

令和 5 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。ただし、 9 は数値で答えること。  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1-1のように、水平な床の上に台1を置き、その左側に大きさの無視できる質量  $m$  の物体を置く。台1の上面は、半径  $r$ 、中心角  $\angle PQS = 60^\circ$  の円筒面で、下端が点Pで床になめらかに接続し、点Pと中心Qを結ぶ直線は床に垂直である。重力加速度の大きさを  $g$  とする。床および台1の上面と物体との間にはたらく摩擦力は無視できるものとする。物体は紙面内でのみ運動する。

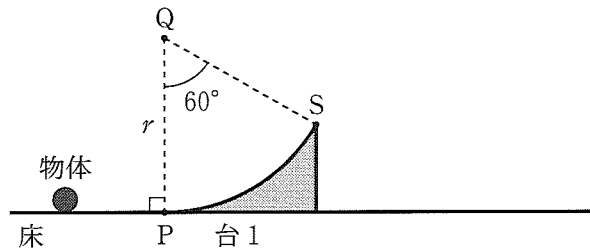


図1-1

I 台1を床に固定し、物体に水平右向きに大きさ  $v_0$  の初速度を与えた。図1-2のように、物体は点Pを通過し、台1の上面に沿って運動した。台1上の物体の位置をAとし、 $\angle PQA$  を  $\theta$  とすると、物体の床からの高さは  1 であり、物体の速さは  2 である。このとき、物体が台1の上面から受ける垂直抗力の大きさは  3 である。また、物体が台1の上端の点Sに到達するためには  $v_0 \geq$   4 でなければならない。

物体は点Sを通過し、その後、放物運動した。物体が床に落下するまでの運動を考えると、物体が点Sを通過してから最高点に達するまでの時間は  5 であり、最高点の床からの高さは  6 である。

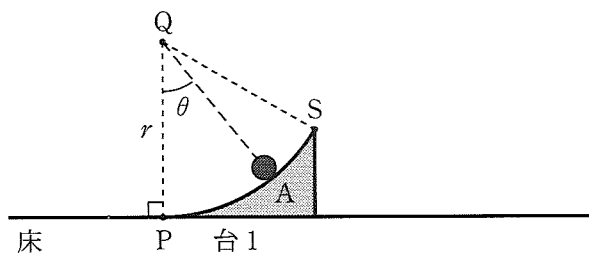


図1-2

II 図1-3のように、台1を床に固定したまま、台1の右側に台2を置いて床に固定した。台2の上面は、半径 $r$ 、中心角 $\angle STU = 60^\circ$ の円筒面で、点Sで台1の上面になめらかに接続し、中心Tと上端の点Uを結ぶ直線は床に垂直である。物体と台2の上面の間の摩擦力は無視できるものとする。

再び物体を台1の左側に置いて水平右向きに大きさ $v_0$ の初速度を与えたところ、物体は台1の上面に沿って点Sを通過し、その後、台2の上面に沿って運動した。台2上の物体の位置をBとし、 $\angle BTU$ を $\phi$ とすると、物体が台2の上面から受ける垂直抗力の大きさは  である。物体が台1、2の上面から離れることなく点Sを通過したことから、 $v_0 \leq$   である。また、物体の最高点をB'とし、 $\angle B'TU = \phi'$ とすると、 $\cos \phi' \leq$   が成り立つ。

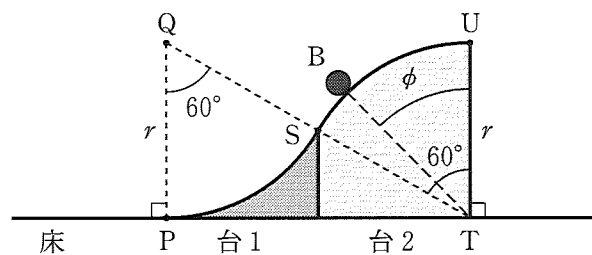


図1-3

III 台2を取り除き、台1の固定を外した。台1の質量は $M$ であり、点Pより右側の床と台1の間には摩擦力がはたらく。物体を台1の左側に置いて水平右向きに大きさ  の初速度を与えたところ、図1-4のように、物体が台1の上面に沿って点Cに到達した直後、台1は床の上をすべり始めた。 $\angle PQC = \theta'$ とすると $\cos \theta' = \frac{2}{3}$ であった。物体が点Cに到達した瞬間に台1が物体から受ける力の水平成分の大きさは  であり、床から受ける垂直抗力の大きさは  であることから、台1と床の間の静止摩擦係数は  である。

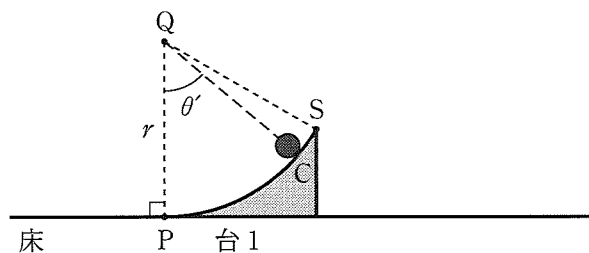


図1-4

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。 [ 7 ] ,  
 [ 12 ] , [ 14 ] , [ 15 ] については最も適当なものを解答群から一つ選び、記号を記  
 せ。

電荷が点Oのまわりに球対称に分布するとき、この電荷全体が点Oから距離 $r$ だけ離れた点P  
 につくる電場(電界)および電位は、点Oを中心とする半径 $r$ の球内のみに含まれる電気量と同じ  
 電気量の点電荷が点Oに置かれたときに点Pにつくる電場および電位と等しくなることが知られ  
 ている。点Pの電場および電位は、半径 $r$ の球の外側に球対称に分  
 布する電荷にはよらない。

図2-1のように、電気量 $Q$  ( $Q > 0$ )に帯電した半径 $a$ の導体球A  
 があり、その中心Oから距離 $r$ の位置に点Pをとる。クーロンの法  
 則の比例定数を $k$ 、電位の基準点を無限遠とする。

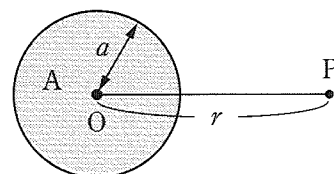


図2-1

I  $r > a$ の場合について考える。電荷は導体球Aの表面に一様に分布するため、点Pの電場の  
 強さは [ 1 ] , 電位は [ 2 ] となる。無限遠を電極板とみなすと、導体球Aの表面と  
 無限遠の間はコンデンサーとなり、その電気容量は、導体球Aの電気量と電位から [ 3 ]  
 と求めることができる。ここで、点Pに電気量 $q$  ( $q > 0$ )の点電荷(試験電荷)を置く。ただし、  
 導体球Aの電荷分布は、この試験電荷によって変化しないとする。試験電荷に導体球Aから受  
 ける静電気力とつり合う外力を加えて、試験電荷を点Pから導体球Aの表面までゆっくり移動  
 させるときに外力がする仕事は [ 4 ] となる。

II 図2-2のように、電気量 $Q$ に帯電した導体球Aの外側  
 に、内側の半径 $2a$ 、外側の半径 $b$  ( $b > 2a$ )の中空の導体球  
 (導体球殻)Bを、中心を点Oに一致させて置き、導体球Aま  
 たは導体球殻Bをスイッチにより接地して電位を基準点  
 (無限遠)と等しくできるようにする。なお、導体球殻Bには  
 細かい穴をあけ、導体球Aからの導線を通すが、この穴と導線  
 が電荷分布や電場に与える影響は無視できるものとする。

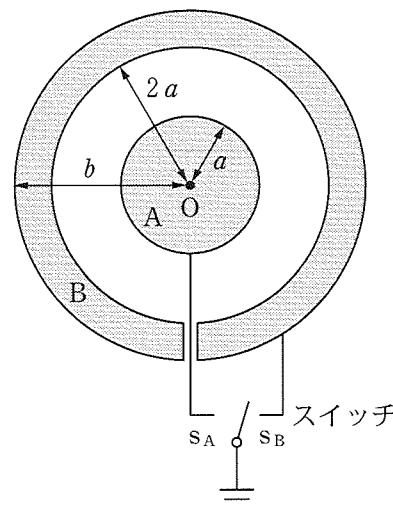


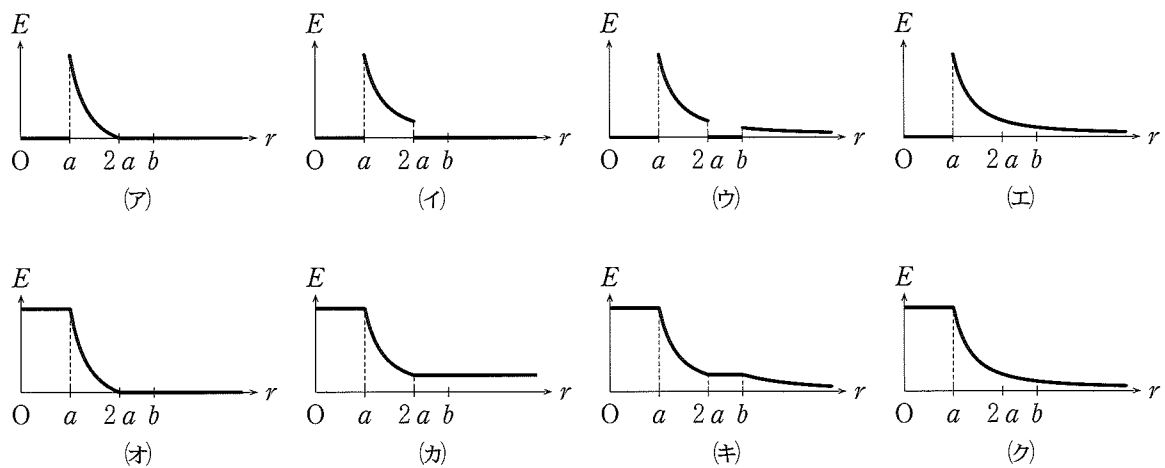
図2-2

まず、スイッチを $s_B$ 側に接続して十分な時間が経過した状  
 態を考える。導体球殻Bの内面には電気量 [ 5 ] の電  
 荷、外面には電気量 [ 6 ] の電荷がそれぞれ一様に分布  
 する。中心Oからの距離 $r$ と電場の強さ $E$ との関係を表す  
 グラフは [ 7 ] となり、 $a < r < 2a$ の点Pの電位は

[ 8 ] となる。導体球Aの表面と導体球殻Bの内面の間はコンデンサーとなり、これをコ  
 ンデンサー $C_1$ とする。 $C_1$ の電気容量は、 $k$ 、 $a$ 、 $b$ のうち必要なものを用いて表すと [ 9 ]  
 であり、蓄えられる静電エネルギーは [ 10 ] となる。

次に、スイッチを  $s_A$  側に切り替えて十分な時間が経過した状態を考える。導体球 A の表面の電気量を  $Q_1$  とおく。 $a < r < 2a$  での点 P の電場の強さは、 $k, r, Q, Q_1$  のうち必要なものを用いて表すと  $\boxed{11}$ 、電場の向きは  $\boxed{12}$  である。 $r > b$  での点 P の電場の強さは、 $k, r, Q, Q_1$  のうち必要なものを用いて表すと  $\boxed{13}$ 、電場の向きは  $\boxed{14}$  である。距離  $r$  と電場の強さ  $E$  との関係を表すグラフは  $\boxed{15}$  である。導体球殻 B の外面と無限遠の間はコンデンサーとなり、これをコンデンサー  $C_2$  とする。コンデンサー  $C_1$  と  $C_2$  の合成容量は、 $k, a, b$  のうち必要なものを用いて表すと  $\boxed{16}$  となり、コンデンサー  $C_1$  と  $C_2$  に蓄えられる静電エネルギーは  $\boxed{17}$  となる。また、導体球 A の電気量は、 $k, a, b, Q$  のうち必要なものを用いて表すと  $Q_1 = \boxed{18}$  となる。

$\boxed{7}$  ,  $\boxed{15}$  の解答群



$\boxed{12}$  ,  $\boxed{14}$  の解答群

- (ア) 点 P から中心 O に向かう向き
- (イ) 中心 O から点 P に向かう向き

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。問1～3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。角度の単位はラジアンとする。

I 図3-1のように、光源、回折格子、スクリーンを配置し、光源から平行な白色光を角度  $\alpha$  ( $0 < \alpha < \frac{1}{2}\pi$ ) で回折格子に入射させる。図3-2は回折格子付近の拡大図で、格子定数は  $d$  である。なお、図3-1の破線は、回折格子の面に対して垂直な線と平行な線を表す。

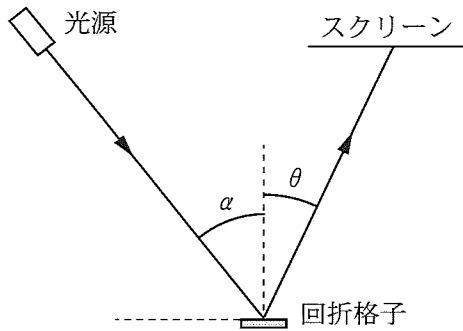


図3-1

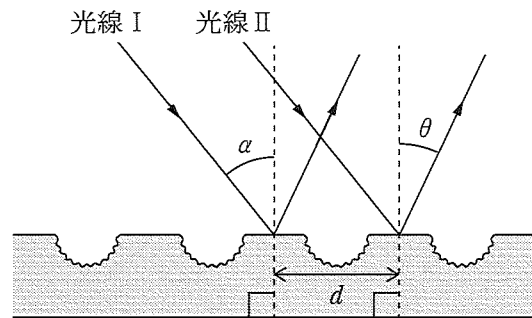


図3-2

図3-2の隣り合う面で回折する光線Iと光線IIについて考えると、光源から回折格子までの光路差は  1  , 回折格子から角度  $\theta$  ( $0 \leq \theta < \alpha$ ) 方向のスクリーン上の位置までの光路差は  2  である。隣り合う面で角度  $\theta$  に回折される光がスクリーンで強め合う条件は、光の波長を  $\lambda$ 、任意の整数を  $m$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) とし、 $d$ 、 $\alpha$ 、 $\theta$  を用いて表すと  $m\lambda =$   3  である。

II 図3-3のように、図3-1のスクリーンを光電管に交換し、スリットを設置して角度  $\theta = \beta$  に回折される光のみを測定できるようにする。さらに、回折格子だけを回転できるようにし、この回転角を  $\delta$  とおく。 $\delta$  は反時計回りを正とする。なお、図3-3の破線は、図3-1と同様に、 $\delta = 0$  のときの回折格子の面に対して垂直な線と平行な線を表す。回転角が  $\delta$  ( $\delta > 0$ ) のときに、回折格子の隣り合う面で回折される光が光電管で強め合う条件は、光の波長を  $\lambda$ 、任意の整数を  $m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) とし、 $d$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$  を用いて表すと  $m\lambda =$   4  である。ただし、 $\alpha - \beta \geq 2\delta$  とする。

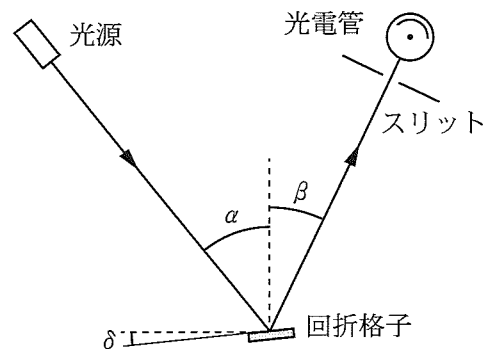


図3-3

$\alpha = \frac{\pi}{4}$ ,  $\beta = 0$ ,  $d = 800 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ ) とし、回折格子の隣り合う面で回

折されて光電管で強め合う光のうち、1次光( $m=1$ )のみについて考える。回転角 $\delta=0$ のときに光電管で強め合う光の波長 $\lambda_0$ は、有効数字2桁で表すと $\lambda_0 = \boxed{5}$  nmである。回転角 $\delta=0.0175 \text{ rad} (\cong 1^\circ)$ のときに光電管で強め合う光の波長を $\lambda_1$ とすると、 $\lambda_0$ と $\lambda_1$ の差は、有効数字2桁で表すと $\lambda_0 - \lambda_1 = \boxed{6}$  nmとなり、回折格子を回転することにより、光電管で強め合う光の波長を変えることができる。なお、 $\boxed{5}$ と $\boxed{6}$ の計算には、必要であれば加法定理 $\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B$ 、 $\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \mp \sin A \sin B$ 、および $\sin \delta \cong \delta$ 、 $\cos \delta \cong 1$ 、 $\frac{1}{\sqrt{2}} \cong 0.707$ を用いよ。

Ⅲ 図3-4のように、光電管は真空にしたガラス管の中に電極PとKを封入したものであり、直流電源の電圧を変えることによりPの電位を変えることができる。以下では、電気素量を $e$ 、真空中の光速を $c$ 、プランク定数を $h$ 、電極Kの仕事関数を $W$ とする。

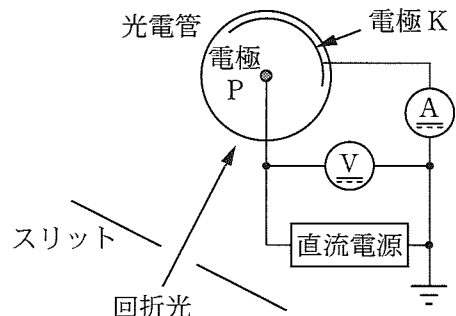


図3-4

光電管に入射する光の波長を $\lambda$ とすると、この光のエネルギーは $\boxed{7}$ である。波長 $\lambda$ の光が電極Kに当たると光電子が発生し、この光電子が電極Pに到達すると電流となって流れる。電極Kから飛び出した直後の光電子の運動エネルギーの最大値は $\boxed{8}$ である。電極Pの電位をKより低くしていくと、ある電位でPに光電子が到達しなくなり、電流が流れなくなる。このときのPK間の電圧の大きさは $\boxed{9}$ であり、これを阻止電圧と呼ぶ。

図3-3の回折格子の回転角 $\delta$ を変えて阻止電圧を測定したところ、図3-5で示す関係が得られた。なお、問1~3では、電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、光速 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ を用いよ。

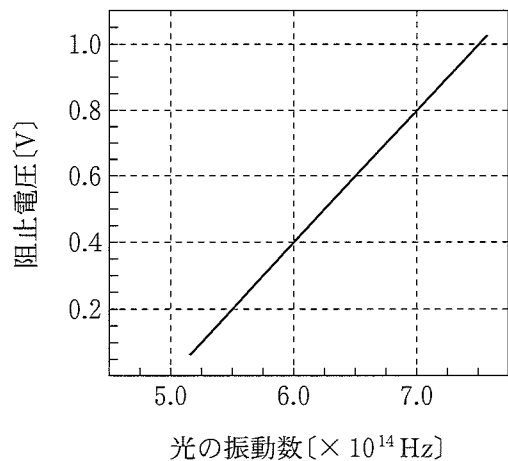


図3-5

問1 光の波長が $\boxed{5}$  nmのとき、その光の振動数を有効数字2桁で答えよ。

問2 図3-5からプランク定数を、単位 $\text{J}\cdot\text{s}$ を用いて有効数字2桁で答えよ。

問3 図3-5から電極Kの仕事関数を、単位 $\text{J}$ を用いて有効数字2桁で答えよ。