早稲田大学 2024年度
一般選抜 人間科学部

物　　理

（問　題）

2024年度

〈R06185119〉

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２～12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) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
   (3) 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. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
7. 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。
8. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
9. 試験終了後、問題冊子を持ち帰ること。

［I］

半径r，長さh，密度ρの太さが均一でまっすぐな円柱の棒PQがある。棒の一端P点に質量mの小さなおもりAを付けた長さlの軽い糸を結びつけ，密度ρ_w（$>\rho$）の水を張った深さd（$l < d < l + h$）の水槽に浮かべたところ，図1のように，棒PQは水面に対してθ $\left(0 \leqq \theta \leqq \dfrac{\pi}{2} \right)$の角をなし，糸はたるむことなく，おもりAは底に沈んだ。ただし，hはrに対して十分長く，おもりAは点Pの真下にあり，重力加速度の大きさをgとする。また，水の流れや抵抗，表面張力，糸の質量と体積，おもりAの体積は小さく無視できるものとする。以下の問1と問2に答えなさい。

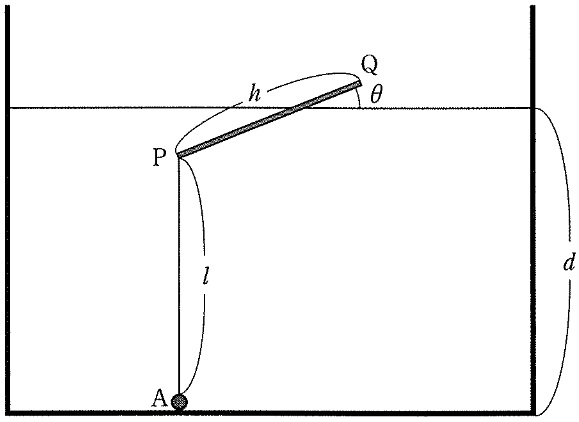


図1

問1　点Pのまわりの力のモーメントのつり合いを考えることにより$\sin\theta$をρ，ρ_w，d，h，lの中から必要なものを用いて求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{d-l}{h}$　b．$\dfrac{\rho(d-l)}{\rho_w h}$　c．$\dfrac{\rho_w(d-l)}{\rho h}$　d．$\left(1-\dfrac{\rho}{\rho_w}\right)\dfrac{d-l}{h}$

e．$\left(\dfrac{\rho_w}{\rho}-1\right)\dfrac{d-l}{h}$　f．$\sqrt{\dfrac{\rho}{\rho_w}}\dfrac{d-l}{h}$　g．$\sqrt{\dfrac{\rho_w}{\rho}}\dfrac{d-l}{h}$　h．$\sqrt{1-\dfrac{\rho}{\rho_w}}\dfrac{d-l}{h}$

i．$\sqrt{\dfrac{\rho_w}{\rho}-1}\dfrac{d-l}{h}$　j．$\sqrt{\dfrac{\rho(d-l)}{\rho_w h}}$　k．$\sqrt{\dfrac{\rho_w(d-l)}{\rho h}}$　l．$\sqrt{\left(1-\dfrac{\rho}{\rho_w}\right)\dfrac{d-l}{h}}$

m．$\sqrt{\left(\dfrac{\rho_w}{\rho}-1\right)\dfrac{d-l}{h}}$

問2　糸の張力の大きさをρ，ρ_w，h，r，gの中から必要なものを用いて求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$hr^2\pi g(\rho_w-\rho)$　b．$hr^2\pi g(\rho_w-\sqrt{\rho\rho_w})$　c．$hr^2\pi g(\sqrt{\rho\rho_w}-\rho)$

d．$hr^2\pi g\sqrt{\rho(\rho_w-\rho)}$　e．$hr^2\pi g\sqrt{\rho_w(\rho_w-\rho)}$　f．$\dfrac{hr^2\pi g}{\rho_w-\rho}$

g．$\dfrac{hr^2\pi g}{\rho_w-\sqrt{\rho\rho_w}}$　h．$\dfrac{hr^2\pi g}{\sqrt{\rho\rho_w}-\rho}$　i．$\dfrac{hr^2\pi g}{\sqrt{\rho(\rho_w-\rho)}}$

j．$\dfrac{hr^2\pi g}{\sqrt{\rho_w(\rho_w-\rho)}}$

糸の長さをlからゆっくり短くしていくと，糸の長さがl'（$> d - h$）になったときに，棒PQは図2のように鉛直になった。ただし，糸はたるむことなく，おもりAは点Pの真下で底に沈んでいた。以下の問3に答えなさい。

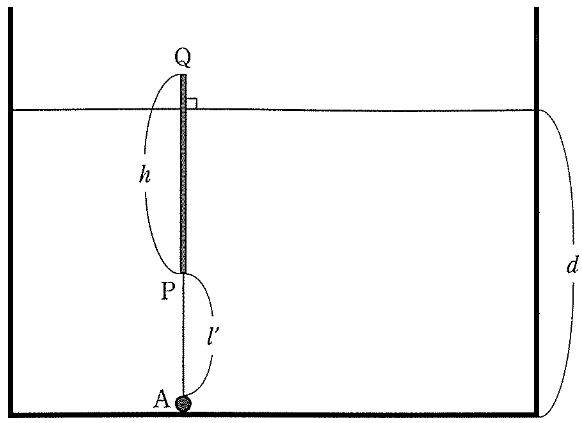


図2

問3　l'をρ，ρ_w，d，hの中から必要なものを用いて求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$d - h$　　b．$d - \dfrac{\rho}{\rho_w}h$　　c．$d - \left(1 - \dfrac{\rho}{\rho_w}\right)h$　　d．$d - \left(\dfrac{\rho_w}{\rho} - 1\right)h$

e．$d - \sqrt{\dfrac{\rho}{\rho_w}}h$　　f．$d - \sqrt{1 - \dfrac{\rho}{\rho_w}}h$　　g．$d - \sqrt{\dfrac{\rho_w}{\rho} - 1}\,h$　　h．$d - \left(1 - \sqrt{\dfrac{\rho}{\rho_w}}\right)h$

i．$d - \left(\sqrt{\dfrac{\rho_w}{\rho}} - 1\right)h$

問3の状態から，再び糸をゆっくり短くしていったところ，棒PQはすべて水中に入った。以下の問4に答えなさい。

問4　このとき，おもりAが底に沈んだ状態であるためのmの条件として，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．$m \geqq \rho h r^2 \pi$　　b．$m \geqq \rho_w h r^2 \pi$　　c．$m \geqq \sqrt{\rho\rho_w}\,h r^2 \pi$

d．$m \geqq (\rho + \rho_w) h r^2 \pi$　　e．$m \geqq (\rho + \sqrt{\rho\rho_w}) h r^2 \pi$　　f．$m \geqq (\sqrt{\rho\rho_w} + \rho_w) h r^2 \pi$

g．$m \geqq (\rho_w - \rho) h r^2 \pi$　　h．$m \geqq (\sqrt{\rho\rho_w} - \rho) h r^2 \pi$　　i．$m \geqq (\rho_w - \sqrt{\rho\rho_w}) h r^2 \pi$

次に，糸の代わりにばね定数k，自然長l_0（$< d$）のばねを取り付け静止させたところ，図3のように棒PQは鉛直となった。このとき，おもりAは点Pの真下で底に沈んでいた。ただし，点Pは水面より下に，点Qは水面より上にあり，棒PQの水中にある部分の長さをxとする。水の流れや抵抗，表面張力，ばねの質量と体積，おもりAの体積は小さく無視できるものとする。以下の問5に答えなさい。

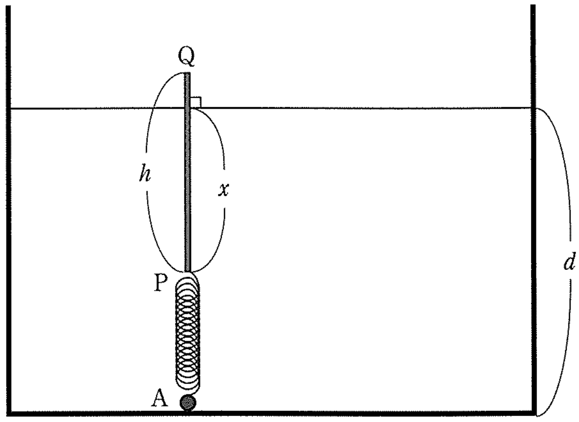


図3

問5　xをρ，ρ_w，d，h，l_0，r，k，gの中から必要なものを用いて求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho hr^2\pi g}{k+\rho r^2\pi g}$　b．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho hr^2\pi g}{k+\rho_w r^2\pi g}$　c．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho_w hr^2\pi g}{k+\rho r^2\pi g}$

d．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho_w hr^2\pi g}{k+\rho_w r^2\pi g}$　e．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho hr^2\pi g}{k-\rho r^2\pi g}$　f．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho hr^2\pi g}{k-\rho_w r^2\pi g}$

g．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho_w hr^2\pi g}{k-\rho r^2\pi g}$　h．$\dfrac{k(d-l_0)+\rho_w hr^2\pi g}{k-\rho_w r^2\pi g}$　i．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho hr^2\pi g}{k+\rho r^2\pi g}$

j．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho hr^2\pi g}{k+\rho_w r^2\pi g}$　k．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho_w hr^2\pi g}{k+\rho r^2\pi g}$　l．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho_w hr^2\pi g}{k+\rho_w r^2\pi g}$

m．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho hr^2\pi g}{k-\rho r^2\pi g}$　n．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho hr^2\pi g}{k-\rho_w r^2\pi g}$　o．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho_w hr^2\pi g}{k-\rho r^2\pi g}$

p．$\dfrac{k(d-l_0)-\rho_w hr^2\pi g}{k-\rho_w r^2\pi g}$

問5の状態から棒PQを鉛直下向きにわずかに押したところ，おもりAは常に底に沈んだ状態で棒PQは鉛直方向に単振動をした。ただし，点Pは常に水面より下に，点Qは常に水面より上にあるものとする。以下の問6に答えなさい。

問6　単振動の周期をρ，ρ_w，h，r，k，gの中から必要なものを用いて求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h r^2 \pi}{k}}$　b．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h r^2 \pi}{k}}$　c．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h}{\rho_w g}}$　d．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h}{\rho g}}$

e．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h r^2 \pi}{k + \rho r^2 \pi g}}$　f．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h r^2 \pi}{k + \rho_w r^2 \pi g}}$　g．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h r^2 \pi}{k + \rho r^2 \pi g}}$　h．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h r^2 \pi}{k + \rho_w r^2 \pi g}}$

i．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h r^2 \pi}{k - \rho r^2 \pi g}}$　j．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho h r^2 \pi}{k - \rho_w r^2 \pi g}}$　k．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h r^2 \pi}{k - \rho r^2 \pi g}}$　l．$2\pi\sqrt{\dfrac{\rho_w h r^2 \pi}{k - \rho_w r^2 \pi g}}$

［Ⅱ］

鉛直に立てられた半径 R の導体製のパイプの中に，円柱形の磁石を静かに落とす。磁石のＮ極が鉛直上方を向き，パイプと磁石の中心軸が一致したまま磁石は落下した。摩擦や空気抵抗は無視し，重力加速度の大きさを g とする。

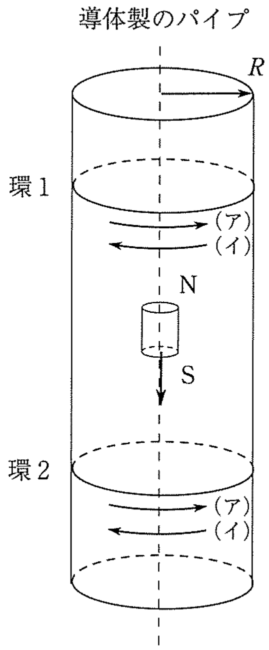


図１

パイプを水平に薄く切った導体環を考える。図１のように，環１は落下中の磁石の上方にあり，環２は磁石の下方にある。このとき，以下の問１に答えなさい。

問１　(1) 環に生じる誘導起電力の向き，(2) 環が磁石に及ぼす力の向き，を環１および環２について求め，以下の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．環１：(ア)，環２：(ア)　　ｂ．環１：(ア)，環２：(イ)

ｃ．環１：(イ)，環２：(ア)　　ｄ．環１：(イ)，環２：(イ)

(2) の選択肢：

ａ．環１：鉛直上向き，環２：鉛直上向き　　ｂ．環１：鉛直上向き，環２：鉛直下向き

ｃ．環１：鉛直下向き，環２：鉛直上向き　　ｄ．環１：鉛直下向き，環２：鉛直下向き

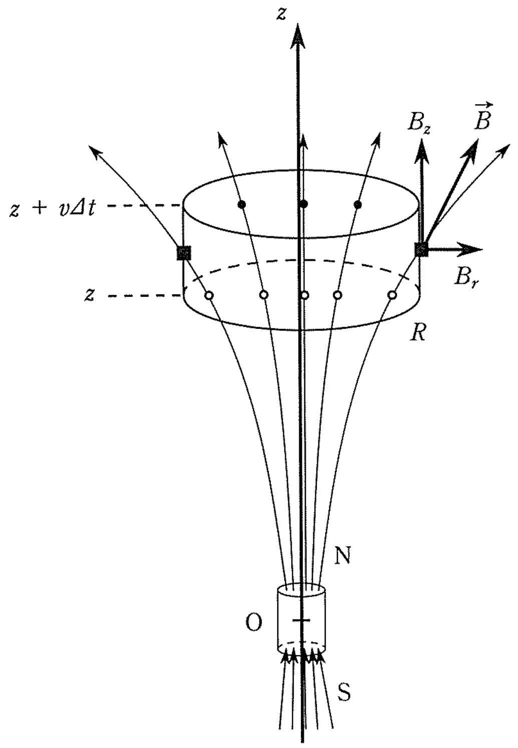


図２

鉛直上向きに z 軸をとる。磁石が速さ v で原点Oを通過する瞬間に位置 z（＞0）にある導体環に着目する（図２）。なお，図２には磁石がつくる磁束線が描かれている。

微小な時間 $\varDelta t$ の間に磁石は $v\varDelta t$ 落下するが，その間の環を貫く磁束の変化 $\varDelta\Phi$ は，位置 z の環を貫く磁束（図２の○の数）を $\Phi(z)$，位置 $z + v\varDelta t$ の環を貫く磁束（図２の●の数）を $\Phi(z + v\varDelta t)$ として，$\varDelta\Phi = \Phi(z + v\varDelta t) - \Phi(z)$ と表せる。次に，位置 z の半径 R の円を下面，および位置 $z + v\varDelta t$ の半径 R の円を上面とする高さ $v\varDelta t$ の円柱を考える。下面からこの円柱に入る磁束線は円柱の上面または側面を貫いて円柱の外に出るので，$\varDelta\Phi$ の大きさ $|\varDelta\Phi|$ は，円柱の側面を貫く磁束（図２の■の数）に一致する。

この円柱側面上の点に磁石がつくる磁束密度ベクトルを $\vec{B}$，その z 方向成分を B_z，z 軸を中心とする半径 r 方向成分を B_r とすると，$\varDelta t$ が十分わずかな時間であれば，円柱側面上でこれらの値を一定とみなすことができる。以上をもとにして着目する導体環について，以下の問２に答えなさい。

問２　$|\varDelta\Phi|$ を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$2\pi Rv\varDelta tB_z$　　b．$\pi R^2 v\varDelta tB_z$　　c．$2\pi Rv\varDelta tB_z^2$　　d．$\pi R^2 v\varDelta tB_z^2$

e．$2\pi Rv\varDelta tB_r$　　f．$\pi R^2 v\varDelta tB_r$　　g．$2\pi Rv\varDelta tB_r^2$　　h．$\pi R^2 v\varDelta tB_r^2$

i．$2\pi Rv\varDelta t|\vec{B}|$　　j．$\pi R^2 v\varDelta t|\vec{B}|$　　k．$2\pi Rv\varDelta t|\vec{B}|^2$　　l．$\pi R^2 v\varDelta t|\vec{B}|^2$

m．$2\pi Rv\varDelta tB_zB_r$　　n．$\pi R^2 v\varDelta tB_zB_r$

問2の状態で，パイプの半径方向の厚さを d（$\ll R$），抵抗率を ρ とし，微小な等間隔 Δz の水平面でパイプを無数に分割してできた導体環の一つについて，以下の問3と問4に答えなさい。

問3　(1) 環の抵抗，(2) 環に流れる電流，をそれぞれ求め，以下の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．$2\pi R\rho d\Delta z$　b．$\dfrac{\rho d\Delta z}{2\pi R}$　c．$\dfrac{2\pi Rd\Delta z}{\rho}$　d．$\dfrac{2\pi R\rho\Delta z}{d}$

e．$\dfrac{2\pi R\rho d}{\Delta z}$　f．$\dfrac{d\Delta z}{2\pi R\rho}$　g．$\dfrac{\rho\Delta z}{2\pi Rd}$　h．$\dfrac{\rho d}{2\pi R\Delta z}$

i．$\dfrac{2\pi R\Delta z}{\rho d}$　j．$\dfrac{2\pi Rd}{\rho\Delta z}$　k．$\dfrac{2\pi R\rho}{d\Delta z}$　l．$\dfrac{2\pi R}{\rho d\Delta z}$

m．$\dfrac{\rho}{2\pi Rd\Delta z}$　n．$\dfrac{d}{2\pi R\rho\Delta z}$　o．$\dfrac{\Delta z}{2\pi R\rho d}$　p．$\dfrac{1}{2\pi R\rho d\Delta z}$

(2) の選択肢：

a．$\rho dvB_z\Delta z$　b．$\dfrac{dvB_z\Delta z}{\rho}$　c．$\dfrac{\rho vB_z\Delta z}{d}$　d．$\dfrac{\rho dB_z\Delta z}{v}$

e．$\dfrac{vB_z\Delta z}{\rho d}$　f．$\dfrac{dB_z\Delta z}{\rho v}$　g．$\dfrac{\rho B_z\Delta z}{dv}$　h．$\dfrac{B_z\Delta z}{\rho dv}$

i．$\rho dvB_r\Delta z$　j．$\dfrac{dvB_r\Delta z}{\rho}$　k．$\dfrac{\rho vB_r\Delta z}{d}$　l．$\dfrac{\rho vB_r\Delta z}{v}$

m．$\dfrac{vB_r\Delta z}{\rho d}$　n．$\dfrac{dB_r\Delta z}{\rho v}$　o．$\dfrac{\rho B_r\Delta z}{dv}$　p．$\dfrac{B_r\Delta z}{\rho dv}$

問4　環が磁石から受ける力の大きさを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$2\pi R\rho dvB_z^2\Delta z$　b．$\dfrac{\rho dvB_z^2\Delta z}{2\pi R}$　c．$\dfrac{2\pi RdvB_z^2\Delta z}{\rho}$　d．$\dfrac{2\pi R\rho vB_z^2\Delta z}{d}$

e．$\dfrac{dvB_z^2\Delta z}{2\pi R\rho}$　f．$\dfrac{\rho vB_z^2\Delta z}{2\pi Rd}$　g．$\dfrac{2\pi RvB_z^2\Delta z}{\rho d}$　h．$\dfrac{vB_z^2\Delta z}{2\pi R\rho d}$

i．$2\pi R\rho dvB_r^2\Delta z$　j．$\dfrac{\rho dvB_r^2\Delta z}{2\pi R}$　k．$\dfrac{2\pi RdvB_r^2\Delta z}{\rho}$　l．$\dfrac{2\pi R\rho vB_r^2\Delta z}{d}$

m．$\dfrac{dvB_r^2\Delta z}{2\pi R\rho}$　n．$\dfrac{\rho vB_r^2\Delta z}{2\pi Rd}$　o．$\dfrac{2\pi RvB_r^2\Delta z}{\rho d}$　p．$\dfrac{vB_r^2\Delta z}{2\pi R\rho d}$

磁石を落下させるとすぐに磁石は等速 v になって落下することが観測された。磁石の質量を m，パイプの質量を M として，以下の問5に答えなさい。

問5　パイプ全体について，(1) 各環が磁石から受ける力を足し合わせたパイプ全体が磁石から受ける力の大きさ，(2) 各環の消費電力を足し合わせたパイプ全体に発生する単位時間当たりのジュール熱，をそれぞれ求め，以下の選択肢の中から正しいものをそれぞれ一つずつ選びなさい。

(1)，(2) の選択肢：

a．0	b．mg	c．Mg	d．$(M+m)g$
e．$(M-m)g$	f．$\dfrac{Mmg}{M+m}$	g．$\dfrac{Mmg}{M-m}$	h．$\sqrt{Mm}\,g$
i．mgv	j．Mgv	k．$(M+m)gv$	l．$(M-m)gv$
m．$\dfrac{Mmgv}{M+m}$	n．$\dfrac{Mmgv}{M-m}$	o．$\sqrt{Mm}\,gv$	

アルミ製のパイプ中に磁石1を落下させて，等速落下中の速さを測定した。次に，アルミ製パイプと半径や質量は同じだが3分の1の厚さを持つ銅製のパイプ，および，磁石1と同じ磁場を作るが2倍の質量を持つ磁石2を用意した。そして，銅製のパイプ中に磁石2を落下させて，等速落下中の速さを測定した。ただし，どちらのパイプも半径に比べて厚さは十分小さいものとし，アルミの抵抗率を $2.7\times10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$，銅の抵抗率を $1.7\times10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}$ として，以下の問6に答えなさい。

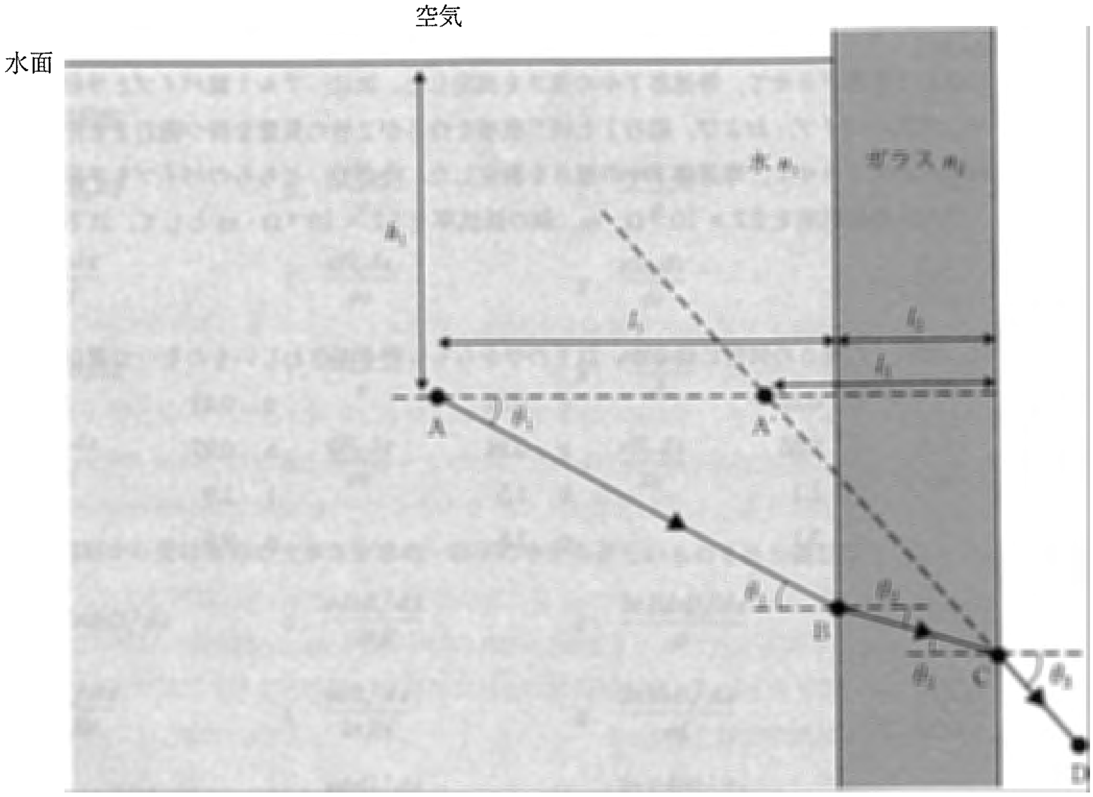
問6　磁石2の速さは，磁石1の速さの何倍になるか。以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。

a．0.10	b．0.26	c．0.32	d．0.42
e．0.51	f．0.65	g．0.94	h．0.97
i．1.0	j．1.1	k．1.5	l．1.9
m．2.4	n．3.1	o．3.8	p．9.5

［Ⅲ］

水族館に，絶対屈折率 n_1 の水が入った絶対屈折率 n_2 のガラスでできた水槽がある。水槽の外の空気の絶対屈折率を1とし，$1 < n_1 < n_2$ とする。また，水中の点Aに，大きさを無視できる小魚が静止しているものとする（図）。

点Dより点Aの小魚の方を眺めると，小魚はガラスと水の境界面の垂線と半直線DCとの交点A′の方向に見えた。点Aから水とガラスの境界面までの距離を l_1，ガラスの厚さを l_2，空気とガラスの境界面から点A′までの距離を l_3，水面から点Aまでの深さを h_1 とする。また，点Aからの光は，水とガラスの境界面に点Bにおいて角度 $\theta_1 \left(< \dfrac{\pi}{2} \right)$ で入射し，屈折角 θ_2 で屈折してガラス中を進んだ。さらに光は，ガラスと空気の境界面に点Cにおいて角度 θ_2 で入射し，屈折角 $\theta_3 \left(< \dfrac{\pi}{2} \right)$ で屈折して空気中を点Dまで進んだ。このとき，以下の問1と問2に答えなさい。



図

問1　n_1，n_2，θ_1，θ_2，θ_3 の関係式を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = \sin\theta_3$

b．$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_1 n_2 \sin\theta_3$

c．$n_2 \sin\theta_1 = n_1 \sin\theta_2 = \sin\theta_3$

d．$n_2 \sin\theta_1 = n_1 \sin\theta_2 = n_1 n_2 \sin\theta_3$

e．$n_1 \cos\theta_1 = n_2 \cos\theta_2 = \cos\theta_3$

f．$n_1 \cos\theta_1 = n_2 \cos\theta_2 = n_1 n_2 \cos\theta_3$

g．$n_2 \cos\theta_1 = n_1 \cos\theta_2 = \cos\theta_3$

h．$n_2 \cos\theta_1 = n_1 \cos\theta_2 = n_1 n_2 \cos\theta_3$

i．$n_1 \tan\theta_1 = n_2 \tan\theta_2 = \tan\theta_3$

j．$n_1 \tan\theta_1 = n_2 \tan\theta_2 = n_1 n_2 \tan\theta_3$

k．$n_2 \tan\theta_1 = n_1 \tan\theta_2 = \tan\theta_3$

l．$n_2 \tan\theta_1 = n_1 \tan\theta_2 = n_1 n_2 \tan\theta_3$

問 2　l_3 を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}l_1+\dfrac{\sin\theta_2}{\sin\theta_3}l_2$　b．$\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_3}l_1+\dfrac{\cos\theta_2}{\cos\theta_3}l_2$　c．$\dfrac{\tan\theta_1}{\tan\theta_3}l_1+\dfrac{\tan\theta_2}{\tan\theta_3}l_2$

d．$\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}l_1+\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_2}l_2$　e．$\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}l_1+\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_2}l_2$　f．$\dfrac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}l_1+\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_2}l_2$

g．$\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1}l_1+\dfrac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}l_2$　h．$\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_1}l_1+\dfrac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}l_2$　i．$\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_1}l_1+\dfrac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}l_2$

j．$\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1}l_1+\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_2}l_2$　k．$\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_1}l_1+\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_2}l_2$　l．$\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_1}l_1+\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_2}l_2$

m．$\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_2}l_1+\dfrac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1}l_2$　n．$\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_2}l_1+\dfrac{\cos\theta_3}{\cos\theta_1}l_2$　o．$\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_2}l_1+\dfrac{\tan\theta_3}{\tan\theta_1}l_2$

水槽の外側より小魚をほぼ真横（$\theta_3 \ll 1$）から眺めた。ただし，θ が十分に小さいとき，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta \fallingdotseq \theta$ という近似が適用できるものとする。以下の問 3 に答えなさい。

問 3　このときの l_3 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．$n_1l_1+n_2l_2$　b．$n_2l_1+n_1l_2$　c．$\dfrac{1}{n_1}l_1+\dfrac{1}{n_2}l_2$　d．$\dfrac{1}{n_2}l_1+\dfrac{1}{n_1}l_2$

e．$\dfrac{n_2}{n_1}l_1+\dfrac{n_1}{n_2}l_2$　f．$\dfrac{n_1}{n_2}l_1+\dfrac{n_2}{n_1}l_2$　g．$\dfrac{n_2}{n_1}(l_1+l_2)$　h．$\dfrac{n_1}{n_2}(l_1+l_2)$

i．$n_1l_1+\dfrac{1}{n_2}l_2$　j．$n_2l_1+\dfrac{1}{n_1}l_2$　k．$\dfrac{1}{n_1}l_1+n_2l_2$　l．$\dfrac{1}{n_2}l_1+n_1l_2$

m．$l_1+\dfrac{n_1}{n_2}l_2$　n．$\dfrac{n_1}{n_2}l_1+l_2$　o．l_1+l_2

点Aから水面を見たところ，水面上の円の内側に，水面より上の全ての景色がおさまって見えた。その円の中心は点Aを通る鉛直線と水面との交点であり，半径は r_1（$< l_1$）であった。以下の問4に答えなさい。

問4　このときの r_1 を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{h_1}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$　b．$\dfrac{l_1 + h_1}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$　c．$\dfrac{n_1 h_1}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$

d．$\dfrac{h_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}$　e．$\dfrac{l_1 + h_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}$　f．$\dfrac{n_1 h_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}$

g．$\dfrac{h_1}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$　h．$\dfrac{l_1 + h_1}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$　i．$\dfrac{n_1 h_1}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$

j．$\dfrac{h_1}{\sqrt{n_1^2 + 1}}$　k．$\dfrac{l_1 + h_1}{\sqrt{n_1^2 + 1}}$　l．$\dfrac{n_1 h_1}{\sqrt{n_1^2 + 1}}$

m．$\dfrac{h_1}{\sqrt{n_2^2 + 1}}$　n．$\dfrac{l_1 + h_1}{\sqrt{n_2^2 + 1}}$　o．$\dfrac{n_1 h_1}{\sqrt{n_2^2 + 1}}$

点Aからガラス面を見たところ，水とガラスの境界面上の円の内側に，ガラスの外側の全ての景色がおさまって見えた。その円の中心は，点Aを通るガラス面の垂線と，水とガラスの境界面との交点であり，半径は r_2（$< h_1$）であった。以下の問5に答えなさい。

問5　このときの r_2 を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a．$\dfrac{l_1}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$　b．$\dfrac{l_2}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$　c．$\dfrac{l_1 + l_2}{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}$

d．$\dfrac{l_1}{\sqrt{n_1^2 + 1}}$　e．$\dfrac{l_2}{\sqrt{n_2^2 + 1}}$　f．$\dfrac{l_1}{\sqrt{n_1^2 + 1}} + \dfrac{l_2}{\sqrt{n_2^2 + 1}}$

g．$\dfrac{l_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}$　h．$\dfrac{l_2}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$　i．$\dfrac{l_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}} + \dfrac{l_2}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$

j．$\dfrac{n_1 l_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}}$　k．$\dfrac{n_2 l_2}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$　l．$\dfrac{n_1 l_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}} + \dfrac{n_2 l_2}{\sqrt{n_2^2 - 1}}$

〔以　下　余　白〕