帝京大学

2024 年度　一般選抜　物理

物理①

（2 科目　120 分）

（注）解答欄には答えのみを記入して下さい。

1 直線上で静止している質量 M の物体 A に質量 m の物体 B が速度 v_0 で衝突し，衝突後入射線上で A は速度 V を B は速度 v を得たとする。ただし，速度の向きは B の入射速度 v_0 の向きを正とし，A と B の間の跳ね返り係数を e とする。

(1) 運動量の保存則にもとづいて衝突前後の A，B の質量と速度について成り立つ関係式を記述解答用紙に記入しなさい。

(2) e，V，v および v_0 の間に成り立つ関係式を記述解答用紙に記入しなさい。

(3) (1) と (2) の関係式から V を求めよ。次の式中の空欄 [1]，[2] に入れる文字として最も適切なものを下の①～⑨のうちから一つずつ選び，答えなさい。ただし，同じものを繰り返し選んでも良い。

$$V = \frac{v_0}{M+m}\left(m + \boxed{1}\,\boxed{2}\right)$$

① M　② m　③ v_0　④ e　⑤ $1/M$　⑥ $1/m$　⑦ $1/v_0$　⑧ $1/e$
⑨ 2

(4) (1) と (2) の関係式から v を求めよ。次の式中の空欄 [3]，[4] に入れる文字として最も適切なものを下の①～⑨のうちから一つずつ選び，答えなさい。ただし，同じものを繰り返し選んでも良い。

$$v = \frac{v_0}{M+m}\left(m - \boxed{3}\,\boxed{4}\right)$$

① M　② m　③ v_0　④ e　⑤ $1/M$　⑥ $1/m$　⑦ $1/v_0$　⑧ $1/e$
⑨ 2

(5) 衝突により失われる運動エネルギー ΔE を求めよ。次の式中の空欄 [5] に入れる文字として最も適切なものを下の①～⑨のうちから一つ選び，答えなさい。

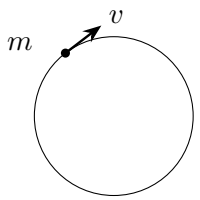
$$\Delta E = \frac{1}{2}m{v_0}^2\,\frac{M}{M+m}\left(1 - \boxed{5}\right)$$

① M　② m　③ $-e$　④ e　⑤ e/M　⑥ e/m　⑦ e/v_0　⑧ $1/e$
⑨ e^2

(6) 衝突の際に運動エネルギーが保存されるのは e がどんな値をとるときか。記述解答用紙に記入しなさい。

2 以下の空欄 [1]〜[6] を適切な選択肢で埋め，答えなさい。

磁束密度 B［T］の一様な磁場の中，磁場に垂直な面内で質量 m［kg］，電荷 e［C］の正の荷電粒子が真空中で等速円運動をしている。粒子の速さ v［m/s］は光速に比べて充分に小さく，その運動エネルギー E は $E = \dfrac{1}{2}mv^2$［J］で与えられるものとする。電磁波放出による運動エネルギーの減少および重力の影響は無視する。



図

図のように，荷電粒子が時計回りに円運動をする場合，磁場は，紙面の [1] の方向に向いている。等速円運動の半径は [2]，円運動の角速度は [3] である。磁束密度 $B = 1.00\,\mathrm{T}$，質量 $m = 1.67 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$，電荷 $e = 1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$，荷電粒子の運動エネルギー $= 1.67 \times 10^{-14}\,\mathrm{J}$ のとき，粒子の速さは [4]，等速円運動の半径は [5]，回転数は [6] である。円周率は 3.14 とする。

必要ならば以下の近似値を用いよ。

$\sqrt{2} \fallingdotseq 1.41$，$\sqrt{20} \fallingdotseq 4.47$

空欄 [1] の選択肢：

ⓐ 裏から表，　ⓑ 表から裏

空欄 [2]，[3] の選択肢：

① $\dfrac{\sqrt{2mE}}{eB}$　② $\dfrac{eB}{\sqrt{2mE}}$　③ $\dfrac{eB}{2\pi m}$　④ $\dfrac{2\pi m}{eB}$　⑤ $\dfrac{eB}{m}$　⑥ $\dfrac{m}{eB}$

空欄 4 の選択肢：① $1.4 \times 10^5\,\mathrm{m/s}$　② $4.5 \times 10^5\,\mathrm{m/s}$　③ $1.4 \times 10^6\,\mathrm{m/s}$
④ $4.5 \times 10^6\,\mathrm{m/s}$　⑤ $1.4 \times 10^7\,\mathrm{m/s}$　⑥ $4.5 \times 10^7\,\mathrm{m/s}$

空欄 5 の選択肢：① 1.5 mm　② 4.7 mm　③ 1.5 cm
④ 4.7 cm　⑤ 1.5 m　⑥ 4.7 m

空欄 6 の選択肢：① 15 Hz　② 15 kHz　③ 15 MHz　④ 15 GHz
⑤ 15 THz

3 以下の空欄 1 ～ 17 を適切な選択肢で埋め，空欄 18 ，19 に入るべき式と数値を記述解答用紙に記入しなさい。ただし，選択肢は同じものを繰り返し選んでもよい。

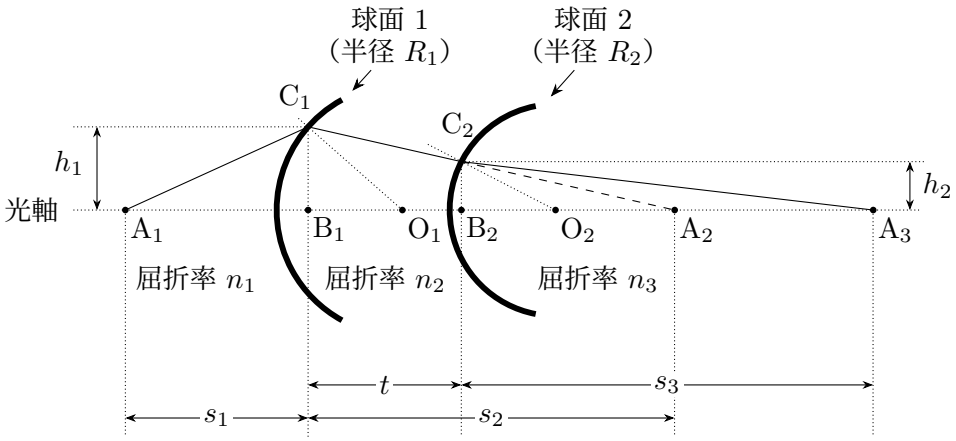


図 1

薄いレンズの焦点距離は，球面の半径と，球面前後の屈折率によって決めることができる。ここで，図 1 のように，2 つの球面からなるレンズの焦点距離を考える。球面 1 と球面 2 の中心をそれぞれ点 O_1，O_2，半径をそれぞれ R_1，R_2 とする。半径の符号は，球の中心が球面より後方にあるときは正，前方にあるときは負と定義する。光軸上の点 A_1 から発せられた光は，球面 1 の点 C_1 に当たって屈折し，光軸上の点 A_2 へ向かう。その後，光は球面 2 の点 C_2 に当たってさらに屈折し，光軸上の点 A_3 へ向かう。点 C_1，C_2 から光軸に下ろした垂線の足を点 B_1，B_2 とし，線分 A_1B_1，B_1B_2，B_1A_2，B_2A_3，C_1B_1，C_2B_2 の長さをそれぞれ s_1，t，s_2，s_3，h_1，h_2 とする。球面 1 より前方，球面 1 と球面 2 の間，球面 2 の後方の屈折率をそれぞれ n_1，n_2，n_3 とする。図 1 は，$R_1 > 0$，$R_2 > 0$，$n_2 > n_1$，$n_2 > n_3$ として描画したものである。

平面と同様に球面においても，面の法線に対する入射角と屈折角の間には屈折の法則が成立する。

法線 $\mathrm{O_1C_1}$，$\mathrm{O_2C_2}$ に対する屈折の法則を考えると，それぞれ次式が成り立つ。

$$\frac{\sin\left(\boxed{\ 1\ }+\boxed{\ 2\ }\right)}{\sin\left(\boxed{\ 2\ }-\angle \mathrm{C_1A_2B_1}\right)}=\frac{\boxed{\ 3\ }}{n_1}\quad\cdots(1),$$

$$\frac{\sin\left(\boxed{\ 4\ }-\angle \mathrm{C_2A_2B_2}\right)}{\sin\left(\boxed{\ 4\ }-\boxed{\ 5\ }\right)}=\frac{\boxed{\ 6\ }}{n_2}\quad\cdots(2)$$

一方，幾何学的関係から，以下の関係が成り立つ。

$$\tan\angle \mathrm{C_1A_1B_1}=\frac{\boxed{\ 7\ }}{\boxed{\ 8\ }}\quad\cdots(3),\qquad \tan\angle \mathrm{C_1A_2B_1}=\frac{h_1}{\boxed{\ 9\ }}\quad\cdots(4),$$

$$\sin\angle \mathrm{C_1O_1B_1}=\frac{\boxed{\ 10\ }}{\boxed{\ 11\ }}\quad\cdots(5),\qquad \tan\angle \mathrm{C_2A_2B_2}=\frac{h_2}{\boxed{\ 12\ }-\boxed{\ 13\ }}\quad\cdots(6),$$

$$\tan\angle \mathrm{C_2A_3B_2}=\frac{\boxed{\ 14\ }}{\boxed{\ 15\ }}\quad\cdots(7),\qquad \sin\angle \mathrm{C_2O_2B_2}=\frac{\boxed{\ 16\ }}{\boxed{\ 17\ }}\quad\cdots(8)$$

(1)〜(8) の式中にある角度はいずれも小さく，角度 θ が小さいときに成り立つ近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \fallingdotseq \theta$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$ を適用すると，(1)，(3)，(4)，(5) から次式が導かれる。

$$\frac{n_1}{s_1}+\frac{\boxed{\ 3\ }}{s_2}\fallingdotseq\frac{\boxed{\ 3\ }-n_1}{\boxed{\ 11\ }}\quad\cdots(9),$$

同様にして，(2)，(6)，(7)，(8) から次式が導かれる。

$$-\frac{\boxed{\ 3\ }}{\boxed{\ 12\ }-\boxed{\ 13\ }}+\frac{\boxed{\ 6\ }}{s_3}\fallingdotseq\frac{\boxed{\ 6\ }-\boxed{\ 3\ }}{\boxed{\ 17\ }}\quad\cdots(10)$$

ここで，$t \fallingdotseq 0$ である薄いレンズについては，(9)，(10) から次式が導かれる。

$$\frac{n_1}{s_1}+\frac{\boxed{\ 6\ }}{s_3}\fallingdotseq\boxed{\ 18\ }\quad\cdots(11)$$

(11) は，レンズの周囲の媒質が空気ではない場合にも適用できる一般化されたレンズの式である。レンズの式の右辺は焦点距離の逆数なので，これからレンズの焦点距離 f が次式で決まることがわかる。

$$\frac{1}{f}=\boxed{\ 18\ }\quad\cdots(12)$$

次に，図 2 に示す人の目について考える。角膜と水晶体は薄いレンズとみなすことができる。角膜と水晶体にかかる球面の半径と屈折率は表の通りである。(12) を用いて計算し，小数点以下を四捨五入して整数で表すと，角膜の焦点距離は $\boxed{\ 19\ }$mm である。

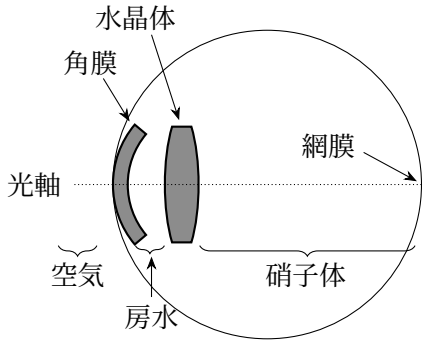


図 2

表

	球面 1 半径（mm）	球面 2 半径（mm）	屈折率
空気	—	—	1.000
角膜	7.8	7.3	1.380
房水	—	—	1.330
水晶体	10.0	−6.0	1.400
硝子体	—	—	1.330

空欄 1 , 2 , 4 , 5 の選択肢：

① $\angle C_1A_1B_1$　② $\angle C_1A_2B_1$　③ $\angle C_1O_1B_1$

④ $\angle C_2A_2B_2$　⑤ $\angle C_2A_3B_2$　⑥ $\angle C_2O_2B_2$

空欄 3 , 6 〜 17 の選択肢：

① s_1　② t　③ s_2　④ s_3　⑤ h_1　⑥ h_2　⑦ n_1　⑧ n_2　⑨ n_3

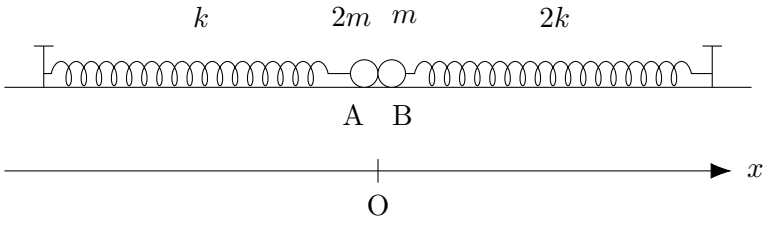
⓪ R_1　ⓐ R_2

物理②

（2 科目　120 分）

（注）解答欄には答えのみを記入して下さい。

1 図のように水平でなめらかな床にばね定数 k，$2k$ の 2 つのばねがそれぞれ一端をピンで固定され，他端にはそれぞれ質量 $2m$，m の小球 A，B が取り付けられている。図の状態で A，B はばねを固定した 2 つのピンのちょうど中央に接触したまま静止しており，このとき 2 つのばねはともに自然長の状態にある。この状態から小球 A を左向きに a（> 0）だけ移動させて静かに放すとき起こる運動について，以下の設問に答えよ。ただし，小球はバネを含む直線上のみに運動し，最初の小球の静止位置を原点，水平右向きに x 軸をとって小球の位置を表す。



(1) 小球 A を放してから A が B に衝突するまでの時間 T を求めよ。次の式中の空欄 [1] に入る文字として最も適切なものを下の①〜⑨から選び，答えなさい。

$$T = \boxed{1}\sqrt{\frac{2m}{k}}$$

① m　② k　③ a　④ $\frac{\pi}{4}$　⑤ $\frac{\pi}{2}$　⑥ π　⑦ $\frac{3\pi}{2}$　⑧ $\frac{5\pi}{4}$　⑨ 2π

小球 A と B の衝突は完全非弾性衝突であり，A，B は衝突後しばらく一体となって運動してその後離れた。

(2) 衝突直後の A，B の速さ v を求めよ。次の式中の空欄 [2] に入る文字として最も適切なものを下の①〜⑨から選び，答えなさい。

$$v = \boxed{2}\sqrt{\frac{k}{2m}}$$

① 0　② $\frac{a}{4}$　③ $\frac{a}{3}$　④ $\frac{a}{2}$　⑤ $\frac{\pi}{2}$　⑥ $\frac{2a}{3}$　⑦ $\frac{3a}{4}$　⑧ a　⑨ $2a$

(3) A，B は一体のままある位置まで達して折り返す。その位置の座標 b を小数第 1 位まで（小数第 2 位を四捨五入）求めよ。次の式中の空欄 [3] に入る文字として最も適切なものを下の①〜⑨から選び，答えなさい。

$$b = 0.\boxed{3}a$$

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9

(4) A，B が一体となっている間，座標 x の位置で A が B から受けている力 F を右向きを正として求めよ。次の式中の空欄 [4]，[5] に入る文字として最も適切なものを下の①〜⑨から選び，答えなさい。ただし，同じものを繰り返し選んでも良い。

$$F = -\boxed{4}\boxed{5}$$

① m　② k　③ a　④ x　⑤ x^2　⑥ π　⑦ $\frac{3\pi}{2}$　⑧ $\frac{5\pi}{4}$　⑨ 2π

(5) A，B が離れる位置の座標を記述解答用紙に記入しなさい。

2 以下の文中の空欄 [1] ～ [6] を適切な 0 から 9 の整数で埋め，答えなさい。ただし，$\frac{\boxed{4}}{\boxed{3}}$，$\frac{\boxed{6}}{\boxed{5}}$ は既約分数とする。空欄 [7] に入る既約分数を記述解答用紙に記入しなさい。

起電力 V の電池および抵抗値 R の抵抗 4 本を図 1 のように接続すると，D 点を基準とした C 点の電位は [1] $\times V$ であり，抵抗値 R の抵抗 4 本を図 2 のように接続したときの AB 間の合成抵抗は [2] $\times R$ となる。

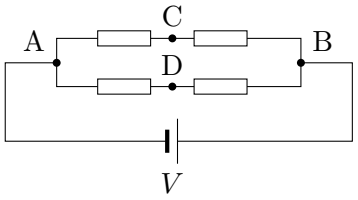


図 1

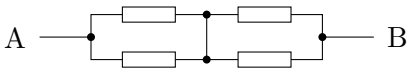


図 2

抵抗値 R の抵抗 12 本を図 3 のように立体的に接続した。

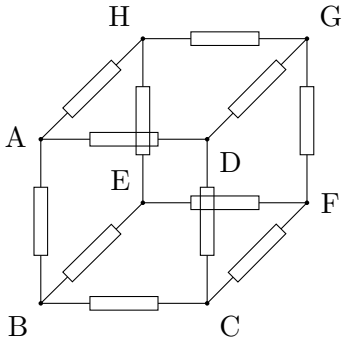


図 3

頂点 AF 間に電池をつなぐと，対称性から B，D，H の（F を基準とした）電位は等しく，B，D，H を導線で結んでも各抵抗に流れる電流に変化はない。C，E，G についても同様なことがいえる（図 4 参照）。したがって，図 3 の AF 間の合成抵抗は $\frac{\boxed{4}}{\boxed{3}} \times R$ である。

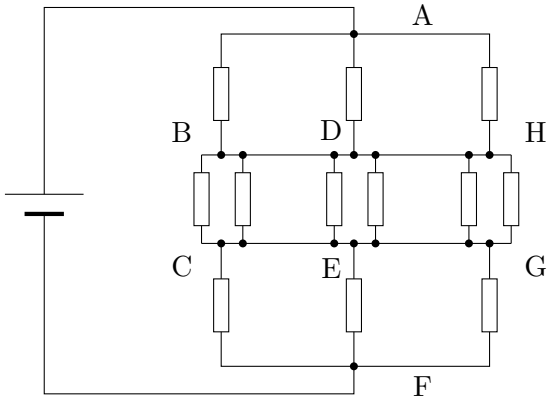


図 4

頂点 AG 間に電池をつないだ場合には，対称性から C，E，D，H の（G を基準とした）電位は等しく，（CE，DH をそれぞれ導線でつなぎ，）CD 間，EH 間の抵抗を取り外しても各抵抗に流れる電流に変化はない（図 5 参照）。したがって，図 3 の AG 間の合成抵抗は $\frac{\boxed{6}}{\boxed{5}} \times R$ である。

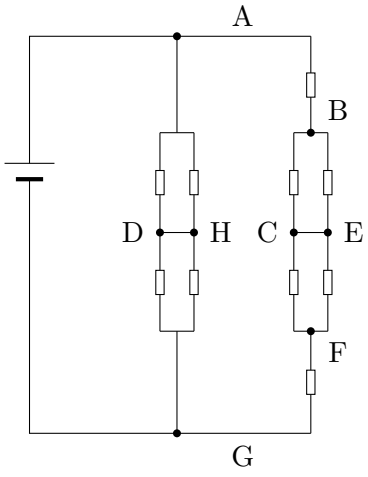
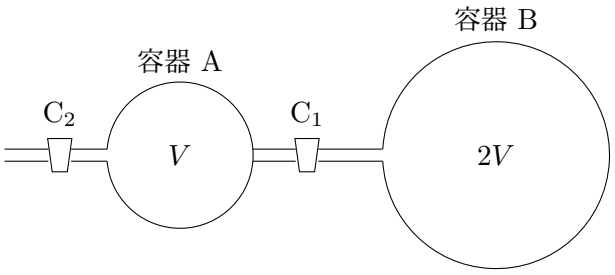


図 5

上記と同様に考えると，図 3 の頂点 AH 間の合成抵抗は，$\boxed{7} \times R$ である。

3 次の文中の，空欄［ ア ］に適切な数式を記述解答用紙に記入し，空欄［ 1 ］～［ 6 ］に入る最も適切なものを各空欄に対応する選択肢から選びなさい。

図に示すように容積が V［m^3］の容器 A と，容積が $2V$［m^3］の容器 B がコック C_1 のついた細い管でつながれている。また，A にはコック C_2 のついた細い管があり外部と通じている。外部の気体の圧力は P［Pa］，A 内の気体の温度は T［K］でそれぞれ常に一定に保たれている。なお，容器内外の気体は同じ単原子分子の理想気体であるものとし，気体定数を R［J/mol·K］とする。



図

初めに C_1 と C_2 は閉じられており，B 内の気体の温度は T［K］，A 内の気体の圧力は P［Pa］，B 内の気体の圧力は $2P$［Pa］であったとする。このとき，A および B 内の気体の物質量の総和は［ ア ］［mol］である。次に B 内の気体の温度を T［K］に保って C_1 を開けると B 内の気体の圧力は［ 1 ］［Pa］となる。

C_1 を開けたままで，B 内の気体の温度を $3T$［K］にあげる。このとき，B 内の気体の圧力は［ 2 ］［Pa］で，B 内の気体の物質量は［ 3 ］［mol］である。次に C_1 を閉じて，B 内の気体の温度を T［K］に下げる。このとき，B 内の気体の圧力は［ 4 ］［Pa］となる。

ここで C_2 を開け，A 内の圧力が P［Pa］となった後に C_2 を閉じる。このとき，A から外部へ失われる気体の物質量は［ 5 ］［mol］である。また，B 内の気体の温度を T［K］に保って C_1 を開けると，A 内の気体の圧力は［ 6 ］［Pa］となる。

空欄［ 1 ］の選択肢：

① $\frac{1}{3}P$　② $\frac{2}{3}P$　③ P　④ $\frac{4}{3}P$　⑤ $\frac{5}{3}P$　⑥ $2P$　⑦ $\frac{7}{3}P$　⑧ $\frac{8}{3}P$
⑨ $3P$

空欄［ 2 ］の選択肢：

① $\frac{1}{3}P$　② $\frac{2}{3}P$　③ P　④ $\frac{4}{3}P$　⑤ $\frac{5}{3}P$　⑥ $2P$　⑦ $\frac{7}{3}P$　⑧ $\frac{8}{3}P$
⑨ $3P$

空欄 3 の選択肢：

① $\dfrac{PV}{2RT}$　② $\dfrac{PV}{RT}$　③ $\dfrac{3PV}{2RT}$　④ $\dfrac{2PV}{RT}$　⑤ $\dfrac{5PV}{2RT}$　⑥ $\dfrac{3PV}{RT}$

空欄 4 の選択肢：

① $\dfrac{1}{3}P$　② $\dfrac{2}{3}P$　③ P　④ $\dfrac{4}{3}P$　⑤ $\dfrac{5}{3}P$　⑥ $2P$　⑦ $\dfrac{7}{3}P$　⑧ $\dfrac{8}{3}P$

⑨ $3P$

空欄 5 の選択肢：

① $\dfrac{PV}{2RT}$　② $\dfrac{PV}{RT}$　③ $\dfrac{3PV}{2RT}$　④ $\dfrac{2PV}{RT}$　⑤ $\dfrac{5PV}{2RT}$　⑥ $\dfrac{3PV}{RT}$

空欄 6 の選択肢：

① $\dfrac{1}{3}P$　② $\dfrac{2}{3}P$　③ P　④ $\dfrac{4}{3}P$　⑤ $\dfrac{5}{3}P$　⑥ $2P$　⑦ $\dfrac{7}{3}P$　⑧ $\dfrac{8}{3}P$

⑨ $3P$