

物 理

(問 題)

2012年度

〈2012 H24061119〉

注 意 事 項

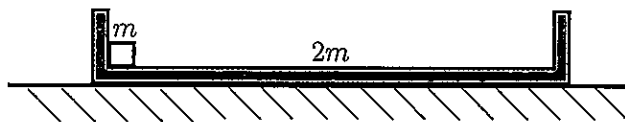
1. 問題冊子は、試験開始の指示があるまで開かないこと。
2. 問題は4～11ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて解答用紙の所定欄にHBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入すること。
4. マーク解答用紙については、受験番号を確認したうえ所定欄に氏名のみ記入すること。
5. マーク欄ははっきり記入すること。また、訂正する場合は、消しゴムでていねいに、消し残しがないようよく消すこと（砂消しゴムは使用しないこと）。

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

6. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
7. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I]

図のように、水平な床の上に、左右両側に反射壁がついた質量 $2m$ の板があり、この板の上に大きさを無視できる質量 m の小物体が置いてある。板と小物体の間の静止摩擦係数を 8μ 、動摩擦係数を 7μ とし、板と床の間の静止摩擦係数を 2μ 、動摩擦係数を μ とする。重力加速度の大きさは g とする。右向きを正とし、小物体と板の反射壁との間の反発係数を e ($0 < e \leq 1$) とする。



初め、小物体と板はともに静止しており、小物体は板の上の左端に位置していた。そして小物体に水平右向きの力を加えた。以下の問 1 に答えなさい。

問 1 小物体に一定の力 F_1 を加えると、小物体は板の左端で板と一体となって運動した。このとき板が床から水平方向に受けている力の向きと大きさについて、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- a. 右向き, $2\mu mg$ b. 右向き, $3\mu mg$ c. 右向き, $4\mu mg$ d. 右向き, $6\mu mg$
 e. 左向き, $2\mu mg$ f. 左向き, $3\mu mg$ g. 左向き, $4\mu mg$ h. 左向き, $6\mu mg$
 i. 右向き, $F_1 + 2\mu mg$ j. 右向き, $F_1 + 3\mu mg$ k. 右向き, $F_1 + 4\mu mg$ l. 右向き, $F_1 + 6\mu mg$
 m. 右向き, $F_1 - 2\mu mg$ n. 右向き, $F_1 - 3\mu mg$ o. 右向き, $F_1 - 4\mu mg$ p. 右向き, $F_1 - 6\mu mg$

問 1 の状態から、小物体に加える力を次第に大きくしていくと、その力の大きさがある値 F_2 をこえたとき初めて小物体は板の上面をすべり出した。以下の問 2 に答えなさい。

問 2 F_2 について、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- a. $3\mu mg$ b. $4\mu mg$ c. $\frac{9\mu mg}{2}$ d. $5\mu mg$ e. $\frac{11\mu mg}{2}$ f. $6\mu mg$
 g. $7\mu mg$ h. $8\mu mg$ i. $9\mu mg$ j. $10\mu mg$ k. $\frac{21\mu mg}{2}$ l. $11\mu mg$

再び小物体を板の左端に置き、小物体と板を静止状態にした。そして小物体に水平右向きに大きさ F_3 ($F_3 > F_2$) の力を T 秒間加え続けた後、力を加えるのをやめた。その後、小物体は板の反射壁に衝突する前に板の上面をすべることをやめ、小物体と板は一体となって運動した。以下の問 3 に答えなさい。

問 3 小物体に力 F_3 を加え始めてから小物体が板と一体となって運動するまでに、小物体が板の上を動いた距離について、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- a. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{F_3}{m} - 7\mu g \right)$ b. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{F_3}{m} - 9\mu g \right)$ c. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{F_3}{m} - \frac{21\mu g}{2} \right)$
d. $\frac{F_3 T^2}{2m} \left(\frac{F_3}{7\mu m g} - 1 \right)$ e. $\frac{F_3 T^2}{2m} \left(\frac{F_3}{9\mu m g} - 1 \right)$ f. $\frac{F_3 T^2}{2m} \left(\frac{2F_3}{21\mu m g} - 1 \right)$
g. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{F_3^2}{7\mu m^2 g} - \frac{2F_3}{m} + 7\mu g \right)$ h. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{F_3^2}{9\mu m^2 g} - \frac{2F_3}{m} + 9\mu g \right)$ i. $\frac{T^2}{2} \left(\frac{2F_3^2}{21\mu m^2 g} - \frac{27F_3}{14m} + \frac{21\mu g}{2} \right)$

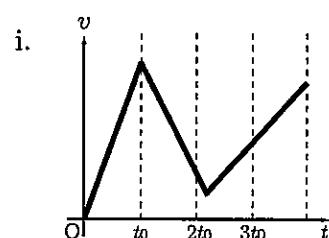
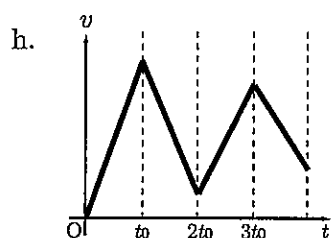
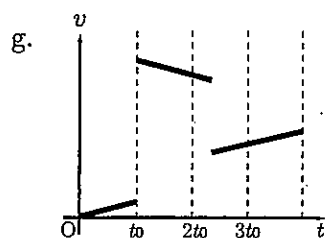
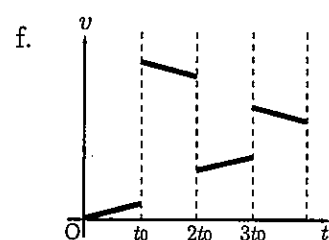
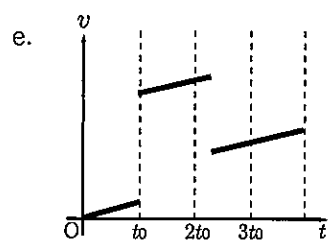
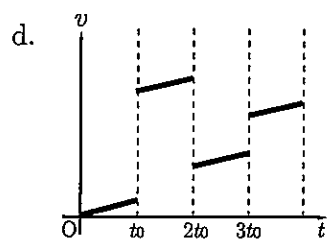
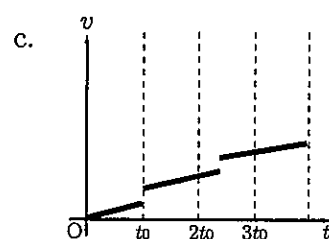
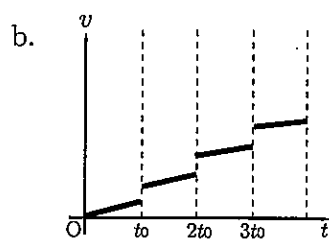
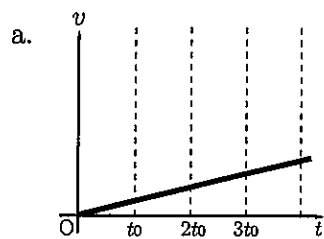
次に、板と小物体の間の摩擦は問 1～問 3 と同じで、板と床の間に摩擦がない場合について考える。

初め、小物体と板はともに静止しており、小物体は板の上の左端に位置していた。小物体を水平右向きに初速 v_0 で運動させると、小物体は板の上面をすべり出した。そして小物体は運動を始めてから t_0 秒後に板の右側の反射壁に衝突し、その後、左側の反射壁に衝突した。そしてその後、同様に何度か衝突を繰り返した。以下の問 4 と問 5 に答えなさい。

問 4 小物体が最初に板の右側の反射壁に衝突した直後における、小物体の床に対する速度について、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- a. $-e(v_0 + 7\mu g t_0)$ b. $-e(v_0 - 7\mu g t_0)$ c. $-e \left(v_0 + \frac{21\mu g t_0}{2} \right)$
d. $-e \left(v_0 - \frac{21\mu g t_0}{2} \right)$ e. $e(v_0 + 7\mu g t_0)$ f. $e(v_0 - 7\mu g t_0)$
g. $e \left(v_0 + \frac{21\mu g t_0}{2} \right)$ h. $e \left(v_0 - \frac{21\mu g t_0}{2} \right)$ i. $\frac{(1-2e)v_0 + 7e\mu g t_0}{3}$
j. $\frac{(1-2e)v_0 - 7e\mu g t_0}{3}$ k. $\frac{(1-2e)v_0}{3} + 7e\mu g t_0$ l. $\frac{(1-2e)v_0}{3} - 7e\mu g t_0$
m. $\frac{(1+2e)v_0 + 7e\mu g t_0}{3}$ n. $\frac{(1+2e)v_0 - 7e\mu g t_0}{3}$ o. $\frac{(1+2e)v_0}{3} + 7e\mu g t_0$
p. $\frac{(1+2e)v_0}{3} - 7e\mu g t_0$

問5 板の床に対する速度 v と時刻 t の関係について、以下のグラフの中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。



[II]

問1 以下の間に答える準備として、コンデンサーの極板間に働く力 F を求める。真空中の平行板コンデンサー（極板の面積 S 、極板間距離 d ）の各極板に $+Q$ および $-Q$ の電荷を与えた場合、コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは、真空の誘電率を ϵ_0 として、 $\frac{dQ^2}{2\epsilon_0 S}$ で与えられる。極板間距離 d を $d + \Delta d$ に変化させると静電エネルギーが変化するが、その変化量は、力 F に逆らって極板間距離を Δd だけ変化させるのに必要な仕事 $F \cdot \Delta d$ に等しい。力 F を与える式として正しいものを、以下の中から一つ選びなさい。

- | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| a. $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 d}$ | b. $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$ | c. $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 S}$ | d. $\frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 d}$ |
| e. $\frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 d^2}$ | f. $\frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 S}$ | g. $\frac{Q^2}{\epsilon_0 d}$ | h. $\frac{Q^2}{\epsilon_0 d^2}$ |
| i. $\frac{Q^2}{\epsilon_0 S}$ | j. $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 d}$ | k. $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 d^2}$ | l. $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 S}$ |
| m. $\frac{\epsilon_0 S Q^2}{d}$ | n. $\frac{\epsilon_0 S Q^2}{d^2}$ | o. $\frac{\epsilon_0 S Q^2}{2d}$ | p. $\frac{\epsilon_0 S Q^2}{2d^2}$ |

さて、下図のように、底面が一辺 100mm の正方形で厚さが 10mm の金属板（密度を 2.0g/cm^3 とする）を、動かないように水平に固定し、接地する。その真上に、同じ金属板をもう一つ、四隅に置いた 4 本のパネで支えてのせる。各パネは絶縁体で、重さは無視できるとする。パネはフックの法則に従い、自然長は 30mm、バネ定数は 25N/m である。



金属板の端付近の電場は、中央付近と変わらないものとする（端における電場の乱れを無視する）。また、パネの誘電分極も無視する。計算を簡単にするため、重力加速度の大きさ g は 10m/s^2 、真空の誘電率 ϵ_0 は $1.0 \times 10^{-11}\text{F/m}$ とし、空気の誘電率は ϵ_0 に等しいとする。空気抵抗は無視する。このとき、以下の問 2～問 6 に答えなさい。

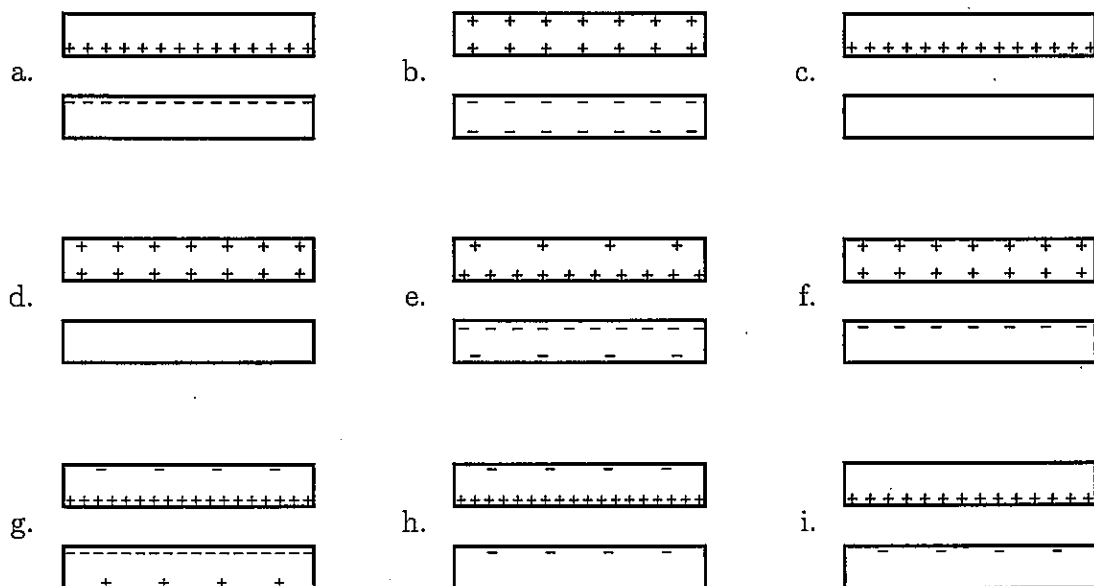
問2 上側の金属板に電荷がない場合、両金属板間の距離 d_0 はどれだけか、以下の中から最も近いものを一つ選びなさい。

- | | | | |
|---------|-----------|---------|---------|
| a. 30mm | b. 29.8mm | c. 29mm | d. 28mm |
| e. 22mm | f. 20mm | g. 19mm | h. 18mm |
| i. 10mm | j. 8mm | k. 4mm | l. 2mm |
| m. 1mm | n. 0.2mm | o. 0mm | |

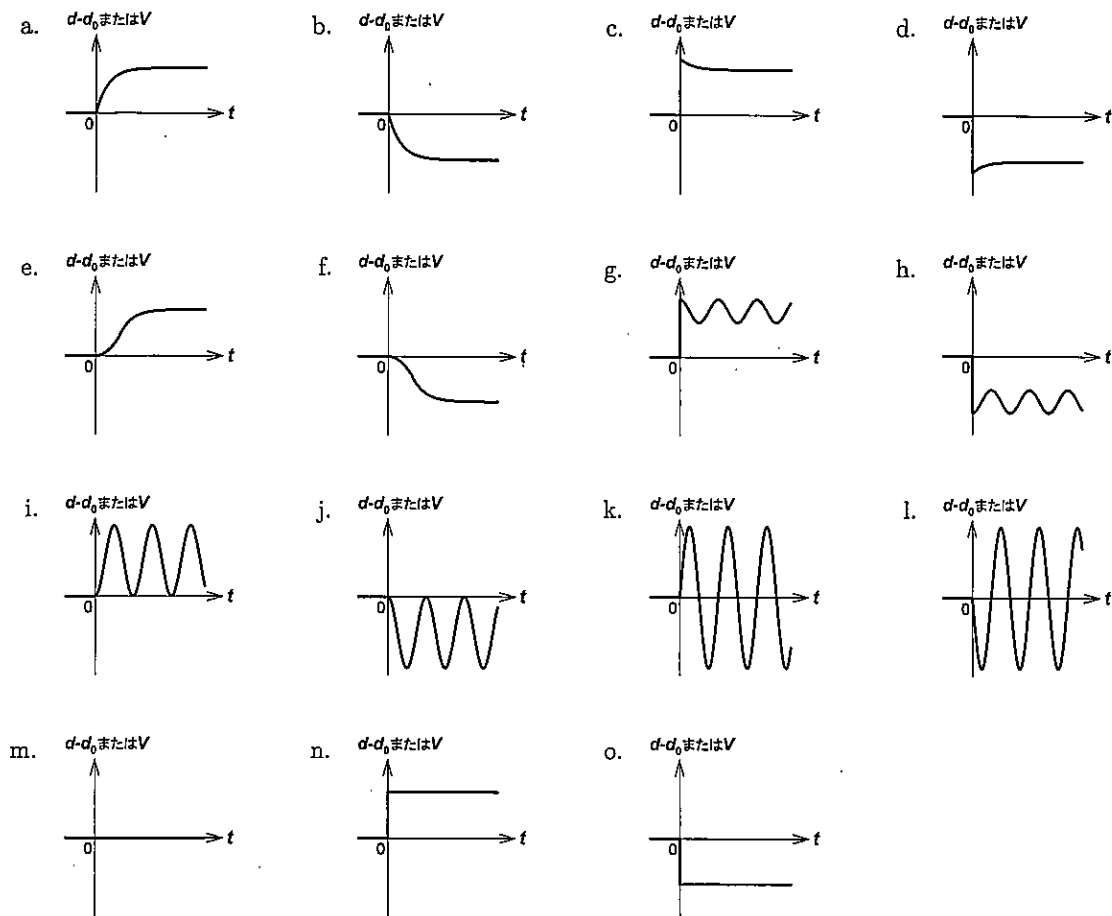
問3 上側の金属板に、 $+2.0 \times 10^{-7} \text{C}$ の電荷を与える。ゆっくりと少しずつ与えることにより、電荷を与え終わった時に金属板が静止しているとみなせるものとする。電荷を与えたことによる金属板の移動量はどれだけか、上方への移動を正として、以下の中から最も近い値を一つ選びなさい。

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|---------|
| a. +8mm | b. +4mm | c. +2mm | d. +1mm |
| e. +0.4mm | f. +0.2mm | g. +0.1mm | h. 0mm |
| i. -0.1mm | j. -0.2mm | k. -0.4mm | l. -1mm |
| m. -2mm | n. -4mm | o. -8mm | |

問4 問3における金属板の移動が完了した後の、上下二つの金属板内の電荷の分布の様子を、もっとも適切に表している図を以下の中から一つ選びなさい。ただし下図はいずれも、金属板の中央を通る鉛直断面を表したものである。



問5 問2の電荷のない状態から始め、時刻 $t = 0$ に、上側の金属板に $+2.0 \times 10^{-7} \text{C}$ の電荷を一瞬のうちに与える。両金属板の間隔を d とし、電荷を与える前の間隔を d_0 とする。(1) $d - d_0$ の時間変化、および (2) 上側の金属板の電位 V の時間変化、について、もっとも適切に表す図を以下の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

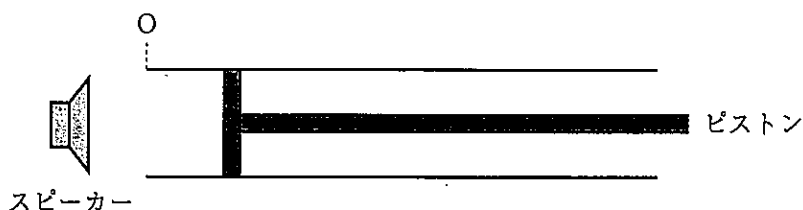


問6 問5において、時刻 $t > 0$ における $d - d_0$ の最小値（符号を考慮する）にもっとも近い値を、以下の中から一つ選びなさい。

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|---------|
| a. +8mm | b. +4mm | c. +2mm | d. +1mm |
| e. +0.4mm | f. +0.2mm | g. +0.1mm | h. 0mm |
| i. -0.1mm | j. -0.2mm | k. -0.4mm | l. -1mm |
| m. -2mm | n. -4mm | o. -8mm | |

[Ⅲ]

図のように、内径が一樣な円筒形のガラス管の中に自由に移動できるピストンをはめこんでこれを閉管とする。ガラス管の一端 O 付近にスピーカーを置き、スピーカーから振動数 f の音を出す。ガラス管の中の気柱の振動について、以下の問に答えなさい。なお、音速を V とし、開口端補正は無視できるものとする。



問 1 最初 O の位置にあったピストンを O から遠ざけるようにガラス管の中をゆっくり移動させると、気柱がある長さのときに初めて共鳴した。このときの気柱の長さを求め、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| a. $\frac{V}{8f}$ | b. $\frac{V}{4f}$ | c. $\frac{V}{3f}$ | d. $\frac{V}{2f}$ |
| e. $\frac{5V}{8f}$ | f. $\frac{3V}{4f}$ | g. $\frac{7V}{8f}$ | h. $\frac{V}{f}$ |

問 2 最初 O の位置にあったピストンを O から遠ざけるようにガラス管の中をゆっくり移動させると、閉管がある長さのときに 3 回目の共鳴が起こった。

(1) このときの気柱の長さを求め、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| a. $\frac{V}{2f}$ | b. $\frac{5V}{8f}$ | c. $\frac{3V}{4f}$ | d. $\frac{7V}{8f}$ |
| e. $\frac{V}{f}$ | f. $\frac{9V}{8f}$ | g. $\frac{5V}{4f}$ | h. $\frac{11V}{8f}$ |
| i. $\frac{3V}{2f}$ | j. $\frac{5V}{2f}$ | k. $\frac{7V}{2f}$ | |

(2) このときガラス管の中で密度変化が最大となる場所のうち、O から最も近い位置はどこか。O からの長さを求め、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| a. $\frac{V}{16f}$ | b. $\frac{V}{8f}$ | c. $\frac{3V}{16f}$ | d. $\frac{V}{4f}$ |
| e. $\frac{3V}{8f}$ | f. $\frac{V}{2f}$ | g. $\frac{5V}{8f}$ | h. $\frac{3V}{4f}$ |
| i. $\frac{7V}{8f}$ | j. $\frac{V}{f}$ | k. 0 | |

問3 振動数 $4f$ の音に共鳴させるには、問1 で初めて気柱が共鳴したときのピストンの位置から最短でどれだけ動かせば良いか。以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\frac{V}{16f}$

b. $\frac{V}{8f}$

c. $\frac{3V}{16f}$

d. $\frac{V}{4f}$

e. $\frac{3V}{8f}$

f. $\frac{V}{2f}$

g. $\frac{5V}{8f}$

h. $\frac{3V}{4f}$

i. $\frac{7V}{8f}$

j. $\frac{V}{f}$

問4 次に、このガラス管からピストンを取り外したところ、長さ l の開管となった。このガラス管を長さの異なる3本に切断して、端をそろえてスピーカーの近くに置く。その際、なるべく小さい振動数の音に3本とも共鳴するように切断する。3本のガラス管とも共鳴する音の振動数の最小値 f' について、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\frac{V}{2l}$

b. $\frac{3V}{4l}$

c. $\frac{V}{l}$

d. $\frac{5V}{4l}$

e. $\frac{3V}{2l}$

f. $\frac{7V}{4l}$

g. $\frac{2V}{l}$

h. $\frac{9V}{4l}$

i. $\frac{5V}{2l}$

j. $\frac{3V}{l}$

k. $\frac{6V}{l}$

問5 問4の長さで3本に切断したガラス管に対して、片方の端に置いたスピーカーから問4と同じ振動数 f' の音を出しながら、スピーカーを遠ざけた。スピーカーが遠ざかる速さを少しずつ上げていくと、初めて3本のうち1本が共鳴した。このときのスピーカーの速さについて、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\frac{V}{4}$

b. $\frac{V}{2}$

c. $\frac{3V}{4}$

d. V

e. $\frac{5V}{4}$

f. $\frac{3V}{2}$

g. $\frac{7V}{4}$

h. $2V$

i. $\frac{9V}{4}$

j. $\frac{5V}{2}$

[以下 余 白]