# 物理基礎・物理　（その１）

**第１問**　図１のように，水平な床の上に，水平な上面をもつ台 A と台 B が載っている。台の上面には，水平に伸び縮みできる軽いばねの一端が固定されており，他端には質量が無視できる板がついている。台 A と台 B のばねはともに同一直線上にある。はじめ，2 つの台は向かい合って静止している。台 A のばねを自然長から $d$ だけを縮め，ばねについた板に小球を接触させた。台 A と小球は，どちらも床に対して静止した状態で固定してある。静かに固定を離すとばねは伸びて，台 A と小球はどちらも動きはじめ，小球は台から水平に飛び出した。2 つの台と小球の質量はすべて $m$ であり，２つのばねのばね定数はどちらも $k$ である。摩擦力，空気抵抗力，重力はすべて無視でき，台 A，台 B，小球はすべて同一直線に沿って運動する。

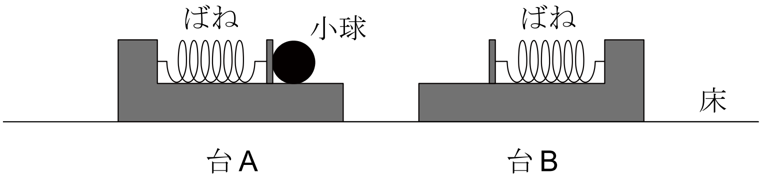


図１

問１　小球を放出した後の台 A の床に対する速さはいくらか。

その後，小球は台 B のばねについた板に接触してばねを押し縮めた。小球が板に接触したとき，熱や音の発生などでエネルギーが失われることはない。以下，小球が台 B に対して静止した瞬間について考える。

問２　台 B の床に対する速さはいくらか。

問３　台 B 上のばねは自然長からどれだけ縮んでいるか。

その後，台 B のばねが伸びて，台 B の板から小球が離れた。

問４　離れた後の台 B と小球の床に対する速さをそれぞれ求めよ。求めた過程も記述すること。

# 物理基礎・物理　（その２）

**第２問**　真空中にある無限に長い導線を強さ $I$ の直線電流が流れている。**図２**のように，電流は原点を通り $z$ 軸正向きに流れている。真空の透磁率を $\mu_0$ とし，重力は無視できる。

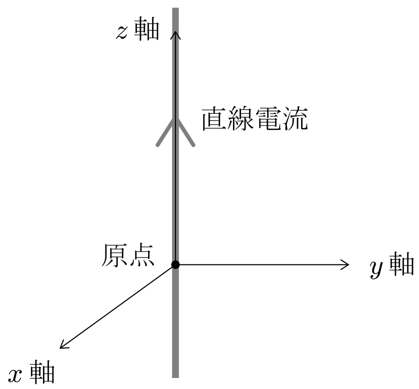



**図２**

**問１**　直線電流から距離 $d$ の位置における磁場の磁束密度の大きさを答えよ。

質量 $m$，電気量 $q$（$>0$）の質点を $z$ 軸上以外のある一点から打ち出すことを考える。

**問２**　直線電流から距離 $d$ の $x$ 軸上の点から質点を $z$ 軸正向きに速さ $v$ で打ち出した場合，打ち出した直後に質点が磁場から受ける力の大きさと向きを答えよ。向きを答えるには，どの軸の正負どちら向きかを答えること。

**問３**　質点を $x$ 軸上のある点から $x$，$y$，$z$ 軸のいずれかの方向に打ち出したとき，打ち出した直後に質点が磁場から受ける力はゼロであった。打ち出した方向はどの軸方向か。$x$，$y$，$z$ のいずれかの記号で答えよ。

**問４**　ある点から質点を $xy$ 平面に対し角度 $30^\circ$ のある方向に打ち出したところ，質点は直線電流を中心軸とするらせん運動をした（運動を $xy$ 平面上に投影した場合，質点の影は $xy$ 平面で原点を中心とする等速円運動をする）。打ち出した質点の速さはいくらか。ただし，らせん運動による電磁波の放出はないものとする。

# 物理基礎・物理　（その３）

**第３問**　$x$ 軸に沿って伸びた弦が振動して横波が伝わっている。弦が振動する方向に $y$ 軸をとり，座標 $x$ における弦の変位を $y(x)$ と表す。この弦を，長さ $\Delta x$ の微小要素が連結したものとみなす（**図３a**）。**図３b** のように，ある一つの微小要素に注目して，この要素の左端の座標を $x$ とすると，右端の座標は $x+\Delta x$ である。弦の変位は十分小さいものとする。弦の単位長さ当たりの質量は $\rho$ である。弦の張力の大きさは $T$ で，弦の傾きに依存しない定数である。重力や空気抵抗の影響は無視できる。

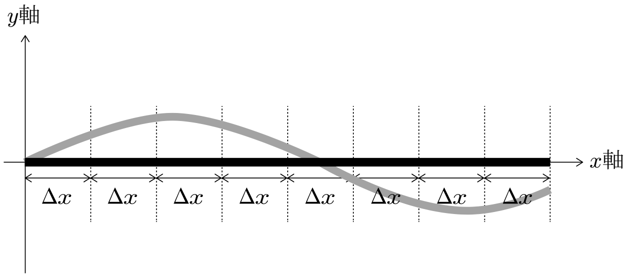



**図３a**

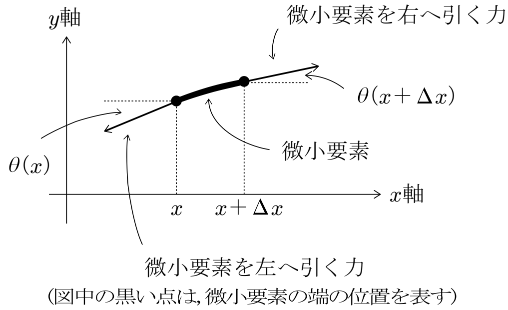



**図３b**

**問１**　以下の文章中の**ア** ～ **キ**に当てはまる数式や数字を答えよ。

弦の各微小要素の質量は（　**ア**　）である。

**図３b** で注目している弦の微小要素にはたらく合力を考える。この要素を左へ引く力は $x$ 軸と角度 $\theta(x)$ をなし，この要素を右へ引く力は $x$ 軸と角度 $\theta(x+\Delta x)$ をなしているとする（座標 $x$ における角度を $\theta(x)$ と表している)。この場合，この要素にはたらく合力の $x$，$y$ 成分を $T$，$\theta(x)$，$\theta(x+\Delta x)$ の中から必要な記号と三角関数を使って表すと，$x$ 成分は（　**イ**　）となり，$y$ 成分は（　**ウ**　）となる。

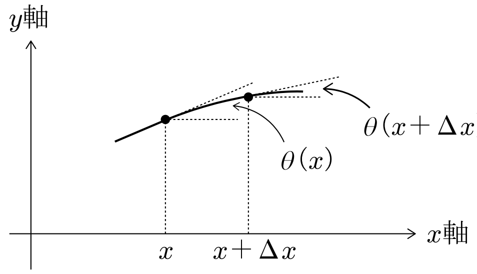
弦の変位が十分小さいため，$\theta(x)$ と $\theta(x+\Delta x)$ も小さく，

$$\cos\{\theta(x)\} \fallingdotseq \cos\{\theta(x+\Delta x)\} \fallingdotseq 1$$

と近似できる。この近似を用いると，考えている弦の要素にはたらく合力の $x$ 成分（　**イ**　）は（　**エ**　）である。

# 物理基礎・物理　（その４）

**図３b** で注目している要素の左端(座標 $x$) における弦の傾き $y'(x)$ は $y'(x) = \tan\{\theta(x)\}$ であり，右端(座標 $x+\Delta x$) における弦の傾き $y'(x+\Delta x)$ は $y'(x+\Delta x) = \tan\{\theta(x+\Delta x)\}$ である（**図３c**)。また，$\theta(x)$ と $\theta(x+\Delta x)$ が小さいことから，



（図中の黒い点は，微小要素の左右の端の位置を表す）

**図３c**

$$\tan\{\theta(x)\} \fallingdotseq \sin\{\theta(x)\},\ \tan\{\theta(x+\Delta x)\} \fallingdotseq \sin\{\theta(x+\Delta x)\}$$

と近似できる。これらのことから，微小要素にはたらく合力の $y$ 成分（　**ウ**　）は，$\theta(x)$や $\theta$ $(x+\Delta x)$ の代わりに $y'(x)$ と $y'(x+\Delta x)$ を使って（　**オ**　）と表すことができる。

さて，$x$ の変化に対する傾き $y'$ の変化率 $y''$ は次のように表される。

$$y'' = \frac{y'(x+\Delta x) - y'(x)}{\Delta x}$$

以上のことと運動方程式を考え合わせれば，注目している微小要素の加速度の $y$ 成分が，

（加速度の $y$ 成分）＝（　**カ**　）× $y''$

と表すことができることが分かる。(　**カ**　)の部分がもつ単位を m (メートル), kg (キログラム), s (秒) を使って表すと（　**キ**　）となる。

**図３d** は，ある瞬間における弦を伝わる波の一部分を表す。この波は正弦波である。

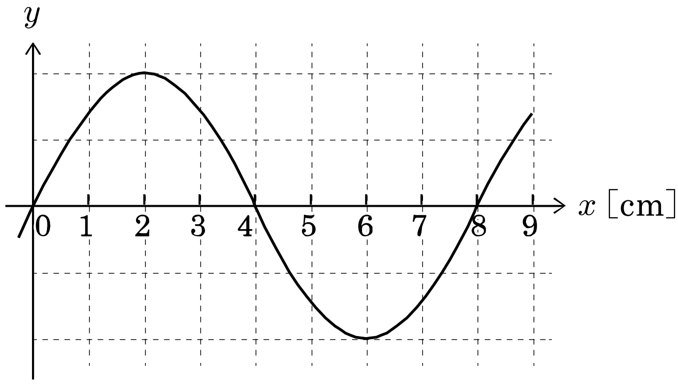



**図３d**

**問２**　**図３d** 中で，弦の加速度の $y$ 成分が正で，大きさが最大になる位置の $x$ 座標をすべて答えよ。

**問３**　**図３d** 中で，弦の加速度の $y$ 成分が負で，大きさが最大になる位置の $x$ 座標をすべて答えよ。

**問４**　**図３d** 中で，弦の加速度の $y$ 成分がゼロである位置の $x$ 座標をすべて答えよ。

# 物理基礎・物理　（その５）

**第４問**　物質量 $n$ の単原子分子理想気体を**図４**のように変化させるサイクルを考える。状態 1，2，3，4 における気体の絶対温度は，それぞれ $T_1$，$T_2$，$T_3$，$T_4$ である。状態 1 から 2 への変化と状態 3 から 4 への変化は断熱変化であり，状態 2 から 3 への変化と状態 4 から 1 への変化は定圧変化である。気体定数を $R$ とする。

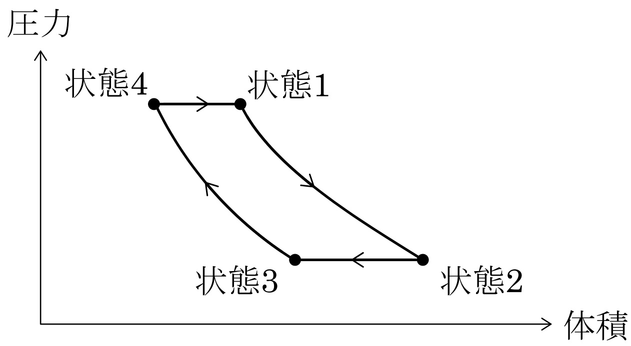



**図４**

**問１**　状態 1 における気体の内部エネルギーを $T_1$ を使って答えよ。

**問２**　状態 1 から 2 へ変化する際に気体がされる仕事を $T_1$ と $T_2$ を使って答えよ。

**問３**　状態 2 から 3 へ変化する際に気体がされる仕事を $T_2$ と $T_3$ を使って答えよ。

**問４**　状態 2 から 3 へ変化する際に気体が吸収する熱を $T_2$ と $T_3$ を使って答えよ。

**問５**　このサイクルで，気体が外部から熱（正の値の熱）を吸収するのはどの変化においてか。「状態 1 → 2 」のように答えよ。

**問６**　$T_1 = 339\,\mathrm{K}$，$T_2 = 258\,\mathrm{K}$，$T_3 = 198\,\mathrm{K}$，$T_4 = 260\,\mathrm{K}$ とする。このサイクルを行う熱機関の熱効率は何 %か。**有効数字２桁**で答えよ。