

滋賀医科大学
令和6年度
医学科一般選抜(前期日程)

問題冊子

理 科

物 理	1 ページ～9 ページ
化 学	10ページ～15ページ
生 物	16ページ～25ページ

(注 意)

1. 問題冊子は試験開始の合図があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は表紙のほか 25 ページである。
3. 試験中に問題冊子及び解答用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
4. 問題は物理、化学、生物のうち 2 科目を選択し、選択した科目の解答用紙のすべてに受験番号及び氏名をはっきり記入すること。
5. 解答はすべて解答用紙の所定の解答欄に明瞭に記入すること。
6. 解答に関係のないことを書いた答案は、無効にすることがある。
7. 選択しない科目の解答用紙は、試験開始 120 分後に監督者が回収するので、大きく×印をして机の左側に置くこと。
8. 本学受験票を机の右上に出しておくこと。
9. 試験時間は 150 分である。
10. 問題冊子は持ち帰ってもよいが、解答用紙は持ち帰らないこと。

物 理 (3 問題)

I 以下の文中の に入る適当な式を, { } に入る適当な記号を記入し, 設問に答えよ。(配点 33)

十分に大きな水槽を用いてさまざまな浮力の実験を行う。重力加速度の大きさを g , 気体定数を R とする。水の密度 ρ は一定である。また, 大気圧は変化しないものとする。

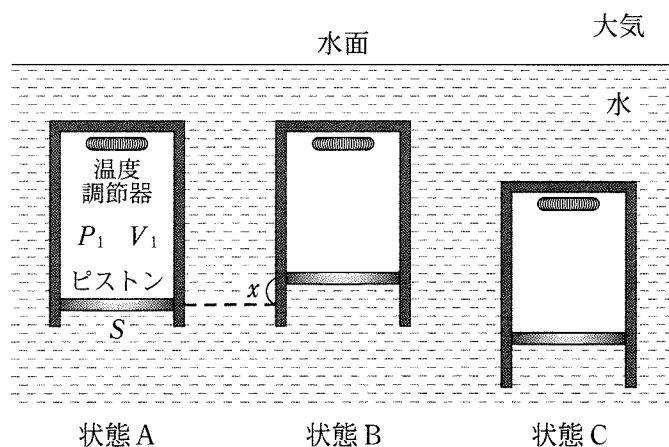


図 1

実験には, 漏れがなくなめらかに動く軽いピストンと温度調節器がついた円筒状の容器を用いる。ピストンの断面積を S とする。図 1 のように, 容器全体が水につき, 容器の上面が水面下にある場合を考える。容器内には物質質量 n の単原子分子理想気体(気体 G)が入っている。気体 G を含めた容器の全質量を M とする。簡単のため, 水中における容器の体積(容器が排除する水の体積)は気体 G の体積と等しいものとする。容器は断熱材でできており, 気体 G と温度調節器以外の熱のやり取りは考えなくてよい。必要に応じて側面から適切に力を加えることで, 容器の上面とピストンは水平に保たれている。また, 容器の位置を望みの深さに保つことができる。

図 1 の状態 A では, 気体 G の圧力は P_1 , 体積は V_1 であった。このとき, 気体 G の温度は ① と書ける。状態 A では, 容器の位置を保つには鉛直下向きの力を加える必要があった。

(a) 状態 A において、容器の位置を保ちながら、温度調節器を用いて気体 G の温度をゆっくりと変化させた。ピストンの位置が状態 A と比べて x だけ上がったとき、浮力と重力がつり合い、容器の位置を保つのに必要な鉛直方向の力の大きさが 0 になった。このとき浮力と重力のつり合いの式は $\boxed{\text{②}}$ と書ける。この状態を状態 B とする。状態 B における気体 G の圧力は、状態 A と比べてピストンの位置が水面に x だけ近いことから、 P_1, ρ, g, x を用いて $\boxed{\text{③}}$ と表される。この過程で気体 G がされた仕事は $\boxed{\text{④}}$ である。

問 1 状態 A から状態 B への変化に伴う気体 G の内部エネルギー変化を求めよ。考え方や計算過程を書くこと。

問 2 状態 A から状態 B に変化する過程で、温度調節器から気体 G が受け取った熱を求めよ。考え方や計算過程を書くこと。

(b) 状態 A から始めて、温度調節器を使って温度を一定に保ちながら、容器をゆっくりと下方に移動させ、浮力と重力がつり合う位置まで沈めた。このときの状態を状態 C とする。状態 C における気体 G の体積は、 V_1, x, S を用いて $\boxed{\text{⑤}}$ と表される。したがって、状態 C における気体 G の圧力は $\boxed{\text{⑥}}$ と書ける。

(c) ところで、理想気体が等温変化する場合と断熱変化する場合では、体積変化に伴う圧力変化の様子が異なる。

問 3 ある状態から理想気体が等温変化で体積が増す場合と、断熱変化で同じだけ体積が増す場合では、変化後の圧力が高いのはどちらで、なぜそうなるのか。内部エネルギーに着目して説明せよ。

(d) さて、状態 A から、温度調節器を使わずに浮力と重力がつり合う位置まで容器をゆっくりと沈める場合を考える。その場合、気体 G は断熱変化すると考えてよい。断熱変化する場合、理想気体の状態は (圧力) \times (体積) $^\gamma = \text{一定}$ という関係を満たしながら変化することが知られている。ただし、 γ は定圧モル比熱と定積モル比熱の比である。これより、浮力と重力がつり合う位置における気体 G の圧力は、 γ などを用いて $\boxed{\text{⑦}}$ と表される。よって、状態 C と比較すると、浮力と重力がつり合う位置は $\boxed{\text{⑧}}$ ア. 浅い イ. 同じである ウ. 深い ことがわかる。

II 以下の文中の に入る適当な式を記入し、設問に答えよ。(配点 33)

- (a) 図1に示すように、容量 C のコンデンサー、自己インダクタンス L のコイルを並列に接続し、抵抗値 R の抵抗を直列に接続した回路を考える。ab 間には電源電圧 (b に対する a の電位) が $V = V_0 \sin 2\pi ft$ で表される交流電源 (交流電圧の最大値 V_0 , 時刻 t , 周波数 f) をつなぐ。電源の内部抵抗および導線の電気抵抗は無視できる。各素子に流れる電流は、矢印の向きを正として、 I_R, I_L, I_C とする。電源の周波数 f を変化させていき、 $f = f_0$ になると I_R が t に関係なく 0 となった。このとき、 I_L, I_C は 0 ではなく、 V に対して位相がずれた交流電流が流れていた。この状態における cd 間の電圧 (d に対する c の電位) V_{cd} は、 t と f_0 などを用いて ① と書ける。よって、 I_L, I_C は、 V_0, f_0, t などを用いて、それぞれ ②, ③ と記述できる。 f_0 は共振周波数と呼ばれており、 $I_R = 0$ となることを用いて ④ と求められる。なお、必要であれば公式 $\sin(\beta + \gamma) = \sin\beta\cos\gamma + \cos\beta\sin\gamma$ を用いてよい。

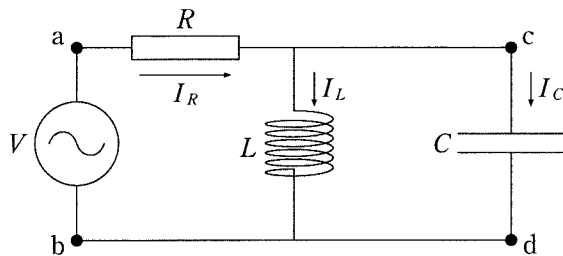


図 1

- (b) (a)に示したような LC 共振回路の振る舞いは、金属ナノ粒子 (サイズがナノメートル程度の粒子) に、特定の波長の光を当てたときに生じる、自由電子 (原子に束縛されず粒子内を自由に動くことができる電子) の集団の振る舞いによく似ている。以下では、その類似性に注目しながら、銀のナノ粒子をモデル化し、その電子の集団の振る舞いについて考えよう。

図 2(i)に示すように、半径 r が 10 nm (10^{-8} m) 程度の球形の銀のナノ粒子が座標原点にある場合を考える。銀の原子は、各原子が 1 個の自由電子を出すことで一価の陽イオン (銀イオン) となっている。このナノ粒子は一様に分布した銀イオンによる正電荷の球と、一様に分布した自由電子による負電荷の球の重ね合わせとなっているとみなすことができる。銀イオンは電子に比べて圧倒的に重いので、多数の銀イオンからなる正電荷の球の中心は座標原点に固定されていると考えてよい。銀イオンによる正電荷の球の単位体積あたりの電荷の量 (電荷密度) は d であるとする。一方、ナノ粒子中の銀の自由電子は、ある電場がかかったときに、半径 r の球として集団的に運動すると考える。ここでは、自由電子の集団の運動、かけられる電場や力は、すべて x 方向に平行とする。

図 2(ii)は、この電子集団を一様な負の電荷密度 $-d$ の球にとらえ、その中心座標が、 x 軸方向に x_p まで変位したと仮定した様子 (灰色部) の模式図である (簡単のため、 z 軸方向から見た xy 平

面の断面で表している)。ただし、 x_p は r に比べ十分に小さい。ナノ粒子内の大部分は正電荷と負電荷が重なっているので電氣的に中性な領域(斜線のある灰色部)のみであり、電子集団の球が x 方向にずれたことにより、イオン球の左側(x 軸負側)に正電荷(白抜き部分)、電子集団の球の右側(x 軸正側)に負電荷(斜線のない灰色部)の微小な電荷があらわれる。

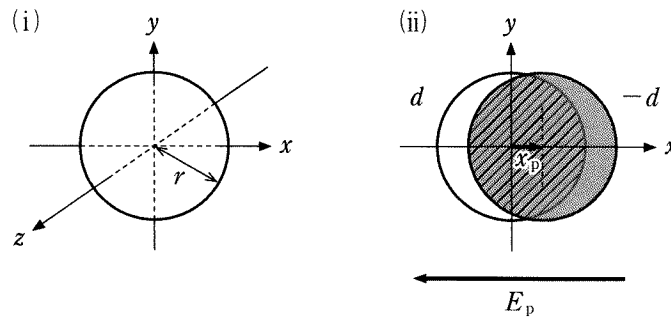


図 2

問 1 電気素量を ϵ 、銀の密度(単位体積あたりの質量)を ρ 、銀原子 1 mol あたりの質量を M 、アボガドロ定数を N_A とする。これらの記号および粒子の体積 V だけを用いて、銀のナノ粒子に含まれる銀イオンの個数、銀イオンの電荷密度、自由電子の単位体積あたりの個数(数密度)をそれぞれ求めよ。

問 2 任意の閉じた曲面を貫いて外に出る電気力線の本数は、曲面内部に含まれる電荷の電気量のみで決まる(ガウスの法則)。このことと、半径 r の球の表面積が $4\pi r^2$ 、体積が $\frac{4}{3}\pi r^3$ と表せることを用いて、一様に分布した銀イオンによる正電荷の球のみを考えたとき、球の表面の電場 E を、電荷密度 d 、半径 r などで簡潔に表せ。ただし、クーロンの法則の比例定数を k とする。電場の大きさは中心からの距離のみに依存し、電気力線の方向は球面に垂直であるとしてよい。

さて、ここで周期的に時間変化する外部からの電場に対して、ナノ粒子がコンデンサーとして振る舞う様子を見てみよう。いま、図 2(ii)のように、電子集団の中心が電場によって座標原点からある瞬間に x_p だけ離れ、ナノ粒子の両端に電荷 $\pm \Delta Q$ が分離された状態は、コンデンサーに電荷が蓄えられた状態とみなすことができる。この状態が蓄えるエネルギー U は、等価なコンデンサーに $\pm \Delta Q$ の電荷を蓄えたときのエネルギーに等しい、と考えると、このコンデンサーの電気容量は、 ΔQ と U を用いて ⑤ と書ける。

つづいて、ナノ粒子のコイルとしての振る舞いについて見てみよう。周期的に時間変化する外部からの電場に対して、この電子集団はクーロン力により力を受けて原点を中心に振動することになる。この振動では、ナノ粒子の両端に生じる分離された電荷の大きさが最大るとき、電子集団の速度は 0 である一方、電子集団の中心が座標原点を通過するとき、その速度が最大になる。

つまり、電子集団の移動による運動エネルギー K が最大るとき、 yz 平面を通過して流れる単位時間あたりの電気量(電流 I)の大きさが最大で、 K が 0 のときは I も 0 となる。この状況は、 LC 共振回路においてみられるような、コイルの蓄えるエネルギーとコンデンサーの蓄えるエネルギーが互いに移りあう振る舞いと同等、とみなすことができる。

電子集団の運動エネルギー K は、等価なコイルの蓄えるエネルギーに相当し、その大きさは、電子集団が変位する際のエネルギーの損失を無視すれば等しいと考えられる。いま、電子集団内の電子の個数を N とすれば、 K は、電子の質量を m 、および電子集団の速度 v を用いて ⑥ と書ける。さらに、等価なコイルに流れる電流 I を短い時間 Δt の間に yz 平面を横切る電気量であるとしてモデル化する。この場合、図 3 で示すように、 I は、負電荷の球の $x = 0$ の近傍を、うすい円柱(断面積 πr^2 、幅 $v\Delta t$)と近似して、この円柱の中に存在する電荷が、 Δt の間に yz 平面を横切ると考えて求めることができる。このとき I の大きさは、 v 、 r 、電気素量 e 、自由電子の数密度 n を用いて ⑦ と書ける。

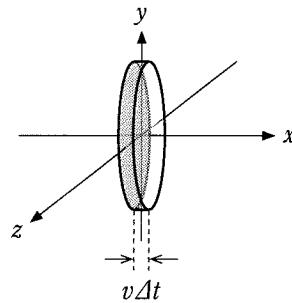


図 3

問 3 電子集団内の電子の個数 N を、自由電子の数密度 n 、および、負電荷の球の半径 r を用いて表したのち、問⑥、問⑦の結果を用いて、等価なコイルの自己インダクタンス L を n 、 e 、 m 、 r などを用いて表せ。

波長が十分に長い特定の単色光(光の振動数 f_p)が金属ナノ粒子に照射されると、その電子集団は時間変動する光の電場 E_p のもとで運動することになる。光の振動数 f_p の光の波長は、光速を c としたとき ⑧ と書ける。このような電子集団の運動状態にある金属ナノ粒子は、強く光を吸収し、吸収された光のエネルギーはジュール熱に変換されるか、散乱光として再放射される。実際の f_p は、金属ナノ粒子の大きさだけでなく、粒子の表面状態や形状にも影響を受ける。金属ナノ粒子の光吸収熱源やセンサーとしての応用は、光熱がん治療やドラッグデリバリー、ナノ手術など、医学分野で多くなされている。

Ⅲ 以下の文中の に入る適当な式または数値を，{ } に入る適当な記号を記入し，設問に答えよ。(配点 34)

図1のように水平で広いテーブル上に，小さい円柱状の物体が置かれている。このテーブルを上から鉛直に見下ろすようにカメラが設置されている。この装置を使って，物体の運動をカメラで撮影し，モニター画面で観察する実験を行う。

テーブル面上には直交する座標軸 a, b が描かれている。その原点を点 P と呼ぶ。物体はバネ定数 k の軽いバネで点 P と結ばれている。テーブル面はなめらかで，物体およびバネとテーブル面との間の摩擦は無視できる。カメラのレンズの中心軸を直線 L ，直線 L とテーブル面の交点を点 Q と呼ぶ。カメラの下には水平で透明な板がある。カメラと透明板は互いに固定されており，一体となってテーブル面に平行な移動と，直線 L まわりの回転ができる。透明板には直交する座標軸 x, y が描かれており，その原点を O と呼ぶ。直線 L は点 O を通っている。 xy 座標軸をテーブル面に鉛直に射影した直線を， x' 軸および y' 軸として図1に破線で示してある。 y' 軸の正方向をカメラの向きと呼ぶ。その方向は図1の角度 α で表す。 α の値は， y' 軸と b 軸がなす角度を， b 軸から左回り(反時計回り)に測った値とする。

物体と点 Q の ab 座標がわかれば，点 Q から物体に向かうベクトルの ab 座標系による成分が得られる。この成分は $\alpha = 0$ ，すなわち y' 軸が b 軸と平行で同じ向きである場合には， $x'y'$ 座標系による成分でもある。 $\alpha \neq 0$ の場合には， ab 座標系による成分に座標軸の方向についての補正をすることで， $x'y'$ 座標系による成分が得られる。点 Q は $x'y'$ 座標系の原点であるから，点 Q から物体に向かうベクトルの $x'y'$ 成分が物体の $x'y'$ 座標である。

カメラで撮影した像はモニター画面に送られ，物体の運動を動画で見ることができる。ただし，モニター画面には，物体と透明板の座標軸のみが映るようになっている。カメラと透明板は一体で動くので，カメラが移動あるいは回転しても，モニター画面上の座標軸は動かない。モニター画面上の物体の xy 座標は，テーブル上の物体の $x'y'$ 座標と常に一致する。

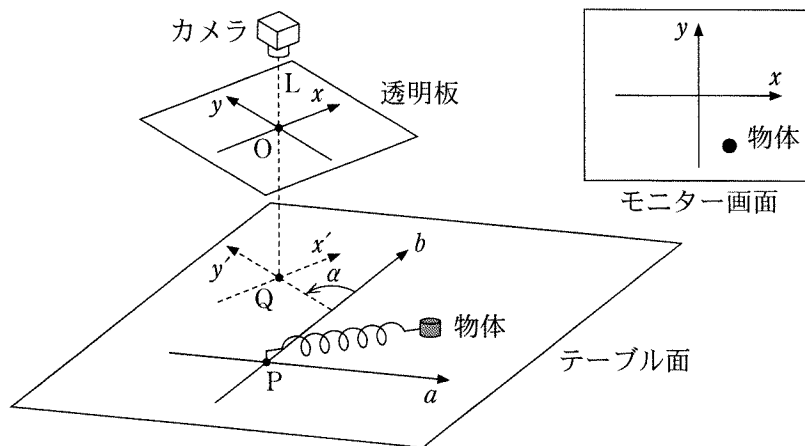


図1

- (a) 物体をテーブル面の ab 座標系で $(r, 0)$ の点に固定する。このときバネは自然の長さよりも少し伸ばされているとする。固定をそつとはずすと、それ以後物体は a 軸上で単振動を行う。物体の ab 座標は $(r + h(\cos \omega t - 1), 0)$ である。 h, ω および t は、それぞれ振動の振幅、角振動数、時間である。物体の振動の中心点は $(r - h, 0)$ である。この点を通り b 軸に平行な直線上で、点 Q が単振動をするようにカメラを動かす。点 Q の ab 座標は $(r - h, h \sin(\omega t + \theta))$ である。 θ は振動の初期位相とする。

例として $\theta = -\frac{\pi}{2}$ の場合を考える。図 1 の点 Q は $x'y'$ 座標系の原点であるから、点 Q から物体に向かうベクトルの $x'y'$ 成分が物体の $x'y'$ 座標である。したがって、 $\alpha = 0$ のときの物体の $x'y'$ 座標、すなわちモニター画面上の xy 座標は $(h \cos \omega t, h \cos \omega t)$ となる。モニター画面で見える物体の軌跡は、原点を通る傾き 1 で $-h \leq x \leq h$ の範囲の線分であることがわかる。テーブル面上の ab 座標系での軌跡と、モニター画面上の xy 座標系での軌跡は一致しない。 $\alpha \neq 0$ のときは xy 座標軸が α だけ回転する。モニター画面上では xy 座標軸は動かず、軌跡が点 O を中心に $-\alpha$ だけ回転すると考えればよい。図 2 に、さまざまな条件でモニター画面上に観測される軌跡を示す。上で考えた $\theta = -\frac{\pi}{2}$ の例では、 $\alpha = 0$ のときは図 2 のウ、 $\alpha = \frac{\pi}{4}$ のときは図 2 のエである。

次の(i)から(iv)の場合の物体の軌跡を、図 2 のア～クの中から選び、解答用紙の所定の欄にその記号を答えよ。図 2 に破線で示したのは、座標原点を中心とする辺の長さ $2h$ の正方形である。なお、必要であれば公式 $\sin(\beta + \gamma) = \sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma$ を用いてよい。

- (i) $\theta = \frac{\pi}{2}, \alpha = 0$ の場合 { ① } (ii) $\theta = 0, \alpha = \frac{\pi}{2}$ の場合 { ② }
- (iii) $\theta = \frac{\pi}{2}, \alpha = -\frac{\pi}{4}$ の場合 { ③ } (iv) $\theta = -\frac{\pi}{6}, \alpha = 0$ の場合 { ④ }

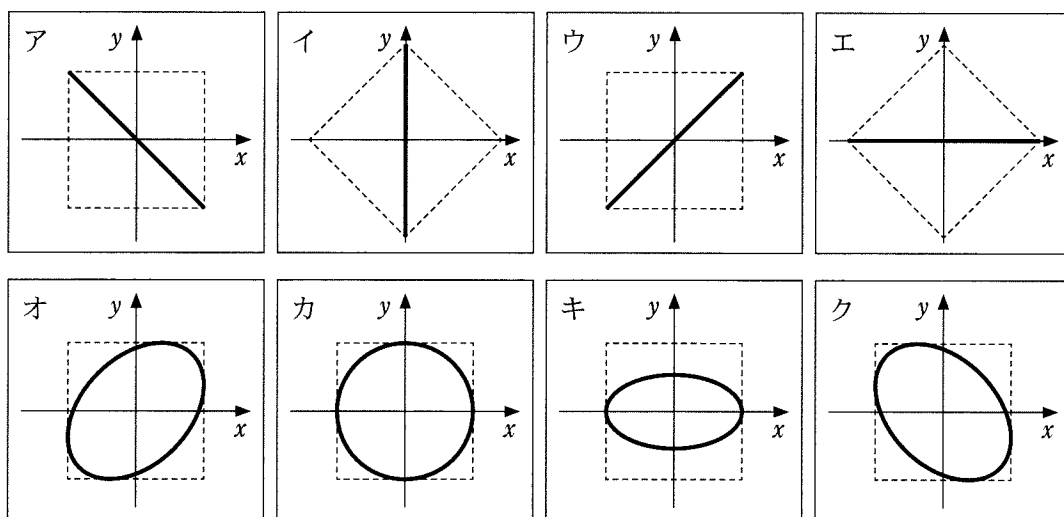


図 2

(b) (a)とは異なる物体の運動について、実験を行う。図1の装置では、カメラの動き方によっては、モニター画面上の xy 座標系で見る物体は、バネの力に加えて慣性力を受けているように見える運動をする。その場合、モニター画面で観測される物体の運動は、バネの力と慣性力の合力で決まる。実験者が以下の実験を行い、テーブル上の物体の運動とモニター画面の物体の運動を比較する。

物体をテーブル面の ab 座標系の $(r, 0)$ の点に固定する。このときバネは自然の長さよりも Δr だけ伸びているとする。ある瞬間に固定をはずすと同時に、物体に適当な初速度を与え、図3のように、バネが伸び縮みせず、物体が点 P を中心とした半径 r の左回り(反時計回り)の等速円運動を行うようにする。点 Q の位置が常に物体の位置に一致するように、カメラを移動させた。また、図1の y' 軸の正方向が常に物体の速度の向きになるように、直線 L まわりのカメラの向きを動かした。

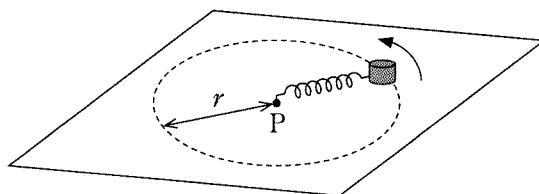


図3

問1 モニター画面の物体の運動から、物体が受けている合力について何がわかるか。わかることの内容と、そのことがわかる理由を説明せよ。図を使わず文章で答えること。

問2 モニター画面の物体が受けている慣性力の、大きさと方向を答えよ。方向は xy 座標軸を基準として答えよ。図を使わず文章で答えること。

(c) (b)と同じく、実験者が以下の実験を行い、テーブル上の物体の運動とモニター画面の物体の運動を比較する。図3と同じ運動をしている物体を、図3とは異なる位置のカメラで観測する。図4は物体が運動を開始した瞬間のテーブル面上の様子である。物体位置、点 P 、点 Q の3点が正三角形になっている。これ以後も正三角形を維持するようにカメラを動かす。 α は常に 0 に固定する。以下では、物体がテーブル上で等速円運動を行うと、モニター画面の物体も、点 O を中心とした同じ半径、同じ角速度の等速円運動を行うことを使ってよい。

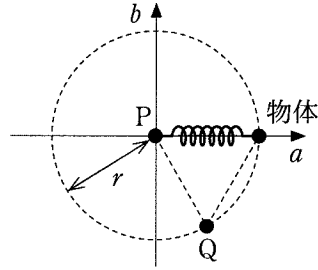


図 4

図 4 の瞬間におけるモニター画面での物体の座標は、 $(x, y) = (\boxed{\text{⑤}})$ である。また、モニター画面で点 P が見えるとしたら、同じ瞬間の点 P の座標は、 $(x, y) = (\boxed{\text{⑥}})$ である。モニター画面で物体が受ける力の合力の向きは、{⑦ ア. 点 O, イ. 物体の位置, ウ. 点 P の位置} から {⑧ ア. 点 O, イ. 物体の位置, ウ. 点 P の位置} へ向かう向きである。また、モニター画面で物体が受ける慣性力の向きは、{⑨ ア. 点 O, イ. 物体の位置, ウ. 点 P の位置} から {⑩ ア. 点 O, イ. 物体の位置, ウ. 点 P の位置} へ向かう向きである。