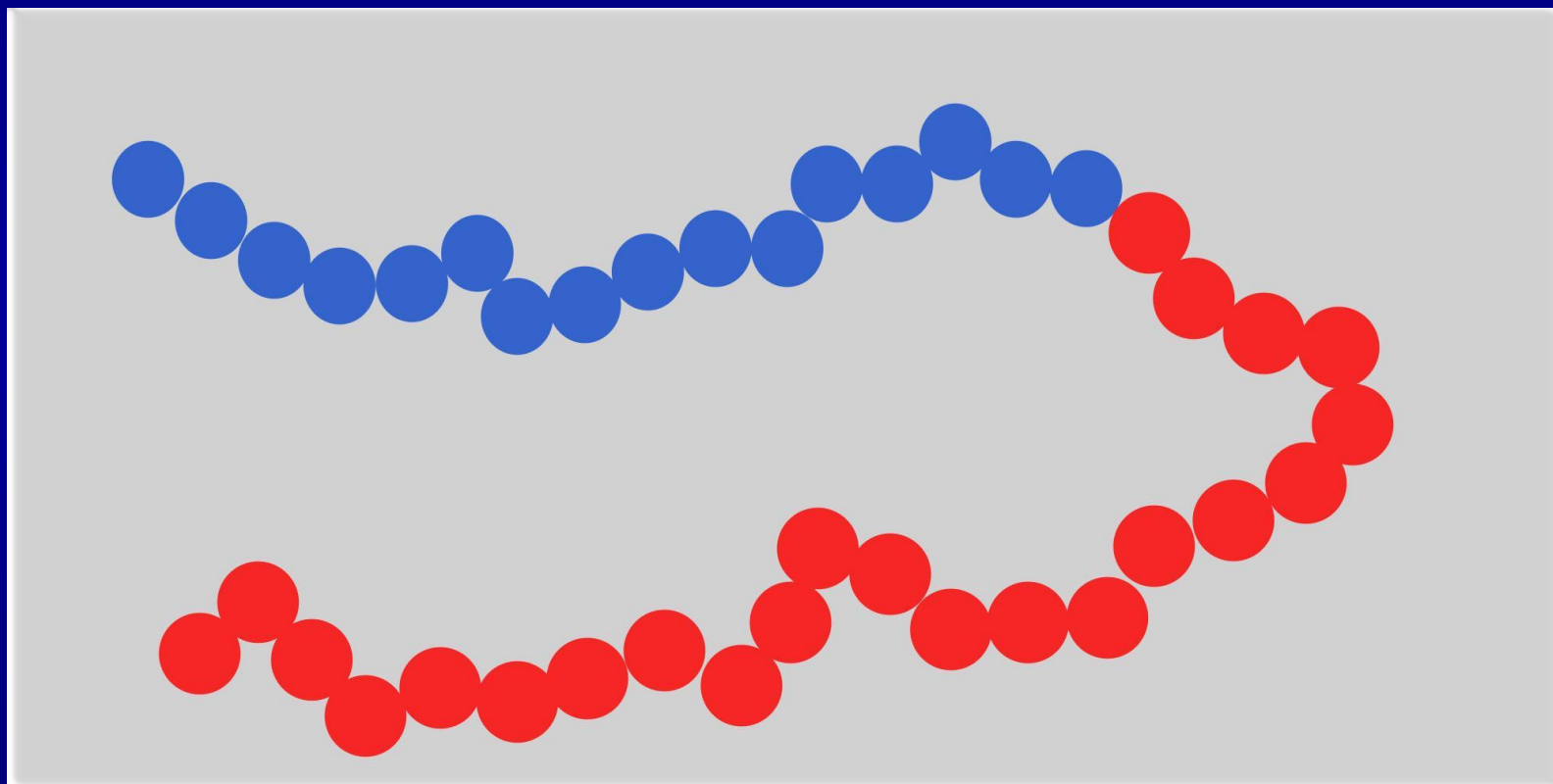


# Микрофазное расслоение в расплаве двойных гребнеобразных полимеров

Выполнил студент Палюлин В.В.

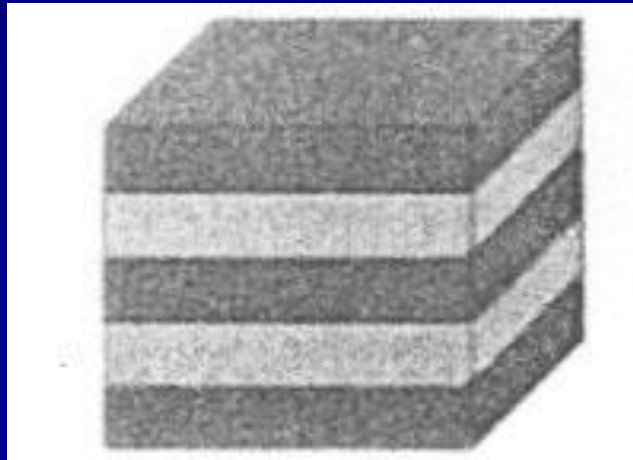
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Потемкин И.И.

# Микрофазное расслоение

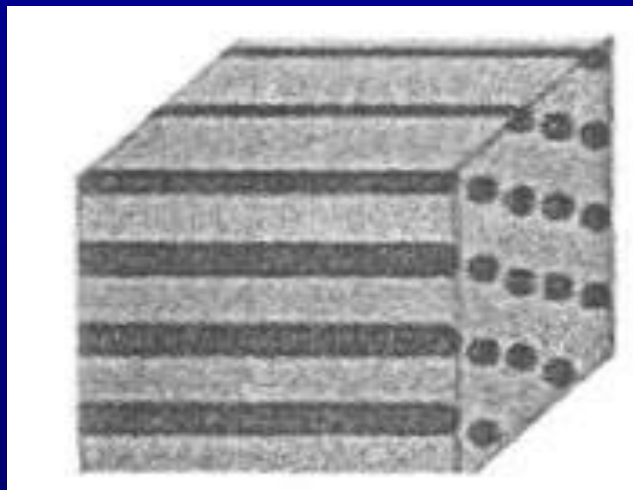


# Микрофазное расслоение

Упорядоченные структуры: ламеллярная

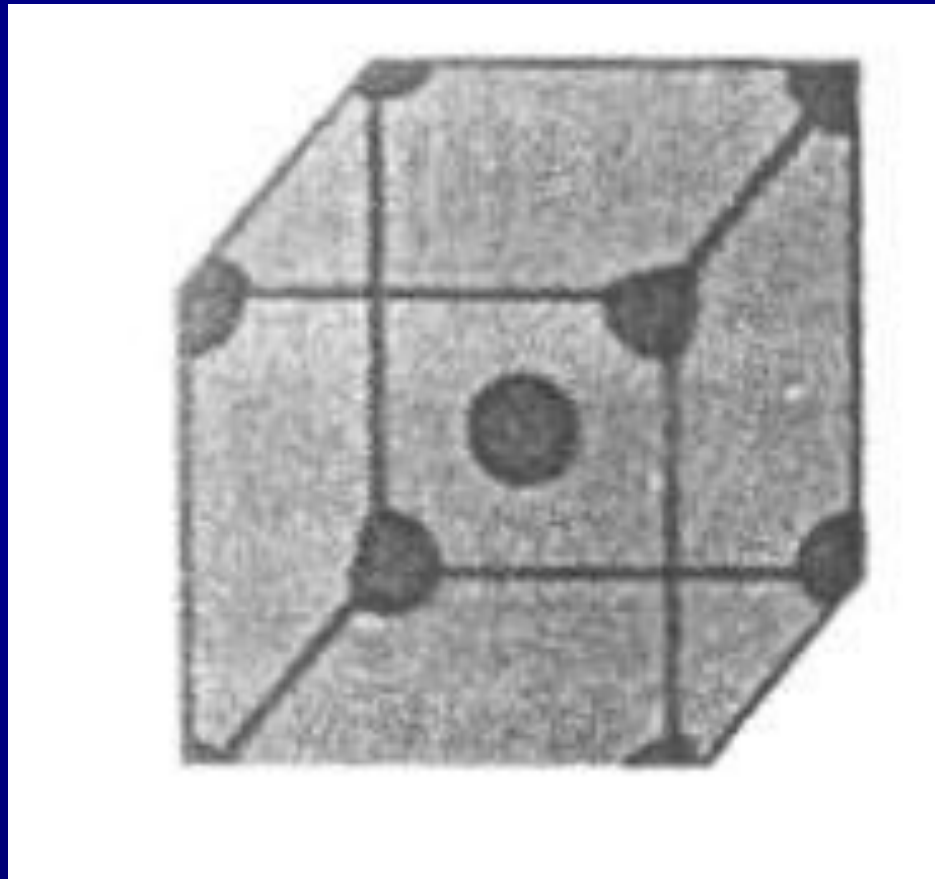


Упорядоченные структуры: цилиндрическая



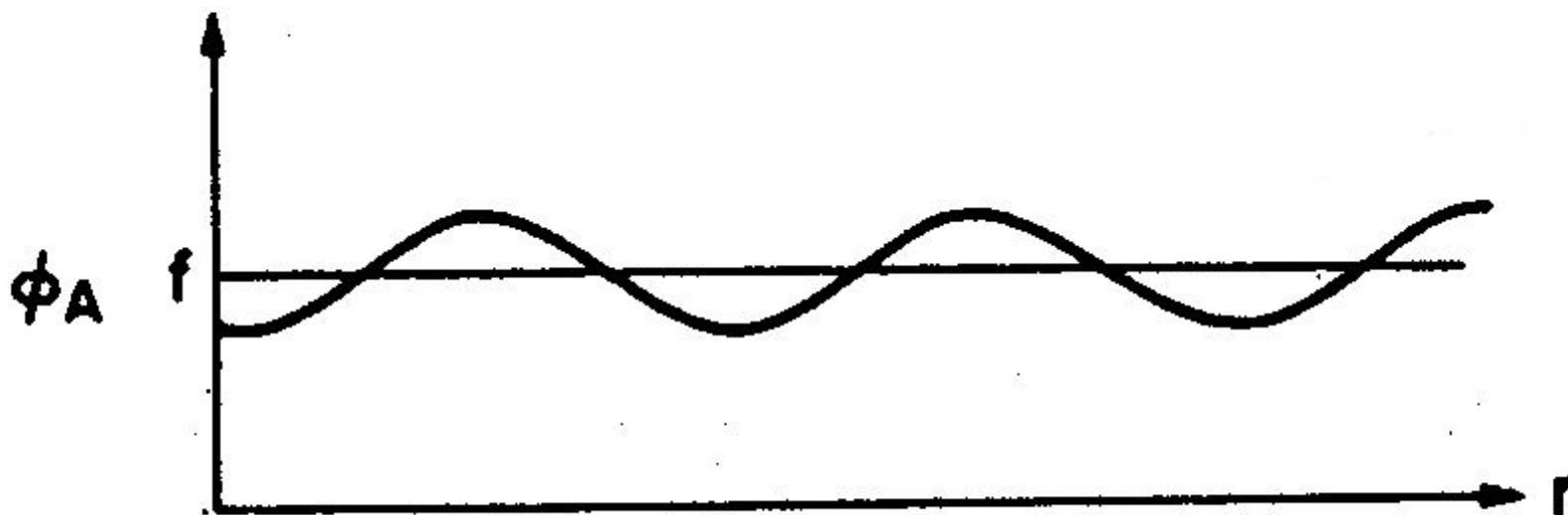
# Микрофазное расслоение

Упорядоченные структуры: сферическая



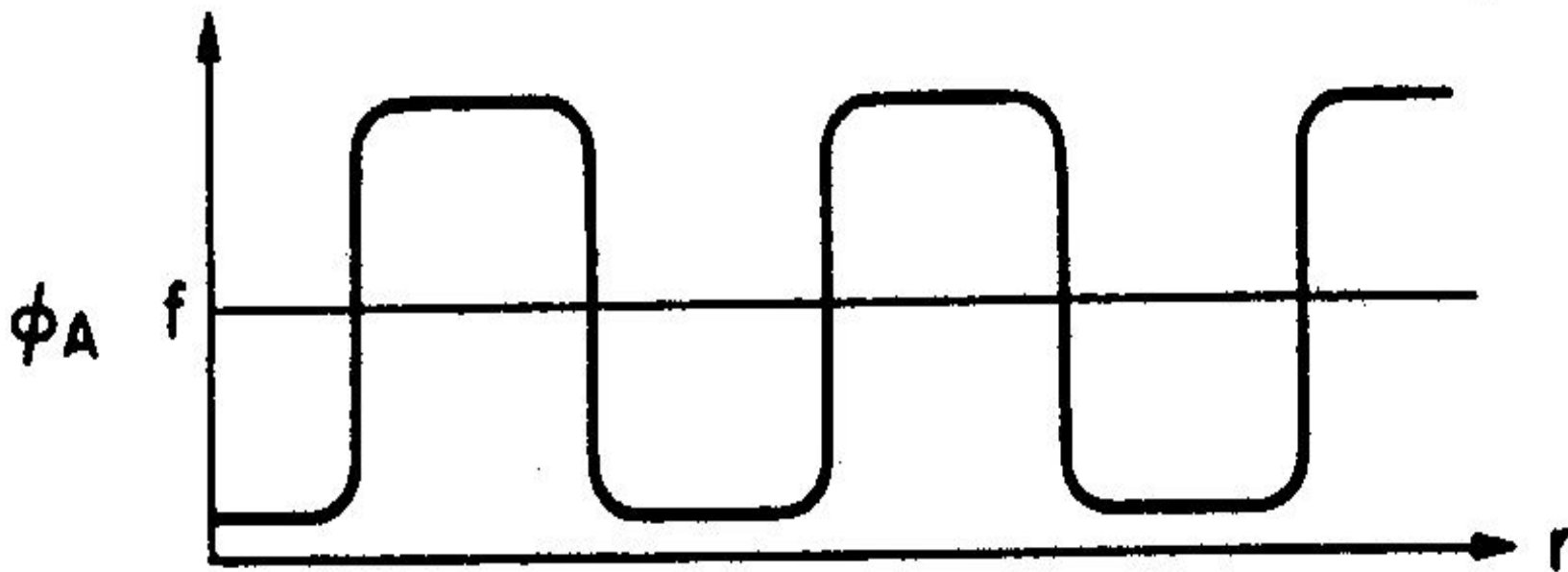
# Основные подходы в изучении микрофазного расслоения:

*режим слабой сегрегации*  
Профиль плотности звеньев А:

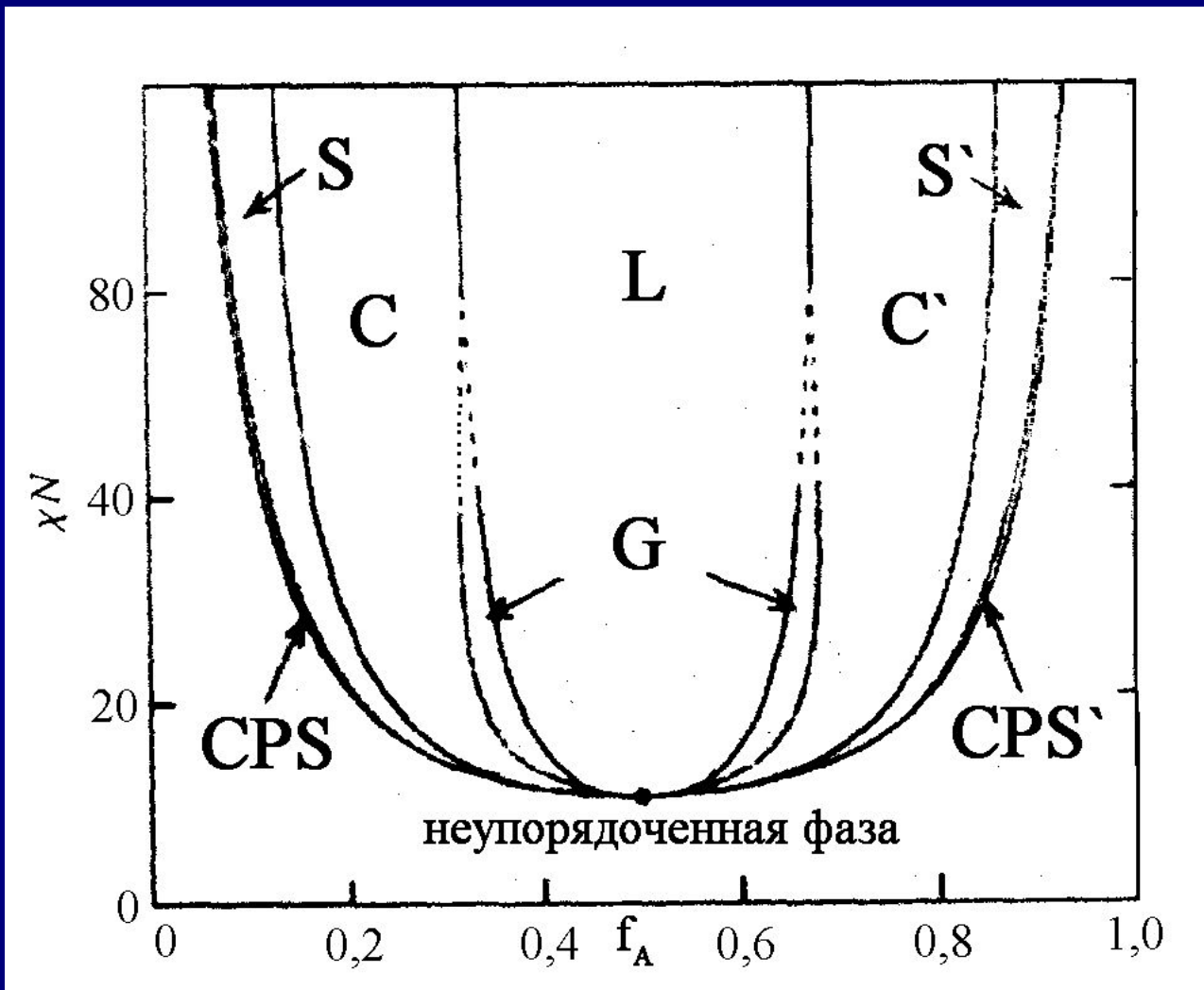


# Основные подходы в изучении микрофазного расслоения:

*режим сильной сегрегации*  
Профиль плотности звеньев А:

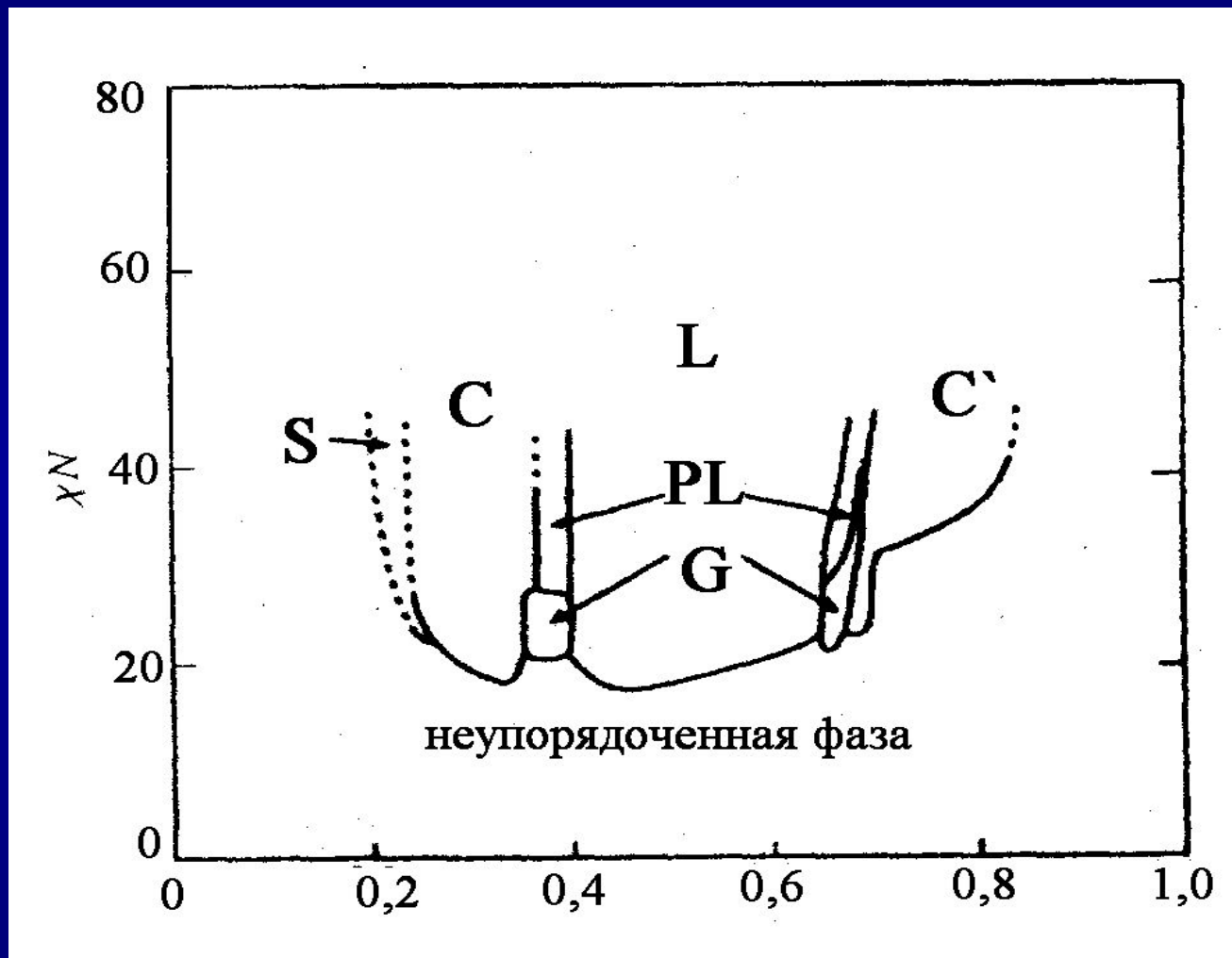


# Теория самосогласованного поля



M.W. Matsen, M. Schick, *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 2660 (1994)

# Экспериментальные данные



A.K. Khandpur, S. Foster, F.S. Bates, I.W. Hamley, A.J. Ryan, W. Bras, K. Amdal, K. Mortensen, *Macromolecules*, **28**,8796 (1995)

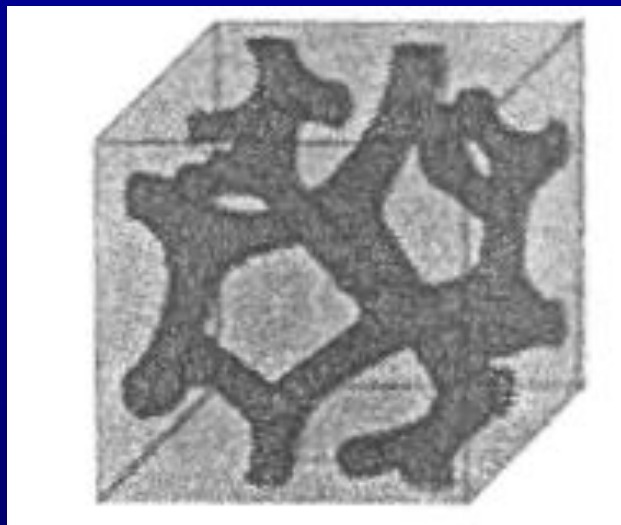


# Микрофазное расслоение

Упорядоченные структуры: перфорированная ламеллярная



Упорядоченные структуры: гироид

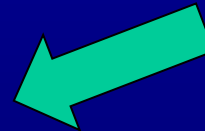
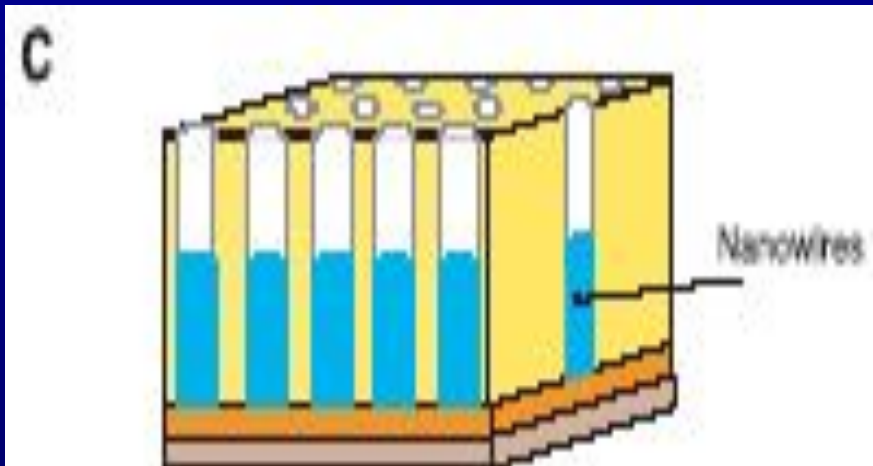
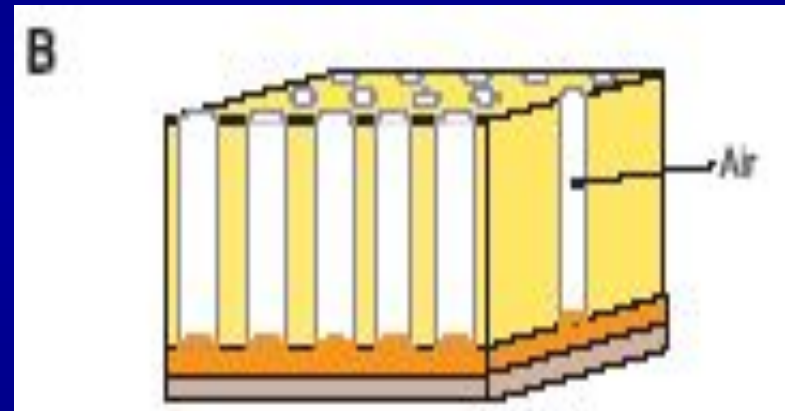
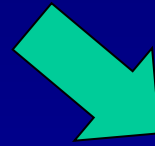
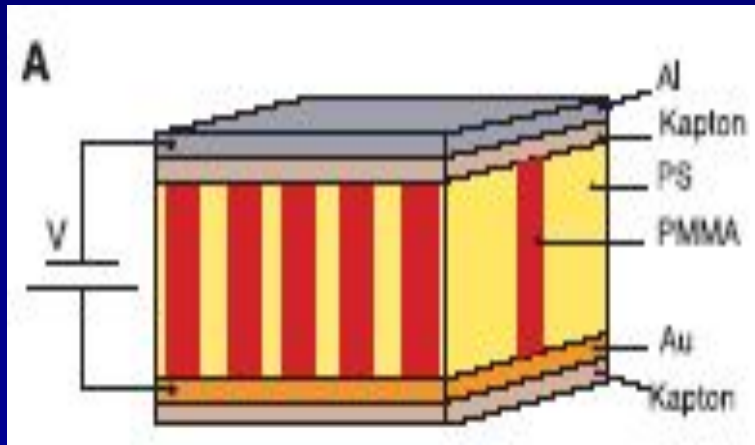


# Создание массивов нанопроводов

Плотность хранения информации  
превышает 1 терабит/см<sup>2</sup>

Ultrahigh-Density Nanowire Arrays Grown in  
Self-Assembled Diblock Copolymer Templates, *Science*,  
290, 2126,(2000)

# Создание массивов нанопроводов



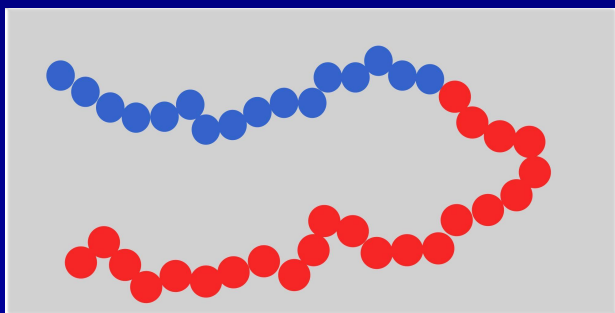
# Литография с использованием микрофазных структур

- Создание периодических массивов “дыр” с плотностью  $\sim 10^{11}$  на  $\text{см}^2$
- Block-copolymer Lithography: Periodic Arrays of  $10^{11}$  Holes in 1 sq. sm, Science, 276, 1401,(1997)

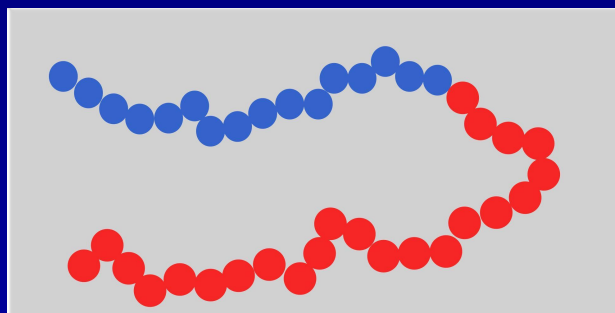
# Литография



# Двойной гребнеобразный полимер



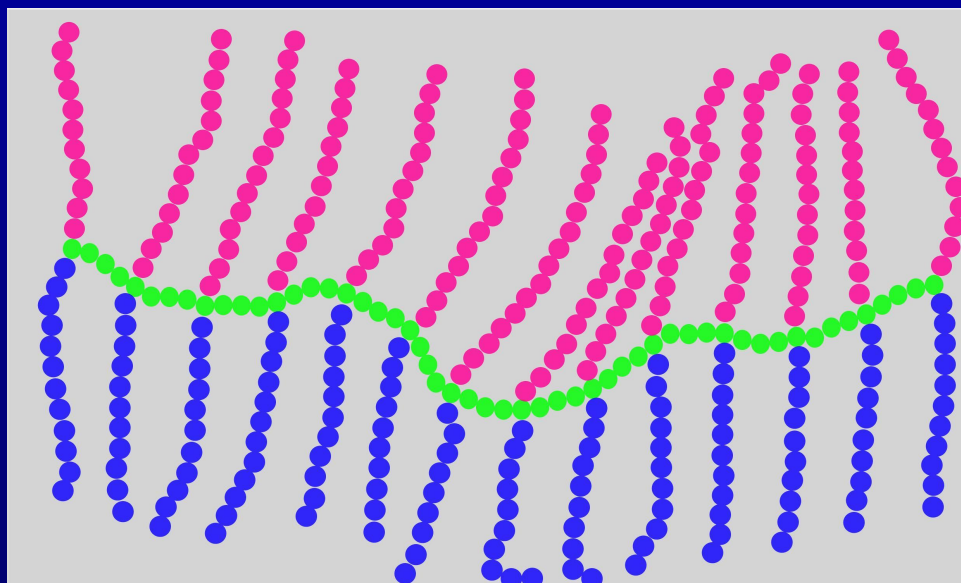
+



+

...

=



# Основные предположения при теоретическом анализе задачи

- Слабая сегрегация
- Одинаковые размеры звеньев
- Взаимодействие звеньев  
описывается параметром  $\chi_{AB}$

# План решения

1. Найти статистическую сумму макромолекулы, т.е. свободную

энергию  $F = -T \ln Z$

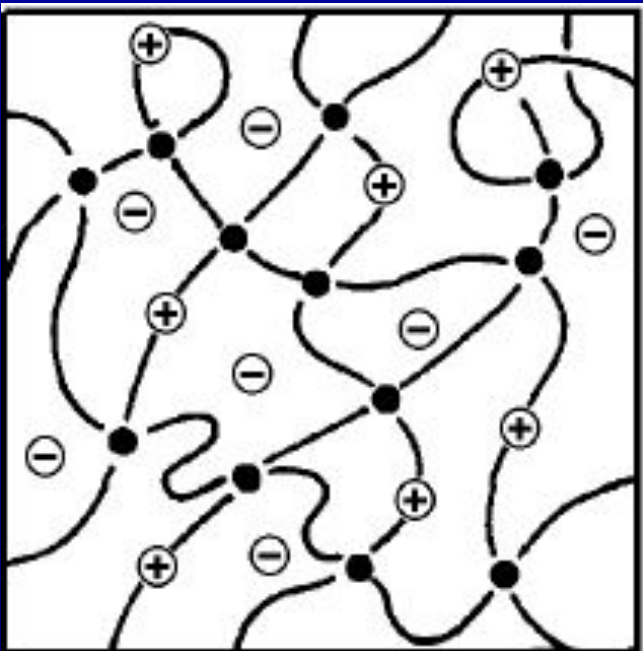
2. Разложить свободную энергию в ряд по параметру порядка

3. Определить параметры критической точки по теории Ландау



# Освоение методов статистической физики

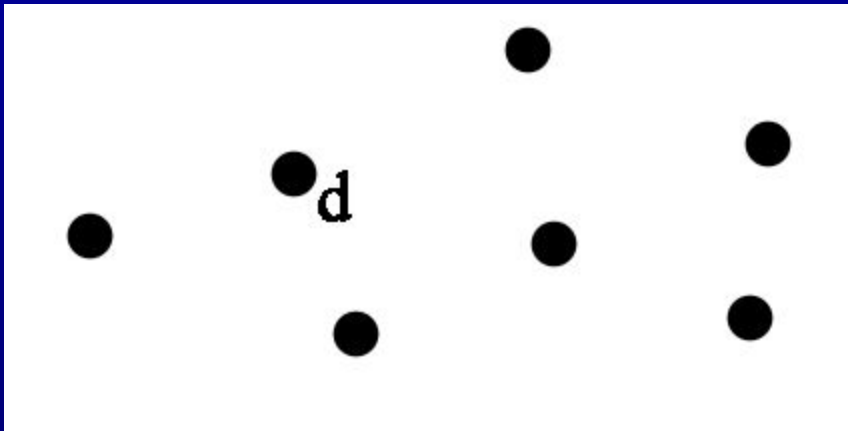
Полиэлектролитный гель набухает в избытке растворителя.  
Число мономерных звеньев субцепи геля равно  $N$ ,  
число заряженных групп на субцепь равно  $m$ ,  $N \gg m \gg 1$ .  
Используя выражение Флори для упругой свободной энергии  
и пренебрегая взаимодействиями исключенного объема звеньев,  
вычислить коэффициент набухания геля  $\alpha$ .



$$\alpha = \sqrt{\frac{N}{\sigma}}$$

# Освоение методов статистической физики

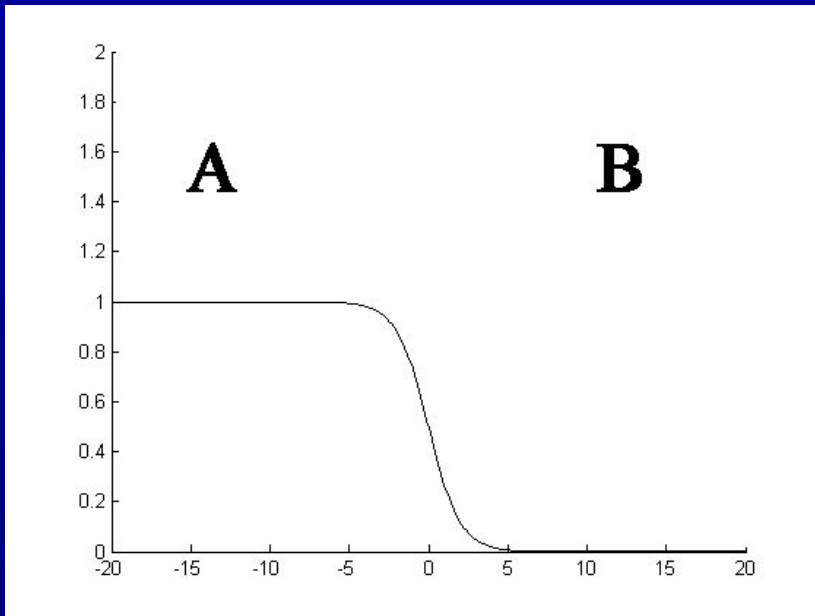
Молекулы разреженного газа обладают дипольным моментом  $d$ .  
Вычислить второй вириальный коэффициент  
электростатического взаимодействия молекул,  
считая их шариками радиуса  $r_0$  и, предполагая,  
что взаимодействия малы:  $d^2/r_0^3 T \ll 1$ .



$$B = \frac{256\pi^3 r_0^3}{3} - \frac{4\pi^3 d^4}{9T^2 r_0^3}$$

# Освоение методов статистической физики

Для межфазной границы смеси гомополимеров сортов А и В одинаковой длины ( $N_A = N_B = N$ ), вычислить коэффициент поверхностного натяжения раствора в пределе сильной несовместимости мономерных звеньев ( $\chi N \gg 1$ ). Энтروпийные потери на межфазной границе за счет их неоднородного распределения учесть в приближении Лифшица



$$\sigma = \sqrt{\frac{\chi}{6}} a T$$

# Изучение метода приближения случайных фаз

$$Z = \text{const} \exp \left( -\frac{1}{2} \int \frac{d^3 q}{(2\pi)^3} t_q^{-1} \rho_q \rho_{-q} \right)$$

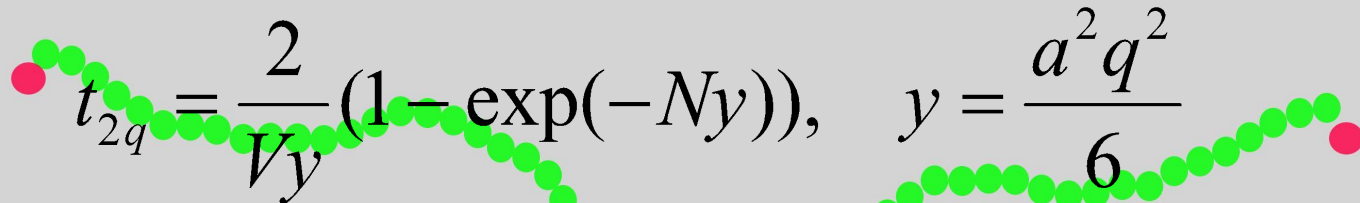
$$\rho_q = \int dx \psi(x) e^{iqx} \quad \rho(x) = \psi(x) + \langle \rho(x) \rangle$$

$$t_q = \frac{N^2}{V} g_1 \left( N \frac{a^2 q^2}{6}, 1 \right), \quad g_1(x, f) = 2[f x + \exp(-f x) - 1] / x^2$$

# Изучение метода приближения случайных фаз

$$Z = \text{const} \exp \left( -\frac{1}{2} \int \frac{d^3 q}{(2\pi)^3} (t_{1q} t_{3q} - t_{2q}^2)^{-1} (t_{3q} \rho_q \rho_{-q} - 2t_{2q} n_q \rho_{-q} + t_{1q} n_q n_{-q}) \right)$$

$$t_{1q} = \frac{N^2}{V} g_1 \left( N \frac{a^2 q^2}{6}, 1 \right), \quad g_1(x, f) = 2[f x + \exp(-f x) - 1] / x^2$$

$$t_{2q} = \frac{2}{Vy} (1 - \exp(-Ny)), \quad y = \frac{a^2 q^2}{6}$$


$$t_{3q} = \frac{2}{Vy} (1 + \exp(-Ny)), \quad y = \frac{a^2 q^2}{6}$$

# Выводы

- При исследовании учебных задач было начато освоение математического аппарата метода случайных фаз, а также других методов статистической физики
- Сформулированы основные приближения, с учетом которых будет производиться решение задачи