2022 M

理　科

理科は **物　理** **化　学** **生　物** のうち２科目を選択受験のこと。

物　理 …… １頁　**化　学** ……18 頁　**生　物** ……28 頁

問題 Ⅰ はマークシート方式，Ⅱ は記述式である。

Ⅰ の解答はマークシートに，Ⅱ の解答は解答用紙に記入すること。

〔注　意　事　項〕

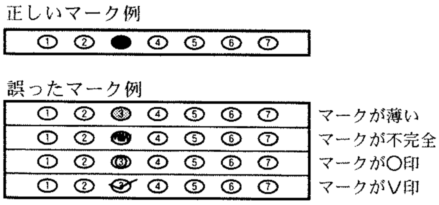
1. 監督者の指示があるまでは，この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは，コンピュータで処理するので，折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに，**氏名・受験番号を記入し，科目選択・受験番号をマークする。**マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例(13015の場合)

受	験	番	号	
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
	⓪	●	⓪	⓪
●	①	①	●	①
②	②	②	②	②
③	●	③	③	③
④	④	④	④	④
⑤	⑤	⑤	⑤	●
⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

4. マークシートにマークするときは，HB または B の黒鉛筆を用いること。**誤ってマークした場合には，消しゴムで丁寧(ていねい)に消し，消しくずを完全に取り除いたうえで，新たにマークし直す**こと。
5. 下記の例に従い，**正しくマークする**こと。

　（例えば３と答えたいとき）



6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが，科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答は所定の位置に記入すること。

物　　理

I　以下の問題(**第1問**～**第3問**)の答えをマークシートに記せ。

第1問　次の問い(**問1**～**問6**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{8}$〕

問1　図1のように，水平面と角 θ をなす斜面に対して垂直に立てた板ABと板CDを，板EFでつないだH型の台がある。台は斜面で倒れることなく静止している。台の全質量は m で，板AB，CD，EFの長さは等しく $2a$ である。板の厚みは無視できるものとし，台の変形は考えない。台の重心Gの位置はEFの中点である。台は板の下端BとDで，斜面から垂直抗力と摩擦力を受ける。Bでの垂直抗力の大きさを N_B，Dでの垂直抗力の大きさを N_D とする。このとき，N_B はいくらか。正しいものを下の①～⑨のうちから一つ選べ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

$N_B = \boxed{1}$

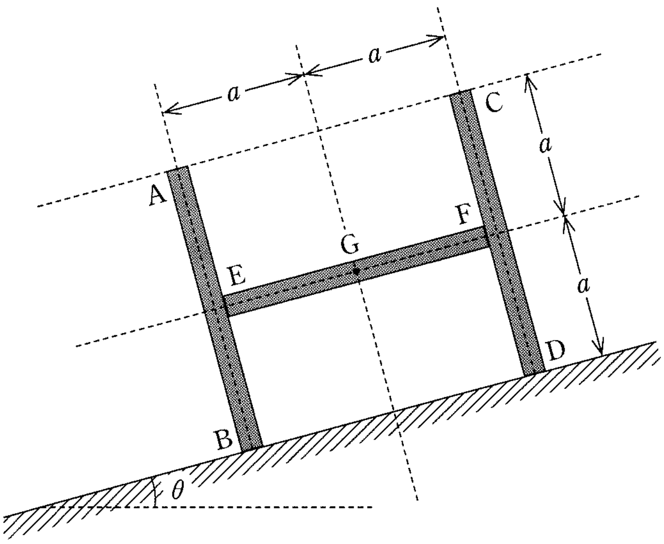


図1

① $\dfrac{mg}{2}\cos\theta$　② $\dfrac{mg}{2}(\cos\theta - 2\sin\theta)$　③ $\dfrac{mg}{2}(\cos\theta - \sin\theta)$

④ $\dfrac{mg}{2}(\cos\theta + \sin\theta)$　⑤ $\dfrac{mg}{2}(\cos\theta + 2\sin\theta)$　⑥ $\dfrac{mg}{2}(1 - 2\tan\theta)$

⑦ $\dfrac{mg}{2}(1 - \tan\theta)$　⑧ $\dfrac{mg}{2}(1 + \tan\theta)$　⑨ $\dfrac{mg}{2}(1 + 2\tan\theta)$

問 2 図2のように，なめらかな水平面上にとったx，y軸において，x軸に対して$60°$の方向から速さvで進んできた質量mの物体Aが，静止していた質量$4\,m$の物体Bと原点Oで非弾性衝突をした。物体A，Bの大きさは無視できるものとして，下の問い((a)，(b))に答えよ。

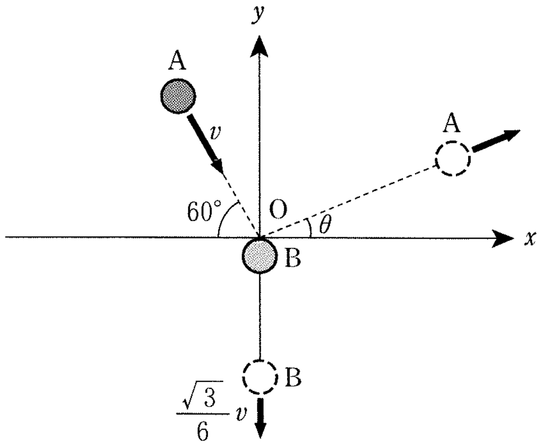


図2

(a) 衝突後，図2のように物体Aはx軸とのなす角θの向きに進み，物体Bは速さ$\frac{\sqrt{3}}{6}v$でy軸の負の向きに進んだ。このとき，$\tan\theta$はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$\tan\theta = \boxed{\ \ 2\ \ }$

① $\frac{1}{6}$　② $\frac{\sqrt{3}}{6}$　③ $\frac{1}{3}$　④ $\frac{\sqrt{3}}{3}$

⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}$　⑥ $\frac{2\sqrt{3}}{3}$　⑦ $\sqrt{3}$　⑧ $2\sqrt{3}$

(b) 衝突前の物体Aと物体Bの力学的エネルギーの和をE，衝突後の物体Aと物体Bの力学的エネルギーの和をE'としたとき，この衝突により失われた力学的エネルギー$(E - E')$はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$E - E' = \boxed{\ \ 3\ \ }$

① $\frac{1}{6}mv^2$　② $\frac{\sqrt{3}}{6}mv^2$　③ $\frac{1}{3}mv^2$　④ $\frac{1}{2}mv^2$

⑤ $\frac{\sqrt{3}}{3}mv^2$　⑥ $\frac{2}{3}mv^2$　⑦ $\frac{\sqrt{3}}{2}mv^2$　⑧ $\frac{2\sqrt{3}}{3}mv^2$

問 3　図3で，⊕と⊖は平面上に固定された絶対値が等しい正負の点電荷で，破線は1V間隔で描かれた等電位線であり，0V，±1Vの電位の値は図中に記されている。別の正電荷をこの平面上で図3の①～⑥の各経路に沿って矢印の向きにゆっくり運ぶとき，始点から終点までの間に外力のする仕事の合計が正で最大の経路はどれか。正しいものを，①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 4 \quad}$

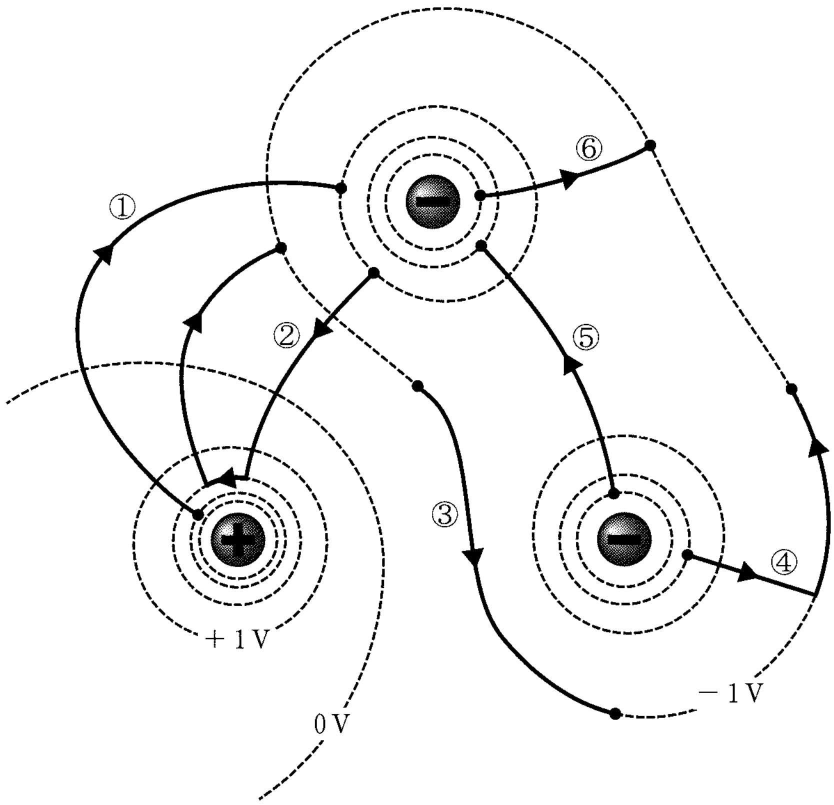


図3

問 4 図4のように，長さ $2L$，断面積 S の円筒容器がある。この容器の内部をなめらかに動くピストンで区切った左側と右側のそれぞれに，絶対温度 T の単原子分子の理想気体を n〔mol〕ずつ封じ込める。ピストンは容器の中央にあり，この位置を原点O，右方向を正の方向として x 軸をとる。ピストンには容器の左側の壁の穴から外にのびる棒がついており，この棒を操作して，壁の穴から気体がもれることなくピストンの位置を変えることができる。気体定数を R として，下の問い((a)，(b))に答えよ。ただし，容器もピストンも棒も熱を通さず，ピストンや棒の体積は無視できるものとする。

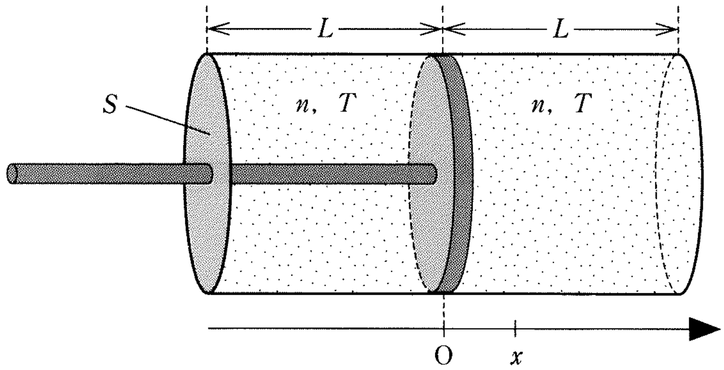


図4

(a) 断熱変化において，単原子分子の理想気体の圧力 p と体積 V との間に，

$$pV^{\frac{5}{3}} = 一定$$

の関係が成り立つ。図4の状態から，手でピストンの棒を押し込んで断熱変化させ，ピストンの位置を x まで移動させた(図5)。図5の状態でピストンを静止させておくために，手がピストンに加える力 F はいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，x 軸の正の方向を力 F の正の方向とする。

$F = \boxed{\quad 5 \quad}$

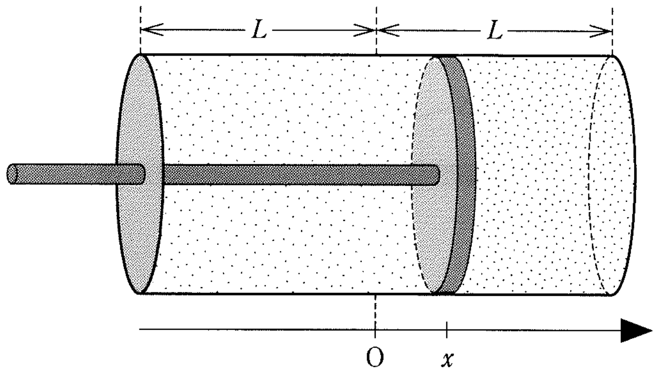


図5

① $\dfrac{nRT}{2L}\left(\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}-\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}\right)$　② $\dfrac{nRT}{L}\left(\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}-\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}\right)$

③ $\dfrac{nRT}{2L}\left(\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{5}{3}}-\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{5}{3}}\right)$　④ $\dfrac{nRT}{L}\left(\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{5}{3}}-\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{\frac{5}{3}}\right)$

⑤ $\dfrac{nRT}{2L}\left(\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{2}{3}}-\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{2}{3}}\right)$　⑥ $\dfrac{nRT}{L}\left(\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{2}{3}}-\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{2}{3}}\right)$

⑦ $\dfrac{nRT}{2L}\left(\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{5}{3}}-\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{5}{3}}\right)$　⑧ $\dfrac{nRT}{L}\left(\left(1-\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{5}{3}}-\left(1+\dfrac{x}{L}\right)^{-\frac{5}{3}}\right)$

(b) 円筒容器の内部をピストンで区切った左側と右側の気体の内部エネルギーの和を U とする。図4から図5への状態変化において，この内部エネルギーの和の変化 ΔU はいくらか。正しいものを，下の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，ここでは $x \ll L$ の場合を考えるものとし，このときに成立する次の近似式

$$\left(1+\frac{x}{L}\right)^a-\left(1-\frac{x}{L}\right)^a \fallingdotseq \frac{2ax}{L}$$

$$\left(1+\frac{x}{L}\right)^a+\left(1-\frac{x}{L}\right)^a \fallingdotseq 2+a(a-1)\left(\frac{x}{L}\right)^2$$

を使ってよい（a は任意の実数）。このとき，前問(a)の結果は，$F \fallingdotseq kx$（k は定数）と表すことができる。

$\Delta U =$ $\boxed{\quad 6 \quad}$

① $\dfrac{2nRTx}{3L}$　② $\dfrac{5nRTx}{3L}$　③ $\dfrac{3nRTx}{2L}$　④ $\dfrac{5nRTx}{2L}$

⑤ $\dfrac{2nRTx^2}{3L^2}$　⑥ $\dfrac{5nRTx^2}{3L^2}$　⑦ $\dfrac{3nRTx^2}{2L^2}$　⑧ $\dfrac{5nRTx^2}{2L^2}$

問 5　体積が V，圧力が p の理想気体に，圧力を p のまま一定に保ちながら熱量 $Q(>0)$ を吸収させたところ，体積が $V+\Delta V$ になった。この過程での気体の体積変化 ΔV は $\dfrac{Q}{p}$ の何倍か。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，この理想気体の定積モル比熱を C_V，気体定数を R とする。$\boxed{\quad 7 \quad}$ 倍

① 1　② $\dfrac{R}{C_V-R}$　③ $\dfrac{R}{C_V+R}$　④ $\dfrac{R}{C_V}$

⑤ $\dfrac{C_V}{R}$　⑥ $\dfrac{C_V}{C_V-R}$　⑦ $\dfrac{C_V}{C_V+R}$　⑧ $\dfrac{C_V-R}{C_V+R}$

問 6　真空中で静止していた電子（質量 m，電気量 $-e(e>0)$）を電位差 V で加速した。加速後の電子の物質波の波長が λ であるとき，電位差 V はいくらか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，プランク定数を h とする。

$V =$ $\boxed{\quad 8 \quad}$

① $\dfrac{\lambda m}{2eh}$　② $\dfrac{\lambda m}{eh}$　③ $\dfrac{h}{2e\lambda m}$　④ $\dfrac{h}{e\lambda m}$

⑤ $\dfrac{\lambda^2 m}{2eh^2}$　⑥ $\dfrac{\lambda^2 m}{eh^2}$　⑦ $\dfrac{h^2}{2e\lambda^2 m}$　⑧ $\dfrac{h^2}{e\lambda^2 m}$

第2問　太陽のまわりの楕円軌道を周回する惑星がある。簡単のため，図1のように，太陽も惑星も質点とみなし，固定点Oにある質量Mの質点(太陽)による万有引力を受けて，質量mの質点(惑星)が運動する場合を考え，太陽以外の天体からの万有引力は無視する。Oと楕円軌道上の惑星との距離をrで表すと，この惑星は，rが最小値r_0となる点Aを速さv_0で通過し，rが最大値r_1となる点Bを速さv_1で通過する。万有引力定数をGとして，下の問い(**問1**～**問4**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{7}$ 〕

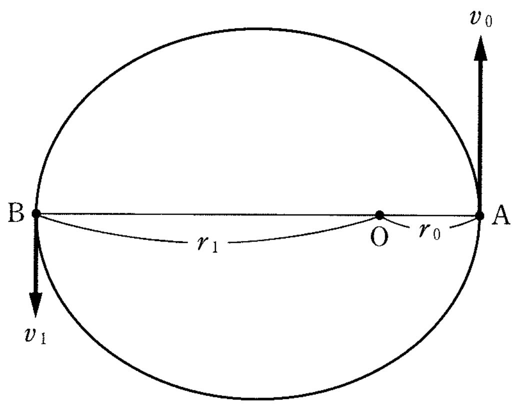


図1

問1　図1の点AおよびBを通過するときの惑星の運動について，次の問い((a)，(b))に答えよ。

(a)　太陽の万有引力が作用して点A通過時の惑星に生じる加速度が，速さv_0で半径$R(\neq r_0)$の円運動の向心加速度に等しいとおくと，Rが求められる。このRは，点A通過の瞬間を近似的に円運動とみなしたときの，円の半径を表す。この半径Rとして正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$R = \boxed{1}$

① $\dfrac{GM}{v_0{}^2}$　② $\dfrac{2GM}{v_0{}^2}$　③ $\dfrac{GM}{r_0{}^2 v_0}$　④ $\dfrac{2GM}{r_0{}^2 v_0}$

⑤ $\dfrac{r_0 v_0}{GM}$　⑥ $\dfrac{2r_0 v_0}{GM}$　⑦ $\dfrac{r_0{}^2 v_0{}^2}{GM}$　⑧ $\dfrac{2r_0{}^2 v_0{}^2}{GM}$

(b) 近似的な円運動の半径 R として求めた**問 1** (a)の値が大きいほど，点 A 通過時にゆるやかな軌道曲線を描く。点 B 通過の瞬間を近似的に円運動とみなしたときの半径 R' も**問 1** (a)と同様に求められるが，楕円の長軸の端点である A と B の通過で描く軌道曲線の形は同じなので，$R = R'$ が成り立つ。このことから，$\dfrac{v_0}{v_1}$ はどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。

$\dfrac{v_0}{v_1} = \boxed{\quad 2 \quad}$

① $\dfrac{r_1}{r_0}$　　② $\dfrac{r_0}{r_1}$　　③ $\dfrac{{r_1}^2}{{r_0}^2}$　　④ $\dfrac{{r_0}^2}{{r_1}^2}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{r_1}{r_0}}$　　⑥ $\sqrt{\dfrac{r_0}{r_1}}$　　⑦ 2　　⑧ 3

問 2 $\dfrac{v_0}{v_1}$ についての**問 1** (b)の結果は，ケプラーの第 2 法則（面積速度一定の法則）の特別な場合に相当する。図 2 の P は時刻 t での惑星の位置を示し，太陽の位置 O を原点としたベクトル $\overrightarrow{\mathrm{OP}}$ の大きさが r である（$|\overrightarrow{\mathrm{OP}}| = r$）。$\angle\mathrm{AOP} = \theta$ は，惑星が楕円軌道を回る（図 2 の反時計回りの）向きを正とする。また，惑星の時刻 t での速度を $\vec{v}$ とする。この速度のベクトル $\vec{v}$ を $\overrightarrow{\mathrm{OP}}$ に平行な成分 $v_{\parallel}$ と垂直な成分 $v_{\perp}$ に分解する。時刻 t から $t + \Delta t$ の短い時間の間に，惑星の位置が P から P′ まで移動して，太陽から惑星までの距離が r から $r + \Delta r$ に変化し，角度が θ から $\theta + \Delta\theta$ に変化する（$\angle\mathrm{POP'} = \Delta\theta$）とき，

$$v_{\perp} = \frac{r\Delta\theta}{\Delta t}, \qquad v_{\parallel} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \tag{1}$$

と表すことができる。図 2 の楕円運動で $\Delta\theta > 0$ なので，垂直成分 $v_{\perp}$ は常に正の値をとるが，Δr は負の値になることもあるので，$\overrightarrow{\mathrm{OP}}$ の向きを平行成分 $v_{\parallel}$ の正の向きとしている。また，式(1)から，

$$r\frac{v_{\parallel}}{v_{\perp}} = \frac{\Delta r}{\Delta\theta} \tag{2}$$

となる。このとき，下の問い（(a)，(b)）に答えよ。

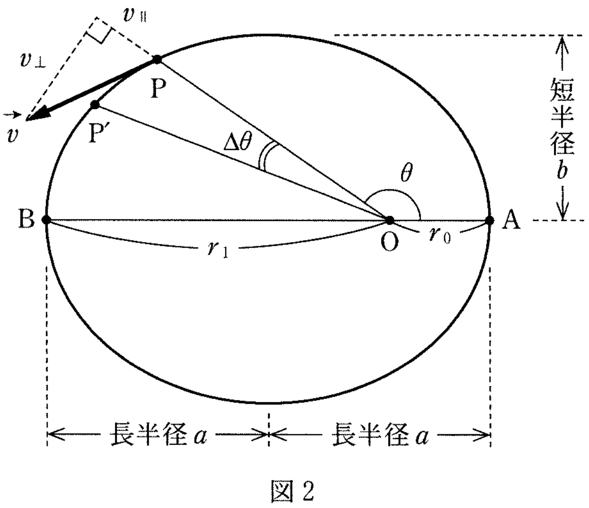


図 2

(a) 面積速度は，太陽と惑星とを結ぶ線分が単位時間に通過する面積である。楕円軌道上をPからP′まで移動する(時刻tから$t+\Delta t$の短い時間の間に，角θが$\Delta\theta$だけ変化し，距離rがΔrだけ変化する)ときの面積速度は，どのように表されるか。最も適当なものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 3\ }$

① $\dfrac{r}{2}\cdot\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$　② $\dfrac{r^2}{2}\cdot\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$　③ $\dfrac{\theta r}{2}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta t}$　④ $\dfrac{\theta^2 r}{2}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta t}$

⑤ $r\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$　⑥ $r^2\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$　⑦ $\theta r\dfrac{\Delta r}{\Delta t}$　⑧ $\theta^2 r\dfrac{\Delta r}{\Delta t}$

(b) 時刻tにPを通過するときの惑星の運動エネルギーをKとする。**問 2**(a)の面積速度をSで表すとき，Sおよび式(2)の$\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}$を用いて，$K$はどのように表されるか。最も適当なものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。

$K=\boxed{\ 4\ }$

① $\dfrac{mS^2}{2r^3}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}+\dfrac{mS^2}{2r^2}$　② $\dfrac{mS^2}{r^3}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}+\dfrac{mS^2}{r^2}$

③ $\dfrac{2mS^2}{r^3}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}+\dfrac{2mS^2}{r^2}$　④ $\dfrac{mS^2}{2r^4}\left(\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}\right)^2+\dfrac{mS^2}{2r^2}$

⑤ $\dfrac{mS^2}{r^4}\left(\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}\right)^2+\dfrac{mS^2}{r^2}$　⑥ $\dfrac{2mS^2}{r^4}\left(\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}\right)^2+\dfrac{2mS^2}{r^2}$

⑦ $\dfrac{mS^2}{2r^4}\left(\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}\right)^2+\dfrac{mS^2}{2r^3}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}+\dfrac{mS^2}{2r^2}$　⑧ $\dfrac{2mS^2}{r^4}\left(\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}\right)^2+\dfrac{mS^2}{r^3}\cdot\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}+\dfrac{2mS^2}{r^2}$

問 3 図2の原点Oから惑星までの距離rが最小($r=r_0$)および最大($r=r_1$)となる点AおよびBの通過時には，**問 2**(b)のKの結果において，$\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}=0$が成り立つ。このとき，次の問い((a)，(b))に答えよ。

(a) この惑星の力学的エネルギーをEとする。Eはr_0およびr_1を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，万有引力による位置エネルギーは，惑星が無限の遠方に離れたときを基準にとるものとする。

$E=\boxed{\ 5\ }$

① $\dfrac{GmM}{2\sqrt{r_1r_0}}$　② $\dfrac{GmM}{\sqrt{r_1r_0}}$　③ $-\dfrac{GmM}{2\sqrt{r_1r_0}}$　④ $-\dfrac{GmM}{\sqrt{r_1r_0}}$

⑤ $\dfrac{GmM}{2(r_1+r_0)}$　⑥ $\dfrac{GmM}{r_1+r_0}$　⑦ $-\dfrac{GmM}{2(r_1+r_0)}$　⑧ $-\dfrac{GmM}{r_1+r_0}$

(b)　この惑星の面積速度 S も r_0, r_1 を用いて表すことができ，この結果から惑星の楕円運動の周期(公転周期)を計算できる。公転周期は r_0, r_1 を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，図2の楕円軌道の長半径を a, 短半径を b で表すと，それぞれ，$a = \dfrac{r_0 + r_1}{2}$, $b = \sqrt{r_0 r_1}$ で与えられることを用いてよい。また，この楕円の面積は πab となる。 $\boxed{\ 6\ }$

① $\dfrac{2\pi(r_1 r_0)^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{GM}}$　　② $\dfrac{2\sqrt{2}\,\pi(r_1 r_0)^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{GM}}$

③ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{2GM}}$　　④ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^{\frac{3}{2}}}{2\sqrt{GM}}$

⑤ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{2GM}}$　　⑥ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^3}{8\sqrt{GM}\,(r_1 r_0)^{\frac{3}{4}}}$

⑦ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^3}{4\sqrt{2GM}\,(r_1 r_0)^{\frac{3}{4}}}$　　⑧ $\dfrac{\pi(r_1 + r_0)^3}{4\sqrt{GM}\,(r_1 r_0)^{\frac{3}{4}}}$

問 4　惑星が図2のPを通過するときには，**問 2**(b)の K を $r_0 \leqq r \leqq r_1$ で考え，**問 3** で得られた E および S の結果と関係づければ，式(2)の $\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}$ を r, r_0, r_1 で表すことができる。この $\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta}$ として正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，ここでは，$\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta} \geqq 0$ として求めよ。

$\dfrac{\Delta r}{\Delta\theta} = \boxed{\ 7\ }$

① $\sqrt{(r_1 - r)(r - r_0)}$　　② $\sqrt{\dfrac{r_1 r_0(r_1 - r)(r - r_0)}{r(r_1 + r_0)}}$

③ $r\sqrt{\dfrac{(r_1 - r)(r - r_0)}{r_1 r_0}}$　　④ $\dfrac{r}{r_1 + r_0}\sqrt{(r_1 - r)(r - r_0)}$

⑤ $\dfrac{(r_1 - r)(r - r_0)}{\sqrt{r(r_1 - r_0)}}$　　⑥ $\dfrac{(r_1 - r)(r - r_0)}{r_1 r_0}\sqrt{r(r_1 - r_0)}$

⑦ $\dfrac{r(r_1 - r)(r - r_0)}{r_1 r_0}$　　⑧ $\dfrac{r(r_1 - r)(r - r_0)}{(r_1 + r_0)\sqrt{r_1 r_0}}$

第3問 光の干渉とレンズに関する次の問い(A・B)に答えよ。
〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$ 〕

A 図1のように，2枚のガラス板を点Oで接触させ，点Oから距離ℓの位置に厚さdの薄い物体をはさんで，ガラス板の間にくさび形の空気のすきまをつくった。ガラス板の真上から，波長λの単色光を当てて観察すると，明線と暗線が交互に平行に並ぶ縞模様が見えた。空気の屈折率を1，ガラスの屈折率を1.5として，下の問い(**問1**～**問3**)に答えよ。

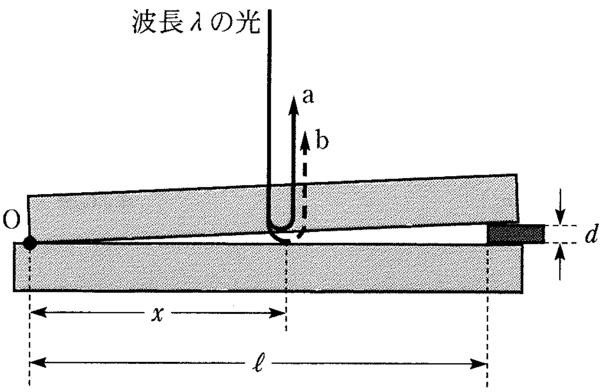


図1

問1 この縞模様は，図1のaのように，ガラス板の間にできる空気の層の上面で反射する光と，bのように下面で反射する光とが干渉してできる干渉縞である。点Oから距離xの位置が真上から観察して明線になる条件はどのように表されるか。mを0以上の整数として，正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

① $\dfrac{2dx}{\ell} = \lambda m$　② $\dfrac{dx}{\ell} = \lambda m$　③ $\dfrac{2\ell x}{d} = \lambda m$

④ $\dfrac{\ell x}{d} = \lambda m$　⑤ $\dfrac{2dx}{\ell} = \lambda\left(m + \dfrac{1}{2}\right)$　⑥ $\dfrac{dx}{\ell} = \lambda\left(m + \dfrac{1}{2}\right)$

⑦ $\dfrac{2\ell x}{d} = \lambda\left(m + \dfrac{1}{2}\right)$　⑧ $\dfrac{\ell x}{d} = \lambda\left(m + \dfrac{1}{2}\right)$

問2 $\ell = 4.0 \times 10^{-1}$ m，$\lambda = 4.5 \times 10^{-7}$ mのとき，明線の間隔は2.5 mmであった。物体の厚さdはいくらか。最も近い値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。
$d = \boxed{2}$ m

① 1.2×10^{-5}　② 3.6×10^{-5}　③ 7.2×10^{-5}

④ 8.5×10^{-4}　⑤ 1.4×10^{-4}　⑥ 2.8×10^{-4}

問 3　くさび形の空気のすきまに屈折率 1.3 の液体を満たしたところ，**問 2** で見えていた明線の間隔が 2.5 mm から変化した。変化後の明線の間隔はいくらか。最も近い値を，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 3 \quad}$ mm

① 1.3	② 1.7	③ 1.9	④ 2.4
⑤ 2.7	⑥ 3.3	⑦ 3.8	⑧ 4.9

B　図 2 のように，物体 PQ を焦点距離 f の薄い凹レンズを通してのぞくと，虚像 P′Q′ が見えた。図 2 において凹レンズの中心と光軸の交点を O，凹レンズの左側の焦点を F，右側の焦点を F′ として，下の問い(**問 4** ～**問 6**)に答えよ。

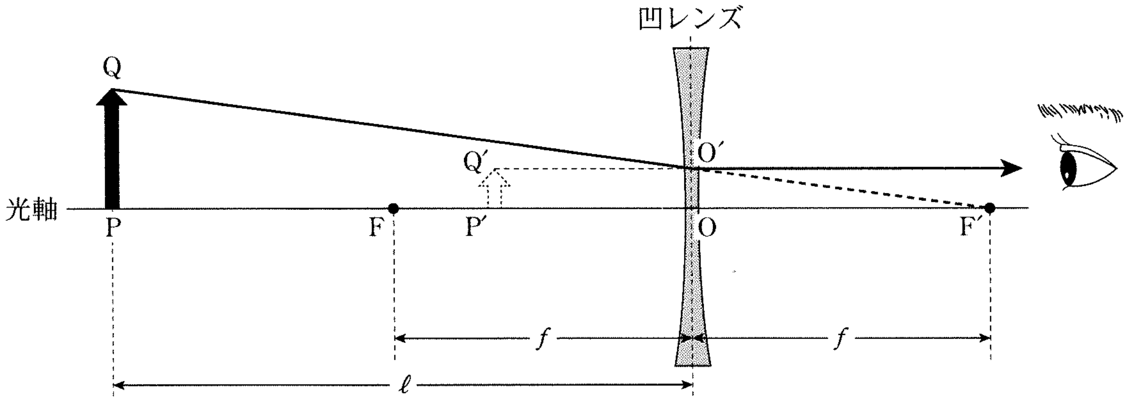


図 2

問 4　凹レンズでは，図 2 のように物体の点 Q から焦点 F′ に向かって進んだ光は，レンズに入って点 O′ で屈折し，レンズを通過後は光軸に平行に進む。この光を目で見ると，光は点 Q′ から出た光のように見え，物体 PQ の虚像 P′Q′ の縦の長さが決まる。凹レンズから物体 PQ までの距離を ℓ としたとき，長さの比 $\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}}$ は f と ℓ を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}} = \boxed{\quad 4 \quad}$

① $\dfrac{f}{\ell}$	② $\dfrac{\ell - f}{\ell}$	③ $\dfrac{f}{\ell + f}$	④ $\dfrac{f + \ell}{2\ell}$
⑤ $\dfrac{\ell}{f}$	⑥ $\dfrac{\ell}{\ell + f}$	⑦ $\dfrac{\ell - f}{f}$	⑧ $\dfrac{\ell - f}{2f}$

問 5　凹レンズでは，図 3 のように点 Q を出てレンズの中心 O に向かって進んだ光は，屈折することなくそのまま直進する。また，点 Q を出て光軸に平行に進んだ光はレンズに入って点 O″ で屈折し，レンズを通過後は焦点 F と点 O″ をむすぶ直線の方向に進む。図 3 のように，虚像の点 Q′ は直線 QO と直線 FO″ の交点として求められ，これにより虚像 P′Q′ と凹レンズとの距離 D が決まる。このとき，長さの比 $\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}}$ は f と D を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。

$\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}} = \boxed{5}$

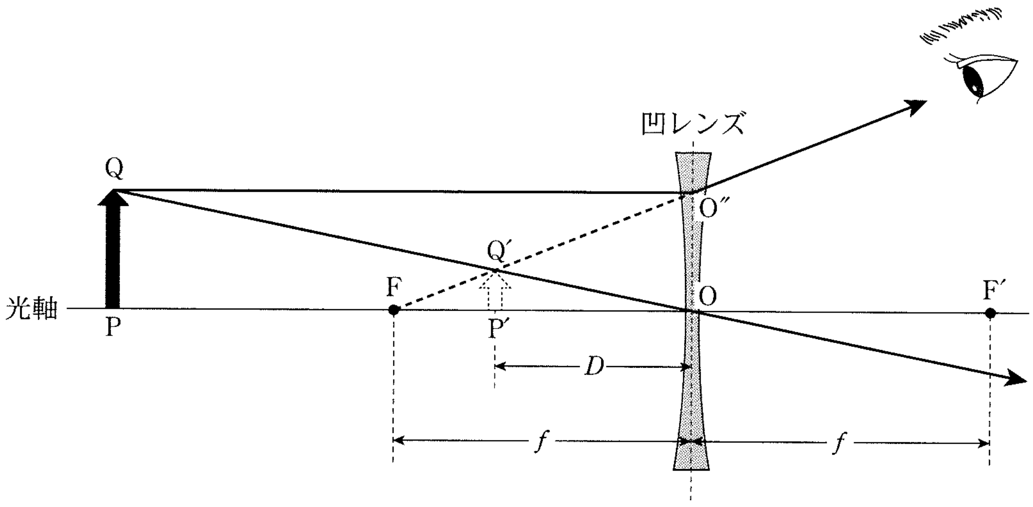


図 3

① $\dfrac{f}{D}$　　② $\dfrac{D}{f+D}$　　③ $\dfrac{f}{f+D}$　　④ $\dfrac{f+D}{2f}$

⑤ $\dfrac{D}{f}$　　⑥ $\dfrac{f-D}{D}$　　⑦ $\dfrac{f-D}{f}$　　⑧ $\dfrac{f-D}{2D}$

問 6　長さの比 $\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}}$ はレンズの倍率を与え，これから**問 5** の距離 D を**問 4** の ℓ を用いて求められる。D として正しいものを，次の①〜⑩のうちから一つ選べ。

$D = \boxed{6}$

① $\dfrac{\ell^2}{f}$　　② $f\dfrac{\ell-f}{\ell}$　　③ $f\dfrac{\ell+f}{\ell}$　　④ $\ell\dfrac{\ell+f}{\ell-f}$　　⑤ $f\dfrac{\ell+f}{\ell-f}$

⑥ $\dfrac{f^2}{\ell}$　　⑦ $\dfrac{f\ell}{\ell-f}$　　⑧ $\dfrac{f\ell}{\ell+f}$　　⑨ $\ell\dfrac{\ell-f}{\ell+f}$　　⑩ $f\dfrac{\ell-f}{\ell+f}$

Ⅱ 次の問い(A・B)に答えよ。解答用紙の所定の欄には，結果だけでなく考え方と途中の式も記せ。

A　図1のように，透磁率 μ，断面積 S の鉄心に，コイル1(長さ ℓ，巻数 N_1)とコイル2(長さ ℓ，巻数 N_2)を巻きつける。コイル1に強さ I_1 の電流を流すと，コイル1の内部には鉄心に沿った方向に一様な磁場が生じ，この磁場の磁束密度の大きさは $B = \dfrac{\mu N_1}{\ell} I_1$ となる。このとき，コイル1がつくる磁束は，鉄心からもれることなくコイル2を貫くものとする。コイル1とコイル2の自己インダクタンスをそれぞれ L_1，L_2，コイル1とコイル2の相互インダクタンスを M_0 として，次の問い(**問1**，**問2**)に答えよ。

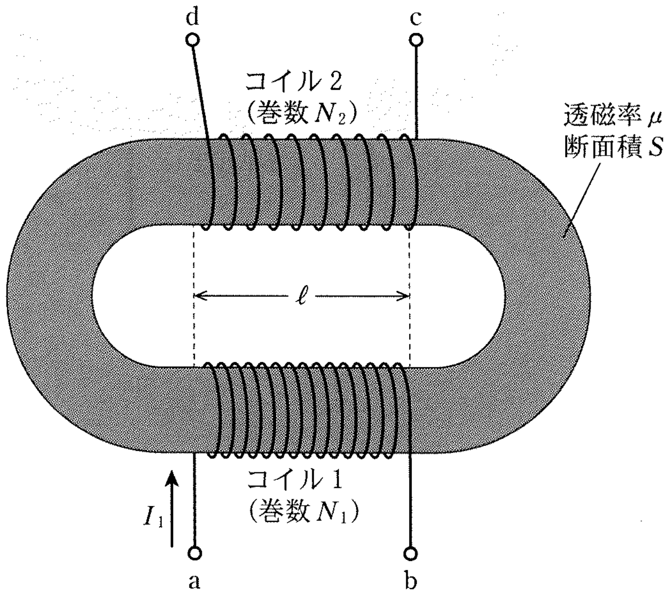


図1

問1　図1の矢印の向きに流れるコイル1の電流の強さ I_1 を，短い時間 Δt の間に $I_1 \to I_1 + \Delta I_1$ と変化させるとき，コイル2の両端の端子cとdの間に生じる電圧の大きさ v_2 は，相互インダクタンス M_0 を用いて，

$$v_2 = M_0 \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \right| \tag{1}$$

と表される。このようにコイル1に流れる電流が変化するとき，コイル1を流れる電流がつくる磁束密度も変化し，コイル2には誘導起電力が発生する。この誘導起電力を(1)式と比較して，相互インダクタンス M_0 を求めよ。また，同様にしてコイル1の自己インダクタンス L_1 を求めよ。

問 2　コイル 1 とコイル 2 に，強さ I_1，I_2 の電流を図 2 の矢印の向きに流し，短い時間 Δt の間に，$I_1 \to I_1 + \Delta I_1$，$I_2 \to I_2 + \Delta I_2$ と変化させる。このとき，コイル 1 の端子 a に対する端子 b の電位は，L_1，L_2，M_0 を用いてどのように表されるか。

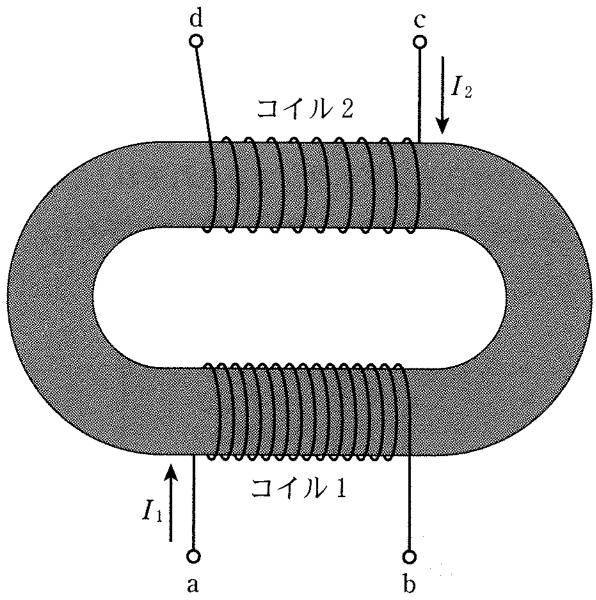


図 2

B　図3のように真っすぐな鉄心に，自己インダクタンスL_1，L_2のコイル1，コイル2を巻いた。このとき，コイル1がコイル2におよぼす相互誘導の相互インダクタンスと，コイル2がコイル1におよぼす相互誘導の相互インダクタンスはともにMで等しく，磁束のもれがあるために$M < M_0$となった。このとき，次の問い(**問3**～**問6**)に答えよ。

問3　図3のコイル1とコイル2の自己インダクタンスはL_1，L_2，相互インダクタンスは$M(< M_0)$である。コイル1の端子bとコイル2の端子cをつなぎ，端子aと端子dは電圧Vの交流電源に接続する。時刻tにおいて，電源電圧をV，図3の矢印の向きに流れる電流をIとして，短い時間Δtの間に，電流が$I \to I + \Delta I$と変化したとする。このときの電流の時間的変化の割合$\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$を$L_1$，$L_2$，$M$，$V$を用いて表せ。ただし，$V$は電源電圧による端子dに対する端子aの電位を表す。

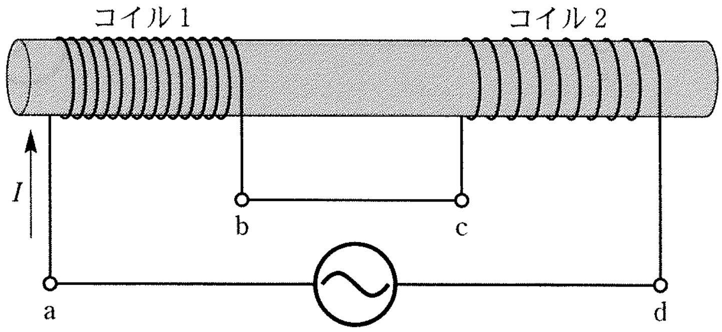


図3

問4　角周波数を$\omega(> 0)$，電源電圧の最大値を$V_0(> 0)$として，時刻tにおける電源電圧が$V = V_0 \cos \omega t$と表されるとき，図3における時刻tの電流Iを求めよ。

問 5　図3のコイル1とコイル2の端子をつなぎかえた図4の回路を考える。ただし，コイル1，コイル2の自己インダクタンスおよび相互インダクタンスは，L_1，L_2 および M のままとする。図4の回路において，交流電源の電圧 V は端子 d に対する端子 c の電位として，$V = V_0 \cos \omega t$ と表される。時刻 t にコイル1を図4の矢印の向き(端子 a から端子 b の向き)に流れる電流 I_1 を求めよ。答えは L_1，L_2，M，V_0，ω，t を用いて表せ。

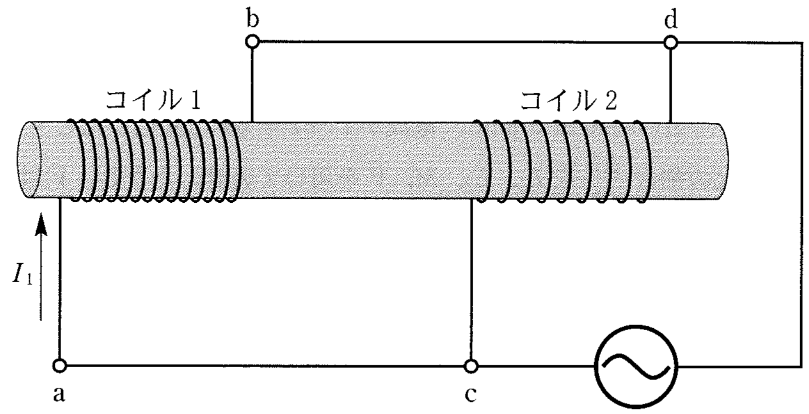


図4

問 6　図4に示されている**問 5**の回路で，相互インダクタンスが無視できる場合($M = 0$)を考えよう。このとき，図4のコイル1とコイル2に蓄えられるエネルギーの和は，$t = \dfrac{\pi}{2\omega}$ の時刻にいくらになるか。答えは L_1，L_2，V_0，ω を用いて表せ。