

РАЗДЕЛ II. ХИМИЯ

УДК 535.71

**Стовбун С.В.* , Скоблин А.А.* , Занин А.М.* ,
Рыбин Ю.М.** , Агеев И.М.** , Твердислов В.А.****

**Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (г. Москва),*

***Московский авиационный институт*

(Государственный технический университет) (г. Москва),

****Физический факультет Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва)*

КАПЛЕОБРАЗНЫЕ ОБЪЕКТЫ, ОКРУЖЕННЫЕ МЕМБРАНОЙ, КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВО СРЕДЫ И КОММУТИРУЮЩИЕ ПОСРЕДСТВОМ СТРУН, В ГОМОХИРАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

S. Stovbun, A. Skoblin, A. Zanin, J. Rybin*, I. Ageev*, V. Tverdislov**

N.N. Semenov Institute of Chemical Physics Russian Academy of Sciences, Moscow

**Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies)*

***Department of Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University*

DROP-SHAPED OBJECTS SURROUNDED BY A MEMBRANE CONCENTRATING SUBSTANCES OF THE MEDIA AND COMMUTING VIA STRINGS IN HOMOCHIRAL SOLUTIONS

Аннотация. При исследовании неравновесных процессов в гомохиральных растворах, обнаружены спонтанно сформировавшиеся, стабильные, нередко окруженные сложной по структуре мембраной капли. Они обогащены частично структурированным растворенным веществом. К каплям тяготеют выявленные ранее, также спонтанно формирующиеся в растворе, анизометрические структурные образования – струны. В ряде случаев струны реализуют геометрическую коммутацию между каплями. Таким образом, выявлено не только топологическое, но и метрическое подобие, а также частичное функциональное подобие между простыми физико-химическими объектами – каплями и классическими биологическими объектами – клетками. Возможно, это указывает на определенную степень общности механизмов их формирования.

Ключевые слова: гомохиральность, биологическая клетка, капля, мембрана, струна.

Abstract. In studying nonequilibrium processes in homochiral solutions, we found drops that are spontaneously formed, stable, and often surrounded by a complex membrane. The drops are enriched by a dissolved substance. They tend to attract strings, which were previously identified as spontaneously formed anisometric structural formations in a solution. In some cases, the strings implement geometric switching between the droplets. Thus, we revealed not only topological but also metric similarity, as well as partial functional similarity between simple physical and chemical objects (drops) and classical biological objects (cells), which may point to a certain degree of generality of their formation mechanisms.

Key words: homochirality, biological cell, drop, membrane, string.

Феномен контактного взаимодействия между клетками посредством микротрубок, или цитонел, был описан в [8] и впоследствии обнаружен для многих типов клеток (рис. 1). Были также исследованы спонтанно формирующиеся в ряде гомохиральных растворов (в частности, в низкоконцентрированных растворах трифторацетилованных аминоспиртов (ТФААС) в органических растворителях) струны [1, 3, 5] – обладающие заметной механической жесткостью анизотрические объекты, которые могут рассматриваться как физико-химические модели цитонел [4].

В настоящей работе исследовался гомохиральный раствор ТФААС 1 (структурная формула и полное название приведены на рис. 2). ТФААС 1 был синтезирован в Лаборатории стереохимии ИХФ РАН, зав. лаб. проф. Р.Г. Костяновский, методика получения и свойств

ТФААС приведены в [7]. В качестве растворителя использовалась смесь 90% гептана (производства фирмы Химмед, чистотой 99,9%) и 10 % воды (соотношение указано в объемных долях и дополнительно проконтролировано с помощью микрокалориметрии растворителя). Раствор ТФААС 1 в указанном растворителе концентрации 1 мг / мл помещался в замкнутые плоские капилляры, что исключало испарение растворителя. В образцах создавались неравновесные условия, инициирующие кинетические процессы. Для этого они нагревались в водяной бане до 70° С, затем охлаждались до комнатной температуры (20° С) и исследовались с помощью: а) компьютеризированного оптического стенда на основе микроскопа ВХ51 «OLYMPUS» (Research system microscope), изготовитель – OLYMPUS CORPORATION (Япония) (рис. 4, 5); б) оптического микроскопа МИКМЕД-6 (рис. 3, 6).

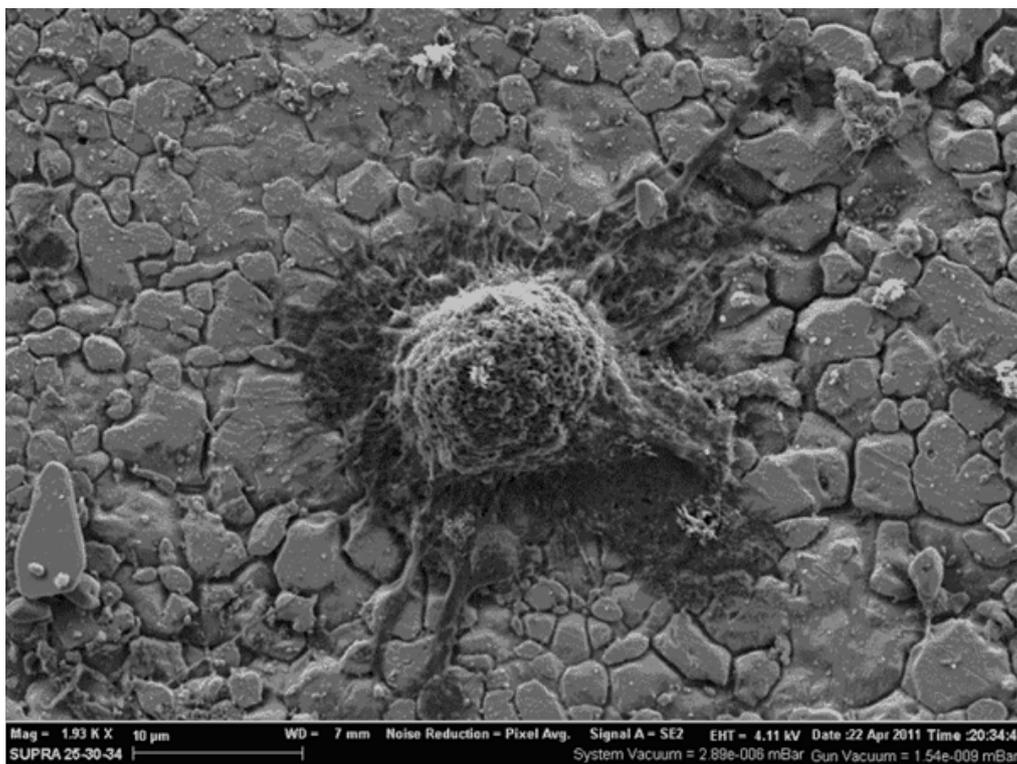


Рис. 1. Электронная сканирующая микроскопия. Размер масштабного штриха 10 мкм.

Клетка хелакарциномы шейки матки у женщины. Изображение любезно предоставлено авторам настоящей работы д.б.н. Е.Е. Брагиной (НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ).

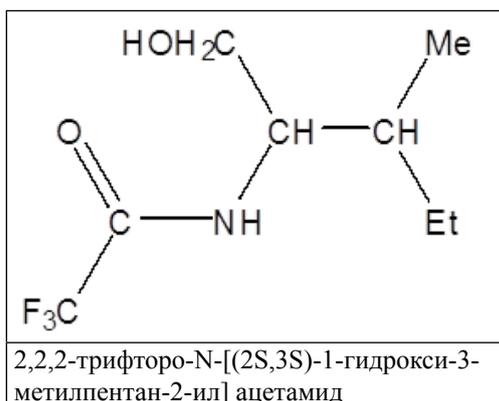


Рис. 2. Структурная формула, полное название и хиральность ТФААС 1.

Как видно из рис. 3-6, в результате неравновесного процесса в гептаново-водяной смеси: а) образовалась эмульсия; б) сформировались струны. Из рис. 3 видно, что объем капель, составляющих дисперсную фазу эмульсии, существенно меньше объема окружающей среды. Отсюда следует, что эмульсия является инвертной, то есть в каплях (дисперсной фазе) сосредоточилась вода, а окружающая капли дисперсионная среда представляет собой гептан. Характерный размер капель составляет от нескольких микрон до

нескольких сотен микрон (рис. 3-6). Дисперсия размеров капель может составлять порядки в пределах одного образца (рис. 3-5). Капли представлены значительным многообразием форм (рис. 3-6).

В ряде случаев капли окружены мембраной (рис. 4, 5). Мембрана многих капель имеет сложное строение и состоит не обязательно из одного, но и из двух (рис. 4, 5), а местами – из трех (рис. 4) оптически плотных слоев, разделенных оптически менее плотной средой. Можно высказать предположение, что основой оптически плотных слоев мембраны являются тонкие (мономолекулярные, бимолекулярные и т. д.) слои ТФААС, концентрирующиеся на границе раздела фаз. Капли тяготеют к сферической форме (рис. 3-6) и деформируются, если стеснены друг другом или внешней поверхностью (рис. 3-5). Это, по-видимому, указывает на поверхностную энергию как на основной механизм образования их формы, что в целом характерно для эмульсий.

Как было указано выше, в исследованных эмульсиях спонтанно формируются струны (рис. 3-6). Из всей совокупности предыдущих экспериментов хорошо известно, что струны

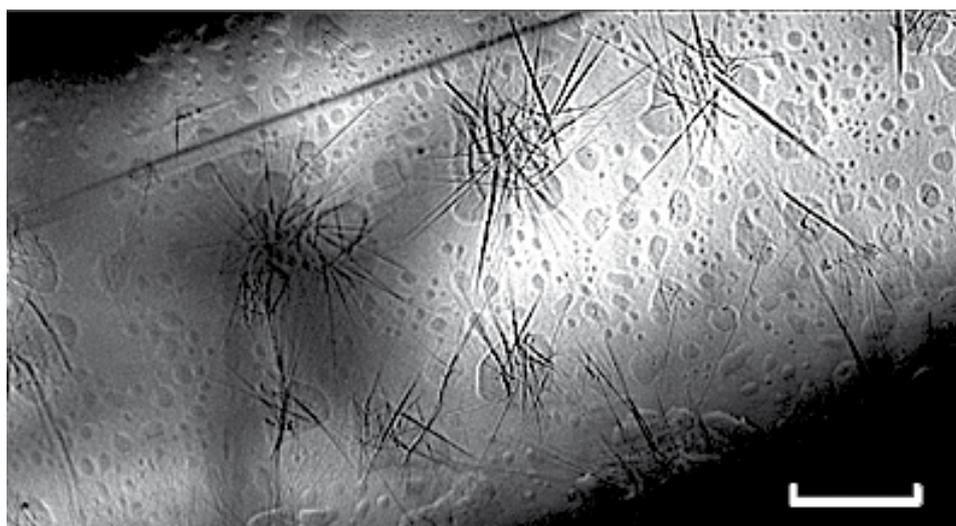


Рис. 3. Съемка на оптическом микроскопе МИКМЕД-6. Размер масштабного штриха 100 мкм. Образование инвертной эмульсии. Формирование струн в окрестности наиболее крупных капель и скоплений капель.

состоят из кристаллически упорядоченных молекул ТФААС [1 – 3, 5]. Из рис. 3, 6 видно, что струны формируются преимущественно внутри и в окрестности капель, в особенности крупных капель или их скоплений. Таким образом, внутри и в окрестности крупных капель возникает инверсная по отношению к окружающей дисперсной среде концентрация ТФААС в виде струн и других агрегатных форм (см. ниже). При этом интересным представляется следующий факт. Нами установлено, что в чистой воде струны не образуются, так как помещенные в нее кристаллики ТФААС практически не растворяются и остаются в исходной форме. В то же время, как видно из приведенных микрофотографий, в инвертной эмульсии струны эффективно образуются именно в окрестности водяных капель. Геометрия струны на рис. 4 свидетельствует, что струна начала формироваться в гептане

(где расположена ее более толстая часть). При этом острый конец струны находится внутри водной фазы на расстоянии 15–20 мкм от границы раздела. На рис. 5 струна пронизывает две водяные капли и входит в третью. Между каплями струна окружена соединяющим капли каналом. Полная длина отрезка струны в воде составляет не менее 110 мкм. Таким образом, экспериментально наблюдаемые масштабы длин струн в воде хорошо согласуются с соответствующими параметрами при коммутации биологических клеток [8].

Струны могут также соединять капли, находящиеся на расстоянии в десятки и сотни микрон друг от друга, обеспечивая их геометрическую коммутацию (рис. 6). Из рис. 4, 5 видно, что вода эффективно смачивает поверхность струны. При этом образованная на границе раздела фаз мембрана (в том числе и сложного строения) не испытывает разрыва.

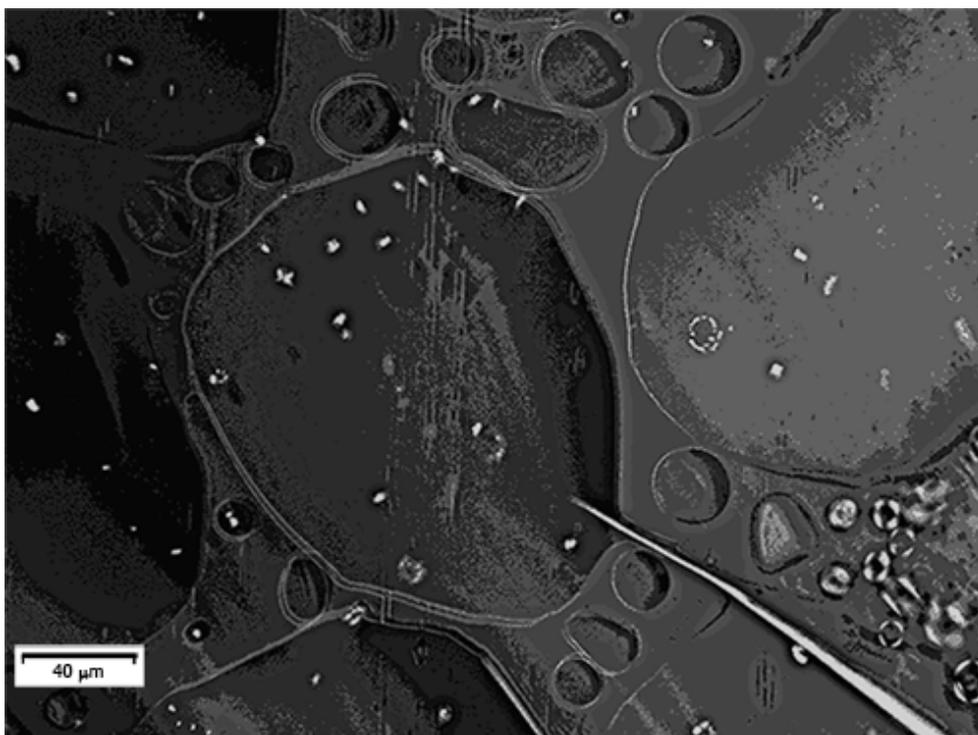


Рис. 4. Съемка на компьютеризированном оптическом стенде. Размер масштабного штриха 40 мкм. Скопление разномасштабных капель. Большая капля крупным планом. Одно-, двух- и трехслойные мембраны, окружающие капли. Проросшая в каплю струна, окруженная каналом. Микроскопические капли, находящиеся внутри крупных капель и окруженные неоднородной оболочкой.

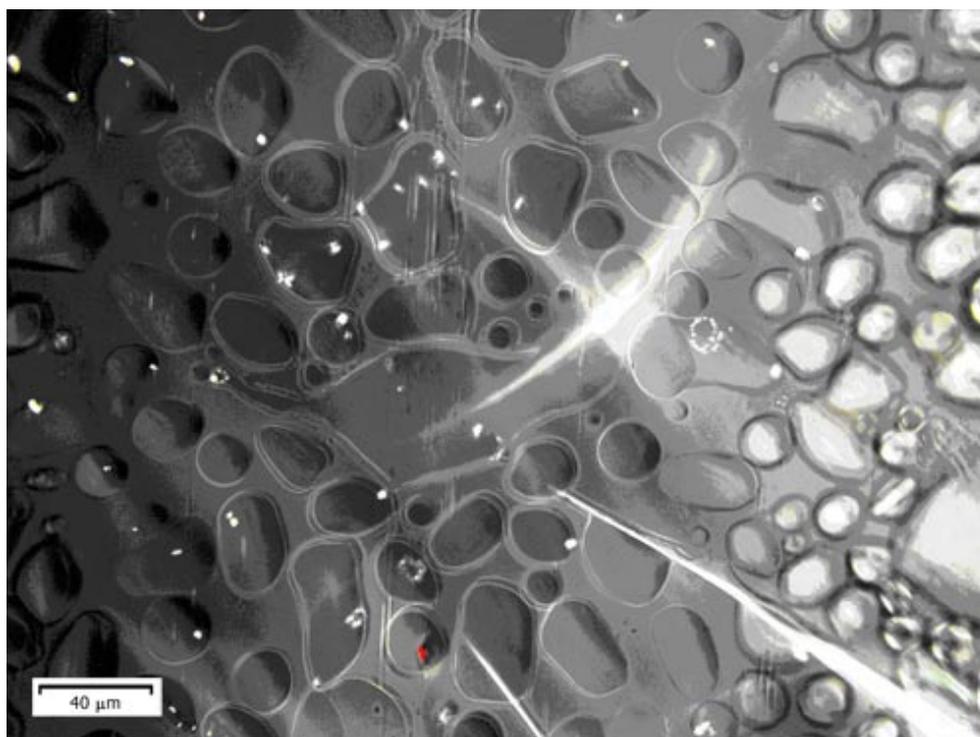


Рис. 5. Съемка на компьютеризированном оптическом стенде. Размер масштабного штриха 40 мкм. Большое скопление разномасштабных капель. Одно- и двухслойные мембраны, окружающие капли. Струна, проросшая сквозь несколько капель и окруженная каналом. Микроскопические капли, находящиеся внутри крупных капель и окруженные неоднородной оболочкой.

На рис. 4, 5 видны многочисленные микроскопические объекты с характерными размерами от одного до нескольких микрон, изображения которых имеют вид ярких точек или неравномерных по светимости ярких, несколько деформированных колец. Их оптическая плотность соответствует оптической плотности струн, поэтому естественно предположить, что они представляют собой сконденсировавшиеся кристаллики ТФААС. Все эти объекты сосредоточены внутри водяных капель. Можно предположить, что формирование этих объектов связано с микроскопическими капельками гептана, находящимися внутри относительно крупных капель воды. При этом растворимость кристалликов ТФААС, сконцентрированных на границе этих микроскопических капелек и идентифицированных как яркие точки, лимитирована величиной предельной растворимости ТФААС в гептане.

Таким образом, в двухфазном низкоконцентрированном гомохиральном растворе, в результате неравновесных процессов, формируются устойчивые каплеобразные объекты, которые как топологически (выделенный объем; мембрана, нередко – двух- и трехслойная), так и метрически (округлая форма; размер в десятки микрометров плюс минус порядок) подобны основным биологическим объектам – клеткам, включая геометрические аналоги коммутации клеток (струны) и внутриклеточных органелл (находящиеся внутри крупных водяных капель микроскопические гептановые капельки, окруженные мембраной из кристалликов ТФААС). Имеется также частичное функциональное подобие между обнаруженными каплеобразными объектами и биологическими клетками, состоящее в том, что оба класса объектов концентрируют вещества, растворенные во внешней среде, поддерживая их инверсную концентрацию



Рис. 6. Съемка на оптическом микроскопе МИКМЕД-6. Размер масштабного штриха 100 мкм.
Интенсивный, хаотически направленный рост струн внутри и в окрестности капель.
Коммутация капель посредством струн.

во внутренней среде капель и клеток соответственно.

Выявленные многочисленные аналогии, по-видимому, свидетельствуют о том, что в условиях неравновесности простые физические процессы (переноса, конденсации и др.) даже при низкой концентрации хиральной составляющей обеспечивают определенную степень общности физико-химических механизмов формирования отдельных биоло-

гических клеток и коммутирующих между собой комплексов биологических клеток, с одной стороны, и обнаруженных уединенных каплеобразных объектов и групп каплеобразных объектов, соединенных струнами, с другой стороны. Данный вывод согласуется с современными представлениями о формировании протоклеток в открытых неравновесных системах [6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Стовбун С.В., Занин А.М., Скоблин А.А., Михайлов А.И., Костяновский Р.Г., Гришин М.В., Шуб Б.Р. Макроскопическая хиральность струн // Хим. Физ. 2011. Т. 30. № 12. С. 1-5.
2. Стовбун С.В., Занин А.М., Скоблин А.А., Шашкин Д.П., Михайлов А.И., Гришин М.В., Шуб Б.Р. Компактизация межмолекулярных связей в макроскопической хиральной фазе струн. Хим. Физ. 2012. Принято к печати [Электронный ресурс]. URL: <http://stringresearchesgroup.org/>, статья 10. (дата обращения 21.01.2012).
3. Стовбун С.В., Михайлов А.И., Занин А.М., Костяновский Р.Г. Хиральность при самоорганизации струн в жидкой фазе и принципы экономии в природе // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 3. С. 92-97.
4. Стовбун С.В., Скоблин А.А. Физико-химическое моделирование процессов межклеточной коммутации // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 152. С. 502-505.
5. Стовбун С.В. Формирование конденсированной фазы (струн) в слабых растворах хиральных веществ // Хим. Физ. 2011. Т. 30. № 8. С. 3-10.
6. Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Жаворонков А.А. Хиральность как проблема биохимической физики // Российский химический журнал. 2007. Т. LI. № 1. С. 13-22.
7. Kostyanovsky R.G., Lenev D.F., Krutius O.N., Stankevich A. A. Chirality-directed organogel formation // Mendeleev Commun. 2005. V. 15. Is. 4. P. 140-141.
8. Rustom A, Saffrich R, Markovic I, Walther P, Gerdes HH. Nanotubular highways for intercellular organelle transport. // Science. 2004. Feb. 13; 303 (5660):1007-1010.