2020 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 ……15頁　生　物 ……26頁

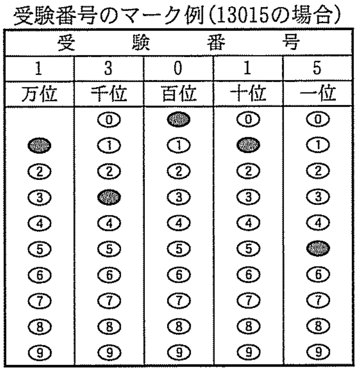
問題 Ⅰ はマークシート方式，Ⅱ は記述式である。

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〕

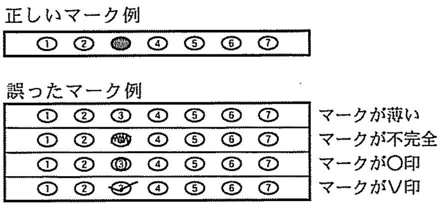
1. 監督者の指示があるまでは，この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは，コンピュータで処理するので，折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに，**氏名・受験番号を記入し，科目選択・受験番号をマークする。**マークがない場合や誤って記入した場合の答案は無効となる。

受験番号のマーク例(13015の場合)



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** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{7}$ 〕

問1　図1のように，質量の無視できる長さ L の細い棒ABの一方の端Bに，質量 m のおもりをつるした。棒の他方の端Aは壁に接しており，Aから距離 $\frac{L}{3}$ の点Pを鉛直な壁の点Qと糸でつないで，棒ABが水平になるようにつり合わせた。このとき，糸と棒のなす角は，$\angle$QPA $= 60°$ であった。棒の端Aには壁から摩擦力と垂直抗力がはたらいており，この摩擦力と垂直抗力の合力の大きさを F とすると，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，重力加速度の大きさを g とする。

$F = \boxed{1}$

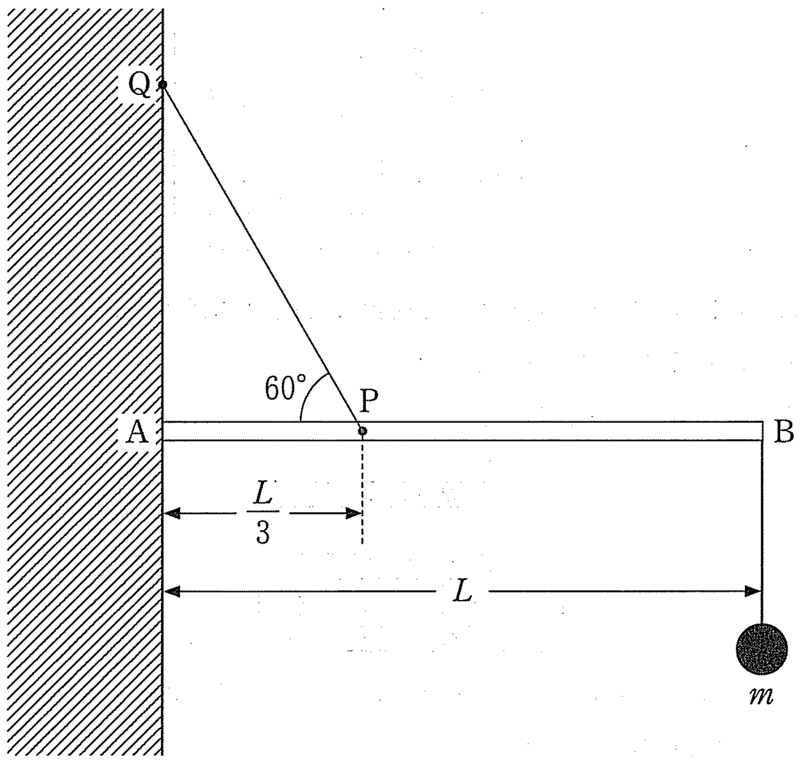


図1

① $\sqrt{13}\,mg$　② $2\sqrt{3}\,mg$　③ $\sqrt{7}\,mg$　④ $2\,mg$

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

問 2 なめらかな水平面上を右向きに速さ 1 m/s で進む質量 5 kg の物体 A が，左向きに速さ 2 m/s で進む質量 3 kg の物体 B と正面衝突した。衝突後，A は左向きに 0.8 m/s の速さで進み，B は右向きに進んだ。両物体の間の反発係数はいくらか。最も近い値を，次の①～⑩のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 2\ }$

① 0.1　② 0.2　③ 0.3　④ 0.4　⑤ 0.5
⑥ 0.6　⑦ 0.7　⑧ 0.8　⑨ 0.9　⑩ 1

問 3 周期 T，波長 λ，振幅 A の正弦波が二つあり，x 軸上を互いに逆向きに進んで重なり合う。図 2 は右向きに進む正弦波 P と，左向きに進む正弦波 Q を表し，この状態における時刻を $t = 0$ とする。時刻 $t = \dfrac{T}{3}$ のとき，$x = 2\lambda$ における媒質の変位 y はいくらか。最も適当なものを，下の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 3\ }$

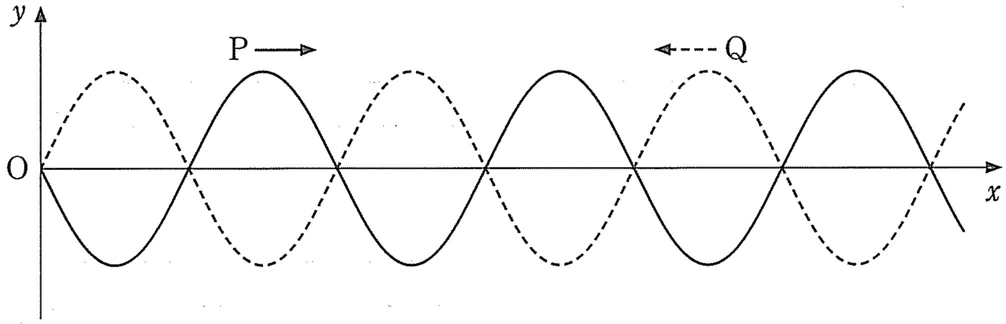


図 2

① $-2A$　② $-\sqrt{3}A$　③ $-A$　④ $-\dfrac{1}{2}A$　⑤ 0
⑥ $\dfrac{1}{2}A$　⑦ A　⑧ $\sqrt{3}A$　⑨ $2A$

問 4　図 3 のように，同じ形の 2 枚の平行な金属極板 A，B を，極板間の間隔 d で真空中に置いた平行板コンデンサーがある。A，B の面積はじゅうぶん大きく金属極板の端の部分の影響は無視できるものとし，図 3 の平行板コンデンサーの電気容量を C で表す。極板 A に正の電気量 $Q(>0)$，極板 B に $-Q$ の電気量を与えたところ，電気量はそれぞれの極板に一様に分布した。いま，図 3 の極板間全体を満たすとコンデンサーの電気容量が n 倍（$n>1$）になる誘電体があり，図 4 のように，極板間のちょうど左半分だけをこの誘電体で満たしたところ，極板 A に与えた電気量 Q および B に与えた電気量 $-Q$ は一様な分布から変化した。図 4 の極板 A，B の左半分の部分（誘電体に接している部分）の電気量を Q_L，$-Q_L$ として，下の問い（(a)，(b)）に答えよ。

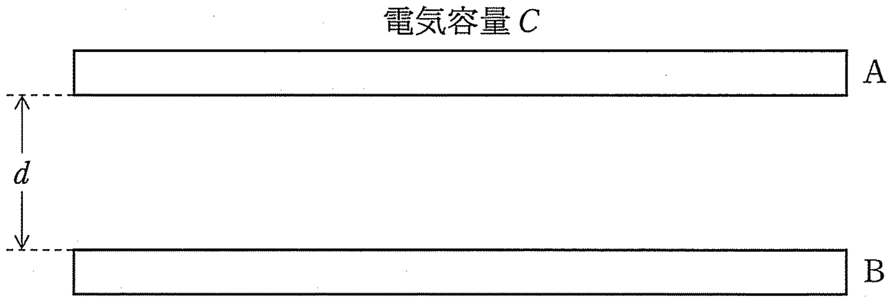


図 3

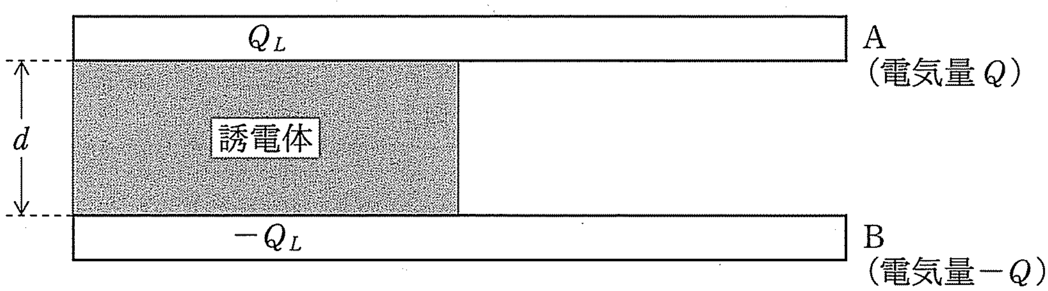


図 4

(a)　図 4 の誘電体内部の電場は，極板 A および B の左半分の，誘電体に接している部分の電気量（Q_L および $-Q_L$）がひき起こすと考えることができるので，この電場の強さは，

$$\boxed{\quad 4 \quad} \times Q_L$$

と表すことができる。$\boxed{\quad 4 \quad}$ を埋めるのに正しいものを，次の①〜⑨のうちから一つ選べ。

① $\dfrac{2}{nCd}$　② $\dfrac{1}{nCd}$　③ $\dfrac{1}{2nCd}$　④ $\dfrac{2d}{nC}$　⑤ $\dfrac{d}{nC}$

⑥ $\dfrac{d}{2nC}$　⑦ $2nCd$　⑧ nCd　⑨ $\dfrac{nCd}{2}$

(b) 電気量 Q_L は，極板Aの全電気量 Q 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。

$Q_L =$ $\boxed{\;5\;}$

① $\dfrac{n}{2}Q$　② $\dfrac{1}{2n}Q$　③ $\dfrac{1}{n}Q$　④ $\dfrac{n-1}{n}Q$

⑤ $\dfrac{1}{2(n-1)}Q$　⑥ $\dfrac{1}{(n-1)n}Q$　⑦ $\dfrac{1}{n+1}Q$　⑧ $\dfrac{n}{n+1}Q$

問 5　図5のように交流電源に，ダイオードと抵抗を直列につないだ電気回路を考える。点Dを基準とした点Aの電位 V は時間 t の関数として，$V = V_0 \sin \omega t$ と表される。ただし，V_0，ω は正の定数とする。点Bから点Cへ向かう方向を電流の正の向きとしたとき，抵抗に流れる電流 I の時間変化を表すグラフはどのようになるか。最も適当なものを，下の①〜⑥のうちから一つ選べ。ただし，ダイオードは，図5のAからBの向きにのみ電流を流す整流作用をもつとする。 $\boxed{\quad 6 \quad}$

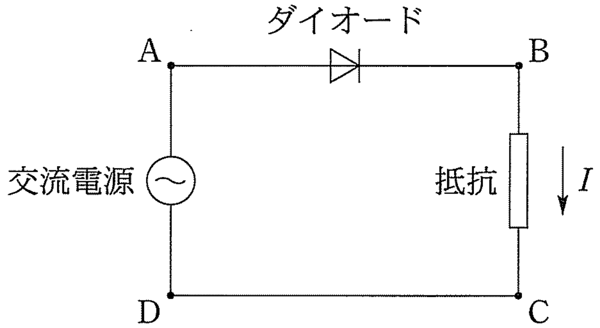
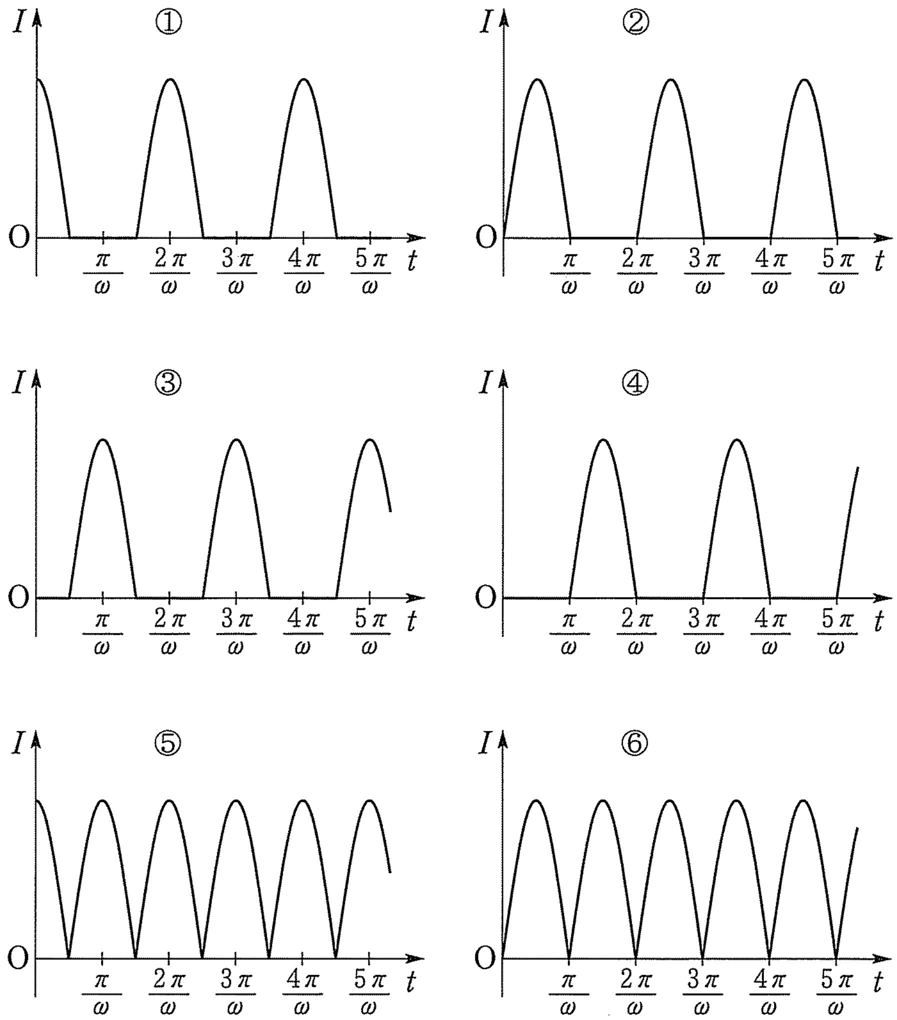


図5



問 6　炭素年代測定法では，β崩壊による半減期が 5.7×10^3 年である炭素14(^{14}C)の炭素12(^{12}C)に対する含有率を測定して，枯れ木などの年代を推定する。ある遺跡で発見された枯れ木に含まれる炭素を調べたところ，^{14}C の ^{12}C に対する含有率が，現在生きている木で測ったものの 0.81 倍であった。この枯れ木は何年前に枯れた木と考えられるか。最も適当な値を，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし $0.81 \fallingdotseq \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{10}}$ であり，この木が枯れたときの ^{14}C の ^{12}C に対する含有率は，現在生きている木と等しいとする。 $\boxed{7}$ 年前

① 6.0×10^2　② 1.7×10^3　③ 2.9×10^3　④ 3.8×10^3

⑤ 4.6×10^3　⑥ 5.7×10^3　⑦ 6.8×10^3　⑧ 1.1×10^4

第2問　真空中で図1のように，鉛直上向き(紙面に垂直に裏から表への向き)で磁束密度の大きさが B の一様な磁場があり，この磁場の中の水平な xy 平面を電気量 $q(>0)$，質量 m の荷電粒子が運動している。荷電粒子が原点Oを通るときの速度は，x 方向の成分が0，y 方向の成分が v_0 であった。荷電粒子にはたらく重力の影響は無視できるとして，下の問い(**問1**～**問3**)に答えよ。〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{6}$〕

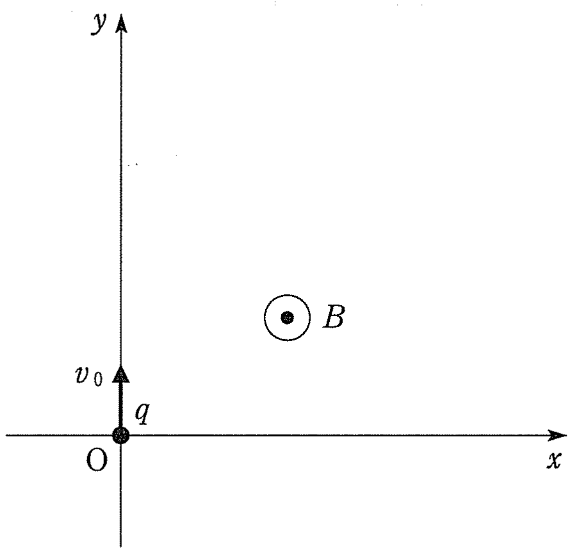


図1

問1　原点Oを通過後に磁場中で荷電粒子が描く円運動の半径はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，$v_0>0$ とする。$\boxed{1}$

① $\dfrac{mv_0}{2qB}$　② $\dfrac{mv_0}{qB}$　③ $\dfrac{mv_0^2}{2qB}$　④ $\dfrac{mv_0^2}{qB}$

⑤ $\dfrac{qB}{mv_0}$　⑥ $\dfrac{2qB}{mv_0}$　⑦ $\dfrac{qB}{mv_0^2}$　⑧ $\dfrac{2qB}{mv_0^2}$

問2　$v_0>0$ のときの荷電粒子の運動を，x 方向と y 方向に分けて考えよう。荷電粒子が原点Oを時刻 $t=0$ に通過したとし，このあと，磁場中で xy 平面内の円運動をしている荷電粒子の時刻 t での速度を $\vec{v}=(v_x,\ v_y)$，加速度を $\vec{a}=(a_x,\ a_y)$ と表せば，荷電粒子の x 方向と y 方向の運動方程式を，それぞれ，

$$ma_x = \boxed{2} \times v_y \quad (1)$$

$$ma_y = \boxed{2} \times (-v_x) \quad (2)$$

と表すことができる。このとき，次の問い((a)，(b))に答えよ。

(a)　式(1)，(2)の $\boxed{2}$ を埋めるのに正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

① qB　② $-qB$　③ $\dfrac{qB}{m}$　④ $-\dfrac{qB}{m}$

⑤ $2qB$　⑥ $-2qB$　⑦ $\dfrac{2qB}{m}$　⑧ $-\dfrac{2qB}{m}$

(b) 時刻tから$t + \Delta t$の短い時間の間に，荷電粒子の速度$\vec{v} = (v_x,\ v_y)$が，$\Delta\vec{v} = (\Delta v_x,\ \Delta v_y)$だけ変化し，荷電粒子の位置の座標$(x,\ y)$が，$(\Delta x,\ \Delta y)$だけ変化したとすると，式(1)で加速度の$x$成分は$a_x = \dfrac{\Delta v_x}{\Delta t}$と表され，速度の$y$成分は$v_y = \dfrac{\Delta y}{\Delta t}$と表されるので，

$$m\frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \boxed{\quad 2 \quad} \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

が成り立つ。この式から

$$m\Delta v_x - \boxed{\quad 2 \quad} \times \Delta y = 0$$

となるので，時刻tから$t + \Delta t$の短い時間の間に，

$$mv_x - \boxed{\quad 2 \quad} \times y \qquad (3)$$

は変化しないことになる。このことから，荷電粒子が原点Oを通過後，式(3)は時刻tに関係なく一定の値となる。この結果を利用して式(2)の右辺を荷電粒子の位置の座標yを用いて表すと，荷電粒子のy方向の運動は単振動となることがわかる。この単振動の角振動数をωで表すと，ωはいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$\omega = \boxed{\quad 3 \quad}$

① $\sqrt{\dfrac{qB}{2\pi m}}$　② $\sqrt{\dfrac{qB}{m}}$　③ $\dfrac{qB}{2\pi m}$　④ $\dfrac{qB}{m}$

⑤ $\dfrac{qB}{\sqrt{2\pi m}}$　⑥ $\dfrac{qB}{\sqrt{m}}$　⑦ $\dfrac{q^2B^2}{2\pi m}$　⑧ $\dfrac{q^2B^2}{m}$

問 3 図1の一様な磁場があるところに，さらに，y軸の正の向きに一様な電場もかけることにする(図2参照)。一様な電場の強さをEで表し，また，時刻$t = 0$に荷電粒子が原点Oに静止していた場合($v_0 = 0$)を考えることとして，下の問い((a)，(b))に答えよ。

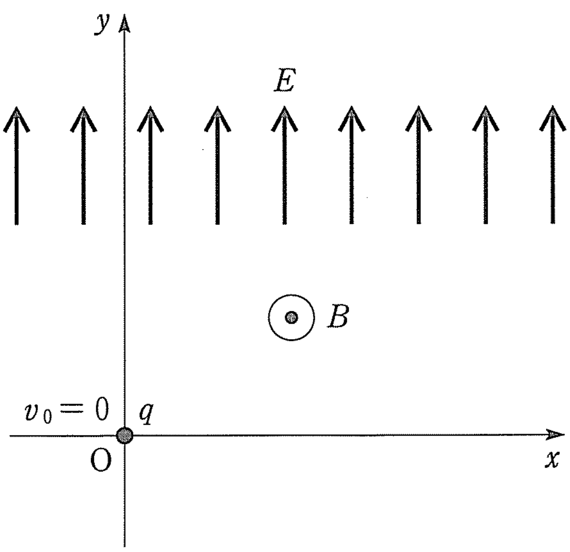


図2

(a)　この場合の y 方向の運動方程式は，**問 2** の式(2)の右辺に荷電粒子が電場から受ける力 qE を付け加えて，

$$ma_y = \boxed{\quad 2 \quad} \times (-v_x) + qE \tag{4}$$

となる。一方，x 方向の運動方程式として式(1)がそのまま成り立つので，図 2 のような一様な磁場と電場の両方がある場合も，式(3)は時刻 t に関係なく一定の値となる。この結果を利用して式(4)を荷電粒子の位置の座標 y と**問 2** (b)の ω を用いて表すと，

$$ma_y = -m\omega^2\left(y - \frac{qE}{m\omega^2}\right)$$

となり，y 方向の運動は，$y = \dfrac{qE}{m\omega^2}$ を中心とする単振動となる。これから，時刻 $t = 0$ に原点 O で静止していた荷電粒子（$v_0 = 0$）の，このあとの y 座標の時間変化が決まる。この結果と式(3)から速度の x 成分 v_x を求めると，時刻 $t = 0$ に原点 O から動き出したあと再び速さが 0（$v_x = v_y = 0$）になるまでの間の，v_x の最大値と最小値はそれぞれいくらか。正しいものを，下の①～⑪のうちから一つずつ選べ。

最大値は $\boxed{\quad 4 \quad}$

最小値は $\boxed{\quad 5 \quad}$

① $-\dfrac{2\sqrt{2}E}{B}$　② $-\dfrac{2E}{B}$　③ $-\dfrac{\sqrt{2}E}{B}$　④ $-\dfrac{E}{B}$

⑤ $-\dfrac{E}{\sqrt{2}B}$　⑥ 0　⑦ $\dfrac{E}{\sqrt{2}B}$　⑧ $\dfrac{E}{B}$

⑨ $\dfrac{\sqrt{2}E}{B}$　⑩ $\dfrac{2E}{B}$　⑪ $\dfrac{2\sqrt{2}E}{B}$

(b)　荷電粒子が時刻 $t = 0$ に原点 O から動き出したあと，v_x が**問 3** (a)の最大値を最初にとる時刻を t_1 で表すものとする。時刻 $t = 0$ から $t = \dfrac{3}{2}t_1$ までの間に，電場が荷電粒子にする仕事はいくらか。正しいものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{\quad 6 \quad}$

① $\dfrac{8mE^2}{B^2}$　② $\dfrac{6mE^2}{B^2}$　③ $\dfrac{4mE^2}{B^2}$　④ $\dfrac{2mE^2}{B^2}$

⑤ $\dfrac{mE^2}{B^2}$　⑥ $\dfrac{mE^2}{2B^2}$　⑦ $\dfrac{mE^2}{4B^2}$　⑧ 0

第3問　図1のように，気球にゴンドラがついた熱気球を考える。気球は軽くて伸び縮みしない布でつくられており，この布は空気も熱も通さないとする。気球の内と外で空気の出入りはないが，この布をたたんだり広げたりすることで，気球内の空気は自由にふくらみ体積を変えることができて，気球内の空気と大気の圧力は常に等しい状態に保たれている。また，気球の内部には空気をあたためるヒーターが備わっている。図1において，気球内には絶対温度 T_1，圧力 P_0 の空気が n〔mol〕入っており，熱気球は絶対温度 T_0，圧力 P_0 の大気中に浮かんで静止している。このときの気球内の空気を状態1とする。気球内の空気と大気は同じ理想気体とし，1〔mol〕の質量を m とする。気球内の空気を除いた熱気球本体と乗員を合わせた質量を M，気体定数を R として，下の問い(**問1**～**問6**)に答えよ。ただし，重力加速度の大きさ g は高度によらず一定とする。また，ゴンドラと乗員の体積は無視できるものとする。

〔**解答番号** $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 6\ }$ 〕

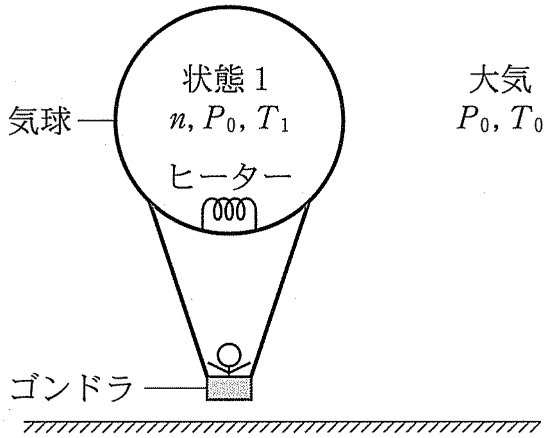


図1

問 1　気球内の空気の密度(単位体積あたりの質量)を ρ_1 とする。理想気体の状態方程式を使うと，ρ_1 はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$\rho_1 = \boxed{\ 1\ }$

① $\dfrac{P_0}{mRT_1}$　　② $\dfrac{mRT_1}{P_0}$　　③ $\dfrac{mP_0}{RT_1}$

④ $\dfrac{RT_1}{mP_0}$　　⑤ $\dfrac{RP_0T_1}{m}$　　⑥ $\dfrac{m}{RP_0T_1}$

問 2　図1の大気の密度を ρ_0 とする。気球内の空気と大気の圧力が等しいことを使うと，ρ_0 は ρ_1 を用いてどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$\rho_0 = \boxed{\ 2\ }$

① $\sqrt{\dfrac{T_1}{T_0}}\rho_1$　　② $\dfrac{T_1}{T_0}\rho_1$　　③ $\left(\dfrac{T_1}{T_0}\right)^2\rho_1$

④ $\sqrt{\dfrac{T_0}{T_1}}\rho_1$　　⑤ $\dfrac{T_0}{T_1}\rho_1$　　⑥ $\left(\dfrac{T_0}{T_1}\right)^2\rho_1$

問 3　状態 1 において，気球にはたらく浮力は熱気球全体にはたらく重力とつり合っている。熱気球全体の質量は，気球内の空気の質量と M の合計である。このとき，**問 1**，**問 2** の結果を使い気球内の空気の絶対温度 T_1 はどのように表されるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$T_1 = \boxed{\quad 3 \quad}$

① $\dfrac{nm}{M}T_0$　　② $\dfrac{M}{nm}T_0$　　③ $\left(1+\dfrac{nm}{M}\right)T_0$

④ $\left(1-\dfrac{nm}{M}\right)T_0$　　⑤ $\left(1+\dfrac{M}{nm}\right)T_0$　　⑥ $\left(1-\dfrac{M}{nm}\right)T_0$

問 4　状態 1 において熱気球をロープで地面に固定した後，ヒーターのスイッチを入れて気球内の空気の絶対温度を $T_2 = (1 + a)T_1$ まで上げてスイッチを切る。ただし，$a > 0$ とする。このときの気球内の空気を状態 2 とする（図 2）。状態 1 から状態 2 への変化は，気球内の空気の圧力 P_0 が一定のままで体積と温度が増加する過程である。状態 1 から状態 2 への過程において，ヒーターが気球内の空気に与えた熱量はいくらか。正しいものを，下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，空気の定積モル比熱 C_V を，$C_V = \dfrac{5}{2}R$ とする。$\boxed{\quad 4 \quad}$

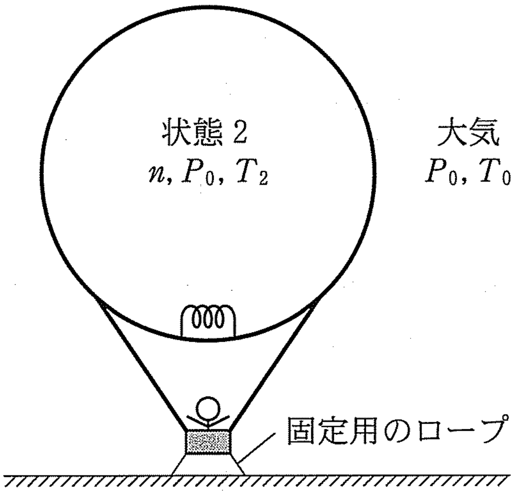


図 2

① $\dfrac{1}{2}anRT_1$　　② $anRT_1$　　③ $\dfrac{3}{2}anRT_1$　　④ $2\,anRT_1$

⑤ $\dfrac{5}{2}anRT_1$　　⑥ $3\,anRT_1$　　⑦ $\dfrac{7}{2}anRT_1$　　⑧ $4\,anRT_1$

問 5 状態 2 において，熱気球を固定しているロープを切ると，熱気球はある高度まで上昇して静止した(図 3)。高度が上がると，大気の圧力は減少し $P_h(<P_0)$ となるが，大気の絶対温度は高度によらず一定であるとする。図 3 の静止している気球内の空気の圧力は外の大気圧 P_h に等しく，絶対温度は T_3 であった。このときの気球内の空気を状態 3 とする。T_3 は T_1 を用いてどのように表されるか。正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。

$T_3 = \boxed{\ 5\ }$

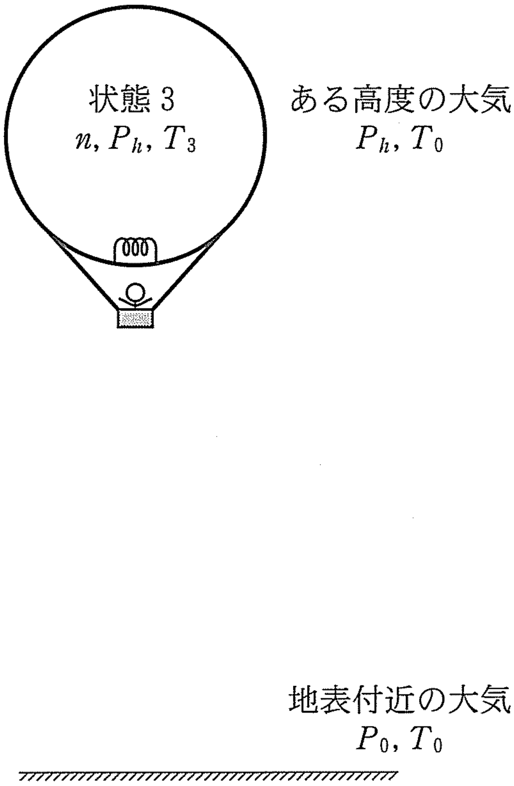


図 3

① $(1-a)T_1$　　② $\left(1-\dfrac{a}{2}\right)T_1$　　③ aT_1

④ T_1　　⑤ $\left(1+\dfrac{a}{2}\right)T_1$　　⑥ $(1+a)T_1$

問 6 状態 2 から状態 3 への変化は熱の出入りのない断熱変化であり，$C_V = \dfrac{5}{2}R$ の理想気体の断熱変化では，(圧力)×(体積)$^{\frac{7}{5}}$＝一定，という関係式が成り立つことが知られている。このことより，図 3 の熱気球が浮んでいる高度での大気圧 P_h は，P_0 を用いて，

$$P_h = (1+a)^x P_0$$

となる。このときの x はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$x = \boxed{\ 6\ }$

① -4　　② $-\dfrac{7}{2}$　　③ $-\dfrac{5}{2}$

④ $-\dfrac{7}{5}$　　⑤ $-\dfrac{5}{7}$　　⑥ $-\dfrac{7}{12}$

Ⅱ 次の問いに答えよ。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。

図１のように，水平面と角 θ をなすなめらかな斜面があり，斜面下端を原点Ｏとし，斜面に沿って上向きを正として x 軸をとる。自然長が L でばね定数 k の軽いばねの一端を斜面下端に固定したところ，ばねの先端は $x = L$ の位置であった。このばねの先端に質量 m の板を取り付け，この板に質量 M の小球をのせて手で力を加えてばねを縮め，$x = x_0(> 0)$ の位置になるように静止させた。重力加速度の大きさを g として，下の問い(**問１**～**問６**)に答えよ。ただし，小球および板の大きさ，ばねの質量は無視できるものとし，斜面と小球の間の摩擦，および斜面と板の間の摩擦ははたらかないものとする。

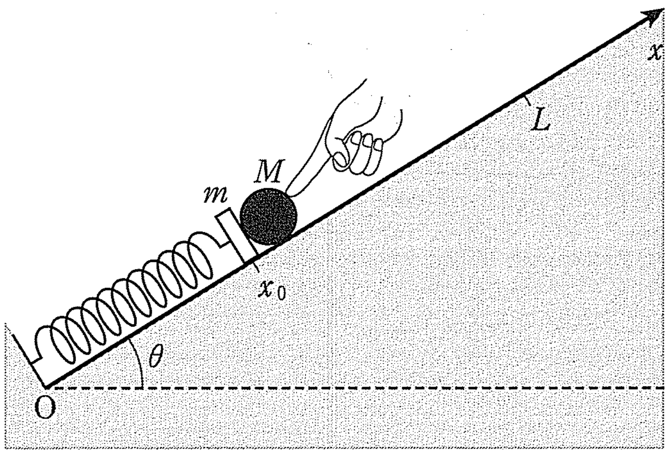


図１

問 1　図1のように静止した状態から静かに手をはなすと，ばねの復元力により小球と板はともに斜面上方に動きはじめた。小球と板は一体となって斜面に沿って上がり，ある時刻に板の座標が x になった(図2参照)。このときの板と小球の共通の加速度を a，小球が板から受ける垂直抗力の大きさを N とし，小球と板の x 軸方向の運動方程式をそれぞれ書け。ただし，x 軸の正の向きを加速度 a の正の向きとし，板の面は斜面に対して垂直のままで運動するものとする。

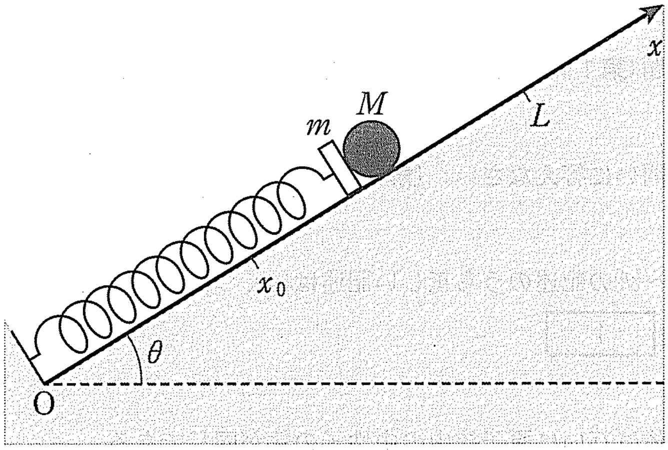


図 2

問 2　小球と板の運動方程式より N を消去して，小球と板の共通の加速度 a を表す式を求めよ。

問 3　小球と板の運動方程式より a を消去して，小球が板から受ける垂直抗力の大きさ N を求めよ。

問 4　図1の板の位置 x_0 がある値より小さい場合には，小球と板が一体となって斜面を上がりはじめてから，ある位置で小球は板から離れる。小球が板から離れる瞬間の板の x 座標を求めよ。また，この瞬間に小球と板がもつ運動エネルギーの和 K を x_0 を用いて表せ。

問 5　前問4で求めた x 座標で小球が板から離れるために，x_0 はいくらより小さくなければならないか。x_0 が満たすべき不等式を求めよ。

問 6　小球が板から離れると，この後の板の運動は単振動となる。板の単振動の周期と，振動の中心の x 座標を求めよ。ただし，板から離れた後，小球は板と衝突しないものとする。