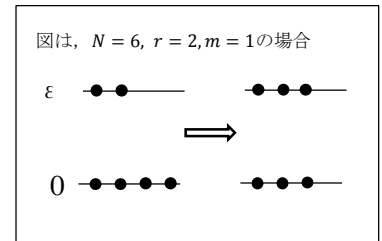


1. 人間の発熱は約 100W (1 W = 1 J/s)である. 以下の間に有効数字 2 桁で答えよ.

- ① 人体から 1 分間に放出される熱エネルギー ΔQ はどれだけか.
- ② この熱が外気に触れている皮膚から逃げ出すものとし, その皮膚の温度を 33°C , 外気温を 27°C とする. 1 分間で外界はどれだけのエントロピーの変化があるか. ヒント: $\Delta S = \frac{4Q}{T}$.
- ③ 1 分間, 息もせず, 何も食わず, トイレにも行かないとする (物質の流入出がない). この間に人体のマクロ状態 (体温, 体重, 体積など) は (熱を奪われたのに) 変化しなかった. この 1 分間の人体のエントロピーの変化について考察せよ.

2. ある原子は 2 準位系 (2 つのエネルギー状態しかない) である: 下のエネルギー準位のエネルギーが 0, 上のエネルギー準位のエネルギーが ε . この原子 N 個 (一定とする) からなる物体の内部エネルギーが $E(r) = r\varepsilon$ となるミクロな配置の数を $W(r)$ と書く.



- ① $W(r)$ を N と r で表せ.
- ② 内部エネルギーがどのような値のときに $W(r)$ が最大となるか, その内部エネルギー E を N と ε で表せ. ただし, N は非常に大きく $N \approx N \pm 1$ が成り立つとしてよい.
- ③ (②とは無関係に) 上準位の分布 r が m だけ変化して $r + m$ となったとき, 次の問いに答えよ.
 - (i) 内部エネルギーの変化 ΔE を m を用いて表せ.
 - (ii) $m \ll r < N$ のとき, $\Delta \log W \equiv \log W(r + m) - \log W(r)$ を計算し, 上準位にある原子の数 $N_u = r$ と下準位にある原子の数 N_ℓ の比の対数 $m \log \frac{N_\ell}{N_u}$ を用いて $\Delta \log W$ を表せ.
 ヒント: $m \ll r$ という条件から $(r + m)(r + m - 1) \cdots (r + 1) \approx r^m$, $m \ll N$ からも同様.
 - (iii) この物体が温度 T で熱エネルギー ΔE を吸収した. 上の各小問の結果を用い, エントロピーのマクロ的な定義 $\Delta S = \frac{\Delta E}{T}$ とミクロ的な定義 $\Delta S = k \Delta \log W$ を連立して, $\frac{N_u}{N_\ell} = e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}$ という関係を導け. ここで k はボルツマン定数である.