

物 理

物理 問題 I

図1のように水平面に対する傾斜角 θ を $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲で変えることができるベルトコンベアがあり、ベルトを一定の速さで図1の反時計回りにのみ回転させることができる。このベルトの上面に質量 m の小物体を置いたときの、水平面上にいる静止した観測者から見た小物体の運動を考える。ただし、小物体とベルトとの間の静止摩擦係数と動摩擦係数は常に一定でそれぞれ μ , $\frac{\mu}{3}$ であり、重力加速度の大きさを g とする。また、傾斜したベルトの上面がつくる面を以下では斜面と呼ぶことにする。

ベルトが静止しているとき、斜面上に小物体を置いて傾斜角を 0 から徐々に大きくしていくと傾斜角が θ_1 を超えたときに小物体はすべり始めた。

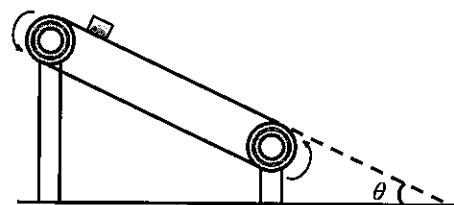


図1

問1. このときの $\tan \theta_1$ を、 μ を用いて表せ。

問2. 小物体がすべり始めた直後、傾斜角を θ_1 に固定した。斜面上を小物体がすべるとき加速度の大きさを、 g , θ_1 を用いて表せ。

次に傾斜角を θ_2 に固定し、ベルトの速さが v_0 になるように回転させた。ベルトの上面に小物体を接触させた後、小物体の初速が 0 になるようにして静かに手をはなしたところ、小物体は静止し続けた。

問3. このときの $\tan \theta_2$ を、 μ を用いて表せ。

問4. 小物体を取り除いた後、ベルトの速さが $2v_0$ になるように回転させた。その後、先ほどと同様に、ベルトの上面に小物体を接触させた後、小物体の初速が 0 になるようにして静かに手をはなした場合、小物体はどのように運動するか。最も適切なものを次の選択肢の中から1つ選び、記号で答えよ。

- 問4の選択肢 (a) 速さ $2v_0$ で斜面に沿って下る (b) 速さ $2v_0$ で斜面に沿って上る
(c) 速さ v_0 で斜面に沿って下る (d) 速さ v_0 で斜面に沿って上る (e) 静止し続ける
(f) 加速度運動しながら斜面に沿って下る (g) 加速度運動しながら斜面に沿って上る

続いて傾斜角を θ_3 に固定し、ベルトの速さが v_0 になるように回転させた。図2のように斜面に沿って下向きに x 軸をとり、 x 軸上の原点 O でベルトの上面に小物体を接触させる。時刻 0 のとき、 x 軸の正の向きに原点 O から初速 $3v_0$ で小物体をすべらせたところ、小物体は斜面に沿って一定の加速度 a で運動し、 x 軸上の点 P でいったん静止した後、 x 軸の負の向きに動き始めた。原点 O を高さの基準としたときの点 P の高さは $-h$ ($h > 0$)であった。しばらくして時刻 t_1 のとき、ベルトの上面に対する小物体の相対速度が初めて 0 になり、そのときの小物体の高さは $-h_1$ ($h_1 > 0$)であった。

問5. OP 間の距離を、 m , a , g , v_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問6. 時刻 t_1 を、 a , g , v_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問7. 時刻 t_1 のときの小物体の高さ $-h_1$ を、 h を用いて表せ。

問8. 時刻 $0 \sim t_1$ の間に動摩擦力が小物体にした仕事を、 m , v_0 , g , h_1 を用いて表せ。

問9. θ_3 と θ_1 , θ_2 の関係として、最も適切なものを次の選択肢の中から1つ選び、記号で答えよ。

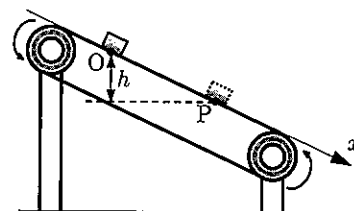


図2

- 問9の選択肢 (a) $\theta_3 < \theta_1$ かつ $\theta_3 < \theta_2$ (b) $\theta_3 > \theta_1$ かつ $\theta_3 > \theta_2$ (c) $\theta_3 = \theta_1$
(d) $\theta_3 < \theta_1$ かつ $\theta_3 > \theta_2$ (e) $\theta_3 > \theta_1$ かつ $\theta_3 < \theta_2$ (f) $\theta_3 = \theta_2$

物 理

物理 問題 II

ある媒質中を伝わる縦波について考える。図 1 (a) は右向きを正とした x 軸上にある長さ $15L$ の一様な媒質について、振動していないときに長さ L の等間隔で媒質①～⑯として印をつけたものである。ただし、媒質は x 軸方向にのみ振動し、媒質⑯は振動できないように固定されている。媒質が振動していないときの媒質①の位置を $x=0$ とする。媒質①を x 軸に沿って時刻 $t=0$ から図 2 のように動かして振幅 A で単振動させたところ、 x 軸の正の向きに伝わる縦波の正弦波が発生し、媒質⑯に到達した後反射した。図 2 において、時刻 t が $0, 5T_0, 10T_0$ のとき、媒質①の変位 $\Delta x_①(t)$ は 0 であった。図 1 (b) は、ある時刻に、波の先頭が初めて媒質⑨に到達したときの媒質①～⑯の位置を表していて、このとき媒質③の変位は 0 であった。

以下の問 1～問 7 については、時刻 0 から縦波の先頭が初めて媒質⑯に到達するまでの間の時刻における進行波を考える。

- 問 1. この縦波の周期を求めよ。
- 問 2. この縦波が進む速さを求めよ。
- 問 3. 媒質①～⑯の位置が図 1 (b) のようになったときの時刻を求めよ。
- 問 4. 媒質①～⑯の位置が図 1 (b) のようになったときに、速度が x 軸の負の向きでその大きさが最大の媒質を、媒質①～⑯の中からすべて選び、番号で答えよ。
- 問 5. 媒質①の変位 $\Delta x_①(t)$ を、 A, L, T_0 の中から必要なものを用いて時刻 t の関数として表せ。
- 問 6. 媒質①～⑯の位置が図 1 (b) のようになったとき以降の媒質⑨の変位 $\Delta x_⑨(t)$ を、 A, L, T_0 の中から必要なものを用いて時刻 t の関数として表せ。
- 問 7. 媒質①の速さの最大値は、縦波が進む速さの何倍になるか。 A, L, T_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 8. この縦波の先頭が初めて媒質⑯に到達した時刻から半周期だけ時間が経過したときの、媒質⑭における合成波の変位を求めよ。ただし、反射による波の振幅の減衰は無視することができ、反射波についても正弦波で伝わるものとする。

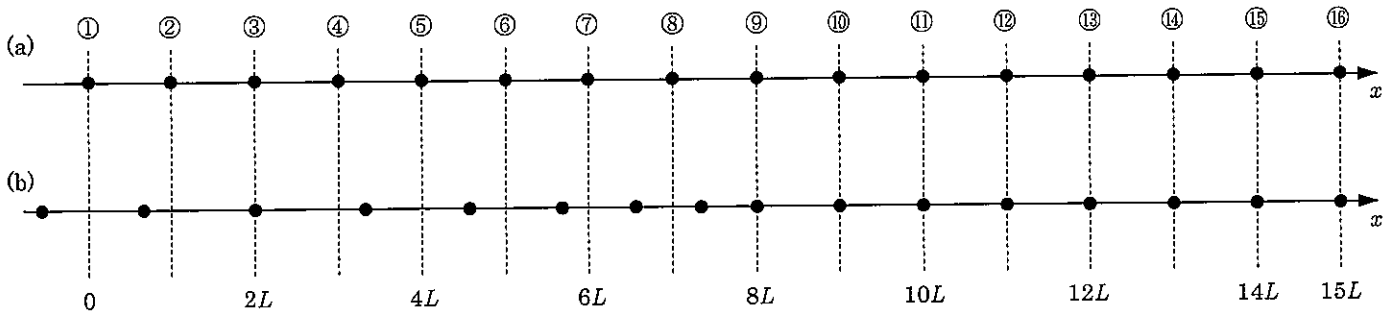


図 1

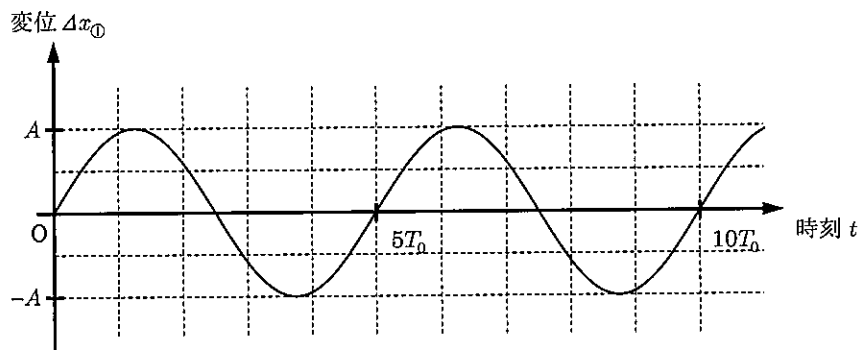


図 2

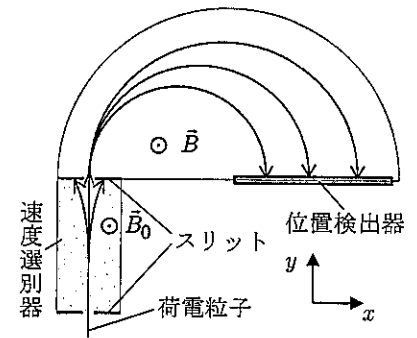
物理

物理 問題 III

質量分析器に関する以下の問いに、機器はすべて真空中にあり、また重力の影響は無視できるとして答えよ。

図は磁場型質量分析器の概要である。図のように、分子などをイオン化した荷電粒子を図の下側のスリットからスリットと垂直に入射すると、一様な電場（電界）と磁場（磁界）が加えられた速度選別器において、ある速度の荷電粒子だけが直進し、上側のスリットを通過するよう調整されている。上側のスリットの先（図の上部）には一様な磁場が加えられており、ここに到達した荷電粒子は等速円運動を行い、半周したところで位置検出器により検出される。上側のスリットを同じ速度で通過したこれらの荷電粒子が到達する位置はその比電荷により異なるため、到達する位置を測定することでこれらの荷電粒子の質量に関する情報が得られる。

図の右向きを正として x 軸を、上向きを正として y 軸を取る。あるベクトル $\vec{v}$ を、その x 成分 V_x と y 成分 V_y を用いて (V_x, V_y) と表すことをベクトル $\vec{v}$ の成分表示という。



質量 m 、電荷 q ($q > 0$) の荷電粒子を紙面 (xy 平面) と平行に速度 $(0, v)$ ($v > 0$) で下側のスリットからスリットと垂直に速度選別器に入射する。速度選別器では、 x 軸に平行で一様な電場 $(E_0, 0)$ および紙面に垂直に裏から表の向きに磁束密度の大きさ B_0 の一様な磁場が加えられている。速度選別器内を速度 $(0, v)$ で運動する荷電粒子に関して、次の問いに答えよ。

- 問1. この荷電粒子が電場から受ける力を、 m 、 q 、 v 、 E_0 の中から必要なものを用いて成分表示せよ。
- 問2. この荷電粒子が磁場から受ける力を、 m 、 q 、 v 、 B_0 の中から必要なものを用いて成分表示せよ。
- 問3. この荷電粒子の速さが v_0 のとき、荷電粒子は直進した。 v_0 を、 m 、 q 、 E_0 、 B_0 の中から必要なものを用いて表せ。

上記の荷電粒子は、速度が $(0, v_0)$ の場合だけ速度選別器内を直進し、上側のスリットを通過した。その先には、紙面に垂直に裏から表の向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場が加えられており、そこに入った荷電粒子は半径 r の等速円運動を行った。

- 問4. 等速円運動を行っている間に荷電粒子にはたらく力の大きさを、 m 、 v_0 、 r を用いて表せ。
- 問5. 上側のスリットからの距離が d となる位置で検出された荷電粒子の比電荷 $\frac{q}{m}$ を、 v_0 、 d 、 B を用いて表せ。

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

この装置に、1 価の陽イオンにしたネオン (Ne^+) を入射すると位置検出器の 2 か所で Ne^+ が検出され、これらの Ne^+ の比電荷の比は 10:11 であった。この測定結果から、ネオンには質量数の異なる原子核が存在することが分かる。これらの原子番号が同じで質量数が異なる原子核をもつ原子を ア といい、同じ元素であるため イ の数は同じだが ウ の数が異なる。ア は質量数が異なる原子の例であるが、質量数の和が同じ分子でも構成する元素の種類が異なるとそれらの質量はわずかに異なる。この主な要因は、原子核の質量はそれを構成する核子の質量の和よりも小さくなるという エ が存在し、核子 1 個あたりの エ は原子核によって異なることである。質量分析器で精度の高い測定を行えば、この違いも識別できる。

質量数の和が同じ 2 種類の分子をそれぞれ 1 価の陽イオン (イオン A とイオン B) にしてこの装置に入射した。イオン A、イオン B の比電荷の比は 58.078 : 58.041 であり、それぞれ上側のスリットからの距離が d_A 、 d_B の位置で検出された。

- 問6. ア ~ エ に入る最も適切な語句を次の選択肢の中からそれぞれ 1 つずつ選び、記号で答えよ。

選択肢 (a) 光電効果 (b) コンプトン効果 (c) 質量欠損 (d) 中性子 (e) 電気素量 (f) 同位体 (g) 半減期
(h) 放射線 (i) 放射能 (j) ホール効果 (k) 陽子

- 問7. $d_A = 5.8000 \text{ m}$ のとき、 $\Delta d = d_A - d_B$ を、有効数字を 2 桁として答えよ。解答欄の括弧内に単位記号を書くこと。