

2025 年 度

## 問題冊子

| 教 科 | 科 目 | ページ数 |
|-----|-----|------|
| 理 科 | 物 理 | 11   |

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

### 解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合には、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕は選択問題である。5つのうち4つを解答すること。5問すべてを解答してはいけない。選択問題〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕、〔Ⅳ〕、〔Ⅴ〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その1)の所定の枠内に記入すること。

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 試験終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 試験終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

〔選択問題〕

〔Ⅰ〕

図 1-1 に示すように、水平面に固定された傾斜角  $30^\circ$  のあらい斜面がある。この斜面の端に、なめらかな滑車を取り付けてある。質量  $m$  の球 A を乗せた質量  $m$  の台車 B を、滑車を通して質量  $5m$  の物体 C とロープでつなぎ、斜面の上に静かに置いた。その後、物体 C を静かに放すと、球 A を乗せた台車 B は動き出した。このとき、斜面と台車 B との間の動摩擦係数は  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  であった。台車 B は斜面を距離  $L$  移動して滑車に衝突すると、球 A は衝突したときの初速度で飛び出していった。ただし、ロープの質量、球 A の大きさ、空気抵抗は無視できるものとする。また、球 A と台車 B との間に摩擦力はなく、台車 B が滑車に衝突する前に、物体 C は地面に接触しないものとする。なお、重力加速度の大きさを  $g$  とし、以下の問いに答えなさい。

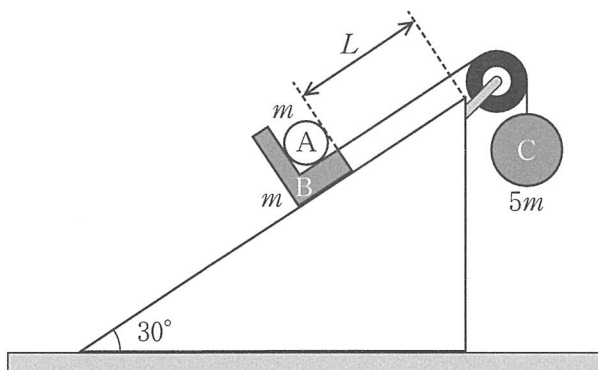


図 1-1

- (1) 台車 B と斜面との間の動摩擦力の大きさを求めなさい。
- (2) 台車 B が斜面を距離  $L$  移動した時間を求めなさい。
- (3) 球 A が斜面を飛び出したときの速さを求めなさい。

次に、図 1-2 に示すように、速さ  $v$  で飛び出した球 A が地面からの最高点まで達した後、地面に衝突してはねかえった。球 A が斜面を飛び出したときの地面からの高さを  $h$  とする。地面に衝突する前の球 A の最高点の高さは  $h_1$ 、地面に衝突してはねかえった後の最高点の高さは  $h_2$  であった。地面と球 A とが衝突した際の反発係数(はねかえり係数)を  $e$  とし、以下の問いに答えなさい。なお、球 A が斜面を飛び出すときの速さは、 $v$  として解答しなさい。

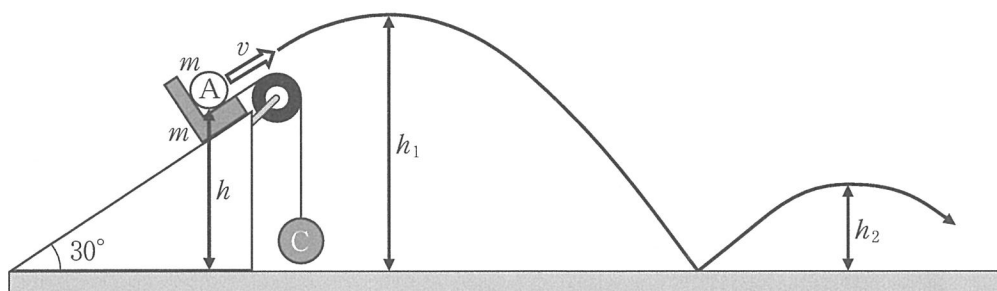


図 1-2

- (4) 球 A が速さ  $v$  で飛び出してから高さ  $h_1$  の最高地点に達するまでの時間を求めなさい。
- (5) 高さ  $h_1$  を求めなさい。
- (6) 球 A が速さ  $v$  で飛び出してから地面に最初に衝突するまでの時間を求めなさい。
- (7) 高さ  $h_2$  を求めなさい。

〔選択問題〕

〔Ⅱ〕 電極間の電場(電界)と電位について以下の設定【イ】から【二】について考える。

以下の設定は空気中で行うものとし、真空の誘電率と空気の誘電率は等しいとする。電場の強さおよび電位をとったグラフは、設定【ロ】の例を参考にする。

設定【イ】：面積  $2S$  の金属板を極板とし極板間の距離が  $3d$  となるように平行においた。極板間に電池を接続し電圧  $V$  を加えた(図 2-1)。十分に時間が経過した後、電池を切り離れた。 $x = 0$  の電位を 0 とする。

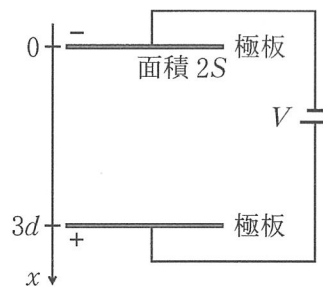


図 2-1

(1) 横軸に位置  $x$ 、縦軸に電場の強さおよび電位をとったグラフをそれぞれ描きなさい。

設定【ロ】：設定【イ】の後、図 2-2 のように、面積  $2S$ 、厚さ  $d$  の金属板を、 $x = d$  と  $x = 2d$  の間の位置に極板と平行にして入れた。位置の座標  $x$  と、電場の強さ、および、電位との関係は図 2-2 のように表される。

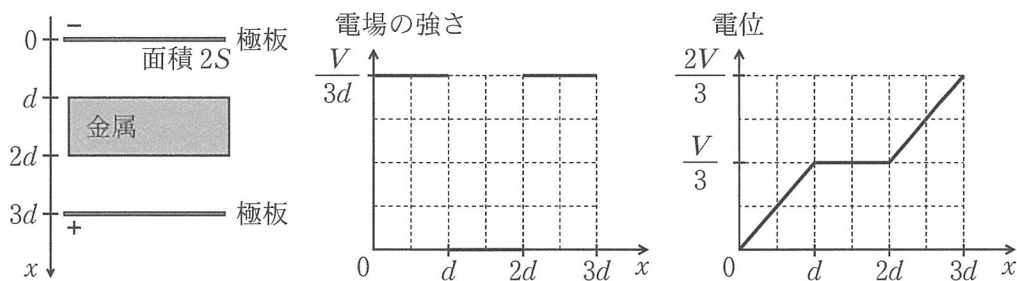


図 2-2

設定【ハ】：設定【イ】の後，図 2-3 のように面積  $2S$ ，厚さ  $2d$ ，比誘電率 2 の誘電体を， $x = \frac{1}{2}d$  と  $x = \frac{5}{2}d$  の間の位置に極板と平行にして入れた。

(2) 誘電体表面には極板と異種の電荷が現れる。

この現象を何というか答えなさい。また，この現象について，電場，電子，偏り，表面，電荷などの言葉を使って説明しなさい。

(3) 横軸に位置  $x$ ，縦軸に電場の強さおよび電位をとったグラフをそれぞれ描きなさい。

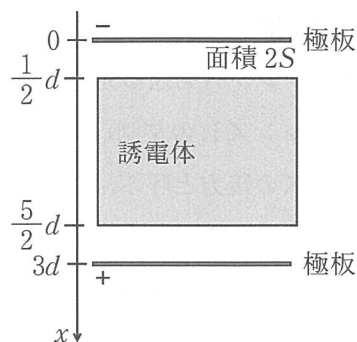


図 2-3

設定【二】：設定【イ】の後，極板の面積がそれぞれ  $S$  となるように分離し，並列接続となるようにした(図 2-4)。極板間の 1 つには面積  $S$ ，厚さ  $d$  の金属板を  $x = d$  と  $x = 2d$  の間の位置に，他方には面積  $S$ ，厚さ  $2d$ ，比誘電率 2 の誘電体を  $x = \frac{1}{2}d$  と  $x = \frac{5}{2}d$  の間の位置に，極板と平行にして入れた。

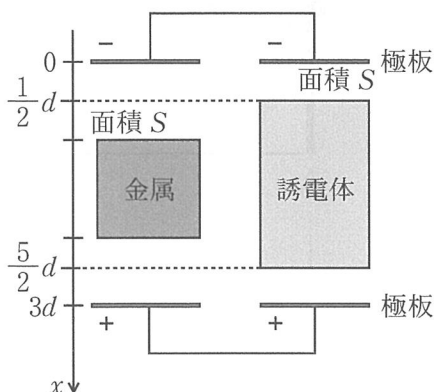


図 2-4

(4) 極板間の電位差が  $\frac{2}{3}V$  となることを示しなさい。

(5) 誘電体を挿入した極板間について，横軸に位置  $x$ ，縦軸に電場の強さおよび電位をとったグラフをそれぞれ描きなさい。

〔選択問題〕

- 〔Ⅲ〕 レンズを通る光の振る舞いを考える。薄い凸レンズ  $L$  に光が入る側(図3ではレンズ  $L$  の左側)をレンズの前方, 光が出る側(図3ではレンズ  $L$  の右側)をレンズの後方と呼ぶ。レンズ中心から前方距離  $a$  の位置に物体  $AA'$  を置く。レンズ中心から後方距離  $b$  の位置に置いたスクリーン上に実像  $BB'$  が得られた。いま, 物体を置いた光軸に垂直な面を物面, 像が得られた光軸に垂直な面を像面と呼ぶ。レンズの焦点距離を  $f$  とする。以下の問いに答えなさい。計算問題で割り切れない場合は小数点以下第2位を四捨五入して答えなさい。

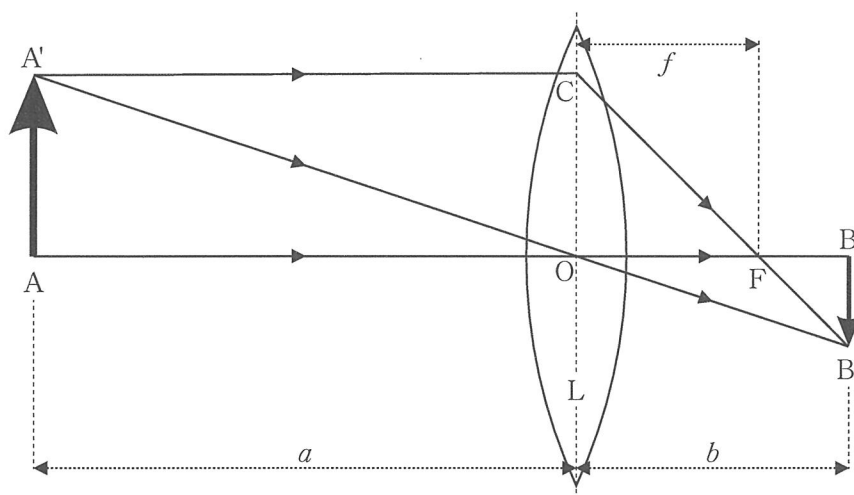


図3

【イ】

- (1) 図3に見られる三角形の相似関係を利用して, 像の倍率  $m = \frac{BB'}{AA'}$  を図中の小文字記号を用いて答えなさい。また, 相似関係にある三角形の組を大文字記号で答えなさい。
- (2) レンズ  $L$  およびその後方にある三角形の相似関係を利用して, 像の倍率  $m = \frac{BB'}{AA'}$  を図中の小文字記号を用いて答えなさい。また, 相似関係にある三角形の組を大文字記号で答えなさい。

- (3) (1)と(2)の結果より  $a$ ,  $b$  および  $f$  の間に成り立つ関係式を答えなさい。途中の計算過程も答えなさい。

【ロ】 AB 間距離を 125 cm に固定して、レンズ L を光軸上で左右に動かした。レンズ L を物面に近い方から  $D_1$  あるいは  $D_2$  の位置に置いたときに、スクリーン上に鮮明な実像が現れた。 $AD_1$  間距離と  $D_2B$  間距離は等しく、スクリーン上で像の大きさは、レンズ L が位置  $D_1$  の場合 32 cm、位置  $D_2$  の場合 2 cm だった。

- (4) 物体 AA' の大きさを答えなさい。  
(5)  $D_1$  とスクリーン B 間の距離を答えなさい。  
(6) レンズの焦点距離  $f$  を答えなさい。

【ハ】 レンズ L を位置  $D_2$  に固定して、 $a = 200$  cm の位置に物体 AA' を動かすと、スクリーン上の像は不鮮明になった。

- (7) スクリーン上の像を鮮明にするために、スクリーンを光軸上で動かす。どれだけ動かせばよいか、左右の向きを含めて答えなさい。

【二】 物体、スクリーン、レンズを【ロ】の状態に戻した。スクリーンを取り去り、光軸上で観察者が直接像を見ようとしたが、見ることはできなかった。そこでレンズ L と同じ焦点距離を持つレンズ  $L_2$  を追加して、それを光軸上で動かして像を観察した。B より 10 cm 後方にレンズ  $L_2$  を置いたときに鮮明な像を観察することができた。

- (8) レンズ L が位置  $D_1$  にあるとき、像の倍率を答えなさい。  
(9) レンズ L が位置  $D_2$  にあるとき、像の倍率を答えなさい。

〔選択問題〕

- 〔Ⅳ〕 図4のように、常に温度  $T_0$  [K] にすることのできる恒温装置に接続された断熱材製のシリンダーが、圧力  $P_0$  [Pa] の大気中で水平に固定されている。シリンダー内に、気密を保ちながらめらかに移動できる断熱材でできた2つのピストン C, D があり、それらによって2つの部屋 A, B に分けられ、恒温装置は B に接続されている。また C には軽い棒が水平についている。以下の問いに、説明や計算経過も含めて答えなさい。

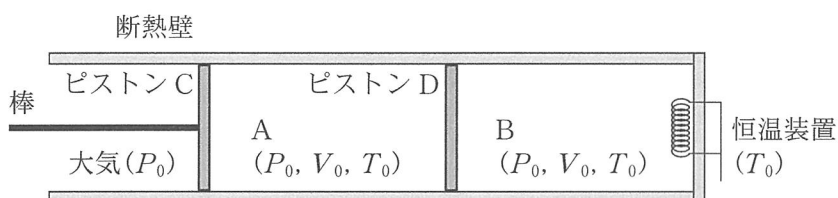


図4

【イ】

いま、A, B に等しい物質量の理想気体を封入した。圧力、体積、温度はそれぞれ  $P_0$  [Pa],  $V_0$  [m<sup>3</sup>],  $T_0$  [K] であった。これを状態1とする。

- (1) 気体定数を  $R$  [J/mol·K] として A の物質量を答えなさい。
- (2) 定積モル比熱を  $C_v$  [J/mol·K] として A の気体の内部エネルギーを答えなさい。

【ロ】

次に、手で棒を持ち、A の気体の圧力がもとの半分になるまでピストン C を静かに左方向へ移動させた。これを状態2とする。

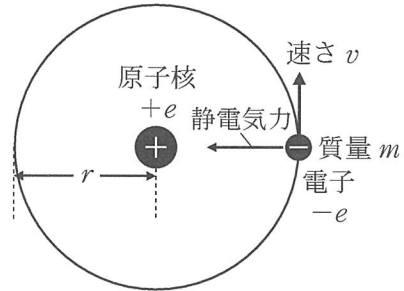
- (3) このときの B の気体の圧力を答えなさい。
- (4) このときの B の気体の体積を答えなさい。
- (5) 理想気体の断熱変化ではポアソンの法則が成り立ち、 $PV^\gamma = \text{一定}$  (ただし、 $\gamma$  は1より大きい定数) である。A の気体の体積を答えなさい。

- (6) このときの A の気体の温度を答えなさい。
- (7) 状態 1 から状態 2 の過程で, A の気体がした仕事を答えなさい。

〔選択問題〕

- 〔V〕 水素原子内の質量  $m$  [kg]、電気量  $-e$  [C] の電子が、電気量  $e$  [C] の原子核のまわりを速さ  $v$  [m/s]、半径  $r$  [m] の等速円運動をしている(ラザフォードの原子模型)(図 5-1)。

ここでは、電子の受ける静電気力における向心力の大きさは  $k_0 \frac{e^2}{r^2}$  [N]、また静電気力による位置エネルギーは  $-k_0 \frac{e^2}{r}$  [J] で表される。 $k_0$  [N・m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>] はクーロンの法則の比例定数である。



また、静電気力が向心力のはたらきをする

から半径方向の運動方程式は次式で表される。 図 5-1 水素原子内での電子の円運動

$$m \frac{v^2}{r} = k_0 \frac{e^2}{r^2}$$

- (1) 電子の力学的エネルギーを  $k_0$ 、 $e$ 、 $r$  を用いて表しなさい。

電子が水素原子核のまわりを円運動していると考えたラザフォードの原子模型では電子が電磁波を放射して徐々にエネルギーを失い、電子の軌道半径が時間とともに小さくなってしまいう問題があった。ボーアは以下の(a)式の関係を満たす円軌道だけが安定になると考え、これにより電子はある決まったエネルギーを持ち電磁波を放射しない状態を考えた。この状態を定常状態と呼び、以下の(a)式での  $n$  を ア といい、定常状態での電子のエネルギーをエネルギー準位という。さらにボーアは「電子がある定常状態から別のエネルギーを持つ定常状態に移るとき、そのエネルギーを持つ 1 個の イ が放出または吸収される」という仮説も導入し、水素原子のスペクトルの説明に成功した。

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (a)$$

$m$  [kg] : 電子の質量,  $v$  [m/s] : 電子の速さ,  $r$  [m] : 軌道半径,  $h$  [J・s] : プランク定数

- (2) 空欄  ,  を埋めなさい。
- (3) 定常状態の円軌道における軌道半径  $r$  [m] を求めなさい。ここでは  $v$  を用いずに表しなさい。解答欄には計算過程も記しなさい。
- (4) (3)で得られた軌道半径での電子の力学的エネルギー  $E_n$  [J] は下記のように表される。以下の空欄を埋めなさい。ここでは  $h$ ,  $k_0$ ,  $m$ ,  $e$ ,  $\pi$  の中から必要なものを用いて表しなさい。

$$E_n = \boxed{\phantom{000000}} \times \frac{1}{n^2}$$

定常状態での電子の力学的エネルギーは(4)の結果より  $n$  に依存してとびとびの値をとる。 $n = 1$  のとき、 $r$  は最小で  $E_n$  は最低となり、この最も安定な定常状態を  状態という。一方で、 $n \geq 2$  の定常状態を  状態という。(4)で求めた水素原子の力学的エネルギーは以下の (b) 式のようになる。

$$E_n = \frac{-2.2 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{b})$$

- (5) 上の文章の空欄  ,  を埋めなさい。
- (6) (b) 式より、 $n = 1$  の  状態から  $n \rightarrow \infty$  へ移るのに必要なエネルギーである水素のイオン化エネルギー(または電離エネルギー)は何 J であるか、数値(有効数字 2 桁)で解答しなさい。
- (7) (b) 式より、電子が  $n = 2$  から  $n = 1$  の準位に移ったときに放出される  の波長  $\lambda$  [m] を計算して数値(有効数字 2 桁)で解答しなさい。解答欄には計算過程も記しなさい。ここでは光の速さを  $c = 3.0 \times 10^8$  m/s, プランク定数を  $h = 6.6 \times 10^{-34}$  J·s とする。

(次のページへ続く)

- (8) 水素原子の線スペクトルが図5-2のように得られた。この波長領域は  $3.6 \times 10^{-7} \text{ m}$  から  $6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$  の範囲の可視光の波長領域(バルマー系列)であった。つまり、ア の  $n$  が  $n_A$  から  $n_B$  の状態( $n_A > n_B$ )に電子が移るときに イ が放出されたことに相当する。図5-2での輝線 b での  $n_A$  はいくつか数字で示しなさい。

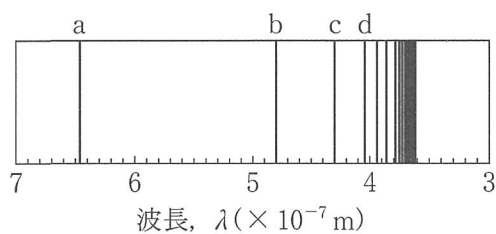


図5-2