

Optical methods in condensed matter studies: current activities and the concept of further development

Grigory Arzumanyan

Abstract

The three-year period (2021-2023) of theme 1133 "Modern Trends and Developments in Raman Microspectroscopy and Photoluminescence for Condensed Matter Studies" concludes in 2023. Within this theme, the project "Biophotonics" is being implemented, aimed at studies of condensed matter by methods of Raman spectroscopy and fluorescence microscopy. In particular, work is underway to reveal the mechanisms of anomalous intensity ratio of antistokes/stokes components in surface-enhanced raman scattering (SERS) spectra as a function of pump power and mode. By now, this stage of work is at its completion stage. Applied research is being carried out on two major activities of the theme - optical studies of lipid-protein interactions and photoinduced netosis. A number of new results of practical interest have been obtained.

Since the beginning of the new 7-year JINR development plan (2024-2030), it is proposed to open a new theme with the preliminary title "Optical Methods in Condensed Media Studies", and the project "Nanobiophotonics" within this theme. The new theme will keep a certain continuity based on the results of previous years, but, at the same time, the research tools (in particular, Fourier infrared spectroscopy, immunofluorescence microscopy, etc.) will be expanded, and new tasks and activities will appear.

Conceptually, the project "Nanobiophotonics" will focus on fundamental and applied research. In particular, 2D materials (2DM) and van der Waals heterostructures (vdWH) are of particular interest today due to the attractive electronic, optical, magnetic and thermal properties. We propose to apply Raman and IR spectroscopy for probing some of the fundamental properties of 2DM, including thickness, phase, defects, atomic bond strength, and coupling of various states at the interfaces of 2DM and vdWH. The unique band structures of strong in-plane chemical bonds and weak out-of-plane van der Waals (vdW) interactions, makes 2DMs promising for applications in nanodevices and various other fields.

The started work on optical methods for studying lipid-protein interactions using various membrane mimetics and programmed cell death - netosis will continue. Activities in lipid-protein interactions will be mainly aimed at: (i) revealing the spectral characteristics of the secondary structure of peptides embedded in mimetics, in particular in the region of Amid-I and Amid-III Raman lines; conformational changes in the structure of peptides in the Raman scattering spectra. Based on the recent results on photoinduced netosis, it is proposed to continue these socially important studies, both of a fundamental nature (mechanisms and signaling pathways) and in terms of their practical application.

Nonlinear CARS microscopy, SERS spectroscopy, and photoluminescence will find their further development. An important research component in the new 7-year plan will also be given to computer modeling.

Оптические методы в исследованиях конденсированных сред: текущая деятельность и концепция дальнейшего развития

Г.М. Арзуманян

Аннотация

В 2023 году завершается трехлетний период темы 1133 (2021-2023): «Современные тенденции и разработки в области Рамановской микроспектроскопии и фотолюминесценции для исследований конденсированных сред». В рамках этой темы реализуется проект «Биофотоника», нацеленный на исследования конденсированных сред методами рамановской спектроскопии и флуоресцентной микроскопии. В частности, работы ведутся по выявлению механизмов аномального соотношения интенсивности компонентов антистокс / стокс в спектре гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) в зависимости от мощности и режима накачки. К настоящему времени, этот этап работы находится в стадии своего завершения. Прикладные исследования ведутся по двум крупным этапам темы – оптические исследования липид-белковых взаимодействий и фотоиндуцированный нетоз. По обоим этапам получены ряд новых и представляющих практический интерес результаты.

С начала нового 7-летнего плана развития ОИЯИ (2024-2030) гг., предлагается открыть новую тему с предварительным названием «Оптические методы в исследованиях конденсированных сред», и проект «Нанобиофотоника» в рамках этой темы. Новая тема сохранит определенную преемственность, базирующуюся на результатах предыдущих лет, но, при этом, расширится инструментарий исследований (в частности, Фурье ИК-спектроскопия, иммунофлуоресцентная микроскопия и др.), и появятся новые задачи и активности.

Концептуально проект «Нанобиофотоника» будет нацелен на фундаментальные и прикладные исследования. В частности, сегодня особый интерес представляют 2D-материалы (2DM) и ван-дер-ваальсовы гетероструктуры (vdWH) благодаря своим привлекательным электронным, оптическим, магнитным и тепловым свойствам. Мы предлагаем применить рамановскую и ИК-спектроскопию для исследования некоторых фундаментальных свойств 2DM, включая толщину, фазу, дефекты, прочность атомной связи и связь различных состояний на интерфейсах 2DM и vdWH. Уникальная структура полос, состоящая из сильных внутривещных химических связей и слабых внеплоскостных ван-дер-ваальсовых (vdW) взаимодействий, делает 2DM перспективными для применения в наноустройствах и различных других областях.

Продолжатся начатые работы по оптическим методам исследований липид-белковых взаимодействий с использованием различных мембранных миметиков, а также работы по программируемой клеточной гибели - нетоза. Активности по липид-белковым взаимодействиям будут, в основном, направлены на: (i) выявление спектральных характеристик вторичной структуры пептидов, внедренных в миметики, в частности в области рамановских линий Амид-I и Амид-III; конформационных изменений в структуре пептидов в спектрах рамановского рассеяния. Базируясь на недавно полученных результатах по фотоиндуцированному нетозу, предлагается продолжить эти социально важные исследования, как фундаментального характера (механизмы и сигнальные пути), так и в плане их практического применения.

Нелинейная КАРС-микроскопия, ГКР-спектроскопия, а также фотолюминесценция найдут свое дальнейшее развитие. Важной компонентой в исследованиях в новом 7-летнем плане будет уделено также и компьютерному моделированию.