

Title	有限温度における自発的物理現象の独自の雑音除去を用いた高精度測定とその理論解析
Sub Title	High precision measurements of spontaneous fluctuations at finite temperatures using original noise reduction and their theoretical analysis
Author	青木, 健一郎(Aoki, Kenichiro)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2023
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2022. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>本研究の目的は原子，分子レベルでの有限温度における自発的な原子，分子スケールでの揺らぎの高精度測定を行い，その性質を理論解析することでした．2022年度は三井隆久氏（医学部）と共同研究を行い，アルコール，水，メタノール等の液体，またさらにその液体に塩，砂糖等を加えた水溶液の自発的な揺らぎを透過光強度の変動を通じて測定し，解析しました．塩水の例でわかるように，これら液体は透明で，自発的揺らぎの信号は非常に微弱です．特に散乱雑音とよばれる量子統計的な光の揺らぎが必然的に生じ，多くの場合に対象の揺らぎより桁違いに大きいです．我々は独自に開発した雑音除去法を用いて，散乱雑音を含めた雑音を3桁以上減少させることにより，揺らぎスペクトルの高密度測定を達成しました．</p> <p>測定された揺らぎスペクトルを理論解析し，混合液内の分子の運動と温度揺らぎから構成されていることを明らかにしました．液体中では異なる分子やイオンが運動する場合には，非一様性が生じて光の散乱を生じさせ，透過光強度に微弱な揺らぎをもたらします．第一原理からの理論解析を行い，スペクトルの性質は1粒子のランダムな運動のダイナミクスで説明できることを明らかにしました．スペクトルの形が一致するだけでなく，そこから求まる拡散係数が既知の拡散係数と一致することを示しました．また，液体内の温度にはわずかな非一様性が存在し，これは時間とともに変化します．このスペクトルを理論的に求め，測定されたスペクトルと一致し，そこから求まる拡散係数は熱拡散係数と一致することを水，アルコール，そしてその混合物で示しました．</p> <p>我々が今回測定した拡散の揺らぎと温度揺らぎは初めて測定されたものであり，さらに，その理論も今回第一原理より導いたものです．さらなる発展につながる重要な成果だと考えています．成果の一部は論文として発表しており，さらに数編の論文を近日中に発表する準備をしています．</p> <p>The aim of this project was to make high precision optical measurements of spontaneous fluctuations that arise for finite temperatures, at the atomic and molecular scales. In the academic year 2022, in collaboration with Takahisa Mitsui (School of Medicine), we observed and analyzed the spontaneous fluctuations that arise in water, ethanol and methanol, and their mixtures, as well as water solutions of salt, sugar and other substances, through the intensity fluctuations they cause. As can be surmised from the properties of salt water, these liquids are transparent, and the signals due to spontaneous fluctuations are quite weak. In particular, shot-noise that inevitably arises from the quantum statistical nature of light is larger than the signals we aim to observe in many cases, by orders of magnitude. By using noise reduction methods we developed, the shot-noise, as well as other types of noise, were reduced by three orders of magnitudes or more to achieve measurements of the spontaneous fluctuation spectra in liquids.</p> <p>We analyzed the observed spectra and established that they are composed of fluctuations due to molecular and ionic motions that lead to diffusion, and temperature fluctuations. When multiple types of molecules or ions exist in the liquid, the inhomogeneities they induce leads to scattering, causing intensity fluctuations in the transmitted light. Using the theory of single particle motions, we derived the corresponding theoretical spectrum from first principles, that describes the observed spectra. Not only the shapes of the spectra agree with the theory, but the diffusion constants obtained from the spectra agree with those from previous literature. Also, temperature in liquids is not completely uniform, and dynamic temperature fluctuations arise in liquids. We derived the corresponding spectrum theoretically, and the diffusion constants obtained from the observed spectra using this theory were shown to agree with the thermal diffusivities of water, ethanol and their mixtures.</p> <p>These fluctuations we measured were previously unobserved, and their underlying theory was derived from first principles in our work. We believe that the work constitutes an important foundation, leading to future developments. The part of the work described here has been published, and a number of further papers on this work are in preparation.</p>
Notes	
Genre	Research Paper

URL

[https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara\\_id=2022000010-20220028](https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2022000010-20220028)

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究代表者	所属	経済学部	職名	教授	補助額	200 (B) 千円
	氏名	青木 健一郎	氏名 (英語)	Kenichiro Aoki		
研究課題 (日本語)						
有限温度における自発的物理現象の独自の雑音除去を用いた高精度測定とその理論解析						
研究課題 (英訳)						
High precision measurements of spontaneous fluctuations at finite temperatures using original noise reduction and their theoretical analysis						
1. 研究成果実績の概要						
<p>本研究の目的は原子、分子レベルでの有限温度における自発的な原子、分子スケールでの揺らぎの高精度測定を行い、その性質を理論解析することでした。2022年度は三井隆久氏(医学部)と共同研究を行い、アルコール、水、メタノール等の液体、またさらにその液体に塩、砂糖等を加えた水溶液の自発的な揺らぎを透過光強度の変動を通じて測定し、解析しました。塩水の例でわかるように、これら液体は透明で、自発的揺らぎの信号は非常に微弱です。特に散乱雑音とよばれる量子統計的な光の揺らぎが必然的に生じ、多くの場合に対象の揺らぎより桁違いに大きいです。我々は独自に開発した雑音除去法を用いて、散乱雑音を含めた雑音を3桁以上減少させることにより、揺らぎスペクトルの高密度測定を達成しました。</p> <p>測定された揺らぎスペクトルを理論解析し、混合液内の分子の運動と温度揺らぎから構成されていることを明らかにしました。液体中では異なる分子やイオンが運動する場合には、非一様性が生じて光の散乱を生じさせ、透過光強度に微弱な揺らぎをもたらします。第一原理からの理論解析を行い、スペクトルの性質は1粒子のランダムな運動のダイナミクスで説明できることを明らかにしました。スペクトルの形が一致するだけでなく、そこから求まる拡散係数が既知の拡散係数と一致することを示しました。また、液体内の温度にはわずかな非一様性が存在し、これは時間とともに変化します。このスペクトルを理論的に求め、測定されたスペクトルと一致し、そこから求まる拡散係数は熱拡散係数と一致することを水、アルコール、そしてその混合物で示しました。</p> <p>我々が今回測定した拡散の揺らぎと温度揺らぎは初めて測定されたものであり、さらに、その理論も今回第一原理より導いたものです。さらなる発展につながる重要な成果だと考えています。成果の一部は論文として発表しており、さらに数編の論文を近日中に発表する準備をしています。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>The aim of this project was to make high precision optical measurements of spontaneous fluctuations that arise for finite temperatures, at the atomic and molecular scales. In the academic year 2022, in collaboration with Takahisa Mitsui (School of Medicine), we observed and analyzed the spontaneous fluctuations that arise in water, ethanol and methanol, and their mixtures, as well as water solutions of salt, sugar and other substances, through the intensity fluctuations they cause. As can be surmised from the properties of salt water, these liquids are transparent, and the signals due to spontaneous fluctuations are quite weak. In particular, shot-noise that inevitably arises from the quantum statistical nature of light is larger than the signals we aim to observe in many cases, by orders of magnitude. By using noise reduction methods we developed, the shot-noise, as well as other types of noise, were reduced by three orders of magnitudes or more to achieve measurements of the spontaneous fluctuation spectra in liquids.</p> <p>We analyzed the observed spectra and established that they are composed of fluctuations due to molecular and ionic motions that lead to diffusion, and temperature fluctuations. When multiple types of molecules or ions exist in the liquid, the inhomogeneities they induce leads to scattering, causing intensity fluctuations in the transmitted light. Using the theory of single particle motions, we derived the corresponding theoretical spectrum from first principles, that describes the observed spectra. Not only the shapes of the spectra agree with the theory, but the diffusion constants obtained from the spectra agree with those from previous literature. Also, temperature in liquids is not completely uniform, and dynamic temperature fluctuations arise in liquids. We derived the corresponding spectrum theoretically, and the diffusion constants obtained from the observed spectra using this theory were shown to agree with the thermal diffusivities of water, ethanol and their mixtures.</p> <p>These fluctuations we measured were previously unobserved, and their underlying theory was derived from first principles in our work. We believe that the work constitutes an important foundation, leading to future developments. The part of the work described here has been published, and a number of further papers on this work are in preparation.</p>						
3. 本研究課題に関する発表						
発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)			
Kenichiro Aoki, Takahisa Mitsui	Observing thermal single particle dynamics of ions and molecules in water with light	Prog. Theor. Exp. Phys.	023103 (2023)			
青木健 一郎, 三井隆久	水中における単独分子、イオンの熱運動を透過光計測で見る	日本物理学会 2022年秋季大会	2022年9月			