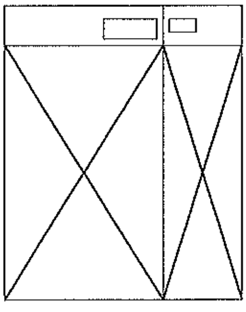
平成29年度入学試験問題（一般入試）

理　　　　科

注　意

1. 問題冊子は，指示があるまで開かないこと。
2. 問題文は，物理：１～７ページ，化学：８～13ページ，生物：14～21ページで，13ページは余白である。
3. 解答紙は計３枚で，物理：１枚，化学：１枚，生物：１枚である。
4. 解答開始前に，試験監督者の指示にしたがって，選択しない科目も含めすべての解答紙それぞれ２カ所に受験番号を記入すること。
5. 試験監督者の指示にしたがって，選択しない科目の解答紙に下記のように╳印を大きく２カ所記入すること。



6. 「始め」の合図があったら，問題冊子のページ数を確認すること。
7. 解答は，黒色鉛筆（シャープペンシルも可）を使用し，すべて所定の欄に記入すること。欄外および裏面には記入しないこと。
8. 下書き等は，問題冊子の余白を利用すること。
9. 試験終了後，監督者の指示にしたがって，解答紙を物理，化学，生物の順番にそろえること。
10. 解答紙は持ち帰らないこと。

物　　　理

〔1〕 次の文章を読んで，以下の設問に答えなさい。

質量 m〔kg〕を持つ一様な球の表面上の１点に伸び縮みしない糸がつなげられている。糸のもう一端は支点につながっている。球の運動は支点を含む鉛直平面内に限られており，その平面内で支点を水平方向に移動させることができる。支点から球の重心までの距離を L〔m〕，重力加速度を g〔$\mathrm{m/s^2}$〕，円周率を π とする。空気抵抗，糸の質量は無視できる。

(1) 支点を固定し，支点から球の重心までの距離を L〔m〕に保ったまま鉛直方向から角度 A〔rad〕の位置まで球を引き上げ（図１）静かに放す。球が最下点に来たときの速さを与えられた記号を用いて表しなさい。球は質点とみなしてよい。

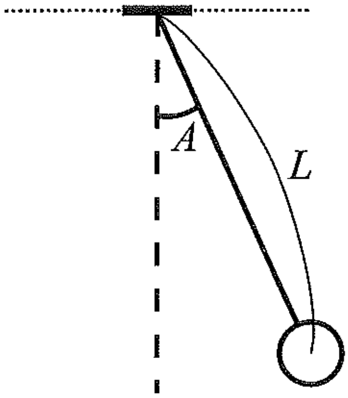


図１

◇M3（622—17）

(2) 角度A〔rad〕の位置から静かに放された球が最下点に来た瞬間，それまで固定されていた支点は水平軸の正の方向(球の運動の向きと反対向き)に一定の加速度a〔m/s^2〕で等加速度直線運動を始めた。その後，球は鉛直方向からB〔rad〕の角度をなす位置を中心に振動していた(図2)。球は質点とみなしてよい。

2—1．$\tan B$をa〔m/s^2〕およびg〔m/s^2〕を用いて表しなさい。

2—2．球が最大に振れたときの位置を，図2のように角度B〔rad〕の位置からなす角度C〔rad〕で表す。$\cos C$を$\cos A$および$\cos B$を用いて表しなさい。

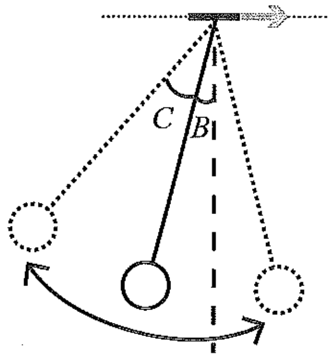


図2

2—3．A〔rad〕およびB〔rad〕がある条件を満たすときには，球は支点を含む水平面に達することができる。この条件を表す図として，図3の(ア)～(シ)の中から適切なものを一つ選び記号で答えなさい。図3の横軸はA〔rad〕，縦軸はB〔rad〕であり塗りつぶされた部分が条件を満たす領域である。

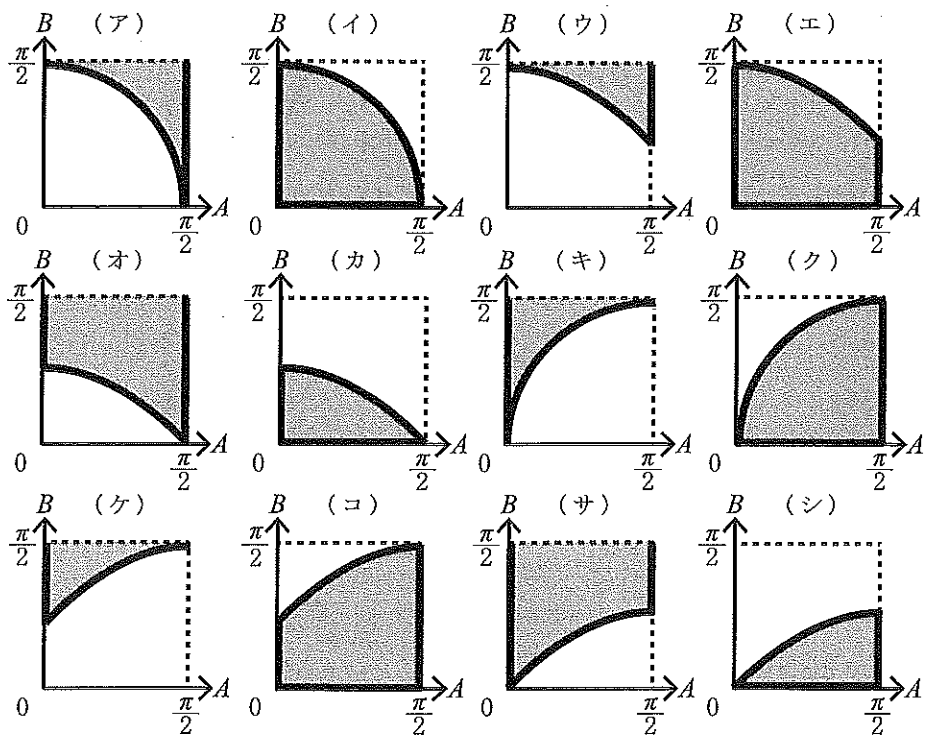


図3

2—4．球が支点を含む水平面に達することができる条件をA〔rad〕およびB〔rad〕が満たしているとする。球が支点を含む水平面を横切る瞬間の速度の鉛直成分をv〔m/s〕とするとき，$\dfrac{v^2}{2gL}$をA〔rad〕，a〔m/s^2〕およびg〔m/s^2〕を用いて表しなさい。

(3) 球の重心が支点を含む水平面を横切る瞬間に支点の加速度は0になり糸の張力が0になった。以後，張力は0のままであった。

球の半径をr〔m〕とする。図4のように，球の表面上には糸との接着点Jの反対側に小さな穴Hが開いている。糸の張力が0になった瞬間を時刻0とし，その後，地上の観測者から見て球は図5のように自転しながら放物運動を行った。自転により穴Hが鉛直真下を向く状況を考えよう。ただし，自転軸は球が運動している鉛直平面に対して常に垂直であり，また，穴Hと糸は球の運動に影響を与えず，球の自転がその他の運動に与える影響も考えない。

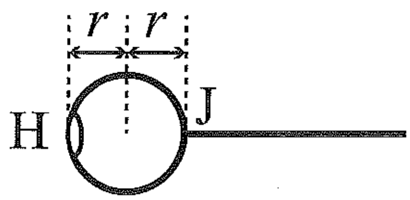


図4

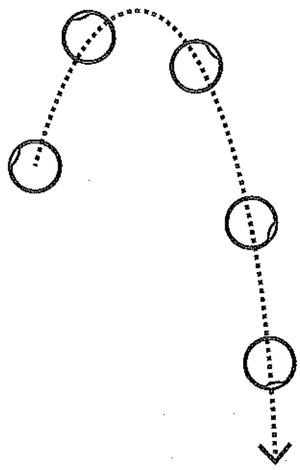


図5

3―1．時刻0での支点を中心とする球の回転角速度をω〔rad/s〕とする。次の文章中の(ア)から(エ)に適した式をL〔m〕，r〔m〕，ω〔rad/s〕のうち必要なものを用いて表しなさい。

支点から穴Hまでの距離が$L+r$〔m〕なので，時刻0での支点から見たHの速さは，$\boxed{\text{(ア)}}$〔m/s〕と書くことができ，球の中心に対するHの相対的な速さは$\boxed{\text{(イ)}}$〔m/s〕となる。同様に，この時刻での支点から見た接着点Jの速さは$\boxed{\text{(ウ)}}$〔m/s〕なので，球の中心に対するJの相対速度の大きさは(イ)と同じ値で，向きは逆になる。したがって，球の自転角速度は，$\boxed{\text{(エ)}}$〔rad/s〕となる。球は張力が0になった後，この角速度で自転する。

3―2．球の自転によりHの位置が鉛直下向きになったとき，球の重心の位置はちょうど支点を含む水平面であった。$A=\frac{\pi}{2}$〔rad〕のとき，(2)で等加速度直線運動をしていたときの支点の加速度a〔m/s^2〕は重力加速度g〔m/s^2〕の何倍であったか。

〔2〕 次の文章の $\boxed{}$ に適した式を記入しなさい。ただし，$\boxed{\text{オ}}$ および $\boxed{\text{ケ}}$ は直後の【 】の中からもっとも近い値を選び，解答欄の記号を塗りつぶしなさい。

設定1　金属導線中の自由電子の動きを考える。

電場がかかっていないときでも金属導線中の自由電子は大きな速さを持って様々な方向に偏ることなく運動しているが，正イオンの熱振動と相互作用して速度を大きく変えられる。以下では自由電子が正イオンの熱振動と相互作用することを「衝突」と呼ぶことにする。衝突の時間間隔を τ〔s〕としよう（ある時刻に衝突した後，τ 秒後に次の衝突が起こる）。相互作用している時間は τ〔s〕に比べて十分短いとする。自由電子の電荷の絶対値を e〔C〕，質量を m〔kg〕とする。

長さ L〔m〕，断面積 S〔m^2〕の金属導線の両端に電圧 V〔V〕がかかっている。自由電子は電場から力 $\boxed{\text{ア}}$〔N〕を受け加速度 $a=$ $\boxed{\text{イ}}$〔m/s^2〕で加速される。τ 秒後に速度 $a\tau$〔m/s〕に達するが，衝突が起こり得られた速度が 0 になる。この後，あらためて電場によって加速され τ〔s〕後にまた衝突して得られた速度が 0 になる。これを繰り返しながら移動すると考える。自由電子の速度の平均値を $\dfrac{a\tau}{2}$〔m/s〕と考えれば，自由電子が L〔m〕の金属導線の端から反対の端に達する平均時間 T〔s〕は $\dfrac{2L}{a\tau}$〔s〕である。すなわち，ある時刻にこの金属導線中にあった自由電子は，その時刻から時間 T〔s〕内に端から全て出ていくと考えることができる。このとき金属導線を流れる電流は $\dfrac{1}{\rho}\times\dfrac{S}{L}\times V$〔A〕となりオームの法則を満たす。ここで，$\rho$ はこの金属導線の抵抗率であり，金属導線中の自由電子の個数密度 n〔個/m^3〕，m〔kg〕，τ〔s〕，および e〔C〕を使って $\rho=$ $\boxed{\text{ウ}}$〔Ω·m〕と書くことができる。また，衝突によって失われた自由電子の運動エネルギーがジュール熱になったと考えよう。一回の衝突で電子が失う運動エネルギーを $\varepsilon=\dfrac{1}{2}m(a\tau)^2$〔J〕とすれば，1秒間に発生するジュール熱 P〔W〕は ε〔J〕，τ〔s〕，n〔個/m^3〕，L〔m〕，S〔m^2〕を用いて $P=$ $\boxed{\text{エ}}$〔W〕と表される。これは $\dfrac{1}{\rho}\times\dfrac{S}{L}\times V^2$ に等しい。

亜鉛の抵抗率は 5.9×10^{-8} Ω·m，亜鉛の自由電子の個数密度は 1.3×10^{29} 個/m^3，電子の質量および電荷は 9.1×10^{-31} kg，1.6×10^{-19} C である。亜鉛導線中の電子の衝突時間間隔は，およそ $\boxed{\text{オ}}$ 秒【a．10^{-14}，b．10^{-11}，c．10^{-8}，d．10^{-5}，e．10^{-2}，f．10】である。

設定2　電解質溶液の電気抵抗を考える。以下では電解質溶液の対流や濃度の不均一に起因するイオンの移動(拡散)は無視する。

電解質溶液に電極を差し込み，電圧をかける(図6左上)。電圧が強くないとき，電極間の電場は一様でなく図6左下のように両電極付近のみが強くなり，また電極での電子の授受(電気分解)はほとんど起こらず電流は微弱である。そこで電圧をかけた電解質溶液を図6右のような二つのコンデンサー(容量C〔F〕)と一つの抵抗(抵抗R〔Ω〕)と仮定することができる。

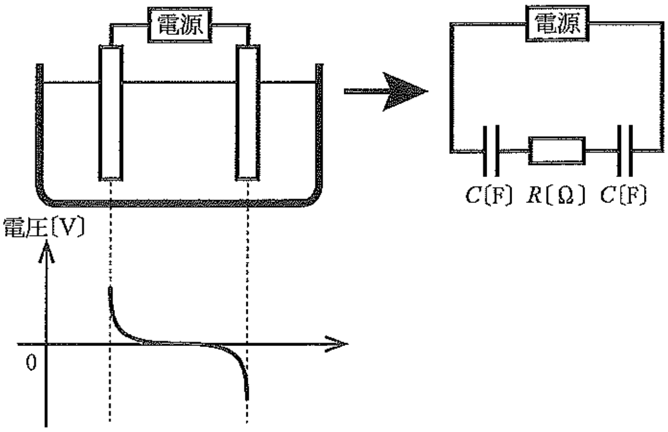


図6

電極近傍を除く領域での電解質溶液の電気抵抗がどのように決まるのかを考えよう。この領域での溶液中のイオン濃度は十分低く，他のイオンとの相互作用は無視する。ここに一様な電場E〔V/m〕がかかっているとしよう。イオンの電荷の絶対値をq〔C〕とすると，イオンは電場から［　カ　］〔N〕の力を受けるが，そのまま加速され続けるわけでなく，溶媒から抵抗を受ける。ここで溶媒からイオンの速度v〔m/s〕とイオン半径a〔m〕に比例する抵抗力，kav〔N〕，を受けるとしよう。kは定数である。イオンは最終的に電場からの力(カ)と溶媒からの抵抗力のつりあいで決まる速度$v_T=$［　キ　］〔m/s〕で運動する。イオンの個数密度をN〔個/m^3〕とすると，単位面積を単位時間に通過するイオンの個数はNv_T〔個〕である。したがって電解質溶液の場合もオームの法則が成り立ち，抵抗率ρは［　ク　］〔Ω·m〕である。

1000 mol/m^{3}のKCl水溶液を考えよう。K^+イオンとCl^-イオンの電荷の絶対値は1.6×10^{-19} C，K^+イオンもCl^-イオンも同じイオン半径$a=1.6\times10^{-10}$ mを持つとする。溶媒から受ける抵抗力kav〔N〕の定数kは2×10^{-2} Pa·sとする。このとき，この溶液の抵抗率はおよそ［　ケ　］Ω·m【a．0.001，b．0.01，c．0.1，d．1，e．10，f．100】である。アボガドロ定数を6.02×10^{23}/molとする。

実際に電解質溶液の抵抗R〔Ω〕を計測するためには交流電源を用いる。電圧として$V_0\sin\omega t$〔V〕を加えたとき(ω〔rad/s〕は角周波数，t〔s〕は時間，V_0〔V〕は電圧の振幅である)，電解質溶液のインピーダンスを与えられた記号を用いて表すと［　コ　］〔Ω〕となり，十分大きい角周波数ω〔rad/s〕を用いれば電解質溶液の抵抗R〔Ω〕を近似的に求めることができる。

〔3〕 次の文章を読んで以下の設問に答えなさい。

X線管とは，熱せられた陰極から飛び出した電子を電圧で加速して陽極に衝突させることによりX線を発生させる装置である。

(1) 人体に対するX線撮影においては，陰極から飛び出した電子をおよそ100 kV程度(撮影する部位によって異なる)の電圧で加速することにより発生したX線を用いる。加速電圧が60 kVのときに発生するX線の最短波長をλ_{60}〔m〕，120 kVのときの最短波長をλ_{120}〔m〕とするとき，$\dfrac{\lambda_{60}}{\lambda_{120}}$はいくらか。

(2) ある金属を陽極として用いたとき図7のようなX線スペクトルが得られ，4本の特性X線，A，B，C，D，が確認された。A，B，C，Dに対応する電子のエネルギー準位間の遷移(図8)を次の(a)～(h)の中から選び解答欄の記号を塗りつぶしなさい。

(a) A．イ　B．ロ　C．ハ　D．ニ　　(b) A．ニ　B．イ　C．ロ　D．ハ
(c) A．ハ　B．ニ　C．イ　D．ロ　　(d) A．ニ　B．ロ　C．ハ　D．イ
(e) A．ニ　B．ハ　C．ロ　D．イ　　(f) A．ハ　B．ロ　C．イ　D．ニ
(g) A．ロ　B．イ　C．ニ　D．ハ　　(h) A．イ　B．ハ　C．ロ　D．ニ

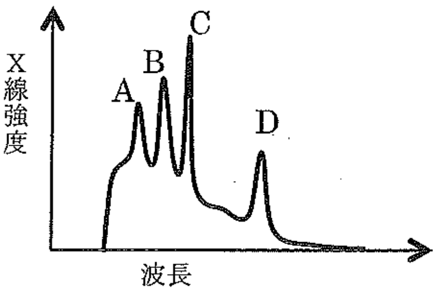


図7

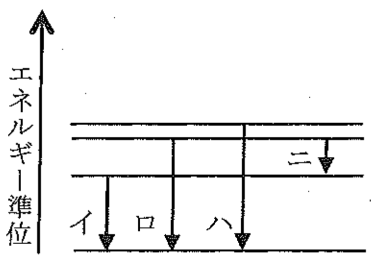


図8

(3) 図9のように縦と横で異なる格子面間隔(a〔m〕およびb〔m〕)を持つ結晶がある。まず，間隔a〔m〕の格子面に対して特性X線の入射角度θ〔rad〕を0から増加させながら照射し反射X線の強度を測定したところ，反射X線の強度が最初の極大を示した角度はP〔rad〕であった。つぎに，間隔b〔m〕の格子面に対して同じ波長の特性X線を使って同じ測定をしたところ，反射X線の強度が最初の極大を示した角度はQ〔rad〕であった。格子面間隔の比$\dfrac{a}{b}$を与えられた記号を用いて表しなさい。

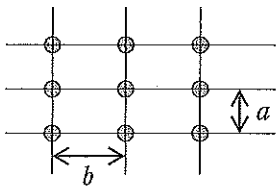


図9

(4)　図 10 のように格子面間隔 d〔m〕の結晶に波長 λ〔m〕の特性 X 線を照射する。格子面への照射角度 θ〔rad〕を 0 から増加させたときに現れる反射 X 線強度の極大に対して，その角度を小さい順に θ_1，θ_2，θ_3，…，θ_n，…とする（n は自然数である）。$\sin\theta_n$ を与えられた記号を用いて表しなさい。

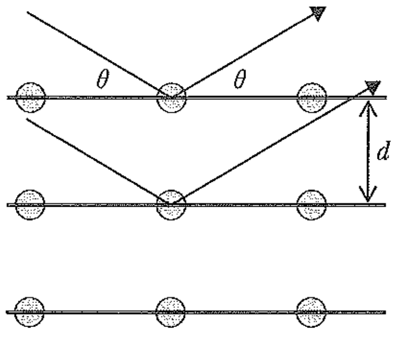


図 10

次に，図 11 の実線と破線のように結晶が二重構造をしている物質を考える。実線の配列も破線の配列も格子面の間隔は同じ d〔m〕であるが，図の縦方向に幅 h〔m〕だけずれて存在している。このような二重構造をしている場合には，図 10 のような実線の格子面のみの場合に見えた極大の一部が見えないことがある。

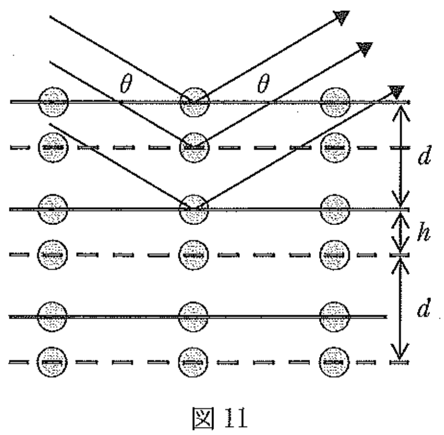


図 11

(5)　$h = \dfrac{d}{2}$〔m〕ずれている時，(4)で求めた θ_1，θ_2，…のうち見えなくなる最も小さい角度はどれか。

(6)　$h = \dfrac{3d}{8}$〔m〕ずれている時，(4)で求めた θ_1，θ_2，…のうち見えなくなる最も小さい角度はどれか。