平成30年度入学試験問題

理　　科

(注 意 事 項)

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。
3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。

	問題冊子	解答紙	
科目	ページ	解答紙番号	枚数
物理基礎・物理	1 ～ 12	31 ～ 33	3
化学基礎・化学	13 ～ 30	34 ～ 38	5
生物基礎・生物	31 ～ 50	39 ～ 43	5
地学基礎・地学	51 ～ 61	44 ～ 47	4

4. 各解答紙の2箇所に受験番号を記入すること。
5. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。
6. 計算その他を試みる場合は，解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。
7. この教科は，2科目250点満点(1科目125点満点)です。なお，医学部保健学科(看護学専攻)については，2科目100点満点に換算します。

物　理　基　礎・物　理

〔1〕 以下の問いに答えよ。(40 点)

図1のように水平で滑らかな床の上に質量 M の台がある。この台には長さ l の糸の先に質量 m の小球が付いた振り子が取り付けられており，台の重心と振り子は床に垂直な同一平面内を運動する。台は図の左右の方向に摩擦なしに動くものとし，運動方向は右向きを正とする。なお，振り子の糸はたるまず，台と小球以外の質量は無視できるものとし，空気抵抗は考えない。また，重力加速度の大きさを g とする。

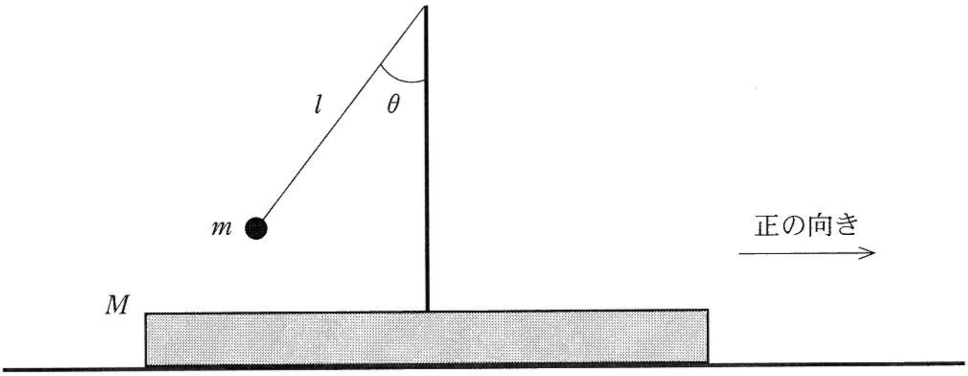


図1

(1) まず，台が動かない場合を考える。糸が鉛直方向から左に角度 θ 傾いたところで，小球を静止させてから静かに放した。小球が最初に最下点に到達したときの小球の速度，および，糸の張力の大きさを m，M，l，g，θ の中から必要なものを用いて表せ。

以下では，台が自由に動ける場合を考える。

(2) 小球を最下点に静止させた状態から，ゆっくり台を右向きに加速し一定の加速度 a を保った。その後瞬時に加速をやめて，そのまま台を等速運動させると，台上で小球は振り子運動をした。台に静止した観測者から見たとき，この運動中の小球の速度の最大値を m，M，l，g，a の中から必要なものを用いて表せ。

以下では，床に静止した観測者から見るものとして答えよ。

(3) 静止した台の上で，糸が鉛直方向から左に角度 $\theta = 60^\circ$ 傾いたところで，小球を静止させてから静かに放すと，小球も台も動き始めた。小球が最初に最下点に達したときの小球の速度と台の速度，および，糸の張力の大きさを m, M, l, g の中から必要なものを用いて表せ。

次に，静止した台の上で小球を最下点で静止させた後，撃力により台に水平右方向の初速度 V_0 を瞬時に与えると，最下点から運動を始めた小球は，糸が水平になる高さを通過した。糸が水平になったとき，小球の速度は水平方向と鉛直方向の両方の成分を持ちうる。

(4) 水平方向の運動量を考慮することによって，糸が水平になったときの台の速度を m, M, l, g, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。

(5) 同じく糸が水平になったときの小球の速度の大きさを m, M, l, g, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。

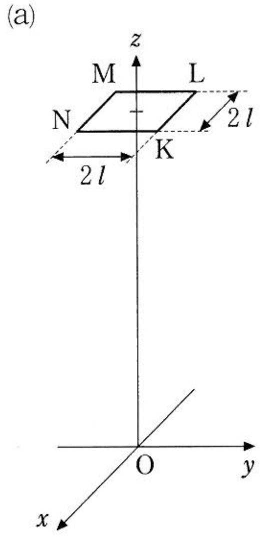
(6) 糸が水平になる高さに小球が達するために，台に与えるべき初速度 V_0 の最小値を m, M, l, g の中から必要なものを用いて表せ。

〔 **2** 〕 以下の問いに答えよ。(45 点)

磁場中を落下する導体ループの運動について考える。図 1 (a) のように，鉛直方向上向きを z 軸の正の向きにとり，正方形 KLMN の 4 辺で構成された導体ループ(各辺の長さ $2l$)を水平に固定する。ここで，導体ループの中心は z 軸上にあり，正方形の各辺は x 軸または y 軸に平行である。また，図 1 (b) のように，点 (x, y, z) における磁場の磁束密度 $\vec{B}$ の x 成分は 0 であり，y 成分および z 成分はそれぞれ $B_y = -cy$，$B_z = cz$ (c は正の定数)と表される。その後，静かに導体ループの固定を外すと，導体ループは水平を保ったまま z 軸に沿って落下する。ここで，重力加速度の大きさを g，導体ループの質量を m とする。導体ループは真空中にあり，変形も回転もしないものとする。導体ループの自己インダクタンスと導体の太さは無視できるものとする。正方形の 2 辺 LM，NK を構成する導体はともに電気抵抗 R をもち，残りの 2 辺 KL，MN を構成する導体の電気抵抗は無視できるものとする。

以下の**問 1** と**問 2** では，導体ループの中心の位置を $(0, 0, z)$ とし，$z \geqq 0$ にある導体ループの運動について異なる観点から考えることにする。

図 1 (b) の矢印の付いた複数の曲線は磁束線を表している。



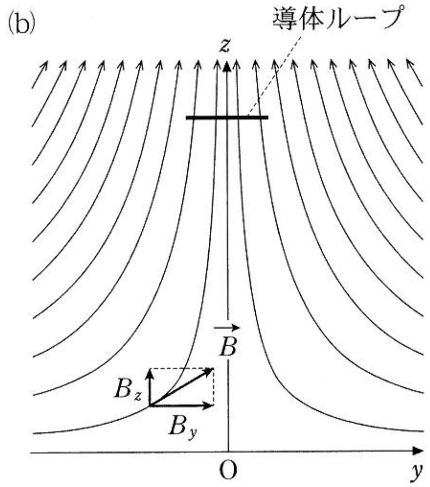


図 1

◇M9(050—101)

問 1. 導体ループの固定を外してからしばらくすると，落下の速さが v_0 で一定となった。

まず，図2のように，x 軸に平行な辺KL，MNを構成する2つの導体がともに孤立したものとして考える。

(1) 2つの導体の位置における磁束密度 $\vec{B}$ の y 成分の大きさ $|B_y|$ は等しい。同様に，2つの導体の位置における $\vec{B}$ の z 成分の大きさ $|B_z|$ も等しい。$|B_y|$，$|B_z|$ を c，l，z の中から必要なものを用いて表せ。

(2) 2つの導体の内部にある自由電子(電荷 $-e$)が受ける x 方向のローレンツ力の大きさ F は等しくなる。F を c，e，l，v_0，z の中から必要なものを用いて表せ。

(3) ローレンツ力による電子の移動により，それぞれの導体の一端が負に帯電し，他端は正に帯電するため，導体に沿った方向に電場が生じる。この電場から受ける力とローレンツ力がつり合ったときに電子の移動は止まる。このとき，KL間とMN間には同じ大きさの電位差が生じている。電位差の大きさ V を c，e，l，v_0，z の中から必要なものを用いて表せ。

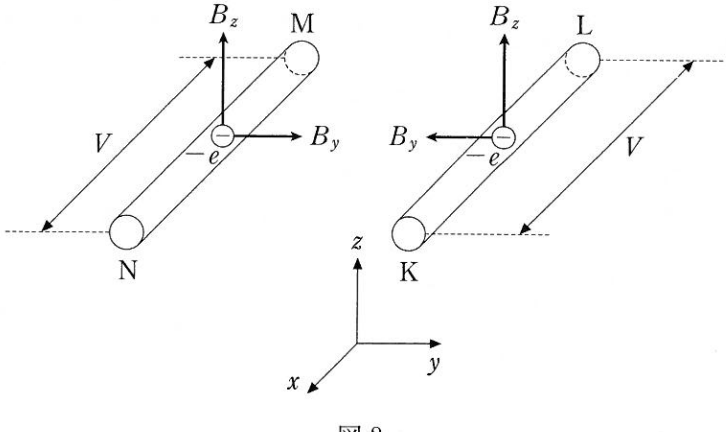


図2

次に，図3のように，y軸に平行な正方形の残りの2辺LM，NKを構成する導体もあわせて考える。

(4) 電位差Vに基づいて，導体ループに電流が流れる。このとき，導体ループで消費される電力Pをc，e，l，R，v_0，zの中から必要なものを用いて表せ。

(5) 一定の速さv_0での落下に伴う単位時間あたりの位置エネルギーの変化の大きさΔUをc，e，g，l，m，v_0，zの中から必要なものを用いて表せ。

(6) エネルギーの変換を考えることにより，落下の速さv_0をc，e，g，l，m，R，zの中から必要なものを用いて表せ。

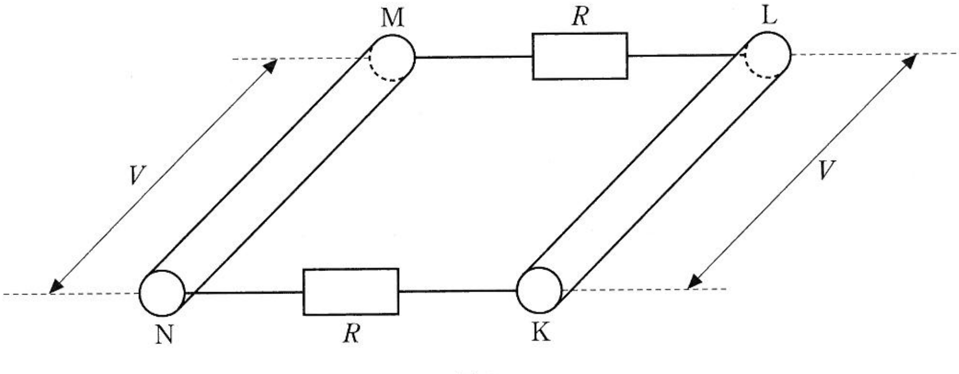


図3

問 2. 導体ループの固定を外した後の落下について，別の観点からもう一度考える。

(1) 導体ループを貫く磁束を Φ とする。導体ループが微小距離 $\Delta h(>0)$ だけ落下する間の磁束 Φ の変化 $\Delta\Phi$ を c, Δh, l, z の中から必要なものを用いて表せ。

(2) 微小距離 Δh の落下に要する時間を Δt とするとき，導体ループに流れる電流の大きさ I を c, Δh, l, R, Δt, z の中から必要なものを用いて表せ。

(3) 導体ループに流れる電流 I は，磁場から力を受ける。導体ループの各辺が受ける力の成分を描いた図として適したものを，図 4 の (a)~(d) から一つ選び記号で答えよ。

(4) 導体ループの運動の鉛直方向の加速度を a とするとき，導体ループの運動方程式を a, c, g, I, l, m, z の中から必要なものを用いて表せ。

この運動方程式から終端速度を求めると，**問 1** で求めた落下の速さ v_0 が得られる。

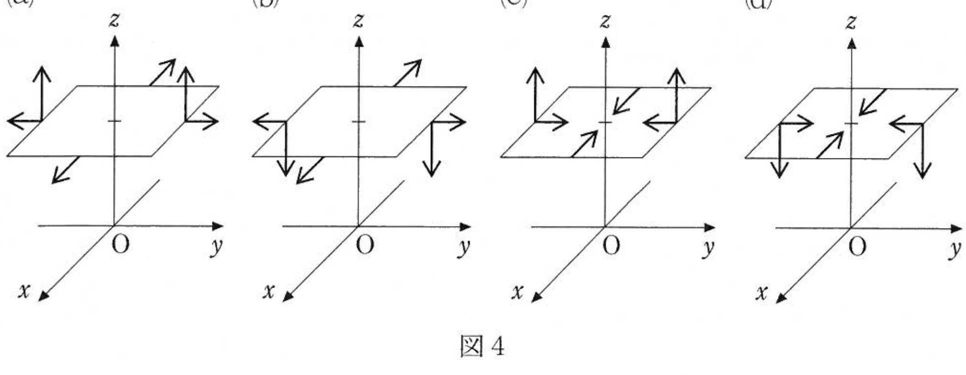


図 4

〔3〕 以下の問いに答えよ。(40 点)

問 1. 図 1 に示すように，真西から真東に水平飛行する航空機が連続的に発する音波を，地上の点 O で観測する場合を考える。航空機は，点 O の真上を通過するものとする。航空機が発する音波の振動数を f，音波の速さを c，航空機の速さを v とし，$c > v$ とする。航空機と点 O の距離は常に音波の波長より長いものとする。また風の影響，音波の減衰，航空機の大きさは無視できるものとする。航空機が発する音波の波面は，地上に達するまでは，球面であるものとする。

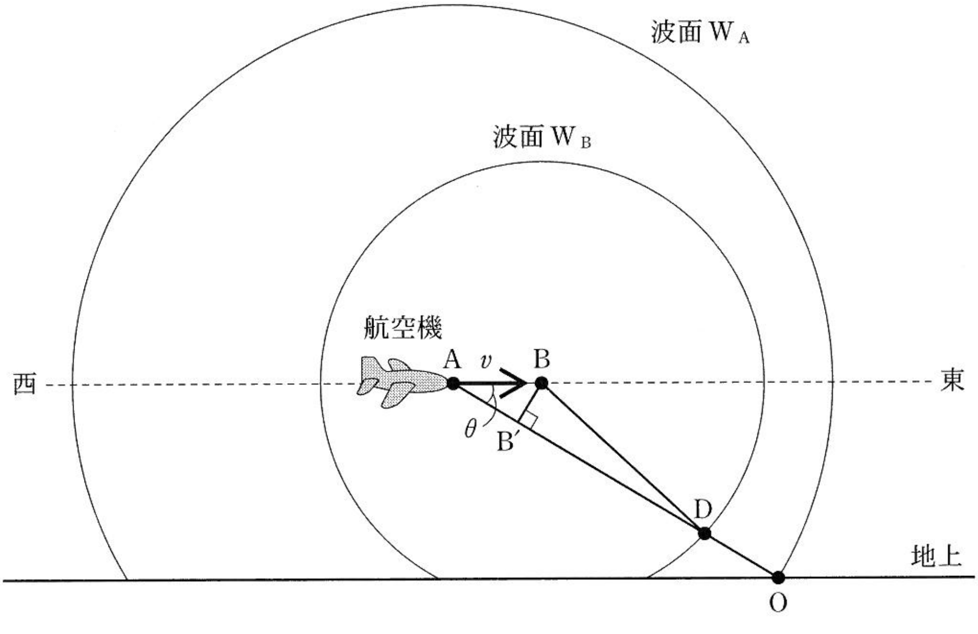


図 1

(1) 時刻 $t=0$ のときの航空機の位置を点Aとする。このとき航空機の進む方向と，航空機と点Oを結ぶ方向のなす角度は θ であった。点Aで発せられた音波の波面 W_A が，$t=t_0$ に点Oに届いたとすると，距離 AO = $\boxed{\quad ア \quad}$ となる。一方，$t=0$ から音波の1周期分の時間が経過したときの航空機の位置を点Bとする。点BからAOに下ろした垂線の足を点B′とすると，距離 AB′ = $\boxed{\quad イ \quad}$ となる。点Bで発せられた音波の波面 W_B が $t=t_0$ でAOと交わる点を点Dとすると，距離 BD = $\boxed{\quad ウ \quad}$ となる。ここで，$t=t_0$ において点Oから見た波面 W_A と W_B の間隔が点Oにおいて観測される音波の波長とみなせる。距離 AO ≫ AB′ の場合は，音波の波長は距離DOと考えてよく，また，このとき距離 BD ≒ B′D が成り立つことから距離DOは $\boxed{\quad エ \quad}$ となる。よって，点Oで観測される音波の振動数は $\boxed{\quad オ \quad}$ となる。

上の $\boxed{\quad ア \quad}$ から $\boxed{\quad オ \quad}$ の空欄にあてはまる数式を，c，f，t_0，v，θ の中から必要なものを用いて表せ。

(2) 航空機が発する音波の振動数を $f=100$ Hz とする。また $c=340$ m/s，$v=170$ m/s とする。(1)の $\boxed{\quad オ \quad}$ で与えられる振動数と θ の関係の概形を，解答用紙の図に線で示せ。$\theta=0°$，$90°$，$180°$ については振動数を計算し，図中に点で示せ。

問 2. 音波の速さは大気の温度によって変化し，また大気の温度は高度とともに低くなることがある。このような大気中を伝わる音波を考えたい。簡単のために，図 2 に示すように，温度の異なる 2 つの大気 I，II が，ある高度で接しているとする。大気 I 中を真西から真東に水平飛行する航空機が連続的に発する音波を，地上の点 O で観測する場合を考える。航空機は，点 O の真上を通過するものとする。航空機が発する音波は，大気 I，II の境界面に角度 ϕ_1 で入射する。音波の一部は境界面で反射し，残りは角度 ϕ_2 で屈折して点 O に届く。航空機が発する音波の振動数を f とする。大気 I，II 中の音波の速さをそれぞれ c_1，c_2，航空機の速さを v とし，$c_1 > v$，$c_2 > v$ とする。音波は平面波として進むと考えてよい。また**問 1** と同様に，風の影響，音波の減衰，航空機の大きさは無視できるものとする。さらに，音波の速さは，温度のみに影響を受けるものとし，それ以外の効果は考えなくてよい。

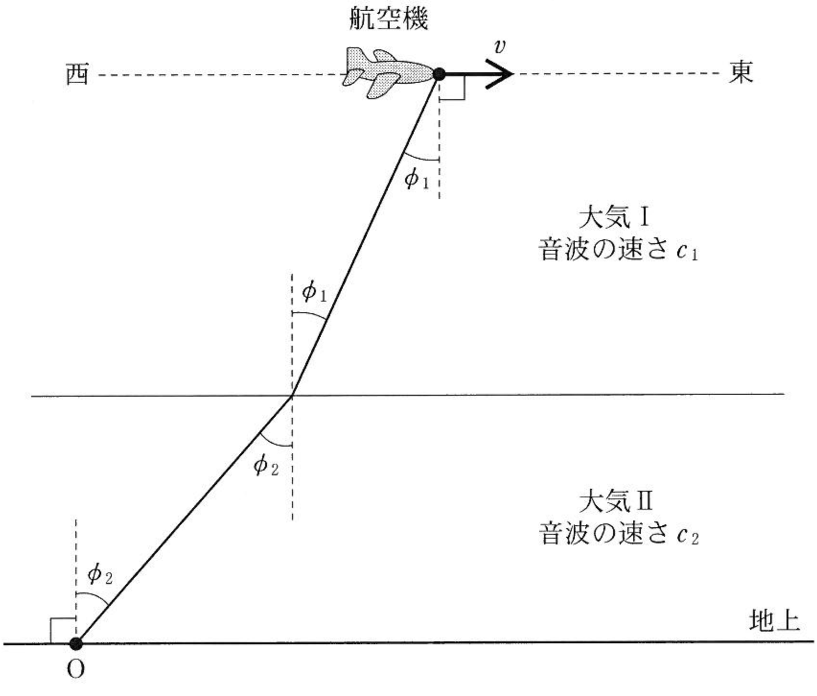


図 2

(1) ϕ_1 と ϕ_2 の間に成り立つ等式を，ϕ_1，ϕ_2，c_1，c_2，f，v の中から必要なものを用いて表せ。

(2) 点Oに届いた音波の波長と振動数を，c_1，c_2，f，v，ϕ_1 の中から必要なものを用いて表せ。

(3) 大気Ⅰと大気Ⅱの温度差が小さいときには，航空機が点Oの真上を通過して東の遠方に飛び去るまで，点Oに音波が届いていた。しかし大気Ⅱの温度が大気Ⅰよりも十分高い日には，$\phi_1 = 60°$ を過ぎて以降，点Oに音波が届かなかった。このとき大気Ⅱ中の音波の速さを測定すると $c_2 = 380\ \mathrm{m/s}$ であった。大気Ⅰ中の音波の速さ c_1 を有効数字2桁で求めよ。