滋賀医科大学

平成29年度

医学科一般入試(前期日程)

問題冊子

理　　科

(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 $\boxed{}$ 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)

水の波は，振幅や波長と水の深さの比により異なる性質を示すことが知られている。以下では，水の深さに比べて波長が十分長く，重力が復元力の原因となる場合で，伝わる速さが重力加速度の大きさを g として $\sqrt{\text{水の深さ} \times g}$ で与えられる波を取り扱う。なお，振幅は十分小さいとする。

水の深さが異なる領域Ⅰから領域Ⅱに平面波が境界面に対して斜めに入射する場合を考える。入射角 θ_1，屈折角 θ_2，領域Ⅰの深さ h_1，領域Ⅱの深さ h_2 には関係式 $\boxed{①}$ が成り立つ。領域Ⅰに対する領域Ⅱの屈折率を h_1，h_2 を用いて表すと $\boxed{②}$ となる。領域Ⅰから領域Ⅱに入射後の波長は入射前の $\boxed{③}$ 倍となり，入射角を大きくした場合，波長は｛④　ア．長くなる　イ．変化しない　ウ．短くなる｝。

問 1　平面波が領域Ⅰから領域Ⅱに $\theta_1 = 30°$ で入射する場合について，進路を解答欄に示した記入例にしたがって図示せよ。$h_2 = 3h_1$ とする。円弧上の 1 目盛りは $10°$ である。

次に，水面の高さの変化を考える。図 1 は時刻 $t = 0$ における平面波の様子を示している。波形は振幅 a の正弦波とする。図 1 のように，波の進行方向に x 軸，鉛直上方に z 軸をとる。なお紙面に垂直で表から裏向きに y 軸をとる。波が生じていない状態における水面(静止水面)の位置を $z = 0$ とする。水面が静止水面より高い($z > 0$)と下向きの，低い($z < 0$)と上向きの復元力がはたらくことに注意して，復元力に逆らってする仕事，すなわち波の位置エネルギーを求める。x 軸方向のわずかな幅 Δx の区間(x, $x + \Delta x$)において，水面の位置 z は一定とみなしてよい。そこで，まず $z > 0$ の場合について，x 軸方向の幅 Δx，y 軸方向の幅 ℓ，高さ z の水の柱に着目して，区間(x, $x + \Delta x$)における波の位置エネルギーを考える。

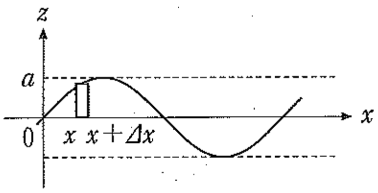

図 1

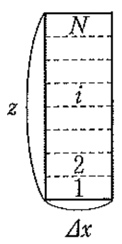

図 2

N を十分大きな正の整数として，図 2 に示すように水の柱を z 軸方向に高さ $\dfrac{z}{N}$ の N 個の直方体に分割する。水の密度を ρ とすると，各直方体にはたらく重力は $\boxed{⑤}$ である。最下部の直方体から順に 1 番，2 番，...とし，最上部の直方体を N 番とする。i 番($i = 1 \sim N$)の直方体の位置は $\dfrac{(i-1)z}{N}$ であることに注意して，各直方体の位置エネルギーを求め，それらを足し合わせる。このとき，十分大きな正の整数 n について近似式 $1 + 2 + \cdots + (n-1) = \dfrac{n^2}{2}$ が成り立つことを用いると，波の位置エネルギーは $\boxed{⑥}$ となる。なお水面の位置 $z < 0$ の場合も，復元

力に逆らって水面を押し下げる仕事を求めると，区間$(x,\ x+\Delta x)$における波の位置エネルギーは問⑥と同じ式になる。

次に，一波長にわたる位置エネルギーの平均，すなわち平均位置エネルギーを求める。図1の波は，a，x，t，波の周期T，水の深さhなどを用いると，三角関数を含め$z=$ $\boxed{\text{⑦}}$ と書ける。これを問⑥で求めた式に代入し，得られた式中の三角関数とΔxの積を一波長分足し合わせたものを波長で割る(平均する)と$\dfrac{1}{2}$になることを用いると，平均位置エネルギーは $\boxed{\text{⑧}}$ となる。

波は運動エネルギーも持っており，平均運動エネルギー(一波長にわたる運動エネルギーの平均)は問⑧と同じ式で表される。そして，これらの平均運動エネルギーと平均位置エネルギーの和に波の速さをかけると，$y=\ell$の幅を単位時間あたりに通過する波のエネルギーが得られ，深さがhの場合 $\boxed{\text{⑨}}$ となる。この結果を用いて，深さh_1の領域Ⅰから深さh_2の領域Ⅱに平面波が入射角0°で入射する場合の振幅の変化を考える。簡単のため，境界での波の反射を無視する。単位時間あたり領域Ⅰから境界に流れ込むエネルギーと，境界から領域Ⅱに流れ込むエネルギーが等しくなることから，波の振幅はaから $\boxed{\text{⑩}}$ $\times a$に変化する。

Ⅲ 以下の文中の $\boxed{}$ に入る適当な式や数値を，｛　　｝に入る適当な語句の記号を記入し，設問に答えよ。(配点 34)

(a) 導体に電圧をかけると，電流の担い手である粒子(キャリアと呼ぶ)は電場によって加速され，導体中で運動を始める。通常，導体を構成する原子はその温度によって決まる強さで熱振動しており，キャリアは熱振動している原子との衝突によってくりかえし散乱され，平均すると一定速度で移動すると考えてよい。導体内でのキャリアの単位体積あたりの個数を n，電荷を q，平均として一定となった速度を v とすると，図1のように断面積 A の棒状の導体中を流れる電流 I は $\boxed{①}$ と表される。長さ L のこの導体の両端に電位差 V を加えるとき，導体中に生じた一様な電場 E の大きさは $\boxed{②}$ となる。

原子の熱振動によりキャリアが散乱される効果が，速度に比例する抵抗力 kv と表されるとき，キャリアの質量を m，加速度を a として，キャリアの運動方程式は $\boxed{③}$ と書ける。したがって，一定速度に達しているとした場合の速度 v は電場 E に比例し，$v = uE$ という関係式が成り立つ。この u は易動度と呼ばれ，単位電場あたりのキャリアの加速されやすさを表す物理量である。ここで，易動度 u は，n，q，A，E，k，のうち，必要なものを用いて $\boxed{④}$ と表すことができる。

オームの法則から単位面積あたりの電流(電流密度と呼ぶ)$j = \dfrac{I}{A}$ は電場 E に比例することがわかっており，この関係を $j = \sigma E$ と表したときの比例係数 σ を電気伝導率と呼ぶ。$v = uE$ の関係と問①の結果から，σ を n，q，u で表すと $\boxed{⑤}$ となる。

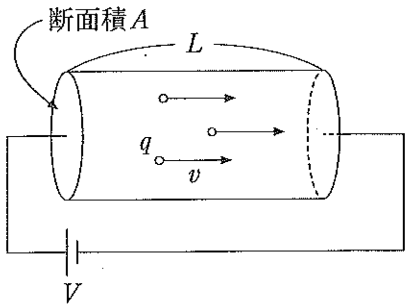

図1

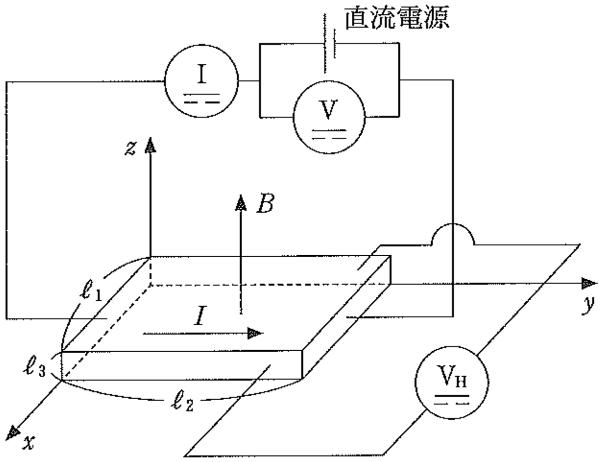

図2

(b) 図2のように，3つの辺の長さが ℓ_1，ℓ_2，ℓ_3 で与えられる直方体の半導体試料の y 軸正方向に電流 I を流し，z 軸に沿って上向きに磁束密度 B の磁場をかける。このとき，キャリアの電荷を q，y 軸方向の速度を v とすれば，キャリアに働く x 軸方向の力は $\boxed{⑥}$ と表される。しかし，x 軸方向には入力抵抗無限大の電圧計 V_H がつながっているだけなので，電流が流れないため試料の端にキャリアがたまる結果，電場が発生する。この電場をホール電場といい，この現象をホール効果という。このホール電場から受ける力と問⑥の力がつりあった状態で，キャリアは直進するようになり，ホール電場 E_H は $\boxed{⑦}$ となる。このとき，試料の x 軸方向両端には電圧が発生しており，これをホール電圧と呼ぶ。問①の結果から j と v の関係を導き，問⑦の式

と組み合わせるとホール電場 E_{H} は電流密度 j と磁束密度 B に比例することが示される。この関係を $E_{\mathrm{H}} = R_{\mathrm{H}} jB$ と書き，比例係数 R_{H} をホール係数と呼ぶ。ホール係数を n, q, A, E, k のうち，必要なものを用いて [⑧] と書くことができる。したがって，ホール係数を測定すれば，その符号からキャリアの電荷の符号を知ることができる。

(c) (b)の試料を用いて真空中でホール効果の実験を行う。試料の寸法は，$\ell_1 = 3.0\,\mathrm{cm}$，$\ell_2 = 5.0\,\mathrm{cm}$，$\ell_3 = 3.0\,\mathrm{mm}$ である。図3のような直径 10 cm，長さ 50 cm，巻数 1.0×10^4 のソレノイドコイルに電流 500 mA を流して z 軸方向に磁場を発生させ，コイルの中心に試料を置く。コイルの内部における磁束密度の大きさは，[⑨] T である。ただし，真空の透磁率を $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6}\,\mathrm{N/A^2}$ とする。

最初，試料温度を 20 ℃ に保ったまま，試料の y 軸正方向に流す電流(試料電流)の大きさを変えながら，y 軸方向の電圧降下および x 軸方向のホール電圧を測定したところ，表1に示す測定結果が得られた。ホール電圧は，$x = 0$ の面に対する $x = \ell_1$ の面の電位を示す。表中の単位はそれぞれ，$\mathrm{mA} = 10^{-3}\,\mathrm{A}$，$\mathrm{mV} = 10^{-3}\,\mathrm{V}$，$\mu\mathrm{V} = 10^{-6}\,\mathrm{V}$ である。

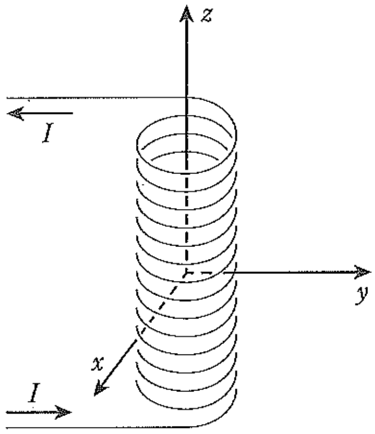

図 3

表1　試料温度 20 ℃ における測定結果

y 軸方向試料電流	1.0 mA	2.0 mA	3.0 mA	4.0 mA
y 軸方向電圧降下	0.58 mV	1.16 mV	1.74 mV	2.32 mV
x 軸方向ホール電圧	54 μV	108 μV	162 μV	216 μV

この測定結果より，試料のキャリアが持つ電荷の符号は{⑩ ア．正　イ．負}である。また，20 ℃ における試料の電気伝導率の値は [⑪] A/(V·m)である。

問 1　20 ℃ におけるこの試料のキャリアの単位体積あたりの個数 n[個/m^3]を求めよ。ただし，この試料中のキャリアが持つ電荷の絶対値を 1.6×10^{-19} C とする。計算の過程を詳しく記述すること。

次に試料を冷却し，試料温度 −196 ℃ において最初と同じ条件で測定を行ったところ，表2に示すような測定結果が得られた。−196 ℃ における試料の電気伝導率の値は [⑫] A/(V·m)である。

表2　試料温度 −196 ℃ における測定結果

y 軸方向試料電流	1.0 mA	2.0 mA	3.0 mA	4.0 mA
y 軸方向電圧降下	77 μV	154 μV	231 μV	308 μV
x 軸方向ホール電圧	54 μV	108 μV	162 μV	216 μV

問 2　−196 ℃ における試料のキャリアの単位体積あたりの個数 n[個/m^3]を求め，20 ℃ と −196 ℃ での電気伝導率の違いの主な原因が，易動度と個数のどちらの変化と言えるか，考察せよ。

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

物体間の衝突という現象では通常熱の発生などをともなうが，そのエネルギーの総和は衝突で物体が失った力学的エネルギーに等しい。風車による風力エネルギーの利用も基本は，空気の一団が風車という障害物のために減速し，その運動エネルギーの減少分が取り出されているということにある。以下では，これらのエネルギー変化，あるいはエネルギー変換の割合を考える。

(a) 図1のように，滑らかな水平面内の直線上で一定の速度で動く物体Aが静止している物体Bに衝突する場合を考える。物体A，Bの質量をそれぞれ m_1，m_2 とする。衝突前の物体Aの速度が v_1 のとき，運動量は $p=$ $\boxed{①}$ である。衝突後の2物体の速度を v_1'，v_2' とすると，はねかえり係数(反発係数) e は v_1，v_1'，v_2' を用いて $e=$ $\boxed{②}$ で与えられる $(0 \leqq e \leqq 1)$。

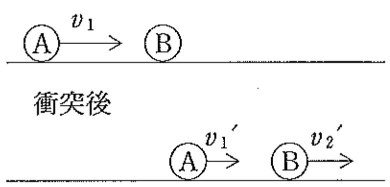

図1

問②の結果と全体の運動量が保存されることから v_1'，v_2' は e，v_1 などを用いて $v_1'=$ $\boxed{③}$，$v_2'=$ $\boxed{④}$ と表される。そして衝突後の全体の運動エネルギー U' は e，v_1 などを用いて $U'=$ $\boxed{⑤}$ となる。U' は重心の運動からの寄与 $\boxed{⑥}$ と重心から見た物体の運動(相対運動)からの寄与 E' の和である。重心の速度は衝突前後で変わらないので，衝突によって熱などに変化したエネルギーを q とすると，エネルギー保存則から衝突前の相対運動の運動エネルギー E は E' と q の和に等しい。したがって，エネルギー変化の割合 $a=\dfrac{q}{E}$ は e を用いて $a=$ $\boxed{⑦}$ と表される。

(b) 風が風車にあたる場合をモデル化して考える。空気中では流れがあっても圧力だけがはたらき，また空気の密度 α は一定であるとする。重力の効果は考えない。風があるとき空気中の各点で風速が決まる。たとえば，煙が空気の流れに沿うように，各点での風の向きがその点での接線の向きに一致するような曲線がある。それが流線であり，流線を束ねたものは流管といわれる。

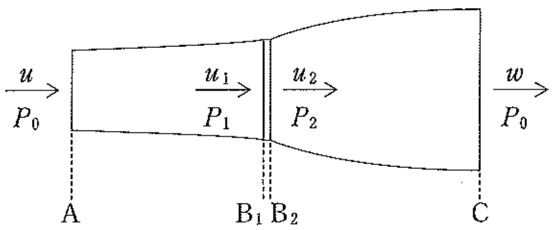

図2

図2のように，風車を通り過ぎる空気がえがく流管を考える。風は時間的に変化せず(定常的で)，風向きは左から右とする。風速は風上遠方の点Aで u，風車の直前の点 B_1 で u_1，風車の直後の点 B_2 で u_2，風下遠方の点Cでは w とする。点 B_1，B_2 での流管の断面は，2点が近接しているのでその断面積 S_1，S_2 は等しく，風車が風を受ける面積とする。また点A，Cでの断面積を S，S' とする。断面 S(以下，断面を断面積で示す)と断面 S' で面に垂直に作用する空気の圧力はともに大気圧 P_0 に等しく，点 B_1，B_2 での圧力を P_1，P_2 とする。

断面 S，S_1 で区切られた流管中の領域 R_1 に着目する。時刻 t とそれからわずかな時間 Δt が

経過した時刻 $t + \Delta t$ の間に領域内に断面 S からわずかな質量 $\alpha(u\Delta t)S$ が流入し，逆に断面 S_1 からは $\alpha(u_1\Delta t)S_1$ だけ流出する。定常的な流れでは領域内の質量は時間が経過しても増減しないので，質量の収支は $\alpha(u\Delta t)S - \alpha(u_1\Delta t)S_1 = 0$ でなければならない。これから $uS = u_1S_1$ が得られる。すなわち，風速と断面積の積である流量は断面 S，S_1 でその値が等しい。密度が一定のとき流量がどの断面でも同じ値である(たとえば，風速が減少するとき断面積は増大する)ということは質量保存則を表している。同じように，領域 R_1 でのエネルギー収支を考える。時刻 t から時間 Δt の間に断面 S から流入する空気の一団は同じ速さ u を持っている。この一団の運動エネルギーが断面 S から流入し，断面 S_1 からは同じような空気の一団の運動エネルギーが流出する。さらに，たとえば断面 S を通過する空気は $u\Delta t$ だけ移動していることからわかるように，断面 S，S_1 に作用する圧力が時間 Δt の間にした仕事が加わる。定常的な流れでは領域 R_1 にある空気のエネルギーは時間が経過しても増減せず，エネルギー収支は $\boxed{⑧} = 0$ となる。これよりエネルギー保存則は α，u，u_1，P_0，P_1 を用いて $\boxed{⑨}$ (1)と表される。また，断面 S_2，S' で区切られた領域 R_2 において同じようにエネルギー保存則を考えると，式(1)で u，u_1，P_1 をそれぞれ w，u_2，P_2 に置きかえたものになる。

断面 S_1，S_2 で区切られた領域 R_3 では $S_1 = S_2$ なので，質量保存則から風速は等しい($u_1 = u_2$)。ここでは領域 R_1，R_2 で考えたように空気の移動にともなうエネルギーの流入，流出がある。さらに，風車により単位時間あたり W のエネルギーが取り出されるとき，同じ量のエネルギーがこの領域から失われている。このことを含めてエネルギー収支を考え，$u_1 = u_2$ に留意して W を求めると，$W = \boxed{⑩}$ となる。

ところで，流管における運動量保存則から，単位時間あたりの，風上の運動量と風下の運動量の差は風車の前後の圧力差による力に等しく，$u_1S_1\alpha(u - w) = (P_1 - P_2)S_1$ と表される。これと領域 R_1，R_2 でのエネルギー保存則を表す2式の計3式から $u_1 = \boxed{⑪}$ のように u_1 は u，w と関係づけられる。

風上遠方の点Aで，断面が S ではなく風車の面積 S_1 に等しい面を考え，そこを流れる空気の単位時間あたりの運動エネルギーを I とすると，I のうち W が風車の出力であるからエネルギー変換の割合(風車の効率)は $b = \dfrac{W}{I}$ となる。

問 1　風速の比を $r = \dfrac{w}{u}$ として，b を r を用いて表せ($0 < r < 1$)。導出過程も記すこと。