1

問(1) (a)　考え方や計算の過程：

小球と点Oの距離は $R+h$ である。

結果：$F_1 = G\dfrac{Mm}{(R+h)^2}$

(b)　考え方や計算の過程：

円運動の運動方程式 $m\dfrac{v^2}{R+h} = G\dfrac{Mm}{(R+h)^2}$

これを v について解く。

結果：$V = \sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$

(c)　考え方や計算の過程：

$T_1 = \dfrac{2\pi(R+h)}{v}$ に問(1)(b)の結果を代入する。

結果：$T_1 = 2\pi(R+h)\sqrt{\dfrac{R+h}{GM}}$

問(2) (a)

解答：地球の密度を ρ とすると，$M = \dfrac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho$，$M' = \dfrac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho$

2式より，$M' = \dfrac{r^3}{R^3}M$

(b)　考え方や計算の過程：

$F_2 = G\dfrac{M'm}{r^2}$ に $M' = \dfrac{r^3}{R^3}M$ を代入する。

結果：$F_2 = \dfrac{GMm}{R^3}r$

(c)　考え方や計算の過程：

単振動の復元力の比例定数を K とすると，$K = \dfrac{GMm}{R^3}$

単振動の周期 $T_2 = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{K}}$ に代入する。

結果：$T_2 = 2\pi R\sqrt{\dfrac{R}{GM}}$

1

問(3) (a) 考え方や計算の過程：

$$W_1 = -G\frac{Mm}{R+h} - \left(-G\frac{Mm}{R}\right)$$

結果：$W_1 = \dfrac{GMmh}{R(R+h)}$

(b) 考え方や計算の過程：

$$W_2 = \frac{1}{2}KR^2$$

$K = \dfrac{GMm}{R^3}$ を代入する。

結果：$W_2 = \dfrac{GMm}{2R}$

(c) 考え方や計算の過程：

仕事と運動エネルギーの関係より，$W_1 + W_2 = \dfrac{1}{2}mv^2$
問(3)(a)および問(3)(b)の結果を代入して v について解く。

結果：$v = \sqrt{\dfrac{GM(R+3h)}{R(R+h)}}$

(d) 考え方や計算の過程：

点Aにおける万有引力による位置エネルギーは，$-G\dfrac{Mm}{R}$
点Aから，地球の中心Oからの距離が r の位置まで，万有引力がした仕事を W_3 とすると
$W_3 = \dfrac{1}{2}KR^2 - \dfrac{1}{2}Kr^2$ である。$U = -G\dfrac{Mm}{R} - W_3$ に，
$K = \dfrac{GMm}{R^3}$ とともに代入する。

結果：$U = \dfrac{GMm}{2R}\left(-3 + \dfrac{r^2}{R^2}\right)$

問(4)

記号：小球1 (お)　小球2 (か)

理由：小球1は時刻 t_0 まで半径 R の等速円運動をする。小球2は O を中心に単振動をし，時刻 0 と t_0 では速さが 0 ゆえグラフの傾きは 0，時刻 $\frac{1}{2}t_0$ では速さが最大でグラフの傾きの大きさが最大となる。時刻 t_0 に同質量の小球1と2が弾性衝突をすると速度を交換するので，時刻 0 から t_0 までの運動を入れ替えた運動を時刻 t_0 から $2t_0$ に行う。

2

問(1) (a)

(i) 考え方や計算の過程： 導体棒に生じる起電力は大きさ lv_0B で向きは右ネジの法則より正の向き．

結果：$E = lv_0B$

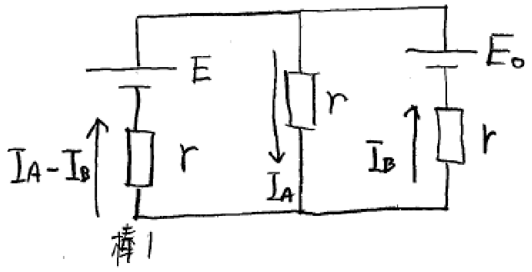
(ii) 考え方や計算の過程： キルヒホッフの法則より $lv_0B = rI_1 + rI_1$

結果：$I_1 = \dfrac{lv_0B}{2r}$

(iii) 考え方や計算の過程： 導体棒にはたらく力のつり合い $F - lI_1B = 0$ より $F = lI_1B$．I_1を代入して

結果：$F = \dfrac{(lB)^2v_0}{2r}$

(b) 考え方や計算の過程： 回路は次のようになる。



キルヒホッフの法則より

$E = rI_A + r(I_A - I_B)$ …①

$E_0 = rI_B + rI_A$ …②

①, ②より I_A, I_B を求める。

結果：$I_A = \dfrac{E_0 + E}{3r}$，$I_B = \dfrac{2E_0 - E}{3r}$

問(2) (a) 考え方や計算の過程： コンデンサーにかかる電圧が lv_0B になるから，$Q = CV$ より

結果：$Q = Clv_0B$

2

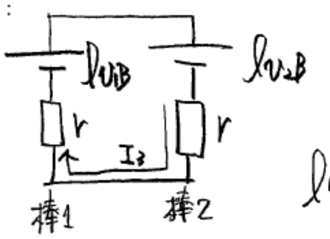
(b) 考え方や計算の過程：(導体棒の起電力がした仕事)＝(ジュール熱の和)＋(静電エネルギー)

より　$Q \cdot l v_0 B = (r$とRのジュール熱の和$) + \frac{1}{2}C(l v_0 B)^2$

また　rとRにはいつでも等しい電流が流れていたからジュール熱の比は抵抗値の比に等しい。

結果：$J = \dfrac{RC(lv_0B)^2}{2(R+r)}$

問(3) (a) 考え方や計算の過程：



回路は左のようになるから

キルヒホッフの法則より

$lv_1B - lv_2B = rI_3 + rI_3$

結果：$I_3 = \dfrac{lB(v_1 - v_2)}{2r}$

(b) 考え方や計算の過程：(運動量の変化)＝(受けた力積)より

導体棒1：$m(v_1 + \Delta v_1) - mv_1 = -lI_3B \cdot \Delta t$

導体棒2：$2m(v_2 + \Delta v_2) - 2mv_2 = lI_3B\Delta t$

結果：$\Delta v_1 = -\dfrac{lI_3B}{m}\Delta t$，$\Delta v_2 = \dfrac{lI_3B}{2m}\Delta t$

(c) 考え方や計算の過程：十分な時間後電流が0になるので起電力の和が0

すなわち　$lV_1B - lV_2B = 0$　よって　$V_1 = V_2$ …①

運動量保存則より　$mv_0 = mV_1 + 2mV_2$ …②

①，②より

結果：$V_1 = \dfrac{1}{3}v_0$，$V_2 = \dfrac{1}{3}v_0$

3

問(1) (a) 考え方や計算の過程：

状態方程式 $P_1SL_1=nRT_0$ ——①

結果：$L_1=\dfrac{nRT_0}{P_1S}$

(b) 考え方や計算の過程：

力のつりあい $0=Sd\rho g-mg$

結果：$d=\dfrac{m}{S\rho}$

(c) 考え方や計算の過程：

力のつりあい $0=P_1S-P_0S-mg$

結果：$P_1=P_0+\dfrac{mg}{S}$

問(2) (a) 考え方や計算の過程：

状態方程式 $P_1SL_2=nRT_2$ ——②

上式へ①のP_1を代入する。

結果：$T_2=\dfrac{L_2}{L_1}T_0$

(b) 考え方や計算の過程：

定圧変化なので，仕事の定義 $W=P_1\cdot S(L_2-L_1)$

結果：$W=P_1S(L_2-L_1)$

(c) 考え方や計算の過程：

定圧モル比熱を用いて $Q=\frac{5}{2}nR(T_2-T_0)$

上式へ①のT_0と②のT_2を代入する。

結果：$Q=\dfrac{5}{2}P_1S(L_2-L_1)$

$\boxed{3}$

問(3) (a) 考え方や計算の過程：

状態方程式 $P_0 S L_3 = nRT_0$ ——③
上式へ①のT_0を代入する。

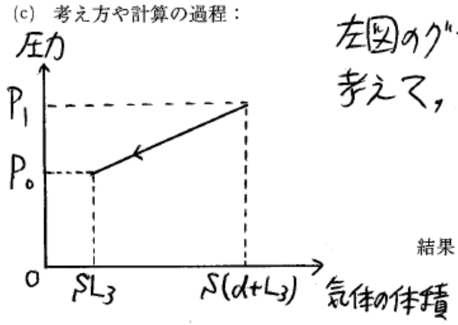
結果：$L_3 = \frac{P_1}{P_0}L_1$

(b) 考え方や計算の過程：

液面からの深さ $L-L_3$ における液体の圧力と等しい。

結果：$P_L = P_0 + \rho g(L-L_3)$

(c) 考え方や計算の過程：



左図のグラフと横軸で囲まれる部分の面積を考えて，

$$W' = (P_0+P_1)\times Sd \times \frac{1}{2}$$

結果：$W' = \frac{1}{2}(P_0+P_1)Sd$

(d) 考え方や計算の過程：

熱力学第1法則 $-Q' = \frac{3}{2}nR(T_0 - T_2) + (-W')$
上式へ①②を代入して，問(2)(b)の結果も用いる。

結果：$Q' = \frac{3}{2}W + W'$

問(4)

記号：(あ)

理由：状態3から状態4は温度がT_0から始まる断熱圧縮なので，状態1と同じ圧力となる状態4では温度がT_0よりも高い。よって，状態方程式を考慮すると，状態1より状態4の方が体積は大きいから。