

令和 3 年度

理 科

問 題 冊 子

物 理

第1問 次の文章を読んで に適した式または値をそれぞれ記せ。問1は指示にしたがって解答せよ。なお、 は同じ番号の ですすでに与えられたものと同じ式または値を表す。

図1のように、質量 M の台が水平でなめらかな床の上に置かれており、ある高さから質量 m で大きさの無視できる物体 A を水平右向きに投射するときの運動について考える。台は水平な底面 F とそれに垂直な左右の壁をもち、底面 F と壁の内面はなめらかで、物体 A との間のはね返り係数は e ($0 < e < 1$) である。台の左壁は厚さが W であり、上面 S は水平である。上面 S の右端の位置を点 P とする。物体 A と上面 S の間には摩擦力が働くものとし、動摩擦係数を μ とする。物体 A の高さは底面 F を基準にとる。また、床に固定された点 O を原点とし、水平右向きに x 軸をとる。台は底面 F の左端の位置を原点 O にあわせて置かれている。重力加速度の大きさを g とする。なお、物体 A と台は紙面に垂直な方向には運動せず、台は傾くことなく x 軸方向に動くものとする。

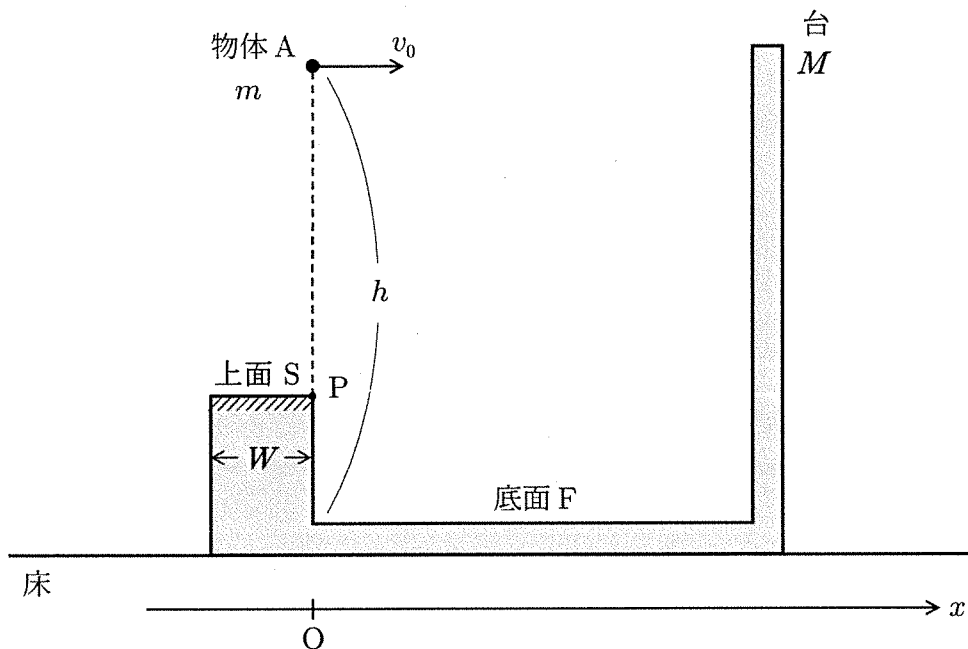


図 1

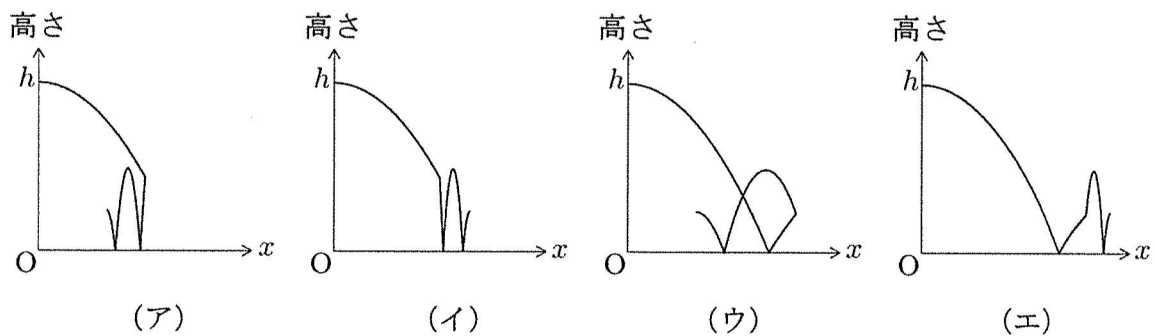
I いま、 $x = 0$ で高さ h の位置から物体 A を水平右向きに速さ v_0 で投射し、物体 A が台の底面 F や右内壁と 3 回衝突した後、放物運動の最高点で点 P から衝突なく上面 S に乗るような運動を考える。ここで、物体 A と台の 3 回の衝突のうち右内壁との衝突は 1 回とし、物体 A

を投射する時刻を $t = 0$ とする。

まず、物体 A の鉛直方向の運動について考える。底面 F との 1 回目の衝突直前における物体 A の鉛直方向の速さは である。この衝突後の物体 A の最高点の高さは となり、最高点に達する時刻は $t =$ である。物体 A が台と 3 回衝突した後点 P から上面 S に乗るので、上面 S の底面 F からの高さは である。また、物体 A が点 P に到達する時刻は $t =$ である。

次に、物体 A と台の水平方向の運動について考える。右内壁と物体 A の衝突直後における物体 A の速度の x 成分は であり、台に対する物体 A の相対速度の水平方向の大きさは である。物体 A が台と 3 回衝突した後点 P から上面 S に乗るので、台の底面 F の幅は である。以下では、物体 A が点 P に到達する時刻を $T_1 =$ とおく。

問1 時刻 $t = 0$ から T_1 までの物体 A の運動について、 $e = 0.7$, $m = 0.2M$ としたときの軌跡を表すグラフとして適切なものを以下の (ア) ~ (エ) の中から選び、記号で答えよ。



II 物体 A が時刻 $t = T_1$ に点 P から上面 S に乗った後、S 上をしばらくすべってから台に対して静止する場合を考える。物体 A は大きさ の摩擦力を受けながら上面 S をすべり、時刻 $t = T_1 +$ に台に対して静止する。物体 A が上面 S の左端から飛び出さないためには、左壁の厚さは $W >$ である必要がある。台に対して静止した後の物体 A の速度の x 成分は となる。

第2問 次の文章を読んで に適した式または値をそれぞれ記せ。 と

については最も適切な語句を解答群から一つ選び、記号で答えよ。なお、 は同じ番号の ですすでに与えられたものと同じ式または値を表す。

図2-1のような装置を用いて、 xy 平面内を運動する荷電粒子の分析を行う。イオン源から出た荷電粒子は、加速用電場（電界）で加速され、偏向用電場で向きを変えてスリットと原点 O を通過し、偏向用磁場（磁界）でさらに向きを変えた後、 x 軸方向に距離 L_2 だけ離れた蛍光面に衝突する。蛍光面は x 軸に垂直であり、荷電粒子が衝突するとその位置が発光する。加速用電場は、間隔 L_0 で電位差 V_0 の2枚の極板によりつくられており、極板には粒子を通す小さな穴が空いている。偏向用電場は、円弧状の極板 P_1 と P_2 によりつくられており、荷電粒子は極板間を通過する。偏向用磁場は、一様で磁束密度の大きさが B であり、 $0 \leq x \leq L_1$ の領域に紙面に垂直に表から裏の向きにかけられている。真空の誘電率を ϵ_0 とする。なお、加速用電場と偏向用電場は、極板の小さな穴や端による電場の乱れがないものとする。また、荷電粒子は真空中を運動するものとし、重力の影響は無視できるものとする。

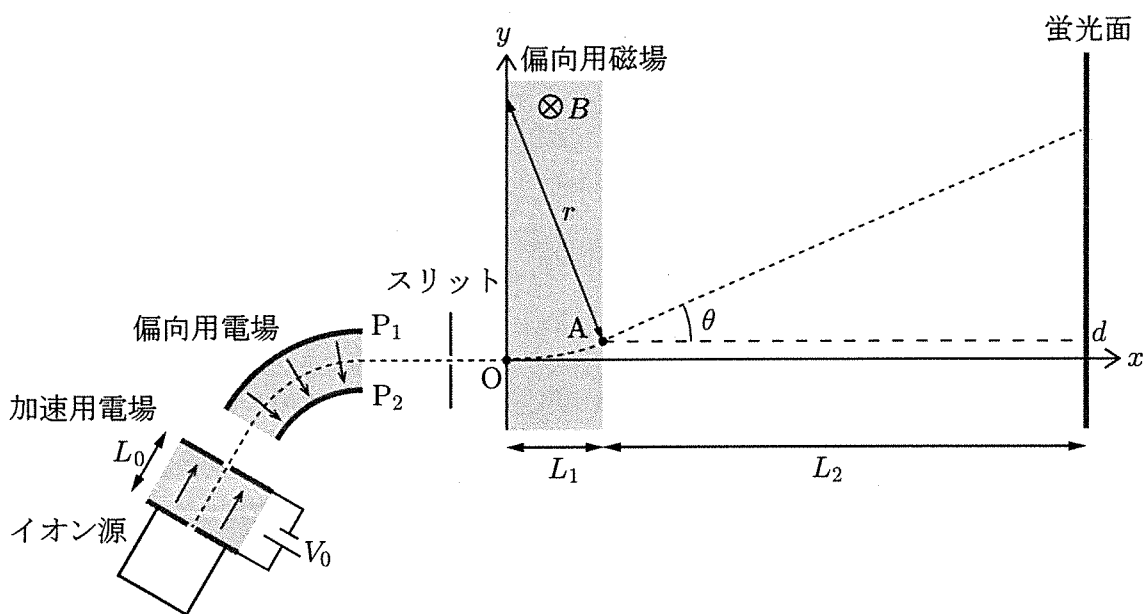


図 2 - 1

- I まず、イオン源から出た電気量 q ($q > 0$)、質量 m の荷電粒子は加速用電場で加速される。加速用電場が荷電粒子にする仕事は である。イオン源から出た直後の荷電粒子の速さを v_0 としてよいとき、極板間 L_0 を通過するのに要する時間は 、加速後の荷電粒子の速さは となる。

次に荷電粒子は、図2-2のような軸 R 方向の長さが h 、軸 R を中心とした角度 ϕ の円弧

状の極板 P_1 と P_2 がつくる偏向用電場を通過する。極板 P_1 と P_2 はコンデンサーとみなすことができ、その電気容量を C とする。電位差 V_1 を加えると、極板には電荷が一様に分布し、蓄えられる電気量の大きさは となる。極板 P_1 から出た電気力線はすべて P_2 に入るため、極板間の電気力線の本数を $\frac{4}{\epsilon_0}$ とすると、電気力線に垂直な単位面積を貫く電気力線の本数（電気力線の密度）が電場の強さに等しくなる。軸 R から距離 s の極板間にある荷電粒子は、軸 R に向かって大きさ の力を受ける。速さ の荷電粒子が偏向用電場領域で半径 s の軌道を進み、スリットを通り抜けるときの極板間の電位差は $V_1 =$ である。

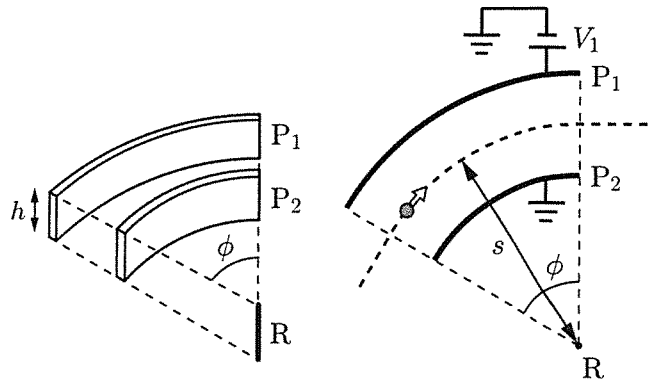


図 2-2

偏向用磁場に入射した速さ の荷電粒子は半径 r の円弧を描き、 x 軸方向となす角 θ で点 A から出る。半径 r は、 m, q, V_0, B を用いて $r =$ となる。点 A の y 座標は、 r と L_1 を用いて $d =$ と表せる。ここで、 $\left(\frac{L_1}{r}\right)^2 \ll 1$ とし、 $|a| \ll 1$ のとき $\sqrt{1-a} \approx 1 - \frac{1}{2}a$ となる近似式を用いると、 $d \approx$ となる。一方、 $\tan \theta$ では $\left(\frac{L_1}{r}\right)^2$ を無視してよいとすると、 r と L_1 を用いて $\tan \theta \approx$ となる。蛍光面で観測される発光点の y 座標は、 m, q, L_1, L_2, V_0, B を用いて $y =$ となる。

II 図 2-1 の装置で原子から電子を 1 つはぎ取った荷電粒子の分析を行った。まず、水素原子 (^1H) について分析したところ、蛍光面上の到達位置として図 2-3 の黒丸の位置が発光した。次に、電場と磁場の設定を変更せずに重水素原子 (^2H) について分析すると、。同様に、ヘリウム原子 (^4He) では 。

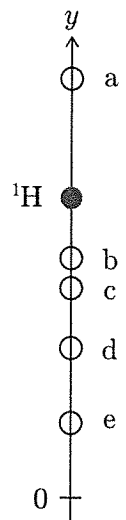


図 2-3

と の解答群

- (ア) 図 2-3 の a の位置が発光した (イ) 図 2-3 の b の位置が発光した
 (ウ) 図 2-3 の c の位置が発光した (エ) 図 2-3 の d の位置が発光した
 (オ) 図 2-3 の e の位置が発光した (カ) 蛍光面に到達しなかった
 (キ) 図 2-3 の a, b, c, d, e 以外の位置が発光した

第3問 次の文章を読んで に適した式または値をそれぞれ記せ。ただし、 4 については図3-2の中から最も適当なものを選び、記号で答えよ。

超音波は可聴音よりも振動数が大きい音波であり、指向性に優れていて減衰しにくい。医療では、この性質を生かして画像診断などに用いられている。図3-1のような超音波送受信器を用いて反射板までの距離を測定する場面を考える。水平右向きに x 軸をとり、超音波送受信器の位置を原点 O とする。超音波送受信器から送信される超音波は x 軸の正の向きに伝わり、反射板は x 軸方向に移動できるものとする。音速を V とし、超音波の振幅は減衰しないものとする。

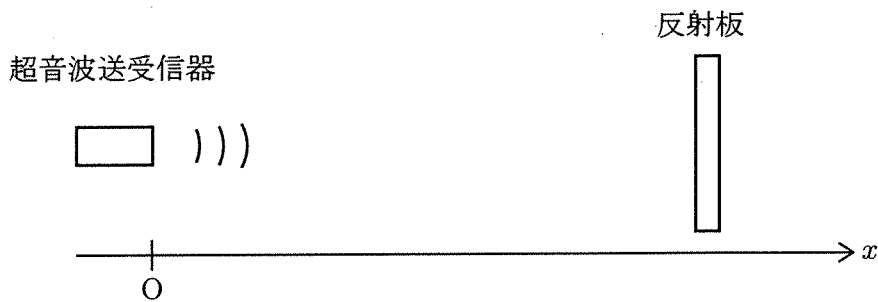


図3-1

I まず、反射板を取り除いた状態で、超音波送受信器から超音波が送信されている場合を考える。原点 O での x 軸方向の媒質の変位を、時刻 t の関数として $d = A \sin \omega t$ ($A > 0, \omega > 0$) と表したとき、超音波の波長は 1 , 振動数は $f_0 =$ 2 である。ただし、媒質が x 軸の正の向きに変位したとき、 d は正の値をとる。位置 x ($x > 0$) における時刻 t の媒質の変位は 3 となる。音波は媒質が密集した部分(圧力の高い状態, 密)とまばらな部分(圧力の低い状態, 疎)が繰り返し伝わる現象なので、疎密波としてとらえることができる。媒質の圧力を p とし、超音波が存在しないときの圧力 p_0 からの圧力変化を $\Delta p = p - p_0$ とおくと、時刻 $t = 0$ での x 軸方向の圧力変化 Δp を表すグラフとして最も適当なものは 4 である。

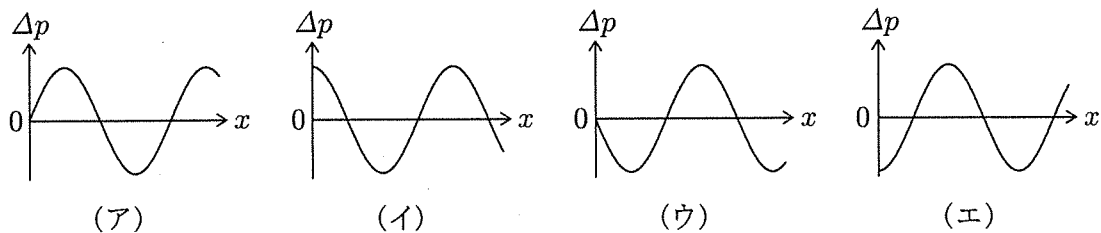


図3-2

II 次に、図 3-1 のように反射板を置き、一定の速さ v ($v < V$) で x 軸の正の向きに動かす場合を考える。時刻 $t = 0$ から短い時間 Δt の間だけ、超音波送受信器から超音波を送信する。ここで、 Δt は超音波の周期より十分に長いとする。また、送信される超音波に含まれる振動数は f_0 のみとし、以下では記号 f_0 を用いてよい。送信された超音波が反射板に当たっている時間は , 反射板が受ける超音波の振動数は である。反射板で反射した超音波の波長は , 振動数は となる。超音波送受信器は、反射板で反射した超音波を時間 の間だけ受信する。ここで、超音波送受信器で受信しはじめる時刻を $t = T_1$ とすると、時刻 $t = 0$ での超音波送受信器と反射板の距離は である。また、超音波送受信器で送信する超音波と受信する超音波の振動数の差が Δf ($\Delta f > 0$) のとき、反射板の速さ v は、 $\Delta f, f_0, V$ を用いて表すと、 $v =$ である。