

2021 年度 入学試験問題

理 科

(80 分)

物 理 [4 ~ 9 ページ]

化 学 [10 ~ 17 ページ]

生 物 [18 ~ 28 ページ]

受験についての注意

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはならない。
2. この問題冊子は 28 ページまでである。試験開始後、問題冊子の印刷不鮮明、ページの抜け落ち、ページ順序の誤りまたは解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
3. 解答用紙は**記述式解答用紙 A** 3 枚である。選択する科目によって解答用紙が異なるので、該当する科目の解答用紙を使用すること。
4. 監督者の指示に従って、解答用紙の所定欄に受験番号と氏名及びフリガナを正しく丁寧に記入すること（下の「解答用紙 記入上の注意」を参照）。選択しない科目を含め、3 枚とも記入すること。
5. 物理、化学、生物の中から 1 科目を選択し解答すること。
6. 選択しなかった科目の解答用紙は、試験終了後に回収する。
7. **解答用紙には、第 2 面にも解答欄があるので注意すること。**
8. 解答は解答用紙の所定欄に記入し、その他の部分には何も書かないこと。
9. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
10. 問題冊子は必ず持ち帰ること。

解答用紙 記入上の注意

受験番号の記入について

受験番号（英字と算用数字）は、次の記入例のように正しく丁寧に記入すること。

（記入例）

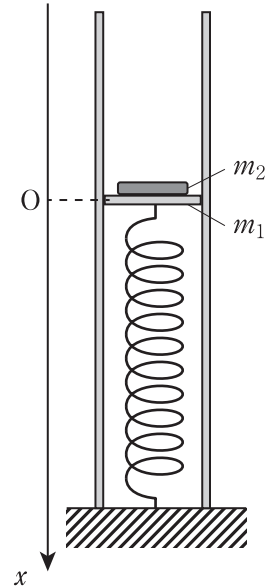
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			

物 理

- 1 次の文中の から にあてはまる適切な式または数値を解答用紙の所定欄に記入し、問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

図のようにばね定数 k の軽いばねの一端を水平な床に固定し、他端に質量が m_1 で厚さが無視できる板を取り付け、その上に質量 m_2 の小さなおもりをのせた。これらは床に鉛直に固定したじゅうぶん長い筒の中に置かれていて、鉛直方向にのみ運動する。鉛直下向きに x 軸をとり、筒と板の摩擦や空気抵抗は無視する。

はじめに、おもりはつりあいの位置で静止している。この位置を原点 O とする。おもりが原点 O の位置にあるとき、ばねは自然の長さ l から d だけ縮んでいる。このとき、おもりと板を一つの物体として考えると、この物体に働く鉛直方向の力は、重力 とばねの弾性力 の2つである。これらの力はつりあっているので という関係がある。



次に、おもりと板を下向きに動かして $x=x_0$ の位置までばねを縮め、その後静かに離した。その時刻を $t=0$ とする。その後、おもりと板は一体となって単振動した。位置が x のとき、おもりと板を一体とした単振動の運動方程式は加速度を a として d と g を含む式 で表される。 の関係を使うと、この式は と簡単に表すことができる。この単振動の角振動数は となり、このおもりの時刻 $t(\geq 0)$ における x 座標は となる。

その後、おもりと板をさらに動かして $x=x_1 (>x_0)$ の位置までばねを縮め、静かに離すと、最初それらは一体として運動したが、ある位置でおもりは板から離れて上向きに打ち出された。おもりが板から離れる位置を求めよう。おもりと板が一体となって運動しているときのおもりの位置を x 、加速度を a とし、おもりが板から受ける垂直抗力の大きさを N とすると、おもりの運動方程式は と表され、板の運動方程式は と表される。この2式から a を消去すると、 $N =$ となる。おもりが板から離れるのは $N =$ のときなので、そのときのおもりの位置は $x =$ となる。

このことから、おもりが板から離れるための最小の x_1 は となることもわかる。

問 力学的エネルギー保存の法則を用いて、 $m_1 = m_2 = m$ および $x_1 = 3d$ のとき、おもりが板から離れる瞬間の速さを求めよ。

物理の試験問題は次に続く。

2 次の文中の **あ** から **せ** にあてはまる適切な式または数値を解答用紙の所定欄に記入し、問いに答えよ。

I. 図1のように内部抵抗が無視できる起電力 V の電池，抵抗値 R の抵抗，静電容量 C のコンデンサー，スイッチが接続された回路がある。

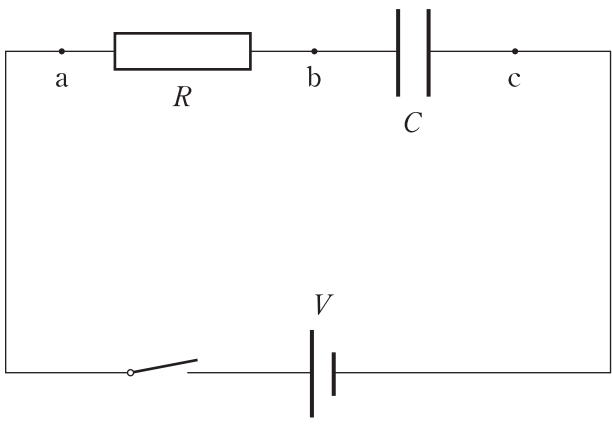


図1

最初，コンデンサーには電荷が蓄えられておらず，bc間の電位差は0であり，スイッチは開いていた。その後，時刻 $t=0$ でスイッチを閉じた。スイッチを閉じた直後に回路に流れる電流は **あ** である。

時刻 $t (> 0)$ でコンデンサーの左の極板に蓄えられている電気量を $Q (> 0)$ とすると bc間の電位差は **い** であり，回路を時計回りに流れている電流 I を用いると ab間の電圧降下は **う** である。この回路の電池の起電力は，ab間の電位差とbc間の電位差の和に等しいので **え** の関係がある。また電流は単位時間あたりに導線のある断面を通過する電気量であるので，微小時間 Δt の間にコンデンサーの左の極板上で増える電気量 ΔQ は， Δt の間に電流 I が変化しないものとみなすと **お** である。このことからコンデンサーに蓄えられる電気量の時間に関する変化率は Q, V, R, C を用いて $\frac{\Delta Q}{\Delta t} =$ **か** と表される。

じゅうぶん時間が経過すると $I =$ **き** となり，コンデンサーには **く** の電気量が蓄えられる。

問1 コンデンサーの左の極板に蓄えられる電気量を縦軸，時間を横軸にとって，概略をグラフにかけ。

II. 図2のように角周波数 ω の交流電源, 抵抗値 R の抵抗, 静電容量 C のコンデンサーが接続されている。

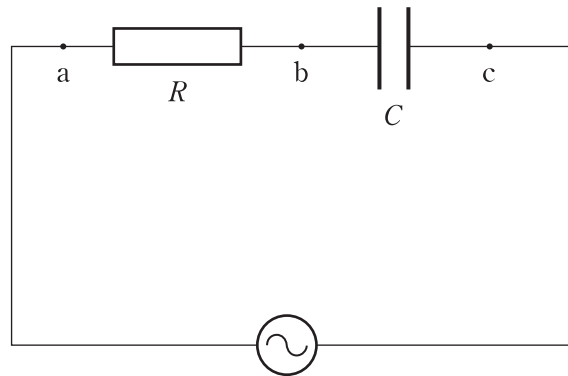


図2

時刻 t に b を通ってコンデンサーに流れ込む電流を $I_0 \sin \omega t$ とする。おの場合と同様に考えると, 時刻 t から微小時間 Δt の間にコンデンサーの左の極板上で増える電気量 ΔQ は, Δt の間に電流が変化しないものとみなすと け である。一方, 時刻 t における bc 間の電位差を $V_{bc} \sin(\omega t + \alpha)$ とおくと, 時刻 t でコンデンサーの左の極板上にある電気量は こ とかける。 ΔQ は時刻 $t + \Delta t$ の電気量と t での電気量の差であるので こ の式を使って $\Delta Q =$ さ とかける。

ここで $\omega \Delta t$ が非常に小さいときを考えてみよう。加法定理 $\sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$ と, x が非常に小さいときの近似式 $\sin x \doteq x$ および $\cos x \doteq 1$ を用いて さ を整理すると, $\Delta Q =$ し $\cos(\omega t + \alpha)$ である。この結果と け を比較すると, $V_{bc} =$ す および $\alpha =$ せ が得られる。

問2 $\omega RC = 4$ のとき, ab 間の電位差及び bc 間の電位差を縦軸, 時間を横軸にとって, 1 周期分の概略をグラフにかけ。軸の目盛りは R, I_0, ω の記号を適切に用いて表し, 2つの電位差を同じグラフにかき込むこと。

3 次の文中の から にあてはまる適切な式または数値を解答用紙の所定欄に記入し、問いに答えよ。

図1のように大気中におかれた、なめらかに動くピストンがついた円筒容器に、2原子分子理想気体が閉じ込められている。この容器は外部と断熱されており、加熱装置が取り付けられている。物質量を n 、気体定数を R 、温度を T とすると、この気体の内部エネルギーは $\frac{5}{2}nRT$ と表すことができる。

最初、円筒容器内の気体の温度は T_A 、体積は V_A であり、圧力 p_A は大気圧とつり合っていた。この状態を状態 A とする。

この気体にある熱量が与えられたとき、気体の温度変化からこの熱量を求めよう。また、熱容量についても考えよう。

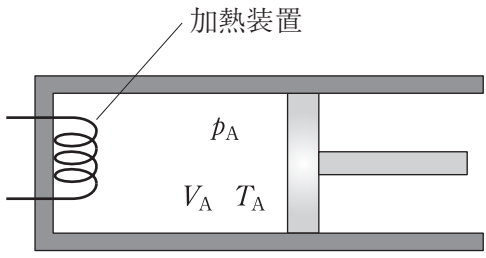


図1

以下の I, II, III では n を用いずに答えよ。

I. 図2のように状態 A でピストンを固定して体積を V_A に保ったまま加熱装置をはたらかせ、気体に熱量 Q を与えた。その結果、気体の温度が T_A から T_B に上昇した。これを過程 I とする。このとき、気体のした仕事は であるので、熱力学第一法則より、内部エネルギーの増加量は である。一方、この気体の物質量 n が とかけることを用いると、気体の内部エネルギーの増加量は と表すことができる。これらより、与えられた熱量 Q は であることがわかる。

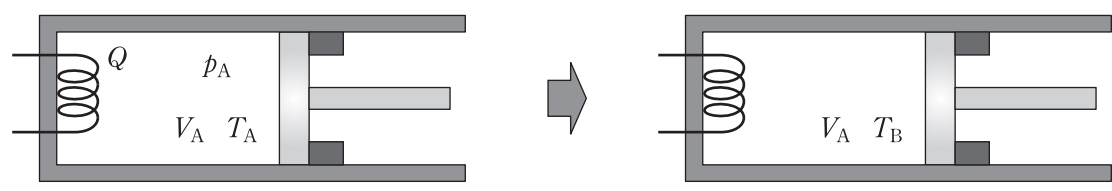


図2

II. 図3のように状態Aでピストンを固定せずに加熱装置をはたらかせ、熱量 Q を与えた。すると気体の圧力 p_A は一定のまま、温度が T_A から T_B に上昇し、気体の体積は V_A から にゆっくりと変化した。これを過程IIとする。このとき、気体のした仕事は となる。熱力学第一法則を用いると、この過程で内部エネルギーの増加量は と表すことができる。一方、2原子分子理想気体の内部エネルギーの増加量は と表すことができるので、与えられた熱量 Q は であることがわかる。

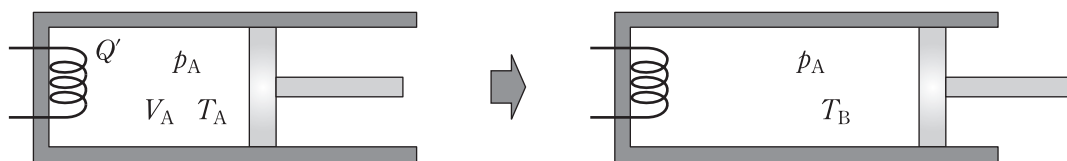


図3

III. 過程IおよびIIで与えられた熱量 および と温度変化から、過程IおよびIIでの気体の熱容量はそれぞれ および であることがわかる。また、物質質量 を用いて過程IおよびIIでのモル比熱（モル熱容量）を求めると、それぞれ および となり、 から を引くと となる。

問1 過程IとIIでは熱容量がことなる。その理由を「与えられた熱量」と「温度上昇」という言葉を用いて述べよ。

問2 上記の過程IIでは圧力を一定に保ちながら理想気体に熱量を与えた。それでは温度を一定に保つようにピストンをゆっくり動かしながら、過程IIの場合と同じ熱量を与えた場合、気体が行う仕事は過程IIの場合に比べて大きいかどうかを答え、その理由を述べよ。

2021 年度 入学試験問題

理 科

(80 分)

物 理 [4 ~ 9 ページ]

化 学 [10 ~ 16 ページ]

生 物 [18 ~ 26 ページ]

受験についての注意

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはならない。
2. この問題冊子は 26 ページまでである。試験開始後、問題冊子の印刷不鮮明、ページの抜け落ち、ページ順序の誤りまたは解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
3. 解答用紙は**記述式解答用紙 A** 3 枚である。選択する科目によって解答用紙が異なるので、該当する科目の解答用紙を使用すること。
4. 監督者の指示に従って、解答用紙の所定欄に受験番号と氏名及びフリガナを正しく丁寧に記入すること（下の「解答用紙 記入上の注意」を参照）。選択しない科目を含め、3 枚とも記入すること。
5. 物理、化学、生物の中から 1 科目を選択し解答すること。
6. 選択しなかった科目の解答用紙は、試験終了後に回収する。
7. **解答用紙には、第 2 面にも解答欄があるので注意すること。**
8. 解答は解答用紙の所定欄に記入し、その他の部分には何も書かないこと。
9. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
10. 問題冊子は必ず持ち帰ること。

解答用紙 記入上の注意

受験番号の記入について

受験番号（英字と算用数字）は、次の記入例のように正しく丁寧に記入すること。

（記入例）

A B C D E F G H I J K L M

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

物 理

1 重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

図1のように長さ L 、底面積 S の柱状で密度 ρ の一様な棒がある。図のように棒の最下端を原点 O にとり、棒にそって鉛直上向きに y 軸をとる。

問1 棒の重心の y 座標の値を求めよ。

問2 図2のように棒の下端に棒と同じ質量の小さなおもりを取り付けた。おもりを含めた全体の (a)質量はいくらか、また(b)重心の y 座標の値を求めよ。

問3 このおもりを取り付けた棒を密度 ρ_0 の液体に入れると浮いた。浮くために満たすべき条件を不等式で表せ。

以下ではおもりを取り付けた棒が問3の液体に浮く条件を満たしているとし、これをウキと呼ぶことにする。このウキを液面に浮かせると、図3のように液面に鉛直に浮いて静止した。この状態でのウキの最下端を y 座標の原点 O に取ると、液面の y 座標は y_0 であった。このとき、ウキに作用する重力と浮力は大きさが同じで逆の向きを向いており、つり合っている。浮力の作用点を浮心といい、浮心は、液面下の物体の形状をそのまま液体に置き換えたとき、この液体の重心と一致する。

問4 y_0 を L 、 ρ 、 ρ_0 を用いて表せ。

問5 浮心の y 座標を L 、 ρ 、 ρ_0 を用いて表せ。

ウキを液面に鉛直に浮かせたとき、浮心とウキの重心の上下関係を考える。浮心よりウキの重心が (ア)上にある場合と、(イ)下にある場合の二通りの場合を考える。それぞれの場合に対し、ウキを小さな角度だけ鉛直から傾け、静かにはなしたあとのウキの運動を考える。ただし、ウキが倒れた角度が小さいときには棒における浮心の位置は変化しないとする。

問6 解答用紙に図4を写し取って、(a) $\rho/\rho_0 = 1/8$ のとき、(b) $\rho/\rho_0 = 1/3$ のときの間2で求めたウキの重心の位置を (●) で、問5で求めた浮心の位置を (○) で表し、重力と浮力の向きを矢印で表した概略図を解答欄(a)、(b)にかけ。

問7 問6でかいた図を参考にして,

- (a) ウキが倒れずに鉛直に戻るのは(ア)と(イ)のいずれの場合か。
- (b) その理由を40字程度で述べよ。
- (c) ウキが倒れずに鉛直に戻るために ρ , ρ_0 が満たすべき条件を不等式で表せ。

問7で求めたウキが液体に鉛直に安定して浮いて倒れない条件をみたしているとき, ウキを鉛直方向に運動させることを考える。ただし, ウキが運動する際に液面の位置に変化はないものとし, 液体による抵抗は無視するものとする。

図3の状態からウキを d だけ鉛直上向きに引き上げて静止させ, 静かにはなした。

ただし, d は十分小さく, ウキを引き上げたことによる重心と浮心の上下関係の変化はないものとする。

問8 はなした直後に(a)ウキにはたらく重力と浮力の合力の大きさを示せ。ただし解答には, y_0 を用いないこと。また, (b)その向きと(c)この合力によるウキの加速度の大きさを求めよ。

問9 静かにはなしたあと, ウキは上下に単振動した。問8の結果からこの振動の周期を求めよ。

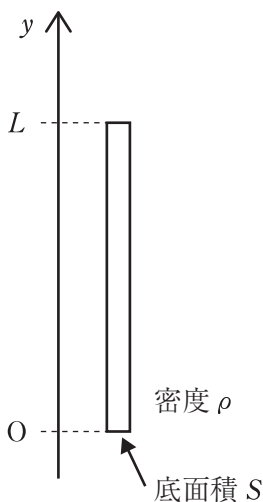


図1

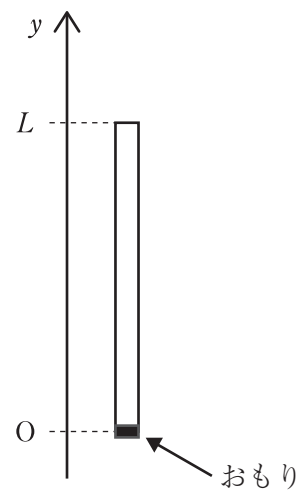


図2

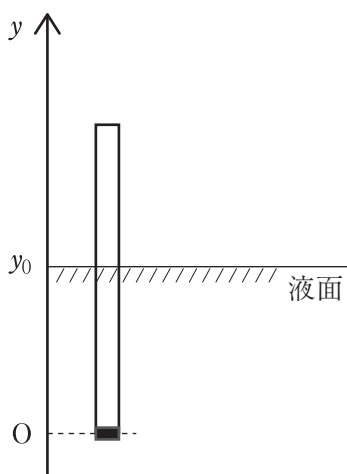


図3



図4

2 次の から にあてはまる最も適切な語句を文末の語群から選び、所定欄に記入せよ。ただし、同じ語句を複数回選んでもよい。 から には、あてはまる適切な式または数値を記入せよ。また、問いに答えよ。

I. 電流計は、電流をはかろうとする回路に につないで用いる。電流計ではかることのできる最大の電流値は、電流計の内部抵抗の値によって決まる。今、最大 10 mA の電流をはかることができる電流計 A があり、その内部抵抗は 10Ω であった。電流をはかろうとする回路に電流計 A を接続したところ、電流計 A の指針は 10 mA を指した。このとき、電流計 A の両端の電圧はオームの法則から V とわかる。

電流計 A ではかることのできる最大の電流値よりも大きな電流を測定するためには、電流計 A と並列に抵抗を接続し、回路を流れる電流の一部だけが電流計 A に流れるようにすればよい。この抵抗を電流計の分流器という。上記と同じ回路に電流計 A と分流器を接続したところ、電流計 A には 1 mA の電流が流れ、分流器には 9 mA の電流が流れた。このとき、電流をはかろうとする回路には 10 mA の電流が流れているにも関わらず電流計 A の指針は 1 mA を指すため、指針が指す値を 倍にすると回路に流れている電流の値が得られる。電流計 A と分流器をまとめて、電流計 B と呼ぶことにする。この電流計 B ではかることのできる最大の電流値は mA となる。この電流計 B の合成抵抗の値は Ω である。

電圧計は、回路の電圧をはかろうとする部分に につないで用いる。このようにすると、はかりたい部分の電圧と電圧計の両端の電圧が等しくなる。電圧計の基本構造は電流計と同じであり、電圧計を流れる電流量に比例して指針が振れるしくみになっている。電圧計の測定範囲を広げるには、電圧計に抵抗を直列に接続すればよい。この抵抗を電圧計の倍率器という。電流計 A は最大 V まではかることができる。この電流計 A を用いて最大 10.0 V の電圧をはかることができる電圧計を作るには、電流計 A の指針が最大値を示すときに、倍率器の両端の電圧が V になるように Ω の抵抗を電流計 A に直列に接続すればよい。電流計 A と倍率器をまとめて、電圧計 C と呼ぶことにする。この電圧計 C の合成抵抗の値は Ω である。

II. 抵抗値 R の抵抗がある。図 1 と図 2 のように、抵抗値 R_i の電流計、抵抗値 R_v の電圧計、および電源をこの抵抗に接続した。図 1 の電流計と電圧計の指針が指す値がそれぞれ I_1 と V_1 のとき、抵抗に流れている電流は R_v , I_1 , V_1 を用いて と書くことができる。また、 R を R_v , I_1 , V_1 を用いて書くと となる。このことから、 R は測定から得られる抵抗値 $\frac{V_1}{I_1}$ より ことがわかる。

一方、図 2 の電流計と電圧計の指針が指す値がそれぞれ I_2 と V_2 のとき、抵抗の両端の電圧は R_i , I_2 , V_2 を用いて と書くことができる。また、 R を R_i , I_2 , V_2 を用いて書くと となる。このことから、 R は測定から得られる抵抗値 $\frac{V_2}{I_2}$ より ことがわかる。

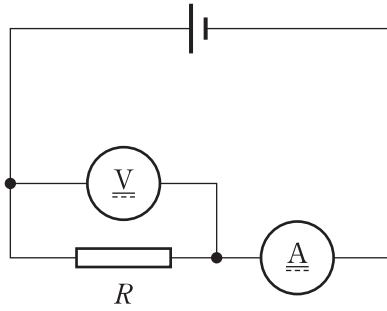


図 1

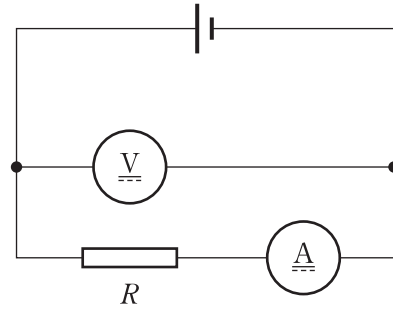


図 2

Ⅲ. 可変抵抗器と、起電力 E [V] および内部抵抗 r [Ω] の電池を用いて図 3 のような回路を作った。可変抵抗器を調整して、図 4 に示すような電流 I [A] と端子電圧 V [V] の関係を得た。ここでは、可変抵抗器の抵抗値に比べて、電流計の抵抗値はじゅうぶん小さく、電圧計の抵抗値はじゅうぶん大きいとする。

問 1 起電力 E を r , I , V を用いて表せ。

問 2 電池の起電力 E [V] と内部抵抗 r [Ω] を求めよ。

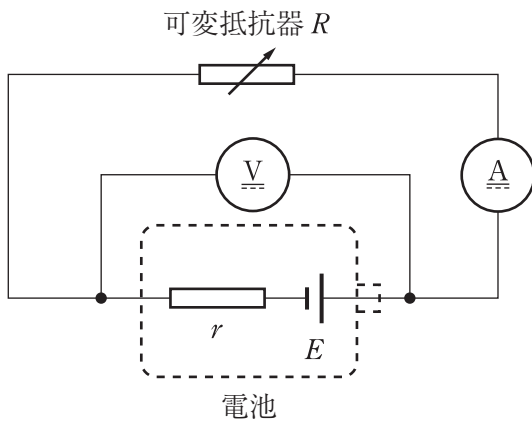


図 3

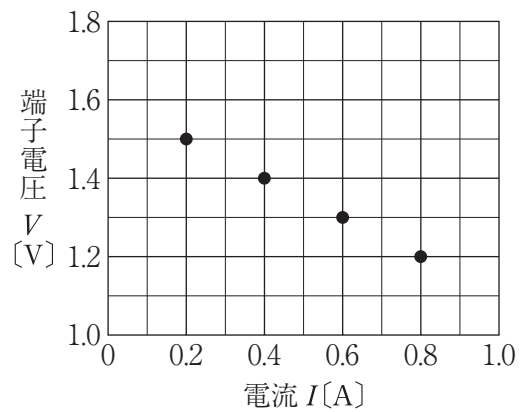


図 4

語群： 直列 並列 大きい 小さい

3 次の [ア] から [オ] にあてはまる適切な式を所定欄に記入し、問いに答えよ。

I. 図1のように媒質1から媒質2との境界面に入射角 θ_1 で入射した平面波が、屈折角 θ_2 で媒質2の中を進んだ。波面 A_1B_1 は、 B_1 に近い方から順に境界面に達し、境界面上の B_1A_2 の間で B_1 に近い方から順に素元波が発生する。入射波の波面が A_1 から A_2 に到達するのに時間 t だけかかったとする。媒質1における波の速さを v_1 とすると、 A_1 から A_2 までの距離は [ア] である。媒質2における波の速さを v_2 とすると、この時間 t の間に、点 B_1 から発生した素元波は点線で示した半径 [イ] の半円に広がる。点 A_2 からこの素元波に引いた接線 A_2B_2 が媒質2における屈折波の波面となる。

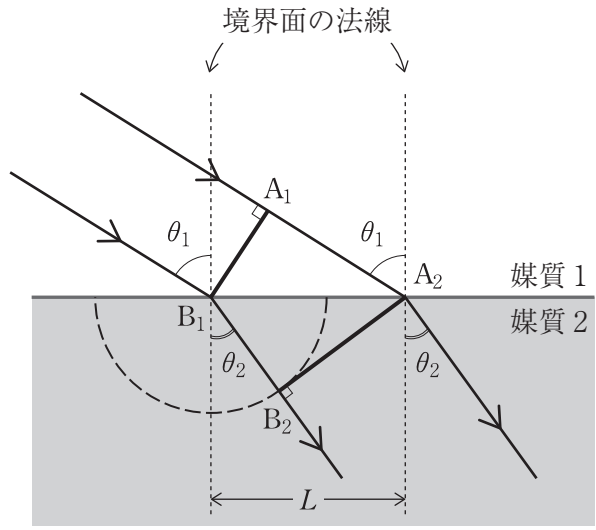


図1

一方、 A_1 から A_2 までの距離 [ア] は $B_1A_2=L$ として L と θ_1 を用いて表すと [ウ] となる。また、 B_1 から B_2 までの距離 [イ] は L と θ_2 を用いて [エ] と表される。これらより、 θ_1 、 θ_2 、 v_1 、 v_2 の間に $\frac{v_1}{v_2} =$ [オ] の関係が導かれる。この比の値を媒質1に対する媒質2の相対屈折率という。

II. 図2のように媒質1から媒質2へ入射した平面波が境界面で屈折して進んだ。媒質1における波の速さは 6.0 m/s 、振動数は $1.0 \times 10 \text{ Hz}$ であった。図中のマス目は縦横の間隔が等しくなっている。

問1 以下を有効数字2桁で求めよ。なお、必要なものは単位を必ず書くこと。

- (1) 媒質1における波の波長
- (2) 媒質1に対する媒質2の相対屈折率
- (3) 媒質2における波の (a)振動数 (b)速さ (c)波長

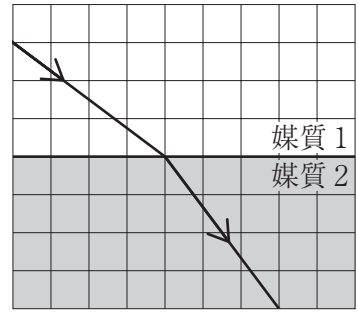


図2

Ⅲ. 図3のように容器の底にコインを置き、水を入れた。水面からコインまでの深さを D とする。このコインを上から見たときの見かけの深さ d を求めよう。右目がコインの直上にあったとすると、コインの点 P から右目に届く光は水面で点 A を通り、屈折せずにまっすぐ鉛直上向きに進む。一方、左目には、コインから斜め上に進み、水面の点 B で屈折した光が到達する。水中から水面へ向かう光の入射角を θ_w 、空気中での屈折角を θ_a とする。観察者には、左右の目に届く光線をまっすぐ伸ばした交点 Q にコインがあるように見える。水の絶対屈折率を $n(>1)$ 、空気の絶対屈折率を 1 とする。

問2 $\triangle APB$ に注目し、 AB の長さ r を D 、 θ_w を用いて表せ。

問3 $\triangle AQB$ に注目し、 d を r と θ_a を用いて表せ。

問4 問2、問3および θ_w 、 θ_a 、 n の関係を用いて、 d は D の何倍になるか、 n を用いて表せ。ただし、 θ_w 、 θ_a は小さいとし、 θ が小さいとき $\tan \theta \approx \sin \theta$ と近似できることを用いてよい。計算過程も合わせて書くこと。

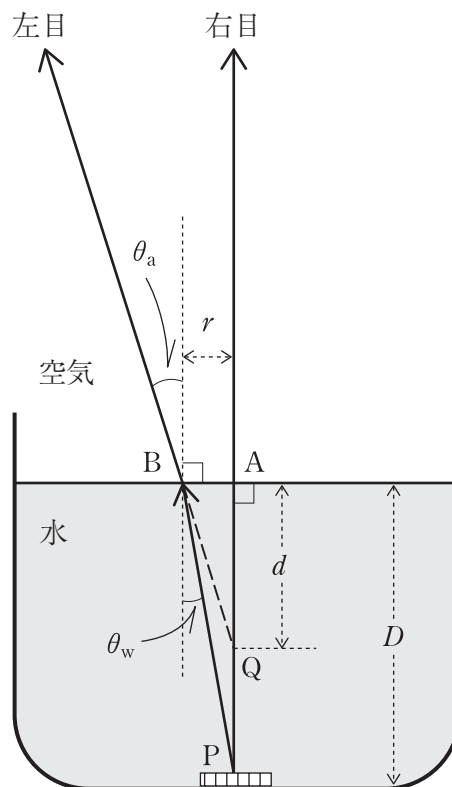


図3