



## НАУЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

А.С.Борейшо<sup>1,2</sup>, д.т.н., Boreysho@lsystems.ru,  
И.А.Киселев<sup>1,2</sup>, к.т.н., Kiselev@lsystems.ru,  
М.К.Рабчинский<sup>1,2</sup>, Rabchinskii@lsystems.ru,  
А.В.Чугреев<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., Chugreev@lsystems.ru,  
И.В.Чурило<sup>3</sup>, к.т.н., Igor.Churilo@rsce.ru

<sup>1</sup> НПП "Лазерные Системы"

<sup>2</sup> Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф.Устинова, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ПАО Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П.Королева

Научная аппаратура "Дисперсия" предназначена для проведения космических экспериментов по изучению поведения жидкофазных дисперсных систем в условиях микрогравитации на борту российского сегмента международной космической станции (РС МКС). Рассмотрены ее конструктивные особенности и технические характеристики. Научная аппаратура позволяет изучать процессы коллоидной кластеризации, агрегации частиц дисперсной фазы, а также фазового (спинодального) распада в системах полимер-растворитель при нагреве, воздействии вибрации и внешних электрического и магнитного полей методом статического рассеяния света и с использованием микросъемки.

### ВВЕДЕНИЕ

Дисперсные системы на сегодняшний день являются предметом активных научных исследований. Это связано с большим количеством уникальных эффектов, проявляющихся в таких системах, и обширным спектром их практических применений [1,2]. Коллоидные суспензии активно используются в сфере биомедицинских применений при разработке новых методов контролируемой доставки лекарств и выращивания тканей [3], а также для формирования новых структур для оптоэлектронных устройств, таких как фотонные кристаллы [4]. Кроме того, суспен-

## SCIENTIFIC INSTRUMENT FOR STUDYING OF COLLOID SYSTEMS IN MICROGRAVITY

A.S.Boreysho<sup>1,2</sup>, Doctor of technical science,  
Boreysho@lsystems.ru,

I.A.Kiselev<sup>1,2</sup>, Ph.D, Kiselev@lsystems.ru,

M.K.Rabchinskii<sup>1,2</sup>, Rabchinskii@lsystems.ru,

A.V.Chugreev<sup>1,2</sup>, Ph.D., Chugreev@lsystems.ru,

I.V.Churilo<sup>3</sup>, Ph.D, Igor.Churilo@rsce.ru

<sup>1</sup> Laser Systems LLC, Saint-Petersburg.

<sup>2</sup> Baltic State Technical University "Voenmeh"

D.F.Ustinov, Saint-Petersburg.

<sup>3</sup> S.P.Korolev Rocket and Space Corporation Energia,  
Korolev, Moscow area

Construction features and technical parameters of the scientific instrument "Dispersia" for colloid research on the board of Russian Segment of the International Space Station are reviewed. The experiments include study of the colloidal crystallization, processes of aggregation of dispersed phase and spinodal decomposition in liquid-polymer systems. Study of the colloids is based on microscopic image acquisition and static light scattering under heat, vibration and external electrical and magnetic fields.

### INTRODUCTION

Disperse systems are currently the subject of intensive studies due to unique effects that appear in these systems and wide field of their possible applications [1,2]. Colloid suspensions are actively used in biomedical applications for development of new methods in targeted drug delivery and growth of tissues as well as for formation of new structures for optoelectronic devices, namely photonic crystals [4]. Moreover, suspensions of monodisperse particles can be used as model systems for studies of crystalline structures since dispersed particles can be viewed in certain conditions as distinct atoms in the modelled structure [5].

The colloid suspensions are affected by gravitational force in terrestrial conditions that leads to sedimentation of dispersed particles and foliation of suspensions. These processes significantly complicate studies of physical-chemical processes that proceed in such systems. Furthermore, particle sedimentation also limits



зии монодисперсных частиц выступают в качестве модельных систем для исследования свойств кристаллических структур, поскольку при определенных условиях частицы дисперсной фазы могут с хорошей степенью точности рассматриваться в качестве отдельных атомов моделируемой среды [5].

В земных условиях коллоидные суспензии подвержены влиянию силы тяжести, что приводит к седиментации частиц дисперсной фазы, расслоению суспензий. Это значительно затрудняет исследование физико-химических процессов, протекающих в дисперсных системах. Кроме того, седиментация частиц также ограничивает возможности создания однородных коллоидных систем на основе частиц разного размера и делает невозможным формирование коллоидных структур на основе крупных частиц дисперсной фазы в ходе фазовых переходов, таких как фазовый переход золь-гель. В то же время в условиях микрогравитации влияние силы тяжести оказывается пренебрежимо мало, и силы, участвующие в процессах взаимодействия частиц дисперсной фазы, выходят на первый план. Эксперименты, проводимые в условиях микрогравитации, позволяют непосредственно изучать механизмы, лежащие в основе этих процессов. Отсутствие процессов седиментации также позволяет получать дисперсные системы с очень крупными размерами частиц и активно управлять их структурными параметрами путем использования слабых внешних электрического и магнитного полей. Кроме того, в условиях микрогравитации появляется возможность создания и исследований дисперсных сред не только в жидкой дисперсионной среде, но и в газах или вакууме, в частности кулоновских кластеров [6] и плазменных кристаллов [7].

На сегодняшний день уже проведен ряд космических экспериментов (КЭ) по исследованию дисперсных систем в условиях микрогравитации с использованием уникальной научной аппаратуры (НА) [8-11]. Полученные научные результаты продемонстрировали перспективность таких исследований и необходимость продолжения экспериментов в данном направлении. В частности ожидается появление новых результатов в экспериментах с использованием новой НА, сочетающей в себе различные методы анализа коллоидных систем и наличие внешних воздействий, например нагрев или вибрация.

В данной работе рассматриваются основные конструктивные особенности НА, разрабаты-

the possibility of formation of colloid systems based on particles of different sizes and makes impossible growth of colloid structures from particles with sufficiently large size by phase transitions, namely sol-gel transition. At the same time, in microgravity the influence of gravitational force becomes negligible and interaction of dispersed particles comes to the fore. This provides an opportunity for studying the mechanisms that lie beneath these processes, as well as to obtain disperse systems with large particles and control their structural properties by use of weak external electric and magnetic fields. Furthermore, formation and subsequent study of disperse systems not only in liquids, but also in gas and vacuum, such as Coulomb clusters [6] and plasma crystals [7], becomes possible in microgravity.

Several space experiments (SE) concerned on studying of disperse systems in microgravity have been carried out till now with the use of unique scientific instruments (SI) [8-11]. The obtained results have undoubtedly demonstrated the prospects of these studies and necessity of new experiments in this field of science, in particular with use of new scientific instruments, combining different methods for analysis of colloid systems under external influence of heat and vibrations.

Hereby main construction features of scientific instrument that is developed by Laser Systems LLC in collaboration with S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia for the space experiment "Dispersia" proposed by Moscow Aviation Institute for carrying out on Russian Orbital Segment (ROS) of International Space Station (ISS) are reviewed.

## METHODS FOR STUDYING OF COLLOIDAL SYSTEMS

Colloid systems are commonly studied by optical microscopy, static and dynamic light scattering as well as Bragg scattering. Choice of the methods that are realized in a particular scientific instrument is related to both features of the colloid suspension that have to be analyzed, namely the concentration and mean diameter of the dispersed particles, and the possibility of simultaneous use of the different methods. The main restrictions for the scientific equipment on board of ISS are overall size and mass of the instrument.

Two methods for colloid systems analysis are realized in the SI "Dispersia": recording of high resolution video along with capturing photo images of the studied dispersions and detection of signal



емой "НПП "Лазерные системы" совместно с РКК "Энергия", для проведения космического научного эксперимента "Дисперсия", постановщиком которого является Московский авиационный институт, на борту российского сегмента международной космической станции (РС МКС).

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

При исследованиях коллоидных систем используют методы оптической микроскопии, статического и динамического рассеяния света, а также методы на основе дифракции Брэгга. Выбор конкретных методов, реализуемых в том или ином приборе, определяется как особенностями суспензий, в частности концентрацией, типом и средним размером частиц дисперсной фазы, так и конструктивной возможностью совместной реализации различных методик при заданных массогабаритных ограничениях научной аппаратуры.

В НА "Дисперсия" реализованы два метода исследования коллоидных систем: получение видео- и фотоизображений с высоким разрешением и регистрация картины статического рассеяния света в широком диапазоне углов.

Анализ видеоданных является одним из наиболее распространенных методов, который при своей простоте позволяет регистрировать изменения в состоянии коллоидных систем, в частности переход от гомогенной суспензии с однородным объемным распределением частиц к коллоидному кристаллу, массиву агрегатов или фрактальному гелю [12]. Получаемые изображения позволяют оценить скорость протекания таких процессов, а также определить тип и общие особенности образующихся структур. При этом требуется использование камеры с высоким оптическим разрешением и малым временем экспозиции, поскольку размер структур, образующихся в коллоидных суспензиях, лежит в диапазоне единиц или десятков микрометров, а характерные времена их формирования, особенно на начальных этапах эксперимента, могут быть порядка сотен микросекунд. Кроме того, для получения полной картины эксперимента необходимо обеспечить одновременную возможность получения как видеозаписей, так и микрофотографий в установленные моменты времени с максимальным разрешением. Такие требования накладывают ограничения на выбор камеры и формат передачи данных.

from static light scattering in a wide range of angles.

The analysis of data extracted from video and photo images is one of the most common and relatively simple methods for analysis of the colloids. It provides an opportunity for study of changes in the colloid system structure, in particular colloidal crystal growth from the initially homogeneous suspension, arrays of aggregates or fractal gel [12]. The information obtained from the images allows to evaluate the rate of these processes and to determine the type and the general features of the structures formed. All this requires the use of high-speed camera with high optical resolution since lateral size of structures formed in colloid suspensions lies beneath tens of micrometers. The characteristic times of formation of structures, especially at the initial time of the process can be of up to hundreds of microseconds. Moreover, simultaneous video and microphotography capturing in the certain moments with maximum resolution allows to obtain maximum of experimental results. These constraints determine the choice of the camera and the format of data.

Static light scattering method is based on detection and subsequent analysis of angle distribution of intensity of the scattered light after it passed through the sample. The analysis of the scattering indicatrix and the ratio between unscattered and scattered light provides information about the concentration of the suspension and the phase transitions that are proceeding in the sample.

When the concentration of the suspension under study is relatively low (less than 0,01%) only one scattering event occurs (in comparison to multiple scattering in highly-concentrated suspensions). In this case Mie or Fraunhofer model can be applied to determine particle size from the indicatrix of the scattered light. For monodisperse suspension its indicatrix has specific structure (Fig.1(1,2)) determined by particle size. However, in polydisperse suspensions features of the indicatrix become less prominent and analysis of the particles size requires an additional algorithm that allow to obtain the information about particle size distribution.

## THE SCHEME OF MEASUREMENTS

Study of colloid suspensions by static light scattering method requires the complicated optical scheme that allows detection of scattered light with high dynamic range in different directions

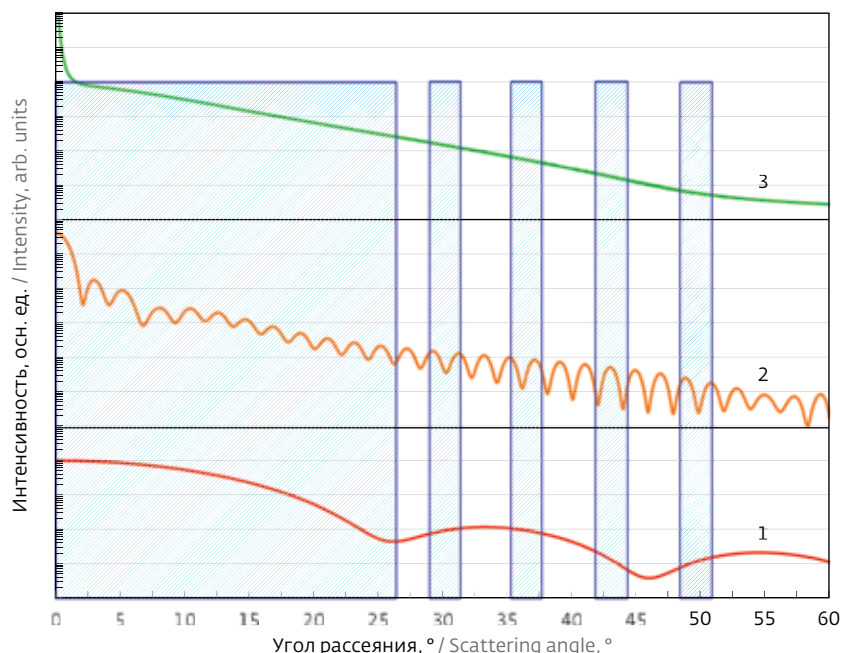
Метод статического рассеяния света основан на измерении углового распределения интенсивности рассеянного лазерного излучения после его прохождения через исследуемый образец. Анализируя особенности структуры индикатрисы рассеяния, а также отношение интенсивности рассеянного излучения к интенсивности его нерассеянной доли, можно получить данные о концентрации частиц и протекании фазовых переходов.

При достаточно малой концентрации анализируемых суспензий (менее 0,01 об.%) выполняется условие однократного рассеяния света. Это позволяет воспользоваться теорией рассеяния Ми или Фраунгофера [13] для расчета размеров частиц. Для монодисперсных суспензий индикатриса рассеяния имеет характерную структуру (рис.1, кривые 1 и 2), которая определяется размером частиц. Для полидисперсных образцов структура индикатрисы сглаживается (рис.1, кривая 3), и, чтобы получить функцию распределения частиц по размерам, требуется использовать дополнительные алгоритмы.

### СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ

Исследование коллоидных суспензий методом статического рассеяния света требует использования достаточно сложной оптической системы, позволяющей регистрировать интенсивность рассеянного излучения в большом динамическом диапазоне и максимально широкой области углов рассеяния. Оптическая схема для исследования коллоидных суспензий на основе метода статического рассеяния света, а также получения видео- и фотоизображений, реализованная в НА "Дисперсия", представлена на рис.2.

Источниками зондирующего излучения являются три диодных лазера, два из которых, с длинами волн  $\lambda=445$  нм и  $\lambda=660$  нм, объединены в первый блок излучателей и направлены на кювету с образцом под небольшим углом, чтобы избежать обратного отражения. Излучение лазе-



**Рис.1.** Индикатрисы рассеяния света на частицах разных размеров (заштрихованные области соответствуют секторам углов, в которых проводятся измерения фотоприемной системой НА "Дисперсия"): 1 и 2 – расчетные индикатрисы для монодисперсной суспензии с размерами частиц 1 и 10 мкм; 3 – для полидисперсного образца со средним размером частиц 25 мкм

**Fig. 1.** Light scattering indicatrices for particles with different lateral size. 1 and 2 – calculated indicatrices for monodisperse suspensions of 1 and 10  $\mu\text{m}$  particles, respectively; 3 – for polydisperse system with mean particle diameter of 25  $\mu\text{m}$ . The crosshatched regions corresponds to range of scattering angles accessible by IS "Dispersia" detectors

with minimum aberrations. The optical scheme for analysis of colloid suspensions on the base of static light scattering that is realized in scientific instrument "Dispersia" is shown in Fig.2.

Three diode lasers are used as light sources. Two lasers, with wavelengths  $\lambda=445$  nm и  $\lambda=660$  nm, are combined together by the dichroic beamsplitter and directed onto the cuvette tilted by  $\sim 1^\circ$  in order to avoid the backscattering. We use as a light sources fiber-coupled diode lasers. Single-mode fiber plays the role of spatial filter, making laser beam profile nearly equal to the Gaussian beam. The radiation from the third laser (with wavelength  $\lambda=445$  nm) is directed at the angle of  $37^\circ$  relatively to the first two lasers what leads to widening of the range of angles at which the scattered light can be detected. This allows one to obtain more correct information about size distribution in the studied sample since accuracy of the size distribution calculations determined by range



ров доставляется по одномодовому оптоволокну, которое одновременно служит пространственным фильтром и обеспечивает качество луча, близкое к гауссову.

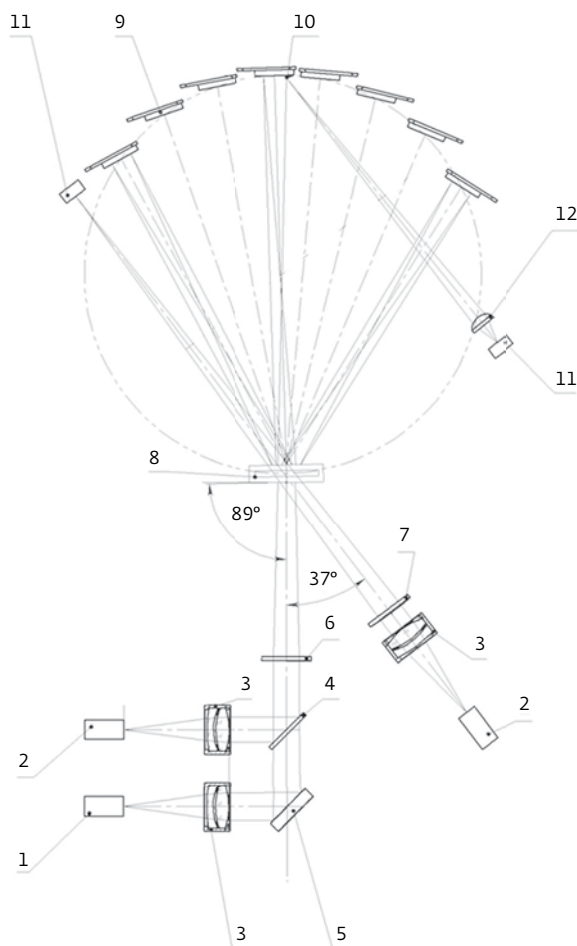
Луч третьего лазера ( $\lambda=445$  нм) направлен под углом  $37^\circ$  относительно оси хода лучей первых двух лазеров, что позволяет увеличить диапазон углов регистрации рассеянного излучения. Это обеспечивает возможность получить более корректные результаты измерений, так как предел погрешности результатов обработки измерений во многом определяется величиной сектора углов рассеяния. Диапазон углов, в котором регистрируется рассеянное излучение, представлен на рис.1.

После прохождения через кювету часть зондирующего излучения рассеивается и регистрируется матрицами фотоприемного устройства (поз.9), а оставшаяся часть попадает на фотодиод (поз.11), регистрирующий интенсивность нерассеянного излучения. Соотношение интенсивности излучения до и после рассеяния при известном размере частиц позволяет определить концентрацию суспензии.

Схема измерения основана на использовании принципа обратной оптики Фурье, при котором на образец падает сходящийся пучок излучения, формируемый собирающими линзами (поз.6,7). За счет этого излучение, рассеянное под одинаковыми углами разными частицами, собирается в одной точке фотоприемного устройства (ФПУ), вне зависимости от их пространственного расположения в экспериментальной кювете.

Одним из наиболее важных элементов схемы измерения является фотоприемное устройство, обеспечивающее регистрацию картины рассеяния излучения в требуемом диапазоне углов с высоким разрешением. ФПУ НА "Дисперсия" реализовано на основе восьми фотоприемных матриц (см. рис.2). В качестве детекторов используются КМОП матрицы серийного производства с размером пиксела 5,86 мкм и разрешением  $1920 \times 1200$ , что позволяет получить высокое угловое разрешение измеряемой картины рассеяния. Использование таких матриц дает дополнительное преимущество – возможность использования процедуры аппаратного биннинга различной кратности, обеспечивающей увеличение чувствительности в результате суммирования зарядов с соседних пикселей.

Поскольку для частиц малых размеров (до 1 мкм) интенсивность рассеянного излучения мала, а картина рассеяния может регистриро-



**Рис.2.** Оптическая схема НА "Дисперсия": 1 – лазер ( $\lambda=660$  нм); 2 – лазер ( $\lambda=445$  нм); 3 – коллиматор; 4 – дихроичный светоделитель; 5,10 – зеркала; 6, 7, 12 – линзы; 8 – кювета; 9 – матрица фотоприемного устройства; 11 – фотодиод

**Fig. 2.** Optical scheme of the "Dispersia" scientific instrument: 1 – laser with wavelength 660 nm; 2 – laser with wavelength 445 nm; 3 – collimator; 4 – dichroic filter; 5, 10 – mirrors; 6, 7, 12 – lenses; 8 – cuvette; 9 – photoreceiving matrix; 11 – photodiode

of angles of detection. Angle sectors of scattered light detection by multi-element sensor of IS "Dispersia" are shown on Fig.1.

After passing the cuvette, the transmitted light is partially scattered and detected by matrices of the photoreceiving system (Fig.2, Pos.9), whereas the intensity of the unscattered part of laser radiation is detected by the photodiode (Fig.2, Pos.11). The ratio of scattered and unscattered parts allows to estimate the concentration of the analyzed suspension assuming that the lateral size of the particles is initially known.

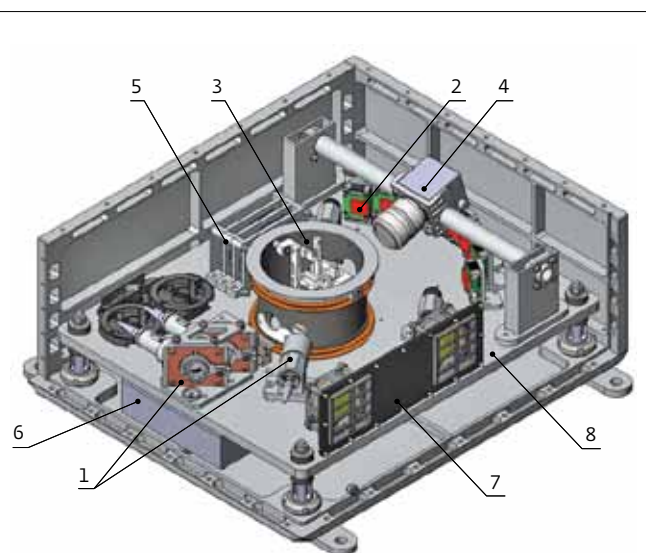
ваться с малым пространственным разрешением (рис.1, кривая 1), то в данном случае нужно задавать биннинг большой кратности, что повышает соотношение сигнал/шум и позволяет расширить динамический диапазон матриц. Напротив, в случае частиц с большими размерами (10 мкм и более) интенсивность рассеянного излучения намного выше и приходится на малый пространственный угол вблизи оптической оси. При этом требуется высокое угловое разрешение для того, чтобы зарегистрировать все характерные особенности пространственной картины рассеяния. Кроме того, регулировка биннинга матриц на аппаратном уровне позволяет оптимизировать потоки данных.

Матрицы ФПУ подключаются к управляющему компьютеру по интерфейсу RS-485 с использованием платы расширения, которая позволяет параллельно получать восемь потоков данных при низких кадровых скоростях и с большой экспозицией. При использовании минимального биннинга и частоте от 2 кадров в секунду скорость битового потока с каждого ФПУ будет находиться в пределах до 8 Мбит/с. Именно по этой причине допустимо использование низкоскоростного помехоустойчивого простого в аппаратной реализации интерфейса передачи данных RS-485. Управление всеми восемью ФПУ осуществляется по общему управляющему каналу, также организованному посредством интерфейса обмена RS-485.

Для получения цветных видео- и фотоизображений исследуемых систем в НА "Дисперсия" используется видекамера с интерфейсом GigE Vision. Для передачи видеопотока используется сжатие без потерь кодером JPEG-LS. Управление видекамерой и передача сжатого потока видеоданных происходит посредством протокола UDP (user datagram protocol). Скорость битового потока с камеры при разрешении  $1920 \times 1200$  и частоте 25 кадров в секунду находится в диапазоне от 265 до 890 Мбит/с в зависимости от информационного наполнения.

### КОМПОНОВКА НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ "ДИСПЕРСИЯ"

Общий вид НА "Дисперсия" без верхней панели и боковых стенок представлен на рис.3. Все узлы аппаратуры смонтированы на платформе, которая является несущим элементом, обеспечивающим необходимую жесткость конструкции. В верхнем отсеке располагаются элементы измерительной схемы, а также блок виброопоры



**Рис.3.** Общий вид НА "Дисперсия": 1 – блоки излучателей; 2 – матрицы ФПУ; 3 – модуль контролируемых вибровоздействий на образцы; 4 – видекамера; 5 – платы управления; 6 – управляющий компьютер; 7 – вентиляторы системы охлаждения; 8 – несущая платформа

**Fig. 3.** Composition of the "Dispersia" scientific instrument: 1 – collimation optic modules; 2 – photoreceiving matrices; 3 – module of controllable shaking of the sample; 4 – camera; 5 – control board; 6 – main operating computer; 7 – cooling fans; 8 – vibration-isolated platform

The scheme of the device is based on reverse Fourier optics. The sample is illuminated not by collimated but by converging laser beam formed by system of convex lenses (Pos.6,7). As a result, light, scattered at certain angle by different particles from different parts of the volume of cuvette, converges at a the same point of the matrix.

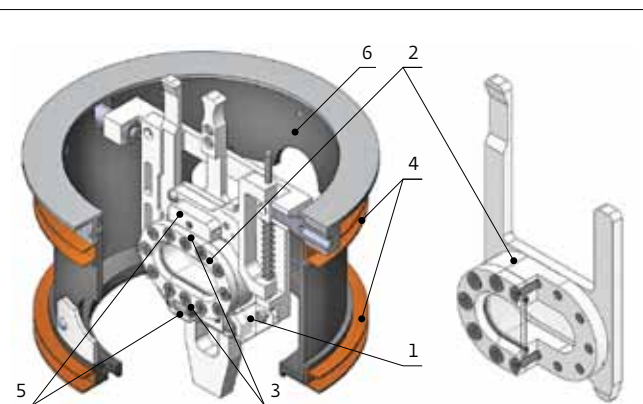
The photo sensor array is one of the most important parts of measurement scheme that provides the possibility to detect patterns of the scattered light with high resolution in a wide area of angles. The photo sensor array of scientific instrument "Dispersia" consists of 8 complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) matrices (Fig.2) with  $1920 \times 1200$  elements and pixel size of  $5.86 \mu\text{m}$ . This allows to detect scattered light with high angle resolution. Moreover, use of these matrices provides additional advantage related to possibility of applying of the binning procedure that increases the dynamic range and the signal-to-noise (SNR) ratio combining the signal from nearby pixels. Since intensity of light, scattered by particles with relatively small diameters (of up to  $1 \mu\text{m}$ ), is significantly low and the indicatrix structure does not demand high spatial resolution (Fig.1,1), a high

(рис.4), который предназначен для размещения в нем исследовательской кюветы и блоков внешних воздействий. В нижнем отсеке размещены компоненты системы управления и сбора данных – управляющий компьютер, модули питания и управления. Конструкция НА должна обеспечивать устойчивость к жестким условиям транспортирования на орбиту, в первую очередь вибрациям. Поэтому платформа с размещенным на ней оборудованием закрепляется внутри корпуса с помощью виброизолирующих опор.

Необходимость создания в кювете электрического и магнитного полей, нагрева исследуемой жидкости, а также использование оптических методов исследования накладывает ряд требований к материалам стенок кюветы и конструктивным особенностям. Общий вид исследовательской кюветы и блоков формирования внешних воздействий представлен на рис.4. Окна кюветы выполнены из органического стекла, а остальные элементы конструкции из полиамида. Для экспериментов, в которых предусматривается нагрев жидкости, используются кюветы с дюралевой центральной частью, обеспечивающей передачу тепла от нагревательного элемента через стенку кюветы.

Создание в кювете электрического поля обеспечивается блоком, представляющим собой две плоские обкладки, расположенные сверху и снизу кюветы (рис.4, поз.3), на которые подается напряжение. Магнитное поле создается катушками индуктивности, размещенными по обе стороны кюветы (рис.4, поз.4). Нагрев производится с помощью омических нагревательных элементов (рис.4, поз.5). Вибрационное воздействие на кювету оказывают с помощью вибродвигателя (рис.4, поз.7), представляющего собой соленоид, который обеспечивает качающее движение виброопоры вокруг осей, закрепленных в экране (рис.4, поз.6).

Система управления и сбора данных (СУСД) НА "Дисперсия" представляет собой комплекс специализированных аппаратных и программных средств, предназначенных для обеспечения питанием и управления функциональными узлами согласно циклограмме, а также сбора и хранения данных экспериментов. СУСД НА "Дисперсия" имеет двухуровневую архитектуру. Нижний уровень СУСД представлен силовым модулем управления, который обеспечивает контроль параметров процессов научного эксперимента и непосредственное управление исполнительными устройствами. Модуль управления



**Рис.4.** Кювета и держатель кюветы, обеспечивающий контролируемое вибрационное воздействие на образец: 1 – виброопора; 2 – кювета; 3 – обкладки блока поля электрического; 4 – катушки блока поля магнитного; 5 – нагревательные элементы; 6 – экран; 7 – вибродвигатель

**Fig. 4.** Cuvette and the cuvette holder: 1 – controllable shaking of the sample mount; 2 – cuvette; 3 – conducting plates for external electric field application; 4 – magnetic field coils; 5 – ohmic heating elements; 6 – cylindrical protective screen; 7 – vibro engine

binning factor can be applied. On the contrary, in the case of large particles (with lateral size more than 10  $\mu\text{m}$ ) the intensity of the scattered light is significantly higher but the indicatrix structure is very fine within small angles of scattering. As a result, detection of the scattered light pattern with high spatial resolution is required in this case to observe all its characteristic features. Furthermore, the control of the matrices binning factor also allows to optimize data flow rate.

The photoreceiver matrices are connected to the main computer by RS-485 interface with use of expansion card that provides possibility to collect simultaneously the data flow from 8 matrices with low frame rate and large exposition time. With the frame rate 2 fps and the minimal binning, the data flow from each matrix is within 8 Mbit/s. Slow but noise immune and simple RS-485 interface can be applied for this purpose. All matrices are controlled by single control channel that is also based on data exchange interface RS-485.

In addition the color video camera with GigE Vision interface allows to capture video- and photoimages of the sample. JPEG-LS encoder is used to transfer video data compression without loss. The camera is controlled by user data protocol (UPD) that is also applied for transfer of the compressed video data. Depending on the compression ratio, the bit

верхнего уровня СУСД представляет собой высокопроизводительный одноплатный компьютер, предназначенный для управления блоком излучателей, фотоприемными устройствами сбора данных, обработки циклограммы и накопления данных во время эксперимента. Для отображения графического интерфейса программного обеспечения СУСД и обеспечения ввода данных для управления используется сенсорный монитор с размером экрана 6,5".

## ВЫВОДЫ

Научная аппаратура "Дисперсия" предназначена для оптических исследований различных коллоидных суспензий в условиях микрогравитации при приложении внешних воздействий: слабого электрического или магнитного полей, при вибрации и нагреве. Научная аппаратура позволяет исследовать процессы коллоидной кристаллизации, полимеризации, спинодального распада, а также агрегации и агломерации частиц дисперсной фазы в различных суспензиях, изучать зависимость хода процессов от внешних воздействий с использованием оптических методов, в частности статического рассеяния света и полу-

rate from the camera with 1920×1200 resolution and frame rate of 25 fps is within the range from 265 to 890 Mbits/s.

## ARRANGEMENT OF EQUIPMENT OF THE "DISPERSIA" SCIENTIFIC INSTRUMENT

Fig.3 demonstrates the arrangement of equipment of the "Dispersia" scientific instrument. All elements are mounted on the single platform that provides the necessary stiffness of the whole structure. The upper section mounted on vibration isolation comprises the elements of the optical scheme and (Fig.4) external influences equipment. The bottom section contains electronics and data-storage system. In order to protect the equipment from the shock and vibration loads during transportation to the orbit the main platform is suspended by vibration isolation mounts.

Some restrictions for the materials used for construction of the equipment arise due to presence of external electric and magnetic fields, heating of the sample etc. The cuvette windows are made from transparent polymethyl methacrylate (PMMA) whereas other elements – from polyamide. For the experiments with external heating of the cuvette



чения видео- и фотоизображений. Предложенная конструкция аппаратуры обеспечивает устойчивость к внешним воздействующим факторам при выведении на орбиту и последующую бесперебойную работу на МКС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **R.López-Esparza, M.A.B. Altamirano, E.Pérez, A.G.Goicochea.** Importance of Molecular Interactions in Colloidal Dispersions. – *Advances in Condensed Matter Physics*, 2015, Article ID683716, 8 pages.
2. **P.N.Pusey, W.van Megen, S.M.Underwood, P.Bartlett, R.H.Ottewilla.** Colloidal fluids, crystals and glasses. – *J.Phys.: Condens. Matter*, 1990, v.2, p.373–377.
3. **T.Garg, G.Rath, A.K.Goyal.** Colloidal Drug Delivery Systems: Current Status and Future Directions. – *Crit. Rev. Ther. Drug. Carrier Syst.*, 2015, v.32, p.89–147.
4. **D.J.Norris.** Photonic Crystals: A View of the Future. – *Nat. Mat.*, 2007, v.6, p.177–178.
5. **S.Suresh.** Crystal Deformation: Colloid Model for Atoms. – *Nat. Mat.*, 2006, v.5, p.253–254.
6. **С.Ф.Савин, Л.Г.Дьячков, М.И.Мясников, О.Ф.Петров, М.М.Васильев, В.Е.Фортов, А.Ю.Калери, А.И.Борисенко, Г.Е.Морфилл.** Кулоновский ансамбль заряженных диамагнитных макрочастиц в неоднородном магнитном поле в условиях микрогравитации. – *Письма в ЖЭТФ*, 2011, v.94, p.548–552.
7. **N.M.Rubtsov, B.S.Seplyarskii, V.I.Chernysh, G.I.Tsvetkov, Yu.A.Gordoplov, V.E.Fortov.** Formation of liquid and solid dusty crystals in gas-phase combustion reactions. – *Europhysics Letters*, v. 97, p.12012.
8. **Z.Cheng, J.Zhu, W.B.Russel, W.V.Meyer, P.M.Chaikin.** Colloidal Hard-Sphere Crystallization Kinetics in Microgravity and Normal Gravity. – *Appl. Opt.*, 2001, v.40, p.4146–4151.
9. **J.Zhu, M.Li, R.Rogers, W.Meyer, R.H.Ottewill (STS-73 Space Shuttle Crew), W.B.Russel, P.M.Chaikin.** Crystallization of Hard-Sphere Colloids in Microgravity. – *Nature*, 1997, v.387, p.883–885.
10. **T.Okubo, A.Tsushida.** Microgravity Effects on Thermodynamic and Kinetic Properties of Colloidal Dispersions. – *Ann. N.Y.Acad. Sci.*, 2002, v.974, p.164–175.
11. **S.Manley, L.Cipelletti, V.Trappe, A.E.Bailey, R.J.Christianson, U.Gasser, V.Prasad, P.N.Segre, M.P.Doherty et al.** Limits to Gelation in Colloidal Aggregation. – *Phys. Rev. Lett.*, 2004, v.93, p.108302-1–108302-4.
12. **D.A.Weitz, A.E.Bailey, S.Manley, V.Prasad, R.J.Christianson, S.Sankaran, M.P.Doherty, A.L.Jankovsky, T.Lorik, W.L.Shiley, J.P.Bowen, C.E.Kurta, J.C.Eggers, U.Gasser, P.N.Segre, L.Cipelletti, A.B.Schofield, P.N.Pusey.** Results From the Physics of Colloids Experiment on ISS. – *NASA Technical Publication*, 2002.
13. **ISO 13320: Edition 2009/10: Particle size analysis – Laser diffraction methods.**

the duralimin frame instead of polyamide is used as a central part of the cuvette, providing heat transfer from the heating elements to the sample volume. The construction of the experimental cuvette and the equipment for application of an external fields are shown on Fig.4.

Application of the external electric field on the cuvette is provided by applying electric potential to two flat plates located at the top and at the bottom of the cuvette (Fig.4, Pos.3). External magnetic field is formed by the inductance coils, located on the both sides of the cuvette (Fig.4, Pos.4). Heat treatment of the studied suspension is carried out by the use of ohmic heating elements (Fig.4, Pos.5). Controllable shaking of the sample is realized by use of vibro engine (Fig.4, Pos.7) based on solenoid that provide oscillating movement of the cuvette around the hinges that are fixed in the cylindrical protective screen (Fig.4, Pos.6).

The control and data system (CDS) of SI "Dispersia" is based on complex of specialized program and instrumental sources that realize power supply and control for all functional elements as determined by the experiment timeline as well as provides data gathering and storage. The CDS in SI "Dispersia" has two-level structure. The bottom level of CDS is presented by power control module that regulates parameters of the processes that proceed during the experiments and controls executive systems. The upper level of CDS is based on high-performance single board computer that is designed for controlling lasers and matrices of photoreceivers, gathering data, performing formed timelines and data storage during the experiment. Graphical interface of the CDS software and data input is provided by the use of sensor monitor with size of 6.5".

## CONCLUSIONS

Scientific instrument "Dispersia" developed for studying of various colloid systems with the presence of external influencing factors, namely weak electric and magnetic fields, heating and vibrations, in microgravity is reviewed. The scientific instrument under review provides opportunities for studying of colloidal crystallization, polymerization, spinodal decomposition and processes of aggregation of dispersed phase and in liquid-polymer systems, in the presence of the external influence. SI combines the following methods: static light scattering, and video and photo data capturing. The device is robust in order to endure the harsh conditions of transportation by the launch vehicle to the board of ISS.