(2011年度)

物 理 問 題 (90分)

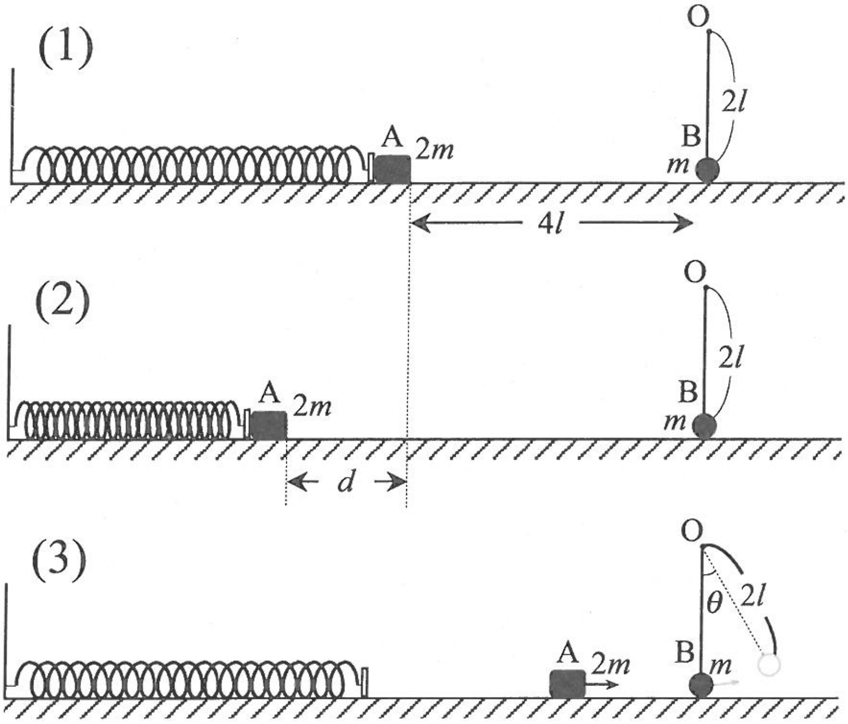
(この問題冊子は15ページ，4問である。)

受験についての注意

1. 監督の指示があるまで，問題冊子を開いてはならない。
2. 携帯電話・ＰＨＳの電源は切ること。
3. 試験開始前に，監督から指示があったら，解答用紙の右上の番号が自分の受験番号かどうかを確認し，氏名を記入すること。次に，解答用紙の右側のミシン目にそって，きれいに折り曲げてから，受験番号と氏名が書かれた切片を切り離し，机上に置くこと。
4. 監督から試験開始の合図があったら，この問題冊子が，上に記したページ数どおりそろっているかどうか確かめること。
5. **解答は解答用紙の各問の選択肢の中から正解と思うものを選んで，そのマーク欄をぬりつぶすこと。**その他の部分には何も書いてはならない。
6. 筆記具は，**ＨかＦかＨＢの黒鉛筆またはシャープペンシル**に限る。万年筆・ボールペンなどを使用してはならない。時計に組み込まれたアラーム機能，計算機能，辞書機能などを使用してはならない。
7. マークをするとき，枠からはみ出したり，枠のなかに白い部分を残したり，文字や番号，枠などに○や×をつけたりしてはならない。
8. 訂正する場合は，消しゴムでていねいに消すこと。**消しくずはきれいに取り除くこと。**
9. 解答用紙を折り曲げたり，破ったりしてはならない。採点が不可能になる。
10. 試験時間中に退場してはならない。
11. 解答用紙を持ち帰ってはならない。
12. 問題冊子，計算用紙は必ず持ち帰ること。

$\boxed{1}$ 摩擦がある床の上に，図 (1) のようにバネ定数 k のバネが左端に固定されており，バネの自然長の位置に質量 $2m$ の小物体 A が置かれている。また，質量 m の小球 B が固定点 O から長さ $2l$ の糸でつり下げられており，小物体 A より右に $4l$ 離れた位置で床に接している。小物体 A と床の間の静止摩擦係数は $\frac{1}{2}$，動摩擦係数は $\frac{1}{4}$ であるが，小球 B と床の間には摩擦はない。バネ，その先に付いた薄い板と糸の質量，および糸の伸びは無視できるものとし，重力加速度を g とする。

1. 図 (2) のように，小物体 A を左に d だけ押しバネを縮めてから，静かに手を離す。d が小さい場合には，床との摩擦があるため A はその場所で静止するが，$d > l$ で，A が動き出した。このことより，バネ定数 k は，$k =$〔 1 〕$\times \frac{mg}{l}$ である。
2. 小物体 A を $d = a \times l$ $(a > 1)$ まで押してから手を離すと，A は右向きに動き出す。バネが自然長に戻ったときの A の速さは $\sqrt{〔\ 2\ 〕\times gl}$ であり，その直後 A はバネから離れて，図 (3) のように，右方向に進む。A が小球 B に衝突する条件は $a \geqq$〔 3 〕である。このとき，衝突する直前の A の速さは $\sqrt{〔\ 4\ 〕\times gl}$ である。
3. $a = 3$（すなわち $d = 3l$）としたところ，小物体 A は小球 B に衝突した。このとき，衝突直前の A の速さは〔 5 〕$\times \sqrt{gl}$ である。衝突が弾性衝突とすると，衝突後の A の速さは〔 6 〕$\times \sqrt{gl}$ であり，B の速さは〔 7 〕$\times \sqrt{gl}$ である。衝突後，B は糸が鉛直軸に対して θ となる角度まで上がり，振り子運動を続ける。ここで，$\cos\theta =$〔 8 〕である。一方，A は衝突後も床の上の運動を続けた後，最初に手を離した位置から〔 9 〕$\times l$ だけ右の位置で静止する。全過程のエネルギーの移り変わりを考えると，最初にバネに与えた弾性エネルギー〔 10 〕$\times mgl$ のうち，摩擦により失ったエネルギーが〔 11 〕$\times mgl$ で，〔 12 〕$\times mgl$ が振り子の力学的エネルギーになった。



〔　1　〕, 〔　3　〕, 〔　5　〕～〔　12　〕の選択肢

a)	0	b)	1	c)	$\sqrt{2}$	d)	2	e)	4
f)	$\frac{3}{2}$	g)	$\frac{5}{2}$	h)	$\frac{9}{2}$	i)	$\frac{1}{3}$	j)	$\frac{4}{3}$
k)	$\frac{5}{9}$	l)	$\frac{8}{9}$	m)	$\frac{55}{9}$	n)	$\frac{65}{9}$	o)	$\frac{65}{18}$
p)	$\frac{1+\sqrt{2}}{2}$	q)	$\frac{1+\sqrt{17}}{2}$	r)	$\frac{1+3\sqrt{2}}{2}$	s)	$\frac{1+\sqrt{55}}{2}$	t)	$\frac{1+\sqrt{62}}{2}$

〔　2　〕, 〔　4　〕の選択肢

a)	0	b)	a	c)	$\sqrt{2}a$
d)	$2a$	e)	$\frac{1}{2}a$	f)	$\frac{5}{2}a$
g)	$\frac{1}{2}\left(a^2-a\right)$	h)	$\frac{5}{2}\left(a^2-a\right)$	i)	$\frac{1}{2}\left(a^2-a-2\right)$
j)	$\frac{1}{2}\left(a^2-a-4\right)$	k)	$\frac{5}{2}\left(a^2-a-2\right)$	l)	$\frac{5}{2}\left(a^2-a-4\right)$
m)	$\frac{8}{9}\left(a^2-a-4\right)$	n)	$\frac{8}{9}\left(a^2-a+9\right)$	o)	$\frac{8}{9}\left(a^2-a+13\right)$
p)	$\frac{8}{9}\left(a^2-a+65\right)$				

以　下　余　白

次頁へ続く

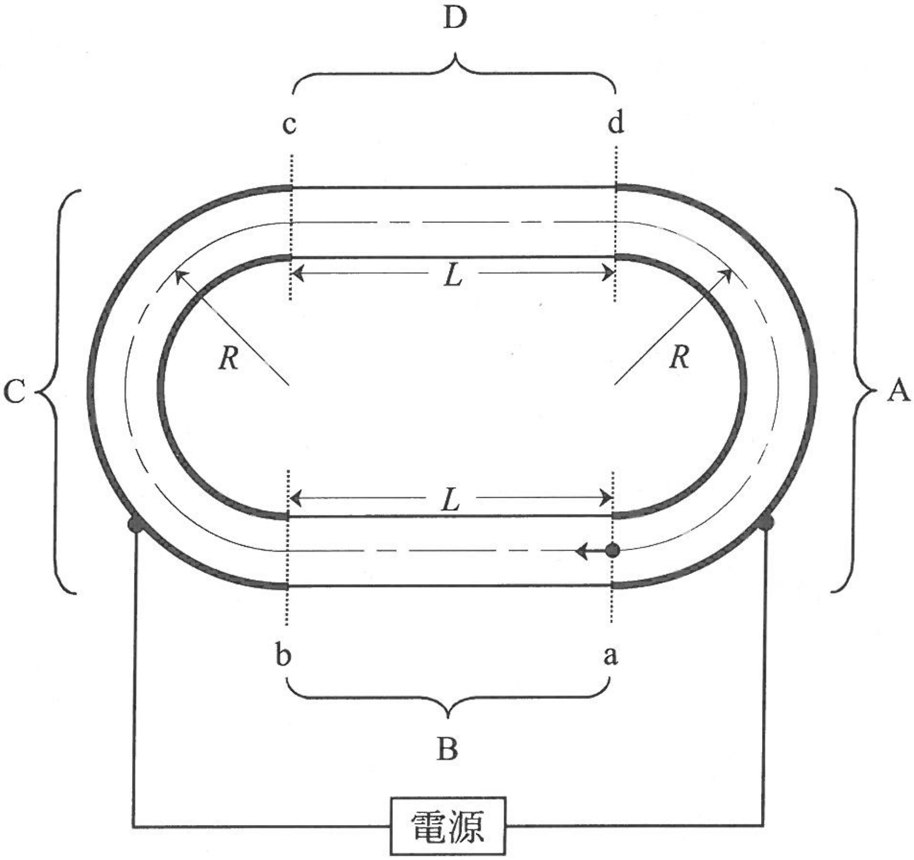
2 図のように，断面が円形の 4 個のパイプがつながった装置がある。2 個は金属製で半円状のパイプ A, C で（中心線の半径を R とする），もう 2 個は直線状のパイプ B, D で，パイプ A, C と電気的に絶縁されている。装置内部は真空になっている。このパイプの中心線上を 1 個の荷電粒子（質量 m，電荷 q，ただし $q>0$ ）が何周も回る間に，荷電粒子を加速することを考える。

2 個の半円状パイプ A, C には紙面の裏から表へ一様な磁界を別々にかけ，さらに AC 間に電圧をかける。このとき，パイプ A および C 内では常に電界はゼロになっている。荷電粒子がパイプ A または C 中を円運動しているとき AC 間の電圧を反転する。つまり，荷電粒子が直線状パイプ B を運動するときには AC 間に電圧 $+V_0$（ただし $V_0>0$ ）をかけ，パイプ D を通過するときには $-V_0$ をかけて，一定の大きさの電界で荷電粒子を加速する。ただし，荷電粒子の速さは光速よりは十分遅いものとする。

いま，図のように，パイプ A と B の境界 a のパイプの中心線上の点に，荷電粒子をそっと置いた。

1. パイプ B には 電界 $E_{\mathrm{B}}=$〔 1 〕がかかり，荷電粒子は加速されつつ進んだ。パイプ B と C の境界 b に達したときの速さは，$v_{\mathrm{b}}=$〔 2 〕であり，パイプ B を通過するのに要する時間は，$t_{\mathrm{B}}=$〔 3 〕である。
2. パイプ B を抜けた荷電粒子が，パイプ C の中心線上を運動するためには，磁束密度 $B_{\mathrm{C}}=$〔 4 〕の磁界をかける必要がある。また，荷電粒子がパイプ C を通過するのに要する時間は，$t_{\mathrm{C}}=$〔 5 〕である。
3. 次に，荷電粒子はパイプ D の中心線上を加速されつつ進んだ。境界 d に達したときの速さは，$v_{\mathrm{d}}=$〔 6 〕であり，パイプ D を通過するのに要する時間は，$t_{\mathrm{D}}=$〔 7 〕である。
4. さらに荷電粒子がパイプ A の中心線上を運動した。そのためには磁束密度 $B_{\mathrm{A}}=$〔 8 〕の磁界をかける必要がある。また，荷電粒子がパイプ A を通過するのに要する時間は，$t_{\mathrm{A}}=$〔 9 〕である。
5. 荷電粒子が n 周（ただし $n=1,2,3,\cdots$ ）して境界 a に戻ってきたときの速さは，$v_n=$〔 10 〕である。また，荷電粒子が n 周目を回る所要時

間は，$t_n =$〔　11　〕$\times L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}} +$〔　12　〕$\times \pi R\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$ である。



〔　1　〕の選択肢

a)　$\dfrac{V_0}{2}$　　b)　V_0　　c)　$2V_0$　　d)　$\dfrac{V_0}{2L}$　　e)　$\dfrac{V_0}{L}$　　f)　$\dfrac{2V_0}{L}$

g)　$\dfrac{V_0 L}{2}$　　h)　$V_0 L$

〔 2 〕, 〔 6 〕の選択肢

a) $\sqrt{\dfrac{mV_0}{4q}}$　b) $\sqrt{\dfrac{mV_0}{2q}}$　c) $\sqrt{\dfrac{mV_0}{q}}$　d) $\sqrt{\dfrac{2mV_0}{q}}$　e) $\sqrt{\dfrac{4mV_0}{q}}$

f) $\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}}$　g) $\sqrt{\dfrac{qV_0}{2m}}$　h) $\sqrt{\dfrac{qV_0}{m}}$　i) $\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$　j) $\sqrt{\dfrac{4qV_0}{m}}$

〔 3 〕, 〔 7 〕の選択肢

a) $L\sqrt{\dfrac{m}{4qV_0}}$　b) $L\sqrt{\dfrac{m}{2qV_0}}$　c) $L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$

d) $L\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}}$　e) $L\sqrt{\dfrac{4m}{qV_0}}$　f) $\left(\sqrt{2}-1\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$

g) $\left(\sqrt{2}+1\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$　h) $\left(2-\sqrt{2}\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$　i) $\left(2+\sqrt{2}\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$

j) $\left(2\sqrt{2}-1\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$　k) $\left(2\sqrt{2}+1\right)L\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$

〔 4 〕, 〔 8 〕の選択肢

a) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{mV_0}{4q}}$　b) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{mV_0}{2q}}$　c) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{mV_0}{q}}$　d) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{2mV_0}{q}}$

e) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{4mV_0}{q}}$　f) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}}$　g) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{qV_0}{2m}}$　h) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{qV_0}{m}}$

i) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$　j) $\dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{4qV_0}{m}}$

〔　5　〕,〔　9　〕の選択肢

a) $\pi R\sqrt{\dfrac{m}{6qV_0}}$　b) $\pi R\sqrt{\dfrac{m}{4qV_0}}$　c) $\pi R\sqrt{\dfrac{m}{2qV_0}}$　d) $\pi R\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$

e) $\pi R\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}}$　f) $\pi R\sqrt{\dfrac{4m}{qV_0}}$　g) $\pi R\sqrt{\dfrac{6m}{qV_0}}$

〔　10　〕の選択肢

a) $\sqrt{\dfrac{nmV_0}{4q}}$　b) $\sqrt{\dfrac{nmV_0}{2q}}$　c) $\sqrt{\dfrac{nmV_0}{q}}$　d) $\sqrt{\dfrac{2nmV_0}{q}}$

e) $\sqrt{\dfrac{4nmV_0}{q}}$　f) $\sqrt{\dfrac{nqV_0}{4m}}$　g) $\sqrt{\dfrac{nqV_0}{2m}}$　h) $\sqrt{\dfrac{nqV_0}{m}}$

i) $\sqrt{\dfrac{2nqV_0}{m}}$　j) $\sqrt{\dfrac{4nqV_0}{m}}$

〔　11　〕の選択肢

a) $2\sqrt{n}-\sqrt{n-1}$　b) $2\sqrt{n}+\sqrt{n-1}$　c) $\sqrt{n}-\sqrt{n-1}$

d) $\sqrt{n}+\sqrt{n-1}$　e) $2\left(\sqrt{n}-\sqrt{n-1}\right)$　f) $2\left(\sqrt{n}+\sqrt{n-1}\right)$

g) $\dfrac{\sqrt{n+3}-\sqrt{n-1}}{2}$　h) $\dfrac{\sqrt{n+3}+\sqrt{n-1}}{2}$　i) $\sqrt{n+3}-\sqrt{n-1}$

j) $\sqrt{n+3}+\sqrt{n-1}$

〔 12 〕の選択肢

a) $\dfrac{1}{\sqrt{4n-2}}+\dfrac{1}{\sqrt{4n}}$ b) $\dfrac{1}{\sqrt{4n-2}}+\dfrac{1}{\sqrt{2n}}$ c) $\dfrac{1}{2n}+\dfrac{1}{\sqrt{2n}}$

d) $\dfrac{1}{2\sqrt{2n-1}}+\dfrac{1}{\sqrt{n+1}}$ e) $\dfrac{1}{2\sqrt{2n-1}}+\dfrac{1}{\sqrt{2n}}$ f) $\dfrac{1}{\sqrt{6n-4}}+\dfrac{1}{\sqrt{6n-2}}$

g) $\dfrac{1}{\sqrt{6n-4}}+\dfrac{1}{2n}$ h) $\dfrac{1}{\sqrt{6n-4}}+\dfrac{1}{\sqrt{4n}}$ i) $\dfrac{1}{\sqrt{2n}}+\dfrac{1}{\sqrt{n+3}}$

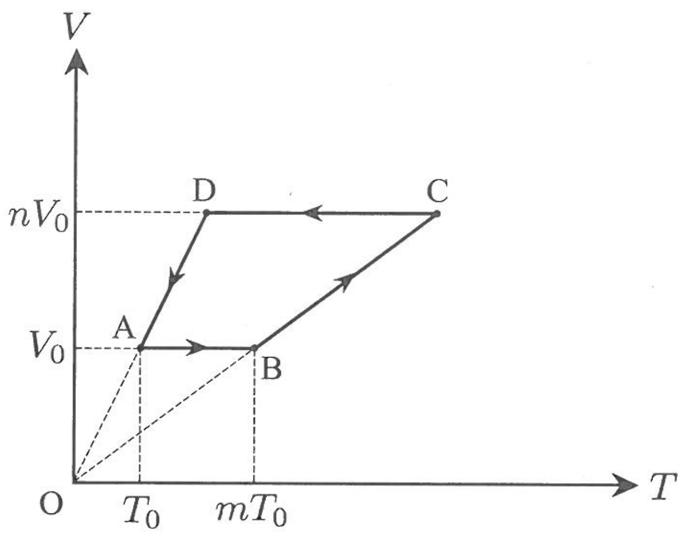
j) $\dfrac{1}{\sqrt{6n-4}}+\dfrac{1}{\sqrt{n+3}}$

以 下 余 白

次頁へ続く

$\boxed{3}$ なめらかに動くピストンを備えたシリンダー中に 1 モルの単原子分子理想気体を入れ，図のように体積 V，温度 T の $V-T$ 図上の点で表される状態を $\mathrm{A} \to \mathrm{B} \to \mathrm{C} \to \mathrm{D} \to \mathrm{A}$ と 1 サイクル変化させる熱機関を考える。図中，点 O は $V = T = 0$ を表し，気体定数を R とし，$m, n > 1$ とする。

1. 最初，状態 A での気体の圧力 p_0 は，$p_0 =$〔 1 〕$\times \dfrac{RT_0}{V_0}$ と表すことができる。状態 C での圧力は，状態 A の圧力 p_0 を用いて〔 2 〕$\times p_0$ と書け，温度は〔 3 〕$\times T_0$ となる。状態 D での圧力は〔 4 〕$\times p_0$ となり，温度は〔 5 〕$\times T_0$ となる。
2. この 1 サイクルで気体が外部に仕事をする過程は〔 6 〕で，その大きさは〔 7 〕$\times RT_0$ であり，外部から仕事をされる過程は〔 8 〕で，その大きさは〔 9 〕$\times RT_0$ となる。したがって，この 1 サイクルで気体が外部にした正味の仕事は〔 10 〕$\times RT_0$ であることがわかる。また，この 1 サイクルで気体が熱を吸収する過程は〔 11 〕で，このときの気体の内部エネルギーの変化は〔 12 〕$\times RT_0$ であり，吸収した熱量は〔 13 〕$\times RT_0$ となる。以上から，この熱機関の熱効率は〔 14 〕と表される。



AK-J-01

〔 1 〕～〔 5 〕，〔 7 〕，〔 9 〕，〔 10 〕，〔 12 〕，〔 13 〕の選択肢

a)	$\frac{1}{2}$	b)	1	c)	$\frac{3}{2}$
d)	2	e)	m	f)	n
g)	$\frac{1}{m}$	h)	$\frac{1}{n}$	i)	$\frac{m}{n}$
j)	$\frac{n}{m}$	k)	$m-1$	l)	$n-1$
m)	mn	n)	$m(n-1)$	o)	$(m-1)(n-1)$
p)	$\frac{m-1}{n-1}$	q)	$\frac{3}{2}mn-\frac{3}{2}$	r)	$\frac{3}{2}mn+n-\frac{5}{2}$
s)	$\frac{5}{2}mn-m-\frac{3}{2}$	t)	$\frac{5}{2}mn+m-\frac{3}{2}$	u)	$\frac{5}{2}mn-n-\frac{3}{2}$

〔 6 〕，〔 8 〕，〔 11 〕の選択肢

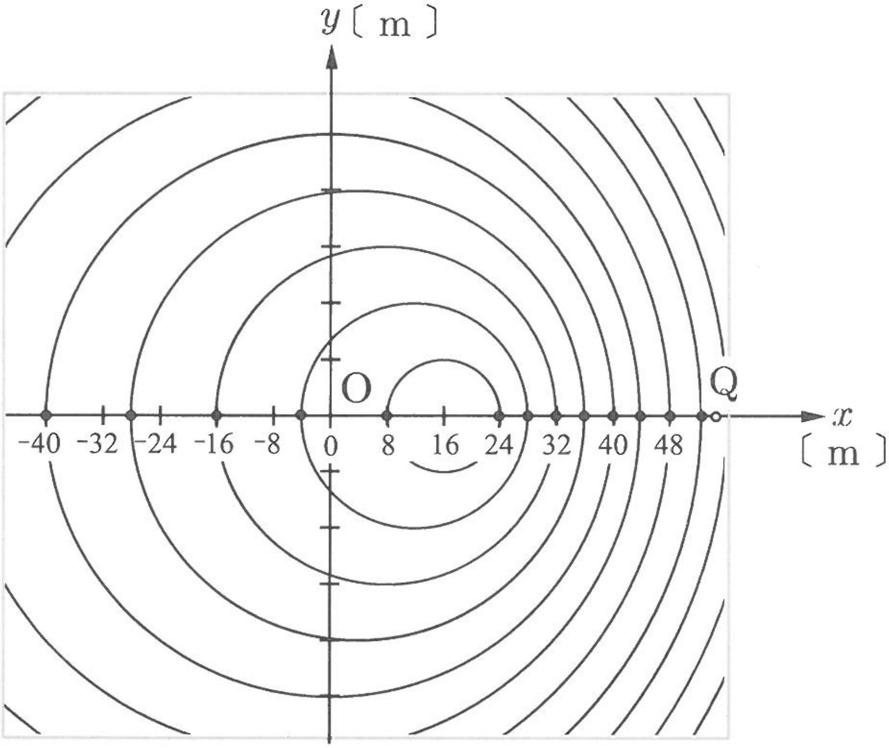
a)	A → B	b)	B → C	c)	C → D	d)	D → A
e)	A → B → C	f)	B → C → D	g)	C → D → A	h)	D → A → B

〔 14 〕の選択肢

a)	$\dfrac{m-1}{\frac{3}{2}mn-n-\frac{5}{2}}$	b)	$\dfrac{m-1}{\frac{3}{2}mn+n-\frac{5}{2}}$	c)	$\dfrac{n-1}{\frac{3}{2}mn-m-\frac{5}{2}}$
d)	$\dfrac{n-1}{\frac{3}{2}mn+m-\frac{5}{2}}$	e)	$\dfrac{n-1}{\frac{5}{2}mn-m-\frac{3}{2}}$	f)	$\dfrac{n-1}{\frac{5}{2}mn+m-\frac{3}{2}}$
g)	$\dfrac{m(n-1)}{\frac{5}{2}mn-m-\frac{3}{2}}$	h)	$\dfrac{m(n-1)}{\frac{5}{2}mn+m-\frac{3}{2}}$	i)	$\dfrac{n(m-1)}{\frac{5}{2}mn-m-\frac{3}{2}}$
j)	$\dfrac{n(m-1)}{\frac{5}{2}mn+m-\frac{3}{2}}$	k)	$\dfrac{(m-1)(n-1)}{\frac{5}{2}mn-m-\frac{3}{2}}$	l)	$\dfrac{(m-1)(n-1)}{\frac{5}{2}mn+m-\frac{3}{2}}$

4 図のように，静かな水面上を，船が機械振動により周期 2 秒で波紋を作りながら，東の方向（図の x 軸の正の方向 ）に向かって一定の速さで走っている。原点 O を通り過ぎてから，10 秒後の波の山の波面の位置を図中の円で表す。この船の前方の位置 Q（図中の白丸）で，この波を観測すると，この波の速さは〔　1　〕m/s で，振動数は〔　2　〕Hz である。また，船の速さは〔　3　〕m/s である。

いま，位置 Q での観測者が別の船に乗って一定の速さ 3 m/s で東の方向へ走り出すと，観測者が観測する波の速さは〔　4　〕m/s，波長は〔　5　〕m，振動数は〔　6　〕Hz となる。



〔 1 〕～〔 6 〕の選択肢

a) 1	b) 2	c) 3	d) 4	e) 5	f) 6	g) 7
h) $\frac{1}{2}$	i) $\frac{3}{2}$	j) $\frac{5}{2}$	k) $\frac{7}{2}$	l) $\frac{1}{3}$	m) $\frac{2}{3}$	n) $\frac{4}{3}$
o) $\frac{1}{4}$	p) $\frac{3}{4}$	q) $\frac{5}{4}$	r) $\frac{1}{5}$	s) $\frac{2}{5}$	t) $\frac{3}{5}$	u) $\frac{4}{5}$