

Elastic Anomaly of Adsorbed Films

February 2019

Takahiko Makiuchi

報告番号	㊦ 乙 第 号	氏 名	卷内 崇彦
<p>主論文題名： Elastic Anomaly of Adsorbed Films (吸着薄膜の弾性異常)</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>分子の吸着は身の回りの到るところで起きている現象であり、工業や基礎科学において重要な役割を担う。固体表面に吸着した数層の分子薄膜には、バルクに存在しない様々な創発相が現れる。本博士論文では、多孔質ガラス基板に吸着したヘリウム、ネオン、水素薄膜に対するねじれ振り子法を用いた一連の弾性測定について報告する。</p> <p>古典的描像では、吸着薄膜は基板からの van der Waals 引力により十分低い温度で局在し、固化する。ヘリウム薄膜は重要な例外であり、ゼロ点振動エネルギーと弱い原子間相互作用により超流動になる。固体基板上に吸着した数原子層の ^4He 薄膜は、吸着量(密度)が2原子層程度の臨界値を超えると超流動になるが、臨界吸着量より薄い膜は低温で局在相にある。この局在相がどのような多体状態にあるかは古くから関心が持たれており、過去にはボースグラス状態の可能性が提案されていた。ヘリウム以外の分子薄膜に対しては極低温での研究が殆どないため、基底状態および有限温度の状態やその相転移については判っていない。</p> <p>局在相では弾性が本質的な物理的性質であるが、これまで薄膜の弾性定数を直接測定する方法はなかった。本研究ではねじれ振り子を用いた弾性定数の直接測定を行い、ボース粒子である ^4He とフェルミ粒子である ^3He の両方で、我々が弾性異常と呼んでいる異常な弾性の振る舞いを発見した。弾性異常では、弾性定数が低温で散逸を伴って増大する。これは局在したバンドから空間的に広がったバンドへの原子の熱的励起と緩和プロセスにより説明できる。^4He、^3He 薄膜はモット絶縁体やモットグラスの一種であるギャップの開いた圧縮性の局在状態にあり、吸着量を増やすとギャップが閉じて量子相転移を起こすことが明らかになった。この弾性異常がヘリウム薄膜の量子相転移に特有の現象であるか否かを調べるため、より量子性の弱いネオンと、多様な同位体を有する水素分子 (H_2, HD, D_2) 薄膜で同様の実験を行った。ネオン薄膜は約 5 K で弾性異常を示し、量子相転移を起こさないことが明らかになった。さらにボース粒子の H_2, D_2、フェルミ粒子の HD においても弾性異常を観測した。ヘリウムやネオンとは異なり、水素では 1-10 K にある複数の温度域に弾性異常が現れた。これは水素の量子性と薄膜表面の拡散に起因すると考えられる。以上の通り調べた全ての薄膜で弾性異常を発見したことは、弾性異常があらゆる吸着薄膜に普遍的な現象であることを示唆する。</p>			

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. *Office use only	Name	MAKIUCHI, Takahiko
Thesis Title Elastic Anomaly of Adsorbed Films			
Thesis Summary <p>Adsorption of molecule is a ubiquitous phenomenon which plays important roles both in industry and in basic science. A few layers of molecular films adsorbed on a solid surface provide a variety of emergent phases that are not present in the bulk. This thesis presents a series of elasticity measurements for helium, neon, and hydrogen films adsorbed on a porous glass substrate by means of torsional oscillator technique.</p> <p>In a classical picture, adsorbed films are bound to the substrate and freezes at sufficiently low temperatures due to van der Waals attraction from the substrate. An important exception is helium film, which becomes superfluid due to large zero-point energy and weak interatomic interaction. A few atomic layers of ^4He film adsorbed on a solid substrate exhibit superfluidity when the film coverage (density) exceeds a critical value, which is typically 2 atomic layers. The ^4He film thinner than the critical coverage is in a localized phase at low temperature. It has attracted attentions in what many-body state the localized phase is, and a possibility of Bose glass had been proposed. The low temperature properties of other molecular films are less investigated, and the phases of the ground state and at finite temperature, and the phase transitions were not elucidated.</p> <p>The elasticity is an essential physical property in localized phases, but there was no method to directly measure the elastic constant of adsorbed films. I have made direct measurements of elastic constant by a torsional oscillator and discovered an anomalous elastic behavior in both bosonic ^4He and fermionic ^3He films, which we call an elastic anomaly. In the elastic anomaly, the elastic constant increases at low temperatures with an excess dissipation, which is explained by thermal activation of atoms from the localized to spatially-extended band and a relaxation process. Helium films are in a gapped and compressible state, which is a sort of Mott insulator or Mott glass, and exhibit a quantum phase transition together with gap closure by increasing the coverage. To examine whether the elastic anomaly is intrinsic to the QPT of helium films or not, I conducted similar experiments for neon, a less quantum noble gas, and hydrogen isotopes H_2, HD, and D_2. Neon film shows the elastic anomaly at about 5 K, and does not show quantum phase transition. I also observed the elastic anomaly in bosonic (H_2 and D_2) and fermionic (HD) hydrogen films. Unlike helium and neon, hydrogen films show multiple elastic anomalies at several temperature ranges in 1–10 K. They may originate from the quantum properties and the surface diffusion in molecular hydrogen films. Thus, I discovered the elastic anomaly in every film examined. This fact suggests that the elastic anomaly is a universal phenomenon in adsorbed molecular films.</p>			