

# Отчет д.ф.-м.н. В.В.Василевской



Марков Володя



Кротова Маша



Ермилов Виталий



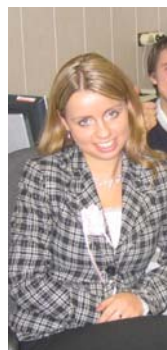
Глаголевы Аня и Миша



Зиятдинов Азамат



Аблязов Павел



Петровская Катя



Гусев Леонид



Клочков Алексей



Michel Vert



Kenichi Yoshikawa



Алексей Лазутин



Gerrit ten Brinke



Laurent Lecklerq

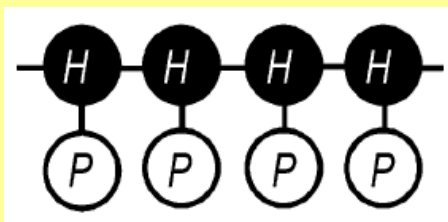
# **Направления научных исследований:**

- ✓ Амфифильные макромолекулы (линейные и привитые) – **компьютерное моделирование;**
- ✓ Поверхностные нанореакторы – **теория и компьютерное моделирование;**
- ✓ Полиэлектролиты. ДНК и интерполимерные комплексы – **теория, компьютерное моделирование;**

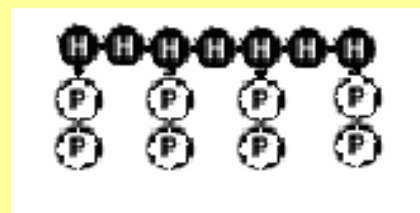
# Амфифильные макромолекулы

- ✓ содержат группы, имеющие различное сродство с полярными и неполярными растворителями;
- ✓ образуют в растворах и расплавах сложные микроупорядоченные структуры

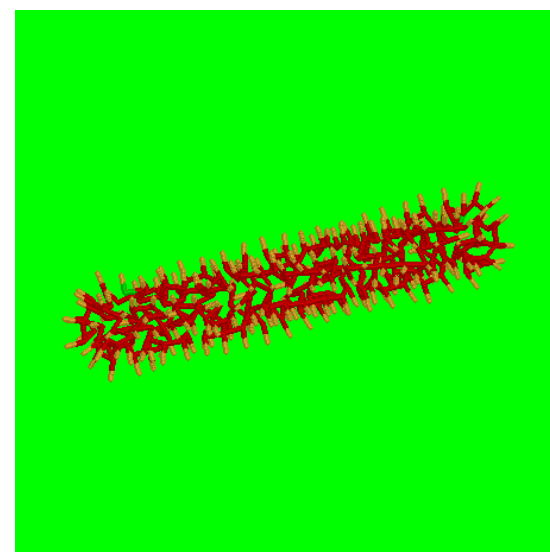
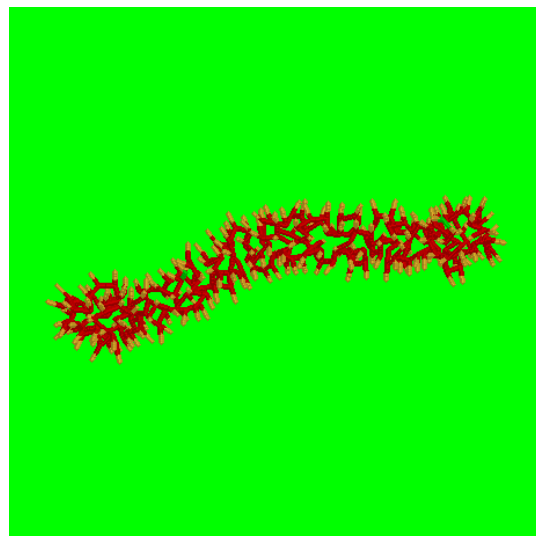
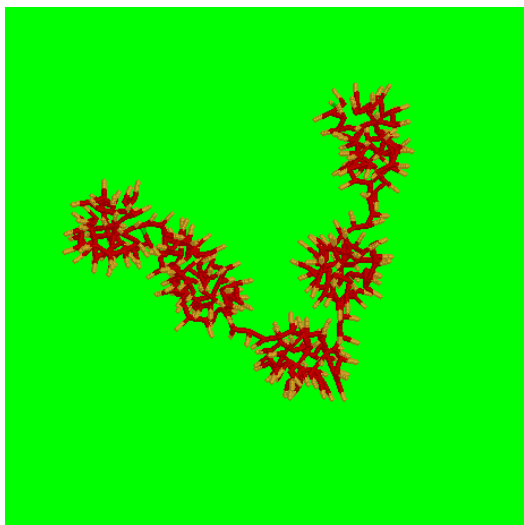
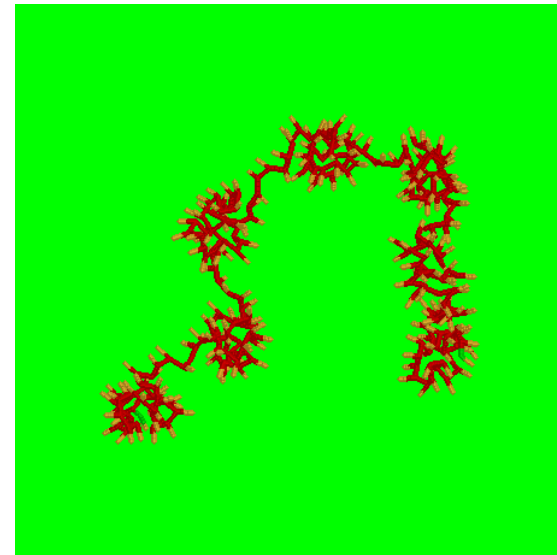
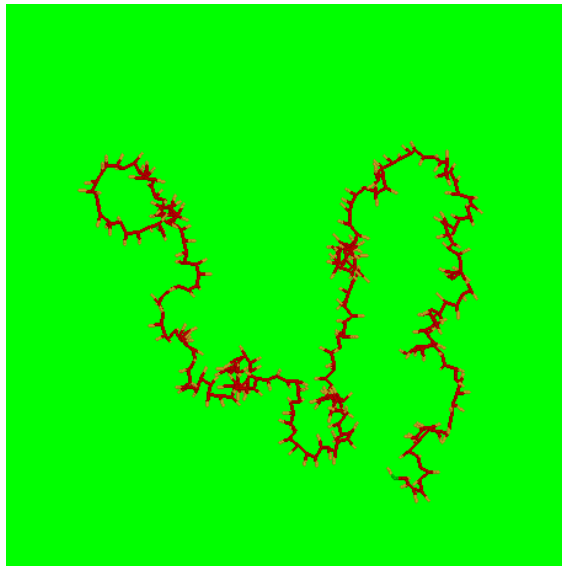
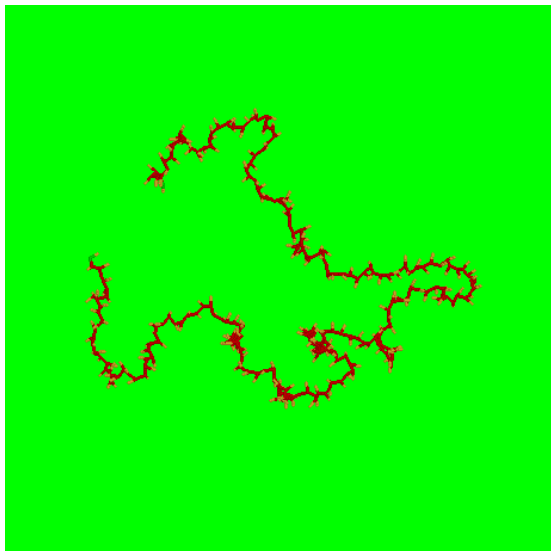
- **Линейные, амфифильные на уровне отдельного звена**



- **Привитые (гребнеобразные)**



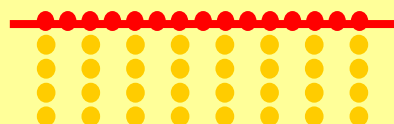
# Конформации линейных амфифильных макромолекул по мере ухудшения качества растворителя



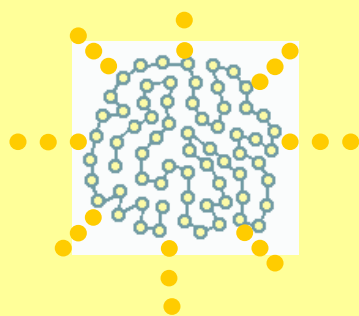


# Гребнеобразные макромолекулы с различными статистиками распределения точек пришивки

---



Регулярный сополимер



Белковоподобный сополимер

*Исследованы гребнеобразные макромолекулы с высокой плотностью пришивки ( $n=2$ ) боковых цепей, с различными степенями полимеризации  $N$  и  $t$*

***$N$  - степень полимеризации основной цепи***

***$t$  - степень полимеризации боковой цепи***

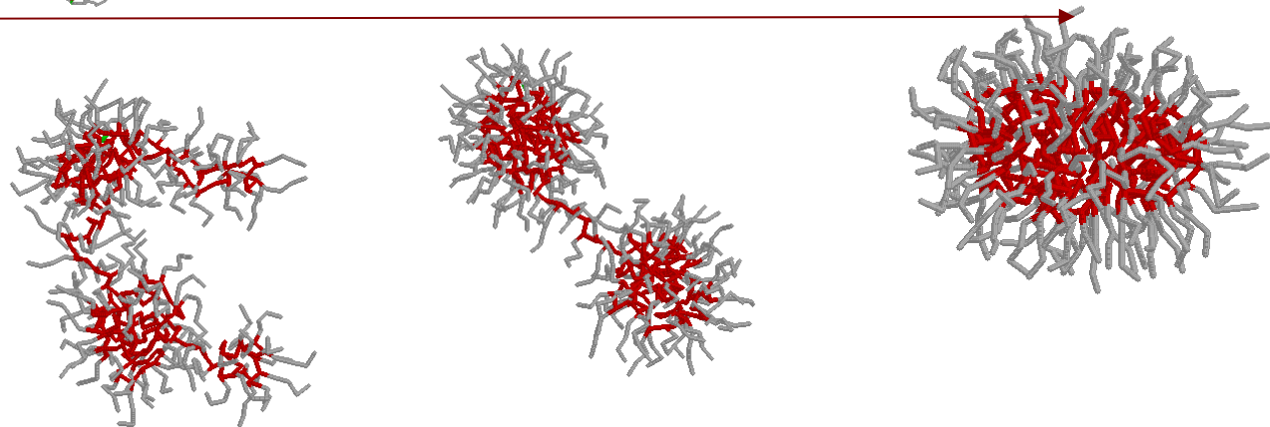
***$n$  – расстояние между точками пришивки боковых цепей.***

# Мгновенные снимки амфифильных гребнеобразных макромолекул

Регулярный сополимер



Белковоподобный сополимер



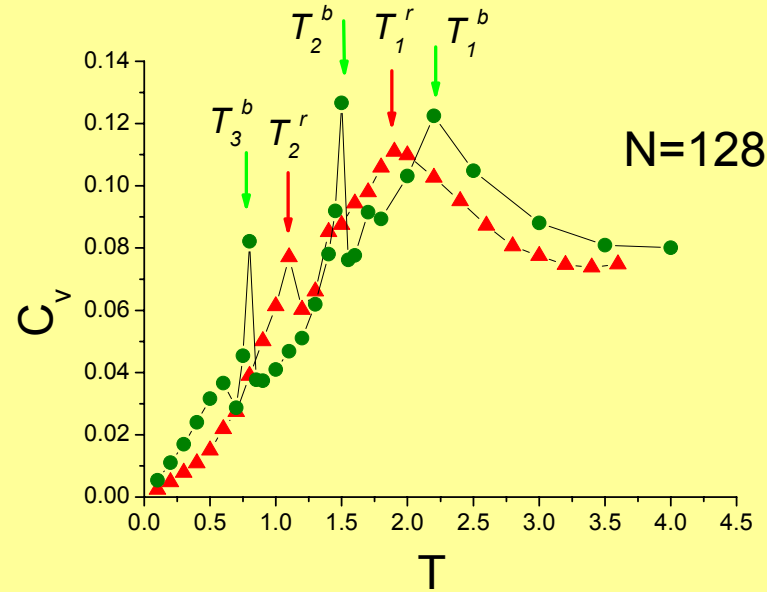
✓ В обоих случаях переход проходит через фазу образования ожерелье-подобной конформации.

✓ Форма глобул зависит от статистики распределения точек пришивки боковых цепей, а также их степени полимеризации и температуры.

А.А. Старостина, А.А. Клочков, В.В. Василевская, А.Р. Хохлов.

- Высокомолекулярные соединения А, 2008, т. 50А, № 9, стр. 1691–1703

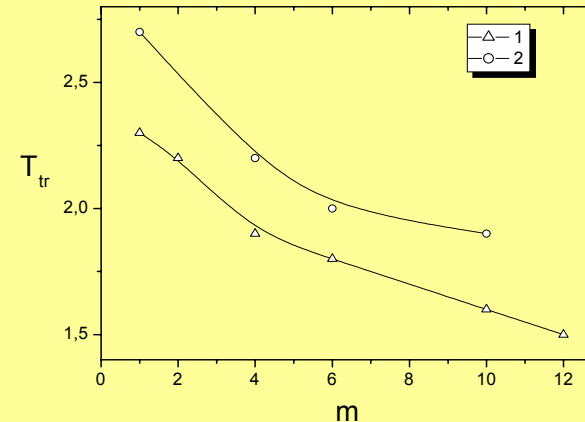
## Теплоемкость $C_v$ & температура $T$



Регулярный сополимер - два максимума  
 1. Переход клубок-глобула  
 2. Формирование единой глобулы из бусинок

Белковоподобный сополимер – три максимума  
 1. Переход клубок-глобула  
 2. Формирование единой глобулы из бусинок  
 3. Изменение формы глобулы

## Температура $T_{tr}$ перехода клубок-глобула & степень полимеризации $m$ боковых цепей



Температура перехода  $T_{tr}$  клубок-глобула понижается по мере роста степени полимеризации  $m$  и вне зависимости от статистики распределения точек пришивки аппроксимируется как

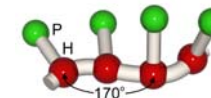
$$T_{tr} \sim m^{-0.16 \pm 0.02}$$

Borisov O.V., Zhulina E.B., *Macromolecules*, 2006, v.38, p. 2506

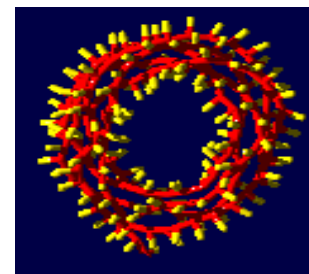
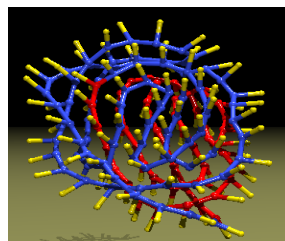
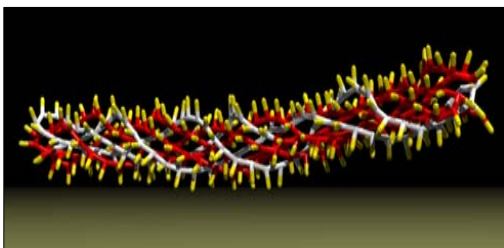
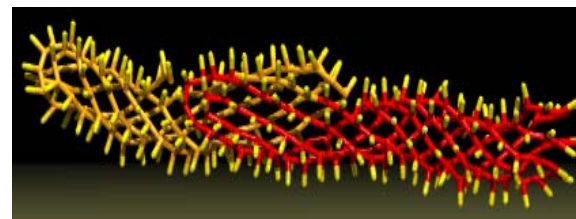
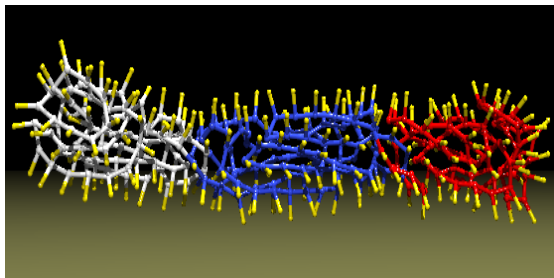
$$T_{tr} \sim m^{-3/21} \sim m^{-0.14}$$

(-Δ-) – регулярный сополимер  
 (-○-) - белковоподобный сополимер

# Жесткоцепные амфифильные макромолекулы: с фиксированным углом изгиба

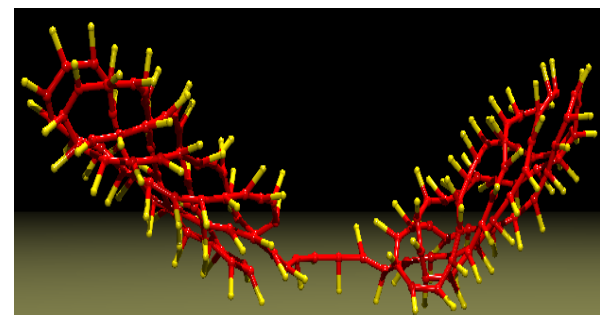
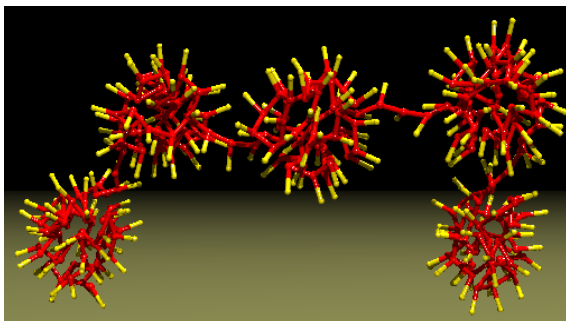


## Глобулы

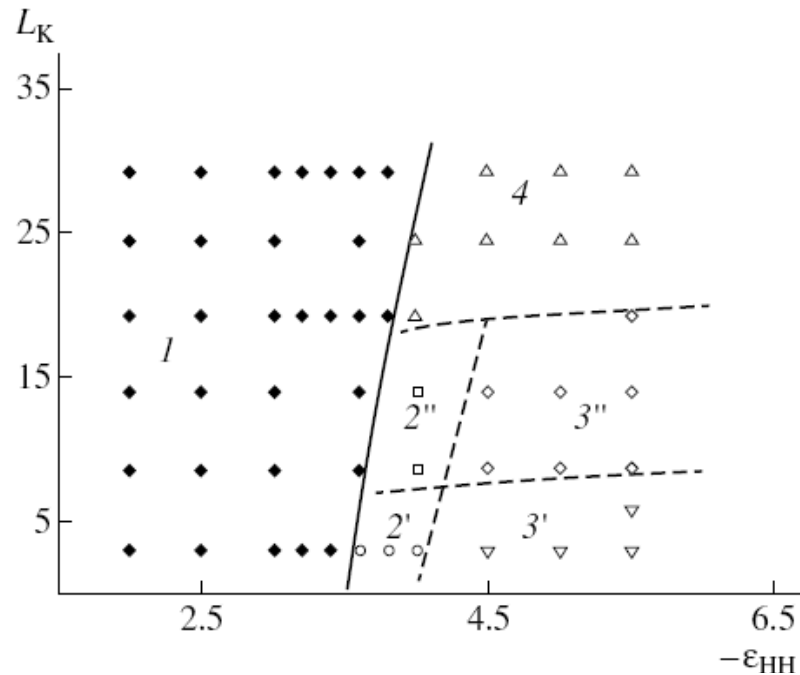


---

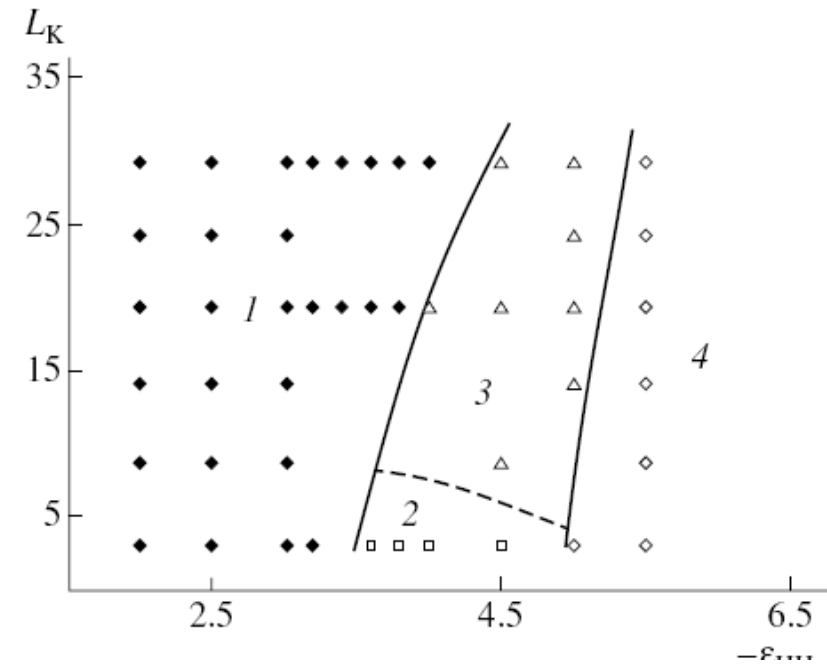
## Ожерелье –подобные конформации



## Фазовые диаграммы жесткоцепных амфифильных макромолекул в переменных сегмент Куна $L_K$ & качество растворителя



Фазовая диаграмма высокомолекулярной амфифильной макромолекулы ( $N = 256$ ). 1 – клубковое состояние, 2 – конформация ожерелья со сферическими ( $2'$ ) и коллагеноподобными ( $2''$ ) бусинками–мицеллами, 3 – цилиндрические глобулы с неупорядоченными ( $3'$ ) и коллагеноподобными ( $3''$ ) блоками, 4 – область сосуществования коллагеноподобных и торoidalных структур.



Фазовая диаграмма низкомолекулярной амфифильной макромолекулы.  $N = 64$ . 1 – клубковое состояние, 2 – конформация ожерелья со сферическими блоками, 3 – коллагеноподобная глобула, 4 – сферическая глобула.

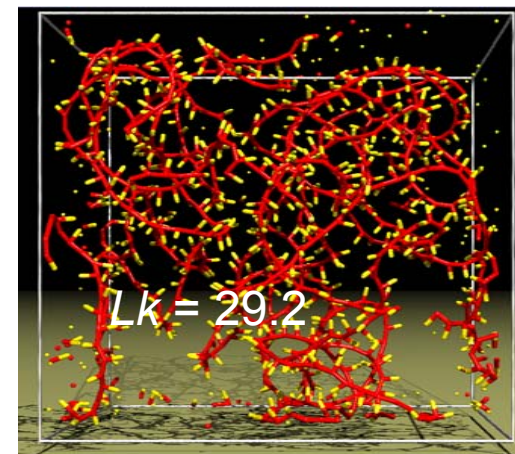
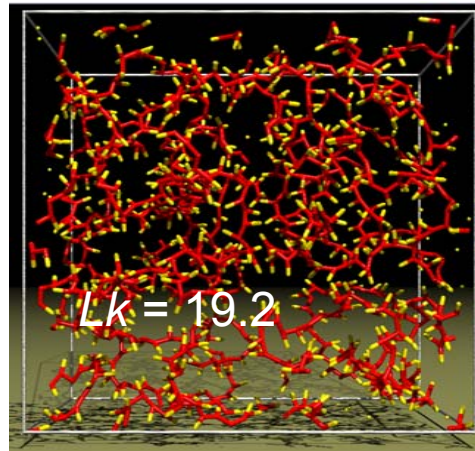
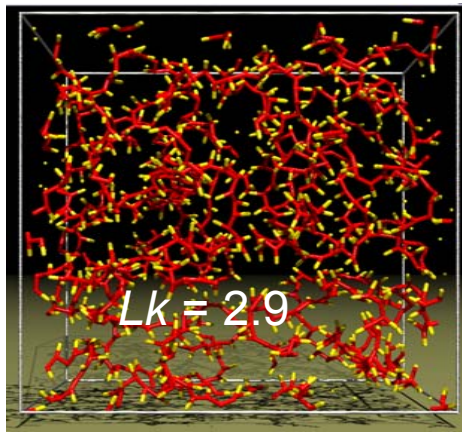
V.A. Markov, V.V. Vasilevskaya, P.G. Khalatur, G. ten Brinke, A.R. Khokhlov. *Macromolecular Symposia* 2007, v. 252, pp. 24-35

В.А. Марков, В.В. Василевская, П.Г. Халатур, Г. тен Бринке, А.Р. Хохлов. - *Высокомолекулярные соединения А*, 2008, т. 50, № 6

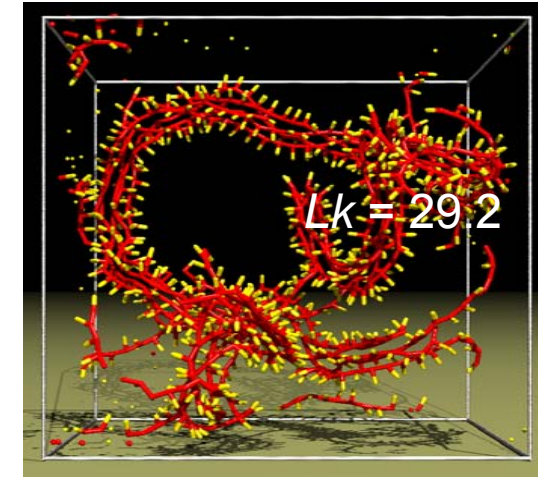
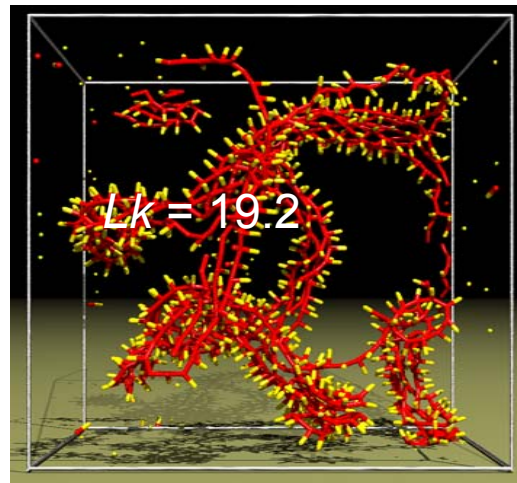
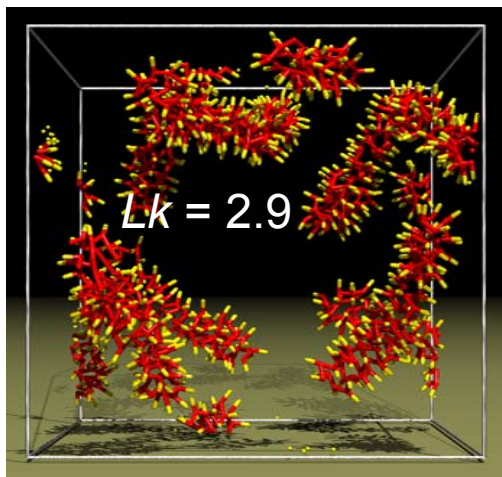


# Концентрированный раствор амфифильных макромолекул:

Хороший растворитель



Плохой растворитель



При ухудшении качества растворителя концентрированного раствора гибкие амфифильные макромолекулы формируют отдельные глобулы, жесткие – жгуты из нескольких цепей

V.A. Markov, V.V. Vasilevskaya, G. ten Brinke, A.R. Khokhlov.

Macromolecules 2008 v.41, pp.7722-7728



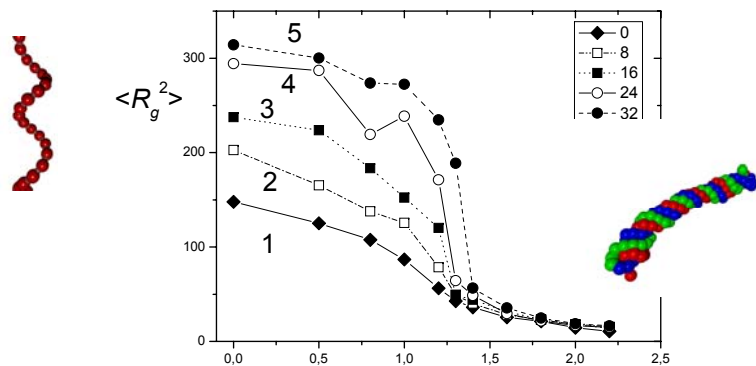
# Жесткоцепные амфифильные макромолекулы: с фиксированными углом изгиба и углом внутреннего вращения

$$U_{bond} = \varepsilon_{st} (\cos\theta - \cos\theta_0)^2$$

$$U_{tors} = -\varepsilon_{st} \cos(\varphi - \varphi_0)$$

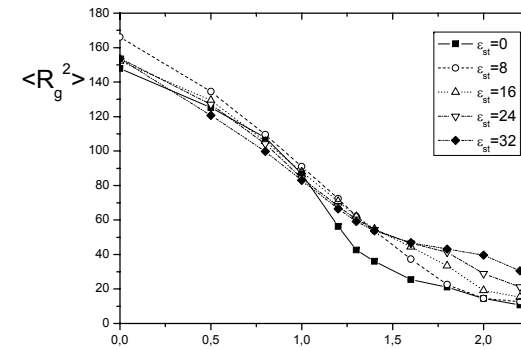


## Вытянутая спираль



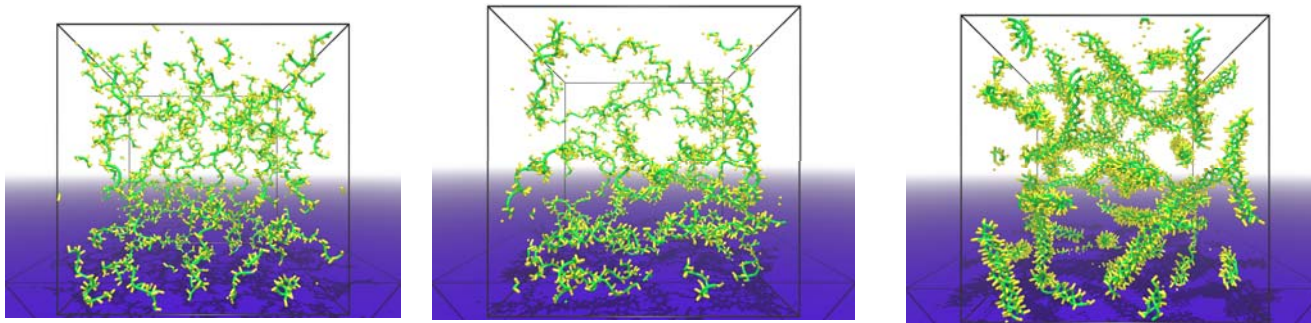
Переход клубок-глобула происходит довольно резко, в узкой области изменения качества растворителя. Коллапс таких макромолекул проходит через стадию формирования ожерельеподобных конформаций. В глобуле жестких макромолекул цепь несколько раз складывается сама на себя, ее отдельные ветви переплетаются.

## Плотная спираль

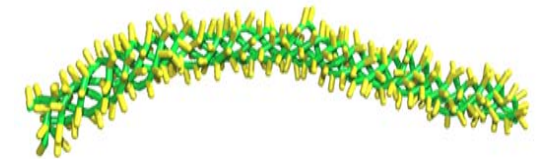


По мере ухудшения качества растворителя уменьшается расстояние между витками, увеличивается число звеньев в витке, а сама цепь при этом ожесточается и формирует высокоструктурированную стержнеобразную глобулу. Глобулы гибких цепей могут изогнуться и сформировать шпилькообразная структура.

# Концентрированный раствор амфифильных макромолекул с локальной спиральной структурой (фиксированные углы изгиба и внутреннего вращения)



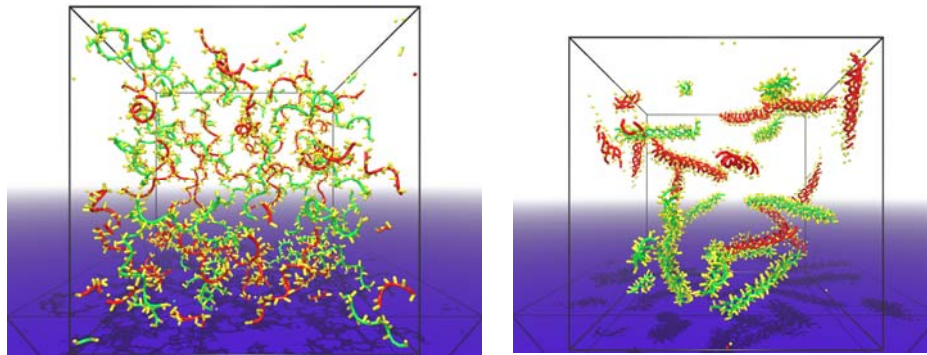
Комплекс-фибрилла



ухудшение качества растворителя

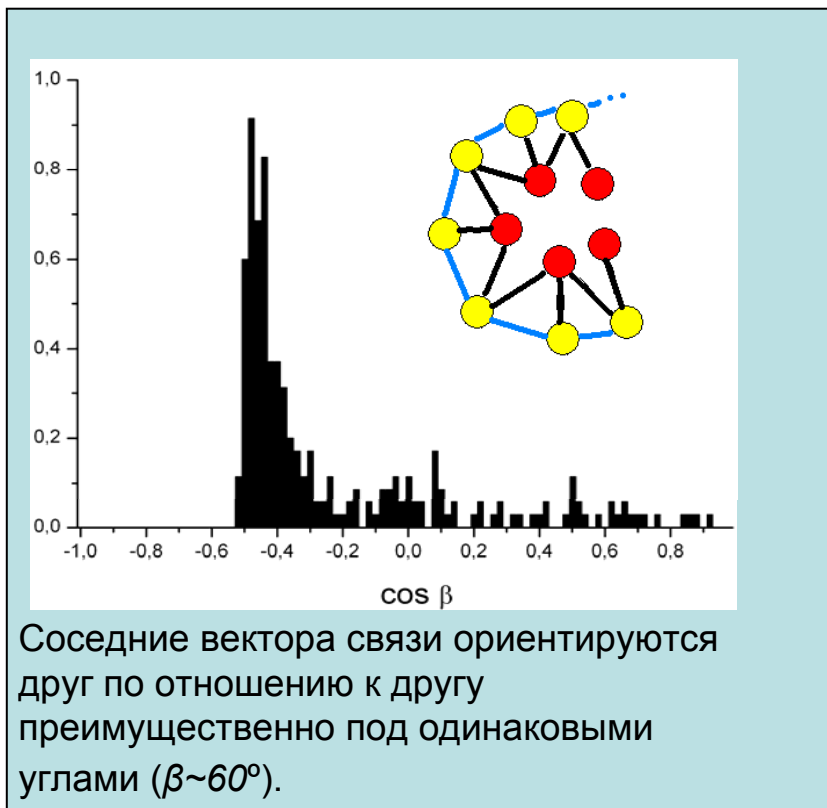
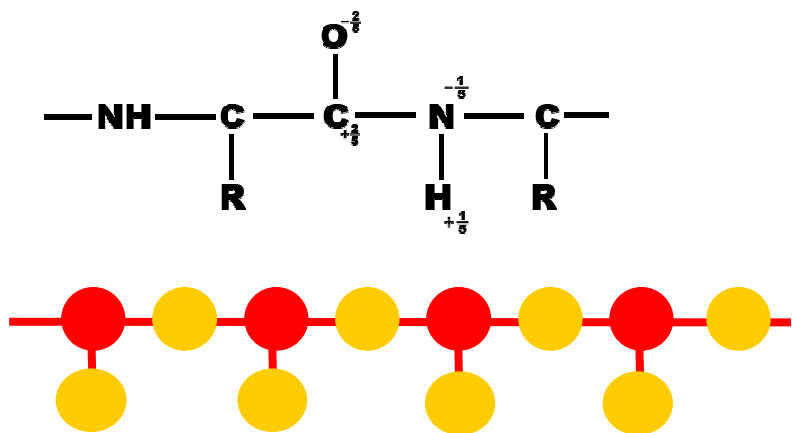


Рацемическая смесь правых и левых изомеров



При ухудшении качества растворителя макромолекулы объединяются в фибриллы-комплексы, состоящие из нескольких макромолекул, которые переплетаются относительно друг друга. В рацемических смесях левых и правых изомеров происходит разделение, т.е. комплексы-фибриллы, как правило, содержат изомеры одной и той же хиральности

## Сополимер гидрофильных и амфифильных мономерных звеньев



Охлаждение

<p>быстрое</p>	<p>медленное</p>
----------------	------------------

Глобула, сформированная при “быстром охлаждении”, имеет спиральную конформацию, в которой все гидрофильные группы вытеснены на периферию.

В.А. Ермаков, В.В.Василевская,  
 А.Р.Хохлов. - Высокомолекулярные  
 соединения 2007, 49А, №1, стр. 109-  
 118

## Сополимер гидрофильных и амфифильных мономерных звеньев

Радиус действия потенциала

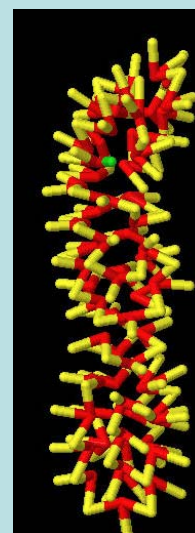
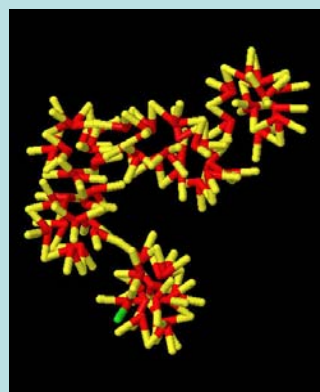
$R_c=2$

$R_c=2.5$

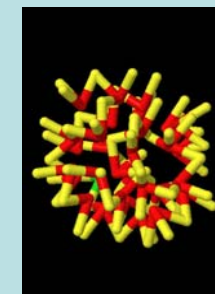
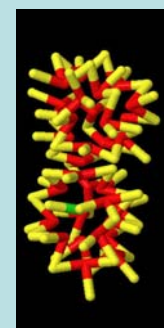
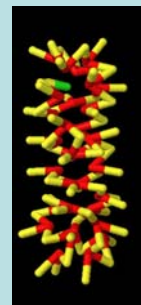
$R_c=3$

$R_c=4$

$N=128$



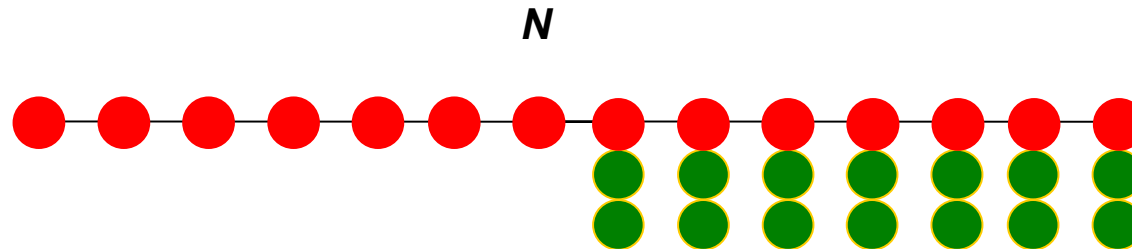
$N=64$



# Микрофазное расслоение в расплаве гребнеобразных и диблок «клубок-гребенка» сополимеров

---

Модель :



Степень полимеризации основной цепи:  $N = 24$

Степень полимеризации боковых цепей:  $m = 2$

Боковые цепи пришиты к каждому звену основной цепи гребнеобразного блока, начиная с концевоего

Число цепей  $n = 1, 3, 6, 12, 18, 24$

***Звенья основной цепи и боковых привесок сильно отталкиваются***

***$\varepsilon$  – параметр, описывающий эти взаимодействия***



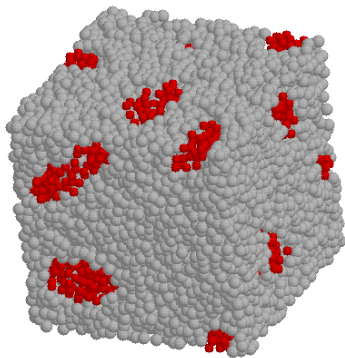
# Микрофазное расслоение в расплаве гребнеобразных и диблок «клубок-гребенка» сополимеров: метод Монте Карло

Энергия взаимодействия  $\varepsilon = 8$

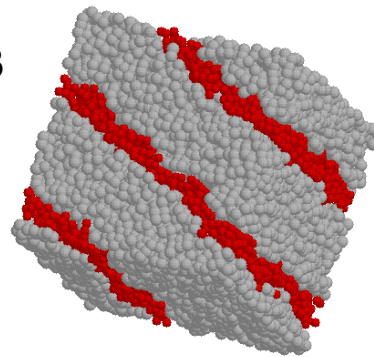
Плотность  $\sim 0.5$

$N=24$

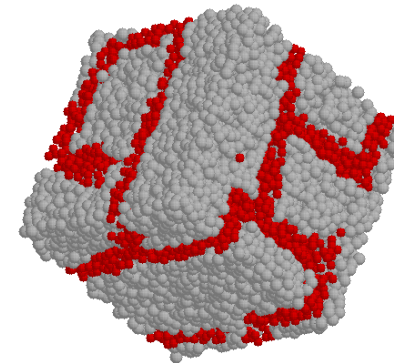
$n=1$



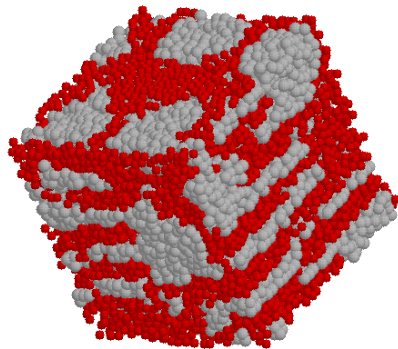
$n=3$



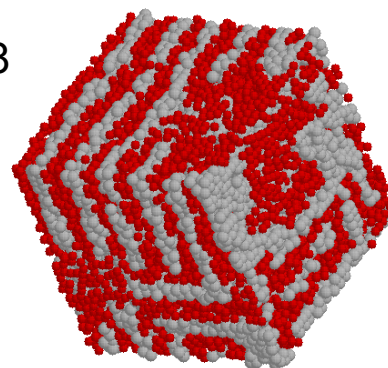
$n=6$



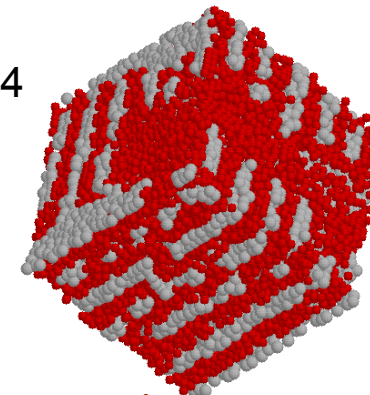
$n=12$



$n=18$



$n=24$

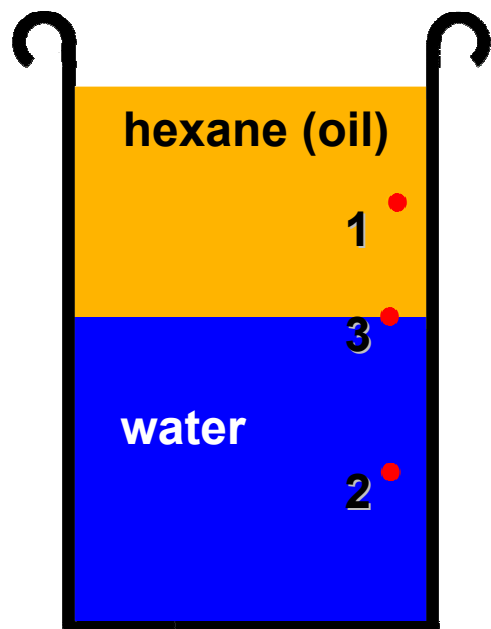


*В концентрированных растворах диблок-сополимеров «линейная цепь-гребенка» при достаточно высокой несовместимости звеньев основной и боковых звеньев происходит микрофазное расслоение. Образуются цилиндры, параллельные и пересекающиеся ламели, а также двухсвязные структуры.*

*А.А.Глаголева, В.В.Василевская, А.Р.Хохлов. Высокомолекулярные соединения 2010, №3*



# Поверхностные нанореакторы



- If  $f_1 < f_2, f_3$  – гидрофобные мономерные звенья
- If  $f_2 < f_1, f_3$  – гидрофильные мономерные звенья
- If  $f_3 < f_1, f_2$  – амфифильные мономерные звенья

Состояние 3 (поверхностный слой в несколько нанометров) может играть роль поверхностного реактора

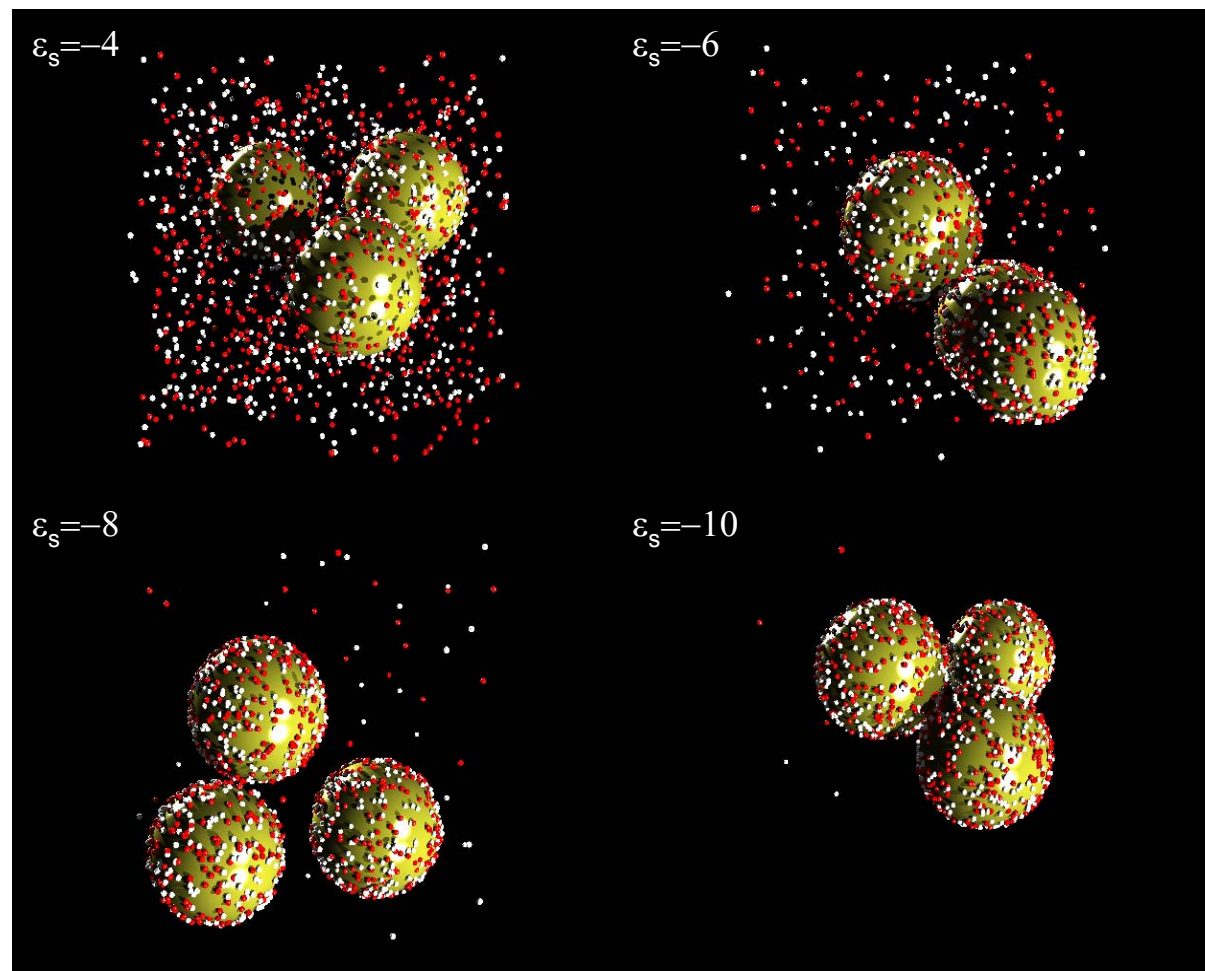
A. Goldar, J.L. Sikorav (2004) studied the enhancement of **renaturation** of complementary **single-stranded** DNA's in **water/phenol** emulsions.

Monomers of single-stranded DNA are **surface active** => they are concentrating at the boundaries (in the **surface nanoreactors**) => the probability that complementary chains meet each other **increases** => renaturation rate is **increased**.

A.Goldar, J.-L. Sikorav *Eur. Phys. J. E* 2004, v.14, pp.211-239

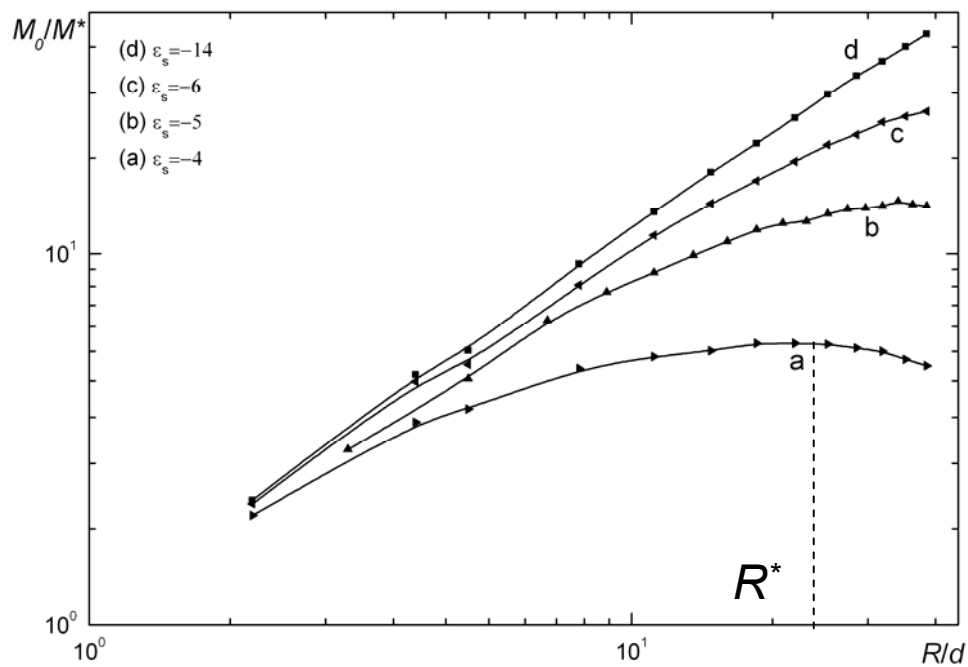
# Реакция между низкомолекулярными поверхностно-активными реагентами в эмульсии

*Распределение реагентов в эмульсии в зависимости от их поверхностной активности*

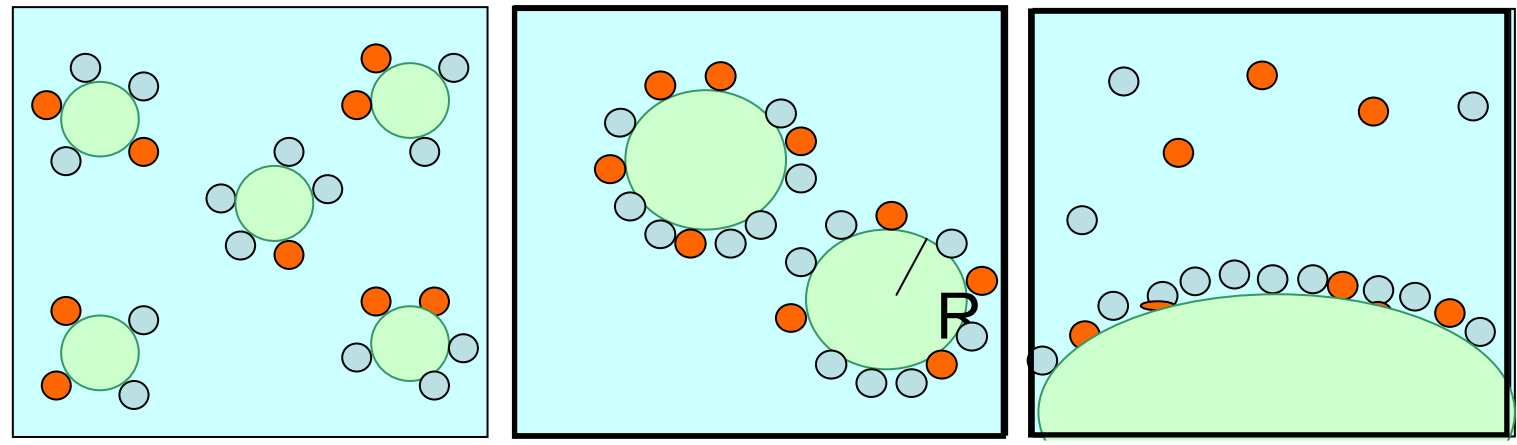
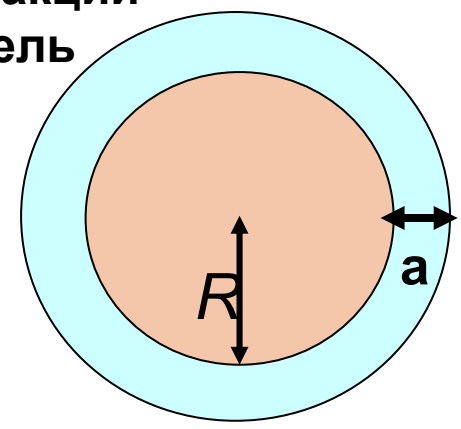


П.Н. Аблязов, В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. *Коллоидный журнал* 2007, т.69, №3, стр. 293-299

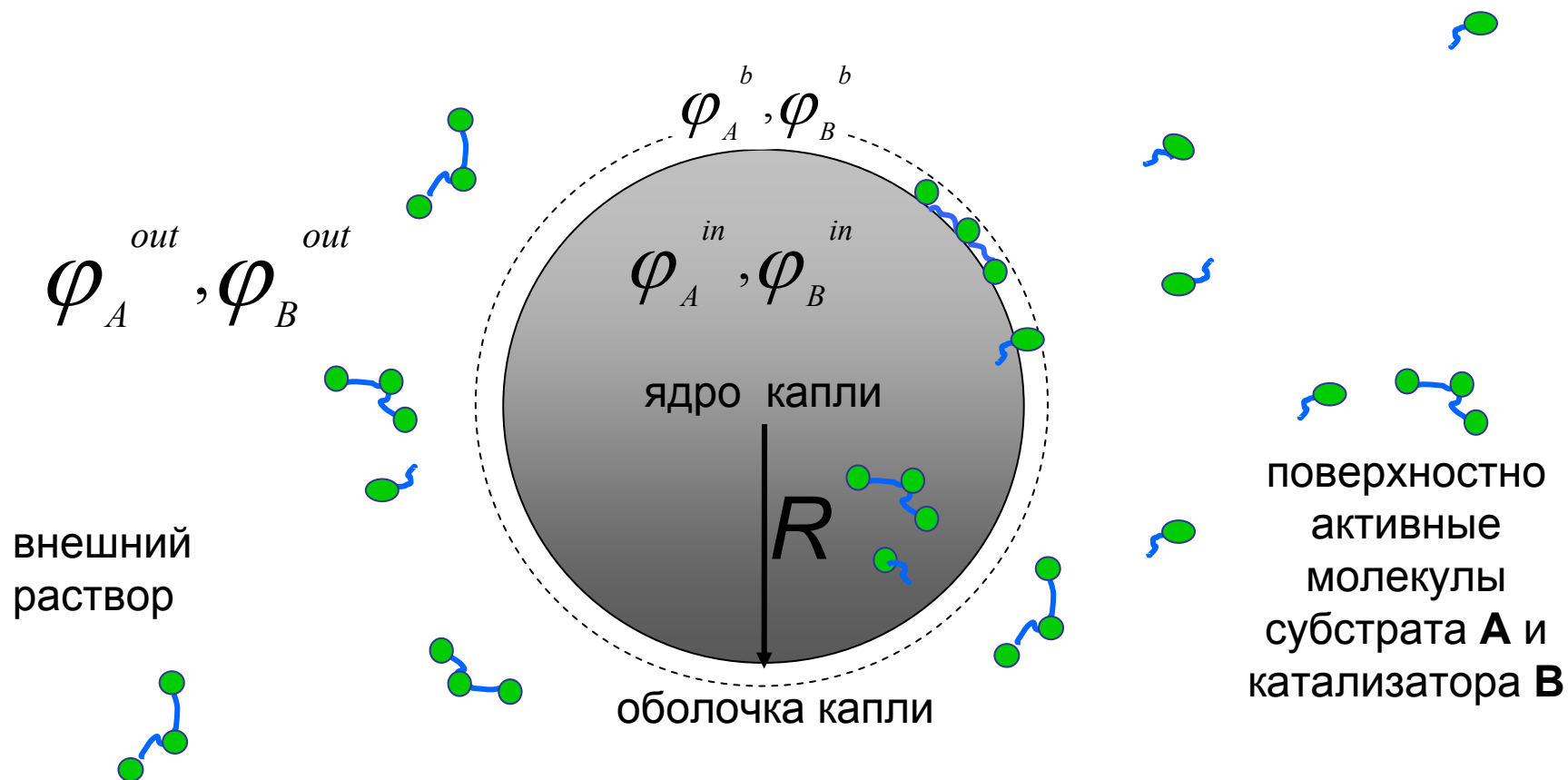
Существует оптимальный размер каплей  $R^*$  эмульсии, при котором скорость реакции максимальная



$M$  - скорость реакции  
 $R$  - радиус каплей эмульсии



# Реакция в поверхностном нанореакторе в присутствии полимерного катализатора

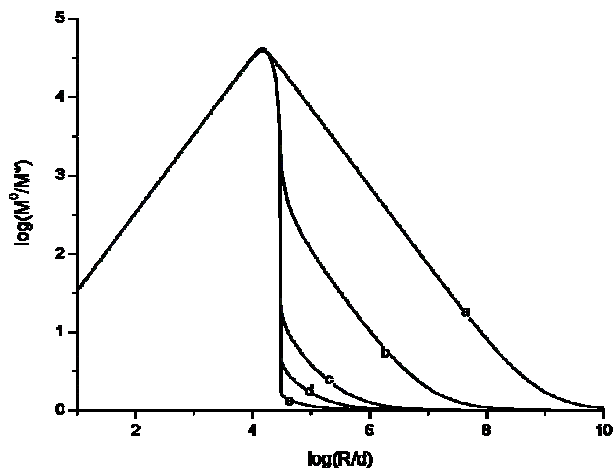


Е.В. Петровская, В.В. Василевская, А.Р. Хохлов.

- *Высокомолекулярные соединения* 2007, т.49, №6, стр. 1080-1088

## Зависимость скорости реакции $M$ от радиуса капли $R$ для различных степеней полимеризации $N$ катализатора

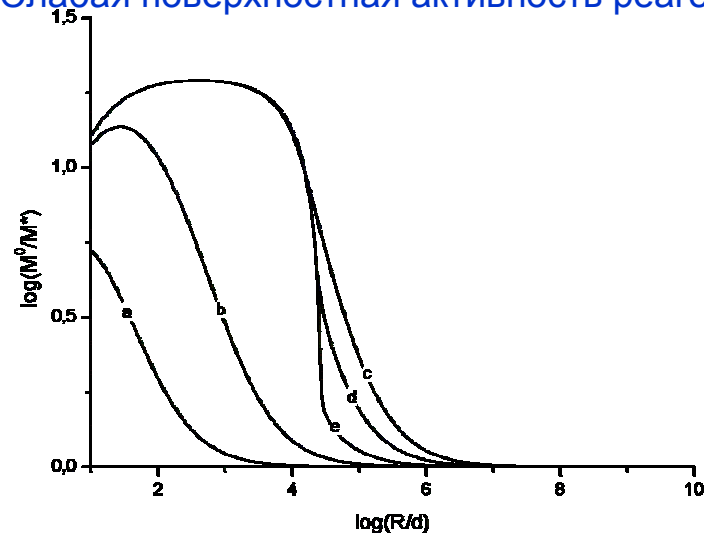
Сильная поверхностная активность реагентов



$N=1$ (a)  
 $N=2$ (b)  
 $N=5$ (c)  
 $N=10$ (d)  
 $N=30$ (e)

- При  $R < R^*$  скорость ведет себя одинаково для любых  $N$
- При  $R > R^*$  чем больше  $N$ , тем существеннее падает скорость

Слабая поверхностная активность реагентов



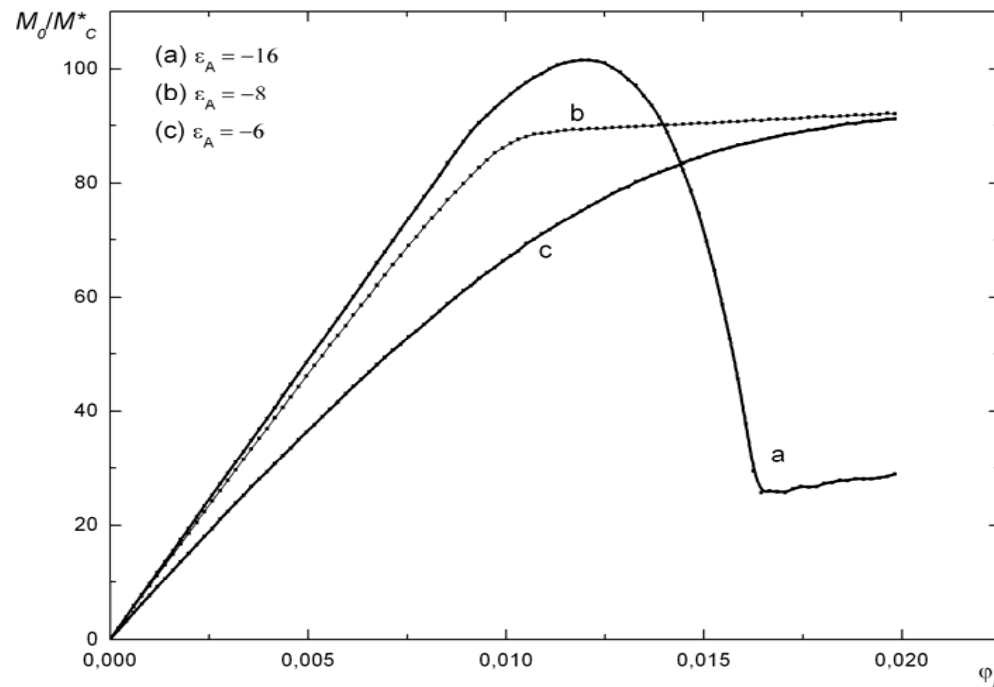
- При  $R < R^*$  чем меньше  $N$ , тем больше скорость реакции
- При  $R > R^*$  чем больше  $N$ , тем существеннее падает скорость

Оптимально использовать полимерные катализаторы с **невысокими (порядка нескольких звеньев) степенями полимеризации**, а так же необходимо **соблюдать соотношение между концентрациями реагентов, степенью полимеризации катализатора и размером капель эмульсии**, при котором, с одной стороны, происходит **активное концентрирование реагентов** в поверхностных слоях, а с другой - не допускается **эффективное отравление** этих слоев посредством преимущественного концентрирования одного из компонентов.

*Охалкин И.М., Махаева Е.Е., Хохлов А.Р. Гидролиз *n*-нитрофенилбутерата в эмульсии масло-вода под действием полимерного катализатора.*



## Эмульсии в случае поверхностно-активных реагентов играют роль неспецифических катализаторов



Кинетика Михаэльс-Ментен

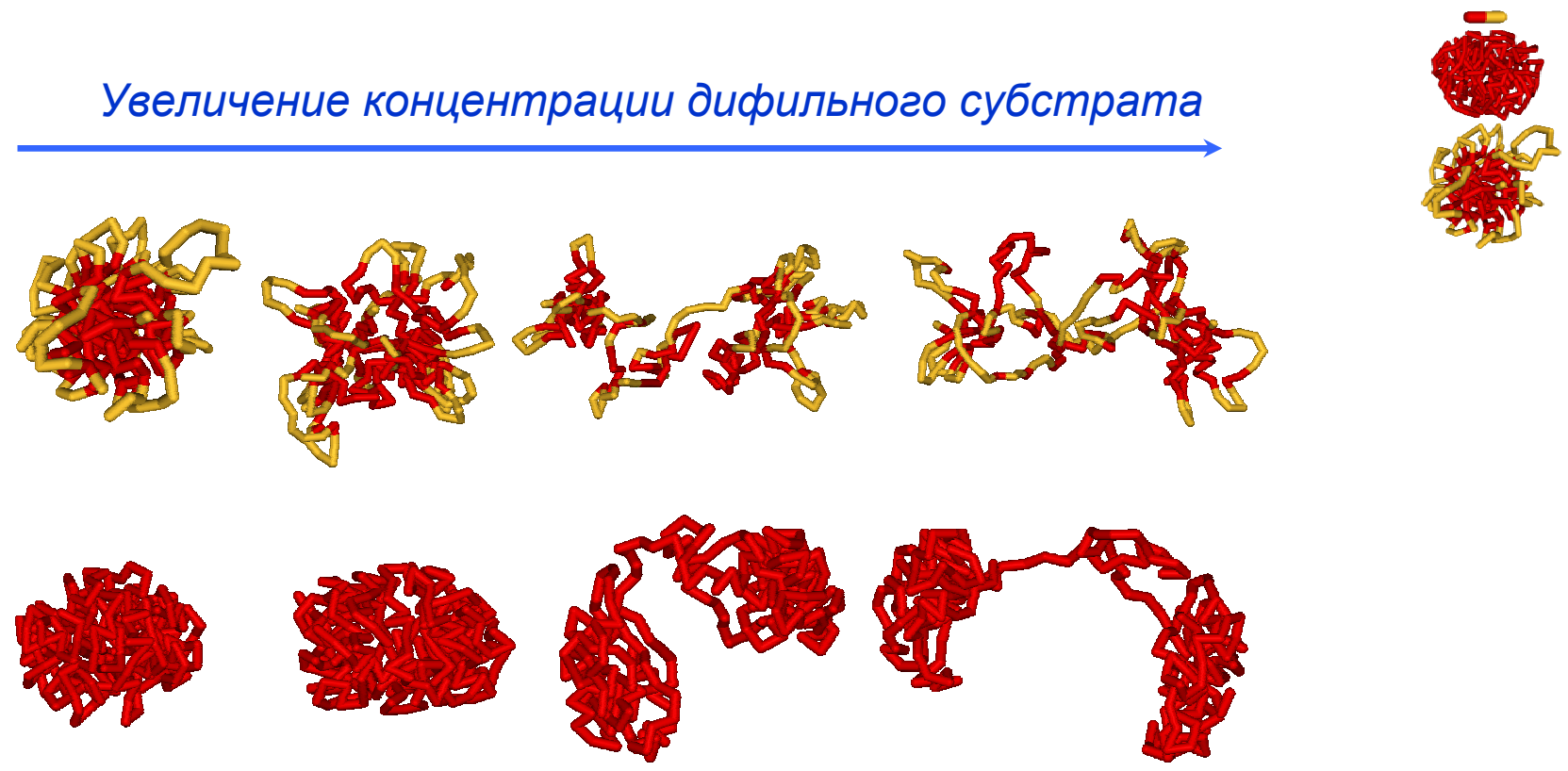
$M_0$  - скорость реакции в начальный момент времени

$\phi_A$  - концентрация субстрата

(a) - поверхностная активность (ПА) катализатора **выше** поверхностной активности субстрата

(b)-(c) - поверхностная активность (ПА) катализатора **ниже** поверхностной активности субстрата

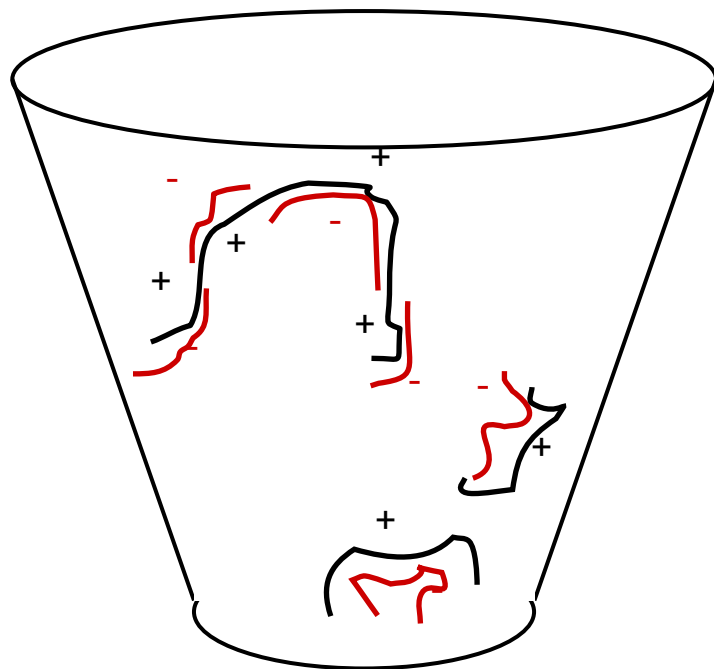
# РАЗРУШЕНИЕ ГЛОБУЛ СО- И ГОМОПОЛИМЕРНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ ПО МЕРЕ РОСТА КОНЦЕНТРАЦИИ ДИФИЛЬНОГО СУБСТРАТА



П.Н. Аблязов, В.В. Василевская, А.Р. Хохлов.  
-Высокомолекулярные соединения А, 2009

# ИНТЕРПОЛИМЕРНЫЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

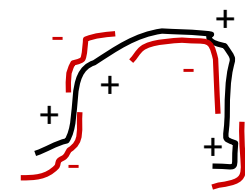
Интерполимерные комплексы возникают при смешении растворов противоположно заряженных макроионов. Если суммарный заряд комплекса равен нулю (стехиометрические комплексы), комплексы осаждаются



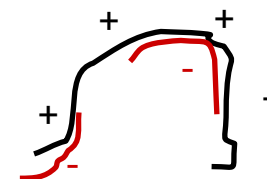
# Interpolymer polyelectrolyte complexes (IPEC)

IPEC properties considerably depend on the positive and negative charge ratios within mixtures.

✓ **Stoichiometric complexes** contain equal amounts of opposite charges. The net charge is thus zero, and macroscopic phase separation is observed (precipitation).



✓ **Non-stoichiometric complexes** appear if there is an excess of charges of one sign in the solution. These complexes are generally in the form of hydrodispersed tiny particles or micellar aggregates stabilized by the presence of a surface net charge.

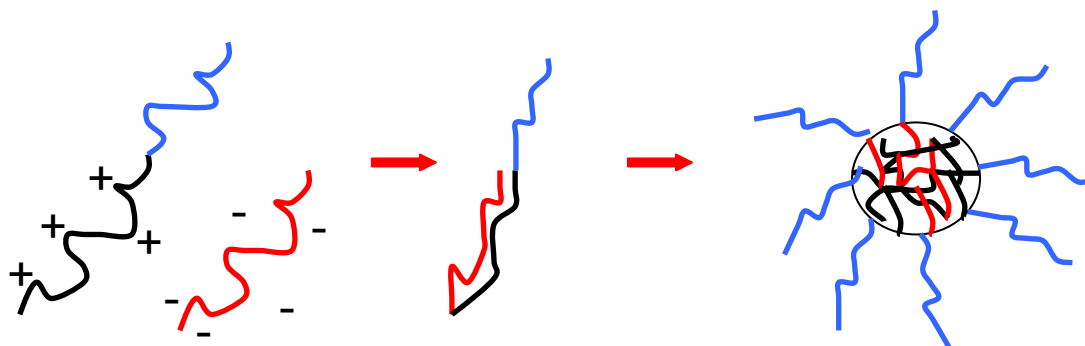


# Растворимые стехиометрические комплексы

---

Для образования растворимых стехиометрических комплексов в одну из цепей вводятся гидрофильные группы.

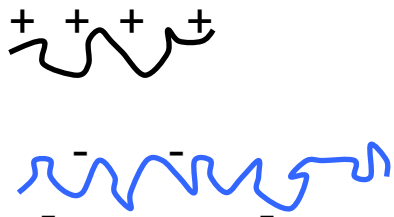
1. Block-ionomer + opposite charged polyelectrolyte.  
Hydrophylic block is engrafted to one of the macromolecule.



Micelle-like complex

1. A.Harada, K.Kataoka, *Macromolecules*, 1995
2. E.Yu.Kramarenko, A.R.Khokhlov, *J. Chem.Phys*, 2006

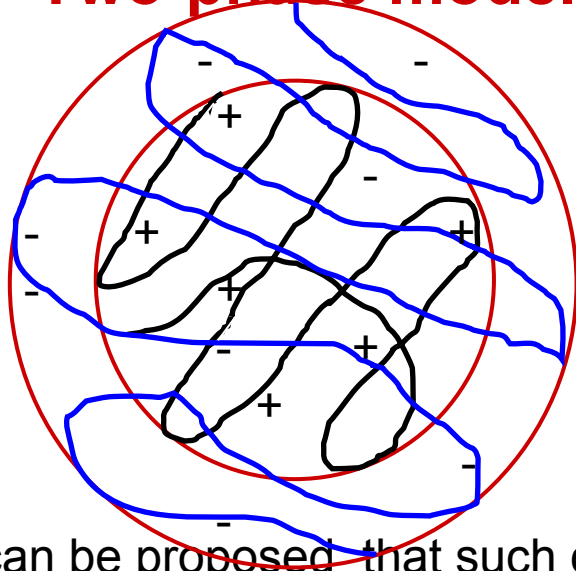
2. Hydrophilic blocks are imputed into the main chain.



*L.Leclercq, M.Vert Eur.J.Pharmacol.Sci.,2005*

**Complex consisted of oppositely charged macromolecules with different affinity to solvent**  
**e.g. hydrophobic cation and hydrophilic anion macromolecule.**

## Two-phase model



✓ Due to the electrostatic attraction between positive and negative charges macroions form complex with zero total charge

✓ Hydrophobic units of macrocation tend to avoid contact with aqueous solution

✓ Hydrophilic monomer units of macroanion try to increase their interaction with solvent

It can be proposed that such complex has two-phase structure.

Core of complex - monomeric units of both macroions.

Its density is high (strong electrostatic interaction)

Shell - Only hydrophilic monomer units.

The width of shell is determined by balance:

Interaction energy of hydrophilic units with solvent

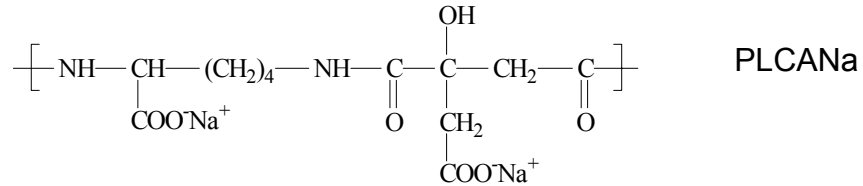
Electrostatic interaction between positively charged core and negatively charged shell



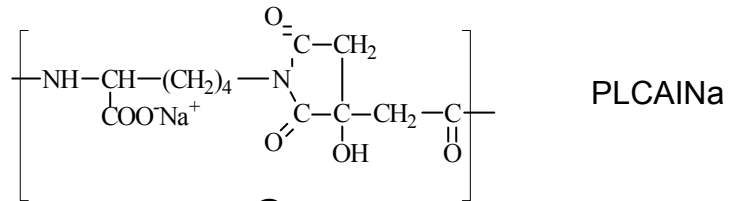
## Полианионы

### *Poly(L-lysine citramide)*

Содержит два отрицательных заряда на мономерное звено

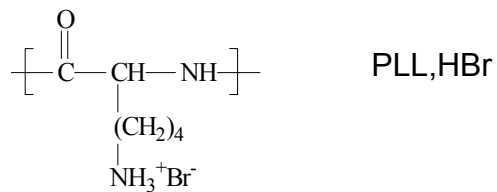


### *poly(L-lysine citramide imide)*

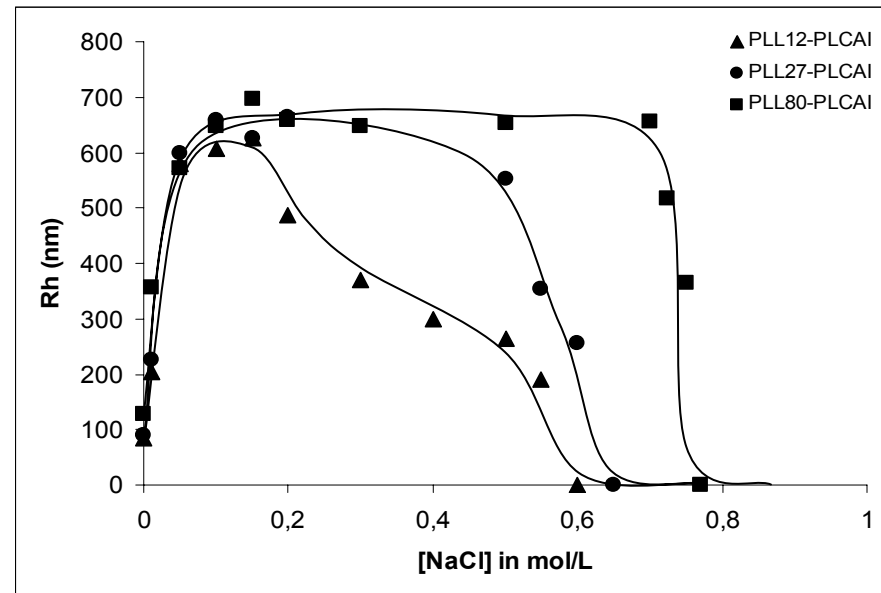
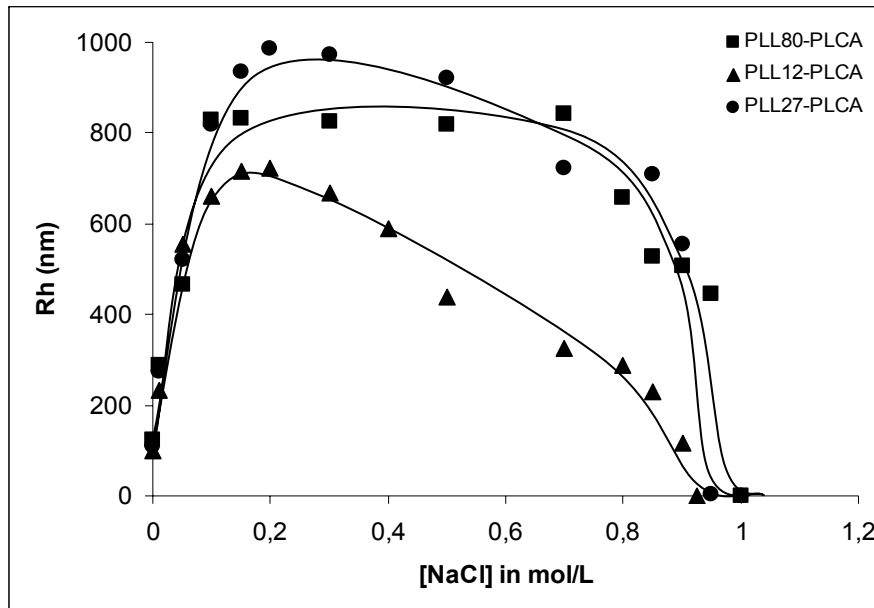


Содержит один отрицательный заряд на мономерное звено

## Поликатион - *Poly(L-lysine) hydrobromide*



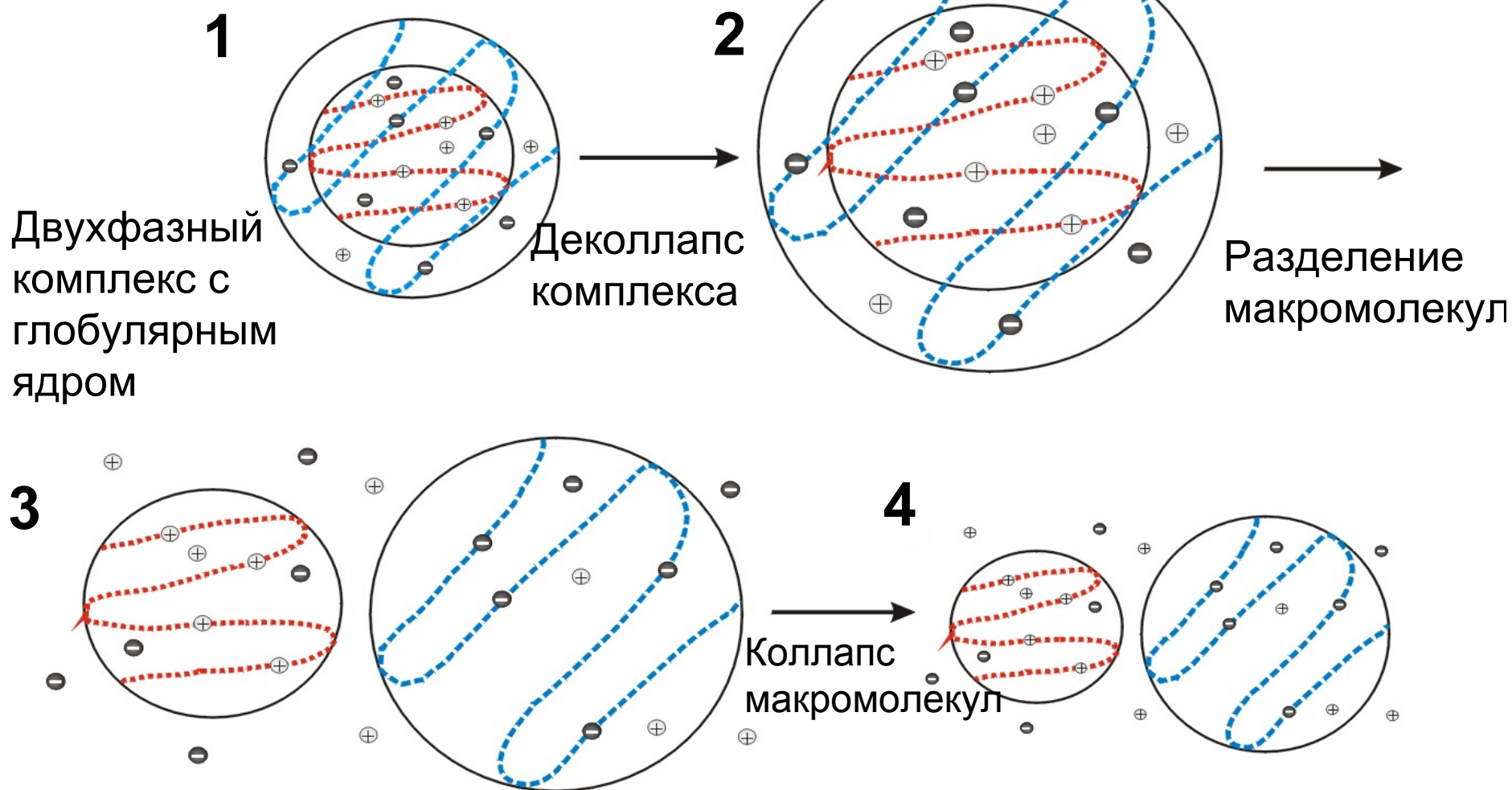
# Зависимости гидродинамического радиуса PLCA/PLL и PLCAI/PLL комплексов. M.Vert, L.Leclercq, France.



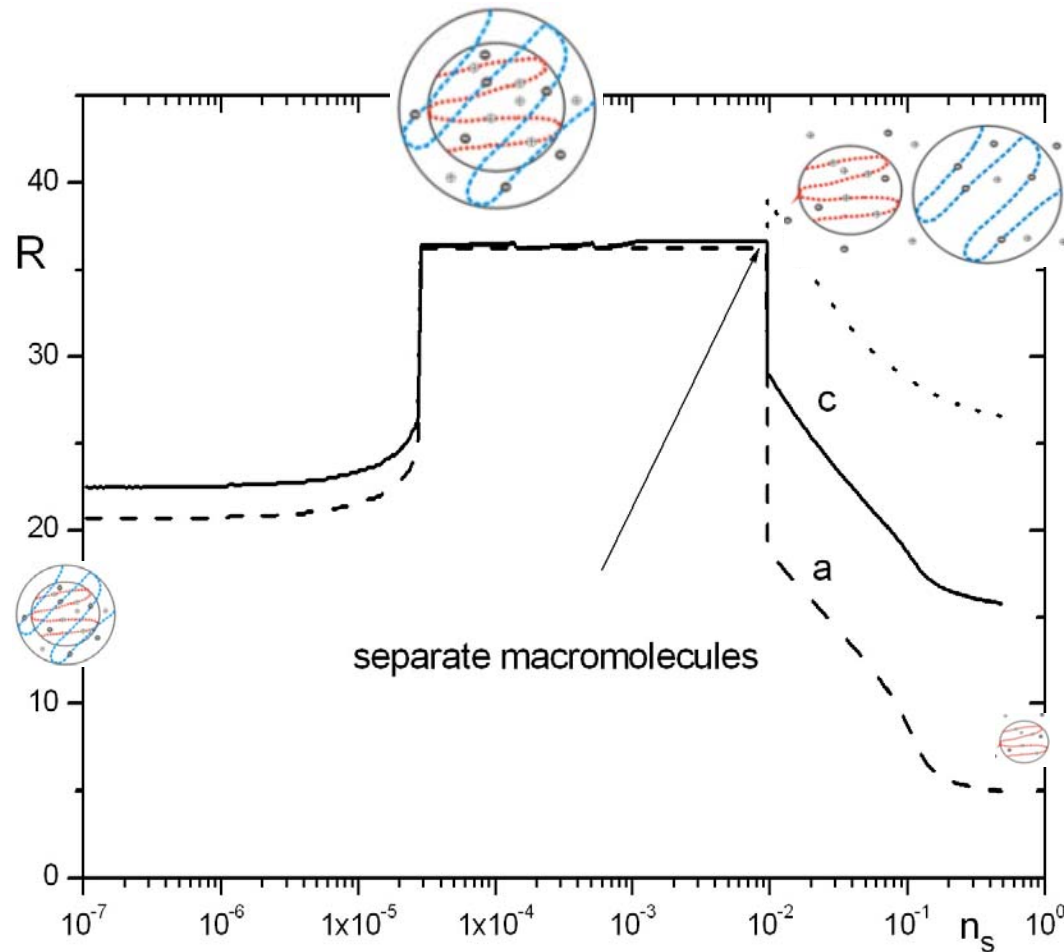
PLCA poly(L-lysine citramide)  
 PLL poly(L-lysine)  
 PLCAI poly(L-lysine citramide imide)

Name	$M_w$ (g/mole)	Degree of polymerization
<b>Polycations</b>		
PLL12	12700	61
PLL27	26300	126
PLL80	73500	352
<b>Polyanions</b>		
PLCAI	51500	548
PLCA	39000	113

Интерполимерный комплекс макромолекул с различным сродством к растворителю по мере увеличения концентрации низкомолекулярной соли



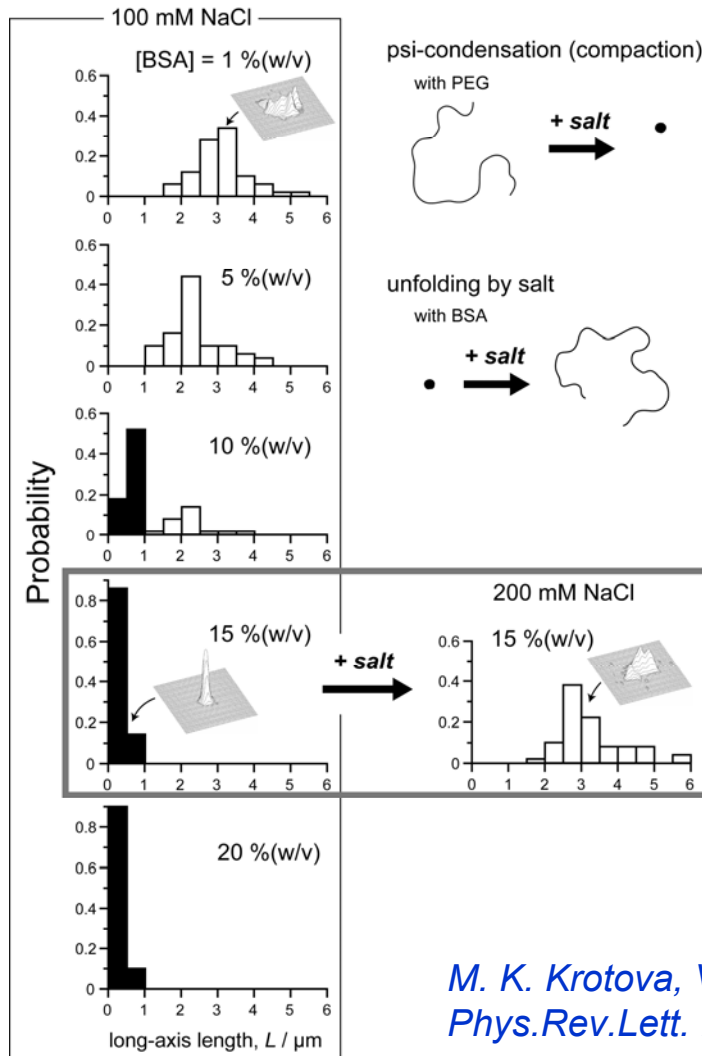
# Сравнение теории и эксперимента: зависимость радиуса $R$ частиц от концентрации соли $n_s$



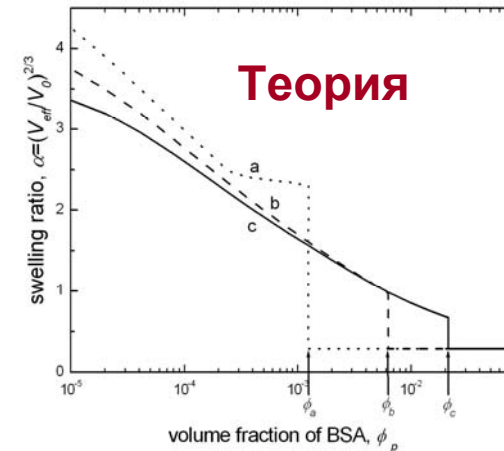
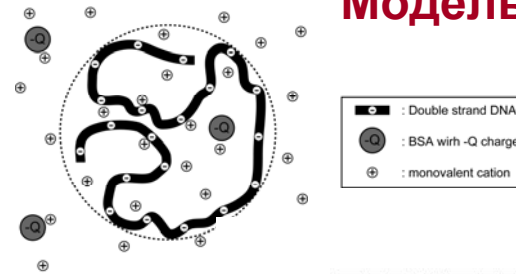
*M.K. Krotova, V.V. Vasilevskaya, L. Leclercq, M. Boustta, M. Vert, A.R. Khokhlov.*  
- *Macromolecules*

# Компактизация ДНК в присутствии отрицательно заряженного белка (альбумина бычьей сыворотки)

## Эксперимент



## Модель



Помещенная в раствор отрицательно заряженного белка макромолекула ДНК коллапсирует и претерпевает обратный переход в клубковое состояние при введении низкомолекулярной соли. Это явление (снижение действия агента, вызывающего коллапс ДНК, посредством введения низкомолекулярного электролита) было обнаружено и описано впервые

*M. K. Krotova, V. V. Vasilevskaya, N. Makita, K. Yoshikawa, A.R. Khokhlov.*  
*Phys.Rev.Lett. 2010, v.105*

## **Кандидатские диссертации:**

1. Клочков А. А. «Конформационные свойства линейных и привитых амфифильных полимеров». Руководители – А.Р.Хохлов, В.В.Василевская. 31 октября 2007 г.
2. Аэров А.А. «Эффекты, связанные с равновесным распределением ионов в низкомолекулярных ионных жидкостях и полиэлектролитных гелях: теоретическое рассмотрение». Руководители – И.И.Потемкин, В.В.Василевская. 21 марта 2008 года
3. Марков В.А. «Самоорганизация жесткоцепных амфифильных макромолекул в разбавленных и концентрированных растворах». Руководители – А.Р.Хохлов, В.В. Василевская. 18 ноября 2009 г.
4. Ермилов В.А. «Компьютерное моделирование макромолекулярных систем, имитирующих самоорганизацию белковых макромолекул и их взаимодействие с поверхностью». Руководитель – В.В. Василевская, 1 июля 2010

## **Список дипломников**

1. Петровская Е.В. «Амфифильные макромолекулы в системах, содержащих воду и органический растворитель», декабрь 2006 года
2. Зиятдинов А.Ш. «Анализ экономического и научного рынков топливных элементов» июнь 2007 года
3. Аблязов П. Н. «Компьютерное моделирование поверхностных нанореакторов», декабрь 2007 года
4. Глаголев М. К. «Амфифильные макромолекулы с фиксированными углами внутреннего вращения: компьютерное моделирование», декабрь 2008 года
5. Глаголева А. А. «Самоорганизация амфифильных гребнеобразных макромолекул в растворах и расплавах», декабрь 2008 года
6. Ерохина Е. А. «Компьютерное моделирование полимолочной кислоты», декабрь 2008 года

## ПУБЛИКАЦИИ 2006-2010 гг.

- ❑ А.Р. Хохлов, В.В. Василевская. Ферментоподобные каталитические системы. - *Наука в России* 2007, №6, стр. 4-9
- ❑ В.В. Василевская, А.Р.Хохлов, Е.Ю. Демьгина. Создание катализаторов на принципах функционирования ферментов. - *В мире науки* 2006, №6, стр .4-9
- ❑ I.M. Okhapkin, V.I. Lozinsky, V.V. Vasilevskaya, A.R. Khokhlov. Surface nanoreactors for efficient catalysis of hydrolytic reactions. – глава в книгу *“Nanoreactor Engineering for Life Sciences and Medicine”* (A.Ostafin, K. Landfester, L. Sridar, A. Moukasian, Eds) chapter 6, pp.187-208, 2008
- ❑ S.G. Starodoubtsev, V.V. Vasilevskaya, A.R. Khokhlov. Conformational transitions in cross-linked ionic gels: Theoretical background, recent development, and application. – глава в книгу *“Smart polymers: applications in biotechnology and biomedicine”*, Taylor & Francis 2007, pp.81-114



## Российские журналы

1. [В.А.Ермилов](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Анализ вторичной структуры глобул сополимеров амфифильных и гидрофильных звеньев: компьютерное моделирование. – *Высокомолекулярные соединения* 2007, т.49А, №1, стр. 109-118.
2. [Е.В. Петровская](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Каталитические реакции в эмульсиях в присутствии полимерного катализатора. - *Высокомолекулярные соединения* 2007, т.49А, №6, стр. 1080-1088
3. [П.Н. Аблязов](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Реакции в поверхностных микрореакторах: компьютерное моделирование. - *Коллоидный журнал* 2007, т.69, №3, стр. 293-299
4. [Е.В. Петровская](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Переход спираль-клубок в ДНК в присутствии денатурирующего агента. – *Вестник МГУ* 2007, №2, стр. 35-39
5. [В.А. Марков](#), В.В. Василевская, П.Г. Халатур, Г. тен Бринке, А.Р. Хохлов. Конформационные свойства жесткоцепных амфифильных макромолекул: фазовая диаграмма. - *Высокомолекулярные соединения А*, 2008, т. 50, № 4
6. [А.А. Старостина](#), А.А. Клочков, В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Амфифильные гребнеобразные макромолекулы с различной статистикой распределения точек пришивки боковых цепей: математическое моделирование. - *Высокомолекулярные соединения А* 2008, т. 50А, № 9, стр. 1691–1703
7. [П.Н. Аблязов](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Разрушение глобул со- и гомополимерных макромолекул в присутствии дифильного субстрата. -*Высокомолекулярные соединения* 2009, т. 51А, №4 А, стр. 629-635
8. [М.К. Кротова](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Влияние низкомолекулярной соли на стехиометрические полиэлектролитные комплексы, состоящие из противоположно заряженных макромолекул с различным сродством к растворителю. - *Высокомолекулярные соединения А* 2009, т. 51А, №10, стр. 1760-1768.
9. [А.А. Глаголева](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Микрофазное расслоение в расплавах диблоксополимеров, включающих линейную цепь и амфифильный блок. -*Высокомолекулярные соединения А* 2010, т. 52А, №2, стр.78-86.
10. [В.А.Ермилов](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Вторичная структура глобул сополимеров, состоящих из амфифильных и гидрофильных звеньев: влияние радиуса действия потенциала. - *Высокомолекулярные соединения А* 2010, т. 52А, №3, стр.466-477.
11. [М.К. Глаголев](#), В.В. Василевская, А.Р. Хохлов. Компактизация жесткоцепных амфифильных макромолекул с локальной спиральной структурой. - *Высокомолекулярные соединения А* 2010, т. 52А, №3

# Список публикаций:

## Зарубежные журналы

1. V.V. Vasilevskaya, [A.A. Aerov](#), A.R. Khokhlov. Control of reactions between surfactant reagents in miniemulsions. Surface nanoreactors. – *Colloid & Polymer Science* 2006, v.284, n.5, pp. 459-467.
2. V.V. Vasilevskaya, [L.V. Gusev](#), A.R. Khokhlov. Protein sequences as literature text. - *Macromolecul. Theory Simul.* 2006, v.15, n.5, pp.425-431.
3. V.V. Vasilevskaya, [V.A. Markov](#), P. G. Khalatur, A.R. Khokhlov. Semiflexible amphiphilic polymers: cylindrical-shaped, collagen-like, and toroidal structures. – *J.Chem.Phys.* 2006, v.124, p. 144914-
4. V.V. Vasilevskaya, L. Leclercq, M. Boustta, M. Vert, A.R. Khokhlov. Study of interpolymer complexes of oppositely charged macromolecules with different affinity to solvent. - *Macromolecules* 2007, v.40
5. [V.A. Markov](#), V.V. Vasilevskaya, P.G. Khalatur, G. ten Brinke, A.R. Khokhlov. Diagram of state of stiff amphiphilic macromolecules. – *Macromol. Symposia* 2007, v. 252, pp. 24-35
6. V.V. Vasilevskaya, [V.A. Markov](#), G. ten Brinke, A.R. Khokhlov. Self-organization in solutions of stiff-chain amphiphilic macromolecules. - *Macromolecules* 2008, v.41, pp.7722-7728.
7. [M.K. Krotova](#), V.V. Vasilevskaya, L. Leclercq, M. Boustta, M. Vert, A.R. Khokhlov. Salt effects on interpolymer complexes of oppositely charged macromolecules having different affinity to solvent. – *Macromolecules* 2009, v.42, n.19, pp. 7495-7503.
8. [M. K. Krotova](#), V. V. Vasilevskaya, N. Makita, K. Yoshikawa, A.R. Khokhlov. DNA compaction in a crowded environment with negatively charged protein. - *Phys.Rev.Lett.* 2010, v.105, n.12

### Согласно информационной базе ISI Web of Knowledge

Общее число ссылок	–	1191
Среднее число ссылок в год	–	45
Среднее число ссылок на статью	-	26
<i>h-index</i>	-	16