令和２年度
後期日程

物　　理

教育学部・医学部・工学部・応用生物科学部

問題冊子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は８ページからなる。解答用紙については，医学部は解答用紙３枚，その他の学部は解答用紙４枚である。乱丁，落丁，印刷不鮮明などの箇所があった場合には，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は，解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は，大問で４題である。教育学部・工学部・応用生物科学部の受験生は４題すべてに解答すること。
   医学部の受験生は，問題 1 ， 2 ， 3 に解答すること。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子は持ち帰ること。
8. 大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

ー補 足 説 明ー
「物　理」

（後期日程：教育学部・医学部・工学部・応用生物科学部）

補足説明は２箇所あります。

補足説明

大問 $\boxed{1}$　１ページ

問題文中の現象２，現象３の V は，それぞれの条件において導体Ｑ内に生じる電位差を表す。

大問 $\boxed{3}$　５，６ページ

問１から問５では浮沈子は静止しているものとする。

1 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1のように x，y，z 軸を取り，それぞれの軸に沿って幅 w〔m〕，長さ ℓ〔m〕，厚さ h〔m〕の導体Qを置き，z 軸の正の向きに一様な磁束密度 B〔T〕の磁界をかける。このときの「電流が磁界から受ける力」，「ホール効果」，「磁界を横切る導体中に生じる起電力」の3つの現象は以下のように，磁界中で電子にはたらく力で説明できる。なお，電子の電気量を $-e$〔C〕とする。

現象1「電流が磁界から受ける力」：磁界中に静止している導体Qの両端に端子aが負極，端子bが正極となるように電圧を加えて電流を流した。この電流は負の電荷を持つ電子の流れであり，電子は【　あ　】の向きに運動する。その電子の平均の速さを $\bar{v}$〔m/s〕とする。運動している電子には磁界から｛　い　｝力がはたらく。電子1個にはたらく｛　い　｝力の大きさは(　う　)〔N〕で，向きは【　え　】である。よって，Q中の電子の数密度を ρ〔個/m^3〕とすると，Q全体にはたらく力 F の大きさは(　お　)〔N〕となる。一方，Qに流した電流 I〔A〕は毎秒通過する電気量に等しい。また，Qの断面を毎秒通過する電子の数は(　か　)〔個〕なので，$I=$(　き　)となる。よって，Q全体にはたらく力の大きさは電流 I を用いて $F=$(　く　)となる。

現象2「ホール効果」：磁界中に静止している導体Qの両端に端子aが負極，端子bが正極となるように電圧を加えて電流を流したところ，Q内に【　け　】の向きに電界が生じ，しばらくすると，その電界の大きさは一定値 E〔V/m〕になった。(i) ab間の電流による電子の平均の速さを $\bar{v}$〔m/s〕とすると，電界 E は(　こ　)となる。Q中の【　け　】方向に生じた電位差は電界 E を用いて $V=$(　さ　)〔V〕となる。さらにab間の電流 I〔A〕とQ中の電子の数密度 ρ〔個/m^3〕を用いて表すと $V=$(　し　)となる。このようにして磁界中で導体に生じた電位差を測定すれば，磁束密度がわかる。これが磁束密度を測定するホール素子の原理である。

現象3「磁界を横切る導体中に生じる起電力」：導体Qを x 軸の正の向きに速さ v_0〔m/s〕で動かす。Q中には自由電子があり，速さ v_0 で磁界中を運動していることになるので，その電子一個には大きさが(　す　)〔N〕の｛　い　｝力がはたらく。この力によって，Q内に【　せ　】の向きに電界が生じ，しばらくすると，その電界の大きさは一定値 E〔V/m〕になった。(ii) このようにしてQ内に生じた電位差は磁束密度 B を用いて表すと $V=$(　そ　)〔V〕となる。この磁界を横切る導体中に生じる起電力を｛　た　｝という。

問1　｛　　｝に適切な語句を，(　　)に適切な数式を，【　　】に向きを示す $+x$，$-x$，$+y$，$-y$，$+z$，$-z$ のいずれかをいれよ。

問 2　下線部(i)と(ii)で，なぜ電界が生じ，生じた電界の大きさが一定になるのか，説明せよ。

以上の現象の説明にもとづいて，図 2 のような回路を考えてみよう。2 本の平行な導体レールが間隔 d〔m〕で置かれている。この上に導体 Q をレールと垂直になるようにのせ，スイッチをつないで回路を作り，z 軸の正の向きに一様な磁束密度 B〔T〕の磁界をかける。Q のレール間の電気抵抗を R〔Ω〕とし，それ以外の電気抵抗は無視できるとする。また，Q はレール上をなめらかに動くとする。Q が静止している状態で，スイッチ S を端子 P につないで電圧 V_0〔V〕を加え，電流を流した。回路の自己インダクタンスは無視できるとする。

問 3　電流を流した瞬間に導体 Q にはたらく力の大きさはいくらか。また，その向きを答えよ。

問 4　導体 Q の速さが v_1〔m/s〕になったときの Q に流れる電流の大きさを答えよ。

次に，スイッチ S を端子 O につないで，導体 Q を一定の速さ v_2〔m/s〕で x 軸の正の方向に動かした。

問 5　導体 Q に生じる起電力の大きさを求めよ。また，このとき，Q に加えている力の大きさと向きを答えよ。

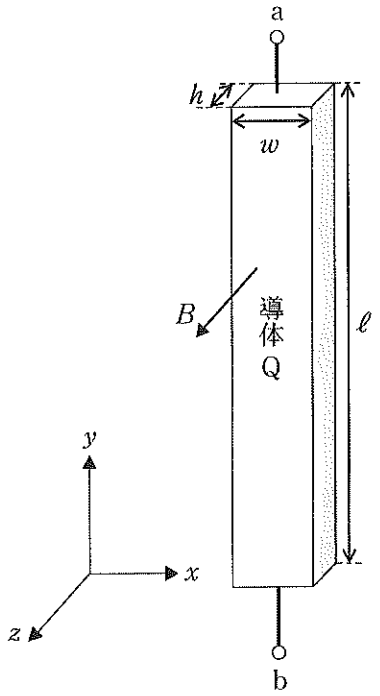

図 1

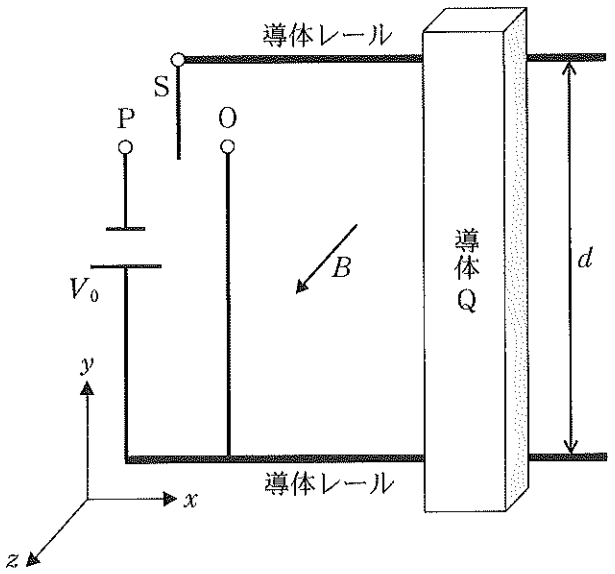

図 2

2 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

シャボン玉が色づいて見えるのは，薄い石けん膜による光の干渉のためである。この現象を理解するために，次のような実験をした。

針金でできている長方形の枠を石けん液(空気に対する相対屈折率 $n = 1.35$)に浸けてから，引き出すことにより，長方形の石けん膜をつくる。針金の枠が鉛直面となるように固定する。背景を暗くして，枠に垂直に白色光線を入れ，膜による反射光を膜に垂直な方向から観察すると，図1に示すようなパターンが現れた。膜の最上部には，黒い帯が現れ，その下に白色から徐々に褐色がかった帯へ，さらに暗い帯へと変化している。白色の部分は，各波長の最初に強め合う干渉光が重なり合って白く見えていると考えられる。

さらに，引き続いて，虹色のような連続的に変化するパターンが繰り返している。上から1番目の紫色(波長 $\lambda_1 = 420\ \mathrm{nm}$)の帯は，上部の枠から $a_1 = 3.4\ \mathrm{cm}$ の位置であった。また，1番目の紫色と1番目の赤色(波長 $\lambda_2 = 650\ \mathrm{nm}$)の帯の間隔は $a_2 = 2.3\ \mathrm{cm}$ であった。

この現象は，図2の模式図に示すように，石けん膜に入射した光線が面 S_1 と面 S_2 で反射され，それらが干渉することにより生じている。膜の厚さは，重力がはたらくため下部になるほどより厚みを増していく。簡単のため，「石けん膜の面は平面であり，針金の枠に垂直な鉛直断面は，図2に示すような台形である」と仮定する。

長さの単位ナノメートルは，$1\ \mathrm{nm} = 10^{-9}\ \mathrm{m}$ である。図は模式図として描かれており，各部分の大きさの比率は正しくなく，また，光線の経路を忠実に示すものでないことを注意しておく。なお，空気中の光の速さは真空中と等しいものとする。

問 1　図2において，反射光 B_1 と B_2 の位相差を求めるには，経路の距離と<u>膜内の光の波長</u>①に加えて，<u>考慮すべき条件</u>②がある。

下線部①についてはその求め方を，また，②についてはその具体的内容を説明せよ。

問 2　いろいろな波長の光線からなる白色光線が入射したにもかかわらず，膜の最上部に黒い帯が現れている理由を説明せよ。

問 3　反射光 B_1 と B_2 が強め合う干渉となる条件を導け。膜の屈折率を n，光の波長を λ〔nm〕，入射光の入った位置における膜の厚さを t〔nm〕とおき，任意の負でない整数を m で表して，一般式を示せ。導出したすじみちを解答用紙の説明欄に明記すること。

問 4　1番目の紫色の帯の位置における膜の厚さ t_1〔nm〕と，1番目の赤色の帯の位置における膜の厚さ t_2〔nm〕とを求めよ。答えは，n，λ_1，λ_2 を用いた文字式で表せ。

問 5　面 S_1 と S_2 との交線上の点 O(図 3 を参照)から膜の最上点までの距離 x〔cm〕と，最上部の膜の厚さ t_0〔nm〕を，a_1，a_2，t_1，t_2 を用いた文字式で表せ。

問 6　問題文に指定された物理量の値を用いて，最上部の膜の厚さ t_0 をメートル単位で，有効数字 2 桁で答えよ。

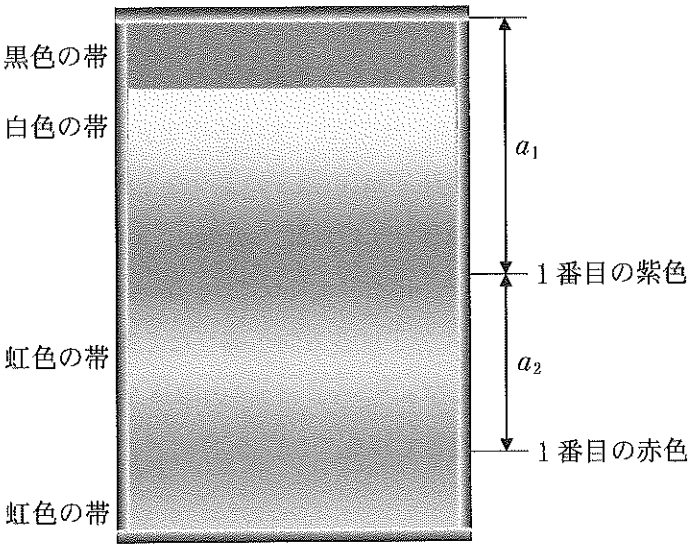

図 1

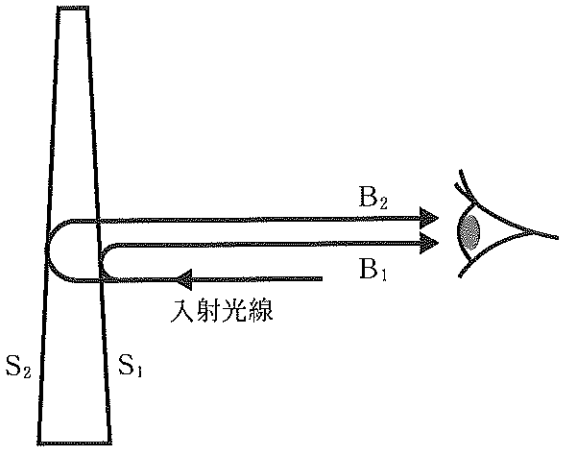

図 2

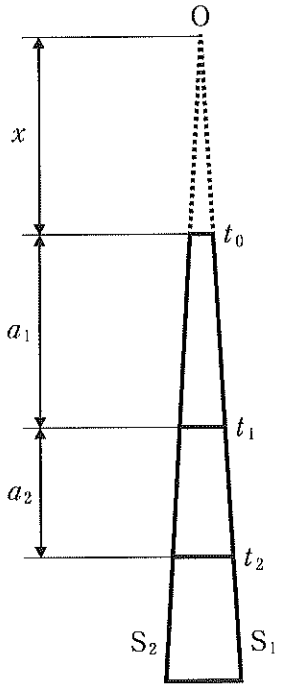

図 3

3 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

浮沈子(ふちんし)というおもちゃがある。物体にはたらく浮力を説明するアルキメデスの原理と静止流体内部の圧力の働き(パスカルの原理)を応用して，デカルトが発明したと言われている。浮沈子は図1のように，水で満たされた円形断面の柔軟な容器に入れられ，容器は蓋で密閉される。この容器を手で強く握って変形させることで，容器内の上部に浮かんでいた浮沈子が底面に向かって沈むという不思議な動きを楽しむものである。

浮沈子の上部は密閉され空気が蓄えられた空気室があり，底面は穴が開いていて自由に容器の水が出入りできる構造になっている。そこで，水の密度をρ〔kg/m^3〕，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕，浮沈子を質量M〔kg〕，半径r〔m〕の図2のような上面が閉じた円筒としてその動きの仕組みを考えてみよう。ここで，気体分子の質量はm〔kg〕，x軸，y軸，およびz軸方向の気体分子の速度成分は，それぞれv_x〔m/s〕，v_y〔m/s〕，v_z〔m/s〕であり，このときの速度は$\vec{v}=(v_x,\ v_y,\ v_z)$と表される。気体分子は各方向へ偏りなく運動することから速度の2乗平均を考えて$\overline{v^2}=\overline{v_x^2}+\overline{v_y^2}+\overline{v_z^2}$および$\overline{v_x^2}=\overline{v_y^2}=\overline{v_z^2}$の関係が成り立つ。気体分子は浮沈子の上面，側壁，および水面と弾性衝突している。

まず，図3のような高さL〔m〕の空気室において，気体分子のz軸方向の運動を考える。

問1　速度$\vec{v}$の1個の気体分子が浮沈子の上面に衝突したときに生じる気体分子の運動量変化の大きさと向きを答えよ。

問2　速度$\vec{v}$の1個の気体分子が1秒間に浮沈子の上面に衝突する回数を答えよ。

問3　速度$\vec{v}$の1個の気体分子が浮沈子の上面に与える平均の力の大きさF〔N〕を答えよ。

問4　速度の2乗平均が$\overline{v^2}$であり，z軸方向の速度の2乗平均が$\overline{v_z^2}$であるN個の気体分子が浮沈子の上面に与える圧力の大きさp〔N/m^2〕について，$\overline{v_z^2}$を用いた場合と，$\overline{v^2}$を用いた場合の2通りで答えよ。

次に，図4のように空気室を上から見たときの気体分子のx軸およびy軸方向の運動を考える。

問 5　次の文章の［ア］から［キ］の空白に入る式および数値を答えよ。

ある1個の気体分子が速度$\vec{v_h}$，その大きさv_h〔m/s〕で，円形の空気室の中心Oに対して角度α〔rad〕で側壁と弾性衝突するとき，気体分子と側壁との衝突で生じる運動量変化の大きさは［ア］〔kg m/s〕である。1個の気体分子が1秒間に側壁に衝突する回数は［イ］〔回〕であり，したがって，N個の気体分子が側壁に与える力の大きさは［ウ］〔N〕である。円筒側壁の面積は［エ］〔m^2〕であるから，気体分子が側壁に与える圧力の大きさは［オ］〔N/m^2〕である。2乗平均を考えると$\overline{v_h^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2}$であるので$\overline{v_h^2} =$［カ］$\overline{v^2}$と表すことができる。したがって，気体分子が側壁に与える圧力の大きさ［オ］〔N/m^2〕は，$\overline{v^2}$を使って［キ］〔N/m^2〕と表すことができる。

問 6　いま，浮沈子は容器上端に接している。容器を手で強く握ったとき，浮沈子の空気室の体積が減少し，浮沈子が沈みはじめた。浮沈子が沈むときの空気室内の圧力p'〔N/m^2〕の条件をN，m，M，$\overline{v^2}$，ρを用いて答えよ。浮沈子の上面および側壁は変形しないものとする。

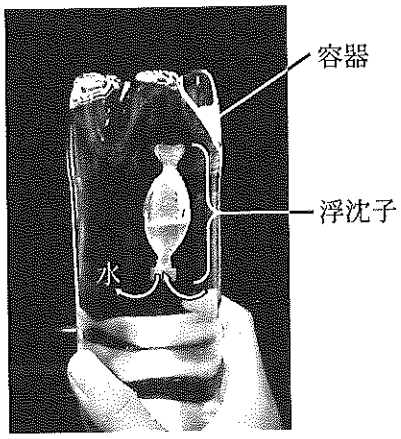

図1

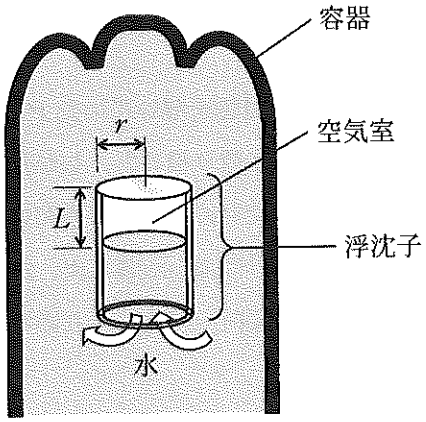

図2

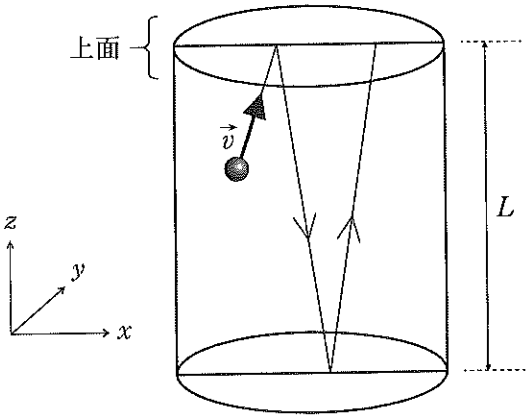

図3

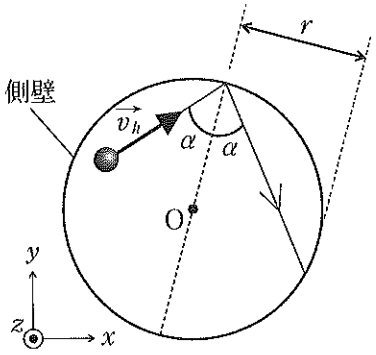

図4

4 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

SF 小説が好きなＰさんは，地球の質量のみが $\frac{1}{4}$ となった世界の夢を見た。

解答用紙には答えのみでなく，答えに至るまでのすじみちや考え方を簡潔に説明せよ。ただし，現実の世界での値の記号として地球の質量 M〔kg〕，各問でのそれぞれの物体の質量 m〔kg〕，重力加速度の大きさ g〔m/s^2〕を用いてよい。その他，必要な物理量や定数は，図や文章で定義して用いてもよい。摩擦や空気抵抗の影響は無視せよ。夢の世界でも物理法則は現実世界と同じとする。

問 1　手にしたスマートフォンが軽く感じられたＰさんは，その重さを天秤で測ってみた。夢の中での測定値は現実の世界での値の何倍か答えよ。

問 2　重い鞄を手に持って歩いたら，鞄の振れ方がいつもと異なっていた。この鞄の運動は，長さ ℓ〔m〕の糸の先端におもりがついた単振り子で近似できるとする。この場合，現実と同じ振幅で振り子運動したときの鞄の速さの最大値は，現実の世界での値 v_m〔m/s〕の何倍か答えよ。

問 3　計算問題を解いていたＰさんは，お行儀悪くも，間違えた計算用紙を丸めて少し離れたごみ箱に放り投げた。しかし，いつも百発百中のはずが，ごみ箱に入らなかった。いつもの投げ方で丸めた紙がごみ箱に入るためには，現実の世界での距離 L〔m〕の何倍の位置にごみ箱を置けばよいか答えよ。ただし，いつもの投げ方で投げたときの丸めた紙の初速度は夢と現実とで同一であり，丸めた紙はごみ箱の口と同一の高さで投げ出されるとせよ。

問 4　夜になり床に就くと，ベッドでの寝心地がいつもとは違っていた。ベッドの沈み量 x〔m〕が寝ころんだときの寝心地に影響すると考え，その沈み方をバネで近似する。同じベッドの沈み量を得るには，ベッドのバネ定数を現実の世界での値 k〔N/m〕の何倍にすればよいか答えよ。

問 5　寝ころんだベッドの上でカレンダーが目に入ったＰさんは，１日の長さには変化を感じなかったのに１か月の長さはいつもと異なっていることに気がついた。１か月の長さを月の公転周期と考えると，それは現実の世界での値 T〔s〕の何倍か答えよ。ただし，地球と月の運動のみを考慮し，地球の質量は依然として月より十分に大きいとする。また月の運動は等速円運動として近似でき，地球と月の間の距離 R〔m〕は夢と現実とで同一とせよ。

問 6　夢から覚めたＰさんは，夢の中での一日の出来事を考え直してみたところ，上記のいくつかの現象が夢の中での重力加速度の大きさが現実の世界での値の $\frac{1}{4}$ になっていることで統一的に説明できると推察した。下線部が正しいことを示せ。