令　和　5　年　度

理　　　科

問　題　冊　子

物　　　理

第１問　次の文章を読んで $\boxed{}$ に適した式または値をそれぞれ記せ。ただし，$\boxed{9}$ は数値で答えること。$\boxed{}$（破線）は同じ番号の $\boxed{}$ で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 $\angle\mathrm{PQS} = 60^\circ$ 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。

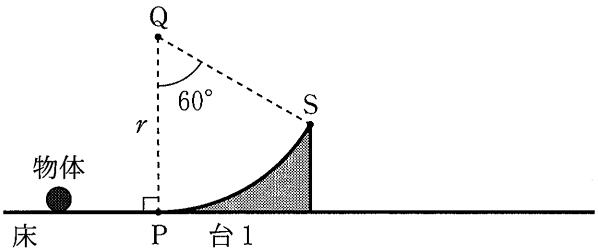


図１－１

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，$\angle\mathrm{PQA}$ を θ とすると，物体の床からの高さは $\boxed{1}$ であり，物体の速さは $\boxed{2}$ 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 $\boxed{3}$ 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 $v_0 \geqq \boxed{4}$ 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 $\boxed{5}$ であり，最高点の床からの高さは $\boxed{6}$ である。

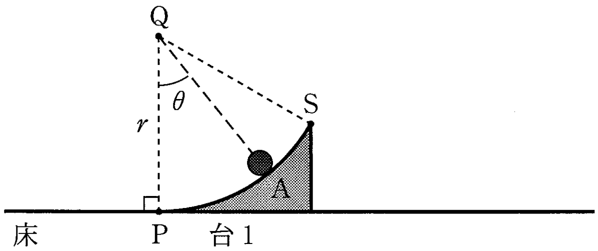


図１－２

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 $\angle\mathrm{STU} = 60^\circ$ 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，$\angle\mathrm{BTU}$ を ϕ 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 $\boxed{\quad 7 \quad}$ 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，$v_0 \leqq$ $\boxed{\quad 8 \quad}$ である。また，物体の最高点をＢ′とし，$\angle\mathrm{B'TU} = \phi'$ とすると，$\cos\phi' \leqq$ $\boxed{\quad 9 \quad}$ が成り立つ。

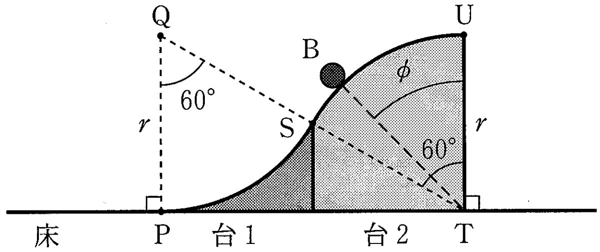


図１－３

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 [4] 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。$\angle\mathrm{PQC} = \theta'$ とすると $\cos\theta' = \dfrac{2}{3}$ 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 $\boxed{\quad 10 \quad}$ であり，床から受ける垂直抗力の大きさは $\boxed{\quad 11 \quad}$ であることから，台１と床の間の静止摩擦係数は $\boxed{\quad 12 \quad}$ である。

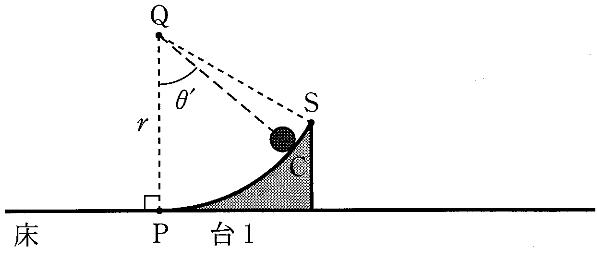


図１－４

第2問 次の文章を読んで $\boxed{}$ に適した式または値をそれぞれ記せ。$\boxed{7}$，$\boxed{12}$，$\boxed{14}$，$\boxed{15}$ 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。

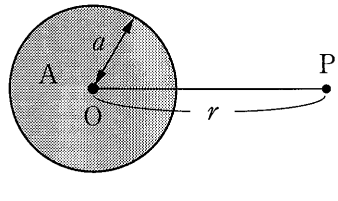


図2-1

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 $\boxed{1}$，電位は $\boxed{2}$ 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 $\boxed{3}$ 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 $\boxed{4}$ 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。

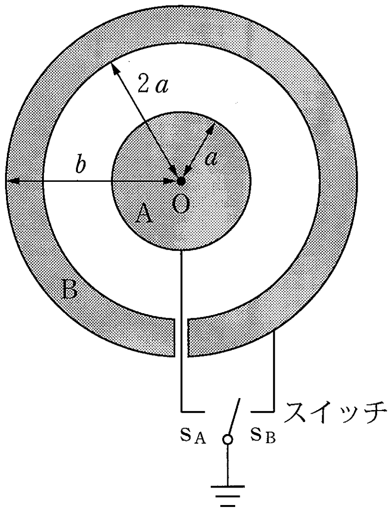


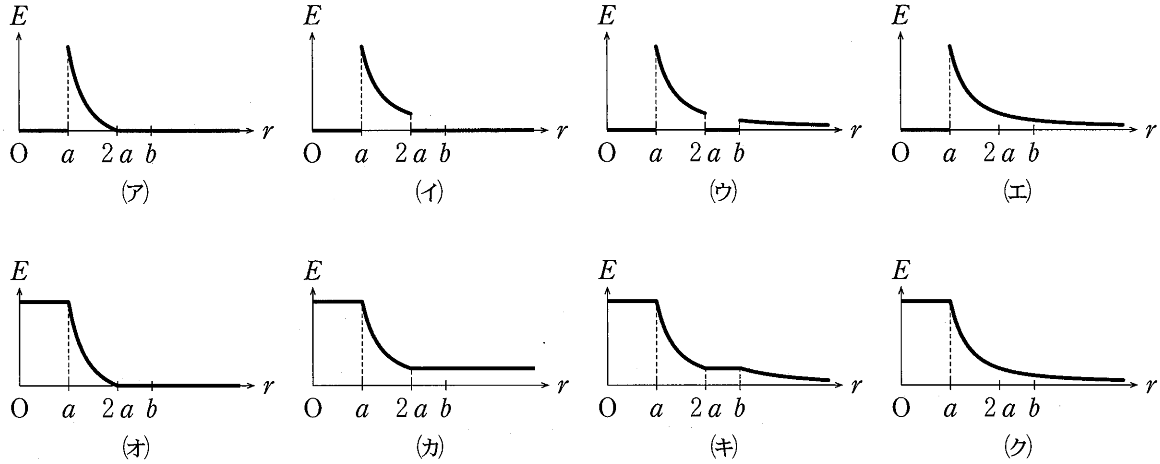
図2-2

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 $\boxed{5}$ の電荷，外面には電気量 $\boxed{6}$ 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 $\boxed{7}$ となり，$a < r < 2a$ の点Pの電位は $\boxed{8}$ 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 $\boxed{9}$ であり，蓄えられる静電エネルギーは $\boxed{10}$ となる。

◇M3(108—15)

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



(ア)　(イ)　(ウ)　(エ)

(オ)　(カ)　(キ)　(ク)

$\boxed{12}$ ，$\boxed{14}$ 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 $\boxed{}$ 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，$\boxed{}$ は同じ番号の $\boxed{}$ で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 $\alpha\left(0 < \alpha < \dfrac{1}{2}\pi\right)$ 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。

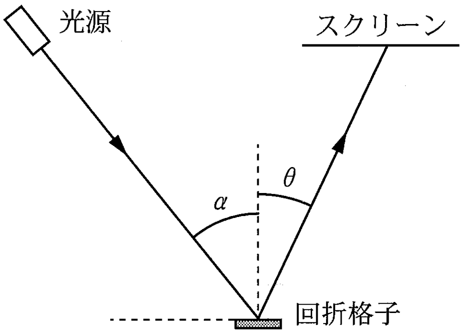


図3－1

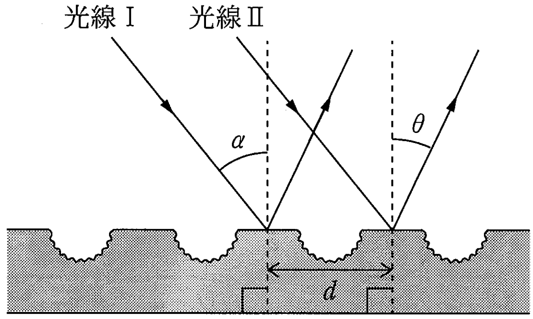


図3－2

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 $\boxed{\ 1\ }$ ，回折格子から角度 θ $(0 \leqq \theta < \alpha)$ 方向のスクリーン上の位置までの光路差は $\boxed{\ 2\ }$ である。隣り合う面で角度 θ 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 λ，任意の整数を m $(m = 1, 2, 3, \cdots)$ とし，d，α，θ を用いて表すと $m\lambda = \boxed{\ 3\ }$ 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 δ とおく。δ 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 δ $(\delta > 0)$ 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 λ，任意の整数を m $(m = 0, 1, 2, \cdots)$ とし，d，α，β，δ を用いて表すと $m\lambda = \boxed{\ 4\ }$ である。ただし，$\alpha - \beta \geqq 2\delta$ とする。

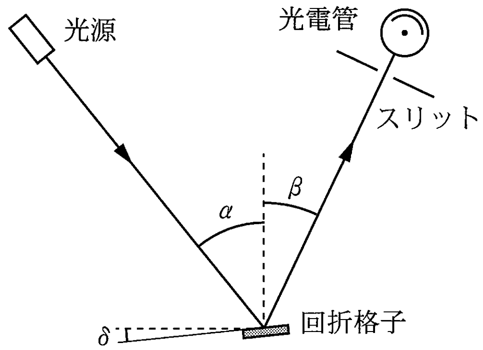


図3－3

$\alpha = \dfrac{\pi}{4}$，$\beta = 0$，$d = 800\,\mathrm{nm}$ $(1\,\mathrm{nm} = 1 \times 10^{-9}\,\mathrm{m})$ 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λ_0は，有効数字2桁で表すと$\lambda_0 = \boxed{5}$ nmである。回転角$\delta = 0.0175$ rad($\fallingdotseq 1^\circ$)のときに光電管で強め合う光の波長をλ_1とすると，λ_0とλ_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$\sin(\mathrm{A} \pm \mathrm{B}) = \sin \mathrm{A} \cos \mathrm{B} \pm \cos \mathrm{A} \sin \mathrm{B}$，$\cos(\mathrm{A} \pm \mathrm{B}) = \cos \mathrm{A} \cos \mathrm{B} \mp \sin \mathrm{A} \sin \mathrm{B}$，および$\sin \delta \fallingdotseq \delta$，$\cos \delta \fallingdotseq 1$，$\dfrac{1}{\sqrt{2}} \fallingdotseq 0.707$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。

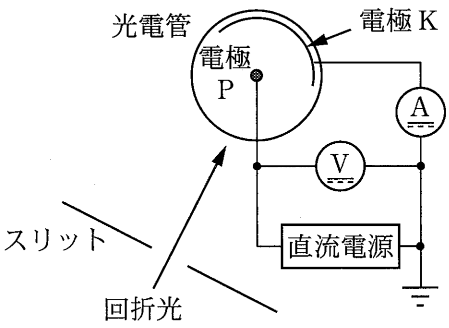


図3－4

光電管に入射する光の波長をλとすると，この光のエネルギーは $\boxed{7}$ である。波長λ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δ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$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，光速$c = 3.0 \times 10^{8}$ m/sを用いよ。

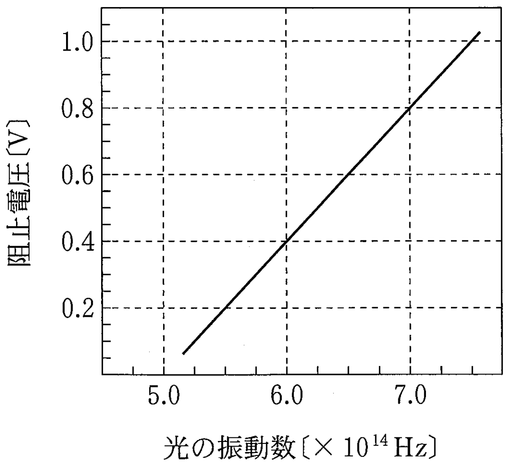


図3－5

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J·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Jを用いて有効数字2桁で答えよ。