物　　理

（問　題）

2014年度

〈2014　H26081119〉

注　意　事　項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は４～11ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、ＨＢの黒鉛筆またはＨＢのシャープペンシルで記入すること。
4. マーク解答用紙記入上の注意
   (1) 印刷されている受験番号が、自分の受験番号と一致していることを確認したうえで、氏名欄に氏名を記入すること。
   (2) マーク欄にははっきりとマークすること。また、訂正する場合は、消しゴムで丁寧に、消し残しがないようによく消すこと。

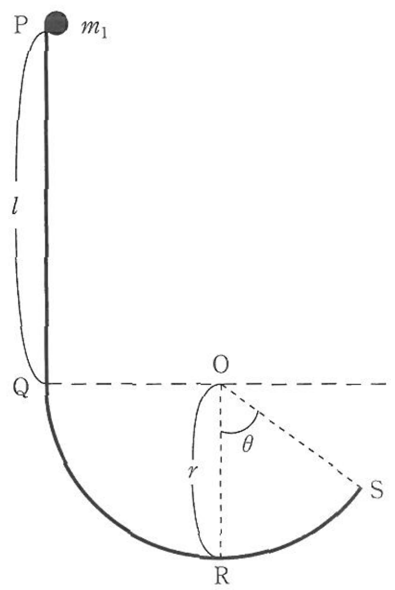
マークする時	●良い	◯悪い	◯悪い
マークを消す時	◯良い	◯悪い	◯悪い

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
7. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。

[I]

図のように一つの鉛直面内にレール PQRS があり，レールに沿って小球が運動する。QRS は点 O を中心とする半径 r の円の一部となっていて，点 Q は点 O から水平方向に引いた直線と円の交点，点 R は点 O から鉛直下方に引いた直線と円の交点である。OS と OR は角度 θ（$0° < \theta < 90°$）をなす。また，点 P は点 Q の鉛直上方にあり，PQ の長さを l とする。

レールと小球の間の摩擦はないものとし，空気抵抗は無視できるものとする。なお，重力加速度の大きさを g とする。



質量 m_1 の小球を点 P の位置から静かにはなすと鉛直下方に落下し，レールに沿って運動を続け，点 S でレールから飛び出るものとして，以下の**問 1**～**問 3** に答えなさい。

問 1　点 S で小球がレールから飛び出るときの速さを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\sqrt{\dfrac{g(l+r)}{2}}$　　b. $\sqrt{\dfrac{g(l+r\cos\theta)}{2}}$　　c. $\sqrt{\dfrac{g(l+r\sin\theta)}{2}}$

d. $\sqrt{\dfrac{g(l+r(1-\cos\theta))}{2}}$　　e. $\sqrt{\dfrac{g(l+r(1-\sin\theta))}{2}}$　　f. $\sqrt{g(l+r)}$

g. $\sqrt{g(l+r\cos\theta)}$　　h. $\sqrt{g(l+r\sin\theta)}$　　i. $\sqrt{g(l+r(1-\cos\theta))}$

j. $\sqrt{g(l+r(1-\sin\theta))}$　　k. $\sqrt{2g(l+r)}$　　l. $\sqrt{2g(l+r\cos\theta)}$

m. $\sqrt{2g(l+r\sin\theta)}$　　n. $\sqrt{2g(l+r(1-\cos\theta))}$　　o. $\sqrt{2g(l+r(1-\sin\theta))}$

問 2　点Sで小球がレールから飛び出た後，最高点に達したときの(1)点Rを通る水平面からの高さと(2)小球の速さを求め，それぞれの選択肢の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

(1)の選択肢：

a. $l + r$
b. $l - r(1 - \cos\theta)$
c. $l - r(1 - \sin\theta)$
d. $l\sin^2\theta - r\cos^3\theta$
e. $l\cos^2\theta - r\sin^3\theta$
f. $l\sin^2\theta + r(1 - \cos^3\theta)$
g. $l\cos^2\theta + r(1 - \sin^3\theta)$
h. $l\sin^2\theta + r\cos\theta\sin^2\theta$
i. $l\cos^2\theta + r\sin\theta\cos^2\theta$
j. $l\cos^2\theta - r\cos\theta\sin^2\theta$
k. $l\sin^2\theta - r\sin\theta\cos^2\theta$

(2)の選択肢：

a. 0
b. $\sin\theta\sqrt{\dfrac{g(l + r)}{2}}$
c. $\sin\theta\sqrt{\dfrac{g(l + r\cos\theta)}{2}}$
d. $\sin\theta\sqrt{\dfrac{g(l + r\sin\theta)}{2}}$
e. $\cos\theta\sqrt{\dfrac{g(l + r(1 - \cos\theta))}{2}}$
f. $\sin\theta\sqrt{\dfrac{g(l + r(1 - \sin\theta))}{2}}$
g. $\sin\theta\sqrt{g(l + r)}$
h. $\cos\theta\sqrt{g(l + r\cos\theta)}$
i. $\sin\theta\sqrt{g(l + r\sin\theta)}$
j. $\cos\theta\sqrt{g(l + r(1 - \cos\theta))}$
k. $\sin\theta\sqrt{g(l + r(1 - \sin\theta))}$
l. $\cos\theta\sqrt{2g(l + r)}$
m. $\cos\theta\sqrt{2g(l + r\cos\theta)}$
n. $\sin\theta\sqrt{2g(l + r\sin\theta)}$
o. $\cos\theta\sqrt{2g(l + r(1 - \cos\theta))}$
p. $\sin\theta\sqrt{2g(l + r(1 - \sin\theta))}$

問 3　$\theta = 60^\circ$とする。点Sで小球がレールから飛び出た後，点Rと同じ高さに達したときの点Rからの水平距離を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\sqrt{3}\,l$
b. $\sqrt{3}\left(l + \dfrac{1}{2}r\right)$
c. $\sqrt{3}(l + r)$
d. $\sqrt{3}(l + 2r)$
e. $\dfrac{\sqrt{3}}{4}(2l + r) + \dfrac{\sqrt{(2l + r)(6l + 7r)}}{4}$
f. $\dfrac{\sqrt{3}}{4}(2l + r) + \dfrac{\sqrt{(2l + 3r)(6l + 7r)}}{4}$
g. $\dfrac{\sqrt{3}}{4}(2l + 3r) + \dfrac{\sqrt{(2l + r)(6l + 7r)}}{4}$
h. $\dfrac{\sqrt{3}}{4}(2l + 3r) + \dfrac{\sqrt{(2l + 3r)(6l + 7r)}}{4}$
i. $\dfrac{\sqrt{3}\,l + 3r}{4} + \dfrac{\sqrt{3}}{4}\sqrt{(2l + \sqrt{3}\,r)(2l + 4r - \sqrt{3}\,r)}$
j. $\dfrac{\sqrt{3}\,l + 5r}{4} + \dfrac{\sqrt{3}}{4}\sqrt{(2l + \sqrt{3}\,r)(2l + 4r - \sqrt{3}\,r)}$

点Rに質量 m_2 の小球が置いてある。質量 m_1 の小球を点Pの位置から静かにはなすと鉛直下方に落下し，レールに沿って運動を続け，点Rで2つの小球が衝突した後，質量 m_2 の小球は点Sに向かって運動した。$\theta = 60^\circ$ とし，小球間の反発係数を e とするとき，以下の**問4**と**問5**に答えなさい。

問4　$e = 1$ のとき，質量 m_2 の小球が点Sでレールから飛び出るための質量 m_2 の条件を求め，以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。

a．$m_2 < 2\sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}}\,m_1$　　b．$m_2 < 2\sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}}\,m_1$

c．$m_2 < \sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}}\,m_1$　　d．$m_2 < \sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}}\,m_1$

e．$m_2 < \left(2\sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}} - 1\right)m_1$　　f．$m_2 < \left(2\sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}} - 1\right)m_1$

g．$m_2 < \dfrac{2l + 3r - 2\sqrt{2(l+r)r}}{2l - r}\,m_1$　　h．$m_2 < \dfrac{2l + 3r + 2\sqrt{2(l+r)r}}{2l - r}\,m_1$

i．$m_2 > 2\sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}}\,m_1$　　j．$m_2 > 2\sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}}\,m_1$

k．$m_2 > \sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}}\,m_1$　　l．$m_2 > \sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}}\,m_1$

m．$m_2 > \left(2\sqrt{\dfrac{2(l+r)}{r}} - 1\right)m_1$　　n．$m_2 > \left(2\sqrt{\dfrac{r}{2(l+r)}} - 1\right)m_1$

o．$m_2 > \dfrac{2l + 3r - 2\sqrt{2(l+r)r}}{2l - r}\,m_1$　　p．$m_2 > \dfrac{2l + 3r + 2\sqrt{2(l+r)r}}{2l - r}\,m_1$

問5　$0 < e < 1$ かつ $m_1 = m_2$ のとき，二つの小球ともに点Sでレールから飛び出るための l の条件を求め，以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。

a．$l > \dfrac{e}{1-e}r$　　b．$l > \dfrac{1-e}{e}r$　　c．$l > \dfrac{2e}{1-e}r$　　d．$l > \dfrac{1-e}{2e}r$

e．$l > \sqrt{\dfrac{e}{1-e}}\,r$　　f．$l > \sqrt{\dfrac{1-e}{e}}\,r$　　g．$l > \sqrt{\dfrac{2e}{1-e}}\,r$　　h．$l > \left(\dfrac{2}{(1-e)^2} - 1\right)r$

i．$l < \dfrac{e}{1-e}r$　　j．$l < \dfrac{1-e}{e}r$　　k．$l < \dfrac{2e}{1-e}r$　　l．$l < \dfrac{1-e}{2e}r$

m．$l < \sqrt{\dfrac{e}{1-e}}\,r$　　n．$l < \sqrt{\dfrac{1-e}{e}}\,r$　　o．$l < \sqrt{\dfrac{2e}{1-e}}\,r$　　p．$l < \left(\dfrac{2}{(1-e)^2} - 1\right)r$

［Ⅱ］

図1のように，断面積S，長さl，厚さdの直方体の金属導体に起電力Vの電池がつながれている。この金属導体内の自由電子の運動について考える。電池がつながれていないとき，自由電子はあらゆる方向に運動しており，自由電子全体としての平均速度は0である。電池をつなぐと静電気力により自由電子は加速されるが，その運動は，主に金属導体の陽イオンの熱振動によってさまたげられる。ここでは図2のように自由電子の速度が時間とともに変化する次のモデルを仮定して考えてみよう。

電池により金属導体中に一様な電場ができ，自由電子はこの電場によって速度0の状態から加速され，陽イオンとの衝突を繰り返しながら進む。自由電子と陽イオンの衝突から次の衝突までの時間はどの自由電子についても一定であり，衝突と衝突の間の時間はTである。また，自由電子は衝突するたびに，それまでに電場から得たエネルギーをすべて失い，速度も0となる。

なお，図1のように電場と平行にx軸をとり，右向きを正とする。

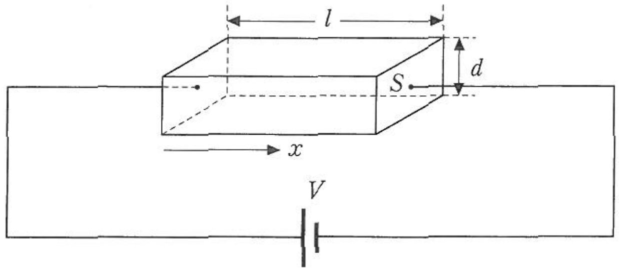


図1

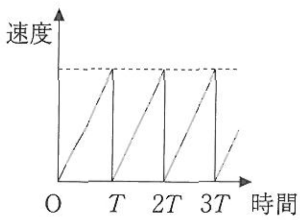


図2

電子の質量をm，電荷を$-e$，単位体積あたりの自由電子の数をnとして，以下の**問1**～**問3**に答えなさい。

問1　電場から自由電子が受ける力について，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$-\dfrac{V}{l}$　　b．$\dfrac{V}{l}$　　c．$-eV$　　d．eV

e．$-\dfrac{eV}{l}$　　f．$\dfrac{eV}{l}$　　g．$-elV$　　h．elV

i．$-eSV$　　j．eSV　　k．$-lSV$　　l．lSV

m．$-\dfrac{eSV}{l}$　　n．$\dfrac{eSV}{l}$　　o．$-elSV$　　p．$elSV$

問2　(1)自由電子の平均移動速度の大きさがいくらになるかを求め，また，(2)自由電子が陽イオンとの衝突で単位時間に失う運動エネルギーが，金属導体全体でいくらになるかを求め，以下の中からそれぞれ正しいものを一つずつ選びなさい。

(1)と(2)共通の選択肢：

a．$\dfrac{eSV}{2ml}$　b．$\dfrac{eSV}{ml}$　c．$\dfrac{eVT}{2ml}$　d．$\dfrac{eVT}{ml}$

e．$\dfrac{eVT}{2m}$　f．$\dfrac{eVT}{m}$　g．$\dfrac{elSV}{2m}$　h．$\dfrac{elSV}{m}$

i．$\dfrac{ne^2SV^2T^2}{8ml}$　j．$\dfrac{ne^2SV^2T^2}{4ml}$　k．$\dfrac{ne^2SV^2T^2}{2ml}$　l．$\dfrac{ne^2SV^2T^2}{ml}$

m．$\dfrac{ne^2SV^2T}{8ml}$　n．$\dfrac{ne^2SV^2T}{4ml}$　o．$\dfrac{ne^2SV^2T}{2ml}$　p．$\dfrac{ne^2SV^2T}{ml}$

問3　金属導体の抵抗率ρについて，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{m}{4ne^2ST}$　b．$\dfrac{m}{2ne^2ST}$　c．$\dfrac{m}{ne^2ST}$　d．$\dfrac{2m}{ne^2ST}$

e．$\dfrac{m}{4ne^2T}$　f．$\dfrac{m}{2ne^2T}$　g．$\dfrac{m}{ne^2T}$　h．$\dfrac{2m}{ne^2T}$

i．$\dfrac{ml}{4ne^2ST}$　j．$\dfrac{ml}{2ne^2ST}$　k．$\dfrac{ml}{ne^2ST}$　l．$\dfrac{2ml}{ne^2ST}$

m．$\dfrac{ml}{4ne^2T}$　n．$\dfrac{ml}{2ne^2T}$　o．$\dfrac{ml}{ne^2T}$　p．$\dfrac{2ml}{ne^2T}$

金属導体が銀であるとする。銀は原子量108，密度$1.1 \times 10^4\,\mathrm{kg/m^3}$，抵抗率$1.6 \times 10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$で，1原子あたり1個の自由電子を持つとする。なお，アボガドロ定数を$6.0 \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$，電子の質量$m = 9.1 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$，電荷$-e = -1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$とする。電流$I = 1.0 \times 10^{-1}\,\mathrm{A}$，金属導体の断面積$S = 2.0 \times 10^{-6}\,\mathrm{m^2}$，長さ$l = 5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$，厚さ$d = 1.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$として，以下の**問4**～**問7**に答えなさい。

問4　銀$1\,\mathrm{m^3}$あたりの自由電子の個数nを求め，以下の中からもっとも近いものを一つ選びなさい。

a．1.1×10^2個　b．1.1×10^4個　c．5.0×10^{17}個
d．6.0×10^{18}個　e．5.0×10^{20}個　f．6.0×10^{21}個
g．6.0×10^{23}個　h．6.0×10^{25}個　i．6.0×10^{28}個

問5　自由電子が1秒間に陽イオンと衝突する平均回数を求め，以下の中からもっとも近いものを一つ選びなさい。

a．1.4×10^3回　b．2.7×10^3回　c．1.1×10^5回　d．2.2×10^5回
e．1.4×10^6回　f．2.7×10^6回　g．1.4×10^8回　h．2.7×10^8回
i．1.4×10^{10}回　j．2.7×10^{10}回　k．1.4×10^{13}回　l．2.7×10^{13}回

問6　自由電子の平均移動速度の大きさを求め，以下の中からもっとも近いものを一つ選びなさい。

a．5.2×10^{-6} m/s　b．1.0×10^{-4} m/s　c．1.6×10^{-4} m/s　d．5.2×10^{-3} m/s
e．1.6×10^{-1} m/s　f．5.2×10^{1} m/s　g．6.3×10^{2} m/s　h．5.2×10^{4} m/s
i．6.3×10^{5} m/s　j．1.0×10^{6} m/s　k．1.6×10^{6} m/s　l．3.0×10^{8} m/s

図3のように，電流が流れている金属導体に磁束密度 $B=3.0\,\mathrm{Wb/m^2}$ の磁場を z 軸の正方向に一様に加えると，導体内の電子はローレンツ力を受けて移動する。じゅうぶん時間が経過したとき，y 軸と平行に起電力 V_y が生ずる。なお，z 軸は金属導体の上面と下面に垂直であり，上向きを正とする。y 軸は x 軸と z 軸の両方に垂直で，金属導体の手前の面から奥の面に向かう方向を正とする。

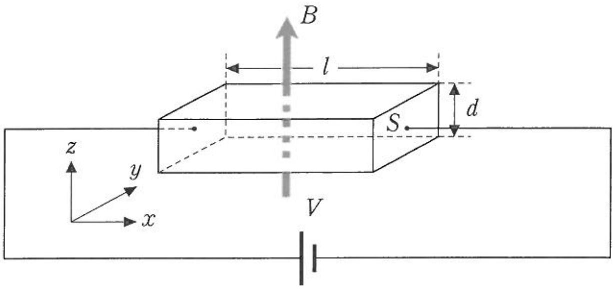


図3

問7　起電力 V_y の大きさはいくらか。また金属導体の手前の面と奥の面ではどちらの面の電位が高いか。以下の中からもっともふさわしい組を一つ選びなさい。

a．1.6×10^{-8} V，手前の面　b．3.1×10^{-8} V，手前の面　c．6.0×10^{-7} V，手前の面
d．9.6×10^{-7} V，手前の面　e．3.1×10^{-5} V，手前の面　f．4.8×10^{-4} V，手前の面
g．9.6×10^{-4} V，手前の面　h．1.6×10^{-1} V，手前の面　i．1.6×10^{-8} V，奥の面
j．3.1×10^{-8} V，奥の面　k．6.0×10^{-7} V，奥の面　l．9.6×10^{-7} V，奥の面
m．3.1×10^{-5} V，奥の面　n．4.8×10^{-4} V，奥の面　o．9.6×10^{-4} V，奥の面
p．1.6×10^{-1} V，奥の面

[Ⅲ]

弦を伝わる波の速さ v は，弦の張力 T と線密度 ρ によって定まり，$v=\sqrt{\dfrac{T}{\rho}}$ で表される。図1のように，A点，B点にある滑車を介して両端に質量 m のおもりをつるした，線密度 ρ_0 の弦がある。AB間の距離を l_0 とし，重力加速度の大きさを g とする。以下の**問1**～**問2**に答えなさい。

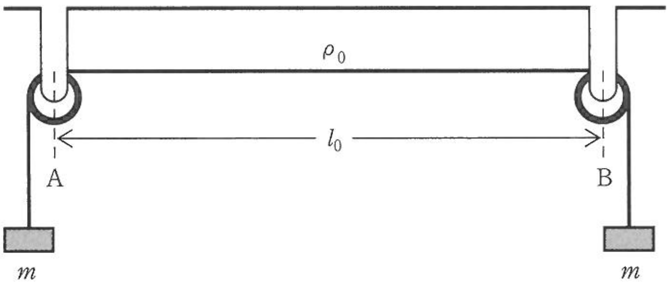


図1

問1　弦を振動させたところ，3個の腹のある定常波が生じた。このとき，弦の振動数について，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{3}{2l_0}\sqrt{\dfrac{mg}{\rho_0}}$　b．$\dfrac{3}{l_0}\sqrt{\dfrac{mg}{2\rho_0}}$　c．$\dfrac{3}{l_0}\sqrt{\dfrac{mg}{\rho_0}}$　d．$\dfrac{3}{l_0}\sqrt{\dfrac{2mg}{\rho_0}}$

e．$\dfrac{2l_0}{3}\sqrt{\dfrac{mg}{\rho_0}}$　f．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{2mg}{\rho_0}}$　g．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{mg}{\rho_0}}$　h．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{2mg}{\rho_0}}$

i．$\dfrac{2l_0}{3}\sqrt{\dfrac{\rho_0}{mg}}$　j．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{2\rho_0}{mg}}$　k．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{\rho_0}{mg}}$　l．$\dfrac{l_0}{3}\sqrt{\dfrac{\rho_0}{2mg}}$

問2　両端のおもりの質量を m' に変えて，弦を振動させたところ，腹の数が1個になったが，振動数は変化しなかった。ただし，最初のおもりの質量 m を1.0 kgとする。

（1）　おもりの質量 m' を求め，もっとも近いものを一つ選びなさい。

a．0.5 kg　b．1.0 kg　c．1.5 kg　d．3.0 kg
e．4.0 kg　f．4.5 kg　g．5.0 kg　h．6.0 kg
i．8.0 kg　j．9.0 kg　k．10.0 kg　l．12.0 kg
m．15.0 kg　n．16.0 kg

（2）　振動している弦の近くで，おんさを鳴らしたところ，1秒間に5回のうなりが生じた。おもりを変えずに弦の長さ l_0 を1 cm縮めても，うなりの数は5回であった。弦の長さ l_0 を50 cmとするとき，このおんさの振動数を求め，以下の中からもっとも近いものを一つ選びなさい。

a．50 Hz　b．205 Hz　c．255 Hz　d．305 Hz
e．375 Hz　f．425 Hz　g．495 Hz　h．505 Hz
i．535 Hz　j．595 Hz　k．625 Hz　l．675 Hz
m．785 Hz　n．1005 Hz

次に，図2のように，ρ_1 と ρ_2 の異なる線密度の弦をつなぎ，A点，B点にある滑車を介して，両端に質量 m のおもりをつるした。弦のつなぎ目をPとし，APの長さを l_1，BPの長さを l_2 とする。$l_1 : l_2 = 2 : 1$ となるように調整し，弦を振動させたところ，P点が節となり，AP間とBP間に定常波が生じた。このとき，以下の**問3**に答えなさい。

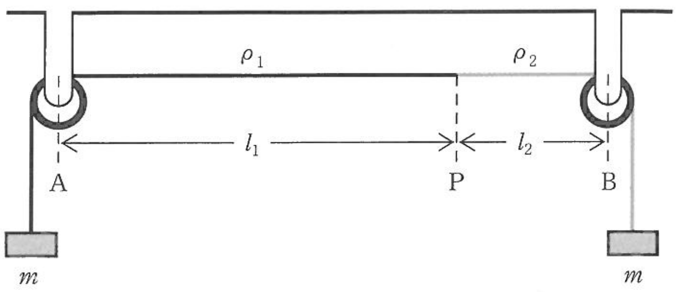


図2

問3　AP間に1個，BP間に2個の腹が生じた時の ρ_1 と ρ_2 の関係を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\rho_1 : \rho_2 = 20 : 1$　b．$\rho_1 : \rho_2 = 16 : 1$　c．$\rho_1 : \rho_2 = 9 : 1$　d．$\rho_1 : \rho_2 = 8 : 1$
e．$\rho_1 : \rho_2 = 4 : 1$　f．$\rho_1 : \rho_2 = 3 : 1$　g．$\rho_1 : \rho_2 = 2 : 1$　h．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 1$
i．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 2$　j．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 3$　k．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 4$　l．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 8$
m．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 9$　n．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 16$　o．$\rho_1 : \rho_2 = 1 : 20$

〔以　下　余　白〕