

NMR studies of phase transitions in glass alkali-metal cells

Univ. of Hyogo, Princeton Univ.^A K. Ishikawa, B. Patton^A, Y.-Y. Jau^A, and W. Happer^A

アルカリ金属を封入したガラスセルは、古くから原子物理研究で使われる。最近では、GPS原子時計、原子磁束計、核スピン偏極希ガスレーザーなど精密計測で多用される。その際、電子・核スピン偏極の壁における緩和を抑えることが重要であるが、その緩和機構と経年変化は明らかでない。そこで、化学反応が進行するガラスセル内の金属の状態を明らかにし、スピン緩和機構を調べることを目的とし、ガラス面上のアルカリ金属を高磁場NMR計測し、⁸⁷Rbと¹³³Cs金属の相転移を観測した。

実験では、磁場9.4 Tにおける金属のNMR信号を観測した。共鳴周波数は131 MHz (⁸⁷Rb)、53 MHz (¹³³Cs)である。表皮効果のため高周波磁場が金属に浸透する厚さは、室温でそれぞれ、15 μm 、30 μm である。これは、ガラス表面の金属を観測するのに都合がよい。金属内の核スピンは、伝導電子による揺動により緩和時間が短く(Korringa scattering)、 $T_1 \approx T_2 = 0.2 \text{ ms}$ (⁸⁷Rb)、0.45 ms (¹³³Cs)である。そのため、共鳴線幅が広く、検出感度は数千回の平均で 10^{19} 個程度の原子になる。金属内のNMR共鳴周波数は、やはり伝導電子の影響を受ける(Knight shift)。高磁場で観測したので、固体と液体の共鳴線は十分に分解でき、実際に光学実験に使用するガラス容器内のアルカリ金属の状態を調べるのに、NMR計測が適していることがわかる。

温度変化させてNMRスペクトルを観測すると、固体と液体の共鳴以外に2種類の共鳴線が現れることがある。一方の線は亜酸化物(suboxide)であり、蒸留により除去可能なことを確認した。しかし、もう一方は、清浄にするほど現れるように見える。また、過冷却液体も観測され、金属粒のサイズ分布を反映していると思われるが、過冷却の物理を特定できていない。

Csセルなどでは、室温で金属が液体であるセルを経験することがあり、大気中に放置された金属からの類推で、セル内で金属が酸化されていると評されることが多い。しかし実際には、酸化物以外に、数日以上継続する過冷却や、ガラスセル内の化学反応によると思われる不純物が液体の原因となることがわかった。