

УДК 537.363:532.783

НЕЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОЧАСТИЦ В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В. Хаазе³, Н. Д. Кундикова², Ф. В. Подгорнов^{2,3}, А. В. Рыжкова^{1,2,3}² *Вузовско-академический отдел нелинейной оптики**Института электрофизики УрО РАН и Южно-Уральского государственного
университета, пр. Ленина 76, Челябинск 454080, Россия*³ *Eduard Zintl Institute for Inorganic and Physical Chemistry,
Darmstadt University of Technology,
Petersenstr. 20, D-64287, Darmstadt, Germany*

Впервые экспериментально исследован процесс нелинейного электрофоретического движения сферических диэлектрических микрочастиц в ячейке, заполненной нематическим жидким кристаллом. Показано, что среднее значение скорости движения микрочастиц v_{EPH} зависит от третьей степени напряженности электрического поля E : $v_{EPH} \sim E^3$. Установлено, что форма сигнала управляющего электрического поля не влияет на функциональную зависимость $v_{EPH}(\langle E^3 \rangle)$.

Ключевые слова: частицы в электрическом поле, движение частиц в НЖК, нелинейный электрофорез.

Интерес к изучению электрокинетических явлений в жидкостях, таких как жидкие кристаллы (ЖК), растворы полимеров, ДНК в настоящее время связан с их широким применением в биомедицинских технологиях, дисплейной технике и научных исследованиях. Изучению движения микро- и наночастиц в ЖК, вызванного действием электрического поля, посвящено всего несколько работ, а экспериментальные исследования проводились только в слабом электрическом поле [1].

¹e-mail: Ryzhkova_a@yahoo.com

Целью работы является исследование особенностей движения диэлектрических микрочастиц в нематическом жидком кристалле под действием сильного электрического поля.

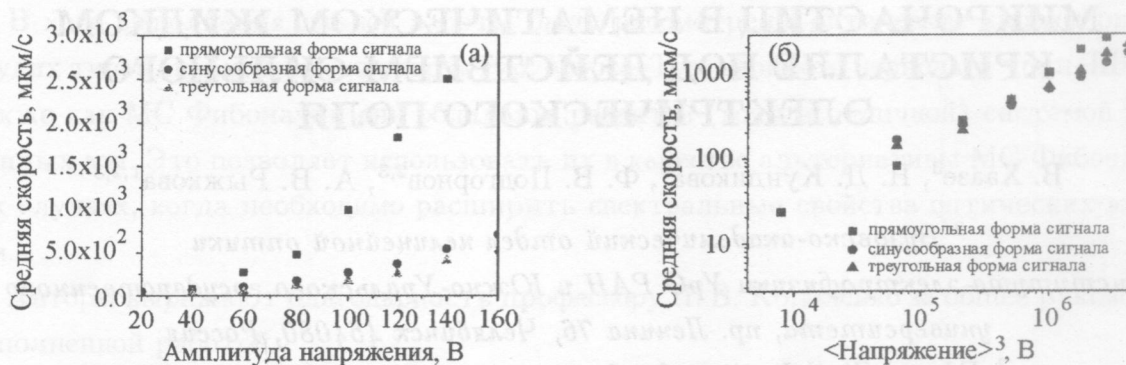


Рис. 1. Зависимость средней скорости движения микрочастицы от амплитуды напряжения (а) и третьей степени среднего значения напряжения (б). Частота сигнала 0.5 Гц, температура 25 °С.

Для исследования явления была собрана планарно ориентированная ячейка со специальной конфигурацией электродов. На нижней подложке с помощью фотолитографического метода наносились два управляющих электрода длиной 2 см, шириной 2 мм, расстояние между которыми составляло 100 мкм. Верхняя подложка представляла собой тонкую стеклянную подложку толщиной 160 мкм. Директор НЖК был направлен вдоль электродов. Такая геометрия ячейки позволяла изучать динамику движения микрообъектов вдоль направления электрического поля. Ячейка была заполнена смесью НЖК МС-6003 с диэлектрическими частицами меламина диаметром 2 мкм. Толщина слоя ЖК была равна 20 мкм. Исследования динамики движения микрообъектов под действием электрического поля проводились на установке, которая состояла из поляризационного микроскопа с видеокамерой, сопряженной с компьютером, генератора электрических сигналов и усилителя напряжения. Видеокамера позволяла записывать изображение с разрешением 2.2 пикс/мкм и скоростью 25 кадр/с.

В данной ячейке проводились исследования зависимости средней скорости движения микрообъектов (за полупериод колебаний электрического поля) от амплитуды и формы сигнала приложенного напряжения. К ячейке прикладывалось биполярное напряжение частотой 0.5 Гц с прямоугольной, синусообразной, треугольной формами сигнала и напряжением, изменяющемся в диапазоне от 10 до 160 В. Полученные зависимости пред-

ставлены на рис. 1. При приложении электрического поля частицы начинали двигаться в направлении, зависящем от полярности импульса. Данная зависимость движения частиц указывает на то, что основная сила, приводящая микрообъект в движение, имеет электрофоретическую природу ($F_{EPH} = qE$). Частицы, помещенные в НЖК, несли положительно заряженную метиоловую функциональную группу, на которую в электрическом поле действовала электростатическая (электрофоретическая) сила, приводящая частицу в движение. Аппроксимация экспериментальных данных рис. 1(а) показывает, что скорость частиц пропорциональна амплитуде приложенного напряжения в кубе $\vec{v} = \alpha \vec{E}^3$. Причиной данного эффекта могут быть две силы, возникающие при приложении сильного внешнего электрического поля [2, 3]. Первая электростатическая сила действует на эффективный заряд диффузионного слоя частицы, который пропорционален E^2 , вторая сила действует на заряды, находящиеся в объеме и удаленные от объекта. Значения данных эффективных зарядов также пропорциональны квадрату напряженности поля $q \sim E^2$. Результирующая сила, действующая на микрообъект со стороны электрического поля, будет иметь вид: $F_{EPH} = q(E^2)E \sim E^3$. Таким образом, впервые показана возможность существования нелинейной зависимости скорости движения частиц в нематическом ЖК от величины напряженности приложенного электрического поля (явление нелинейного электрофореза).

Из рис. 1(а) видно, что для одной и той же амплитуды средняя скорость движения микрообъекта принимает максимальное значение при прямоугольной форме сигнала управляющего напряжения. Это связано с тем, что на графике приведена зависимость средней скорости движения частицы от амплитуды напряжения, однако физический смысл имеет зависимость средней скорости движения частицы от среднего значения напряжения за полупериод колебания электрического поля. Эта зависимость представлена на рис. 1(б). Из рис. 1(б) видно, что экспериментальные результаты, полученные для разных форм сигнала напряжения, практически совпадают. Небольшое отличие объясняется влиянием динамики переключения НЖК и дефектов, возникающих при движении объекта.

Впервые исследовано движение микрочастиц в микроканале ячейки, заполненной нематическим ЖК, под действием сильного электрического поля. Показано, что скорость микрообъектов зависит от третьей степени амплитуды приложенного электрического поля $\vec{v}_{EPH} \sim \vec{E}^3$. Установлено, что форма сигнала электрического поля не влияет на зависимость и значение средней скорости движения микрообъектов от среднего значения напряженности в кубе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. A. Tatarikova, D. R. Burnham, A. K. Kirby, et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 157801 (2007).
- [2] S. Barany, F. Madai, V. Shilov, Progr. Colloid Polym. Sci. **128**, 14 (2004).
- [3] V. Shilov, S. Barany, C. Grosse, O. Shramko, Adv. in Coll. and Interf. Sci. **104**, 159 (2003).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики", Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 2 ноября 2009 г.