物　　　理

注　意

1. 問題は全部で 22 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	⓪

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らない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，空欄(1)〜(8)にあてはまる最も適切な数値，式または語句を解答群から選び，**解答用紙(その１)**の解答欄の該当する記号をマークせよ。また，(問Ａ)〜(問Ｆ)については，**解答用紙(その２)**の該当する解答欄に答を記入せよ。

図１―１のように水平面から45度だけ傾いた平坦で滑らかな斜面があり，鉛直方向上向きにy軸を，それに垂直にx軸をとる。また図のように，斜面に沿ってa軸(斜面下向きを正)，斜面に垂直にb軸(垂直上向きを正)を設ける。以下の問題では，質量mの大きさの無視できる物体がxy平面(紙面)内を運動する。また，重力加速度の大きさをgとし，紙面内のベクトル$\vec{v}$はx，y成分を用いて$\vec{v}=(v_x,\ v_y)$のように表すものとする。

Ｉ） 物体は時刻$t=0$に座標の原点Ｏから$+x$方向に速さ$V>0$で打ち出された。

(問Ａ) 打ち出された物体が初めて斜面に衝突する時刻t_1と衝突点の座標$(x_1,\ y_1)$をgとVで表せ。

(問Ｂ) 物体が斜面と衝突する直前の速度$\vec{v_1}=(v_{1x},\ v_{1y})$を$V$を用いて表せ。

物体の斜面との衝突直前の運動量は $\boxed{\quad(1)\quad}$ と表される。衝突直後の物体の速度を$\vec{w_1}$とし，衝突の瞬間，斜面が物体に及ぼす力を$\vec{F}$とする。$\vec{F}$は一定で，極めて短い時間Δtの間だけ働いたとすると，物体が斜面から受ける力積は，$\vec{F}\Delta t=$ $\boxed{\quad(2)\quad}$ と表せる。

$\vec{F}$の向きは $\boxed{\quad(3)\quad}$ であるから，$\vec{v_1}$，$\vec{w_1}$のa軸方向の成分，b軸方向の成分をそれぞれv_{1a}，v_{1b}，w_{1a}，w_{1b}とすると，衝突前後での運動量は，斜面に平行な方向では$mw_{1a}=$ $\boxed{\quad(4)\quad}$ の関係にある。

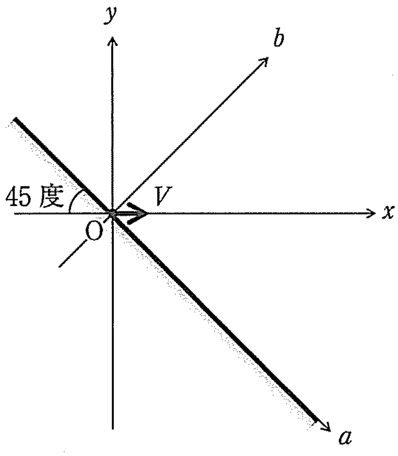

図１—１

(1), (2)の解答群

① $\dfrac{m}{2}\overrightarrow{v_1}$　② $m\overrightarrow{v_1}$　③ $\dfrac{m}{2}\overrightarrow{w_1}$

④ $m(\overrightarrow{v_1}+\overrightarrow{w_1})$　⑤ $\dfrac{m}{2}(\overrightarrow{v_1}+\overrightarrow{w_1})$　⑥ $\dfrac{m}{2}(\overrightarrow{v_1}-\overrightarrow{w_1})$

⑦ $\dfrac{m}{2}(\overrightarrow{w_1}-\overrightarrow{v_1})$　⑧ $m(\overrightarrow{w_1}-\overrightarrow{v_1})$　⑨ $m(\overrightarrow{v_1}-\overrightarrow{w_1})$

⓪ 0

(3)の解答群

① x 軸正の方向　② x 軸負の方向　③ y 軸正の方向

④ y 軸負の方向　⑤ a 軸正の方向　⑥ a 軸負の方向

⑦ b 軸正の方向　⑧ b 軸負の方向

(4), (5)の解答群

① $\frac{1}{\sqrt{2}} m v_{1b}$　② $m v_{1b}$　③ $-\frac{1}{\sqrt{2}} m v_{1b}$

④ $-m v_{1b}$　⑤ 0　⑥ $\frac{1}{\sqrt{2}} m v_{1a}$

⑦ $m v_{1a}$　⑧ $-\frac{1}{\sqrt{2}} m v_{1a}$　⑨ $-m v_{1a}$

⓪ $-\frac{1}{\sqrt{2}} (m v_{1a} + m v_{1b})$

(6), (7)の解答群

① $\frac{1}{2} (v_{1x} - v_{1y})$　② $\frac{1}{2} (v_{1x} + v_{1y})$

③ $\frac{1}{\sqrt{2}} (v_{1x} - v_{1y})$　④ $\frac{1}{\sqrt{2}} (-v_{1x} + v_{1y})$

⑤ $\frac{1}{\sqrt{3}} (-v_{1x} + v_{1y})$　⑥ $\frac{1}{2} (\sqrt{3}\, v_{1x} - v_{1y})$

⑦ $\frac{1}{2} (v_{1x} + \sqrt{3}\, v_{1y})$　⑧ $\frac{1}{\sqrt{2}} (v_{1x} + v_{1y})$

⑨ $-\frac{1}{\sqrt{2}} (v_{1x} + v_{1y})$　⓪ 0

Ⅱ）物体と斜面との衝突が弾性衝突であった場合を考える。

この場合，斜面に垂直な方向では，$mw_{1b} =$ $\boxed{(5)}$ である。

また，$\vec{v_1}$ の a，b 軸方向の成分と x，y 成分との間には $v_{1a} =$ $\boxed{(6)}$，$v_{1b} =$ $\boxed{(7)}$ という関係がある。

（問C） 上記の議論を踏まえ，1回目の衝突直後の物体の速度の a，b 軸方向の成分，w_{1a} と w_{1b} を V で表せ。

（問D） 物体が2回目に斜面に衝突する時刻 t_2 と，衝突の直前における物体の速度 $\vec{v_2} = (v_{2x},\ v_{2y})$ を計算し，答を g と V で表せ。

（問E） 時刻 t における物体の運動エネルギーを $K(t)$ とする。物体が打ち出されてから斜面と初めて衝突するまでの期間，すなわち $0 \leqq t \leqq t_1$ における $K(t)$ のグラフを**解答用紙（その2）**の図1―2に実線で描け。

（問F） 同様に，最初の衝突後，$t_1 \leqq t \leqq \dfrac{3V}{g}$ における $K(t)$ のグラフを図1―2に点線で描け。

Ⅲ）物体と斜面との衝突が非弾性衝突（反発係数 e）であった場合を考える。

この場合，1回目の衝突の直前，直後における物体の運動エネルギーを T，T' とすると，その変化分は $T' - T =$ $\boxed{(8)}$ である。

(8)の解答群

① $\frac{1}{4}e^2mV^2$	② $\frac{1}{2}e^2mV^2$
③ e^2mV^2	④ $\frac{1}{4}(1-e^2)mV^2$
⑤ $\frac{1}{2}(1-e^2)mV^2$	⑥ $\frac{1}{4}(e^2-1)mV^2$
⑦ $\frac{1}{2}(e^2-1)mV^2$	⑧ $\frac{1}{4}(e^2+1)mV^2$
⑨ $\frac{1}{2}(e^2+1)mV^2$	⓪ 0

<余　　　白>

<余　　　白>

2 以下の文章を読み，空欄(9)〜(24)にあてはまるもっとも適切な式または語句をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その1)**に記された記号をマークせよ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

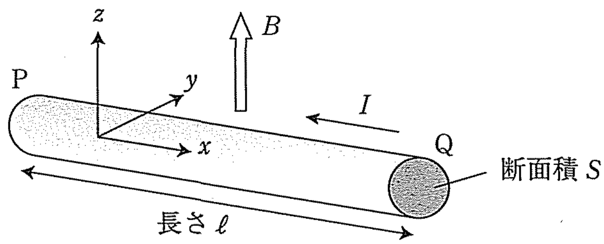

図2―1

図2―1のように，一様な磁場(磁束密度の大きさ B)の中に置かれている一様な断面積 S を持つ長さ ℓ の導体棒PQに，QからPの向きに大きさ I の電流を流す。磁場は導体棒に垂直に印加されており，導体棒と平行に x 軸を，磁場と平行に z 軸を，これらと直交するように y 軸を取る。また，電子の電荷は $-e$ (ただし $e>0$)とする。まず，速さ v で導体棒内を x 軸正の方向に運動する自由電子1個が磁場から受ける力の大きさは $\boxed{\ (9)\ }$ であり，力の向きは $\boxed{\ (10)\ }$ である。ここで，導体棒中の自由電子の数密度を n とすると，導体棒中にある自由電子の個数は $\boxed{\ (11)\ }$ である。導体棒中のすべての自由電子が速さ v で x 軸正の方向に運動していると考えると，これらの自由電子が磁場から受ける力の総和の大きさは $\boxed{\ (12)\ }$ となる。ここで，電流の大きさは単位時間当たりに導体棒の断面を通過する電荷の総量の絶対値なので，I は $\boxed{\ (13)\ }$ と与えられる。すると，$\boxed{\ (12)\ }$ の力の大きさは I を用いて $\boxed{\ (14)\ }$ と書き表わすことができる。

(9), (14)の解答群

① eB ② eIB ③ $e\ell B$ ④ evB ⑤ eSB

⑥ ℓSB ⑦ ISB ⑧ $IB\ell$ ⑨ $eIB\ell$ ⓪ $eSB\ell$

(10)の解答群

① x 軸正の方向 ② x 軸負の方向 ③ y 軸正の方向

④ y 軸負の方向 ⑤ z 軸正の方向 ⑥ z 軸負の方向

⑦ P から Q の方向 ⑧ Q から P の方向

(11), (12), (13)の解答群

① $eS\ell nB$ ② $eSIB$ ③ $eSvn$ ④ evn ⑤ $evBS\ell n$

⑥ $evBS\ell$ ⑦ evS ⑧ $evSB$ ⑨ eIB ⓪ $S\ell n$

図２―２のように，一様な磁場（磁束密度の大きさ B ）の中に置かれた十分に長い２本の導線 MN と M′N′ を間隔 ℓ だけ離して平行に並べ，それぞれの右端 N と N′ を抵抗値 R の抵抗体 R でつないだ。これらの導線はそれぞれの中ほどの点 O と O′ で折れ曲がっており，MO および M′O′ の間では地面と水平になっているが，ON および O′N′ の間では，O と O′ の直近を除いて水平面に対して角度 θ だけ傾いている。線分 OO′ はこれら２本の導線と垂直になっており，O と O′ のごく近傍の領域で導線の傾きがなめらかに変化しているとする。ON と O′N′ 上には，質量 m の導体棒が図２―２のように２本の導線に垂直に渡されている。導体棒は，導線とのなす角を直角に保ったまま導線上をなめらかに滑るものとし，導線と導体棒およびこれらの接点における抵抗は無視できるものとする。また，図のように導線の NO 部分に平行に X 軸を取り，それに直交する方向に Y 軸を取る。さらに，水平方向と鉛直方向に伸びた x 軸と y 軸を図２―２のように取る。

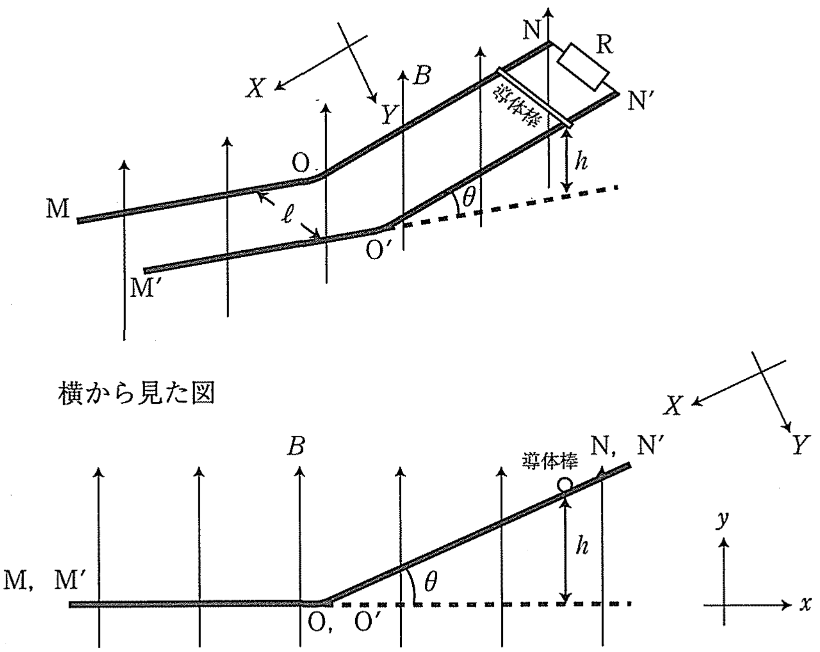

図２―２

導体棒を，導線の水平部分から高さ h の位置で静かに離すと，導体棒は滑り始める。導線が傾斜している部分で，その速さが v になった時を考える。抵抗

と２本の導線，そして導体棒で囲まれる領域を貫く磁束の大きさは，微小時間 Δt の間に $\boxed{(15)}$ $\times \Delta t$ だけ増加する。すると，導体棒には大きさ $\boxed{(16)}$ の誘導起電力が生じ，レンツの法則により磁束の変化を妨げる向きに，大きさ $\boxed{(17)}$ の電流が流れる。その結果，導体棒は磁場により力を受けるが，その大きさは $f =$ $\boxed{(18)}$ で，向きは $\boxed{(19)}$ となる。この力の X 軸方向成分は，符号まで考えると $\boxed{(20)}$ となる。重力の斜面に沿った成分も考え，導体棒の加速度の X 軸方向成分を a とすると，導体棒の X 軸方向の運動方程式は，f を用いて $ma =$ $\boxed{(21)}$ と与えられる。この方程式から，速さ v が十分大きくなると，導体棒は減速され，導線の傾斜部が十分に長ければ，一定の速さ v_1 になることが分かる。運動方程式で $a = 0$ とおき，$f =$ $\boxed{(18)}$ より，この一定の速さ v_1 は $\boxed{(22)}$ となる。

一定の速さ v_1 に達した導体棒はＯとＯ′を通過し，導線の水平部分を減速しながらしばらく滑った後に停止した。導体棒が最初に持っていた位置エネルギーは，運動エネルギーと抵抗 R でのジュール熱に変化する。抵抗 R では，導体棒が動き始めからＯとＯ′に到達する時点までに $\boxed{(23)}$ だけのジュール熱が発生し，動き始めから導体棒が水平部分で停止するまでに $\boxed{(24)}$ だけのジュール熱が発生した。

(15)，(16)の解答群

① $Bv\ell \sin\theta$　② $B^2v\ell^2 \sin\theta$　③ $\dfrac{Bv}{\ell}\sin\theta$　④ $\dfrac{B\ell}{v}\sin\theta$

⑤ $Bv\ell^2 \sin\theta$　⑥ $Bv\ell \cos\theta$　⑦ $B^2v\ell^2 \cos\theta$　⑧ $\dfrac{Bv}{\ell}\cos\theta$

⑨ $\dfrac{B\ell}{v}\cos\theta$　⓪ $\dfrac{v\ell}{B}\cos\theta$

(17)，(18)の解答群

① $Bv\ell \sin\theta$　② $Bv\ell \cos\theta$　③ $\dfrac{Bv\ell}{R}\cos\theta$　④ $\dfrac{Bv\ell}{R}\sin\theta$

⑤ $\dfrac{Bv}{\ell R}\cos\theta$　⑥ $\dfrac{B^2v\ell}{R}\cos\theta$　⑦ $\dfrac{B^2v\ell}{R}\sin\theta$　⑧ $\dfrac{B^2v\ell^2}{R}\cos\theta$

⑨ $\dfrac{B^2v\ell^2}{R}\sin\theta$　⓪ $\dfrac{Bv}{\ell R}\sin\theta$

⒆の解答群

① x 軸正の方向　② x 軸負の方向　③ y 軸正の方向

④ y 軸負の方向　⑤ X 軸正の方向　⑥ X 軸負の方向

⑦ Y 軸正の方向　⑧ Y 軸負の方向

⒇の解答群

① f　② $-f$　③ $f\cos^2\theta$　④ $-f\cos^2\theta$

⑤ $f\cos\theta$　⑥ $-f\cos\theta$　⑦ $f\sin\theta$　⑧ $-f\sin\theta$

(21)の解答群

① $mg\cos\theta+f$　② $mg\cos\theta-f$　③ $mg\sin\theta+f\cos^2\theta$

④ $mg\sin\theta-f\cos^2\theta$　⑤ $mg\sin\theta+f\cos\theta$　⑥ $mg\sin\theta-f\cos\theta$

⑦ $mg\cos\theta+f\sin\theta$　⑧ $mg\cos\theta-f\sin\theta$

(22)の解答群

① $\dfrac{mgR\sin\theta}{B^2\ell^2\cos\theta}$　② $\dfrac{mgR\cos\theta}{B^2\ell^2\sin\theta}$　③ $\dfrac{mgR\sin\theta}{B\ell\cos^2\theta}$　④ $\dfrac{mgR\cos\theta}{B\ell\sin^2\theta}$

⑤ $\dfrac{mgR\cos\theta}{B\ell^2\sin^2\theta}$　⑥ $\dfrac{mgR\sin\theta}{B^2\ell\cos^2\theta}$　⑦ $\dfrac{mgR\cos\theta}{B^2\ell\sin^2\theta}$　⑧ $\dfrac{mgR\sin\theta}{B^2\ell^2\cos^2\theta}$

⑨ $\dfrac{mgR\cos\theta}{B^2\ell^2\sin^2\theta}$　⓪ $\dfrac{mgR\sin\theta}{B\ell^2\cos^2\theta}$

(23)，(24)の解答群

① $\dfrac{1}{2}mv_1{}^2$　② mgh　③ $mgh-\dfrac{1}{2}mv_1{}^2$

④ $mgh+\dfrac{1}{2}mv_1{}^2$　⑤ $\dfrac{1}{2}mv_1{}^2-mgh$　⑥ $mgh-Bv_1\ell\cos\theta$

⑦ $mgh-\dfrac{B\ell}{v_1}\cos\theta$　⑧ $\dfrac{v_1\ell}{B}\cos\theta-mgh$

<余　　　白>

＜余　　　白＞

＜余　　　白＞

3 以下の文章を読み，空欄(25)〜(34)にあてはまる最も適切な式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。また，空欄(ア)〜(エ)にあてはまる最も適切な式をそれぞれ**解答用紙（その３）**の該当する欄に記述せよ。ここで R は気体定数とする。

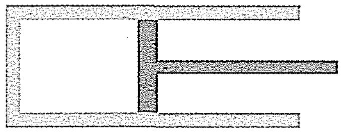

図３―１

Ⅰ．図３―１のように，なめらかに動くピストンをもつシリンダーの中に体積 V_0，圧力 P_0，温度 T_0 の単原子分子からなる理想気体が入っていた。温度 T_0を一定に保ちながらピストンをひき，体積を V_0 から２倍にしたら圧力は $\boxed{(25)}$ 倍になった。次に気体の温度を一定に保ちながら，ピストンをもとの状態に戻し，固定して，体積 V_0 を一定に保ちながら気体の絶対温度を２倍にしたら，圧力は $\boxed{(26)}$ 倍となった。

(25)，(26)の解答群

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{2}$　③ 1　④ 2　⑤ 4　⑥ 0

次にボイル・シャルルの法則をみたす理想気体の状態方程式について考える。物質量 n〔mol〕の理想気体は状態方程式 $\boxed{(27)}$ をみたす。温度 T を 0℃（273 K），圧力 P を１気圧（1.0×10^5 Pa）の標準状態では，1 mol の気体の体積 V が 22.4 L であるので，R の単位を $\boxed{(28)}$ とした場合，その R の値は $\boxed{(29)}$ となる。これより，図３―１のシリンダー内が標準状態で，体積 V_0 が 4.48 L である場合は，シリンダー内の物質量は $\boxed{(30)}$ mol であることがわかる。

(27)の解答群

① $P = \frac{2nRT}{3}$　② $\frac{P}{V} = \frac{2nRT}{3}$　③ $P = nRT$

④ $PV = nRT$　⑤ $PVT = nR$　⑥ $\frac{P}{V} = nRT$

(28)の解答群

① N/K　　② N/(mol·K)　　③ N/(mol·m^2)

④ J/(g·K)　　⑤ J/K　　⑥ J/(mol·K)

(29)の解答群

① 8.2　② 1.4　③ 6.0　④ 9.8　⑤ 2.2　⑥ 1.6

(30)の解答群

① 0.20　② 0.25　③ 0.50　④ 2.00　⑤ 4.00　⑥ 5.00

Ⅱ．次に n〔mol〕の単原子分子の理想気体の入っているピストン内の様々な気体の状態（A～E）とそれらの間の変化の過程を矢印で図3－2にしめす。状態Aでは体積 V_1〔m^3〕，圧力 P_1〔N/m^2〕，温度 T_1〔K〕である。また，状態変化A→C（過程Ⅰ）において，シリンダー内の温度は一定に保たれている。状態変化A→D（過程Ⅱ）においては，シリンダー内と外部との熱のやりとりはなく（断熱変化），状態Dにおける圧力は P_2〔N/m^2〕である。図3－2に矢印でしめす状態変化の中で，気体が熱を吸収する過程をすべてえらぶと $\boxed{(31)}$ である。また，外部に正の仕事をする過程をすべてえらぶと，$\boxed{(32)}$ であるが，その中で最大の仕事をする過程は $\boxed{(33)}$ であり，その仕事は $\boxed{(34)}$ である。

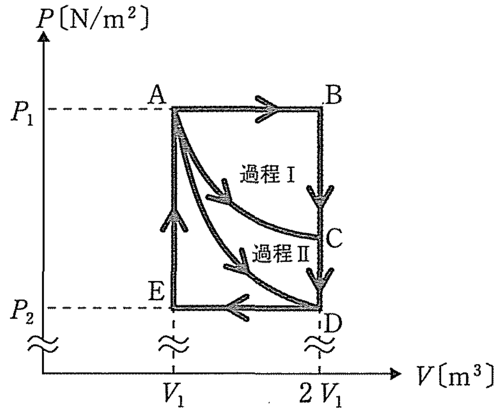

図3－2

(31)，(32)の解答群

① A→B，A→C，A→D
② A→B，A→C，E→A
③ A→B，E→A，A→D
④ A→C，A→D，B→C，C→D
⑤ D→E，E→A
⑥ B→C，C→D

(33)の解答群

① A→B　② A→C　③ A→D　④ B→C
⑤ B→D　⑥ D→E　⑦ E→A

(34)の解答群

① P_1V_1　　② $2P_1V_1$　　③ P_2V_1

④ $2P_2V_1$　　⑤ $\dfrac{3nRT_1}{2}$　　⑥ $\dfrac{5nRT_1}{2}$

次にA→D→E→Aの状態のサイクルについて考える。T_1，P_1，P_2をもちいると状態Dの温度は $\boxed{\text{(ア)}}$ ，状態Eの温度は $\boxed{\text{(イ)}}$ となる。また，状態変化A→Dにおける内部エネルギーの変化量はV_1，P_1，P_2をもちいると $\boxed{\text{(ウ)}}$ となる。この状態変化A→Dは断熱変化であることから，気体の内部エネルギーの変化の大きさと気体が外にした仕事の大きさは等しくなる。このサイクルを熱機関とみなした場合の熱効率(高温の熱源から与えられた熱量に対する外部にした正味の仕事の割合)はP_1とP_2をもちいると $\boxed{\text{(エ)}}$ となる。

<余　　　白>

<余　　　白>

＜余　　　白＞

<余　　　白>