'03　信州大学

次の文章の空欄を適当な数式，文字式，あるいは語句などで埋めて文章を完成させよ。

理想気体で近似できる気体分子1モルが一辺の長さL，体積$V(=L^3)$の立方体の容器に閉じこめられている。分子1個の質量をmとする。気体の圧力Pは，状態方程式$PV=RT$を使って，気体の絶対温度Tから計算できる。気体定数RはN_Akと書き表すことができる。ここで，kは $\boxed{\text{ア}}$ と呼ばれる定数であり，アボガドロ数N_Aは $\boxed{\text{イ}}$ の数値をもつ量である(答えは有効数字1桁でよい)。

立方体容器の直交する3辺に平行にx，y，z軸をとり，ある1個の分子がx軸に垂直な壁面に衝突し，はねかえされる過程を考えよう。この分子のx軸方向の速度成分をv_xとすると，分子がx軸に垂直な2つの壁面の間を往復する時間は $\boxed{\text{ウ}}$ である(壁との衝突ではv_xの大きさは変化せず，また，分子どうしの衝突の効果は無視してよい)。分子が壁と衝突する前後の運動量の変化，すなわち力積の大きさは $\boxed{\text{エ}}$ であるから，圧力Pへのこの分子の寄与は $\boxed{\text{オ}}$ と計算できる。N_A個の分子による圧力を求めるためには，分子の速度について平均値を用いる必要がある。分子の速度の大きさの2乗平均$\overline{v^2}$を用いると，分子1個の運動エネルギーの平均値Eは $\boxed{\text{カ}}$ である。$\overline{v^2}$は各速度成分の2乗平均の和$\overline{{v_x}^2}+\overline{{v_y}^2}+\overline{{v_z}^2}$に等しい。各分子はどの方向に対しても同等にふるまうから，$\overline{{v_x}^2}=\boxed{\text{キ}}\times\overline{v^2}$の関係式が成立する。これらの結果を考慮して，1モルの気体の圧力PはEを用いて $\boxed{\text{ク}}$ と書くことができる。状態方程式から直接導いた$P=\dfrac{RT}{V}$と $\boxed{\text{ク}}$ を比較すると，絶対温度Tでの1モルの理想気体の内部エネルギーは$N_AE=\boxed{\text{ケ}}$と計算できる。熱平衡状態では各粒子の運動の自由度ごとに $\boxed{\text{コ}}$ ずつ均等に，エネルギーが分配されている。単位体積あたりの内部エネルギー$U=\dfrac{N_AE}{V}$を用いて表すと，圧力は$P=\boxed{\text{サ}}$と書くことができる。

光は$P=\dfrac{1}{3}U$の圧力を及ぼすことが知られている。光を粒子とみなし，上の理想気体の場合と同様な考察をして，光の粒子すなわち光子1個のエネルギーがE_0であるときに光子がもつ運動量の大きさp_0を導いてみよう。ただし，光子の速度の大きさは一定値cをとること，運動量のx成分p_xは速度のx成分c_xを使って$p_x=p_0\cdot\dfrac{c_x}{c}$で与えられることを使う。壁との衝突による運動量の変化を求めてみると，圧力への光子1個の寄与が $\boxed{\text{シ}}$ となることがわかる。光子の数をN個として，N個の光子全体による圧力を$P=\dfrac{1}{3}U=\dfrac{1}{3}\dfrac{NE_0}{V}$と比較すると，光子のエネルギー$E_0$と運動量$p_0$との間に成り立つ関係式 $\boxed{\text{ス}}$ が導かれる。光子のエネルギーE_0が振動数に比例するとすれば，運動量p_0は $\boxed{\text{セ}}$ の逆数に比例することになる。この比例関係における比例定数は $\boxed{\text{ソ}}$ と呼ばれる。