

注 意 事 項

1. 開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけない。
2. 開始の合図の後、解答にかかる前に、まず、問題の部分が14ページからなっていることを確認すること。
3. 問題は全部で4問ある。
4. 解答は解答冊子のそれぞれの問題に対応する欄の中に記すこと。
5. 余白は数値計算などに利用してよい。
6. 解答冊子は持ち帰ってはいけない。
7. この問題冊子は持ち帰ること。

- 1 滑らかな水平面上で運動している質量 M [kg] の小物体 A と質量 m [kg] ($M \geq m$) の小物体 B を上から観察する。小物体自体の回転の影響や、小物体と水平面の摩擦、空気抵抗、重力の影響は無視できるものとする。また、小物体 A と小物体 B には衝突の瞬間だけ力が働くものとする。

図 1 に示すように直交する x 軸と y 軸をとる。小物体 A は x 軸の正方向に速さ V_0 [m/s] で運動している。静止している小物体 B に小物体 A が完全非弾性衝突したときの運動を考える。衝突後、小物体 A と小物体 B は一体となって質量が $M + m$ の小物体 C となり、速さ V_1 [m/s] で x 軸の正方向に運動する。衝突前の小物体 A と小物体 B がもつ運動エネルギーの合計と、衝突後の小物体 C の運動エネルギーの差を Q [J] ($Q > 0$) とする。このとき、以下の問 1 ～問 3 に答えよ。

問 1 衝突前後の x 軸方向の運動量保存則を表す式を、 M , m , V_0 , V_1 の中から必要な記号を用いて表せ。さらに、衝突後の速さ V_1 を、 M , m , V_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

問 2 問 1 の結果を用いて、エネルギー Q を、 M , m , V_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

問 3 エネルギー Q はどのような種類のエネルギーになっていると考えられるか。具体例をひとつ挙げよ。

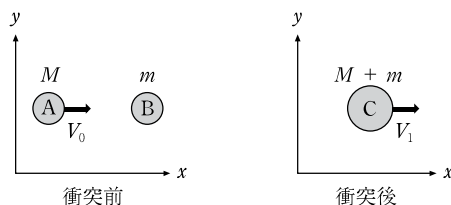


図 1

図2に示すように直交する x 軸と y 軸をとる。 x 軸の正方向に速さ V_0 で運動している質量 M の小物体 A が、静止している質量 m の小物体 B に弾性衝突(運動エネルギーと運動量が保存する衝突)をしたときの運動を考える。衝突後、小物体 A は速さ V_2 [m/s]、小物体 B は速さ U_2 [m/s] ($U_2 \neq 0$) で x 軸の正方向に運動する。このとき、以下の問4と問5に答えよ。

問4 衝突前後のエネルギー保存則と x 軸方向の運動量保存則を表す式を、 M 、 m 、 V_0 、 V_2 、 U_2 の中から必要な記号を用いて表せ。

問5 問4の結果を用いて、衝突後の小物体 A の速さ V_2 と小物体 B の速さ U_2 を、 M 、 m 、 V_0 の中から必要な記号を用いて表せ。必要であれば次の公式を用いてよい。

$$ax^2 + bx + c = 0 \text{ かつ } a \neq 0 \text{ のとき, } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

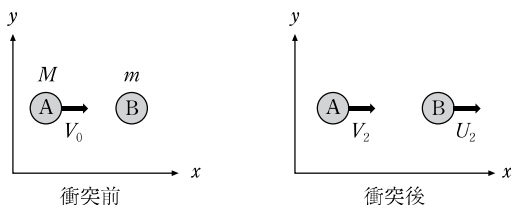


図2

図3に示すように直交する x 軸と y 軸をとる。 x 軸の正方向に速さ V_0 で運動している質量 M の小物体 A が、静止している質量 m の小物体 B に弾性衝突(運動エネルギーと運動量が保存する衝突)をし、小物体 A は x 軸の正方向から反時計回りで角度 θ [$^\circ$] ($0 < \theta < 90^\circ$) 方向に速さ V_3 [m/s] で運動し、小物体 B は x 軸の正方向から時計回りで角度 ϕ [$^\circ$] ($0 < \phi < 90^\circ$) 方向に速さ U_3 [m/s] で運動する場合を考える。衝突前から衝突の瞬間までの小物体を破線の円、衝突後の小物体を実線の円で示す。衝突の際、小物体間に生じる摩擦は無視できるものとする。このとき、以下の問6と問7に答えよ。

問6 衝突前後のエネルギー保存則、 x 軸方向の運動量保存則、 y 軸方向の運動量保存則を表す式を、 M , m , V_0 , V_3 , U_3 , θ , ϕ の中から必要な記号を用いて表せ。

問7 衝突後の小物体 A と小物体 B の速度ベクトルのなす角は直角だった($\theta + \phi = 90^\circ$)。このとき、小物体 B の質量 m を、 M を用いて表せ。必要であれば次の公式を用いてよい。

$$\sin(90^\circ - \phi) = \cos \phi, \quad \cos(90^\circ - \phi) = \sin \phi, \quad \sin(\theta + \phi) = \sin \theta \cos \phi + \cos \theta \sin \phi$$

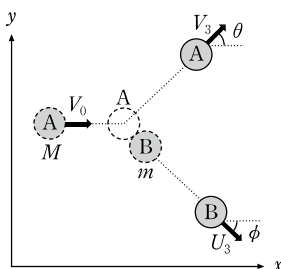


図3

(このページは空白)

2 図4のような電池，平行板コンデンサー，抵抗，スイッチからなる回路について考えてみよう。

電池の起電力の大きさは V [V] であり，コンデンサー A の電気容量は最初 C_A [F] である。コンデンサー B の電気容量は C_B [F]，抵抗 a, b の抵抗値は R_a [Ω]， R_b [Ω] である。コンデンサーの極板間は真空であり，極板の端の影響は無視できるものとする。また，導線の抵抗，電池の内部抵抗は無視できるものとする。

はじめ，スイッチ 1, 3 は開いているが，スイッチ 2 は閉じている。コンデンサー A, B には電荷は蓄えられていない状態であった。スイッチ 1 を閉じたときに，以下の問 1 ～問 3 に答えよ。

問 1 スwitch 1 を閉じた直後に，抵抗 a を流れる電流 I_0 [A] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 2 スwitch 1 を閉じて十分に時間が経過したときに，抵抗 a を流れる電流 I_1 [A] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 3 問 2 について，コンデンサー A に蓄えられる電気量 Q_1 [C] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 3 の状態から，スイッチ 1 を閉じたまま，スイッチ 2 を開いて十分に時間が経過したときに，次の問 4 に答えよ。

問 4 コンデンサー A に蓄えられる電気量 Q_2 [C] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 4 の状態から，図 5 のように，コンデンサー A の極板の間隔を半分にした。十分に時間が経過したときに，次の問 5 に答えよ。

問 5 コンデンサー A に蓄えられる電気量 Q_3 [C] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 5 の状態から，スイッチ 1 を開いた後，コンデンサー A の極板の間隔を元に戻し，最初の電気容量 C_A にした。十分に時間が経過したときに，次の問 6 に答えよ。

問 6 コンデンサー A の極板間の電位差 V_1 [V] を， C_A , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

問 6 の状態から、スイッチ 3 を閉じて十分に時間が経過したときに、次の問 7 に答えよ。

問 7 コンデンサー A に蓄えられる電気量 Q_A [C] を、 C_A , C_B , R_a , R_b , V の中から必要な記号を用いて表せ。

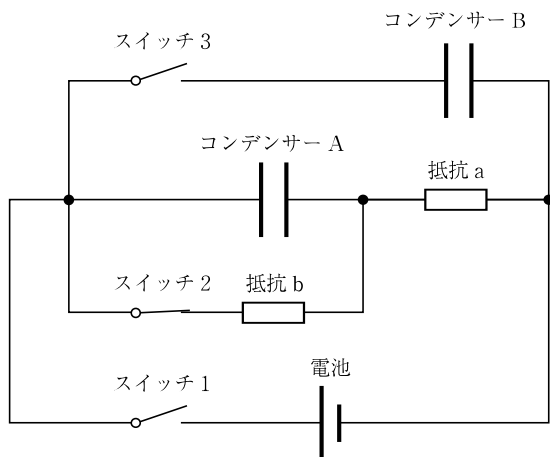


図 4

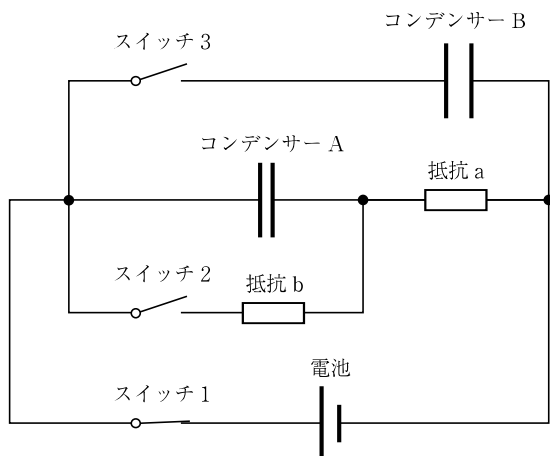


図 5

3 人類の「光」への興味は、人類の知的探求の歴史とともにある。科学者は、光の正体を探索する苦闘を続け、新たな現象を発見し、新たな法則を解明してきた。その歴史を概観しよう。

「光」の正体解明について、17世紀末のホイヘンスによる研究が特筆される。ホイヘンスは「光は波である」という考えに基づいて、光に関わる現象を説明した。18世紀初頭、ニュートンは「光は粒子である」という議論を展開した。その後、「光は波か粒子か」という問題について論争が展開された。

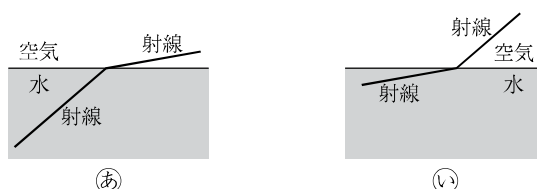
a) 光が空気と水の境界を通過すると屈折する。ホイヘンスは、空気中での光の波の速さが水中より速いとして、この現象を説明し、ニュートンは、水中での光の粒子の速さが空気中より速いとして説明を試みた。b) ヤングは、太陽光を小さな穴に通し、その光を2つのスリットに照射し、スリットを通過した光が (ア) を作ることを示し、「光は波である」ことを検証した。しかし、「空気中の光の速さと水中の光の速さの関係」については決着していなかった。

19世紀半ば、c) フーコーは、図6 (10ページ) のような高速回転する鏡を使った実験装置を用いて、水と空気を伝わる光の速さの違いを測定した。フーコーの結果は、屈折現象から予想されていた光の速さと一致するもので、光は波であることを数値的に明らかにした。

19世紀末、レントゲンが極めて透過性の高いX線を発見し、放射線および素粒子の発見へと門戸を開いた。20世紀になり、アインシュタインは、光電効果を理解するためには、光は「粒子の性質」をもつことが必要であると指摘した。その後、X線はエネルギーの大きな電磁波であることが判明し、d) X線が波の性質とともに、粒子の性質をもつことが明らかになった。

空気中の光の速さを c [m/s]、水中の光の速さを c' [m/s] として、以下の問いに答えよ。

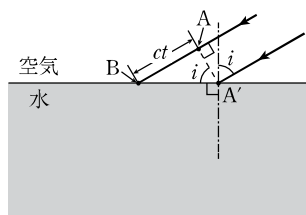
問1 下線部 a) について、「光が空気中から水中へ進行する場合」と「光が水中から空気中へ進行する場合」について、光が進む向き(射線)はどのようになるか、下図から、それぞれの場合について、㊸か㊹を選択せよ。



空気中と水中を進む光の射線の選択肢
射線に矢印は付けていない。

問2 下線部 a) についての問いである。「光が空気から水中へ進む場合」について、ホイヘンスの考え方に基づいて屈折現象を説明し、 $c > c'$ であるとして入射角 i [rad] と屈折角 r [rad] の大小関係を示せ。

解答欄には、空気中を進む光が入射角 i で、水面に向かっていている場合について、説明の前半が書かれている。解答欄には下図と同じ図が描かれているので、必要な線や記号などを書き入れ、屈折角を r として説明の後半を完成させよ。



解答欄に描かれている図

問3 下線部 b) について、ア に入る適切な語句を答えよ。

問4 下線部 d) について、X線が「波の性質」をもつことはX線回折の観測によって確認された。「粒子の性質」を表す用語について、適切なものを以下の選択肢からひとつ選び、㉔～㉞で答えよ。

- ㉔ コンプトン効果 ㉕ フランク・ヘルツの実験 ㉖ リュードベリ定数

下線部 c)について考える。以下は、フーコーの実験の説明とフーコーが用いた装置の概念図(図 6)である。なお、簡単のために、光は図 6 の紙面内だけを進むものとし、すべての反射は光の射線と鏡の角度によって決まり(反射の法則)、反射の前後で光の速さは変わらないものとする。

- C を通り紙面に垂直な直線を回転軸として、平面鏡が時計まわりに、図 6(a)と(b)の

$$\cdots \rightarrow \textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2} \rightarrow \textcircled{3} \rightarrow \textcircled{4} \rightarrow \textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2} \rightarrow \cdots$$

のように角速度 ω [rad/s] で回転する(「回転する鏡」)。

- M_1 , M_1' , M_2 は「球面鏡」で、C を中心とする半径 R [m] の球面の一部を凹面鏡としたものである。紙面上で球面は図 6 の円で示されている。

- 直線 CM_2 上(図 6(b))を進む光が、一部、水中を通過するように、長さ L [m] ($L < R$) の水槽が設置されて、静止している。水槽以外、光は空气中を通過する。水槽の容器の影響や物質の境界での屈折などは考えなくてよい。

- 図 6(a)の場合、光は光源 S から入射し、「回転する鏡」上の C と「球面鏡」 M_1 で反射し

$$S \rightarrow \textcircled{1} \text{ 上の } C \rightarrow M_1 \rightarrow \textcircled{2} \text{ 上の } C \rightarrow A$$

と進み、点 A で観測される。光は空气中のみを進む。

- 図 6(b)の場合、光は光源 S から入射し、「回転する鏡」上の C と「球面鏡」 M_2 で反射し

$$S \rightarrow \textcircled{3} \text{ 上の } C \rightarrow M_2 \rightarrow \textcircled{4} \text{ 上の } C \rightarrow W$$

と進み、点 W で観測される。 $C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ では、光は距離 $2L$ の水中と距離 $2(R - L)$ の空气中を進む。

- 入射した光が、C で反射して再び C に戻る間に、「回転する鏡」の角度が変化する。図 6(a) で①から②の角度の変化を θ [rad] とし、図 6(b)で③から④の角度の変化を $\theta \times (1 + \delta)$ [rad] とする。

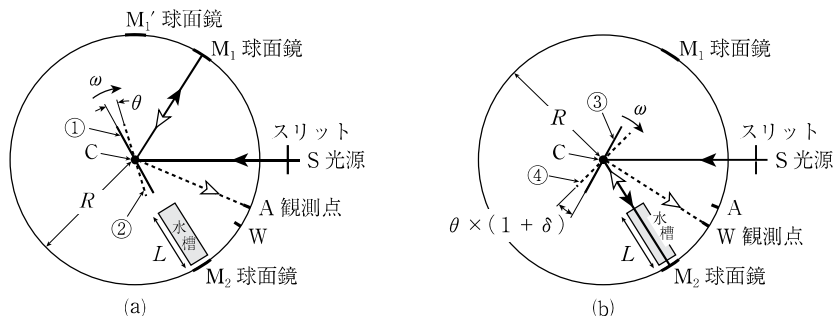
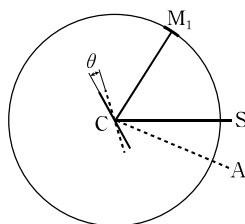


図6：フーコーが用いた装置の概念図

①～④は平面鏡(「回転する鏡」)を表す。

フーコーの実験について、以下の問5～問9に答えよ。

問5 図6(a)の M_1 で反射する光について考えて、 $\angle SCA$ の大きさを θ で表せ。解答欄には下図と同じ図が描かれているので、記号や補助線を書き足して説明に用いてもよい。



解答欄に描かれている図

問6 図6(a)における $C \rightarrow M_1' \rightarrow C$ が光が進む場合も、光が観測される位置は点Aであることを、問5の $\angle SCA$ の結果を用いて説明せよ。

問7 光が $C \rightarrow M_1 \rightarrow C$ を進む時間 T [s] と $C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ を進む時間 T' [s] を、 R 、 L 、 c 、 c' の中から必要なものを用いて表せ。

問8 「回転する鏡」が一定の角速度 ω で回転しているものとして、空気中と水中の光の速さの比 $\frac{c}{c'}$ を、問7の結果を用いて、 R 、 L 、 δ の中から必要なものを用いて表せ。

問9 $R = 4 \text{ m}$ 、 $L = 2 \text{ m}$ で測定すると $\delta = \frac{1}{6}$ となったとする。問8の結果を用いて、水の真空に対する屈折率として最も適切な値を下の選択肢から選び、㉔～㉖で答えよ。なお、空気の真空に対する屈折率を1とし、計算過程を明記すること。

- ㉔ 0.8 ㉕ 1.0 ㉖ 1.3

- 4 トムソンの陰極線実験とミリカンの油滴実験は、原子がさらに小さな粒子で構成されていることを明らかにし、原子モデルの発展に貢献した。これにより、電子の質量や電荷の性質が理解され、量子力学や原子物理学の基礎が築かれた。これら二つの実験に関する文章を読み、以下の問いに答えよ。なお、実験で使用している電極の端の効果は無視出来るものとする。

トムソンの実験

トムソンは、陰極線に電場と磁場をかけ、その軌跡を調べる実験を行った。そして、陰極線が負の電気をもった小さな粒子(微粒子)であると仮定し、その微粒子の電気量 $-e$ [C] ($e > 0$) の大きさと質量 m [kg] の比 $\frac{e}{m}$ を求めた。その比は、比電荷と呼ばれている。その後、この微粒子は、いろいろな物質に共通に含まれていることがわかり、後に電子と呼ばれるようになった。

トムソンの実験にならい、図 7 のように、直交する x 軸と y 軸をとり、長さ l [m]、間隔 d_1 [m] の平行板電極を y 軸と垂直に真空中に置く。その電極には起電力 V_1 [V] ($V_1 > 0$) の電池が接続されており、電極間には (ア) 軸の (イ) の向きに一樣な電場が生じている。なお、電子にはたらく重力や抵抗力による影響は考えなくてよい。

最初に、紙面の表から裏の向きに一樣な磁束密度 B [T] の磁場を加え、電子を速さ v_0 [m/s] で x 軸に平行に原点 O から電極間へ入射させる場合を考える。電子が電場からうける (ウ) と磁場からうける (エ) をつり合わせて、電子を x 軸上の正の方向へ直進させ、点 $P(1, 0)$ に到達させた。以下の問 1 と問 2 に答えよ。

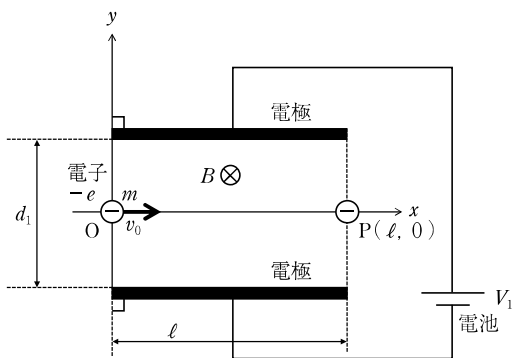


図 7

問1 (ア) ～ (エ) に入る適切な語句を以下の選択肢からひとつずつ選び、①～⑧で答えよ。

(ア)と(イ)の選択肢：① x ② y ③ 正 ④ 負

(ウ)と(エ)の選択肢：⑤ ローレンツ力 ⑥ 重力 ⑦ 弾性力 ⑧ 静電気力

問2 電子の速さ v_0 を、 B 、 d_1 、 V_1 を用いて表せ。

次に、磁場を加えることをやめ、図8のように、電子を問2と同じ速さ v_0 で x 軸に平行に原点 O から電極間へ入射させる場合を考える。入射した電子は、 y 軸の正の方向に変位 y_1 (m) だけずれ、点 $P'(\ell, y_1)$ に到達した。ただし、電子は、電極に衝突することなく電極間を運動するものとする。次の問3に答えよ。

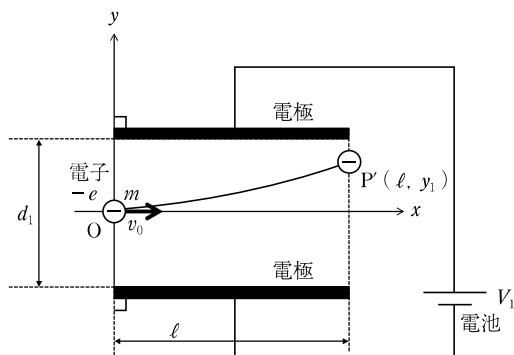


図8

問3 上の実験結果と問2の結果を用いて、電子の比電荷の大きさが、次式で与えられることを示せ。

$$\frac{e}{m} = \frac{2V_1 y_1}{B^2 d_1 l^2}$$

電子の比電荷

今日知られている電子の比電荷は、次の値である。

$$\frac{e}{m} = 1.75882001076 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

ミリカンの実験

陰極線の正体である電子の電気量を求める実験は、ミリカンによって行われた。ミリカンの実験にならない、図 9 のように、鉛直上向きに y 軸をとり、間隔 d_2 [m] の平行板電極を y 軸と垂直に空气中に置く。その電極には、スイッチと起電力 V_2 [V] の電池が接続されている。スイッチを閉じると、電極間に一様な電場を加えることができる。その電極間に質量 M [kg]、電気量 $-q$ [C] ($q > 0$) に帯電した霧状の油滴を y 軸方向にのみ運動させた。油滴は軽いので、運動を始めてすぐに速さに比例する空気抵抗(比例定数 k [kg/s])により終端速度に達し、等速度運動をした。その運動を調べることによって、油滴がもつ電気量を測定した。なお、重力加速度を g [m/s²] とし、油滴の運動は電極間のみを考える。

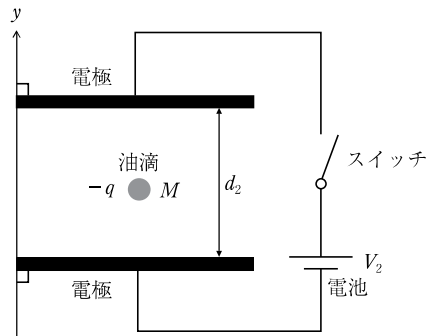


図 9

はじめ、スイッチは開いた状態であった。油滴は落下し終端速度は u_1 [m/s] であった。次の問 4 に答えよ。

問 4 油滴の終端速度の大きさ u_1 を、 d_2 、 V_2 、 k 、 M 、 g 、 q の中から必要なものを用いて表せ。

続いて、スイッチを閉じた。油滴は上昇し終端速度は u_2 [m/s] であった。以下の問 5 と問 6 に答えよ。

問 5 油滴の終端速度の大きさ u_2 を、 d_2 、 V_2 、 k 、 M 、 g 、 q の中から必要なものを用いて表せ。

問 6 問 4 と問 5 の結果より Mg を消去して、油滴の電気量の大きさ q を、 d_2 、 V_2 、 k 、 u_1 、 u_2 を用いて表せ。

電気素量

ミリカンは、電気量の異なる数多くの油滴により実験を行い、 e が電気量の最小単位であることを明らかにした。これを電気素量という。この電気素量 e は、トムソンの実験で考えた電子の電気量の絶対値であり、次のように定められている。

$$e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$$

電子の質量

以上の二つの実験から、電子の比電荷と電気素量を求めることができた。次の問7に答えよ。

問7 電子の質量 m の大きさとして最も適切なものを以下の選択肢からひとつ選び、①～④で答えよ。なお、計算過程も明記すること。

- ① $1.1 \times 10^{-30} \text{ kg}$ ② $9.1 \times 10^{-31} \text{ g}$ ③ $1.1 \times 10^{-30} \text{ g}$ ④ $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

令和7年度入学者選抜
学力検査解答冊子
(前期日程)

理 科 (物理基礎・物理)
解 答 冊 子

(工学部)

注 意 事 項

1. 開始の合図があるまで、この解答冊子を開いてはいけない。
2. 開始の合図の後、解答にかかる前に、まず、解答冊子が10ページからなっていることを確認すること。
3. 開始の合図の後、志願学科、受験番号をこの表紙の所定の欄に記入すること。
4. この解答冊子はばらばらにしてはいけない。
5. 解答はそれぞれの問題に対応する欄の中に記すこと。
6. 解答には必要な計算過程も記すこと。
7. この解答冊子は持ち帰ってはいけない。

受験番号

志願学科

	1	2	3	4	総 計
得点					

(このページは空白)

問 1	x 軸方向の運動量保存則を表す式： $V_1 =$
問 2	$Q =$
問 3	
問 4	エネルギー保存則を表す式： x 軸方向の運動量保存則を表す式：
問 5	$V_2 =$ $U_2 =$

問 6	エネルギー保存則を表す式： x 軸方向の運動量保存則を表す式： y 軸方向の運動量保存則を表す式：
問 7	$m =$

問
1

$$I_0 =$$

問
2

$$I_1 =$$

問
3

$$Q_1 =$$

問
4

$$Q_2 =$$

問

5

$$Q_3 =$$

問

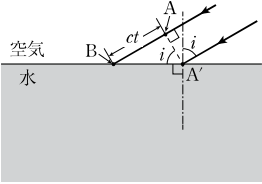
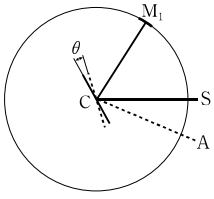
6

$$V_1 =$$

問

7

$$Q_4 =$$

問 1	空気中から水中	水中から空気中
問 2	右図は、空気中を進む光が入射角 i ($0 < i < \pi/2$) で水面に向かっていている様子である。時刻ゼロの波面が AA' であるとし、点 A を通過した波が時刻 t [s] に点 B へ達したとすると  $\overline{AB} = ct$ となる。このとき $\overline{A'B} \sin i = \overline{AB}$ なので $\overline{A'B} \sin i = ct$ となる。 また、点 A' を通過した波が時刻 t に点 B' に達したとすると i と r の大小関係：	
問 3		問 4
問 5	 $\angle SCA =$	

得点 3

[illegible]

問 6			
問 7	<table border="1"><tr><td>$C \rightarrow M_1 \rightarrow C$ $T =$</td><td>$C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ $T' =$</td></tr></table>	$C \rightarrow M_1 \rightarrow C$ $T =$	$C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ $T' =$
$C \rightarrow M_1 \rightarrow C$ $T =$	$C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ $T' =$		
問 8	<table border="1"><tr><td colspan="2"></td></tr></table> $\frac{c}{c'} =$		
問 9	<table border="1"><tr><td>記号</td><td>計算過程</td></tr></table>	記号	計算過程
記号	計算過程		

問 6			
問 7	$C \rightarrow M_1 \rightarrow C$	$C \rightarrow M_2 \rightarrow C$	
	$T =$	$T' =$	
問 8			
	$\frac{c}{c'} =$		
問 9	記号	計算過程	

問 6	
問 7	$C \rightarrow M_1 \rightarrow C$ $T =$ $C \rightarrow M_2 \rightarrow C$ $T' =$
問 8	$\frac{c}{c'} =$
問 9	記号 計算過程

問 1	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
問 2	$v_0 =$			
問 3				

問 4		
問 5		
問 6		
問 7	(選択肢)	

