

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных**  
**работников высшей школы по направлению**  
**«Жидкокристаллические наносистемы»**  
**на базе учебного курса**  
**«Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в**  
**магнитном и механическом полях»**  
**(наименование учебного курса)**

**Цель:** изучение закономерностей фазовых переходов в растворах полимеров, вопросов формирования жидкокристаллического состояния полимеров, видов фазовых диаграмм растворов жесткоцепных полимеров, оптических свойств и текстуры жидких кристаллов, диамагнитных свойств веществ, фазовых и структурных превращений жидкокристаллических полимерных систем в магнитном и механическом полях.

**Категория слушателей:** преподаватели и научные работники высшей школы

**Примерный срок обучения:** 36 часов

**Форма обучения:** с частичным отрывом от работы, дистанционно-очная

**Режим занятий:** 8 часов в день

**Целью** данного курса является ознакомление с общими закономерностями фазовых переходов в растворах полимеров, вопросами формирования жидкокристаллического состояния полимеров, видами фазовых диаграмм растворов жесткоцепных полимеров, оптическими свойствами и текстурой жидких кристаллов, диамагнитными свойствами веществ, фазовыми и структурными превращениями жидкокристаллических полимерных систем в магнитном и механическом полях. В курсе излагаются также некоторые аспекты применения жидкокристаллических систем. Обучаемые выполняют лабораторные работы по построению фазовых диаграмм полимерных систем с использованием анализатора дисперсных систем (США), магнитной установки, реометров RHEOSCOPE, RHEOTEST (Германия), фотоэлектрической поляризационной установки.

**Требования к уровню освоения учебного курса**

Преподаватели должны:

*Знать:* основные определения из разделов физики: оптика, магнитные свойства веществ; физической химии: термодинамика и фазовые переходы, химии высокомолекулярных соединений: способы синтеза макромолекул, фазовые переходы в растворах полимеров, вязкость растворов полимеров.

*Иметь навыки:*

- сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области физической химии многокомпонентных систем;
- включать приобретенные знания об особенностях формирования жидкокристаллического порядка в полимерных системах в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках.

*Иметь представление:*

- о механизмах гибкости цепи макромолекул;
- о вариантах возникновения ЖК-порядка в растворах и расплавах полимеров;
- о видах фазовых диаграмм полимерных систем;
- о способах определения магнитной восприимчивости веществ;
- об экспериментальных методах определения фазовых диаграмм.

Научные работники должны:

*Знать:* классификацию фазовых переходов, основные определения из разделов физики: оптика, магнитные свойства веществ; физической химии: термодинамика и фазовые переходы, химии высокомолекулярных соединений: способы синтеза макромолекул, фазовые переходы в растворах полимеров, вязкость растворов полимеров.

*Иметь навыки:*

- экспериментальной работы в лаборатории физико-химического анализа;
- сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области физической химии многокомпонентных систем.

*Иметь представление:*

- о механизмах гибкости цепи макромолекул;
- о вариантах возникновения ЖК-порядка в растворах и расплавах полимеров;
- о видах фазовых переходов I и II рода, видах фазовых диаграмм полимерных систем;
- о способах определения магнитной восприимчивости веществ;
- об экспериментальных методах определения фазовых диаграмм.

**Учебный курс** «Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном и механическом полях» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая

подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории анализа и фазовых переходов полимерных систем в Уральском государственном университете им.А.М.Горького.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены основные положения о фазовых переходах в растворах полимеров и видах фазовых диаграмм, сформулированы определения дисциплины, рассмотрены некоторые разделы физики (оптика, магнитные свойства веществ), физической химии (разделы термодинамики и фазовых переходов), изложены методы получения фазовых диаграмм полимерных жидкокристаллических наноразмерных систем в механическом и магнитном полях.

Теоретическая часть учебного курса состоит из девяти лекций:

### **Лекция 1. Общие вопросы фазовых переходов.**

Фазовые состояния и типы фазовых переходов в растворах: аморфное, кристаллическое, жидкокристаллическое. Фазовые переходы первого и второго рода. Фазовое равновесие систем полимер – растворитель. Правило фаз Гиббса, его применение к растворам полимеров. Жидкостное и кристаллическое разделение раствора на две фазы. Бинодаль. Спинодаль. Верхние и нижние критические температуры растворения (ВКТР и НКТР), их термодинамические критерии. Природа ВКТР и НКТР. Примеры систем с ВКТР и НКТР. Влияние молекулярной массы полимера на положение бинодалей и критических температур.  $\Theta$  – температура. Фазовые диаграммы растворов полимолекулярных полимеров. Устойчивые, метастабильные, лабильные системы. Диаграммы состояния систем с кристаллическим разделением фаз. Кривые ликвидуса и подликвидуса. Релаксационный характер процесса кристаллического разделения.

Фазовые диаграммы жидкокристаллических систем.

### **Лекция 2. Жидкокристаллическое состояние вещества.**

Типы фазового состояния веществ: кристаллическое, аморфное (жидкое), газовое, жидкокристаллическое. Ближний и дальний порядок. Определение жидкокристаллического состояния вещества. Мезофазы. Энантиотропные и монотропные жидкие кристаллы. Виды жидких кристаллов: нематический, холестерический, смектический (А, Б, С, D, Е, F, G, H). Дискообразная мезофаза. Примеры. Термотропные и лиотропные жидкие кристаллы.

Классификация Келкера и Хаца мезогенных соединений в зависимости от их химического строения: 1) ароматические соединения без мостиковых групп; 2) гетероароматические соединения без мостиковых групп; 3) ароматические соединения с одной мостиковой группой; 4) ароматические соединения с несколькими одинаковыми мостиковыми группами; 5) ароматические соединения с несколькими различными мостиковыми группами; 6) стильбены, амиды карбоновых кислот, производные гидразина

и глиоксаля; 7) ароматические карбоновые кислоты; 8) соли карбоновых кислот и аммониевые соли; 9) алициклические и алифатические соединения.

Группы атомов, используемые при синтезе мезогенных соединений.

### **Лекция 3. Жидкокристаллическое состояние полимеров.**

Специфика полимеров, обусловленная их большой вязкостью: неравновесные состояния, большие времена релаксации, наличие анизотропии свойств в аморфном фазовом состоянии. Паракристаллическое состояние полимеров. Лиотропные и термотропные жидкие кристаллы полимеров.

Причины возникновения мезофаз в полимерах: 1. Упорядочение, обусловленное взаимодействием боковых групп (привесков) в полимерных цепях. 2. Упорядочение, обусловленное взаимодействием одноимённых последовательностей (блоков) в блок-сополимерах. 3. Упорядочение за счёт жёсткости макромолекул.

Степень одноосного ориентационного порядка в мезоморфном веществе  $Q$ . Порядок величины  $Q$  для различных полимеров, ее связь с сегментом Куна и молекулярной массой полимера.

### **Лекция 4. Фазовые диаграммы растворов жесткоцепных полимеров.**

Работы Флори: связь критической концентрации, начиная с которой в системе возникает ЖК-фаза, со степенью асимметрии молекулы (отношения длины молекулы к её поперечному сечению); теоретическая диаграмма состояния системы жесткоцепный полимер – растворитель. Понятие о «коридоре» сосуществования изотропной и анизотропной фаз. Примеры экспериментальных фазовых диаграмм систем: ПБГ – ДМФА, поликарбобензоксизин – ДМФА, ПБА – ДМАА – (+3% масс. LiCl), ПФТА –  $H_2SO_4$ , ГПЦ – вода, ГПЦ – ДМАА и др.

### **Лекция 5. Оптические свойства и текстура жидких кристаллов.**

Неспецифические и специфические текстуры. Текстуры нематической мезофазы: нитевидная, шлирен – текстура, планарная (плоская), гомеотропная (нормальный слой), твист – текстура (мраморная). Представление о дисклинациях. Текстуры холестерической мезофазы: конфокальная, полигональная, веерная, планарная, пластинчатая. Текстуры смектической мезофазы: полигональная, веерная, «батончики», псевдоизотропная, шевронная (миелиновая), шлирен – текстура, мозаичная, «отпечатков пальцев». Условия получения жидких кристаллов с различными текстурами.

### **Лекция 6. Диамагнитные свойства веществ.**

Атомарные системы. Магнитный момент атома в магнитном поле и в его отсутствие. Магнитная восприимчивость моля атомов. Молекулярные системы. Два вклада в восприимчивость  $\chi$  молекул, лишённых собственного

магнитного момента: диамагнитный  $\chi_d$  и парамагнитный  $\chi_p$ . Их численное определение. Связь  $\chi_d$  со статической поляризуемостью  $\alpha$  молекулы.

Системы с кратными связями. Парамагнетизм двойных и тройных связей между одинаковыми атомами:  $A=A$  и  $A\equiv A$  (гомоатомные связи) и между различными атомами:  $A=B$  и  $A\equiv B$  (гетероатомные связи). Магнитная восприимчивость смесей. Влияние магнитного поля на поведение ЖК – систем. Ориентация нематических и холестерических жидких кристаллов в магнитном поле. Раскрутка холестерической спирали в магнитном поле. Определение магнитной восприимчивости веществ с помощью магнитометра. Расчет энергии магнитного поля, запасаемой веществом.

### **Лекция 7. Фазовые переходы и структура жидкокристаллических систем в механическом поле.**

Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами. Фазовые диаграммы жидкокристаллических растворов полимеров в статических условиях. Зависимость положения пограничных кривых, разделяющих области существования изотропной и анизотропной фаз, от молекулярной массы полимера и от полярности молекул растворителя. Связь окраски ЖК – растворов с концентрацией полимера. Структура растворов жесткоцепных полимеров: концентрационная зависимость размеров рассеивающих свет частиц в растворах. Методы исследования фазовых переходов полимерных систем в механическом поле. Концентрационные и температурные зависимости вязкости растворов полимеров с ЖК – переходами. Фазовый переход холестерический жидкий кристалл – нематический жидкий кристалл и образование доменной структуры в деформируемых растворах гидроксипропилцеллюлозы и цианэтилцеллюлозы.

Смещение пограничных кривых систем полимер – растворитель в условиях деформирования, обусловленное изменением температурно – концентрационной области существования ЖК – фазы. Увеличение ширины области ЖК - растворов при преобладании ориентационных процессов, уменьшение ширины области ЖК - растворов при преобладании процессов разрушения механическим полем надмолекулярных ЖК - образований в растворах.

Экстремальная зависимость  $\Delta T$  ( $\Delta T$  – разность температур фазового перехода в динамических и статических условиях) от скорости сдвига, связанная с протеканием в системе двух противоположно направленных процессов: ориентацией макромолекул по направлению течения, что способствует фазовому переходу, и разрушением механическим полем зародышей новой фазы, что препятствует возникновению ЖК - фазы. Концентрационная зависимость  $\Delta T$ .

Влияние размеров макромолекул на их способность к ориентации в механическом поле.

## **Лекция 8. Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном поле.**

Методы исследования фазовых ЖК – переходов полимерных систем в магнитном поле. Повышение температуры переходов, обусловленное ориентацией макромолекул в магнитном поле, сменой типа жидкого кристалла с холестерического на нематический и образованием доменной структуры в растворах. ЖК - системы – системы с памятью. Расчет времени релаксации  $\tau$  процесса перехода нематический ЖК – холестерический ЖК в растворах после прекращения воздействия магнитного поля.

Расширение температурно – концентрационной области существования ЖК – фазы, вызванное магнитным полем. Вид концентрационной зависимости  $\Delta T$  ( $\Delta T$  – разность температур фазовых переходов в магнитном поле и в его отсутствие). Влияние на величину  $\Delta T$  двух факторов: 1 – увеличения с ростом концентрации полимера числа макромолекул, способных к ориентации в магнитном поле, 2 – увеличения частоты флуктуационной сетки зацеплений в растворе, препятствующей протеканию ориентационных процессов и ослабляющей влияние магнитного поля.

## **Лекция 9. Некоторые аспекты применения жидких кристаллов.**

Использование жидких кристаллов в электронных устройствах, основанное на их способности эффективно изменять интенсивность, угловое распределение, фазу и спектральный состав проходящего через него света под влиянием электрического напряжения, тепловых или механических воздействий. Устройства отображения информации. Буквенно-цифровая индикация с тремя разновидностями конструкций: сегментной, пакетной и матрично - точечной. Мнемосхемы и транспаранты. Создание статической фоновой информации. Применение жидких кристаллов в термографии. Преимущества использования ЖК – систем.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении способов получения фазовых диаграмм полимерных систем. Основные задания на лабораторный практикум:

- построение фазовой диаграммы системы аморфный полимер – растворитель;
- построение фазовой диаграммы системы кристаллический полимер – растворитель;
- построение фазовой диаграммы системы жидкокристаллический полимер – растворитель;
- анализ получаемых надмолекулярных полимерных наноструктур.

При выполнении работ используются: анализатор дисперсных систем (США), магнитная установка, реометры RHEOSCOPE, RHEOTEST (Германия), фотоэлектрическая поляризационная установка.

### **Методические рекомендации по реализации учебной программы**

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 18 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **контрольные вопросы**.

### **Контрольные вопросы для проверки материала**

1. Термодинамическое и структурное определение фазы.
2. Фазовые состояния систем.
3. Фазовые переходы первого и второго рода.
4. Правило фаз Гиббса, его применение к растворам полимеров.
5. Жидкостное и кристаллическое фазовое разделение растворов.
6. Дайте определения: бинадаль, спинодаль.
7. Критические температуры растворения. ВКТР и НКТР.
8. Влияние молекулярной массы полимера на положение бинадалей и критических температур,  $\Theta$  – температура.
9. Фазовые диаграммы растворов полимолекулярных полимеров.
10. Диаграммы состояния систем с кристаллическим разделением фаз. Кривые ликвидуса и подликвидуса.
11. Релаксационный характер процесса кристаллического разделения.
12. Фазовые диаграммы жидкокристаллических систем.
13. Определение жидкокристаллического состояния вещества. Мезофазы.
14. Энантиотропные и монотропные жидкие кристаллы.
15. Виды жидких кристаллов: нематический, холестерический, смектический.
16. Термотропные и лиотропные жидкие кристаллы.
17. Группы атомов, используемые при синтезе мезогенных соединений.
18. Причины возникновения мезофаз в полимерах.
19. Понятие о степени одноосного ориентационного порядка в мезоморфном веществе Q.
20. Порядок величины Q для различных полимеров, ее связь с сегментом Куна и молекулярной массой полимера.
21. Фазовые диаграммы растворов жесткоцепных полимеров. Работы Флори.
22. Примеры экспериментальных фазовых диаграмм растворов жесткоцепных полимеров.
23. Представление о текстуре. Неспецифические и специфические текстуры.

24. Понятие дисклинации.
25. Текстуры холестерической мезофазы: конфокальная, полигональная, веерная, планарная, пластинчатая.
26. Текстуры холестерической мезофазы: конфокальная, полигональная, веерная, планарная, пластинчатая.
27. Текстуры смектической мезофазы: полигональная, веерная и др.
28. Диамагнитные свойства веществ.
29. Парамагнитные свойства веществ.
30. Магнитный момент атома в магнитном поле и в его отсутствие.
31. Магнитная восприимчивость моля атомов.
32. Диамагнитные свойства молекулярных систем.
33. Диамагнитные свойства молекул с кратными связями.
34. Магнитная восприимчивость смесей.
  
35. Ориентация нематических и холестерических жидких кристаллов в магнитном поле.
36. Влияние магнитного поля на шаг холестерической спирали.
37. Зависимость шага холестерической спирали от концентрации раствора.
38. Определение магнитной восприимчивости веществ.
39. Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами в статических условиях.
40. Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами в динамических условиях.
41. Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами в магнитном поле.
42. Зависимость положения пограничных кривых, разделяющих области существования изотропной и анизотропной фаз, от молекулярной массы полимера.
43. Влияние полярности молекул растворителя на положение пограничных кривых.
44. Связь окраски ЖК – растворов с концентрацией полимера.
45. Структура растворов жесткоцепных полимеров.
46. Концентрационные и температурные зависимости вязкости растворов полимеров с ЖК – переходами.
47. Влияние деформирования на структуру ЖК-систем.
48. Фазовые диаграммы систем жесткоцепный полимер – растворитель в условиях деформирования.
49. Влияние скорости сдвига на величину  $\Delta T$  ( $\Delta T$  – разность температур фазового перехода в динамических и статических условиях).
50. Влияние концентрации полимера на величину  $\Delta T$ .
51. Влияние размеров макромолекул на их способность к ориентации в механическом поле.
52. Влияние магнитного поля на структуру ЖК-систем.
53. ЖК – системы – системы с памятью.



54. Расчет времени релаксации  $\tau$  процесса фазового ЖК – перехода.
55. Влияние магнитного поля на фазовые диаграммы ЖК – систем.
56. Влияние напряженности магнитного поля на величину  $\Delta T$  ( $\Delta T$  – разность температур фазового перехода в магнитном поле и в его отсутствие) ЖК-систем.
57. Влияние концентрации полимера на величину  $\Delta T$  ЖК – систем в магнитном поле.
58. Зависимость  $\Delta T$  от энергии магнитного поля, запасаемой растворами.
59. Влияние размеров макромолекул на их способность к ориентации в магнитном поле.
60. На чем основано использование жидких кристаллов в электронных устройствах?
61. ЖК - устройства отображения информации. Буквенно-цифровая индикаторы.
62. Мнемосхемы и транспаранты на жидких кристаллах.
63. Методы создания статической фоновой информации.
64. Применение жидких кристаллов в термографии.
65. Преимущества использования ЖК – систем.
66. Определение раствора.
67. Термодинамические критерии устойчивости растворов.
68. Отличие растворов полимеров от растворов низкомолекулярных соединений.
69. Представление о качестве растворителя.
70. Термодинамические параметры качества растворителя.
71. Представления о гибкости цепи полимера.
72. Параметры термодинамической гибкости макромолекулы.
73. Идеальные и неидеальные растворы.
74. Конформации макромолекул.
75. Факторы, обуславливающие гибкость цепи макромолекулы.
76. Агрегатные состояния веществ.
77. Гели полимеров. Их отличие от растворов.
78. Высокомодульные волокна.
79. Способы упрочнения полимеров.
80. Два типа НКТР растворов полимеров.

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

### **Темы контрольных рефератов по курсу**

**«Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном и механическом полях»**

1. Классификация и виды фазовых переходов в полимерных системах.
2. Жидкокристаллическое состояние вещества. Мезофазы.  
Энантиотропные и монотропные жидкие кристаллы.
3. Причины возникновения мезофаз в полимерах.
4. Текстура полимерных мезофаз.
5. Диамагнитные и парамагнитные свойства веществ.
6. Ориентация нематических и холестерических жидких кристаллов в магнитном поле.
7. Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами в статических и динамических условиях.
8. Методы построения фазовых диаграмм систем полимер – растворитель с жидкокристаллическими фазовыми переходами в магнитном поле.
9. Структура растворов жесткоцепных полимеров.
10. Реологические свойства растворов полимеров с ЖК – переходами.
11. Влияние деформирования на структуру ЖК-систем.
12. Гели полимеров.

### Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум	
	«Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном	36ч.	16 ч.	2 ч.	18 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)

	и механическом полях»					Реферат
1.	Лекция 1: Общие вопросы фазовых переходов		2 ч.			
2.	Лекция 2: Жидкокристаллическое состояние вещества		2 ч.			
3.	Лекция 3: Жидкокристаллическое состояние полимеров		2 ч.	0,5 ч.		
4.	Лекция 4: Фазовые диаграммы растворов жесткоцепных полимеров		2 ч.	0,5 ч.		
5.	Лекция 5: Оптические свойства и текстура жидких кристаллов		2 ч.			
6.	Лекция 6: Диаманитные свойства веществ		1 ч.			
7.	Лекция 7: Фазовые переходы и структура жидкокристаллических систем в механическом поле		2 ч.	0,5 ч.		
8.	Лекция 8: Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном поле		2 ч.	0,5 ч.		
9.	Лекция 9: Некоторые аспекты применения жидких кристаллов		1 ч.			
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачетка)	Реферат	

## Список литературы

### Основная

1. Вшивков С.А. Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических наносистем в магнитном и механическом полях. Екатеринбург. Изд-во Урал. ун-та, 2008.
2. Папков С.П., Куличихин В.Г. Жидкокристаллическое состояние полимеров. М.: Химия, 1977. 240 с.
3. Вшивков С.А., Русинова Е.В. Фазовые переходы в полимерных системах, вызванные механическим полем. Изд-во Урал. ун-та. Екатеринбург, 2001. 195 с.

4. Вшивков С.А., Русинова Е.В. Влияние магнитного поля на фазовые переходы растворов производных целлюлозы // Высокомолек. соед. А. 2008. Т. 50. № 7. С. 1141-1149.
5. Вшивков С.А., Русинова Е.В. Фазовые и структурные превращения жидкокристаллических полимерных систем в механическом поле. // Высокомолек. соед. А. 2008. Т. 50. № 2. С. 237-244.
6. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. 320 с.
7. Жидкие кристаллы /Под ред. Жданова С.И./ М.: Химия, 1979. 327с.
8. Дорфман Я.Г. Диамагнетизм и химическая связь. М.: Физматгиз, 1961. 231 с.
9. Жидкокристаллические полимеры / Под ред. Н.А. Платэ. М.: Химия, 1988. 416 с.

#### **Дополнительная**

1. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М.: Мир, 1980. 344 с.
2. Вшивков С.А. Методы исследования фазового равновесия растворов полимеров. Изд-во Урал. ун-та, 1991.
3. Сонин А.С. Кентавры природы. М.: Атомиздат, 1980. 192 с.
4. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М.6 Мио, 1980.
5. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. М.: Химия, 1978, 544 с.
6. Галяс А.Г. Фазовые жидкокристаллические переходы растворов и смесей производных целлюлозы в магнитном поле и в его отсутствие. Магистерская диссертация. УрГУ. Екатеринбург. 2007. 83 с.
7. Селвуд П. Магнетохимия. М.: Из-во Ин. лит-ры, 1958. 457 с.
8. Де Женн П. Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977.
9. Платэ Н.А., Шибаев В.П. Гребнеобразные полимеры и жидкие кристаллы. М.: Химия, 1980.
10. Капустин А.П. Экспериментальные методы исследования жидких кристаллов М.: Наука, 1978. 368 с.
11. Жидкокристаллический порядок в полимерах / Под ред. А. Блюмштейна. М.: Мир, 1981. 352 с.
12. Ориентационные явления в растворах и расплавах полимеров. / Под. Ред. А.Я. Малкина, С.П. Папкина. М.: Химия, 1980. 280 с.
13. Нестеров А.Е., Липатов Ю.С. Термодинамика растворов и смесей полимеров. Киев. Наукова думка: 1984.
14. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Михайлов Ю.М. Диаграммы фазовых состояний полимерных систем. М. Янус – К, 1998.

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru)**