

物 理

注 意

- 1. 問題は全部で 18 ページである。
- 2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし、マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
- 3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
- 4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
- 5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

- 1. 解答用紙(その 1)はマーク・シートになっている。HB の黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
- 2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
- 3. 解答する記号の ○ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり×をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が 1 のとき)

1	●	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	a	b	c	d	-	*
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- 4. 一度記入したマークを消す場合は、消しゴムでよく消すこと。×をつけても消したことになる。
- 5. 解答用紙をよごしたり、折り曲げたりしないこと。

1 以下の設問について、空欄(1)～(3)に当てはまるもっとも適切な解答を解答群より選び、解答用紙(その 1)の該当する記号をマークせよ。問 1 の解答は解答用紙(その 2)の図 1—2 に記入せよ。小球の運動は紙面内に限られ、小球と階段や床との衝突は弾性衝突である。小球はじゅうぶんに小さく、階段の角には衝突しないとし、また、小球と階段や床との間の摩擦は無いものとする。空気抵抗は無視できる。重力の向きは鉛直下向きで、重力加速度の大きさは g とする。必要があれば表 1 を利用すること。

3 段からなる階段が水平な床の上に固定されていた。図 1—1 は真横から見た階段を示し、水平な床に沿って図の右向きに x 軸、鉛直方向上向きに y 軸をとる。すべての階段は水平で、階段の段差はすべて等しく h であり、また段の幅は等しく l であった。

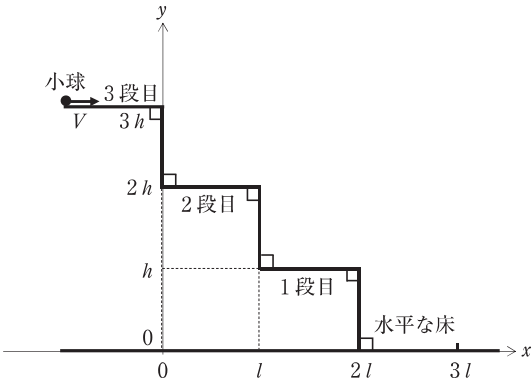


図 1—1

ここで、3 段目に置かれた質量が m で大きさの無視できる小球を、 x 軸の正の向きに速さ V で打ち出したところ、小球は 2 段目、1 段目の階段で 1 回ずつ衝突をした後、 $y = 0$ 、 $2l < x \leq 3l$ の範囲の床へ落下することが観察された。このとき V の満たすべき条件を以下の手順で求めてみよう。

まず、小球が位置 $(x, y) = (0, 3h)$ を通過した時刻を $t = 0$ とする。時刻

$t = 0$ 以降に小球は放物運動をし、2 段目に衝突した。衝突の時刻を t_1 とすると、 V の取り得る上限は

$$V < \boxed{(1)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-1)$$

で与えられる。なお、時刻 t_1 は $t_1 = \boxed{(2)}$ である。

(1)の解答群

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ 1 ⑤ $\frac{4}{3}$
 ⑥ $\frac{3}{2}$ ⑦ $\frac{5}{3}$ ⑧ 2 ⑨ 3 ⑩ 4

(2)の解答群

- ① $\sqrt{\frac{h}{g}}$ ② $\sqrt{\frac{g}{h}}$ ③ $\sqrt{gh}$ ④ $\sqrt{\frac{2h}{g}}$
 ⑤ $\sqrt{\frac{2g}{h}}$ ⑥ $\sqrt{2gh}$ ⑦ $\sqrt{\frac{3h}{g}}$ ⑧ $\sqrt{\frac{3g}{h}}$
 ⑨ $2\sqrt{\frac{h}{g}}$ ⑩ $2\sqrt{\frac{3h}{g}}$

続いて、時刻 t_1 に 2 段目に衝突した小球の、その直後の放物運動について考える。この放物運動において小球が最高点に達した時刻を t_2 とすると、時刻 t_1 を用いて $t_2 = \boxed{(3)} \times t_1$ である。その後、小球が 2 段目 に 2 回目の衝突をしないためには、落下中の小球の軌道上の $y = 2h$ における x 座標が l より大きくななければならない。このことから

$$V > \boxed{(4)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-2)$$

を得る。

(3)の解答群

- ① $\frac{1}{3}$ ② $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ③ $\frac{2}{3}$ ④ $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}$
 ⑥ 1 ⑦ $\frac{3}{2}$ ⑧ 2 ⑨ $\frac{5}{2}$ ⑩ 3

(4)の解答群

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ 1 ⑤ $\frac{4}{3}$
 ⑥ $\frac{3}{2}$ ⑦ $\frac{5}{3}$ ⑧ 2 ⑨ 3 ⑩ 4

その後小球は、時刻 t_3 に 1 段目に衝突した。時刻 t_1 を用いると、 $t_3 = \boxed{(5)} \times t_1$ である。小球が 1 段目に衝突するためには、1 回目の衝突後の小球がたどる軌道の $y = h$ における x 座標が $x < 2l$ でなければならない。このことから

$$V < \boxed{(6)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-3)$$

を得る。(1-1)式、(1-2)式、(1-3)式より、 V が満たすべき範囲は、

$$\boxed{(4)} \times \frac{l}{t_1} < V < \boxed{(7)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-4)$$

であることがわかる。

(5)の解答群

- ① $\sqrt{2}$ ② $(1 + \sqrt{2})$ ③ $(1 + 2\sqrt{2})$
 ④ $(2 + \sqrt{2})$ ⑤ $(2 + 2\sqrt{2})$ ⑥ $(2 + 3\sqrt{2})$
 ⑦ $(3 + \sqrt{3})$ ⑧ $(3 + 2\sqrt{3})$ ⑨ $\frac{2 + \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$
 ⑩ $\frac{3 + \sqrt{3}}{\sqrt{2}}$

(6)の解答群

- ① $\frac{3}{2+\sqrt{3}}$ ② $\frac{4}{2+\sqrt{3}}$ ③ $\frac{2}{2+\sqrt{2}}$
 ④ $\frac{3}{2+\sqrt{2}}$ ⑤ $\frac{1}{2+2\sqrt{2}}$ ⑥ $\frac{1}{3+\sqrt{3}}$
 ⑦ $\frac{2}{3+\sqrt{3}}$ ⑧ $\frac{4}{3+\sqrt{3}}$ ⑨ $\frac{1}{2}$
 ⑩ $\frac{3}{2}$

(7)の解答群

- ① 空欄(1)の解答と同じ ② 空欄(6)の解答と同じ

続いて、時刻 t_3 に1段目に衝突した後の小球の放物運動について考える。小球がこの放物運動の最高点に達した時刻を t_4 とすると、時刻 t_4 を用いて $t_4 = \boxed{(8)} \times t_1$ である。1段目に2回衝突しないためには落下中の小球の軌道上の $y = h$ における x 座標が $2l$ より大きくなければならない。このことから

$$V > \boxed{(9)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-5)$$

を得る。

(8)の解答群

- ① $\sqrt{2}$ ② $(1+\sqrt{2})$ ③ $(2+\sqrt{3})$
 ④ $(1+2\sqrt{2})$ ⑤ $(3+\sqrt{3})$ ⑥ $2(3+\sqrt{3})$
 ⑦ $(2+2\sqrt{2})$ ⑧ $(2\sqrt{2}+\sqrt{3})$ ⑨ $\frac{2+3\sqrt{2}}{3}$
 ⑩ $\frac{2+\sqrt{3}}{2}$

(9)の解答群

- ① $\frac{1}{2+\sqrt{3}}$ ② $\frac{2}{2+\sqrt{3}}$ ③ $\frac{1}{2+\sqrt{2}}$
 ④ $\frac{2}{2+\sqrt{2}}$ ⑤ $\frac{3}{2+\sqrt{2}}$ ⑥ $\frac{2}{2+3\sqrt{2}}$
 ⑦ $\frac{3}{2+3\sqrt{2}}$ ⑧ $\frac{4}{2+3\sqrt{2}}$ ⑨ $\frac{1}{3+\sqrt{3}}$
 ⑩ $\frac{2}{3+2\sqrt{3}}$

さらに、時刻 t_5 に床の $x \leq 3l$ の範囲に衝突した。時刻 t_1 を用いると、 $t_5 = \boxed{(10)} \times t_1$ である。時刻 t_4 後に小球がたどる軌道の $y = 0$ における x 座標が $x \leq 3l$ でなければならないことより、速さ V に関する条件

$$V \leq \boxed{(11)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-6)$$

が導出される。

最後に、表1を利用すると、(1-4)式、(1-5)式、(1-6)式のすべてを満たす V の範囲は

$$\boxed{(12)} \times \frac{l}{t_1} < V \leq \boxed{(13)} \times \frac{l}{t_1} \quad (1-7)$$

であることがわかる。

(10)の解答群

- ① $\frac{2+2\sqrt{3}}{3}$ ② $\frac{2+2\sqrt{2}}{2}$
 ③ $\frac{2+\sqrt{2}+\sqrt{3}}{3}$ ④ $(2+\sqrt{3})$
 ⑤ $(3+\sqrt{3})$ ⑥ $3(4+\sqrt{2})$
 ⑦ $(2+2\sqrt{2}+\sqrt{3})$ ⑧ $(2+4\sqrt{2}+\sqrt{3})$
 ⑨ $(2+\sqrt{2}+2\sqrt{3})$ ⑩ $2\sqrt{2}(2+\sqrt{2}+2\sqrt{3})$

(11)の解答群

① $\frac{1}{2 + \sqrt{3}}$

③ $\frac{1}{2 + 3\sqrt{2}}$

⑤ $\frac{1}{3 + 2\sqrt{3}}$

⑦ $\frac{2}{2 + 2\sqrt{2} + \sqrt{3}}$

⑨ $\frac{1}{2 + 2\sqrt{2} + 2\sqrt{3}}$

② $\frac{2}{2 + \sqrt{3}}$

④ $\frac{2}{2 + 3\sqrt{2}}$

⑥ $\frac{1}{2 + 2\sqrt{2} + \sqrt{3}}$

⑧ $\frac{3}{2 + 2\sqrt{2} + \sqrt{3}}$

⑩ $\frac{2}{2 + 2\sqrt{2} + 2\sqrt{3}}$

(12), (13)の解答群

① 空欄(4)の解答と同じ

③ 空欄(9)の解答と同じ

② 空欄(7)の解答と同じ

④ 空欄(11)の解答と同じ

表1 a, b, c の値に対する $k = \frac{1}{a + b\sqrt{2} + c\sqrt{3}}$ の近似値

a	b	c	k
2	0	1	0.268
2	1	0	0.293
2	2	0	0.207
2	2	1	0.152
2	2	2	0.121
2	3	0	0.160
3	0	0	0.333
3	0	1	0.211
3	0	2	0.155

問1 3段目にあった小球を x 軸の正の方向に速さ V で打ち出し、時刻 $t = 0$ に位置 $(0, 3h)$ を通過した後、2段目及び1段目に1回ずつ衝突し、時刻 t_5 に地面の $x = 3l$ の位置に衝突した。図1—2に時刻 $t = 0$ から t_5 までのこの小球の運動の軌道をえがけ。また、時刻 t_1, t_2, t_3, t_4 での小球の位置を黒丸で記入せよ。なお、図中の縦線は Vt_1 の間隔、横線は $0.5h$ の間隔で記入されている。必要ならば表1、あるいは $\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73$ を用いること。

2 コンデンサーに関する設問である。空欄(ア)～(キ)の解答は**解答用紙(その3)**の所定の欄に適切な式または数値を記せ。空欄(14)～(20)にあてはまる最も適切なものをそれぞれの解答群より選び、**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークせよ。コンデンサーの極板間の物体がない部分は真空中で、真空中のクーロンの法則の比例定数を $k_0[\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2]$ 、円周率を π とする。

I

図2—1のように、円板状の極板A、Bからなる平行板コンデンサーと電圧を変えられることができる直流電源と $R[\Omega]$ の抵抗が直列につながっている。極板A、極板Bの半径は $r[\text{m}]$ 、極板の間隔は $d[\text{m}]$ で、 $r \gg d$ である。

初め両極板に電荷が無い状態にあり、その後、直流電源から電圧 $V_1[\text{V}]$ を印加した。電圧を印加した直後に抵抗を流れる電流は (ア) $[\text{A}]$ であり、時間の経過とともに電流は減衰し、やがて $0[\text{A}]$ になり、極板A、Bの電気量はそれぞれ $Q_1[\text{C}]$ 、 $-Q_1[\text{C}]$ となった($Q_1 > 0$)。電圧を印加し始めたときからコンデンサーの充電が終わるまでの間にコンデンサーにたくわえられた静電エネルギーと抵抗が発したジュール熱は、 Q_1 、 V_1 を用いてそれぞれ、(イ) $[\text{J}]$ 、(ウ) $[\text{J}]$ と書ける。また、この状態で極板Aから極板Bに向かう電気力線の本数が (エ) であることから、極板A、Bの間の電場の強さは、 k_0 、 Q_1 、 r を用いて (オ) $[\text{V}/\text{m}]$ ($=[\text{N}/\text{C}]$) と表せる。

続いて、直流電源からの印加電圧を $2V_1[\text{V}]$ に上げて、電流が流れなくなるまで待った。一定となった極板Aの電気量は、(カ) $\times Q_1[\text{C}]$ である。この状態から極板間の距離を $0.5d[\text{m}]$ にした。十分に時間が経ち、電流が流れなくなったあとに、コンデンサーがたくわえた静電エネルギーは、 Q_1 、 V_1 を用いて (キ) $[\text{J}]$ と表せる。

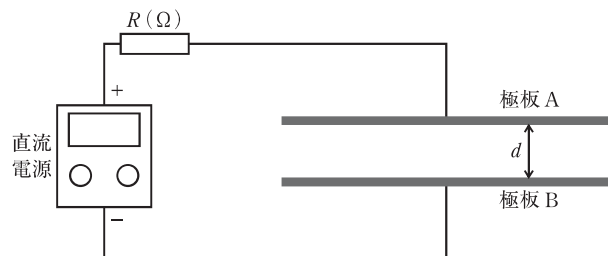


図 2—1

II

図 2—2 のように、間隔が d [m] でともに半径 r [m] の円板状の極板 A, B にそれぞれ Q [C], $-Q$ [C] の電気をたくわえた、孤立した平行板コンデンサーを考える。ただし、 $r \gg d$ である。 $\epsilon_0 (= 1 / (4\pi k_0))$ を真空の誘電率とするとコンデンサーがたくわえている静電エネルギーは、(14) [J] である。極板 A, B の電気を保ったまま極板間隔を $d + \Delta d$ [m] までわずかに広くするとコンデンサーがたくわえている静電エネルギーは、(14) $\times$ (15) [J] に増える。静電エネルギーの増加分は極板間隔を Δd 広げる仕事に相当するので、極板の間隔が d [m] のとき、極板間に働くクーロン力による引力の大きさは、(16) [N] であることがわかる。

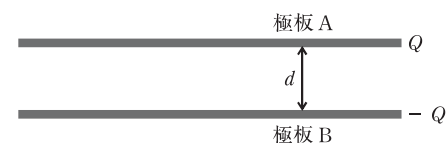


図 2—2

(14), (16)の解答群

- | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| ① $\frac{Q}{\pi\epsilon_0 r^2}$ | ② $\frac{Q^2}{\pi\epsilon_0 r^2}$ | ③ $\frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r^2}$ | ④ $\frac{Q^2}{2\pi\epsilon_0 r^2}$ |
| ⑤ $\frac{Q^2}{2\epsilon_0}$ | ⑥ $\frac{Qd}{\pi\epsilon_0 r^2}$ | ⑦ $\frac{Q^2 d}{\pi\epsilon_0 r^2}$ | ⑧ $\frac{Qd}{2\pi\epsilon_0 r^2}$ |
| ⑨ $\frac{Q^2 d}{2\pi\epsilon_0 r^2}$ | ⑩ $\frac{Q^2 d}{2\epsilon_0}$ | | |

(15)の解答群

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ① 1 | ② $\frac{d - \Delta d}{d}$ | ③ $\frac{d + \Delta d}{d}$ | ④ $\frac{d}{d - \Delta d}$ |
| ⑤ $\frac{d}{d + \Delta d}$ | ⑥ $\frac{d - 2\Delta d}{d}$ | ⑦ $\frac{d + 2\Delta d}{d}$ | ⑧ $\frac{\Delta d}{d}$ |
| ⑨ $\frac{d - \Delta d}{\Delta d}$ | ⑩ $\frac{d + \Delta d}{\Delta d}$ | | |

Ⅲ

図2—3のような装置を用意した。半径 r [m] の円板状の極板 A、B からなる平行板コンデンサーとともに開いた状態の2つのスイッチと直流電源をつないだ。極板 A は天井からばね定数が K [N/m] の絶縁体のばねでつながれ、極板 B は固定されている。極板 A、B が電荷をたくわえていないとき、極板の間隔は d_0 [m] であった。ただし、 $r \gg d_0$ である。直流電源、抵抗、スイッチ、導線は極板の変位に影響しないように配置されている。以下の実験では極板 A は極板 B に接触することなく常に鉛直上方で極板 B と平行に保たれていた。

まず、スイッチ1を閉じ、スイッチ2を抵抗側につないでから直流電源より電圧 V_2 [V] を印加したところ、極板間隔が徐々に縮まり、極板 A、B の間隔が $0.5 d_0$ [m] で静止した。このとき、極板 A の電気量は (17) [C] である。また、ばね定数 K は (18) [N/m] と書ける。

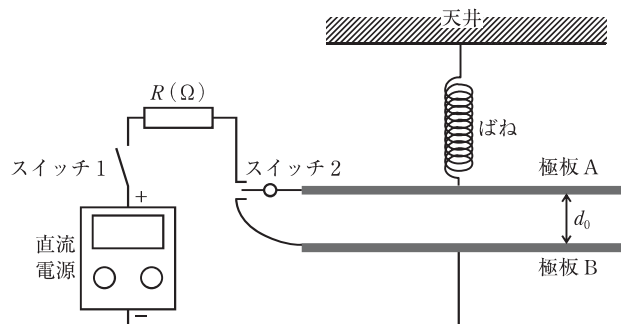


図2—3

(17)の解答群

- | | | | |
|--|--|--|--|
| ① $\frac{d_0 V_2}{\pi \epsilon_0 r^2}$ | ② $\frac{d_0 V_2^2}{\pi \epsilon_0 r^2}$ | ③ $\frac{2 d_0 V_2}{\pi \epsilon_0 r^2}$ | ④ $\frac{2 d_0 V_2^2}{\pi \epsilon_0 r^2}$ |
| ⑤ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2}{2 d_0}$ | ⑥ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{2 d_0}$ | ⑦ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0}$ | ⑧ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0}$ |
| ⑨ $\frac{2 \pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0}$ | ⑩ $\frac{2 \pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0}$ | | |

(18)の解答群

- | | | | |
|--|--|--|--|
| ① $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0^3}$ | ② $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0^3}$ | ③ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0^2}$ | ④ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0^2}$ |
| ⑤ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0}$ | ⑥ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0}$ | ⑦ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0^3}$ | ⑧ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0^3}$ |
| ⑨ $\frac{2 \pi \epsilon_0 r^2 V_2}{d_0^2}$ | ⑩ $\frac{2 \pi \epsilon_0 r^2 V_2^2}{d_0^2}$ | | |

その後、直流電源の出力を止め、スイッチ1を開き、スイッチ2を極板 B 側につないで極板 A、B の電気量を0にしたところ、極板の間隔は d_0 [m] にもどった。次に、直流電源の代わりに図2—4のように起電力がわからない電池を回路につないだ。電池の内部抵抗は無視できるとする。続いて、半径 r [m]、厚さ $0.5 d_0$ [m] の導体の円板を極板 B の上に密着するように載せて固定した。スイッチ2を抵抗側につなぎ、スイッチ1を閉じてから十分に時間が経ったあと、極板 A、B の間隔は $0.75 d_0$ [m] で一定となった。このとき極板 A の電気量は電池の起電力を V_3 [V] とすると (19) [C] で、 V_3 は V_2 の (20) 倍であることがわかった。

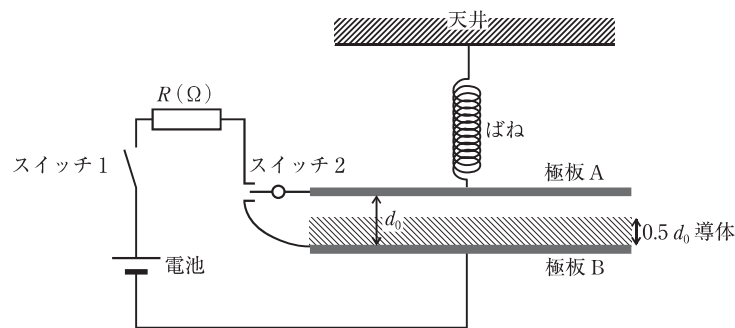


図2—4

(19)の解答群

- ① $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_3}{d_0}$ ② $\frac{2 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{d_0}$ ③ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{3 d_0}$ ④ $\frac{4 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{d_0}$
 ⑤ $\frac{8 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{d_0}$ ⑥ $\frac{3 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{4 d_0}$ ⑦ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_3}{2 d_0}$ ⑧ $\frac{3 \pi \epsilon_0 r^2 V_3}{2 d_0}$
 ⑨ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_3}{4 d_0}$ ⑩ $\frac{\pi \epsilon_0 r^2 V_3}{8 d_0}$

(20)の解答群

- ① 1 ② 2 ③ $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ④ $\sqrt{2}$ ⑤ 4
 ⑥ $\frac{1}{2}$ ⑦ $\frac{1}{4}$ ⑧ $\frac{3}{4}$ ⑨ $2\sqrt{2}$ ⑩ $\frac{\sqrt{2}}{4}$

3 以下の文章を読み、空欄(21)～(34)にあてはまる最も適切な解答をそれぞれの解答群から選び、**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークせよ。

弦を伝わる横波の正弦波について考える。変位がないときの弦に沿って x 軸をとる。また、変位は y 軸方向に生ずるとする。時刻 t のときの位置 x における弦の変位を $y = u(t, x)$ と表す。時刻 $t = 0$ における弦の波形が $u(0, x) = -A \sin kx$ であり ($A > 0, k > 0$)、また、位置 $x = 0$ における弦の変位の時間変化が $u(t, 0) = A \sin \omega t$ であるとき ($\omega > 0$)、波の式は

$$u(t, x) = A \sin(\omega t - kx) \quad (3-1)$$

となる。この波の波長は $\lambda =$ (21)、周期は $T =$ (22) であり、進行方向は (23) である。時刻 $t = T/4$ のときの弦の波形を表す式は $u(T/4, x) =$ (24) となる。

波の速さ v は弦の線密度(単位長さあたりの質量) ρ に依存することが知られている。また、波長と周期との関係より、 ω と k の間には (25) の関係が成り立つ。一方、単位時間あたりに波が運ぶエネルギーは波の「エネルギー流」と呼ばれ、波の強さを表す量として用いられる。この量は、線密度 ρ の弦を伝わる

式(3-1)の波において $I = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v$ で定義される。

(21), (22)の解答群

- ① ω ② $1/\omega$ ③ $2\pi\omega$ ④ $2\pi/\omega$
 ⑤ k ⑥ $1/k$ ⑦ $2\pi k$ ⑧ $2\pi/k$

(23)の解答群

- ① x 軸正の向き ② x 軸負の向き
 ③ y 軸正の向き ④ y 軸負の向き

24)の解答群

- ① $A \sin\left(\frac{kx}{2}\right)$ ② $A \sin kx$ ③ $A \cos\left(\frac{kx}{2}\right)$
 ④ $A \cos kx$ ⑤ $-A \sin\left(\frac{kx}{2}\right)$ ⑥ $-A \sin kx$
 ⑦ $-A \cos\left(\frac{kx}{2}\right)$ ⑧ $-A \cos kx$

25)の解答群

- ① $\omega = vk$ ② $\omega = v/k$ ③ $\omega = k/v$
 ④ $\omega = 2\pi vk$ ⑤ $\omega = 2\pi v/k$ ⑥ $\omega = 2\pi k/v$

図3—1のように線密度の異なる十分長い二種類の弦が $x = 0$ を境界として結合している。領域1($x < 0$)の弦の線密度を ρ_1 、領域2($x > 0$)の弦の線密度を ρ_2 とし、これらの比を $\alpha = \rho_2/\rho_1$ とする。今、領域1から領域2へ入射する正弦波 $u_A(t, x) = A \sin(\omega t - k_1 x)$ を考える。境界 $x = 0$ にて、入射波の一部は反射され、残りは領域2へと透過する。このとき、領域2における波の速さ v_2 は、

領域1における波の速さ v_1 と異なる。 v_1 と v_2 の間には $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$ の関係がある。

反射波を $u_B(t, x) = B \sin(\omega t + k_1 x)$ 、透過波を $u_C(t, x) = C \sin(\omega t - k_2 x)$ とする。

このとき、 A と B 、 C の間の関係を求めよう。これには、境界での条件についての考察が必要である。まず、境界の領域1側を考えると、そこでの弦の変位は (26) となる。一方、境界の領域2側を考えると、そこでの弦の変位は (27) となるが、これらは等しくなければならないため (28) の関係式を得る。また、境界におけるエネルギーの保存則から、入射波と反射波、透過波のエネルギー流の間には関係式

$$\frac{1}{2} \rho_1 A^2 \omega^2 v_1 = \frac{1}{2} \rho_1 B^2 \omega^2 v_1 + \frac{1}{2} \rho_2 C^2 \omega^2 v_2 \quad (3-2)$$

が成り立つ。(28) と式(3—2)の関係式を用い、さらに $v_1 = \sqrt{a} v_2$ の関係に留意すると、 $C \neq 0$ の仮定の下で、 $B =$ (29) A 、 $C =$ (30) A と求

めることができる。

$\rho_2 \geq \rho_1$ のとき、 B 、 C は (31) となり、 A と B の関係より、反射波は (32) とみなせることがわかる。一方、 $\rho_1 \geq \rho_2$ のとき、 B 、 C は (33) となり、 A と B の関係より、反射波は (34) とみなせることがわかる。

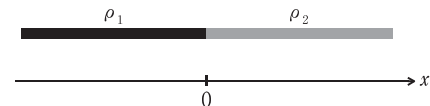


図3—1

26) 27)の解答群

- ① $u_A(t, 0)$ ② $u_B(t, 0)$
 ③ $u_C(t, 0)$ ④ $u_A(t, 0) + u_B(t, 0)$
 ⑤ $u_A(t, 0) + u_C(t, 0)$ ⑥ $u_B(t, 0) + u_C(t, 0)$

28)の解答群

- ① $A = B$ ② $A = C$ ③ $B = C$
 ④ $A + B = C$ ⑤ $A + C = B$ ⑥ $A = B + C$

29) 30)の解答群

- ① 1 ② $\frac{1 - \sqrt{a}}{1 + \sqrt{a}}$ ③ $\frac{2 + \sqrt{a}}{1 + \sqrt{a}}$ ④ $\frac{2 - \sqrt{a}}{1 + \sqrt{a}}$
 ⑤ $\frac{1}{1 + \sqrt{a}}$ ⑥ $\frac{1}{1 - \sqrt{a}}$ ⑦ $\frac{2}{1 + \sqrt{a}}$ ⑧ $\frac{2}{1 - \sqrt{a}}$

31) 33)の解答群

- ① $B \doteq A$, $C \doteq 0$ ② $B \doteq -A$, $C \doteq 0$
 ③ $B \doteq 2A$, $C \doteq 0$ ④ $B \doteq -2A$, $C \doteq 0$
 ⑤ $B \doteq A$, $C \doteq 2A$ ⑥ $B \doteq 2A$, $C \doteq 2A$
 ⑦ $B \doteq -A$, $C \doteq 2A$ ⑧ $B \doteq -2A$, $C \doteq 2A$

32, 34の解答群

① 境界での自由端反射

② 境界での固定端反射