物理

◆機械工学科　◆総合機械工学科
◆電気電子工学科
◆建築学科／建築専攻（Ⅰ型）　◆建築学科／インテリアデザイン専攻（Ⅰ型）
◆建築学科／土木・環境専攻（Ⅰ型）
◆情報システム学科／コンピュータサイエンス専攻
◆情報システム学科／情報ネットワーク専攻
◆情報デザイン学科／メディアデザイン専攻（Ⅰ型）
◆情報デザイン学科／プロダクトデザイン専攻（Ⅰ型）
◆総合情報学科／かおりデザイン専攻（Ⅰ型）
◆総合情報学科／経営情報専攻（Ⅰ型）

［Ⅰ］　次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

真空中で，図のように紙面上に x 軸，y 軸をとり，紙面に垂直で裏から表への向き（記号⊙）に z 軸をとる。$y \geqq 0$ の領域の全体には，磁束密度の大きさ B で z 軸の正の向きの一様な磁場（磁界）がある。また，$y < 0$ の領域には，２枚の金属平板P，Qが xz 平面と平行に間隔 d で置かれており，平板間には電圧 V が加えられている。質量 m，電気量 $q(q > 0)$ を持つ粒子が平板間で加速された後，x 軸上の点Aから磁場の中に y 軸と平行に入射する。

最初に，平板間で粒子が加速される過程を考える。粒子は初速度0で平板Pを出発して，平板間の電圧 V によって加速され，速さ v で平板Qにあいた小さい穴を通過する。

(1)　平板間に一様な電場が生じているとすると，この電場の強さは $E =$ $\boxed{ア}$ であり，向きは $\boxed{イ}$ である。よって，加速の間に粒子が受ける力の大きさは $F =$ $\boxed{ウ}$ である。

(2)　粒子が平板間を移動する間に，電気力がした仕事は $\boxed{エ}$ である。また，粒子が平板Qを通過する直前の運動エネルギーは $\boxed{オ}$ である。したがって，粒子が平板Qを通過する直前の速さは $v =$ $\boxed{カ}$ である。

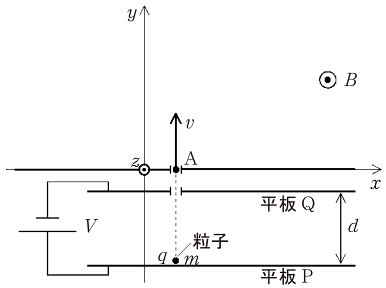
次に，粒子が速さ v で点Aから磁場の中に入射した後の過程を考える。粒子は磁場の中で半径 r の等速円運動を行い，x 軸上で検出される。

(3)　入射した直後に粒子に働く力の大きさは $\boxed{キ}$ であり，向きは $\boxed{ク}$ である。

(4)　粒子には円の中心の向きに力が働く。この力の大きさは $m\dfrac{v^2}{r}$ と表される。このことから，円の半径が $r =$ $\boxed{ケ}$ となることが分かる。また，点Aから x 軸上で粒子が検出された地点までの距離を L とすると，$L =$ $\boxed{コ}$ となる。

(5)　質量 m と電気量 q の比を比電荷という。粒子の比電荷 $\dfrac{q}{m}$ を V，B，L で表すと，$\dfrac{q}{m} =$ $\boxed{サ}$ が成り立つ。電圧 V と磁束密度 B が与えられた実験装置で距離 L を

(6)　距離 $2L$ で検出された粒子の電気量は，距離 L で検出された粒子の電気量 $\boxed{シ}$ 。



解答群

$\boxed{ア}$，$\boxed{ウ}$，$\boxed{エ}$

①　Vd　②　qV　③　mV　④　qVd　⑤　mVd

⑥　$\dfrac{V}{d}$　⑦　$\dfrac{qV}{d}$　⑧　$\dfrac{V}{q}$　⑨　$\dfrac{qVd}{m}$　⓪　$\dfrac{mV^2}{2}$

$\boxed{イ}$，$\boxed{ク}$

①　x 軸の正の向き　②　x 軸の負の向き　③　y 軸の正の向き

④　y 軸の負の向き　⑤　z 軸の正の向き　⑥　z 軸の負の向き

$\boxed{オ}$

①　mv　②　$2mv$　③　mv^2　④　$2mv^2$

⑤　$\dfrac{1}{2}mv$　⑥　$\dfrac{1}{2}mv^2$　⑦　$\dfrac{3}{2}mv$　⑧　$\dfrac{3}{2}mv^2$

$\boxed{カ}$

①　$\dfrac{qV}{m}$　②　$\dfrac{mV}{q}$　③　$\dfrac{2qV}{m}$　④　$\dfrac{mV}{2q}$　⑤　$\dfrac{m}{2qV}$

⑥　$\sqrt{\dfrac{qV}{m}}$　⑦　$\sqrt{\dfrac{mV}{q}}$　⑧　$\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$　⑨　$\sqrt{\dfrac{mV}{2q}}$　⓪　$\sqrt{\dfrac{m}{2qV}}$

$\boxed{キ}$，$\boxed{ケ}$，$\boxed{コ}$

①　qB　②　qvB　③　mvB　④　$\dfrac{qB}{v}$　⑤　$\dfrac{qB}{mv}$

⑥　$\dfrac{2qB}{mv}$　⑦　$\dfrac{qB}{2mv}$　⑧　$\dfrac{mv}{qB}$　⑨　$\dfrac{2mv}{qB}$　⓪　$\dfrac{mv}{2qB}$

$\boxed{サ}$

①　$\dfrac{VL}{B^2}$　②　$\dfrac{2VL}{B^2}$　③　$\dfrac{2V}{B^2L^2}$　④　$\dfrac{LB^2}{2V}$　⑤　$\dfrac{L^2B^2}{2V}$

⑥　$\dfrac{8VL}{B^2}$　⑦　$\dfrac{8V}{B^2L^2}$　⑧　$\dfrac{LB^2}{8V}$　⑨　$\dfrac{L^2B^2}{8V}$

$\boxed{シ}$

①　と等しい　②　の２倍である　③　の $\dfrac{1}{2}$ 倍である

④　の４倍である　⑤　の $\dfrac{1}{4}$ 倍である　⑥　の８倍である

⑦　の $\dfrac{1}{8}$ 倍である　⑧　の16倍である　⑨　の $\dfrac{1}{16}$ 倍である

［Ⅱ］　次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

図１はバネに結びついた物体にバネの力だけが作用して，物体が単振動する状況である。時刻 t でのバネの自然長からの伸び $y(t)$ が，$y(t)=A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$，で表されるとする。$A$，$T$ は定数である。

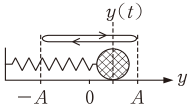


図１

(1) この単振動の位相（位相角）は $\theta=\boxed{\text{ア}}$，振動数は $f=\boxed{\text{イ}}$ である。

次に，x 軸上に張った弦を y 軸方向に振動させて，x 軸の正方向に伝わる正弦波を発生させる。図２はある時刻の波形である。この正弦波の伝わる速さは v，周期は T である。図２に示す波形の振幅は波長に比べて十分小さい。

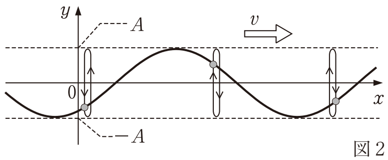


図２

(2) この正弦波の波長は $\lambda=\boxed{\text{ウ}}$ である。

(3) 弦上の各点は y 軸方向に単振動をするが，各点の単振動の位相はずれる。そのずれは波の伝わる速さで決まる。つまり，$x=0$ の点の単振動に比べて，ある x の点の単振動は時間 $t_x=\boxed{\text{エ}}$ だけ遅れて振動する。

(4) 弦上で $x=0$ の点の y 軸方向の単振動が，問(1)で考えた単振動と同じ $y(t)$ で表されるとする。この場合，時刻 t において，ある x における弦の y 座標 $y(t,x)$ は，問(2)と(3)より，$y(t,x)=\boxed{\text{オ}}$ となる。この $y(t,x)$ が x 軸上を正方向に伝わる正弦波を表す式である。

さらに，問(4)の正弦波に加えて，問(4)の正弦波と同じ振幅，周期，波長を持つが波の伝わる向きが逆（x 軸の負方向）の正弦波も発生させる。ただし，それぞれの正弦波によって生じる $x=0$ における弦の単振動の位相は等しいとする。なお，以下の計算に必要なら，次の三角関数の公式を使え。

$$\sin\alpha\pm\sin\beta=2\cos\left[(\alpha\mp\beta)/2\right]\sin\left[(\alpha\pm\beta)/2\right]\quad（複合同順）$$

(5) x 軸の正方向に伝わる正弦波を表す式を $y_1(t,x)$，負方向に伝わる正弦波を表す式を $y_2(t,x)$ とすると，$y_1(t,x)=\boxed{\text{オ}}$ かつ $y_2(t,x)=\boxed{\text{カ}}$ である。

(6) 弦に正弦波 $y_1(t,x)$ と $y_2(t,x)$ が同時に伝わることで，重ね合わせの原理により，弦には $y_3(t,x)=\boxed{\text{キ}}$ で表される波が発生することになる。

(7) 問(6)の $y_3(t,x)$ は，$y_3(t,x)=\boxed{\text{ク}}$ と式変形できる。これは，弦の各点が y 軸方向に振幅 $L=\boxed{\text{ケ}}$ の単振動をしていると解釈できる。この振幅 L は弦の各点の x 座標に依存することが分かる。よって，$n=0,\pm1,\pm2,\cdots$（整数）として，振幅 L が最大になる位置は $x_{\max}(n)=\boxed{\text{コ}}$ であり，振幅の最大値は $L_{\max}=\boxed{\text{サ}}$ である。また，振幅 L が最小になる位置は $x_{\min}(n)=\boxed{\text{シ}}$ であり，振幅の最小値は $L_{\min}=\boxed{\text{ス}}$ である。

(8) 弦に式 $y_3(t,x)$ で表される波が発生しているとき，時間 T の間に弦が xy 面上で掃く領域は $\boxed{\text{セ}}$ である。

解答群

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$

① $2\pi t$　② $\dfrac{2\pi}{T}$　③ $\dfrac{2\pi}{T}t$　④ πt　⑤ $\dfrac{\pi}{T}$　⑥ $\dfrac{\pi}{T}t$　⑦ t　⑧ $\dfrac{1}{T}$　⑨ $\dfrac{t}{T}$　⓪ 0

$\boxed{\text{ウ}}$　① $\dfrac{v}{T}$　② $\dfrac{T}{v}$　③ $\dfrac{A}{T}$　④ $\dfrac{T}{A}$　⑤ $\dfrac{A}{v}$　⑥ $\dfrac{v}{A}$　⑦ vT　⑧ AT　⑨ vA

$\boxed{\text{エ}}$　① vA　② Ax　③ xv　④ $\dfrac{x}{A}$　⑤ $\dfrac{A}{x}$　⑥ $\dfrac{v}{A}$　⑦ $\dfrac{A}{v}$　⑧ $\dfrac{v}{x}$　⑨ $\dfrac{x}{v}$　⓪ 0

$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{ク}}$

① $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t+\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)$　② $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t+\dfrac{2\pi}{\lambda T^2}x\right)$　③ $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t+\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)$

④ $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t-\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)$　⑤ $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t-\dfrac{2\pi}{\lambda T^2}x\right)$　⑥ $A\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t-\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)$

⑦ $2A\sin\left(\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)\cos\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$　⑧ $2A\cos\left(\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$

⑨ $2A\sin\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)\cos\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$　⓪ $2A\cos\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$

$\boxed{\text{キ}}$　① $y_1(t,x)y_2(t,x)$　② $\sqrt{y_1(t,x)y_2(t,x)}$　③ $\dfrac{y_1(t,x)}{y_2(t,x)}$

④ $\dfrac{y_2(t,x)}{y_1(t,x)}$　⑤ $y_1(t,x)+y_2(t,x)$　⑥ $\dfrac{y_1(t,x)+y_2(t,x)}{2}$

⑦ $y_1(t,x)-y_2(t,x)$　⑧ $y_2(t,x)-y_1(t,x)$

$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{サ}}$，$\boxed{\text{ス}}$　① A　② $2A$　③ $4A$　④ $\left|A\cos\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)\right|$

⑤ $\left|2A\cos\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)\right|$　⑥ $\left|4A\cos\left(\dfrac{2\pi}{\lambda}x\right)\right|$　⑦ $\left|A\cos\left(\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)\right|$

⑧ $\left|2A\cos\left(\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)\right|$　⑨ $\left|4A\cos\left(\dfrac{2\pi\lambda}{T^2}x\right)\right|$　⓪ 0

$\boxed{\text{コ}}$，$\boxed{\text{シ}}$　① $n\dfrac{A}{2}$　② $n\dfrac{A}{4}$　③ $\left(n+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{A}{2}$　④ $\left(n+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{A}{4}$　⑤ $n\dfrac{\lambda}{2}$

⑥ $n\dfrac{\lambda}{4}$　⑦ $\left(n+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{\lambda}{2}$　⑧ $\left(n+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{\lambda}{4}$　⑨ 無限大　⓪ 0

$\boxed{\text{セ}}$　① 右図の領域 a, b, c, d, e, f

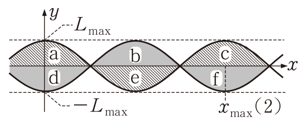
② 右図の領域 g, h, i, j, k, l

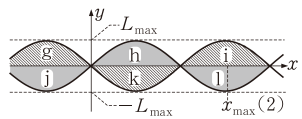
③ 右図の領域 a, b, c,　④ 右図の領域 d, e, f

⑤ 右図の領域 g, h, i,　⑥ 右図の領域 j, k, l

⑦ 右図の領域 a, e, c,　⑧ 右図の領域 d, b, f,

⑨ 右図の領域 g, k, i　⓪ 右図の領域 j, h, l,





［Ⅲ］　図1のように，水平方向から角 θ だけ傾いた斜面に沿って下向きに x 軸をとる。角 θ は，$\sin\theta = 5/13$，$\cos\theta = 12/13$ となる角である。この斜面に沿って，質量 m の小物体を $x = 0$ から初速度 v_0（$v_0 > 0$）で射出する。斜面上の範囲 $x \leqq L$ は摩擦がなく，範囲 $x > L$ では物体に摩擦力が作用する。空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさは g である。

以下の問いの答えは，m，v_0，g，L，の中から必要なものを使って表せ。角 θ の三角関数を使う場合は，$\sin\theta = 5/13$，$\cos\theta = 12/13$ を代入すること。

まず，小物体が斜面上の範囲 $x \leqq L$ を運動する間を考える。

(1) 範囲 $x \leqq L$ で小物体に作用する重力を $\vec{F}$，垂直抗力を $\vec{N}$ とする。$\vec{F}$ の大きさ F と，$\vec{N}$ の大きさ N を答えよ。

(2) 図2には，小物体が白丸で描いてあり，垂直抗力 $\vec{N}$ の矢印も描いてある（図2の目盛りの最小幅は $\vec{N}$ の長さの 1/12）。重力 $\vec{F}$ を表す矢印を解答用紙の図2に描け。

(3) 図3には，小物体が白丸で描いてある。範囲 $x \leqq L$ で小物体に作用する力の和（合力）を $\vec{H}$ として，$\vec{H}$ の向きを表す矢印を解答用紙の図3に描け。また，$\vec{H}$ の大きさ H を求めよ。

(4) 図4には，小物体が白丸で描いてある。範囲 $x \leqq L$ で小物体の加速度を $\vec{a}$ として，$\vec{a}$ の向きを表す矢印を解答用紙の図4に描け。また，$\vec{a}$ の大きさ a を求めよ。

(5) 小物体が $x = 0$ で射出された直後に持つ運動エネルギー K_0 を答えよ。

(6) 小物体が $x = 0$ から L まで運動する間に合力 $\vec{H}$ が小物体に与える仕事 W を求めよ。

(7) 小物体が $x = L$ に到達する瞬間の速度 v_L を求めよ。

次に，小物体が斜面上の範囲 $x > L$ を運動する間を考える。ただし，範囲 $x > L$ では小物体の速度は一定だとする。この条件から斜面と小物体の間の動摩擦係数 μ' を求めていく。（以下の問いの答えに μ' は使わないこと。）

(8) 範囲 $x > L$ で小物体に作用する合力を $\vec{H}'$ とする。$\vec{H}'$ の大きさ H' を答えよ。

(9) 範囲 $x > L$ で小物体に作用する垂直抗力を $\vec{N}'$，動摩擦力を $\vec{f}'$ とする。$\vec{N}'$ の大きさ N' と，$\vec{f}'$ の大きさ f' を答えよ。

(10) 図5には，小物体が白丸で描いてあり，垂直抗力 $\vec{N}'$ の矢印も描いてある（図5の目盛りの最小幅は $\vec{N}'$ の長さの 1/12）。重力 $\vec{F}$ を表す矢印と動摩擦力 $\vec{f}'$ を表す矢印を解答用紙の図5に描け。ただし，どちらの矢印が重力あるいは動摩擦力なのか分かるように，記号 $\vec{F}$ と $\vec{f}'$ も図5に記入すること。

(11) 範囲 $x > L$ での斜面と小物体の間の動摩擦係数 μ' を求めよ。

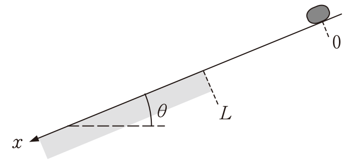


図1

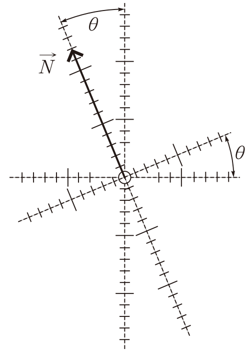


図2

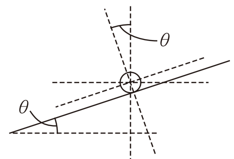


図3

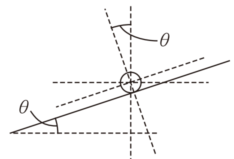


図4

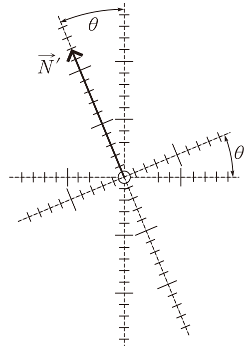


図5