平成29年度
医学科一般入試(前期日程)

問題冊子

# 理　　科

物　　理　1ページ～6ページ
化　　学　7ページ～12ページ
生　　物　13ページ～22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22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，｛　　｝に入る適当な語句の記号を記入し，設問に答えよ。(配点　33)

以下の問題で，導線やコイルは全て空気中に置かれているものとする。空気の透磁率を $\mu$ とする。

**(a)**　図1のように無限に長い導線を流れる直線電流 $I_1$ から距離 $a$ 離れたところに，一辺の長さが $b$ の正方形のコイルを置いた。

このとき，直線電流 $I_1$ がコイルの辺ABの位置に作る磁束密度 $B_1$ の大きさは，透磁率 $\mu$ を用いて，［　①　］と表され，その方向は紙面に垂直に｛②　ア．表から裏　イ．裏から表｝に向う方向である。さらにコイルに図に示す矢印の方向の電流 $I_2$ を流すとき，コイルの辺AB部分にはたらく力の大きさは［　③　］となる。コイル全体には，導線から｛④　ア．斥力　イ．引力｝がはたらき，その大きさは［　⑤　］と表される。

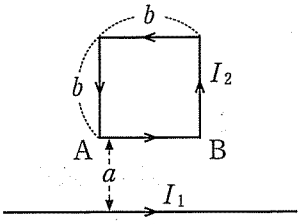

図1

**(b)**　図2のように，断面積が $S$，長さ $\ell$，巻き数が $N$ のソレノイドコイルがある。このコイルは半径に比べて長さ $\ell$ が十分大きい。このコイルに電流 $I$ を流したとき内部にできる磁場はコイルの軸に平行で，磁束密度 $B$ の大きさは，$\mu$，$N$，$\ell$，$I$ などのうち，必要なものを用いて［　⑥　］と表される。

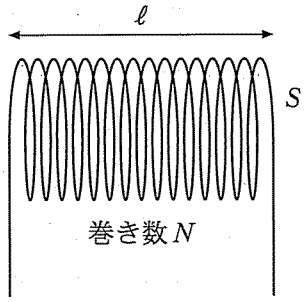

図2

短い時間 $\Delta t$ の間に電流が $\Delta I$ だけ変化する場合，コイルを貫く磁束 $\Phi$ の単位時間あたりの変化は，磁束密度の変化分を $\Delta B$ として，$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}$ となる。コイルひと巻きごとに $-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ の誘導起電力が生じるから，$N$ 回巻きのコイルでは $V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ の起電力が生じる。コイルの自己インダクタンス $L$ は $V=-L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ と定義されるので，$L$ は問⑥の結果から，$\mu$，$N$，$\ell$，$I$，$S$ などのうち必要なものを用いて［　⑦　］となる。

自己インダクタンス $L$ のコイルに電流 $I$ が流れているとき，コイル内部の磁場に蓄えられるエネルギーは，$L$，$I$ を用いて，［　⑧　］と表される。

(c) 断面積 $S$，巻き数 $N$ のコイルがある。コイルの質量は考えない。このコイルの端に質量 $m$ の金属製のおもりをつけ，図3(a)のように固定点から鉛直につり下げたところ，ばね定数 $k$ のばねとして振る舞い，長さが $\ell_0$ となったところで静止した。このコイルに一定の電流を流す電源(定電流電源)を接続し，電流 $I$ を流したところ，長さがわずかに短くなって図3(b)のように $\ell$ となったところで再び静止した。

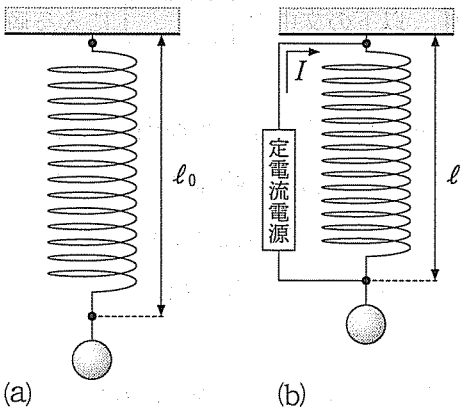

図3

電流の大きさが一定であるという条件下で，コイルの長さを $\ell$ から $\ell + \Delta\ell$ にわずかに変化させたとき，コイルが磁場から受ける磁気力 $F_m$ がする仕事とコイル内部の磁場に蓄えられる磁気エネルギーの変化分について次の(1)式のような関係が成り立つことが知られている。

$$F_m \cdot \Delta\ell = U_m(\ell + \Delta\ell) - U_m(\ell) \qquad (1)$$

ただし，ここで $U_m(\ell)$，$U_m(\ell + \Delta\ell)$ はそれぞれコイルの長さが $\ell$，$\ell + \Delta\ell$ のときにコイル内部に蓄えられている磁気エネルギーを表しており，磁気力 $F_m$ は下向きを正としている。

図3(b)のコイルが作る磁場はソレノイドコイルが作る磁場とみなしてよく，電流を流した際の断面積の変化は無視してよいとする。ここで $|\Delta\ell|$ が $\ell$ より十分小さいとき，$n$ を整数として

$$(\ell + \Delta\ell)^n = \ell^n \cdot \left(1 + n\frac{\Delta\ell}{\ell}\right)$$

という近似式が成り立つことを問⑦，問⑧の結果と(1)式に用いると，$F_m$ の大きさは $\mu$，$N$，$\ell$，$I$，$S$ などのうち必要なものを使って [ ⑨ ] と表される。

この磁気力 $F_m$ とばねの弾性力がつり合ったところでおもりが静止したとすれば，コイルの長さの変化量 $z = \ell_0 - \ell$ と電流 $I$ の間に成り立つ関係式は [ ⑩ ] となる。

問1 図4のように，ここまで扱ってきた，ばねの性質をあわせもつコイルと金属製のおもりの下に水銀の入った容器を置いた。水銀は常温で液体である金属で，導体である。さらに，おもりの下に金属製で質量が無視できる針金を取り付け，電流を流していないときに，針金の先がすこしだけ水銀につかるように液面を調整した。ただし，針金がつかっている長さは，図3(b)において電流を流したときにコイルが縮んだ長さ $\ell_0 - \ell$ より短いとする。

ここで，図3(b)においてコイルの下端に接続していた定電流電源の端子を水銀に接続し，電源のスイッチを入れるとコイルとおもりはどのように運動するか，理由とともに簡潔に説明せよ。

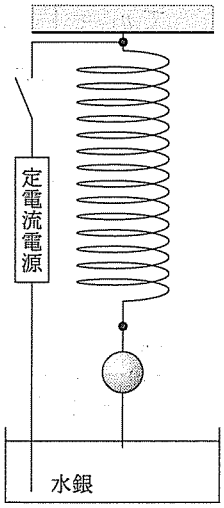

図4

**II** 以下の文中の $\boxed{\phantom{00}}$ に入る適当な式を記入し，設問に答えよ。(配点 34)

**(a)** なめらかな水平面内の一直線上を一定の速度で動いている，2つの物体の衝突について考える。2物体を物体A，B，それらの質量をそれぞれ $m_1$，$m_2$ とする。図1のように，直線上で静止している観測者Pから見て，速度がそれぞれ $v_1$，$v_2$ の物体A，Bが衝突して，衝突後に速度が $v_1'$，$v_2'$ になった。

問1 衝突時に2物体は互いに力を及ぼしあう。衝突の非常に短い時間 $\Delta t$ の間に物体A，Bの受ける力をそれぞれ $F_1$，$F_2$ とする。そして，これらが $\Delta t$ の間に変化しないとして，衝突の前後で2物体の運動量の和(全体系の運動量)が変わらない(保存される)とき，2物体間の力について作用・反作用の法則が成り立っていることを示せ。

直線上で一定の速度 $v_2$ で動いている観測者Qから見ると，衝突前には物体Aの速度 $u_1$ は $u_1 = \boxed{①}$ であり，物体Bは静止し，速度 $u_2$ は $u_2 = 0$ である。つまり，観測者Qから見ると，2物体のうちひとつが静止している場合の衝突の問題になっている。そして，観測者Qから見た2物体の衝突後の速度 $u_1'$，$u_2'$ は，全体系に関する運動量保存則から容易に求められる。結果は，はねかえり係数(反発係数) $e$，衝突前の速度 $u_1$ などを用いた $u_1' = \boxed{②} \times u_1$，$u_2' = \boxed{③} \times u_1$ である。

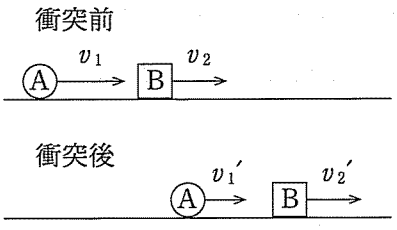

図1

2物体の衝突後の速度が観測者Pから見て $v_1'$，$v_2'$ であり，これらが観測者Qから見ると $u_1'$，$u_2'$ であるので $v_1'$，$v_2'$ は $u_1'$，$u_2'$ で表すことができる。そして $u_1'$，$u_2'$ に上で得られた結果を代入すると，ともに動いている2物体が衝突するとき，衝突後の速度は衝突前の速度によって $v_1' = \boxed{②} \times v_1 + \boxed{④} \times v_2$，$v_2' = \boxed{③} \times v_1 + \boxed{⑤} \times v_2$ のように与えられることがわかる。

**(b)** 次に，物体が動いている壁に垂直にあたってはねかえる場合について考える。物体は直線運動をしていて，壁も物体と同じ向きに物体の速さと比べて十分小さい一定の速さで動いているとする。なお，壁の速さは衝突により変わらない。重力は考えない。

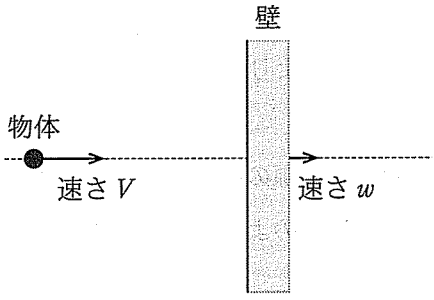

図2

さて，図2のように，質量 $m$ の物体の壁に衝突する前の速さを $V$，壁の速さを $w$ とする。このとき，物体と壁との間の反発係数を $r$ として，はねかえった物体の速さが $V'$ であるとき，速さの変化量 $V' - V$ は $\boxed{⑥}$ となる。

問 2　(a)において $m_1$ を $m$，$v_1$ を速度 $V$，また $v_2$ を速度 $w$，$e$ を $r$ とすれば，それは(b)で壁を物体に置きかえただけの，ある質量の物体との衝突の問題である。この場合の衝突後の 2 物体の速度と，(b)での衝突後の物体と壁の速度を比べて，壁との衝突はどのような質量の物体との衝突に相当すると考えられるか，理由とともに述べよ。

上記の結果をもとに，間隔が非常にゆっくり変化している 2 つの壁の間を往復する物体の運動を考える。2 つの壁のうち左側の壁は固定で，右側の壁(右壁)が右方向に一定の速さで動き，また物体は 2 つの壁の間で直線運動をし，壁とは弾性衝突をするものとする。

壁の間隔が $L$ のときに速さ $V$ の物体が速さ $w$ で動く右壁と衝突すると，運動の向きが逆になり，速さも変わる。物体の速さの変化量は，弾性衝突なので問⑥の結果から [ ⑦ ] となる。$w$ は $V$ と比べて十分小さいので壁の間隔が $L$ からわずかに $\Delta L$ だけ変化するのに時間がかかり，この間，物体は壁と何回も衝突する。衝突の回数を見積もる際に，変化がゆっくりであるから物体が壁の間を往復するとき物体の速さや壁の間隔はほぼ変わらないとしてよい。右壁との一回の衝突で速さの変化量は問⑦の結果である。これらのことから，間隔が $\Delta L$ だけ変化する間に生じる速さの変化量 $\Delta V$ が求められる。

問 3　$\dfrac{\Delta V}{V}$，$\dfrac{\Delta L}{L}$ の間に成り立つ関係式を求めよ。導出の過程も記すこと。

**Ⅲ** 以下の文中の $\boxed{\phantom{xx}}$ に入る適当な式を記入し，設問に答えよ。(配点　33)

図1に示すように，波長 $\lambda$ の単色光を格子定数 $d$ の回折格子Gに垂直に入射させ，回折した光(回折光)の干渉により生じる明線を回折格子Gと平行に置かれたスクリーン上で観測する。回折格子Gとスクリーンの距離を $\ell$ とする。$\ell$ は $d$ に比べ十分大きい。図2は回折格子Gのスリットを通って回折した光が入射方向と角 $\theta$ をなす向きに進む様子を示している。$|\theta|$ は十分小さい。

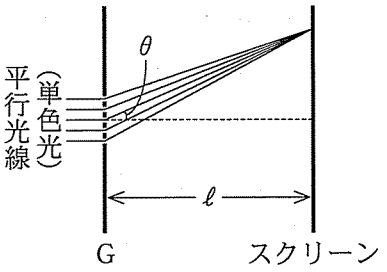

図1

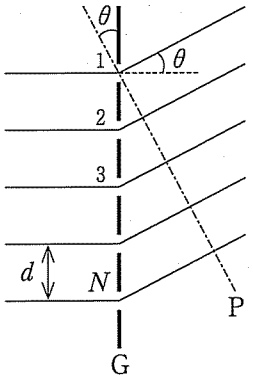

図2

(a) スクリーン上の一点に到達する光は，各スリットを通って同方向に進む回折光の重ね合わせである。そこで，各スリットからの回折光の位相の差(位相差)について考える。回折格子Gとスクリーンの距離 $\ell$ が十分大きい場合，各スリットを通って角 $\theta$ の方向に進む回折光のスクリーンまでの経路差は，図2の紙面と回折光の方向に垂直な平面Pまでの経路差に等しい。したがって，隣りあうスリットを通った光の経路差は $\boxed{①}$ である。この経路差により生じる位相差を $\delta$ とすると，$\delta = \boxed{②}$ となる。また，回折光の干渉により明線が生じる条件は整数 $n$ を用いて $\boxed{③} \times \sin\theta = n$ と書ける。この条件をみたす明線を以下 $n$ 次の明線とよぶ。

問1　格子定数 $d = 2.0 \times 10^{-5}$ m，距離 $\ell = 1.0$ m のとき，スクリーン上で0次と1次の明線間の距離が3.4 cmである場合について，波長 $\lambda$ をm単位で求めよ。導出する過程を記載すること。なお，$|\theta|$ が十分小さいので $\sin\theta = \tan\theta$ と近似してよい。

(b) 次に，明線の明るさについて調べる。明るさは，光の強さ(強度)で決まり，強度は光の振幅の2乗で表されることが知られている。そこで，光を正弦波として扱い，$N$ 個($N$ は十分大きい正の整数)のスリットを通った角 $\theta$ の方向に進む回折光を平面P上で重ね合わせ，その振幅や強度について考察する。時刻 $t$ において，1番目のスリットを通った回折光は振幅 $A$，角振動数 $\omega$ を用いて $A\sin\omega t$ と表される。スリットの幅を考えないことにすると，$A$ は $\theta$ によらないとしてよい。1番目と2番目のスリットを通った回折光の位相差は問②の $\delta$ なので，2番目のスリットを通った回折光は平面P上では $A\sin(\omega t - \delta)$ となる。同様にして，他のスリットを通った回折光の式を求め，それらの和をとると，$A\sum_{m=1}^{N}\sin\{\omega t - (m-1)\delta\}$ と書ける。この式が公式 $\sin a \sin b = -\frac{1}{2}\{\cos(a+b) - \cos(a-b)\}$ を使って

$$\frac{A}{\sin\frac{\delta}{2}}\sum_{m=1}^{N}\sin\frac{\delta}{2}\sin\{\omega t - (m-1)\delta\}$$

$$= \frac{A}{\sin\frac{\delta}{2}}\sum_{m=1}^{N}\frac{1}{2}\left[\cos\left\{\omega t - (m-1)\delta - \frac{\delta}{2}\right\} - \cos\left\{\omega t - (m-1)\delta + \frac{\delta}{2}\right\}\right]$$

と変形できることに着目して和を計算する。得られた結果に再度公式を逆に用いると，計算結果は $\delta$，正弦関数などを使って $\boxed{④} \times \sin\left(\omega t - \frac{N-1}{2}\delta\right)$ と表される。

問④の結果の絶対値は角 $\theta$ の方向に進む重ね合わされた回折光の振幅に相当し，その2乗は強度を表す。ここで，$|\theta|$ を十分小さくしていくと，$|c|$ が十分小さい場合に成り立つ近似式 $\sin c = c$ を用いて，$\theta = 0$ での0次の明線の強度は [ ⑤ ] となる。また，問④の結果より，他の明線の強度と0次の明線の強度は等しくなる。そこで，問③の結果を $\frac{1}{\alpha}$ とおいて，回折光の強度を0次の明線の強度を1として，$\sin\theta$ の値がおおよそ $-2\alpha$ から $2\alpha$ の範囲で描くと図3が得られる。なお，図の横軸は，図1において回折光が図の右下方向に進む場合の $\theta$ の値を負として描いている。隣りあう明線の間には強度が弱い山が [ ⑥ ] 個生じる。

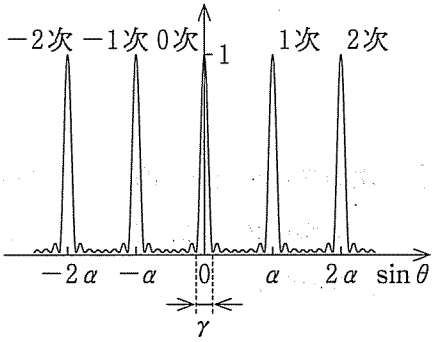

図3

問 2　図3に示した0次の明線の幅(強度が0になるまでの区間の大きさ)$\gamma$ を $\lambda$，$N$ などを使って表せ。導出する過程を記載すること。

問 3　回折格子では強度が強い鋭い明線が得られる理由をスリットの数 $N$ に着目して説明せよ。

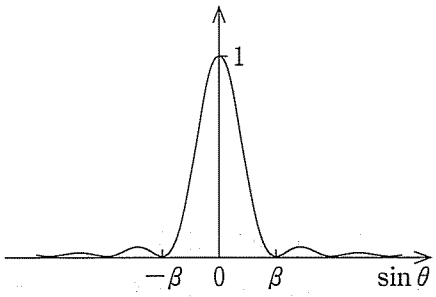

図4

(c)　(b)では，スクリーン上に到達する光を求める際に，スリットの幅は考えなかった。これは，各スリットの1点から出る回折光の和をとることに相当する。実際にはスリットに幅があるため，ホイヘンスの原理により各スリットの無数の点から出る回折光を考え，それを全てのスリットにわたって重ね合わせる必要がある。そうすると，振幅 $A$ が $\theta$ によって変わり，$|\theta|$ が大きくなると強度が減衰する。

実際，回折格子の1つのスリットを通った回折光の強度を，$\theta = 0$ の場合の強度を1として $\sin\theta$ を横軸にとって描くと図4のような曲線になることが知られている。この曲線は，振幅 $A$ を2乗したものに相当する。なお，$\theta$ の正負のとり方は図3と同様である。図4において，回折光の強度が $\sin\theta = \beta$ で0になっている。これは，スリットの幅を $w$ とすると，図5に示す $\sin\theta = \beta$ を満たす角 $\theta$ の方向に進む回折光では，互いに $\frac{w}{2}$ だけ離れた2点からの回折光が干渉により弱め合うためである。$\beta$ は $w$ と $\lambda$ を用いて [ ⑦ ] と書ける。

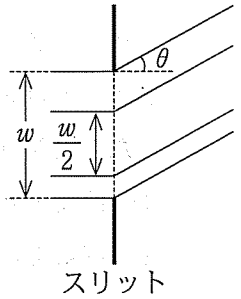

図5

問 4　回折格子のスリットの幅が $w = \frac{d}{4}$ の場合について，解答欄に $\theta = 0$ での強度を1として，0次の明線の強度が図4に相当する曲線とともに示してある。この図に，$\sin\theta = \pm\beta$ の範囲で生じる0次以外の明線を描き入れよ。簡単のため，明線は三角形状に表してよいが，幅は0次の明線と同じにして，位置と強度を正確に描くこと。