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	1～8
化　学	9～16
生　物	17～27

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は，「電流力計形計器」とよばれる計測器の原理を表したものである。計器は，直列に接続された一組の固定コイルと可動コイルからなる。計器に電流が流れると，固定コイルが可動コイルの位置に磁場をつくり，可動コイルにも同じ電流が流れるため，固定コイルから偶力を受ける。可動コイルには針とうずまきばねがついており，ばねは可動コイルの回転角に比例した，磁場による偶力とは逆向きの偶力を発生する。磁場による偶力とばねによる偶力のモーメントがつりあったところで可動コイルは静止し，目盛り上の針の位置を読むことで計器に流れる電流を知ることができる。固定コイルは1辺 a〔m〕の正方形で N 巻き，可動コイルは1辺 b〔m〕の正方形で N 巻きである。導線は全て同じ材料でできており，単位長さあたりの抵抗値は r〔Ω/m〕である。

図2は，図1を回転軸方向から見た図である。可動コイルの角度 θ〔rad〕は，図のように固定コイルと可動コイルが互いに垂直の状態を0とする。電流が流れていないときの可動コイルの角度は $\theta=-\frac{\pi}{3}$〔rad〕で，計測可能な最大電流 I_0〔A〕が流れているときの可動コイルの角度は $\theta=\frac{\pi}{3}$〔rad〕である。

このとき，次の各問いに答えなさい。角度表記には弧度法（ラジアン）を用い，$\sin\frac{\pi}{3}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，$\cos\frac{\pi}{3}=\frac{1}{2}$ を用いなさい。近似として，固定コイルが可動コイルの位置に作る磁場は一様かつ固定コイルの面に垂直で，巻線密度 $\frac{2N}{L}$〔1/m〕の一様なソレノイドコイルと同じとする。ここで L〔m〕は固定コイル同士の間隔である。真空の透磁率を μ_0 とし、大気の透磁率は真空と同じとする。

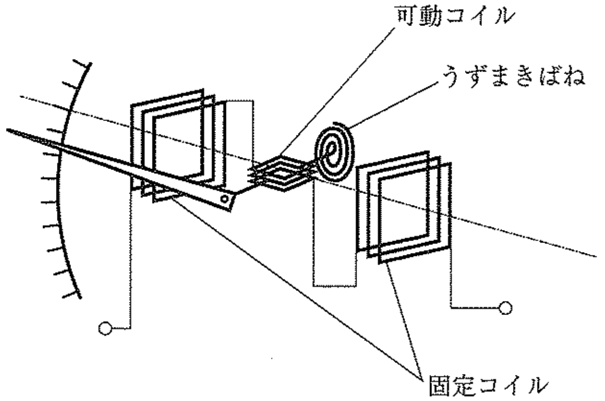


図1

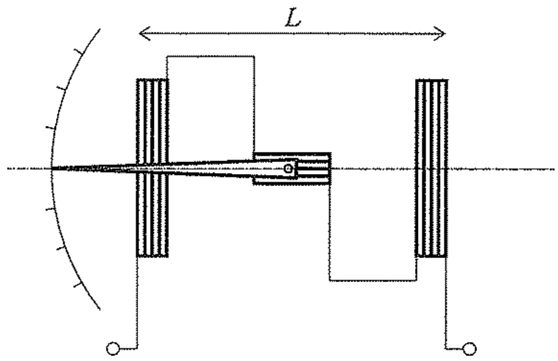


図2

(1)　図2の状態のときに，可動コイルが磁場から受ける偶力のモーメントの大きさ〔N・m〕を求めなさい。

(2)　可動コイルの角度が $\theta\left(-\frac{\pi}{3}\leqq\theta\leqq\frac{\pi}{3}\right)$〔rad〕のときの電流の大きさ〔A〕を求めなさい。

(3)　電流の目盛り間隔は一定ではないが，θ が0に近いところでは一定と近似できる。このときの I〔A〕を，θ の一次関数で表しなさい。ここで，以下の近似式を用いなさい。

$$x\ll 1 \text{ のとき，} \sqrt{1+x}\fallingdotseq 1+\frac{x}{2}，\quad \theta\fallingdotseq 0 \text{ のとき，} \cos\theta\fallingdotseq 1$$

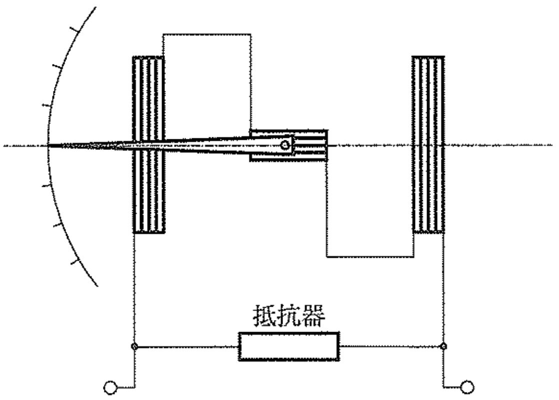


図3

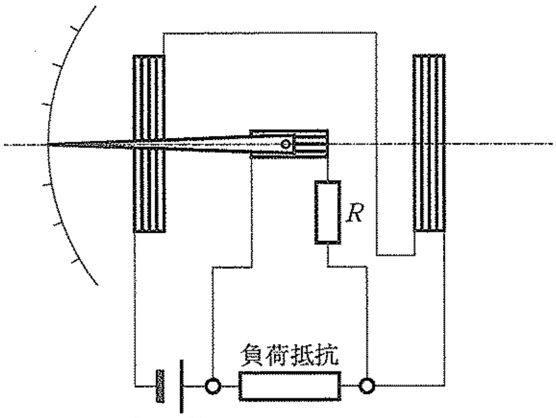


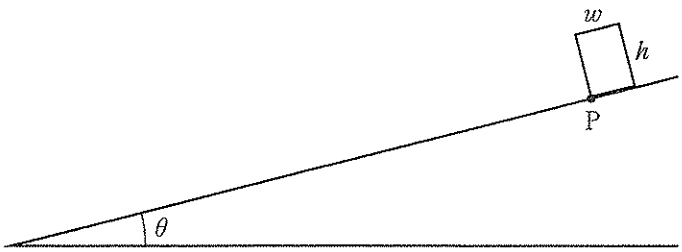
図4

(4)　計測可能な最大電流を I_0 の10倍にするため，計器に図3に示すような抵抗器を並列に接続する。抵抗器の抵抗値〔Ω〕を求めなさい。コイルの可動範囲は $-\frac{\pi}{3} \leqq \theta \leqq \frac{\pi}{3}$ とし，電流力計形計器の，コイル以外の電気抵抗は無視する。

(5)　計器内部の配線を図4のように組み替え，可動コイルと直列に抵抗値 R〔Ω〕の抵抗器を接続し，直流電源と負荷抵抗を図のように接続した。針が角度0で静止したとき，負荷抵抗で消費される電力〔W〕を求めなさい。可動コイルを流れる電流は小さいため，固定コイルに流れる電流は，負荷抵抗に流れる電流と同じとする。また，電流力計形計器の，コイル以外の電気抵抗は無視する。

物　理

2　図のように，水平面と角度θの傾きをなす粗い斜面に，質量mで密度が一様な直方体を静かに置いた。直方体の2辺の長さは図のようにw，hである。斜面の角度θをゆっくり大きくしていくと，$\theta=\theta_1$に達したとき直方体は倒れることなく滑りだす。直方体は滑り落ちる速さvに比例した大きさkvの空気抵抗を受ける。ここで，k（ただし，$k>0$）は比例定数である。直方体の加速度は斜面に沿って下向きを正とする。重力加速度の大きさをgとし，次の各問いに答えなさい。



はじめに，斜面の角度はθ_1で固定されているものとする。直方体を斜面に静かに置くと滑りだし，しばらくした後に，直方体は斜面に沿って速さv_1で等速運動をする。

(1)　直方体が滑りはじめる瞬間の加速度をaとして，空気抵抗の比例定数kをa，m，v_1を用いて表しなさい。

(2)　静止摩擦係数から動摩擦係数を引いた値をθ_1，k，v_1，m，gを用いて表しなさい。

次に，斜面の角度は静止している直方体が倒れず滑りだす最も大きな角度θ_2に固定されているものとする。直方体を斜面に静かに置くと滑り出し，しばらくした後に，直方体は斜面に沿って速さv_2で等速運動をする。

(3)　動摩擦係数をw，h，k，v_2，m，gを用いて表しなさい。

(4)　空気抵抗の作用点は直方体の重心にあるものとする。このとき，直方体の底面に作用する垂直抗力の作用点は箱の下端の点Pから距離xの位置にある。斜面の動摩擦係数をμとし，xをw，h，μを用いて表しなさい。

斜面の角度をθ_2より大きな角度θ_3（$\theta_3>\theta_2$）に固定し，直方体をある速さv_0より小さな初速度で斜面に沿って下向きに滑らすと直方体は倒れてしまうが，初速度の大きさをv_0より大きくすると，直方体は倒れず滑りだした。

(5)　速さv_0をw，h，k，θ_3，m，gを用いて表しなさい。

物　理

3 図1のような xy 直交座標系において，観測者Pが音源からの音波を観測する実験を考える。音波の速さは V〔m/s〕で，風はないものとする。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。

はじめ，図1のように観測者Pが y 軸上 $y = L$〔m〕に静止していて，音源Sが速さ v〔m/s〕で x 軸上を正の方向に移動している。観測者Pと音源Sを結ぶ直線PSが y 軸となす角度 ∠OPS が ϕ になった瞬間に，音源Sが振動数 f〔Hz〕の音波を発し始め，音波の n 周期分の時間だけ音を発し続けた。v は V より充分小さいとする。

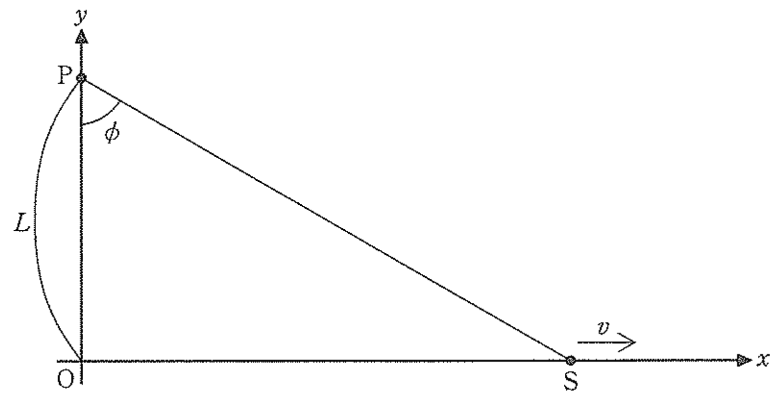


図1

(1) 観測者Pが観測する音源Sからの音の持続時間〔s〕を求めなさい。

(2) 観測者Pが観測する音源Sからの音波の振動数〔Hz〕を求めなさい。ただし，$\dfrac{nv}{f}$ は直線PSの長さより充分小さく，$\left(\dfrac{nv\cos\phi}{fL}\right)^2 \fallingdotseq 0$ であるとする。必要があれば $z \ll 1$ のとき近似式 $\sqrt{1+z} \fallingdotseq 1+\dfrac{1}{2}z$ を使ってもよい。

次に図2のように，観測者Pと音源Sが原点Oから同時に出発する場合を考える。音源Sは振動数 f〔Hz〕の音波を発しながら一定の速さ v_1〔m/s〕で x 軸上を正の方向に，観測者Pはある一定の速さで y 軸上を正の方向に，それぞれ移動している。音源Sの速さ v_1，観測者Pの速さはそれぞれ V より充分小さいとする。

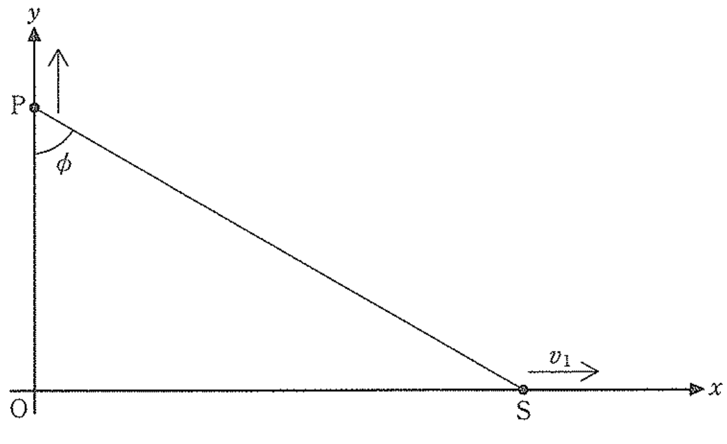


図2

(3) 角度 ∠OPS が ϕ のとき観測者 P が観測する音源 S からの音波の振動数〔Hz〕を求めなさい。

次に，音源 S と音源 S′ が原点 O から同時に出発する場合を考える。音源 S は振動数 f〔Hz〕の音波を発しながら一定の速さ v_1〔m/s〕で x 軸上を正の方向に，音源 S′ は同じ振動数 f の音波を発しながらある一定の速さで y 軸上を正の方向に，それぞれ移動している。音源 S′ の速さは V より充分小さいとする。また直線 SS′ に対して原点 O から引いた垂線と x 軸のなす角度を θ とする。

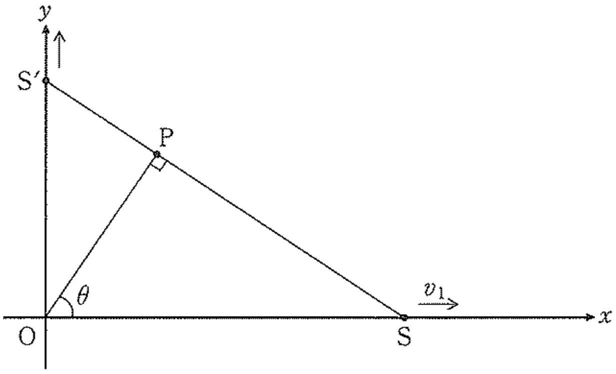


図 3

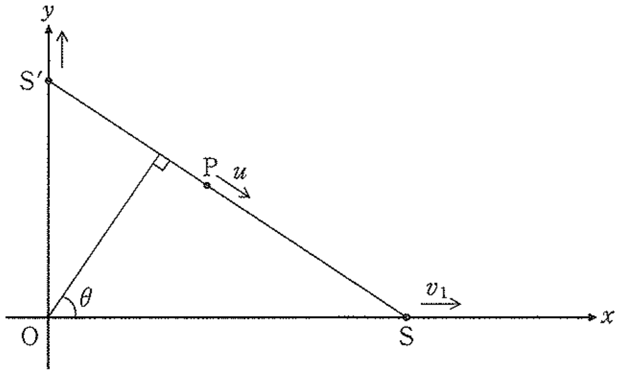


図 4

(4) 図 3 のように，観測者 P が，音源 S と音源 S′ を結んだ直線 SS′ に対して原点 O から引いた垂線が交わる点に常にいるとき，観測者 P が観測する音の，1 秒間のうなりの回数を求めなさい。

(5) 図 4 のように，観測者 P が直線 SS′ 上を S′ から S に向かって速さ u〔m/s〕で移動すると，観測者 P が観測する音のうなりが消えた。$\theta = \dfrac{\pi}{3}$ rad のとき，速さ u を求めなさい。

物　理

〔解答群〕

(1) ア. $\dfrac{n}{f}+\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}+\dfrac{2Lnv}{f\tan\phi}}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

イ. $\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}+\dfrac{2Lnv}{f}\tan\phi}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

ウ. $\dfrac{n}{f}+\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}-\dfrac{2Lnv}{f}\tan\phi}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

エ. $\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}-\dfrac{2Lnv}{f\tan\phi}}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

オ. $\dfrac{n}{f}+\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}+\dfrac{2Lnv}{f}\tan\phi}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

カ. $\dfrac{1}{V}\sqrt{\dfrac{L^2}{\cos^2\phi}+\dfrac{n^2v^2}{f^2}-\dfrac{2Lnv}{f}\tan\phi}-\dfrac{L}{V\cos\phi}$

(2) ア. $\dfrac{V}{V+v\sin\phi}f$　イ. $\dfrac{V}{V-v\sin\phi}f$　ウ. $\dfrac{V}{V+v\cos\phi}f$　エ. $\dfrac{V}{V-v\cos\phi}f$

オ. $\dfrac{V-v\sin\phi}{V}f$　カ. $\dfrac{V+v\cos\phi}{V}f$

(3) ア. $\dfrac{V+v_1\sin\phi}{V-v_1\dfrac{\cos^2\phi}{\sin\phi}}f$　イ. $\dfrac{V-v_1\dfrac{\cos^2\phi}{\sin\phi}}{V+v_1\sin\phi}f$　ウ. $\dfrac{V-v_1\sin\phi}{V+v_1\sin\phi}f$　エ. $\dfrac{V+v_1\dfrac{\cos^2\phi}{\sin\phi}}{V-v_1\sin\phi}f$

オ. $\dfrac{V-v_1\sin\phi}{V+v_1\dfrac{\cos^2\phi}{\sin\phi}}f$　カ. $\dfrac{V-v_1\cos\phi}{V+v_1\cos\phi}f$

(4) ア. $\left|\dfrac{V+v_1\dfrac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}{V}-\dfrac{V+v_1\sin\theta}{V}\right|f$　イ. $\left|\dfrac{V-v_1\dfrac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}{V}-\dfrac{V-v_1\sin\theta}{V}\right|f$

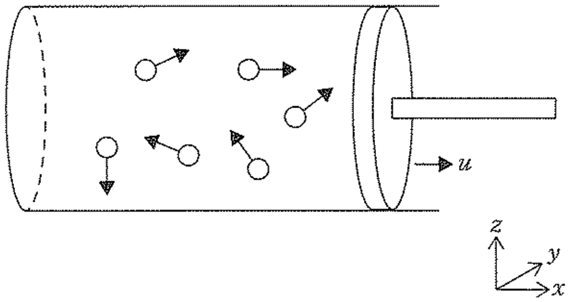
ウ. $\left|\dfrac{V}{V+v_1\dfrac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}-\dfrac{V}{V+v_1\sin\theta}\right|f$　エ. $\left|\dfrac{V}{V-v_1\dfrac{\cos^2\theta}{\sin\theta}}-\dfrac{V}{V-v_1\sin\theta}\right|f$

オ. $\left|\dfrac{V}{V-v_1\sin\theta}-\dfrac{V}{V+v_1\sin\theta}\right|f$　カ. $\left|\dfrac{V}{V-v_1\cos\theta}-\dfrac{V}{V+v_1\cos\theta}\right|f$

(5) ア. $\dfrac{1}{2}v_1$　イ. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}v_1$　ウ. $\dfrac{1}{2}\dfrac{Vv_1}{\sqrt{3}V+v_1}$

エ. $\dfrac{1}{2}\dfrac{Vv_1}{\sqrt{3}V-v_1}$　オ. $\dfrac{2\sqrt{3}Vv_1}{6V+\sqrt{3}v_1}$　カ. $\dfrac{2\sqrt{3}Vv_1}{6V-\sqrt{3}v_1}$

4



図

質量 m〔kg〕の単原子分子 N 個からなる理想気体が図のような断面積 S〔m^2〕のシリンダー内に入っている。また，シリンダーの右方には自由に動けるピストンがあり，図のようにピストンの可動方向右向きを x 軸正の向きとし，x 軸と垂直方向に互いに直交する y 軸と z 軸をとる。気体ははじめ平衡状態にあり，その際のシリンダーの底面からピストンまでの x 軸方向の距離は L〔m〕，また温度は T〔K〕であった。ここで，ピストンを一定の速さ u〔m/s〕で右方に引く。ピストンの動きは充分ゆっくりであり，気体は常に平衡状態を保ちながら変化するものとする。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。ただし，ボルツマン定数を k〔J/K〕とし，重力の影響は無視する。また，シリンダーやピストンは断熱材で出来ており，表面はなめらかで，シリンダー内の気体は常に断熱状態であるとする。

(1)　i 番目 $(i = 1, 2, \cdots, N)$ の気体分子がピストンに衝突する直前の速さの x 成分を $v_{x,i}$〔m/s〕とする。この時，i 番目の気体分子が右方に動いているピストンと弾性衝突するとし，衝突後の i 番目の気体分子の x 方向の速さ〔m/s〕を求めなさい。

(2)　(1)の弾性衝突における，i 番目の気体分子一個の運動エネルギーの変化量〔J〕を求めなさい。ただし，気体分子の速さに比べて，ピストンの動きは充分ゆっくりであり，$v_{x,i}^2$，$v_{x,i}u$ $(i = 1, 2, \cdots, N)$ に比べて u^2 を無視する近似が成り立つものとする。

(3)　微小時間 Δt〔s〕の間における気体の内部エネルギーの変化量〔J〕を求めなさい。ただし，Δt の間も気体分子の速さに比べてピストンの動きは常に充分ゆっくりであるとする。また，気体分子の熱運動はどの方向にも均等で偏りがないため，気体分子の速度の x，y，z 成分の二乗を全気体分子に対して平均をとったものはそれぞれ等しいとする。さらに，Δt の間にピストンやシリンダー壁面との衝突以外の要因で気体分子の速度が変化することはないものとし，シリンダーの底面からピストンまでの x 軸方向の距離は L のまま変わらないという近似が成り立つものとする。

(4)　Δt の間の温度の微小変化量 ΔT〔K〕と体積の微小変化量 ΔV〔m^3〕の間の関係を求めなさい。

(5)　Δt の間の圧力の微小変化量 ΔP〔kg/(m・s^2)〕を求めなさい。ただし，ある量 A，B とその微小変化量をそれぞれ ΔA，ΔB とするとき，近似式

$$(A+\Delta A)(B+\Delta B) \fallingdotseq AB+A\Delta B+B\Delta A$$

が成り立つものとする。

〔解答群〕

(1)　ア．$v_{x,i}$　　イ．$v_{x,i}-\dfrac{1}{2}u$　　ウ．$v_{x,i}-u$　　エ．$v_{x,i}-\dfrac{3}{2}u$　　オ．$v_{x,i}-2u$　　カ．$v_{x,i}-\dfrac{5}{2}u$

(2)　ア．$-\dfrac{5}{2}mv_{x,i}u$　　イ．$-2mv_{x,i}u$　　ウ．$-\dfrac{3}{2}mv_{x,i}u$　　エ．$-mv_{x,i}u$　　オ．$-\dfrac{1}{2}mv_{x,i}u$

カ．0

(3)　ア．$-\dfrac{NkTu\Delta t}{L}$　　イ．$-\dfrac{NkTu\Delta t}{3L}$　　ウ．$-\dfrac{NkTu\Delta t}{2L}$　　エ．$-\dfrac{3NkTu\Delta t}{L}$

オ．$-\dfrac{2NkTu\Delta t}{L}$　　カ．$-\dfrac{3NkTu\Delta t}{2L}$

(4)　ア．$\dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$　　イ．$3\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$　　ウ．$\dfrac{3}{2}\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$

エ．$\dfrac{1}{3}\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$　　オ．$\dfrac{2}{3}\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$　　カ．$2\dfrac{\Delta T}{T}+\dfrac{\Delta V}{SL}=0$

(5)　ア．$-\dfrac{3}{5}\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$　　イ．$-\dfrac{2}{3}\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$　　ウ．$-\dfrac{1}{2}\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$　　エ．$-\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$

オ．$-\dfrac{3}{2}\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$　　カ．$-\dfrac{5}{3}\dfrac{NkTu\Delta t}{SL^2}$