

物 理

重力加速度の大きさ g や万有引力定数 G などの物理定数を表す記号は、問題文中で特に指定のない限り、表 1 に示すものとする。

表 1：物理定数とそれを表す記号

g	重力加速度	9.807	m/s^2
G	万有引力定数	6.674×10^{-11}	$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
c	真空中の光の速さ	2.998×10^8	m/s
k_0	クーロンの法則の比例定数	8.988×10^9	$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$
e	電気素量	1.602×10^{-19}	C
ϵ_0	真空の誘電率	8.854×10^{-12}	F/m
μ_0	真空の透磁率	1.257×10^{-6}	N/A^2
k_B	ボルツマン定数	1.381×10^{-23}	J/K
R	気体定数	8.314	J/(mol·K)
N_A	アボガドロ定数	6.022×10^{23}	/mol
m_p	陽子の質量	1.673×10^{-27}	kg
m_n	中性子の質量	1.675×10^{-27}	kg
m_e	電子の質量	9.109×10^{-31}	kg
	統一原子質量単位	1.661×10^{-27}	kg

- 1 ☐ア～☐ネに対して、最も適切なものを選択肢の中から一つ選びなさい。なお、選ぶべき選択肢の数に指定のあるものについては指示に従いなさい。

I クォーク模型によると、陽子と中性子は、それぞれアップクォーク u とダウンクォーク d の組合せで構成され则认为られている。 u と d の電気量は、それぞれ電気素量 e の $\frac{2}{3}$ 倍と $-\frac{1}{3}$ 倍である。陽子と中性子を構成している u と d の数の組合せとして正しいものを選びなさい。

陽子：☐ア

中性子：☐イ

☐ア、☐イの選択肢(同じものを繰り返し選択してもよい。)

	u の数	d の数
①	1	1
②	0	3
③	1	2
④	2	1
⑤	3	0
⑥	1	3
⑦	2	2
⑧	3	1
⑨	2	4
⑩	3	3
⑪	4	2

Ⅱ 水平面上の x 軸上を正の向きに直線運動する質量 m_1 、電気量 q_1 の粒子 1 が、原点に静止していた質量 m_2 、電気量 q_2 の粒子 2 に接近し、両粒子の速度が変化した。この速度が変化する過程を、以下では衝突とよぶ。衝突前の、原点からじゅうぶん離れた位置での粒子 1 の速度と運動エネルギーを、それぞれ v_1 、 K_1 として、以下の問いに答えなさい。ただし、 $q_1 q_2 > 0$ とする。

問 1 粒子 1 と 2 が最も近づいたときの粒子 1 の速度 v を求めなさい。また、このときの粒子 1 と 2 の距離 $r_{\min}$ を求めなさい。

$$v = \boxed{\text{ウ}} \quad r_{\min} = \boxed{\text{エ}}$$

$\boxed{\text{ウ}}$ の選択肢

- | | | |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| ① 0 | ② $\frac{1}{2} v_1$ | ③ v_1 |
| ④ $\frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$ | ⑤ $\frac{m_2}{m_1 + m_2} v_1$ | ⑥ $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$ |
| ⑦ $\frac{\sqrt{m_1 m_2}}{m_1 + m_2} v_1$ | ⑧ $\frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} v_1$ | |

$\boxed{\text{エ}}$ の選択肢

- | | | |
|---|---|---|
| ① 0 | ② $\frac{k_0 q_1 q_2}{K_1}$ | ③ $\frac{2 k_0 q_1 q_2}{K_1}$ |
| ④ $\frac{k_0 q_1 q_2 m_1}{(m_1 + m_2) K_1}$ | ⑤ $\frac{2 k_0 q_1 q_2 m_1}{(m_1 + m_2) K_1}$ | ⑥ $\frac{k_0 q_1 q_2 m_2}{(m_1 + m_2) K_1}$ |
| ⑦ $\frac{2 k_0 q_1 q_2 m_2}{(m_1 + m_2) K_1}$ | ⑧ $\frac{k_0 q_1 q_2 (m_1 + m_2)}{m_1 K_1}$ | ⑨ $\frac{2 k_0 q_1 q_2 (m_1 + m_2)}{m_1 K_1}$ |
| ⑩ $\frac{k_0 q_1 q_2 (m_1 + m_2)}{m_2 K_1}$ | ⑪ $\frac{2 k_0 q_1 q_2 (m_1 + m_2)}{m_2 K_1}$ | |

問 2 粒子1がアルファ粒子, 粒子2が炭素原子核 $^{12}_6\text{C}$ のとき, $r_{\min}$ が $3.2 \times 10^{-15} \text{ m}$ 以下となるための K_1 の条件を求めなさい。ただし, すべての核子の質量は統一原子質量単位に等しいものとする。 オ

オ の選択肢

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ① $1.3 \text{ MeV} \leq K_1$ | ② $1.6 \text{ MeV} \leq K_1$ | ③ $2.7 \text{ MeV} \leq K_1$ |
| ④ $3.6 \text{ MeV} \leq K_1$ | ⑤ $5.4 \text{ MeV} \leq K_1$ | ⑥ $7.2 \text{ MeV} \leq K_1$ |
| ⑦ $9.5 \text{ MeV} \leq K_1$ | ⑧ $14 \text{ MeV} \leq K_1$ | |

問 3 衝突前後の以下の量の変化を表すグラフの概略図として最も適切なものを選びなさい。ただし, グラフの横軸は時間を表し, 最初と最後の時点(グラフの両端)で, 粒子1と2はじゅうぶん離れている状態とする。

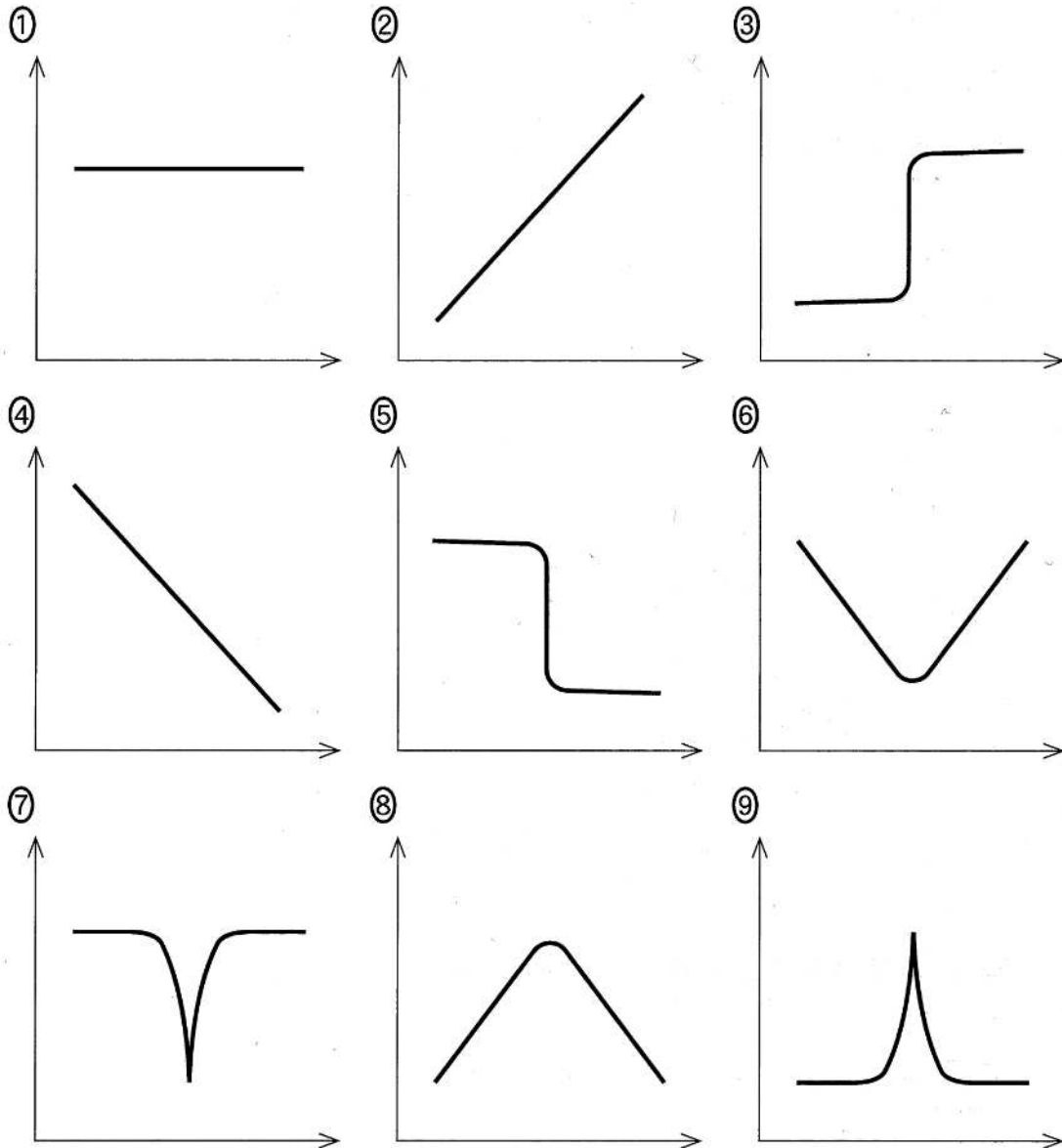
粒子1の速度 カ

粒子2の速度 キ

粒子1と2の運動エネルギーの和 ク

粒子1と2の間の距離 ケ

力 ~ ケ の選択肢 (同じものを繰り返し選択してもよい。)



Ⅲ 図1のように、大気圧 p_0 の空間に断面積 S の断熱容器がある。この容器の内部には、なめらかに動く軽いピストンと加熱用のヒーターがあり、ピストンと容器は軽いばねでつながれている。単原子分子理想気体を容器内に封じ込めたところ、初期状態として、容器内の気体の温度が T_0 、容器の底とピストンの距離が L となり、このときばねは自然長であった。次に、この気体をヒーターで加熱したところ、ピストンは容器の底との距離が $3L$ のところまでゆっくりと動いた後に静止し、気体の圧力は $3p_0$ となった。

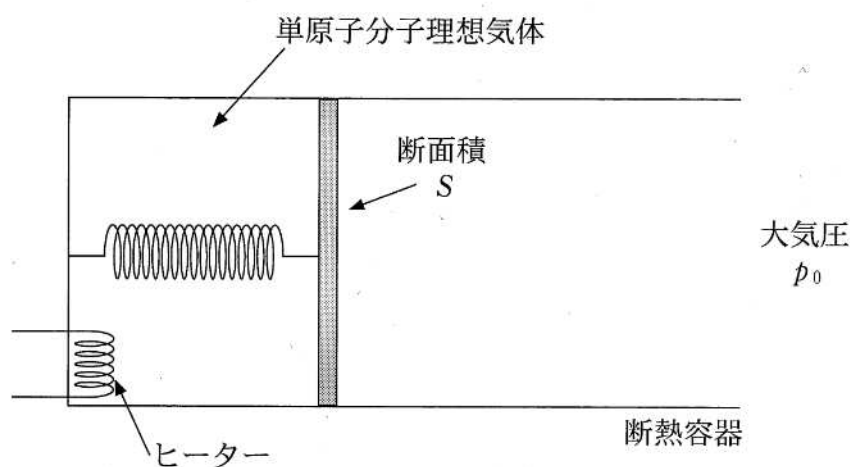


図1

問1 初期状態のときの気体の内部エネルギーを求めなさい。



☐ の選択肢

- | | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| ① $\frac{p_0 SL}{2}$ | ② $\frac{3p_0 SL}{2}$ | ③ $3p_0 SL$ | ④ $\frac{9p_0 SL}{2}$ |
| ⑤ $\frac{p_0 SLT_0}{2}$ | ⑥ $\frac{3p_0 SLT_0}{2}$ | ⑦ $3p_0 SLT_0$ | ⑧ $\frac{9p_0 SLT_0}{2}$ |

問 2 ばね定数を求めなさい。

サ

サの選択肢

- | | | | |
|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| ① $\frac{2p_0S}{3L}$ | ② $\frac{p_0S}{L}$ | ③ $\frac{3p_0S}{2L}$ | ④ $\frac{2p_0S}{L}$ |
| ⑤ $\frac{2p_0L}{3}$ | ⑥ p_0L | ⑦ $\frac{3p_0L}{2}$ | ⑧ $2p_0L$ |

問 3 ピストンが動き終わるまでに気体が外部にした仕事を求めなさい。

シ

シの選択肢

- | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ① $-8p_0SL$ | ② $-4p_0SL$ | ③ $-3p_0SL$ | ④ $-2p_0SL$ |
| ⑤ $-p_0SL$ | ⑥ 0 | ⑦ p_0SL | ⑧ $2p_0SL$ |
| ⑨ $3p_0SL$ | ⑩ $4p_0SL$ | ⑪ $8p_0SL$ | |

問 4 ピストンが動き終わったときの気体の温度を求めなさい。

ス

スの選択肢

- | | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| ① $\frac{T_0}{3}$ | ② $\frac{T_0}{2}$ | ③ T_0 | ④ $\frac{3T_0}{2}$ |
| ⑤ $2T_0$ | ⑥ $3T_0$ | ⑦ $\frac{9T_0}{2}$ | ⑧ $6T_0$ |
| ⑨ $9T_0$ | ⑩ $12T_0$ | | |

問 5 ピストンが動き終わるまでにヒーターから気体に加えられた熱量を求めなさい。

セ

セの選択肢

- | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------|-----------------------|
| ① p_0SL | ② $\frac{5p_0SL}{4}$ | ③ $2p_0SL$ | ④ $\frac{11p_0SL}{4}$ |
| ⑤ $\frac{23p_0SL}{4}$ | ⑥ $8p_0SL$ | ⑦ $12p_0SL$ | ⑧ $14p_0SL$ |
| ⑨ $15p_0SL$ | ⑩ $16p_0SL$ | ⑪ $20p_0SL$ | |

IV 図2のように、屈折率 n 、厚さ d の薄膜が屈折率 n' の平坦なガラス面上に広がっている。空気中から波長 λ の単色光が、薄膜に入射角 i で入射している。このうち $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ のように薄膜の裏面で反射した光①と、 $A' \rightarrow E \rightarrow F$ のように薄膜の表面で反射した光②について考える。ただし、2つの光は、同じ光源から出た光で、点 B 、 B' で同位相である。また、 $\angle DCE = \angle BB'E = 90^\circ$ である。空気の屈折率を1、 $n' > n > 1$ として、次の問いに答えなさい。

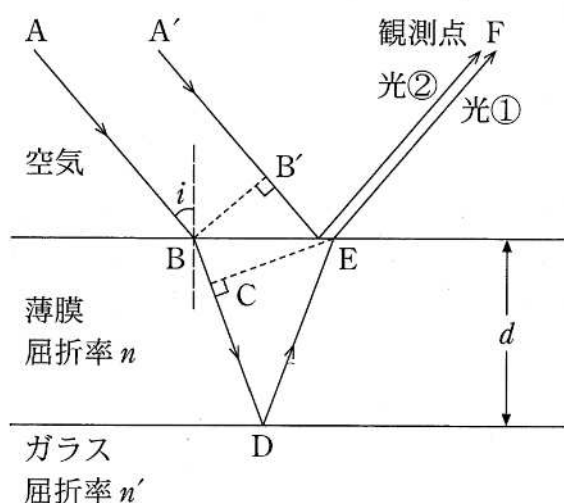


図2

問1 経路 $B' \rightarrow E$ と同じ光路長の経路を選択肢から選びなさい。

ソ

問2 光①と光②の光路差 Δl を式で表しなさい。

$\Delta l =$ タ

問3 光①が D で反射する場合と光②が E で反射する場合の位相の変化で正しいものを選びなさい。

光①が D で反射する場合： チ 光②が E で反射する場合： ツ

問4 光①と光②の干渉した光を F で観測するとき、光が最も暗くなる光路差 Δl の条件を求めなさい。ただし、 $m = 0, 1, 2, \dots$ とする。

$\Delta l =$ テ

ソの選択肢

- ① $B \rightarrow C$ ② $C \rightarrow D$ ③ $B \rightarrow D$
④ $C \rightarrow D \rightarrow E$ ⑤ $B \rightarrow D \rightarrow E$

タの選択肢

- ① $nd \sin i$ ② $nd \cos i$ ③ $nd \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}$
④ $nd \sqrt{1 - \frac{\cos^2 i}{n^2}}$ ⑤ $2nd \sin i$ ⑥ $2nd \cos i$
⑦ $2nd \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}$ ⑧ $2nd \sqrt{1 - \frac{\cos^2 i}{n^2}}$

チ, ツの選択肢(同じものを繰り返し選択してもよい。)

- ① π ずれる ② $\frac{\pi}{2}$ ずれる ③ $\frac{\pi}{3}$ ずれる
④ $\frac{\pi}{4}$ ずれる ⑤ 変化なし

テの選択肢

- ① $2m\lambda$ ② $m\lambda$ ③ $\frac{m}{2}\lambda$
④ $(m + \frac{1}{4})\lambda$ ⑤ $(m + \frac{1}{3})\lambda$ ⑥ $(m + \frac{1}{2})\lambda$

V ^{235}U の半減期を T , ^{238}U の半減期を $6T$ とする。時刻 $t = 0$ の ^{235}U の数を n , ^{238}U の数を m とし、時刻 $t = -6T$ の ^{235}U の数を n' , ^{238}U の数を m' とする。また、 $t = 0$ での m に対する n の割合は、 $\frac{n}{m} = r$ であった。次の問いに答えなさい。ただし、それぞれの原子核の数は、放射性崩壊のみで変化するものとする。

問 1 時刻 $t = 3T$ のときの ^{235}U の数は n の何倍か。

問 2 時刻 $t = 3T$ のときの ^{238}U の数は m の何倍か。

問 3 n' , m' を n , m を使って表わしなさい。

$$n' = n \times \text{ニ}$$

$$m' = m \times \text{ヌ}$$

問 4 ^{238}U の数に対する ^{235}U の数の割合が $4r$ となるときの時刻 t を求めなさい。

~ の選択肢 (同じものを繰り返し選択してもよい。)

- | | | | |
|------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| ① $\frac{1}{64}$ | ② $\frac{1}{32}$ | ③ $\frac{1}{8}$ | ④ $\frac{1}{4}$ |
| ⑤ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ | ⑥ $\frac{1}{2}$ | ⑦ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | ⑧ 1 |
| ⑨ 2 | ⑩ 8 | ⊕ 32 | ⊖ 64 |

の選択肢

- | | | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| ① $\frac{6}{5}T$ | ② $\frac{5}{6}T$ | ③ $-\frac{6}{5}T$ | ④ $-\frac{5}{6}T$ |
| ⑤ $\frac{12}{5}T$ | ⑥ $\frac{5}{12}T$ | ⑦ $-\frac{12}{5}T$ | ⑧ $-\frac{5}{12}T$ |
| ⑨ $\frac{24}{5}T$ | ⑩ $\frac{5}{24}T$ | ⊕ $-\frac{24}{5}T$ | ⊖ $-\frac{5}{24}T$ |