

## 令和3年度 入学者選抜学力検査問題

# 理 科

### 注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子及び解答用紙の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び解答用紙の枚数は、下表のとおりです。

出題科目	ページ	解答用紙枚数
物 理	1 ～ 10	5 枚
化 学	12 ～ 22	6 枚
生 物	23 ～ 34	5 枚
地 学	35 ～ 44	6 枚

※物理・化学・地学には、選択問題があります。

各科目の冒頭に、選択問題に関する指示があるため、よく読んだうえで解答すること。  
なお、解答用紙に「選択問題チェック欄」があり、選択した問題には✓を記入したうえで解答すること。

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の枚数の過不足や汚れ等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 試験開始後、すべての解答用紙に受験番号、志望学部及び氏名を記入してください。  
受験番号の記入欄はそれぞれ2箇所あります。
- 5 解答はすべて解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
- 6 問題冊子の余白は適宜使用してください。
- 7 各問題の配点は100点満点としたときのものです。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。





# 物 理

1～5すべてが選択問題である。5問中4問選び、解答用紙の選択問題チェック欄にそれぞれ✓を記入し、解答すること。チェックしていない問題については採点しません。また、すべての選択問題チェック欄にチェックした場合は、1～4を採点の対象とします。

1 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図1に示すようになめらかな曲面 AB があり、この曲面の底面から高さ  $h$  (m) にある点 A に質量  $m$  (kg) の小球を置いた。静かに手を放すと小球は動き出し、底面から高さ  $\frac{h}{2}$  の点 B を通って水平な床に対して  $\theta$  の角度で空中に飛び出して放物運動をした。重力加速度の大きさは  $g$  (m/s<sup>2</sup>) とする。問 1～5 の解答に用いて良い記号は、 $g$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $\theta$  とする。

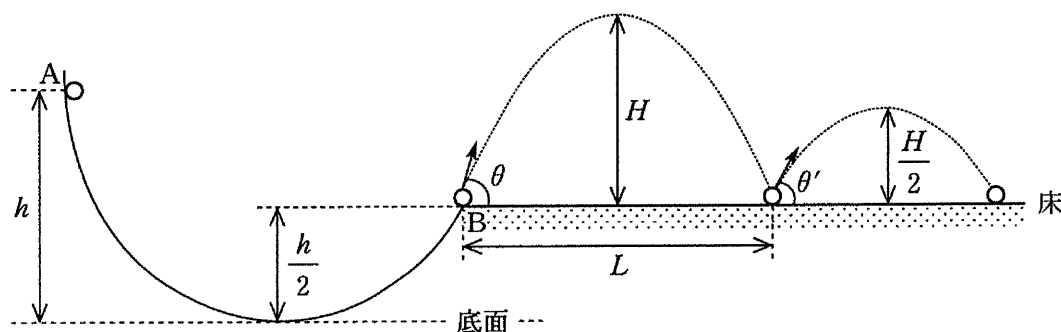


図 1

問 1 点 B を通過するときの速さ  $v$  (m/s) を求めなさい。

問 2 床から最高点までの高さ  $H$  (m) を求めなさい。

問 3 点 B から飛び出して初めて床に衝突するまでの水平到達距離  $L$  (m) を求めなさい。

その後、小球は床に衝突した。衝突してはねかえた直後の小球は水平な床に対する傾き  $\theta'$  で空中に飛び出して放物運動をした。このときの最高点の高さは、はねかえる前の最高点の高さ  $H$  (m) の半分であった。

問 4 この床の反発係数  $e$  を求めなさい。

問 5  $\tan \theta'$  を求めなさい。

次に、図2に示すように、水平な床の上に傾きが $\phi$ の斜面を設置した。先ほどと同様に小球を点Aにおいて静かに手を放すと、点Bを通って水平な床に対して $\theta$ の角度で空中に飛び出して斜面に衝突した。このとき、 $\theta > 45^\circ \geq \phi$ であった。問7の解答に用いて良い記号は、 $g, h, m, \theta, \phi$ とする。

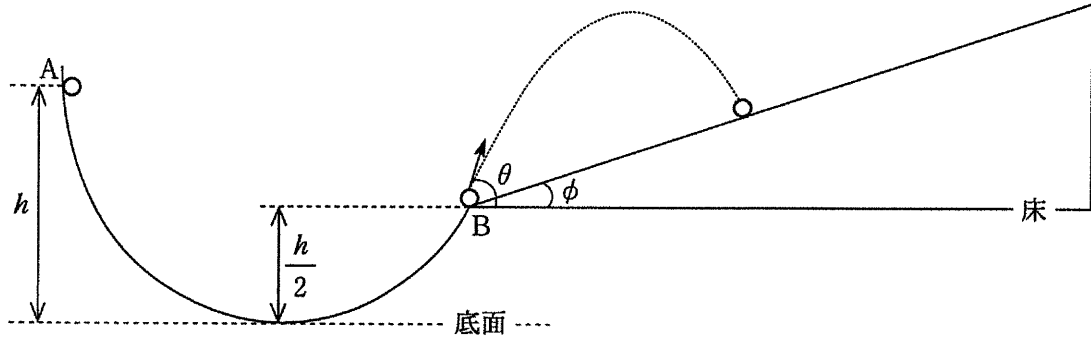


図2

問6 小球が点Bを通過してから斜面に衝突する直前までの運動を考える。斜面の傾斜角 $\phi$ を $0^\circ$ から $45^\circ$ まで変化させたとき、斜面に平行な加速度 $a_x$  [m/s<sup>2</sup>]と垂直な加速度 $a_y$  [m/s<sup>2</sup>]はどのようになるか。図3のア～カから最も適当なものを一つ選んで答えなさい。なお、 $a_x, a_y$ はそれぞれ斜面に対して水平右向き、垂直上向きを正とする。

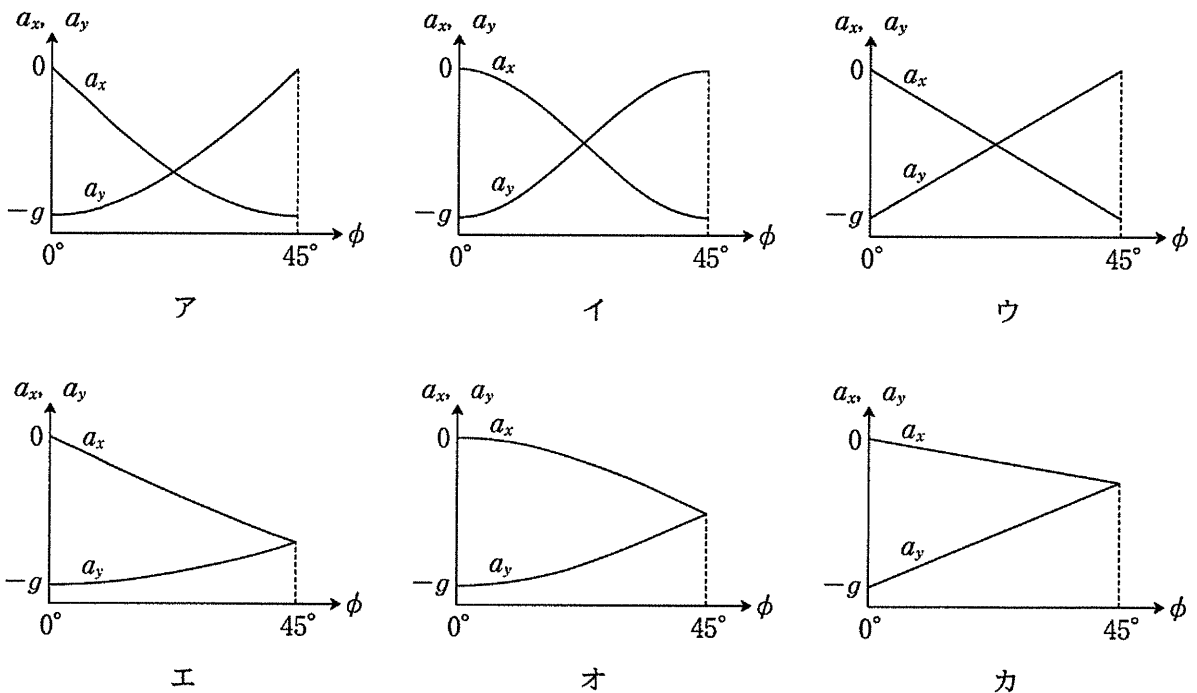


図3

問7 点Bから飛び出して斜面に衝突するまでの時間 $t$  [s]を求めなさい。

2 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図1に示すように断面積  $S$  [m<sup>2</sup>]、長さ  $3L$  [m] のシリンダーを鉛直に立てて、ピストンで  $n$  [mol] の単原子分子理想気体を封入する。その上に静かに密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] の液体を入れておく。ピストンの高さが  $L$  [m] の位置にあるとき、気体の絶対温度は  $T_0$  [K]、圧力は大気圧  $p_0$  [Pa] の3倍であった。これを気体の初期状態 (図1 a) とする。この状態から気体をゆっくり加熱すると、ピストンは静かに上昇し (加速度がゼロである)、それに伴って液体はシリンダーの上部からあふれだした。ピストンの厚さと質量は無視できる。また、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とする。

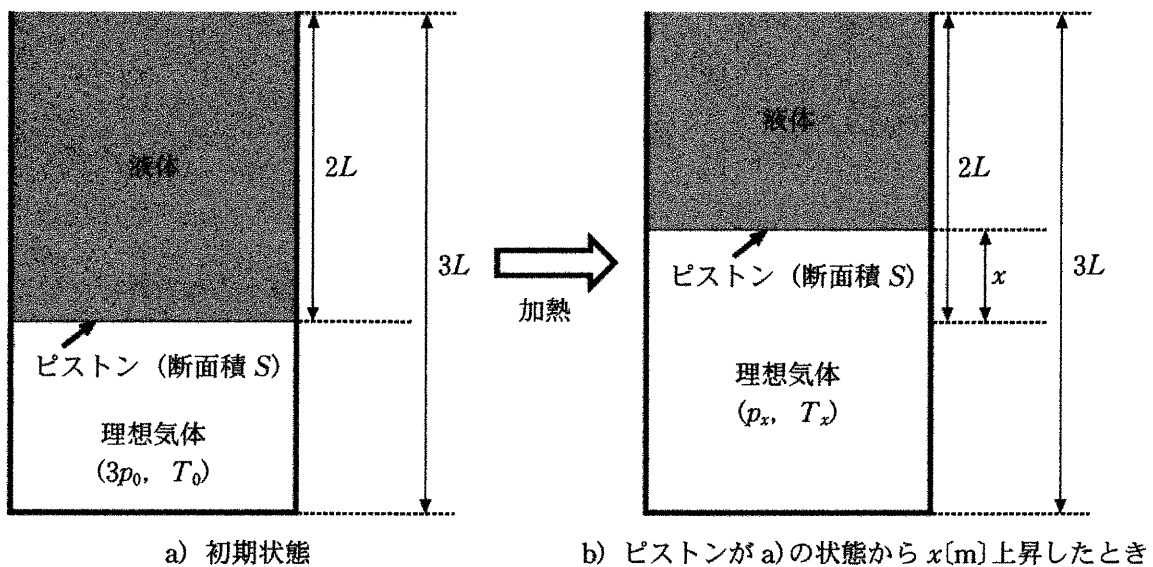


図1

問1 液体の密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] を、 $g$ 、 $L$ 、 $p_0$  を用いて表しなさい。

問2 ピストンが初期状態から  $x$  [m] 上昇してつりあったとき (図1 b)、気体の圧力  $p_x$  [Pa] を、 $x$ 、 $L$ 、 $p_0$  を用いて表しなさい。

問3 液体がすべてあふれるまで加熱してつりあったとき ( $x = 2L$ )、気体の温度  $T_{2L}$  [K] を、 $T_0$  を用いて表しなさい。

問4 加熱過程の任意の時刻において、気体の圧力  $p$  と体積  $V$  の関係式を、 $S$ 、 $L$ 、 $p_0$  を用いて表しなさい。気体の初期状態から液体がすべてあふれるまでにおいて、気体の状態変化を示す  $p$ - $V$  図を作成しなさい。

問 5 気体の初期状態から液体がすべてあふれるまでのあいだに、気体が外部にした仕事  $W$  [J] を、 $S$ ,  $L$ ,  $p_0$  を用いて表しなさい。

問 6 気体の初期状態から液体がすべてあふれるまでのあいだに、気体が吸収した熱量  $Q$  [J] を、 $S$ ,  $L$ ,  $p_0$  を用いて表しなさい。

3 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

フーリエ赤外分光装置は、物質の赤外領域の光の吸収率を測定することによって物質内に含まれる基（原子団）を知ることができる。この装置には光の干渉を利用した機構が組み込まれている。

この機構を図1に示す。図中の鏡1，鏡3では入射光を全反射し，鏡2では，反射光の振幅は入射光の $\frac{1}{2}$ に，透過光の振幅は入射光の $\frac{1}{2}$ になる。したがって検出器に入る光の経路には，光源→鏡2→鏡3→鏡2→検出器と光源→鏡2→鏡1→鏡2→検出器の2通りあることになる。ただし，光源の光の波長を $\lambda$  [m]，振幅を $A$ とする。

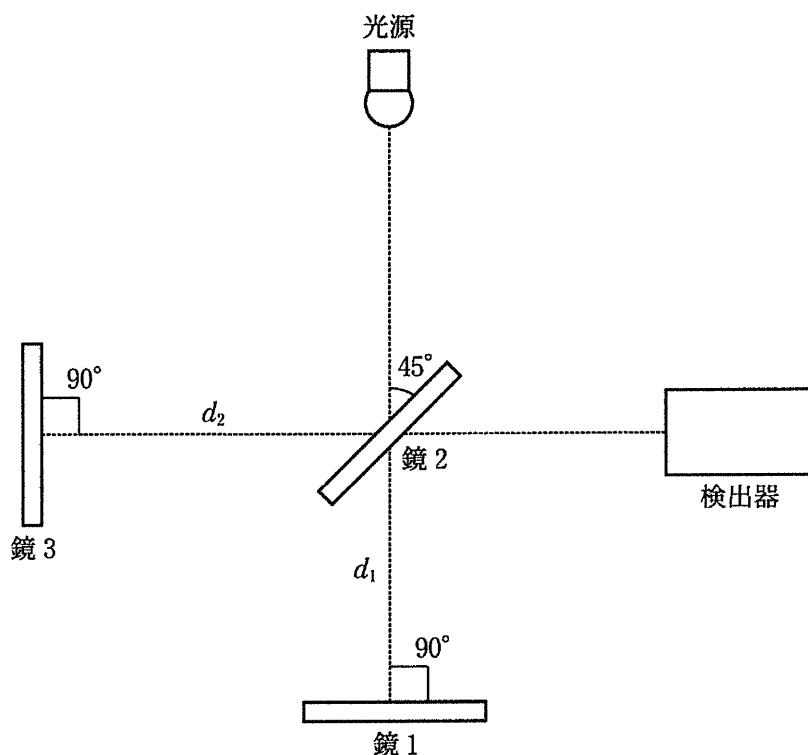


図1

問1 光源→鏡2→鏡3→鏡2を通過して検出器に入る光の振幅は入射光の振幅の何倍になるか答えなさい。

問2 鏡1と鏡2の距離を $d_1$  [m]，鏡2と鏡3との距離を $d_2$  [m]とする。光源→鏡2→鏡3→鏡2と光源→鏡2→鏡1→鏡2の経路で検出器に入る光の経路差 $D$  [m]を求めなさい。



問 3 検出器で観測される光の強度を求める。空欄(ア)～(カ)に適切な値または数式を入れなさい。

光源→鏡2→鏡3→鏡2を通過して検出器に入る光を表す波の式を  $\boxed{\text{ア}}$   $\times \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x)$  ( $x$ [m]は光源→鏡2→鏡3→鏡2→検出器の光路長,  $c$ [m/s]は光速,  $t$ [s]は時間) と表すことができるとすると, 光源→鏡2→鏡1→鏡2を通過して検出器に入る光の式は問2の経路差から  $\boxed{\text{イ}}$  と表すことができる。したがって検出器に入るすべての光の波の式は, 重ね合わせの原理および三角関数の公式  $(\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta) = 2 \sin \alpha \cos \beta)$  を用いてまとめると  $\boxed{\text{ウ}}$  となる。  
 $\boxed{\text{ウ}}$  で表される波の式のうち位相は  $\boxed{\text{エ}}$ , 振幅は  $\boxed{\text{オ}}$  である。光の強度は波の振幅の2乗で求めることができるから, 検出器で観測される光の強度は三角関数の半角の公式  $\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$  あるいは  $\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$  を使って整理すると  $\boxed{\text{カ}}$  となる。

問 4 時刻  $t = 0$  で  $d_1 = d_2$  として, 鏡1を一定の速さ  $v$ [m/s]で鏡2に近づけると, 時刻  $t$  における  $d_1$  は  $d_1 = d_2 - vt$  と表される。このとき, 検出器では  $t = 0$  から  $t = T$ [s]までに光の点滅が4回観測され,  $t = T$  と  $t = 0$  の明るさは同じであった。 $v$  を  $T$  と  $\lambda$  で表しなさい。

4 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

図 1 に示すように鉛直上向きの磁束密度  $B$  [T] の一様な磁界中に、抵抗が無視できる質量  $m$  [kg] の導体棒を、間隔  $l$  [m] で水平に置かれた直線状の平行なレールの上におく。2 本のレール間には電圧  $E$  [V] の電源とそれぞれ抵抗値  $R$  [ $\Omega$ ] と  $2R$  [ $\Omega$ ] の抵抗、および、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  からなる電気回路がつながれており、電源の電圧は大きさを変えられるものとする。ここで、レールと導体棒の間には摩擦があり、静止摩擦係数を  $\mu$ 、動摩擦係数を  $\frac{2}{3}\mu$  とし、重力加速度の大きさを  $g$  [ $m/s^2$ ] とする。このとき、レールや導線の電気抵抗、および、レール間の電気容量は無視できるとする。また、導体棒は常にレールに対して直角を保ちながらすべるように動くとする。

なお、問 1 および問 3～5 においては、それぞれ求める解を  $B$ ,  $m$ ,  $l$ ,  $R$ ,  $\mu$ ,  $g$  から必要なものを用いて表しなさい。また、問 3～6 の移動棒の加速度および速さにおいては、問 2 で答えた移動方向を正とする。

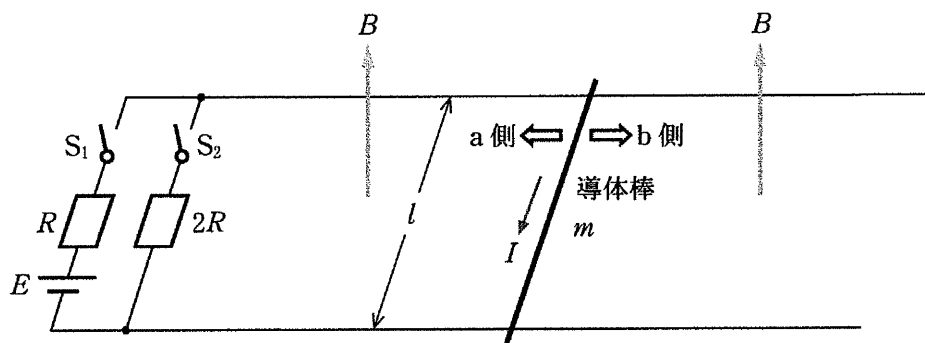


図 1

問 1 スイッチ  $S_2$  を開いたまま、スイッチ  $S_1$  を閉じた。電源の電圧  $E$  を上げていったところ動き出す直前の電圧は  $E_0$  であった。このときの電圧  $E_0$  [V] を求めなさい。

スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  とも開いており、導体棒は静止している状態とする。電源の電圧を  $E = 2E_0$  [V] にし、スイッチ  $S_1$  を閉じた。

問 2 導体棒は a 側へ動くか b 側へ動くか答えなさい。

問 3 導体棒が動き始めたのち、十分に時間が経つと導体棒は速さ  $v_1$  で等速運動をした。このとき、導体棒に流れている電流  $I$  [A] および速さ  $v_1$  [m/s] を求めなさい。

次に、導体棒が速さ  $v_1$  で等速運動になった後、スイッチ  $S_1$  を閉じたままスイッチ  $S_2$  を閉じた。

問 4 スイッチ  $S_2$  を閉じた瞬間に導体棒に加わっている加速度  $a_1$  [m/s<sup>2</sup>] を求めなさい。

問 5 その後、十分に時間が経つと導体棒は速さ  $v_2$  で等速運動をした。速さ  $v_2$  [m/s] を求めなさい。

さらに、導体棒が速さ  $v_2$  で等速運動になった後、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  を同時に開いた。

問 6 スイッチ  $S_1$  を閉じたままスイッチ  $S_2$  を閉じたときの時間を 0 とし、その後、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  を同時に開いた時間を  $t_0$  とする。導体棒の速さ  $v$  のグラフの形として最も適しているものを図 2 (a)~(l) の中から選びなさい。

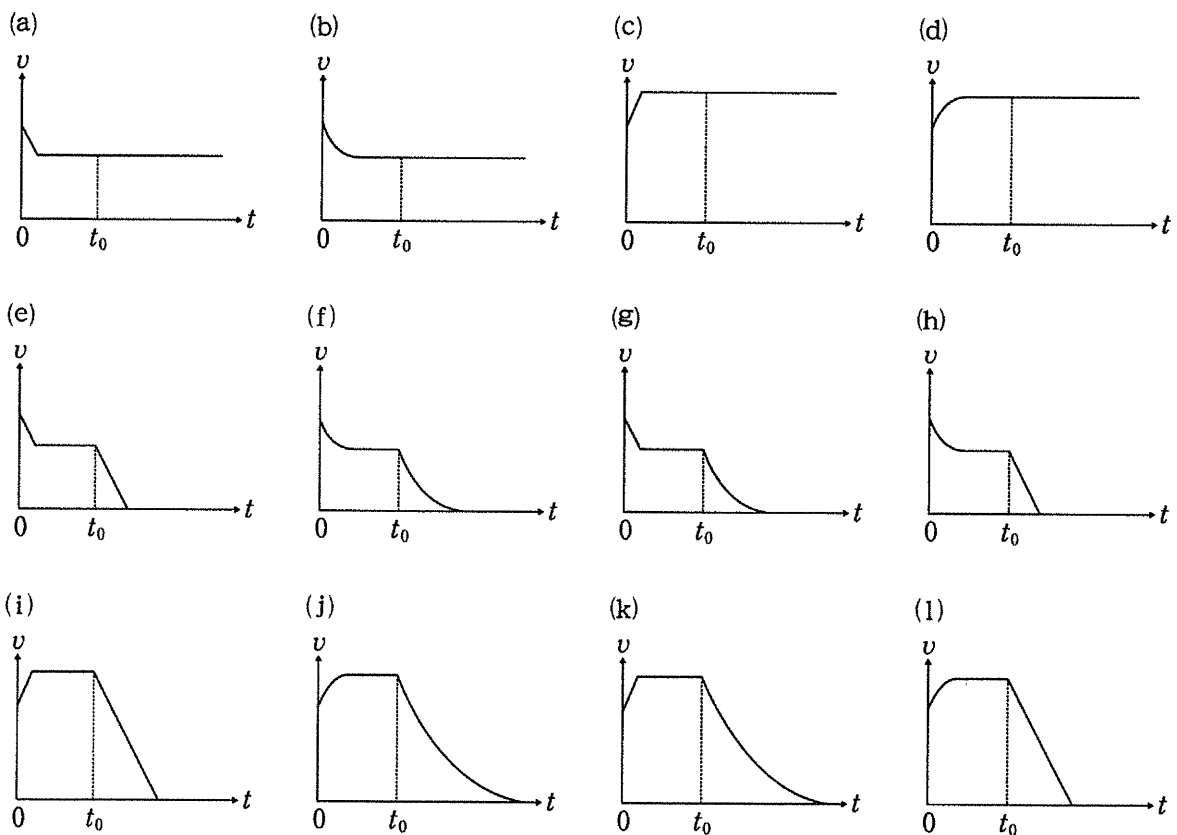


図 2

5 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。(配点 25)

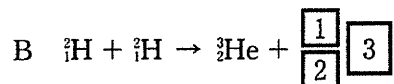
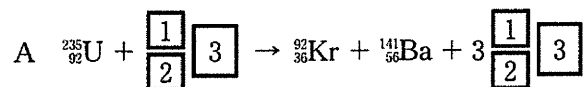
$\alpha$ 線である  原子核を他の原子核に衝突させて原子核の間で  や  の組み換えが起こるような反応を  と呼び、反応の前後で  と  の総数は変化しない。

一方で、原子核の質量は  や  が単体で存在している際の質量の合計よりも小さく、その差  $\Delta M$  を  という。1905年にアインシュタインが提唱した相対性理論にもとづけば、物質のもつ質量とエネルギーは同等であるため、 や  が単体で存在している状態と原子核を構成している状態との間には  $\Delta M$  に相当するエネルギー差が生じることになる。このエネルギーのことを  という。

質量数が大きく不安定な原子核（例えばウラン  ${}^{238}\text{U}$  など）は外部から  を吸収すると、より安定な複数の原子核に分かれるとともに  などが放出される。このような反応を  といい、反応前に比べ反応後では質量の総和が減少し、この減少に相当するエネルギーが放出される。逆に、質量数の小さな原子核どうしが結合することで全体の質量が減少し、それに伴いエネルギーが放出される反応がある。このような反応を  という。

問 1 空欄  から  までに入る適切な語句を記入しなさい。なお、同じ記号の空欄には同じ語句が入ります。

問 2 以下の A と B は  または、 を表す反応式である。式中にある 1 から 3 の四角に共通に入る数字もしくは記号を答えなさい。



X線は可視光よりも波長が短い電磁波の一種である。X線を物質に照射すると、様々な方向に異なる波長のX線が散乱されることが知られている。このような現象をコンプトン効果と呼ぶ。X線を波ではなく光子と呼ばれる粒子の一種として考え、図1に示すように物質中の電子と衝突するような状況を考えてよく説明できる。

まず、照射するX線における光子1個のエネルギー  $E$  [J] と運動量  $p$  [kg·m/s] はプランク定数  $h$  [J·s]、X線の波長  $\lambda$  [m]、真空中の光速  $c$  [m/s] を用いると、 $E =$   [J] および  $p =$   [kg·m/s] と表すことができる。

次に、物質に入射したX線が質量  $m_e$  [kg] の電子に衝突したことによって図1の  $x$  軸に対して角度  $\theta$  [°] の方向に波長  $\lambda'$  [m] となって散乱され、電子も角度  $\varphi$  [°] の方向に速さ  $v$  [m/s] で運動を始めた。このとき光子と電子が弾性衝突したと考えると、エネルギー保存の関係式は、 と書くことができる。また、 $x$  軸および  $y$  軸それぞれの方向の運動量保存の関係式を求めると、 $x$  軸方向については ,  $y$  軸方向については  と書くことができる。これらの関係と  $\frac{\lambda}{\lambda'} \cong 1$  であるという近似を用いると、入射X線と散乱されたX線の波長の差  $\lambda' - \lambda$  [m] は

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

と表すことができる。

問3 空欄  から  に適切な式を記入しなさい。

問4 X線に飛ばされた電子のエネルギーが最大になる場合、散乱されたX線の散乱角  $\theta$  [°] を求めなさい。ただし、 $\theta$  の範囲は  $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  である。

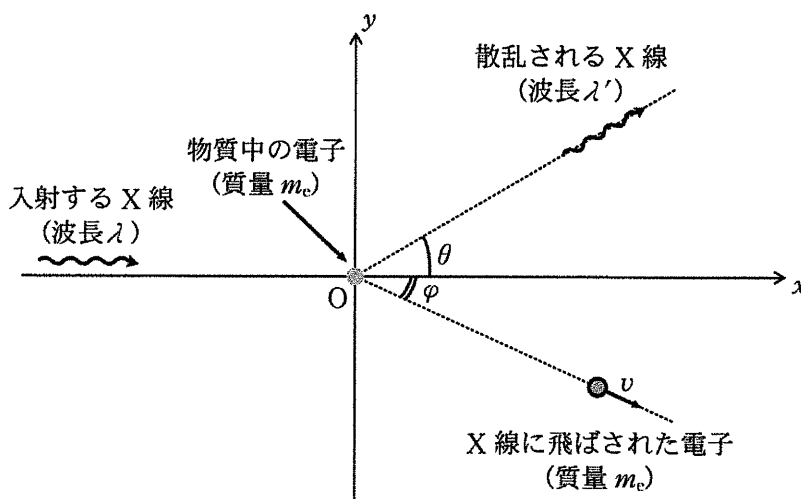


図1

