

# ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ В НАНОСУСПЕНЗИИ

*В.К. ХЕ<sup>1</sup>, В.И. ИВАНОВ<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный университет путей сообщения

E-mail: [khe@ngs.ru](mailto:khe@ngs.ru)

Широко известны химические методы формирования наноструктур (в том числе фотонных кристаллов) из жидкой фазы. Однако недавние исследования демонстрируют ряд новых возможностей. Например, в работе [1] показано, как светоиндуцированная термодиффузии латексных микрочастиц в растворе приводит к образованию двумерного кристалла на охлаждающей поверхности в конвективном потоке жидкости. При этом концентрация микрочастиц увеличивалась в зоне светового пучка на несколько порядков. Для наночастиц реализация такого метода затруднена, поскольку коэффициент термодиффузии для них значительно меньше, чем для микрочастиц [2].

В данной работе предлагается использовать силы светового давления для формирования кристаллов из наночастиц в прозрачной наносуспензии.

Рассмотрим прозрачную наносуспензию с малой объемной долей дисперсной фазы, освещаемую потоком лазерного излучения с однородным распределением интенсивности (рис. 1). Установившаяся скорость наночастиц в суспензии под действием светового поля в первом приближении линейно зависит от интенсивности излучения [3]:

$$V = \gamma I, \quad (1)$$

где  $\gamma = \frac{64}{9} \frac{\pi^2 a^5}{c_0} \frac{n_1}{\lambda^4 \eta} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}$ ,  $I$  - интенсивность света, ( $n_1, n_2$  - показатели преломления веществ дисперсионной и дисперсной сред соответственно),  $m = n_2/n_1$ ,  $\eta$  - вязкость жидкости,  $a$  - радиус частицы,  $\lambda$  - длина волны излучения,  $c_0$  - скорость света.

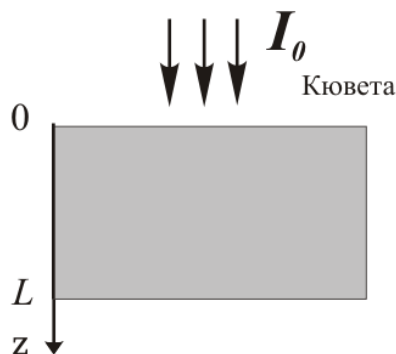


Рисунок 1 - Схема осаждения наночастиц в световом поле  
Динамика изменения концентрации наночастиц описывается уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C - \text{div}(VC), \quad (2)$$

где  $C(z, t)$  - массовая концентрация дисперсных частиц,  $D$  - коэффициент диффузии.

Решение одномерной задачи (2) с соответствующими граничными условиями на верхней и нижней границах [3] в стационарном случае выглядит как:

$$C(z', I) = C_0 I (\gamma l / D) \frac{\exp(z' \gamma l / D)}{\exp(\gamma l / D) - 1}, \quad (3)$$

где  $C_0$  - начальная концентрация наночастиц,  $l$  - высота кюветы,  $z' = z/l$ .

Формулу (3) преобразуем к удобному виду:

$$C_{r.u.}(z', I_{r.u.}) = I_{r.u.} \frac{\exp(I_{r.u.} z')}{\exp(I_{r.u.}) - 1}, \quad (4)$$

где  $C_{r.u.}(z', I_{r.u.}) = C(z', I) / C_0$  – относительная концентрация,  $I_{r.u.} = I / I_{sat}$  – относительная интенсивность излучения,  $I_{sat} = D / \gamma l$  – интенсивность насыщения.

Выражение (4) при  $z'=1$  дает прямую зависимость изменения относительной концентрации от относительной интенсивности излучения на дне кюветы. Как показывают оценки для увеличения относительной концентрации требуются интенсивности около МВт/м<sup>2</sup>, что однако для прозрачных наноматериалов вполне достижимо с использованием непрерывных лазерных источников. При этих мощностях объемная доля наночастиц приближается к единице, формируя условия для образования кристаллической структуры.

Таким образом, предложен оптический метод формирования кристаллов из наносuspензии. Отличительной особенностью метода является использование сил светового давления, с помощью которых можно осуществлять эффективную седиментацию наночастиц в прозрачной среде [4].

Предложенный метод формирования коллоидного кристалла из разбавленных наносuspензий представляет также интерес для формирования фотонных кристаллов и химических сенсоров. Способы эффективного накопления наночастиц из раствора представляют большой интерес для увеличения чувствительности диффузионно-ограниченных поверхностных биодатчиков [1]. Результаты могут быть полезны также для развития методов оптической диагностики наноматериалов [6-7].

#### Список использованной литературы

1. Duhr S., Braun D. Two-dimensional colloidal crystals formed by thermophoresis and convection // *Applied Physics Letters*. – 2005. – V. 86. – 131921.
2. Рабинович Г.Д. Разделение изотопов и других смесей термодиффузией. – М.: Атомиздат, 1981. – 144 с.
3. Ivanov V.I., Ivanova G.D., Krylov V. I., Khe V.K. Diagnostics of nanosuspension by the light-induced pseudo-prism method // *Proceedings of SPIE*. – 2016. – V. 10176. – P. 1017607.
4. Buzzaccaro S., Tripodi A., Rusconi R., Vigolo D., Piazza R. Kinetics of sedimentation in colloidal suspensions // *Journal of Physics: Condensed Matter*. – 2008. – V. 20(49). – P. 494219.
5. Ivanov V.I., Ivanova G.D., Okishev K.N., Khe V.K. Light-induced thermodiffusion in two-component liquid // *Proceedings of SPIE*. – 2016. – V. 10035. – P. 100354Y.
6. Иванов В.И., Иванова Г.Д., Хе В.К. Оптическая диагностика полимерных наночастиц // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 11–6. – С. 1085– 1088.
7. Myagotin A.V., Ivanov V.I., Ivanova G.D. Transient gratings in the transparent nanoliquids layer // *Proceedings of SPIE*. – 2016. – V. 10176. – P. 101761Z.