

物 理

解答上の注意

1. 解答は、解答用紙の解答欄にマークすること。

例えば、

6

7

 と表示してある問題に対して、計算等から得られた数字をマークする場合には、次の例に従う。

例：38 と答えたい場合には

解答 番号	解 答 欄									
6	①	②	●	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
7	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	●	⑨	⑩

2. 答えの値は、枠に合わせて四捨五入すること。
3. 分数形で解答する場合には、既約分数(それ以上約分できない分数)で答えること。

1 次の文章を読み，後の問い(問1～5)に答えよ。

大きさの無視できる2つの小球A，Bがある。Aの質量を m_A ，Bの質量を m_B とし，AとBの運動は同一直線上で行われるものとする。

〔1〕 水平で滑らかな床面を同じ向きに進むA，Bおよび鉛直な壁の衝突を考える。図1のようにAとBが並んでおり，Bが先に壁に衝突するものとする。AとBが壁へ進む向きを正とし，初速度はどちらも $v(>0)$ とする。Bと壁との間，AとBとの間の反発係数は共に $e(0 < e \leq 1)$ とする。

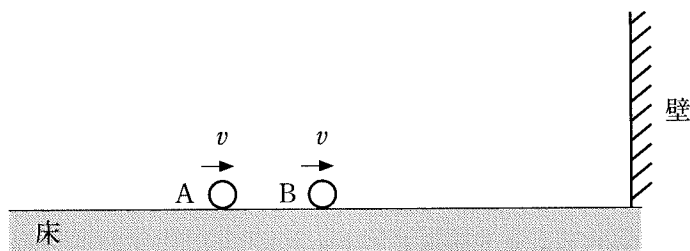


図1

問1 Bが壁に衝突した直後の，AとBの運動量の和は 1 v であり，Bから見たAの相対速度は 2 v である。

(1) 1 に入る最も適切なものを，次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $(m_A + m_B)$ ② $(m_A - m_B)$ ③ $(-m_A + m_B)$ ④ $(m_A + em_B)$
 ⑤ $(m_A - em_B)$ ⑥ $(-m_A + em_B)$ ⑦ $(em_A + m_B)$ ⑧ $(em_A - m_B)$
 ⑨ $(-em_A + m_B)$

(2) 2 に入る最も適切なものを，次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① 1 ② e ③ $(1 + e)$ ④ $(1 - e)$ ⑤ -1
 ⑥ $-e$ ⑦ $-(1 + e)$ ⑧ $(-1 + e)$ ⑨ 0

問 2 B が壁に衝突し、続いて A と B とが衝突した後の、A と B の速度をそれぞれ v_A , v_B

とすると、 $v_A = \boxed{3} v$, $v_B = \boxed{4} v$ である。

$\boxed{3}$, $\boxed{4}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

① -1

② $-e$

③ e

④ $\frac{m_A - em_B}{m_A + m_B}$

⑤ $\frac{m_A - (1 + 2e)m_B}{m_A + m_B}$

⑥ $\frac{m_A - 3em_B}{m_A + m_B}$

⑦ $\frac{m_A - (2 + e)em_B}{m_A + m_B}$

⑧ $\frac{(1 + 2e)m_A}{m_A + m_B}$

⑨ $\frac{(1 + e)em_A - (2 + e)em_B}{m_A + m_B}$

⑩ $\frac{(1 + e + e^2)m_A - em_B}{m_A + m_B}$

問 3 B との衝突により A が受けた力積は $\boxed{5} m_A v$ である。

$\boxed{5}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちから 1 つ選べ。

① -1

② -2

③ $-(1 + e)$

④ $\frac{-(1 + e)m_B}{m_A + m_B}$

⑤ $\frac{-2em_B}{m_A + m_B}$

⑥ $\frac{-(1 + 3e)m_B}{m_A + m_B}$

⑦ $\frac{-(1 + e)^2 m_B}{m_A + m_B}$

⑧ $\frac{2em_A - m_B}{m_A + m_B}$

⑨ $\frac{(-1 + e + e^2)m_A - (1 + e)^2 m_B}{m_A + m_B}$

⑩ $\frac{(1 + e)em_A - (1 + e)m_B}{m_A + m_B}$

〔2〕 次に、床の上の同じ位置から小球を B, A の順に続けて落とす。A と B の初速度はどちらも 0 とする。B が床に衝突する直前の様子を図 2 に示す。B が先に床と衝突してはねかえった後、すぐに A と B とが衝突する。これらの衝突の時間差は落下時間に比べて極めて短く、B が床に衝突してから A と衝突するまでの重力による B の速度の変化は無視でき、A と B との衝突は床面直上で起こるものとする。B と床との間、A と B との間の反発係数は共に e ($0 < e \leq 1$) とする。また、鉛直下向きを正の向きとする。

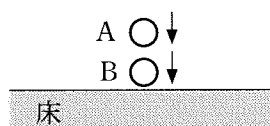


図 2

問 4 仮定から、B が床に衝突する直前の B の速度と A が B に衝突する直前の A の速度は等しく、それを v とする。A と B とが衝突した直後の B の運動エネルギーが 0 となる
とき、 $m_B =$ m_A が成り立つ。

に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。

- | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| ① e | ② $(1 + e)$ | ③ $(1 - e)$ |
| ④ $\left(1 + \frac{1}{e}\right)$ | ⑤ $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ | ⑥ $(1 + e + e^2)$ |
| ⑦ $(1 - e + e^2)$ | ⑧ $\left(\frac{1}{e} + 1 + e\right)$ | ⑨ 1 |

問 5 以下では $e = 1$ とする。このとき B と床、A と B、いずれの衝突においても A、B の力学的エネルギーの和は保存する。位置エネルギーの基準を底面とする。

全質量 $m_A + m_B (= M)$ を一定にして、 m_A と m_B の質量比のみを変えて、A と B を落下させる。このとき、A と B の衝突後の A の力学的エネルギーが最大になるのは、 $m_A = \boxed{7} M$ のときであり、その最大値は $\boxed{8} Mv^2$ である。また、そのときはねかえった後の A の最高到達点の高さは、はじめの高さの $\boxed{9}$ 倍である。

$\boxed{7}$, $\boxed{8}$, $\boxed{9}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。

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

2 次の文章を読み、後の問い(問1～5)に答えよ。

図1のように、一辺の長さ L の立方体容器内に、質量 m の単原子分子 N 個からなる理想気体が入っている。気体分子は容器の壁と弾性衝突をし、どの方向にも偏りなく運動する。また、分子どうしの衝突と重力の影響は無視できるものとする。気体定数を R 、絶対温度を T とする。

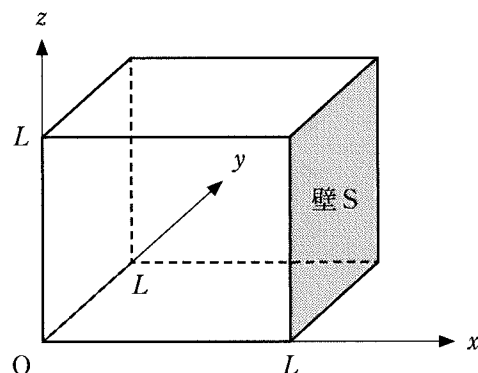


図1

問1 容器内の、ある分子の x 軸方向の速度成分を v_x とする。この分子が x 軸に垂直な壁 S に衝突することを考える。この分子が1回の衝突で壁 S から受ける力積は 10 である。また、この分子が壁 S に衝突してから、再び壁 S に衝突するまでの時間は 11 であるから、この分子が壁 S に及ぼす平均の力は 12 となる。ここで、壁 S が受ける力 F は N 個の分子が及ぼす平均の力の合計であるから、分子の速さの2乗の平均値を $\overline{v^2}$ とすると、壁 S が気体から受ける力 F は 13 $m\overline{v^2}$ となる。そして、容器内の圧力 p は F を壁 S の面積 L^2 で割ることで求められる。

(1) 10 に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① mv_x^2 ② $\frac{1}{2}mv_x^2$ ③ $2mv_x$ ④ mv_x ⑤ 0
 ⑥ $-mv_x$ ⑦ $-2mv_x$ ⑧ $-\frac{1}{2}mv_x^2$ ⑨ $-mv_x^2$

(2) 11 に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{3L}{2v_x}$ ② $\frac{L}{2v_x}$ ③ $\frac{L}{v_x}$ ④ $\frac{2L}{v_x}$ ⑤ $\frac{v_x}{L}$
 ⑥ $\frac{v_x}{2L}$ ⑦ $\frac{2v_x}{L}$ ⑧ v_xL ⑨ $2v_xL$

(3) 12 に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{mv_x}{L}$ ② $\frac{mv_x^2}{L}$ ③ $\frac{2mv_x}{L}$ ④ $\frac{2mv_x^2}{L}$ ⑤ $\frac{mv_x}{2L}$
 ⑥ $\frac{mv_x^2}{2L}$ ⑦ mv_xL ⑧ $2mv_xL$ ⑨ $\frac{mv_xL}{2}$

(4) 13 に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{1}{2NL}$ ② $\frac{1}{NL}$ ③ $\frac{2}{NL}$ ④ $\frac{3}{NL}$ ⑤ $\frac{3N}{L}$
 ⑥ $\frac{N}{L}$ ⑦ $\frac{N}{2L}$ ⑧ $\frac{N}{3L}$ ⑨ NL

問 2 理想気体の温度を一定に保ちつつ、体積を小さくすると圧力は大きくなる。この理由として最も適切なものを、次の①～⑤のうちから1つ選べ。 14

- ① 体積を小さくする際に気体がされた仕事により、気体分子の2乗平均速度が大きくなる(運動エネルギーが増す)ので、圧力は大きくなる。
 ② 体積を小さくする際に気体がされた仕事により、気体分子の分子間力による位置エネルギーが増すので、圧力は大きくなる。
 ③ 気体分子の1回の衝突における力積が大きくなるので、圧力は大きくなる。
 ④ 単位面積あたりの、気体分子が容器の壁に衝突する回数が増えるので、圧力は大きくなる。
 ⑤ 体積を小さくする際に気体がした仕事により、圧力は大きくなる。

問 3 0°C ($= 273\text{ K}$)、 $1.0 \times 10^5\text{ Pa}$ の気体 1 m^3 あたりの気体分子の運動エネルギーの総和は 15 . 16 $\times 10^{\text{17}}$ J である。

15 ~ 17 に入る1桁の数字をマークせよ。 15 には0以外の数が入る。

問 4 27℃ のときの He の 2 乗平均速度が $1.37 \times 10^3 \text{ m/s}$ であったとすると、687℃ における Ne の 2 乗平均速度はおよそ . $\times 10^{\text{20}}$ m/s である。ただし、He の原子量を 4.0 とし、Ne の原子量を 20 とする。

~ に入る 1 桁の数字をマークせよ。 には 0 以外の数が入る。

問 5 熱の出入りを断って気体の体積を V_0 から V に変化させると、気体分子の 2 乗平均速度は 倍となる。

に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。ただし、必要であれば、断熱変化の際の圧力 p と体積 V の関係 $pV^\gamma = \text{一定}$ 、または、温度 T と体積 V の関係 $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ を用いてもよい。ここで、 γ は比熱比、すなわち $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ である。また、 C_p は定圧モル比熱、 C_v は定積モル比熱である。

- | | | |
|--|--|--|
| ① $\sqrt{\left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma}$ | ② $\sqrt{\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma-1}}$ | ③ $\sqrt{\left(\frac{V}{V_0}\right)^\gamma}$ |
| ④ $\sqrt{\left(\frac{V}{V_0}\right)^{\gamma-1}}$ | ⑤ 1 | ⑥ $\left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma$ |
| ⑦ $\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma-1}$ | ⑧ $\left(\frac{V}{V_0}\right)^\gamma$ | ⑨ $\left(\frac{V}{V_0}\right)^{\gamma-1}$ |

次のページに続く

3 次の文章を読み、後の問い(問1～4)に答えよ。

図1のように、内部抵抗の無視できる起電力 E (V) の電池、抵抗値 R (Ω) の抵抗、電気容量 $2C$ (F) のコンデンサー C_1 , C_2 , 電気容量 C (F) のコンデンサー C_3 , 自己インダクタンス L (H) のコイル、3つのスイッチ S_1 , S_2 , S_3 が接続された回路がある。はじめ、3つのスイッチは全て開いており、3つのコンデンサーに電荷はないものとする。また、電流の向きは図1の抵抗を右から左に流れる向きを正とする。

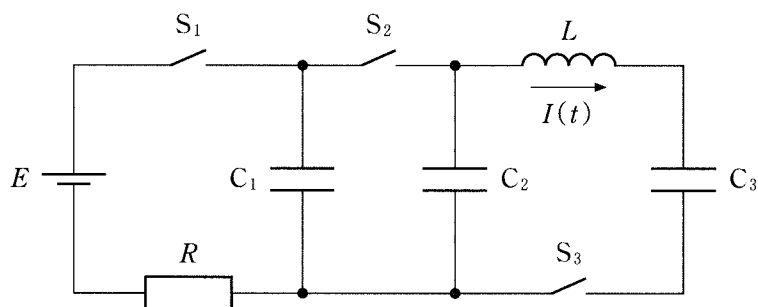


図1

問1 スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過したとき、抵抗を流れる電流は(ア) [A]であり、コンデンサー C_1 に蓄えられている電気量は(イ) [C]である。

(ア), (イ)に入る組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

22

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
ア	$-\frac{E}{R}$	$-\frac{E}{R}$	$-\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	0	0	0
イ	$2CE$	$\frac{CE}{2}$	0	$2CE$	$\frac{CE}{2}$	0	$2CE$	$\frac{CE}{2}$	0

問 2 問 1 の状態からスイッチ S_1 を開いた後、スイッチ S_2 を閉じる。十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_2 に蓄えられている電気量は 23 $CE[C]$ である。

23 に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちから 1 つ選べ。

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ $\frac{3}{4}$ ④ 1 ⑤ $\frac{5}{4}$
⑥ $\frac{3}{2}$ ⑦ $\frac{7}{4}$ ⑧ 2 ⑨ $\frac{9}{4}$ ⑩ 0

問 3 問 2 の状態からスイッチ S_2 を開いた後、スイッチ S_1 を閉じる。そして十分に時間が経過した後にスイッチ S_1 を開き、その後スイッチ S_2 を閉じる。その状態でまた十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_2 に蓄えられている電気量は 24 $CE[C]$ である。

24 に入る最も適切なものを、次の①～⑩のうちから 1 つ選べ。

- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ $\frac{3}{4}$ ④ 1 ⑤ $\frac{5}{4}$
⑥ $\frac{3}{2}$ ⑦ $\frac{7}{4}$ ⑧ 2 ⑨ $\frac{9}{4}$ ⑩ 0

問 4 問 3 の状態からスイッチ S_2 を開き、そしてスイッチ S_3 を閉じる。すると、回路には一定の周期で向きと大きさが変化する振動電流が流れる。スイッチ S_3 を閉じた時刻を $t = 0 \text{ s}$ とし、振動電流の周期を $T[\text{s}]$ とすると、時刻 $t[\text{s}]$ にコイルを左から右に流れる電流 $I(t) [\text{A}]$ の時間変化は図 2 のように表される。ただし、 $I_{\text{max}}[\text{A}]$ は電流の最大値とし、電気振動によって発生する電磁波は無視できるものとする。

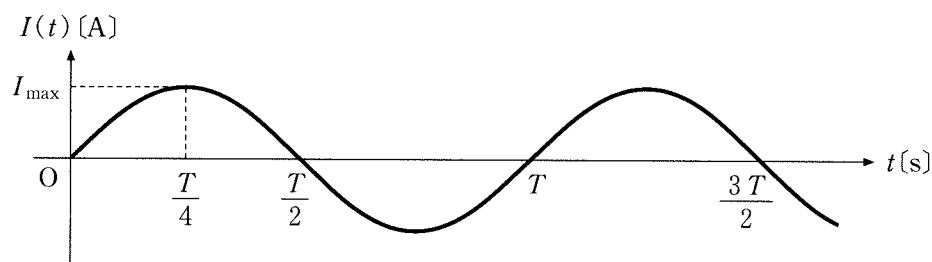


図 2

- (1) 時刻 $t = \frac{T}{4}[\text{s}]$ に、コイルおよびコンデンサー C_2 、 C_3 に蓄えられているエネルギーの総和は 25 $[\text{J}]$ である。

25 に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。

- | | | |
|--|--|--|
| ① $\frac{1}{2} LI_{\text{max}}^2 + \frac{2}{3} CE^2$ | ② $\frac{1}{2} LI_{\text{max}}^2 + \frac{1}{4} CE^2$ | ③ $\frac{1}{2} LI_{\text{max}}^2 + \frac{3}{8} CE^2$ |
| ④ $\frac{1}{2} LI_{\text{max}}^2 + 3 CE^2$ | ⑤ $LI_{\text{max}}^2 + \frac{2}{3} CE^2$ | ⑥ $LI_{\text{max}}^2 + \frac{1}{4} CE^2$ |
| ⑦ $LI_{\text{max}}^2 + \frac{3}{8} CE^2$ | ⑧ $LI_{\text{max}}^2 + 3 CE^2$ | ⑨ 0 |

(2) 電流 $I(t)$ [A] の最大値は $I_{\max} = \boxed{26} E \sqrt{\frac{C}{L}}$ [A] である。

$\boxed{26}$ に入る最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。

- ① $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ② $\frac{\sqrt{2}}{4}$ ③ $\frac{\sqrt{2}}{6}$ ④ $\frac{\sqrt{2}}{8}$ ⑤ $\frac{\sqrt{6}}{2}$
 ⑥ $\frac{\sqrt{6}}{4}$ ⑦ $\frac{\sqrt{6}}{6}$ ⑧ $\frac{\sqrt{6}}{8}$ ⑨ 0

(3) コンデンサー C_2 に蓄えられている電気量は時間とともに変動する。コンデンサー C_2 の上側の極板の電気量の最大値と最小値の組合せとして最も適切なものを、次の①～⑨のうちから 1 つ選べ。 $\boxed{27}$

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
最大値 [C]	$\frac{3CE}{2}$	$\frac{3CE}{2}$	$\frac{3CE}{2}$	$\frac{3CE}{2}$	$\frac{CE}{2}$	$\frac{CE}{2}$	$\frac{CE}{2}$	0	0
最小値 [C]	$\frac{CE}{2}$	0	$-\frac{CE}{2}$	$-\frac{3CE}{2}$	0	$-\frac{CE}{2}$	$-\frac{3CE}{2}$	$-\frac{CE}{2}$	$-\frac{3CE}{2}$

- (4) 時刻 t [s] における、コンデンサー C_3 の下側の極板の電位を基準とした上側の極板の電位 $V_3(t)$ [V] を表すグラフとして最も適切なものを、次の①～⑧のうちから1つ選べ。

28

