令和５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～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 $\boxed{}$ に入る適当な式もしくは数値を記入し，設問に答えよ。(配点 33)

x 軸上を正の向きに速さ u で等速直線運動する音源Sを考える。音速 $V(V > u)$ はどの方向に対しても同じである。音源Sは移動中に絶えず振動数 f の音波を発する。音波の進む向きが x 軸の正の向きとなす角を $\theta(0 \leqq \theta \leqq \pi)$，音源Sから音波の波面上の点に向かうベクトルが x 軸の正の向きとなす角を $\gamma(0 \leqq \gamma \leqq \pi)$ とする。

(a)　図1は，点Aの位置にあった音源Sが，時間 t で点Cに到達した瞬間を表している。なお点Bは点Aと点Cの中点である。音源Sが点Aで発した音波が音速 V で進み，その波面が時間 t で到達した位置を F_A として示している。

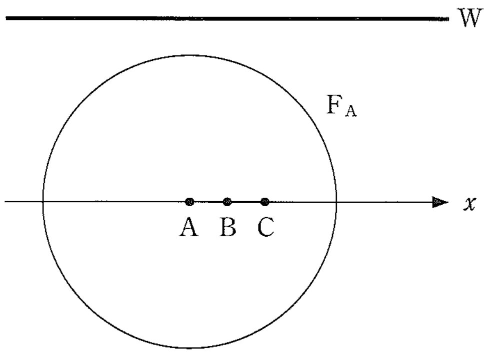

図1

問 1　点Bで音源Sが発した音波の波面が到達する位置を実線で解答欄に図示せよ。

音源Sが静止している場合は，音源Sが発する音波がどの方向に進んでも波長は同じになる。それに対して，問1の結果より，音源Sが移動する場合は音波の進む方向により波長が異なることがわかる。x 軸上を移動中に音源Sが発した音波のうち，$\theta = \dfrac{\pi}{2}$ の方向に進む音波の波長は，音源Sが静止している場合と同じになる。

ここで，x 軸上の各点で音源Sが発した音波による各波面において，音が発せられた点から $\theta = \dfrac{\pi}{2}$ の方向に進む音波により生じる波面上の点に着目する。問1の結果からわかるように，それらの波面上の点と，点Cの位置にいる音源Sは一直線上に並ぶ。それらの点が音源Sからみて γ の方向に並ぶ場合，$\gamma - \dfrac{\pi}{2}$ と u，V の関係を表す式は $\boxed{\text{①}}$ と書ける。音源Sに乗って動く観測者からみると，音源Sが静止している場合と同じ波長の音は，見かけ上，問①の関係式を満たす γ の方向に伝わる。

図1に示すように，x 軸と平行に，十分長い平面の壁Wがある場合を考える。θ の方向に進む音波が壁Wで反射されて音源Sに届く条件を θ，u，V を用いて表すと $\boxed{\text{②}}$ となる。このとき，音源Sに乗って動く観測者からみると，見かけ上，$\gamma =$ $\boxed{\text{③}}$ の方向に音が伝わる。

音波が壁Wの中を進むときの速さを $V'(V' > V)$ とする。音波が全反射されるか否かは，光の場合と同様に，入射角と臨界角の大小関係によって決まる。これより，音波が壁Wで全反射される場合，θ，V，V' には $\boxed{\text{④}}$ という関係がある。この関係式と，問②の結果より，音

源Sに届く音波が壁Wで全反射されるときにuが満たす条件をu，V，V'を用いて表すと $\boxed{\text{⑤}}$ となる。

(b) 次に，図2に示すように，x軸上の点Gにおいて音源Sが発した音が，x軸と平行に，点Pに設置された反射板Rに到達する場合を取り上げる。簡単のため，反射板Rは十分小さいとする。

図2において，音源Sは点Gから極めて短い時間Δtで$u\Delta t$だけ移動して点G′に到達する。$u\Delta t$は点Gと点Pの距離ℓ_1に比べ十分小さい。このとき，点G′と点Pの距離ℓ_2は距離ℓ_1に比べて短く，θを用いて$\ell_2 - \ell_1 =$ $\boxed{\text{⑥}}$ と近似できる。そのため，音源SがΔtの時間に継続して発した音波が点Pに到達する際の継続時間$\Delta t'$をθ，u，V，Δtを用いて表すと $\boxed{\text{⑦}}$ となる。ここで，点Pにおいて静止した観測者が観測する音波の振動数をf'とすると，Δt，$\Delta t'$，f，f'には $\boxed{\text{⑧}}$ の関係が成り立つ。

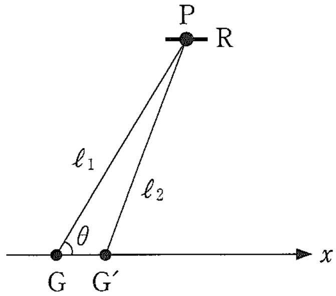

図2

これらの関係式と，問②の結果の式よりθ，u，Vに成り立つ関係式を用いて，f'をu，V，fだけを用いて表すと $\boxed{\text{⑨}}$ と書ける。このとき波長は $\boxed{\text{⑩}}$ である。こうして点Pに到達した音波は，反射板Rで反射されて音源Sに届く。その音波を音源Sに乗って動く観測者が観測すると，振動数は $\boxed{\text{⑪}}$ となる。

II 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 34)

(a) 図1に示すように，水平な床の上にバネ定数 k のバネでつながれた2つの物体A，B，および左からやってくる物体Cがある。それぞれ質量 m_A，m_B，$m_C(\leqq m_A)$ を持つ。物体A，B，Cと床の間の摩擦は無視できる。バネの長さが自然長のとき，A，Bの間の距離は L である。いま，物体A，Bとも静止している状況で，左から物体Cが速さ v_0 でやってきて，時刻 $t=0$ において物体Aに完全弾性衝突した。右向きを正として x 軸をとると，衝突直後の物体Aの速度は $\boxed{①}$，物体Cの速度は $\boxed{②}$ と表される。

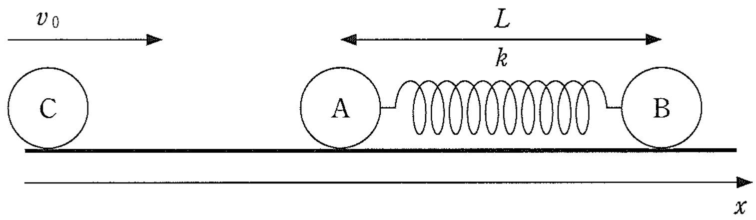

図1

物体A，Bの位置をそれぞれ x_A，x_B，物体A，Bの速度をそれぞれ v_A，v_B とし，非常に短い時間 Δt の間の v_A，v_B の変化を Δv_A，Δv_B とすると，物体CがAに衝突した後の物体Aの運動方程式は $m_A\dfrac{\Delta v_A}{\Delta t}=\boxed{③}$ と書ける。ただし，CとAは再衝突しないとしてよい。また，物体Bの運動方程式もAと同様にして得られる。

ここで，物体A，物体Bの運動をそれぞれ個別に考えるのではなく，2物体の重心の運動と，相対運動の組み合わせとして考えよう。物体Aと物体Bの重心の位置を x_G とすると，x_G は x_A，x_B，m_A，m_B を用いて $\boxed{④}$ と表される。

問1　物体A，Bが運動し始めたのち，重心がどのような運動をするか，重心の加速度を求めたうえで簡潔に述べよ。ただし，重心の速度および加速度は，問④の結果の x_A，x_B をそれぞれ v_A，v_B，および $\dfrac{\Delta v_A}{\Delta t}$，$\dfrac{\Delta v_B}{\Delta t}$ で置き換えた式で表されることを用いてよい。

次に物体A，Bが運動しているときのバネの自然長からの変位を $x_r=x_B-x_A-L$　(1) と表し，この x_r を通して2物体の相対運動を考えよう。ここで，x_r の時間変化を v_r，Δt の間の v_r の変化を Δv_r とすると，$v_r=v_B-v_A$ と書け，さらに $\dfrac{\Delta v_r}{\Delta t}=\dfrac{\Delta v_B}{\Delta t}-\dfrac{\Delta v_A}{\Delta t}$ と表せる。以上のことと，問③の結果および，同様にして得られる物体Bの運動方程式を考慮すると，k，m_A，m_B，x_A，x_B，L を使って，$\dfrac{\Delta v_r}{\Delta t}=\boxed{⑤}$ と書ける。ここで，換算質量と呼ばれる量 $M=\dfrac{m_A m_B}{m_A+m_B}$ を導入すると，問⑤の式は，k，x_r を用いて，$M\dfrac{\Delta v_r}{\Delta t}=\boxed{⑥}$ と表せる。

問⑥の結果から，2物体の相対運動は比較的単純な運動であることがわかる。また，x_G と x_r の運動が決まれば，x_A，x_B も問④の結果，および式(1)から決定される。

問 2　物体Cとの衝突によって生じた物体Aの初速度が 0.20 m/s であり，各物体の質量が，$m_A = 1.0\,\mathrm{kg}$，$m_B = 1.0\,\mathrm{kg}$，物体の初期位置($t = 0$ における位置）が $x_A = 0.0\,\mathrm{m}$，$x_B = 0.40\,\mathrm{m}$，バネの長さ $L = 0.40\,\mathrm{m}$，バネ定数 $k = 0.50\,\mathrm{N/m}$ のとき，物体Bの位置 x_B および重心の位置 x_G の時間変化を解答用紙の所定の欄に描き入れよ。x_B は実線で，x_G は点線で描くこと。物体Aの位置 x_A の時間変化はすでに記入してある。

(b)　図2に示すように，水平な床の上にバネ定数 k' のバネで壁とつながれた質量 m_D の物体Dがある。物体Dと床の間には摩擦があり，動摩擦係数が μ'，静止摩擦係数が μ である。バネが自然長のとき，物体Dの位置は $x = 0$ であった。

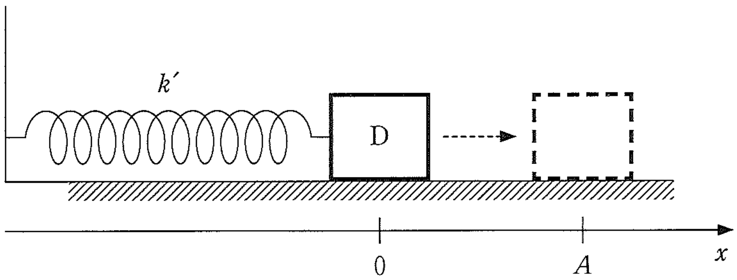

図 2

ここで，物体Dを x 軸正方向に距離 A だけ引っ張り，時刻 $t = 0$ において静かに手を放したところ，物体Dは運動を始めた。運動開始後，運動方向が変わらない間の物体Dの運動方程式は，その位置を x_D，速度を v_D，Δt の間の v_D の変化を Δv_D として，$m_D \dfrac{\Delta v_D}{\Delta t} = \boxed{⑦}$ と書ける。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

物体Dははじめ x 軸負方向に運動を始めたが，ある時刻に，位置 $x = \boxed{⑧}$ で x 軸正方向に折り返した。折り返した後，次に物体Dの速さが0となった位置は $x = \boxed{⑨}$ である。

問 3　距離 $A = 0.30\,\mathrm{m}$，物体Dの質量 $m_D = 0.10\,\mathrm{kg}$，バネ定数 $k' = 0.40\,\mathrm{N/m}$，動摩擦係数 $\mu' = 0.0204$，静止摩擦係数 $\mu = 0.030$ のとき，物体Dの位置 x_D の時間変化を解答用紙の所定の欄に描き入れよ。ただし，重力加速度の大きさ $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ とする。

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)

図1，2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，スイッチ S，などからなる回路が，十分に長い2本の平行な導体のレールに接続されている。レールは間隔が d で，水平面に対して傾斜角 $\theta\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ の斜面に敷かれている。また，斜面には鉛直上向きに磁束密度 B の一様磁場が加えられている。いま，質量 M の導体棒がレールに直角に置かれて手で支えられて静止している(図における OO′ の位置，O が手前)。導体棒はレール上を水平なまま動き，その運動は斜面に沿って下向きを正とする。導体棒の太さは無視でき，その運動における回転は考えなくてよい。また，導体棒や導線における電気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g とする。

(a) 図1に示すような回路がレールに接続されている場合を考える。導体棒とレールの間の摩擦が無視でき，コンデンサーに電荷が蓄えられていない状態で，スイッチ S を接続して導体棒から静かに手を離したところ，導体棒は斜面を正の方向に滑り始めた。速度が v のとき，コンデンサーの電気量 Q は $\boxed{①}$ と記述できる。このとき，極めて短い時間 Δt の間に，導体棒の速度が Δv だけ，コンデンサーの電気量が ΔQ 増えたとすれば，ΔQ は，Δv および C，B，d，θ を用いて $\boxed{②}$ と書ける。一方，この回路に流れる電流を I，導体棒の斜面に沿った方向の加速度を a としたとき，導体棒の運動方程式は I を用いて，$\boxed{③}$ と記述できる。問②の結果より ΔQ と I の関係から I と a の関係を求め，問③の式から a を消去して I を求めると，導体棒が滑り落ちているときの I は時間によらず一定となることがわかる。このことから，a も一定で等加速度運動であることがわかり，導体棒が OO′ の位置からの距離 x だけ滑った位置での速度は $\boxed{④}$ と求められる。

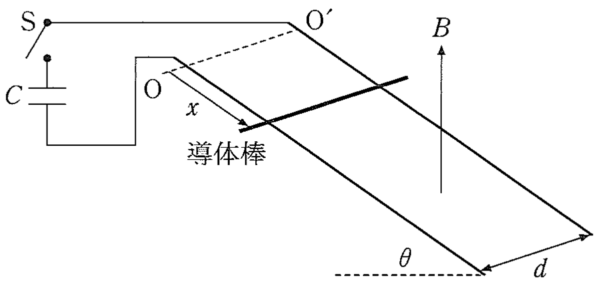

図1

次に，導体棒とレールの間の摩擦が無視できず，導体棒のレールに対する動摩擦係数が μ' の場合を考える。コンデンサーに電荷が蓄えられていない状態で，スイッチ S を接続して OO′ の位置で導体棒から静かに手を離したところ，導体棒は斜面を正の方向に滑り始めた。この場合も，斜面に沿った方向の加速度を a，回路に流れる電流を I とすれば，導体棒の斜面に対する垂直抗力 N，および，M，g，I，d，B，θ，μ' を用いて，導体棒の運動方程式は $\boxed{⑤}$ となる。このとき，N は M，g，I，d，B，θ を用いて $\boxed{⑥}$ と求められる。

問 1　問④の導出過程で導いた電流 I と加速度 a の関係を表した式，および問⑤，問⑥の結果の式から a，N を消去して電流 I を求めよ。

(b)　つづいて，図1の回路のコンデンサーをコイルに取り換えた場合を考える(図2)。スイッチSを閉じてコイルに接続し，OO′ の位置で導体棒から静かに手を離した。離した時刻を $t=0$ とし，導体棒とレールの間の摩擦はここでは無視できるとする。導体棒が OO′ の位置からの距離 x だけ滑り落ちたときの速度が u で表せる場合，導体棒は極めて短い時間 Δt の間に $\Delta x = u\Delta t$ だけ移動することになる。このとき，点 O′ から点 O の方向の電流の向きを正とする。コイルに流れる電流 I の Δt の間の増加量を ΔI とすると，コイルに発生する誘導起電力は，L，ΔI，Δt を用いて $\boxed{⑦}$ と書ける。キルヒホッフの法則より，導体棒とコイルそれぞれに生じる誘導起電力の間の関係が得られ，これより ΔI と Δx の間には，$\Delta I = \boxed{⑧} \times \Delta x$ という関係が成り立つ。$t=0$ で $I=0$，$x=0$ であるから，導体棒が x だけ滑り落ちたときの電流は，$I = \boxed{⑧} \times x$ となり，I と x は比例関係にあることがわかる。

問 2　斜面に沿った方向の加速度を a として，導体棒の運動方程式を求め，導体棒が単振動をすることを示せ。さらに，この単振動の振幅，およびその周期を求めよ。

問 3　$|u|$ を M，L，g，d，B，θ，x を用いて表せ。

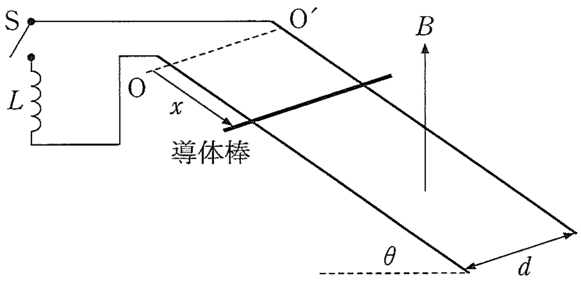

図2