0\cdot\frac{4}{3}pr_0^3 \qquad \therefore \quad r=\frac{r_0^3}{r^3}r_0=\underline{\frac{r_0}{a^3}} \qquad \cdots③$$

問６　②，③式より，

$$\left(\frac{da}{dt}\right)^2=\frac{8pG}{3}\cdot\frac{r_0}{a}$$

ここで，題意にしたがって $a=\left(\frac{t}{t_0}\right)^n$ とおくと，

$$\frac{da}{dt}=\frac{k}{\sqrt{a}}=k\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-\frac{n}{2}} \qquad \cdots④$$

ここで，$k=\sqrt{\frac{8pG}{3}r_0}$ である。問題文の(3)式の両辺を時刻 t で微分して，

$$\frac{da}{dt}=\frac{n}{t_0{}^n}t^{n-1} \qquad \cdots⑤$$

④，⑤式の右辺の t の指数を比較して，

$$n=\underline{\frac{2}{3}}$$

を得る。このとき，⑤式は，

$$\frac{da}{dt}=\frac{2}{3t_0}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-\frac{1}{3}}=\frac{2}{3t_0}\frac{1}{\sqrt{a}}$$

となるから，

$$\frac{2}{3t_0}=k=\sqrt{\frac{8pG}{3}r_0} \qquad \therefore \quad t_0=\underline{\frac{1}{\sqrt{6p\,Gr_0}}} \qquad \cdots⑦$$

問７　$\frac{da}{dt}=\frac{2}{3t_0}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{-\frac{1}{3}}$ **であるから，** $\left(\frac{da}{dt}\right)_{t=t_0}=\frac{2}{3t_0}$ **となる。したがって，①式より，**

$a(t_0)=1$ **を用いて，**

$$H_0=H(t_0)=\left(\frac{1}{a}\frac{da}{dt}\right)_{t=t_0}=\frac{2}{3t_0}$$

$$\therefore \quad \underline{t_0 = \frac{2}{3H_0}}$$

ここで， $H_0 = \dfrac{7.2\times10^4}{3.09\times10^{16}\times10^6}$　　2.33×10^{-18} 1/s **，　1 年 ＝** $365\times24\times60\times60$

3.15×10^7 s **となることを用いて，**

$$t_0 = \frac{2}{3H_0} = \frac{2}{3\times2.33\times10^{-18}} = 2.86\times10^{17}\ \text{s}$$

$$= 9.08\times10^9\ \text{年} \quad \underline{91\,\textbf{億年}}$$

次に，⑦式より，

$$r_0 = \frac{1}{6p\ Gt_0^2}$$

$$= \frac{1}{6p\times6.67\times10^{-11}\times(2.86\times10^{17})^2} = \underline{9.7\times10^{-27}\ \text{kg/m}^3}$$

第２問

問１　導体板が速さ v で動いているＳ系で見ると，導体板に対して静止しているS′系で見た場合に比べて，導体板表面の z 軸方向の長さは $\sqrt{1-b^2}$ 倍に縮むが，帯電している全電気量は変化しない。よって，Ｓ系で導体板表面の電荷密度 s は，S′系での電荷密度 s_0 の $\dfrac{1}{\sqrt{1-b^2}}$ 倍に増加し，$s=\dfrac{s_0}{\sqrt{1-b^2}}$ となる。

Ｓ系で，１つの底面が点Ｐを通り x 軸に垂直であり，他の底面が導体内にあるような，図２に細い実線で示された直方体面を考え，ガウスの法則を適用する。底面の面積を単位面積にとると，E_x は，

$$E_x=\frac{s}{e_0}=\underline{\frac{1}{\sqrt{1-b^2}}\frac{s_0}{e_0}}$$

導体板と共に動いているS′系で点 $\mathrm{P}(x',0,z')$ にできる x' 軸方向の電場 E'_x は，導体板表面の電荷密度は s_0 であるから，ガウスの法則より，

$$E'_x=\frac{s_0}{e_0}$$

よって，

$$\frac{E_x}{E'_x}=\underline{\frac{1}{\sqrt{1-b^2}}} \qquad \cdots①$$

問２　Ｓ系で z 軸に垂直で点Ｐを通り単位面積の底面をもつ直方体面をとって，ガウスの法則を適用する。この場合，導体板表面の面積は変化しないから，表面の電荷密度 s_0 も変わらない。よって，点Ｐの電場 E_z は，

$$E_z=\underline{\frac{s_0}{e_0}}$$

一方，S′系で同様な直方体にガウスの法則を適用すると，導体表面の電荷密度は s_0 であるから，

$$E'_z=\frac{s_0}{e_0}$$

よって，

$$\frac{E_z}{E'_z}=\underline{1} \qquad \cdots②$$

問２と問３の結果は，Ｓ系とS′系での電場の関係を与えている。

問３　S′系では原点O′を中心に球対称に電場ができるから，Ｓ系の時刻 t において，S′系の任意の点 $\mathrm{P}(x',0,z')$ にできる電場の x' 成分を E'_x，z' 成分を E'_z とすると，

$$\frac{E'_z}{E'_x}=\frac{z'}{x'} \qquad \cdots③$$

時刻 t において，Ｓ系で点 $\mathrm{P}(x,0,z)$ にできる電場の x 成分を E_x，z 成分を E_z とする。(1)，(2)式より，

$$\frac{z-vt}{x}=\sqrt{1-b^2}\,\frac{z'}{x'} \qquad \cdots④$$

①〜④式より，

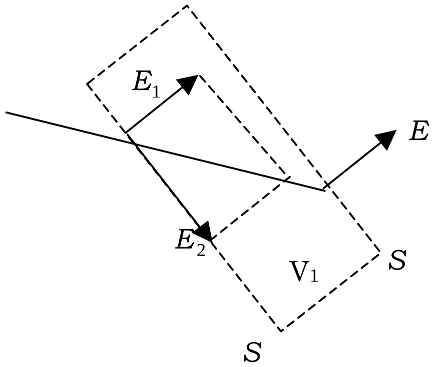
$$\frac{E_z}{E_x}=\sqrt{1-b^2}\,\frac{E'_z}{E'_x}=\sqrt{1-b^2}\,\frac{z'}{x'}=\underline{\frac{z-vt}{x}} \qquad \cdots⑤$$

⑤式は，S 系において，任意の点 P にできる電場が点電荷 q から遠ざかる向きであることを示し，q のまわりに放射状の電場ができることがわかる。

問４　点線で囲まれた帯状領域 V_1 の側面積を S とすると（図ａ），V_1 に入る電気力線の数は E_1S，V_1 から出る電気力線の数は ES で，V_1 内に電荷は存在しないので，ガウスの法則より，

$$E_1S=ES$$

$$\therefore\quad E_1=E=\underline{\frac{q}{4pe_0r^2}}$$



図ａ

問５　問題文の図８より，$t=\dfrac{r}{c}$ を用いて，

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{atDt\sin q}{cDt}=\frac{ar\sin q}{c^2}$$

$$\therefore\quad E_2=\frac{ar\sin q}{c^2}\cdot\frac{q}{4pe_0r^2}=\underline{\frac{qa\sin q}{4pe_0c^2r}}$$

問６　平行板コンデンサーの電気容量 $C=\dfrac{e_0S}{d}$ と極板間電圧 $V=Ed$ を用いて，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U は，

$$U=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}\frac{e_0S}{d}(Ed)^2=\underline{\frac{1}{2}e_0E^2Sd}$$

極板間の体積は Sd であるから，エネルギー密度 u は，

$$u=\frac{U}{Sd}=\underline{\frac{1}{2}e_0E^2}$$

問７　荷電粒子が加速度運動することにより余分につくられた電場 DE は，点 P′ から P へ向かう電場の O→P に垂直な成分 E_2 である。そこで，この電場によるエネルギーを球殻の領域に関して加え合わせればよい。

求める球殻内の余分の電場 E_2 によるエネルギー DE は，

$$DE=\frac{1}{2}e_0\overline{E_2^2}\cdot 4p\ r^2Dr$$

$$=\frac{q^2a^2\overline{\sin^2 q}}{8pe_0c^4}Dr=\underline{\frac{q^2a^2}{12pe_0c^3}Dt}$$

となる。ここで，$\overline{\sin^2 q} = \dfrac{2}{3}$ および $Dr = cDt$ を用いた。

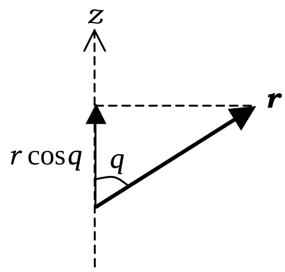
よって，大きさ a で加速度運動する電荷 q をもつ荷電粒子から単位時間あたりに放射される電磁波のエネルギー P は，同量の磁場のエネルギーを加えて，

$$P = \frac{2DE}{Dt} = \frac{q^2 a^2}{6pe_0 c^3}$$

となる。

（参考１）$\overline{\sin^2 q} = \dfrac{2}{3}$ の導出Ⅰ：積分を使わない方法

図ｂのように，ベクトル $\boldsymbol{r}$（$|\boldsymbol{r}| = r$）と z 軸のなす角を q とすると，$\boldsymbol{r}$ の z 成分は $r\cos q$ と表される。ここで，$\boldsymbol{r}$ を固定して z 軸の方向をいろいろ変えて，z^2 を q のあらゆる方向について平均をとれば，x^2 および y^2 の平均と同じはずである。すなわち，



図ｂ

$\overline{x^2} = \overline{y^2} = \overline{z^2}$ となる。

またつねに，$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ が成り立つから，$r^2 = \overline{r^2} = \overline{x^2} + \overline{y^2} + \overline{z^2}$ より，

$$\overline{z^2} = \frac{1}{3}\overline{r^2} \qquad \cdots⑥$$

一方，

$$\overline{z^2} = \overline{r^2 \cos^2 q} = r^2 \overline{\cos^2 q} \qquad \cdots⑦$$

⑥，⑦式より，

$$\overline{\cos^2 q} = \frac{1}{3}$$

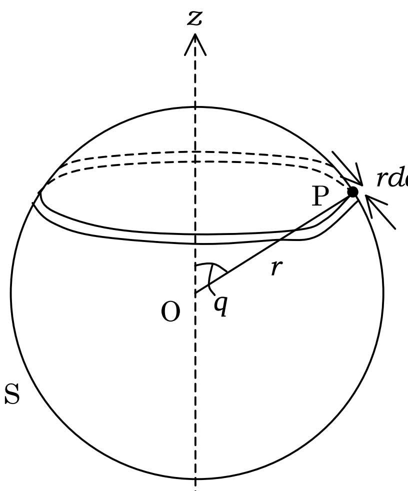
となる。ここで，$\sin^2 q = 1 - \cos^2 q$ より，

$$\overline{\sin^2 q} = 1 - \overline{\cos^2 q} = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

を得る。

（参考２）$\overline{\sin^2 q} = \dfrac{2}{3}$ の導出Ⅱ：積分を使う方法

図ｃのように，原点 O を中心とした半径 r の球面 S 上の任意の点を P とし，線分 OP と z 軸のなす角を q（$0 \leqq q \leqq p$）と



図ｃ

する。$\overline{\sin^2\theta}$ は，$\sin^2\theta$ を球面 S 上で平均したものである。したがって，点 P の近傍の微小面積を dS として，

$$\overline{\sin^2\theta}=\frac{1}{4\pi r^2}\int_{\mathrm{S}}\sin^2\theta\, dS$$

と書ける。

球面 S 上，z 軸に垂直で点 P を含む幅 $rd\theta$ の円輪の面積は，

$$2\pi r\sin\theta\cdot rd\theta=2\pi r^2\sin\theta\, d\theta$$

であるから，

$$\overline{\sin^2\theta}=\frac{1}{4\pi r^2}\int_0^{\pi}\sin^2\theta\cdot 2\pi r^2\sin\theta\, d\theta$$

$$=\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin^3\theta\, d\theta$$

$$=\int_0^{\frac{\pi}{2}}(1-\cos^2\theta)\sin\theta\, d\theta$$

ここで，$t=\cos\theta$ とおいて，$-dt=\sin\theta\, d\theta$ より，

$$\overline{\sin^2\theta}=\int_0^1(1-t^2)dt=\frac{2}{3}$$

となる。

問８　電子の円運動の運動方程式は，

$$m_e\frac{v^2}{r}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}\qquad\cdots⑧$$

電子の力学的エネルギー E は，

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

これらより，v^2 を消去して，

$$\underline{E=-\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}}\qquad\cdots⑨$$

問９　円軌道の半径 r を時刻 t の関数として，⑨式の両辺を t で微分すると，

$$\frac{dE}{dt}=\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

一方，円運動しているときの電子の加速度の大きさ a は，⑧式より，

$$a=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_e r^2}$$

となるから，単位時間あたりの電磁波の放射エネルギー P は，

$$P=\frac{e^2}{6pe_0c^3}\left(\frac{e^2}{4pe_0m_er^2}\right)^2=\frac{2}{3}\left(\frac{e^2}{4pe_0c}\right)^3\frac{1}{m_e^2r^4}$$

$P=-\dfrac{dE}{dt}$ より，

$$\frac{dr}{dt}=\underline{-\frac{A}{r^2}}\,,\quad \underline{A=\frac{4}{3c^3}\left(\frac{e^2}{4pe_0m_e}\right)^2}$$

問 10　与えられた積分公式に初期条件「$t=0$ のとき $r=r_{\mathrm{B}}$」を用いると，

$$t=\frac{r_{\mathrm{B}}^3-r(t)^3}{3A}$$

を得る。与えられた数値を代入して，$A=3.15\times10^{-21}\,\mathrm{m^3/s}$ となるから，$r=0$ となるまでの時間 T は，

$$T=\underline{1.6\times10^{-11}\ \mathrm{s}}$$

問 11　位置が $x(t)=x_0\sin wt$ で表される電子の加速度 a は，

$$a=-w^2x_0\sin wt=-w^2x$$

と表される。したがって，空気分子内の電子から単位時間あたりに放射される平均の電磁波のエネルギー $\overline{P_{\mathrm{b}}}$ は，角振動数 w の電磁波の振動数を n，波長を l として，$w=2pn=\dfrac{2pc}{l}$ と書けることを用いて，

$$\overline{P_{\mathrm{b}}}=\frac{q^2w^4}{6pe_0c^3}\overline{x^2}=\frac{q^2x_0^2w^4}{6pe_0c^3}\overline{\sin^2wt}=\frac{q^2x_0^2w^4}{12pe_0c^3}\propto\frac{1}{l^4}$$

となる。すなわち，空気分子によって散乱される波長 l の光の強度が $\propto\dfrac{1}{l^4}$ となる（これをレーリー散乱という）から，散乱光の中には波長の短い青色の光の割合が多く，波長の長い赤色の光の割合は少ないことがわかる。実際，赤色の波長が青色の波長の約 1.5 倍とすると，その強さには，1.5^4　5 倍の違いがある。

空を見たとき目に入る光は，太陽光が空気分子によって散乱されたものであるから，空は青く見える。

（参考）分子内電子の振動が

$\boldsymbol{x(t)=x_0}\,\mathbf{sin}\,w\boldsymbol{t}$　（$\boldsymbol{x_0}$ は，$\boldsymbol{t}$ および w によらない定数）と表される理由

空気分子内の電子は，原子核から変位 x に比例する復元力 $-kx\,(k>0)$ と振動電場 $E(t)=-E_0\sin wt$ を受けるとする。電子の運動方程式は，加速度を a，$k=m_ew_0^2$ と

おくと，

$$m_e a = -kx + (-e)E(t)$$

$$= -m_e w_0^2 x + eE_0 \sin wt$$

ここで，$x(t) = x_0 \sin wt$ とおくと，加速度は $a = -w^2 x_0 \sin wt$ であるから，

$$x_0 = \frac{eE_0}{m_e} \cdot \frac{1}{w_0^2 - w^2}$$

いま，可視光の角振動数 w に対し，$w_0 >> w$ となることから，分母の w^2 を無視して，

$$x_0 = \frac{eE_0}{m_e w_0^2}$$

となる。

（応募理論問題第２問およびその解答参照）

第３問

A

問１　$[F]=[\mathrm{MLT^{-2}}]$，$[W]=[\mathrm{L}]$，$[r]=[\mathrm{ML^{-3}}]$，$[v]=[\mathrm{LT^{-1}}]$，$[L]=[\mathrm{L}]$ より，

$$\frac{[\mathrm{MLT^{-2}}]}{[\mathrm{L}]}=[\mathrm{ML^{-3}}]^a[\mathrm{LT^{-1}}]^b[\mathrm{L}]^c$$

$$[\mathrm{MT^{-2}}]=[\mathrm{M}^a\mathrm{L}^{-3a+b+c}\mathrm{T}^{-b}]$$

これより，

$$1=a,\quad 0=-3a+b+c,\quad -2=-b$$
$$\therefore\quad a=\underline{1},\quad b=\underline{2},\quad c=\underline{1}$$

問２　問１の結果より，

$$\frac{F}{W}=kr^1v^2L^1$$

であるから，上空10,000 m と地上で離陸するときの揚力が等しいとすると，

$$r\propto v^{-2}$$

$$\therefore\quad \frac{r_1}{r_0}=\frac{900^{-2}}{250^{-2}}=\left(\frac{250}{900}\right)^2\quad \underline{0.077}$$

本問の出題者は，有効数字を考えていません。このような場合，有効数字２桁あるいは３桁で答えておけば十分です。

問３　速度は位置の変化を時間でわったものであり，加速度は速度の変化を時間でわったものであるから，V と A は，それぞれ，

$$V\to V_1=ab^{-1}V,\qquad A\to A_1=ab^{-2}A$$

と変換される。

よって，

$$i=\underline{1},\quad j=\underline{-1},\quad k=\underline{1},\quad l=\underline{-2}$$

問４　$ab^{-2}=1$ にすれば，スケール変換に関して加速度が不変になるので，$a=\dfrac{1}{100}$ より，

$$b=a^{\frac{1}{2}}=\left(\frac{1}{100}\right)^{\frac{1}{2}}=\frac{1}{10}$$

つまり，ビデオの再生速度をもとの $\underline{\dfrac{1}{10}}$ 倍にすればよい。

B

問１1)　明るくなる。

理由：発電機が回っていないので，直流電源の電圧がすべて豆電球にかかるから。

あるいは，

発電機のハンドルを止めると発電機に生じる逆起電力が０になるので，流れる電流が増加し，電池のする仕事は増加する。さらにハンドルを止めることにより，ハンドルを回すのに必要な仕事が不要になるから，豆電球の消費電力はさらに増加する。

2)　暗くなる。

理由：この方向に発電機のハンドルを回すと直流電源と逆向きの起電力(電源の起電力の大きさを超えない)を発生させるので，豆電球にかかる電圧がはじめの状態より小さくなり，豆電球の明るさは暗くなる。

3)　1)の状態よりも更に明るくなる。

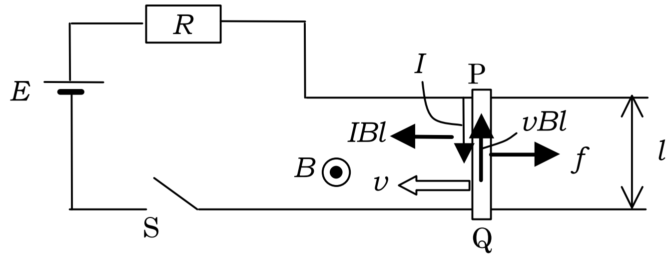
理由：この方向に発電機のハンドルを回すと直流電源と同じ向きの起電力を発生させるので，豆電球にかかる電圧は1)の状態より大きくなり，豆電球の明るさは1)の状態よりもさらに明るくなる。

問２　回転数が増加して豆電球は暗くなる。

理由：豆電球の消費電力が大きくなると，その電気抵抗は小さくなる。十分に時間がたつと発電機のハンドルにはたらく力はつり合うから，回路に流れる電流ははじめの状態の電流に等しい。したがって，豆電球にかかる電圧ははじめの状態より減少し，電球は暗くなる。このとき，直流電源の起電力と逆向きに生じる発電機の起電力は増加するから，ハンドルの回転数は増加する。

（参考）

この問題をモデル化して考えてみればわかりやすい。手回し発電機を，間隔lで水平に置かれた導体レール上を金属棒 PQ が大きさfの一定の動摩擦力を受けて運動する装置に置き換える。また，豆電球は一定の抵抗値Rをもつ電気抵抗に置き換える。豆電球は，その抵抗値が流れる電流によって変化する「非線形抵抗」であるが，電球にかかる電圧の増加（減少）と電球に流れる電流の増加（減少）は，共に電球での消費電力増加（減少）を引き起こすので，定性的な議論では，一定の抵抗値をもつ電気抵抗に置き換えて考えても差し支えない。



図ａ

図ａのように，起電力Eの直流電源，抵抗値Rの抵抗体が，水平面上に置かれた間隔lの平行な導体レールに直列にスイッチ S を介してつながれ, レール上にレールと垂直を保って動く金属棒 PQ が置かれている。抵抗体以外の電気抵抗は無視でき，金属棒 PQ が導体レール上を滑るとき，PQ には一定の大きさfの動摩擦力がレールからはたらくとする。平行な導体レール間には，磁束密度が一定の大きさBの磁場が鉛直上向きにかけられている。金属棒の速度vは水平左向きを正とし，金属棒に流れる電流は，P→Q の向きを正とする。

スイッチ S を閉じて十分に時間がたつと，金属棒は一定の速度vでレール上を図ａの左向きに滑り，金属棒の P→Q の向きに一定電流Iが流れる。このとき，金属棒にはたらく力のつり合いの式と回路のキルヒホッフの第２法則の式（回路方程式）は，それぞれ,

$$IBl = f$$

$$E - vBl = RI \qquad \cdots①$$

となる。これらより，電流Iを消去すると，$E - vBl = R\dfrac{f}{Bl}$ …②

となる。

はじめの状態では，外力を加えることなく，②式が成り立っている。

問１ 1) ①式の両辺に電流Iをかけると,

$$EI = IBl \cdot v + RI^2 = f \cdot v + RI^2 \qquad \cdots③$$

となる。③式の左辺は電池のする仕事を表し，右辺第１項は摩擦力に抗してする仕事，第２項は，抵抗での消費電力を表す。いま，ハンドルの回転を止めることは, 金属棒を押さえて動かなくすることに対応し, $v = 0$ となる。このとき, 回路に流れる電流$I_1 = \dfrac{E}{R}$は，金属棒が滑っている「はじめの状態」のときの電流$I = \dfrac{E - vBl}{R}$（Θ①式）より大きくなる。よって，電球ははじめの状態より<u>明るくなる</u>。

2) はじめの状態と同じ向きのハンドルの回転数を増すことは，速度vを増加させることに対応し，①式より，電球にかかる電圧は減少し，流れる電流も減少して電球ははじめの状態より<u>暗くなる</u>。

3) ハンドルの回転の向きをはじめの状態と逆向きにすることは，vを負にすることに対応し，①式より，電球にかかる電圧は 1)の状態より増加し，流れる電流も増加して電球は<u>1)の状態より更に明るくなる</u>。

問２　十分に時間がたてば，金属棒にはたらく力はつり合うから，流れる電流ははじめの状態と同じ$I = \dfrac{f}{Bl}$である。このとき，電球の抵抗値Rが小さくなれば，電球にかかる電圧も小さくなり，豆電球の明るさは，はじめの状態より<u>暗くなる</u>。また，電球の抵抗値Rが小さくなると，②式より，金属棒の速さvは速くなる。よって，ハンドルの回転数ははじめの状態より<u>増加する</u>。

C

水中の空気の泡は，その体積に等しい水にはたらく重力と同じ大きさの浮力を受けて上昇し始めるが，速度を増すにしたがって，水の抵抗力を受けて，やがて一定速度で上昇するようになる。これに対して，炭酸飲料の栓を抜いたときに生じる泡は，炭酸（二酸化炭素）が過飽和の状態にある液体の圧力が，栓を抜くことで減少し，二酸化炭素が液体に溶解できなくなった分だけ液中から出てくることで発生する。発生後，泡は浮力を受けて上昇を始める。上昇速度が増すにしたがって泡は液体からの抵抗を受けるが，泡は移動しながら次々に液体から二酸化炭素を供給されその体積は増加し続ける。そのため，泡にはたらく浮力が液体からの抵抗力に打ち勝ち続け，泡の上昇速度は増加し続ける。