選択科目

（医　学　部）

― 2月3日 ―

物　理
化　学
生　物
この中から1科目を選択して解答しなさい。

科　目	問題のページ
物　理	1～6
化　学	7～13
生　物	14～23

選択した科目の解答用紙をビニール袋から取り出し，解答はすべて選択した科目の解答用紙に記入して提出しなさい。

物　理

1　図1に示すように，半径がaで水平に置かれた円盤に，円盤の中心Oを通るまっすぐな細長い貫通した穴を水平にくり抜いた。この穴の断面は正方形であり，穴の側面は鉛直である。この穴の開口部をそれぞれCおよびDとする。質量がmの小球をこの穴のOとDの間でOから距離bの位置Eに固定してある。小球は穴の各内面と接触したまま滑らかに移動でき，穴の断面の大きさ，小球の大きさ，および空気抵抗は無視できるとして，次の各問いに答えなさい。

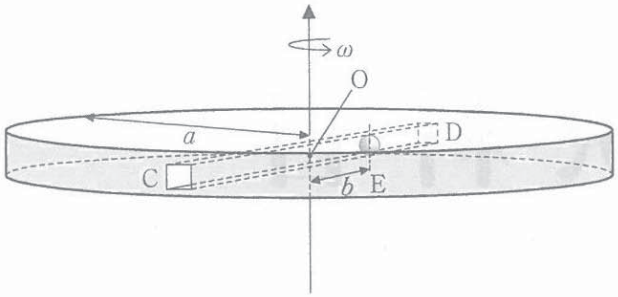


図1

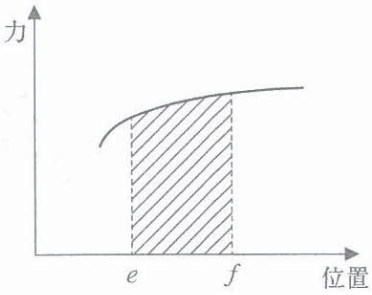


図2

円盤を，Oを通る鉛直線のまわりに上から見て反時計方向へ一定の角速度ωで回転させる。その状態で小球の固定を外したところ，小球は運動しはじめ，穴から円盤外部へ飛び出した。

(1)　円盤とともに回転する座標系から小球の運動を観測すると，小球には回転に伴う遠心力がはたらいて見え，小球はDに向かって移動する。このとき小球の移動に伴って遠心力が小球に対して仕事をしたと考えることができる。図2のグラフは一般的に物体が一定の方向へ力を受けて，その力の方向へ移動する場合の物体の位置と力の関係を描いたものである。この図において，物体が位置eから位置fまで移動するとき，物体に対して力がする仕事は斜線部の面積で与えられる。この考えに基づき，小球が位置Eから位置Dまで移動し，穴から飛び出すまでに遠心力がした仕事を求めなさい。

(2)　小球が穴から飛び出す瞬間における小球のOD方向の速度の大きさを求めなさい。

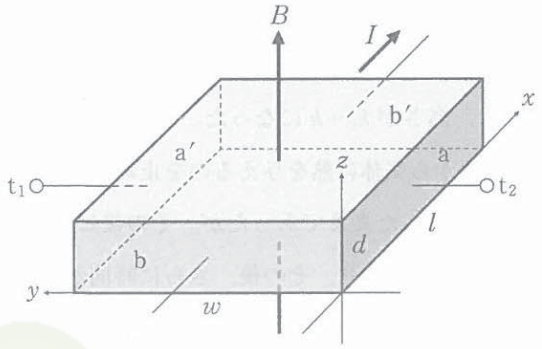
(3)　円盤外部の静止座標系で小球の運動を観測すると，小球はOからDへ向かう直線方向に対してθの角度で飛び出す。図1で円盤を上方から見て反時計回りの角度を正とし，$\tan\theta$を求めなさい。

(4)　静止座標系で小球の運動を観測すると，小球はOを中心として回転する穴に沿って運動し，そのとき穴の側面から抗力を受ける。小球が飛び出すまでに，この抗力がした仕事を求めなさい。

次に，円盤を同じ角速度ωで回転させながら穴の開口部Cに小球を固定し，CからOへ向けて小球を発射した。

(5)　円盤とともに回転する座標系で観測するとき，この小球がOまで到達するために必要な最小の発射速度の大きさを求めなさい。

2　温度0℃において，抵抗率 ρ_0〔Ωm〕，長さ l〔m〕，幅 w〔m〕，厚さ d〔m〕の直方体の金属導体がある。図のように，x，y，z 軸はこの金属導体の各辺に沿ってとり，y 軸に垂直な金属導体の側面を a，a′，x 軸に垂直な金属導体の側面を b，b′とする。金属導体の中には，x 軸の正の方向に温度によらず常に一様に一定の直流電流 I〔A〕が流れているものとする。金属導体の中の自由電子の数密度を n〔個/m³〕，自由電子1つの電気量を $-e$〔C〕$(e>0)$ として，次の各問いに答えなさい。



(1)　すべての自由電子は常に x 軸と平行に速さ v〔m/s〕で等速運動しているものとする。この金属導体の中を流れる電流の大きさ I〔A〕を数密度 n を含む式で書きなさい。

(2)　この金属導体に対して，z 軸の正の向きに磁束密度の大きさが B〔T〕の一様な磁場をかけると，自由電子は磁場からローレンツ力を受ける。その結果，自由電子は金属導体の側面 a′に移動して側面 a は正に，側面 a′は負に帯電するので，金属導体の内部には y 軸に平行な電場が発生する。充分長い時間が経過すると，自由電子にはたらくこの電場からの電気力とローレンツ力とがつりあい，側面の帯電はそれ以上進まなくなる。この電場の強さ E〔V/m〕を数密度 n を含む式で書きなさい。

(3)　(2)の状態において，金属導体の側面 a-a′間の電位差は V_H〔V〕であった。自由電子の数密度 n〔個/m³〕を，V_H と，I，B，w，d，e の中から必要なものを用いて式で書きなさい。

(4)　次に，(2)の状態のままで，端子 t_1 と端子 t_2 の間に電気容量が C〔F〕のコンデンサーを接続し，充分長い時間が経過したとき，コンデンサーに蓄えられた電気量〔C〕を数密度 n を含む式で書きなさい。

(5)　温度 t〔℃〕$(t>0)$ のとき，磁場の影響がない状態で金属導体の側面 b-b′間の電位差は V〔V〕であった。抵抗率の温度係数〔1/K〕を数密度 n を含む式で書きなさい。

3　熱機関における気体の状態変化を利用して物体を持ち上げることを考える。図1のように大気中に鉛直に立てられた内側の断面積 S〔m^2〕のシリンダーに滑らかに動く質量 m〔kg〕のピストンがついている。中の気体は単原子分子理想気体である。シリンダーとピストンは熱を通さない。気体の温度は場所によらず一定の値とする。大気の圧力を P_0〔Pa〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。シリンダーの底面には大きさの無視できる温度調節器がある。ピストンの移動はストッパーによって制限され，シリンダーの底面からの高さ h_0〔m〕から h_0+h〔m〕までの間を移動できる。気体のはじめの状態（状態A）は温度 T_0〔K〕，圧力 P_0 でありピストンの高さが h_0 である。ピストンはストッパーによって支えられている。このピストンの上に質量 M〔kg〕の物体を乗せて，温度調節器から熱を与えるとしばらくはピストンは静止したままであったが，その後ピストンが動きはじめた。このときを状態Bとする。温度調節器から熱を与え続けるとピストンはゆっくり上昇し，高さが h_0+h になった。このときを状態Cとする。状態Cの直後，物体をピストンから取り去ると同時に温度調節器から気体に熱を与えるのを止め，次に温度調節器で熱を吸収しはじめた。ピストンは高さ h_0+h の位置でしばらくは静止したままであったが，その後ピストンがゆっくりと下降しはじめた。このときを状態Dとする。ピストンの高さが h_0 になり，その後，さらに時間がたつと気体の温度が T_0 になった。このとき温度調節器の熱の吸収を止めた。過程 A→B→C→D→A は熱機関のサイクルである。

次の各問いについて，それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の記号にマークしなさい。

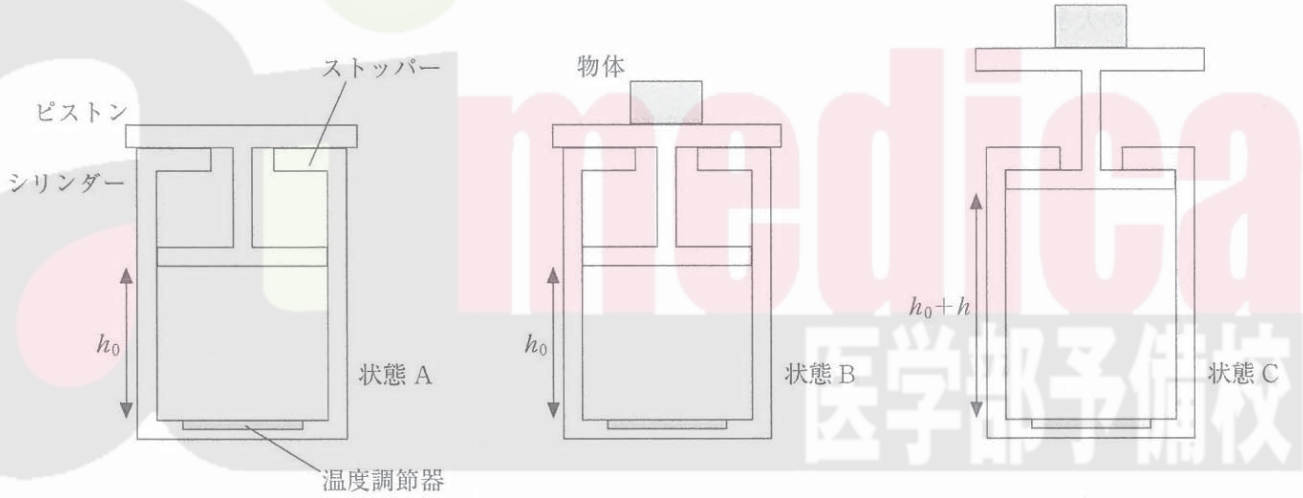


図1　　図2　　図3

(1)　状態Bの気体の温度を求めなさい。

(2)　過程 A→B で気体が吸収した熱量を求めなさい。

(3)　状態Cの気体の温度を求めなさい。

(4)　1サイクルの間で気体が外にした仕事を求めなさい。

(5)　この1サイクルの熱効率を求めなさい。

〔解答群〕

(1) ア. $\left(1+\dfrac{mg}{P_0S}\right)T_0$　イ. $\left\{1+\dfrac{mMg}{(M+m)P_0S}\right\}T_0$　ウ. $\left\{1+\dfrac{(M+m)g}{P_0S}\right\}T_0$

エ. $\dfrac{(M+m)g}{P_0S}T_0$　オ. $\left\{\dfrac{(M+m)g}{P_0S}-1\right\}T_0$　カ. $\left(\dfrac{Mg}{P_0S}+1\right)T_0$

(2) ア. $\dfrac{5}{2}(M+m)gh$　イ. $\dfrac{3}{2}(M+m)gh_0$　ウ. $\dfrac{2}{3}(M+m)gh$　エ. $\dfrac{5}{2}(M+m)gh_0$

オ. $\dfrac{3}{2}(M+m)g(h+h_0)$　カ. $(M+m)g(h-h_0)$

(3) ア. $\left\{1+\dfrac{(M+m)g}{P_0S}\right\}\dfrac{h_0+h}{h_0}T_0$　イ. $\left\{1+\dfrac{Mg}{P_0S}\right\}\dfrac{h}{h_0}T_0$　ウ. $\left\{1+\dfrac{(M+m)g}{P_0S}\right\}\dfrac{h}{h_0}T_0$

エ. $\left\{1+\dfrac{mMg}{(M+m)P_0S}\right\}\dfrac{h}{h_0+h}T_0$　オ. $\dfrac{(M+m)g}{P_0S}\dfrac{h_0+h}{h}T_0$　カ. $\left\{\dfrac{(M+m)g}{P_0S}-1\right\}\dfrac{h}{h_0+h}T_0$

(4) ア. $Mg(h-h_0)$　イ. $(M+m)gh$　ウ. mgh　エ. $(M+m)g(h+h_0)$　オ. Mgh

カ. $Mg(h_0+h)$

(5) ア. $\dfrac{2Mgh}{5P_0Sh+(M+m)g(5h+3h_0)}$　イ. $\dfrac{2Mg(h-h_0)}{5P_0S(h-h_0)+(M+m)g(5h-2h_0)}$

ウ. $\dfrac{2Mgh_0}{5P_0S(h-h_0)+Mg(3h-h_0)}$　エ. $\dfrac{5P_0S(h-h_0)+Mg(h-h_0)}{P_0S(h-h_0)+(M+m)g(h-h_0)}$

オ. $\dfrac{Mgh}{3P_0S(h-h_0)+(M+m)g(5h-3h_0)}$　カ. $\dfrac{5Mgh}{3P_0S(h+h_0)+(M+m)g(5h+h_0)}$

4　図1は水槽の水面を上から見た図である。水槽の水面にある2つの波源aとbから周期 T〔s〕で同じ振幅，同じ位相の球面波の正弦波が発生し，速さ v〔m/s〕で水面を伝搬する。波源aとbの間隔は d〔m〕である。波源a，bを結ぶ直線に対し垂直で，波源aを通る直線上に x 軸をとる。波源aから x 軸に沿って L〔m〕離れた位置に，波源a，bを結ぶ線分と平行に y 軸をとり，y 軸と x 軸との交点を y 軸の原点Oとする。以下 y 軸上で波源a，bから出た波を観測する。原点Oから図の y 軸に沿って正の方向に波を観測していくと，まず点 P_0 で波が強め合い，次に点 P_1 で波が強め合った。波源aと点 P_0 の距離と波源bと点 P_0 の距離は等しい。L は d に比べ充分に大きいものとする。円周率を π とする。必要であれば，m と n を数値として，$|m|$ が1に対して充分小さいときになりたつ近似式 $(1+m)^n \fallingdotseq 1+nm$ を用いなさい。次の各問いについて，それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の記号にマークしなさい。

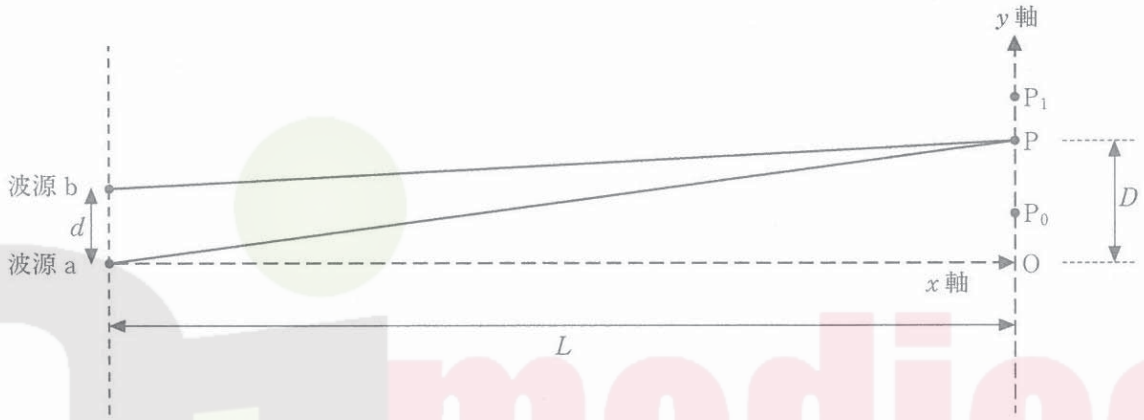


図1

まず，原点Oから D〔m〕離れた y 軸上のある点Pで波を観測する場合を考える。ただし，D は L に比べて充分小さいものとする。

(1)　波源aから点Pまでの距離と波源bから点Pまでの距離の差を求めなさい。

(2)　点Pにおいて波源bと波源aから出た波の位相差は何ラジアンか求めなさい。

次に，波が強め合って観測される y 軸上の点 P_1 で波を観測する場合を考える。

(3)　原点Oと点 P_1 の間の距離を求めなさい。

図2に波源aの近くの x 軸上における時刻0sの波の変位を表した。時刻0sでは波源a，bにおける波の変位は0mである。

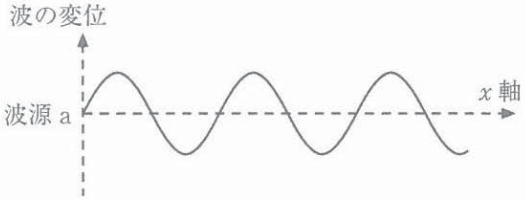


図 2

(4) 波源 a で発生した波の点 P_1 における振幅を A〔m〕として，波源 a で発生した波の点 P_1 における変位を表す式を時刻 t〔s〕の関数として求めなさい。

(5) y 軸上では波源 a と波源 b で発生した 2 つの波が重なり合って観測される。点 P_1 において重なり合った波の変位を表す式を時刻 t〔s〕の関数として求めなさい。ただし，波源 b で発生した波の点 P_1 における振幅も A であるとする。

〔解答群〕

(1) ア. $\dfrac{2dD-d^2}{L}$　イ. $\dfrac{2dD+d^2}{L}$　ウ. $\dfrac{dD-d^2}{L}$　エ. $\dfrac{dD+d^2}{L}$　オ. $\dfrac{2dD-d^2}{2L}$

カ. $\dfrac{2dD+d^2}{2L}$

(2) ア. $\dfrac{\pi(2dD-d^2)}{LTv}$　イ. $\dfrac{\pi(2dD+d^2)}{LTv}$　ウ. $\dfrac{2\pi(2dD-d^2)}{LTv}$　エ. $\dfrac{2\pi(2dD+d^2)}{LTv}$

オ. $\dfrac{\pi(2dD-d^2)}{2LTv}$　カ. $\dfrac{\pi(2dD+d^2)}{2LTv}$

(3) ア. $-\dfrac{d}{2}+\dfrac{LTv}{d}$　イ. $\dfrac{d}{2}+\dfrac{LTv}{2d}$　ウ. $\dfrac{d}{2}+\dfrac{LTv}{d}$　エ. $\dfrac{LTv}{d}+\dfrac{1}{2}$　オ. $d+\dfrac{LTv}{d}$

カ. $\dfrac{d}{2}+dLTv$

(4) ア. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t-\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LT^2v}{2d^2}+\dfrac{T}{2}\right)\right\}$　イ. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{2d^2}+\dfrac{T}{2}\right)\right\}$

ウ. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}-\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{2d^2}+\dfrac{T}{2}\right)\right\}$　エ. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t+\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LT^2v}{2d^2}+\dfrac{T}{2}\right)\right\}$

オ. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t-\dfrac{L}{v}-\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LTv}{2d}+\dfrac{T}{2}\right)\right\}$　カ. $A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{2d}-\dfrac{T}{2}\right)\right\}$

(5) ア. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{2d^2}\right)\right\}\cos\left\{\dfrac{\pi(d^2-LTv)}{LTv}\right\}$

イ. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t-\dfrac{L}{v}-\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LT^2v}{4d^2}\right)\right\}\cos\left\{\dfrac{\pi(d^2+LTv)}{LTv}\right\}$

ウ. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{4d^2}\right)\right\}$　エ. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(-t+\dfrac{L}{v}+\dfrac{d^2}{8Lv}+\dfrac{LT^2v}{2d^2}\right)\right\}$

オ. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t-\dfrac{L}{v}-\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LT^2v}{4d^2}\right)\right\}$　カ. $2A\sin\left\{\dfrac{2\pi}{T}\left(t-\dfrac{L}{v}-\dfrac{d^2}{8Lv}-\dfrac{LT^2v}{2d^2}\right)\right\}$