

セピオライト中に吸着したヘリウムの運動状態

北海道大学 理学研究科 物理学専攻 宮本 悟

§1 序論 我々は、Restricted Geometry下のHeの物性に興味を持ち、とくにゼオライト空孔中に吸着されたHeの研究を行ってきた。ゼオライトの空孔というのは、空孔径が5~13Åであり、Heの原子と比べて高だか数倍程度の大きさしかない。そのような小さな穴の中に入っているHe原子の運動は、普通の液体Heの場合と比べてどのように異なっているか、はたして液体や気体として振舞うことが可能であるか、さらに超流動などの量子効果が観測されるだろうかというのがもっとも興味ある点である。

セピオライトの空孔は、1次元的にまっすぐ伸びた空孔であり、しかも内壁が平坦である。さらにカチオンなどの空孔中でのHeの運動を妨げるものはなくこれらの特徴は、空孔の次元性などの影響をみるには非常に好都合であると思われる。今回は、このセピオライトの空孔中に吸着したHeについて主に0.1~15Kまでの比熱、15~30Kまでの等量吸着熱測定を行なった。

§2 結果・考察 ここでは主にatoms/unitcell以下の希薄な領域について考える。図2に等量吸着熱及び比熱の結果から計算された³He、⁴HeのT=0Kでのモル微分内部エネルギーの吸着量依存性を示す。図2から³Heと⁴Heの差はatoms/unitcellの付近で100J/mol程度になっている。HeはT=0Kであるから基底状態に近いと考えられる。したがって0Kでのモル微分内部エネルギーは、基盤からのポテンシャルと零点エネルギーの和からなっている。基盤からのポテンシャルは、電子構造が同一であることから³Heと⁴Heの差はない。したがって、このモル微分内部エネルギーの差は、³Heと⁴Heの質量の違いによる零点エネルギーの違いによるものと考えられる。そこでセピオライトの1次元的空孔では、どのくらいの³Heと⁴Heの零点エネルギーの差が期待できるかを無限に深い井戸型ポテンシャルのモデルを使って計算した。セピオライトの空孔の大きさは、図1に示した様にa軸方向に3.6Å、b軸に10.6ÅでありHeの運動の可動範囲はa軸方向にもっとも強く制限されている。そこでまずa軸方向の運動の零点エネルギーを見積もると式 $E_0 = h^2 / 8mL^2$ (L=1.2Å; 井戸の幅、 E_0 : 零点エネルギー、Heのハードコア=2.5Å) から $E_{03} - E_{04} = 115 \text{ J/mol}$ (E_{03} , E_{04} : ³He、⁴Heの零点エネルギー) となり実験の結果に近い値が得られる。つまり実験から得られた³Heと⁴Heの差100J/molは、そのほとんどがa軸方向の運動が制限される事によってもたらされたと考えられる。同じポテンシャル中でのa軸方向の運動の比熱に対する寄与を見積もると第1励起エネルギーは、1000J/mol(130K)余りになり15K以下の温度範囲ではほとんど寄与しない。すなわちこの実験で測定された比熱(15K以下)はb、c軸方向の運動のみの寄与からなっていると考えられる。

次にb、c軸方向の運動を考える。b軸方向の運動は、b軸に垂直な壁からのvan der Waals力によって支配されている。そこでb軸方向の空孔内のポテンシャルの相対的な変化を、間隔が10.6Åである2つのslab間のポテンシャルとして考える。(間隔10.6Å)このポテンシャルは、壁際に2つの谷を持つダブルウェルポテンシャルでありこの谷の深さは他の実験との比較から約1KJ/mol以上と予想される。この2つの谷の間の障壁の高さは、谷の底からほとんど1000J/molありこの谷の中でHeは振動することが期待される。この振動のエネルギーレベルの間隔 Δ は $\Delta \sim (\pi \hbar)^2 / m \sigma^2$ (σ : 振動の幅)から5~30K程度(2< σ <5Å)となり15Kの温度では $R \sim R/2$ の大きさになる。比熱からb軸からの寄与を差し引いた残りのc軸方向の寄与はR/2程度となる。したがってc軸方向の運動は1次元的なガスとして振舞うことが期待される。一方低温の比熱は1K程度の低温でも12J/K·molという大きな値を持ち、He原子が空孔中を局在することなしに自由に運動している事を示唆している。

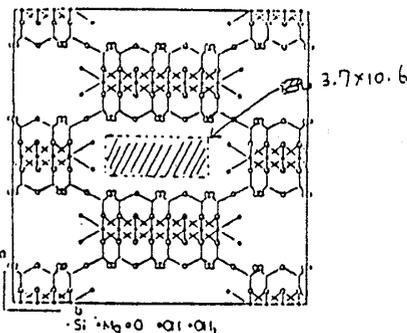


図1 セピオライトの構造

