Ⅲ　次の文章を読み，$\boxed{\text{い}}$ ～ $\boxed{\text{り}}$ に適切な数式または数値を解答欄に記入せよ。また，$\boxed{\text{A}}$ ～ $\boxed{\text{D}}$ には指定された選択肢からもっとも適切なものを一つ選び，解答欄にマークせよ。$\boxed{\text{い}}$ ～ $\boxed{\text{り}}$ **の解答欄に記入する数式には，文字定数として** <u>$r$, $m$, $N_A$, $T$, $v$, $\theta$</u> **のみを用いること。**円周率が必要な場合には $\pi$ を用いよ。なお，$\boxed{\phantom{い}}$ は，すでに $\boxed{\phantom{い}}$ で与えられたものと同じものを表す。

図のように，半径 $r$ [m] の球形の容器の中に，1 mol の単原子分子からなる気体が封入されている。容器は膨張または収縮でき，容器の内側の圧力は外側の圧力と等しいものとする。また，容器の壁の厚さは無視できる。気体は理想気体とみなせるものとし，気体分子はすべて質量 $m$ [kg] をもった質点であり，分子間の衝突は考えなくてよい。気体分子は容器の内壁と弾性衝突をするものとし，重力の影響は無視できる。絶対温度を $T$ [K] とし，アボガドロ定数を $N_A$ [/mol]，ボルツマン定数を $k_B$ [J/K] とする。

〔1〕 速さ $v$ [m/s] をもつ1個の気体分子を考えよう。図のように，分子が容器の内壁に入射角 $\theta$ で入射する場合を考える。分子は壁と弾性衝突をするので，衝突後の速さも $v$ [m/s] である。分子は，内壁から球の中心方向へのみ力積を受け，接線方向には力積を受けないので，反射角も $\theta$ となる。よって，この1回の衝突で分子が内壁から受ける力積の大きさは $\boxed{\text{い}}$ [N·s] である。分子が内壁と次に衝突するのは，直前の衝突から $\boxed{\text{ろ}}$ [s] 後であり，さらに幾何学的考察から，その次以降の衝突までの時間間隔も $\boxed{\text{ろ}}$ [s] であることがわかる。したがって，単位時間（1 s の間）にこの1個の分子が内壁に及ぼす平均の力の大きさは $\boxed{\text{は}}$ [N] である。

容器内の気体には，速度の異なる多数の分子が含まれる。分子の2乗平均速度を $\sqrt{\overline{v^2}}$ と表すことにすると，この容器内の<u>1 mol の理想気体が</u>内壁におよぼす圧力 $p$ は，$\boxed{\text{に}}$ $\times\ \overline{v^2}$ [Pa] と表される。

〔2〕　1 mol の理想気体の状態方程式と，前問で求めた圧力 $p=$ $\boxed{\text{に}}$ $\times\ \overline{v^2}$ とを比較することにより，気体分子1個あたりの平均運動エネルギーが $\boxed{\text{ほ}}$ $\times\ k_B T$ [J] に等しいことが導かれる。よって，1 mol の理想気体の内部エネルギーは $\boxed{\text{へ}}$ $\times\ k_B T$ [J] と表される。

〔3〕　次に，圧力一定のもとでの理想気体の熱膨張を考えよう。圧力一定のもとで，温度が $\Delta T$ [K] だけ上昇したときに，気体の体積が $\Delta V$ [m$^3$] だけ増加したとする。ただし，$\Delta V$ は容器全体の容積よりもずっと小さいものとする。体積 $V$ [m$^3$] をもつ物体の熱膨張は，次の体積熱膨張率 $\alpha$ [/K] という量によって特徴付けられる。

$$\alpha=\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}$$

理想気体の場合には，状態方程式より $\alpha=$ $\boxed{\text{と}}$ と表される。

以下では，必要であれば，$|x|\ll 1$ のとき成り立つ近似 $(1+x)^n \fallingdotseq 1+nx$（$n$ は実数）を用いよ。

〔4〕　気体の熱膨張によって，球形の容器の半径が $\Delta r$（ただし，$\Delta r \ll r$）だけ増加したとすると，気体の体積 $V+\Delta V$ は半径 $r+\Delta r$ の球の体積に等しいことより，近似的に $\Delta V \fallingdotseq$ $\boxed{\text{ち}}$ $\times\ \Delta r$ であり，$\dfrac{\Delta r}{r}=$ $\boxed{\text{り}}$ $\times\ \alpha\Delta T$ と表される。

$\alpha$ の値が $2.50\times10^{-3}$ /K で一定値であるとみなせるとき，外部から熱量を加えて，容器内部の 1.00 mol の気体の温度を 6.00 K 上昇させると，半径 20.0 cm の容器の半径は $\boxed{\text{A}}$ mm だけ増加する。$N_A=6.02\times10^{23}$ /mol，$k_B=1.38\times10^{-23}$ J/K とすると，この過程では，気体の内部エネルギーの増加が $\boxed{\text{B}}$ J，熱膨張する気体が外部にする仕事が $\boxed{\text{C}}$ J，外部から気体に加えるべき熱量が $\boxed{\text{D}}$ J と計算される。