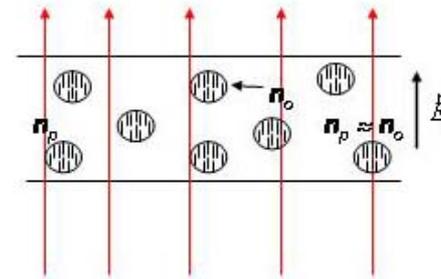
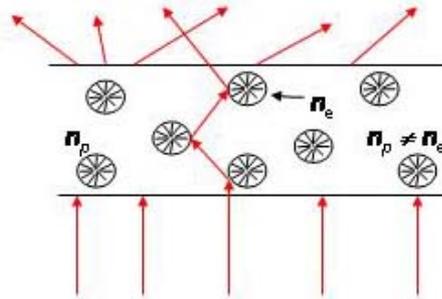
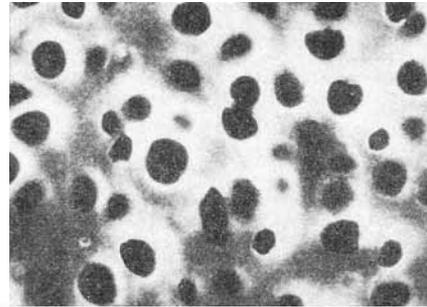


А.В. Казначеев, А.С. Сонин.

Отчет о научной работе за 2006-2009 гг.

I. Жидкокристаллические (ЖК) композиты

1. Дисперсии ЖК в полимерах – Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC)



Типичные полимеры:

50 : 50 мас. %

Типичные ЖК:

Поливиниловый спирт $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{OH})-]_n$

Поливинилацетат $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{ОСОСН}_3)-]_n$

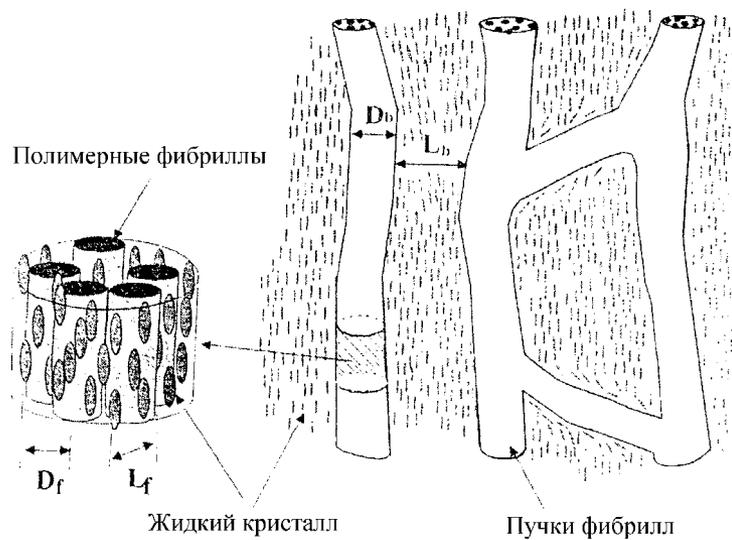
Фирменные смеси нематиков и холестериков

Основной метод получения: испарение растворителя

**Основные области применения: пленочные термоиндикаторы,
окна с управляемой прозрачностью,
управляемые аттенюаторы**

2. Дисперсии полимерной сетки в матрице ЖК – Polymer Network Liquid Crystal (PNLC)

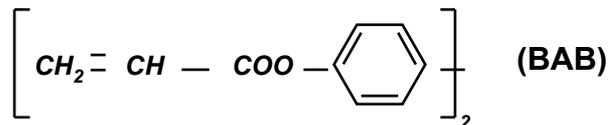
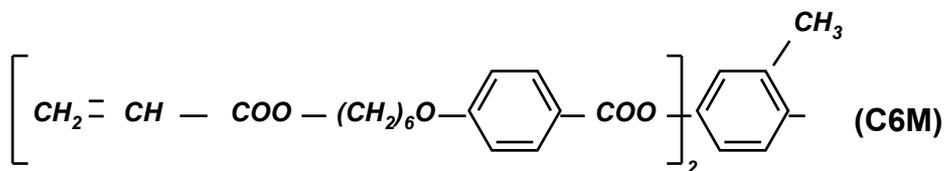
4 мВт/см²



Типичные полимеры:

5 : 95 мас. %

Типичные ЖК:

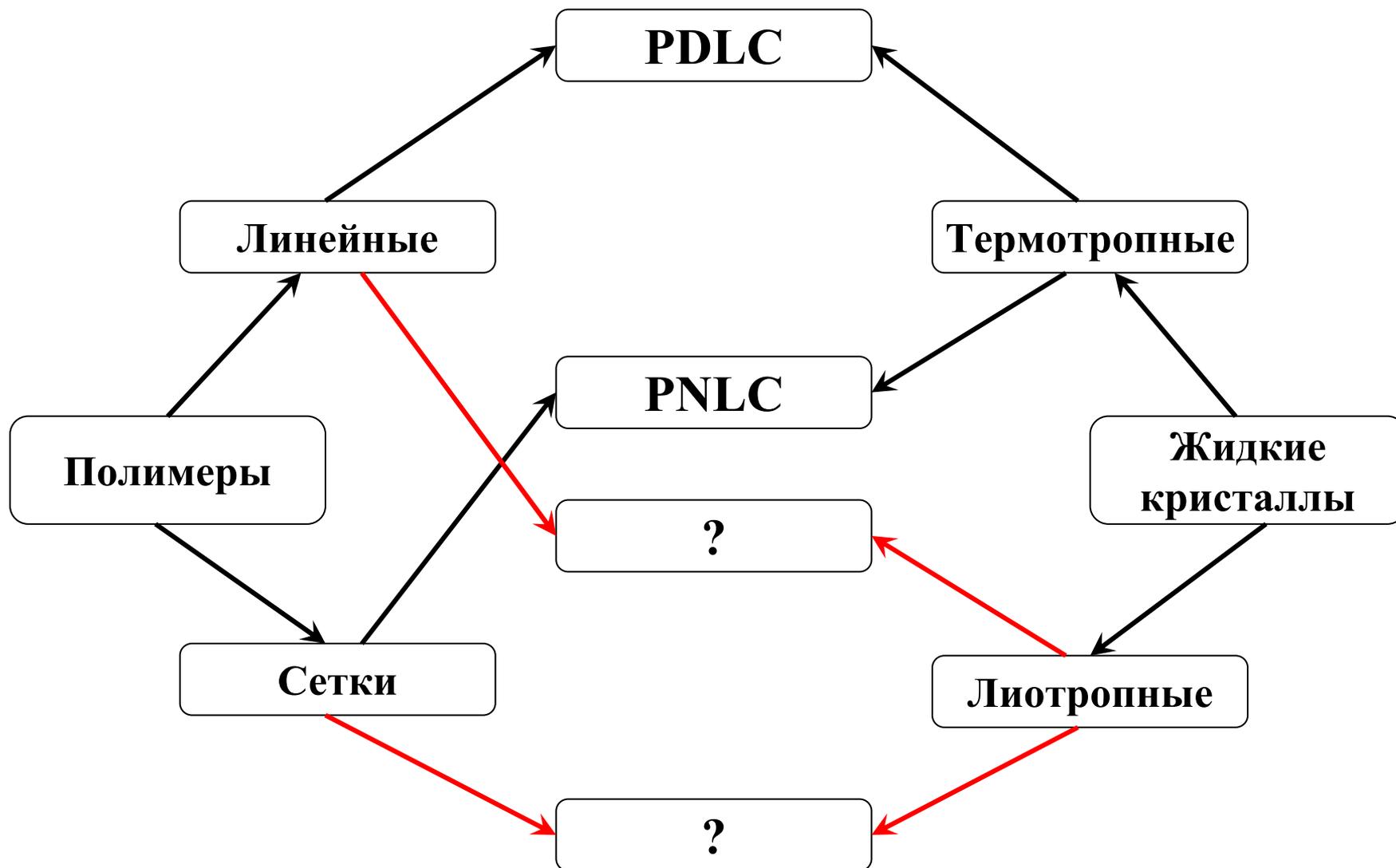


Фирменные смеси нематиков и холестериков

Основной метод получения: УФ полимеризация

Основные области применения: линзы с управляемым фокусным расстоянием, управляемые аттенюаторы, управляемые дифракционные решетки

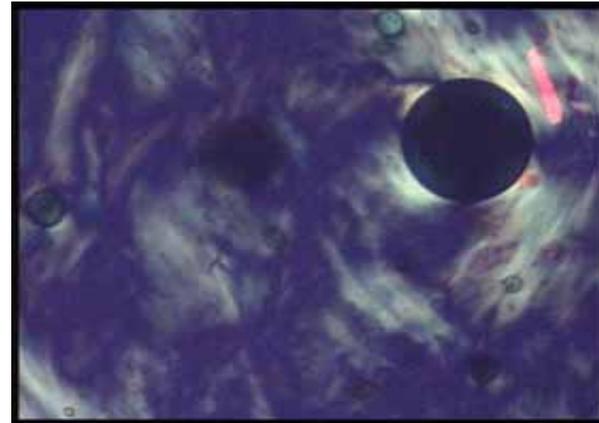
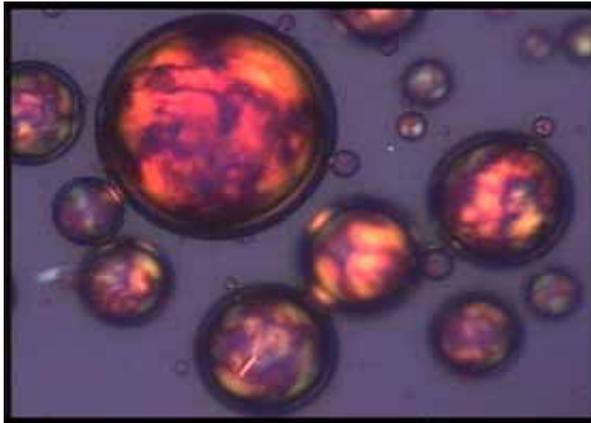
II. Композиты с лиотропными жидкими кристаллами



Линейный полимер + бензопурпурин (3 мас.%) - вода

Был использован тройной сополимер метилметакрилата, гидроксиэтилметакрилата и октилметакрилата

Основной метод получения: испарение растворителя (хлороформа)



Соотношение полимер – нематик:

50 : 50 мас.%

10 : 90 мас.%

Сетчатый полимер + дисульфодантрон (6 мас.%) - вода

Был использован коммерческий предполимер NOA 65

Метод получения: УФ полимеризация



Соотношение полимер – нематик:

90 : 10 мас.%

50 : 50 мас.%

III. Электрооптика нематических жидких кристаллов стабилизированных полимерной сеткой (PNLC)

I. Получение жидкокристаллических гелей (PNLC)

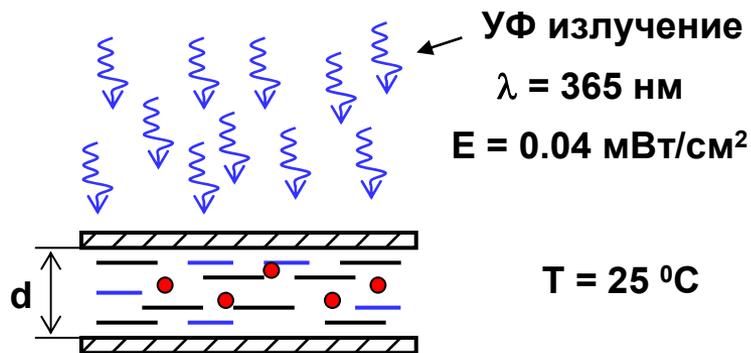


Рис. 1. Схема приготовления PNLC.

- ЖК 1277
 - Мономер: Бисфенол – А - диметакрилат
 - Фотоинициатор: Бензоин метиловый эфир
- Ориетант - Паклак

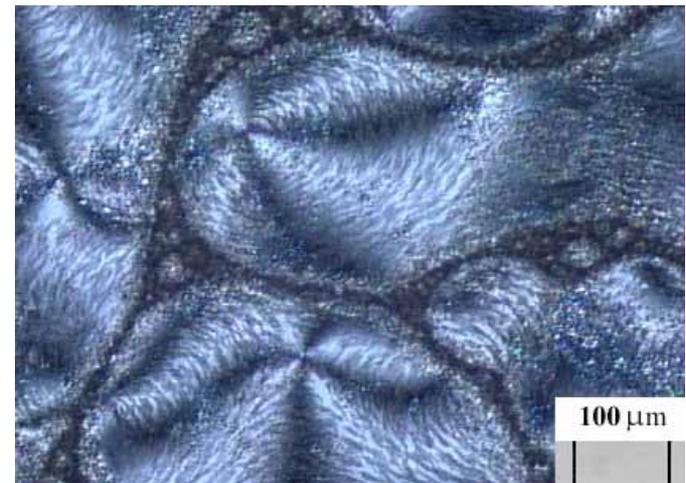


Рис. 2. Текстура неориентированного PNLC.

ЖК : Мономер : Фотоинициатор =
= 94.3 : 5.2 : 0.5 мас. %

Особенности полученных ориентированных PNLC.

1. Оптически анизотропны.
2. Рассеивают свет (мутные).
3. Наблюдается анизотропия рассеяния. (Интенсивность рассеянного света зависит от угла между плоскостью поляризации падающего света и направлением директора).

$$I = I_1 + I_2 \cdot \exp(-t / \tau), \quad \tau - \text{время релаксации}$$

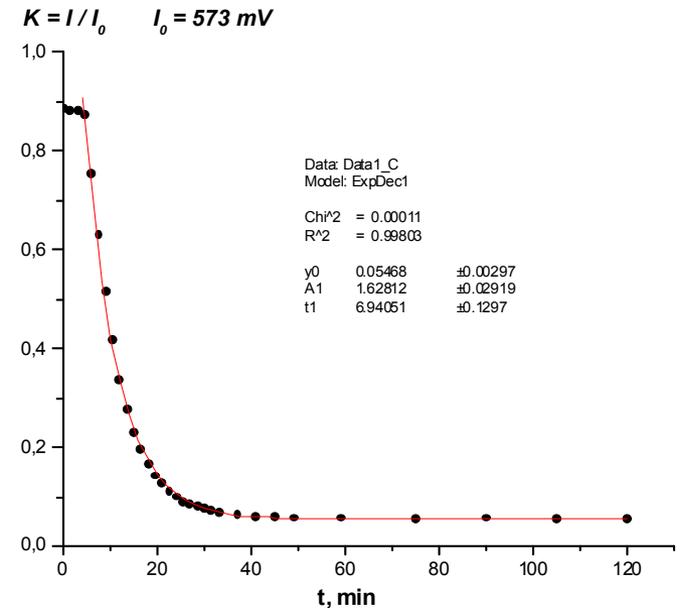
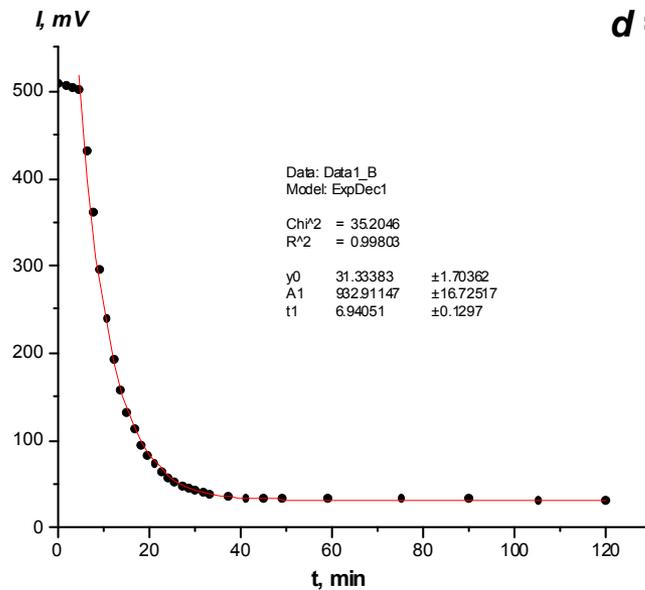


Рис. 3. Зависимость интенсивности прошедшего через ячейку света от времени облучения УФ излучением.

Рис. 4. Зависимость коэффициента пропускания K ячейки от времени облучения УФ излучением.

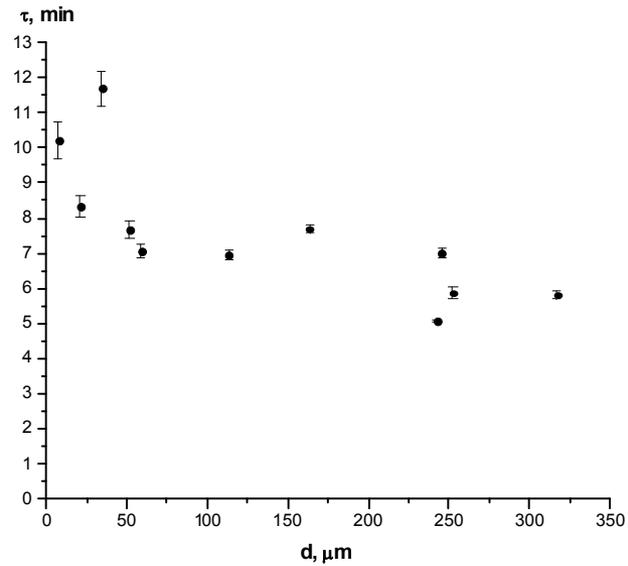


Рис. 5. Зависимость времени релаксации τ от толщины d ячейки.

Цель работы. Сравнить электрооптические свойства планарных слоев PNLC и чистого жидкого кристалла ЖК-1277. Выяснить роль полимера в PNLC.

II. Электрооптика жидкокристаллических гелей (PNLC)

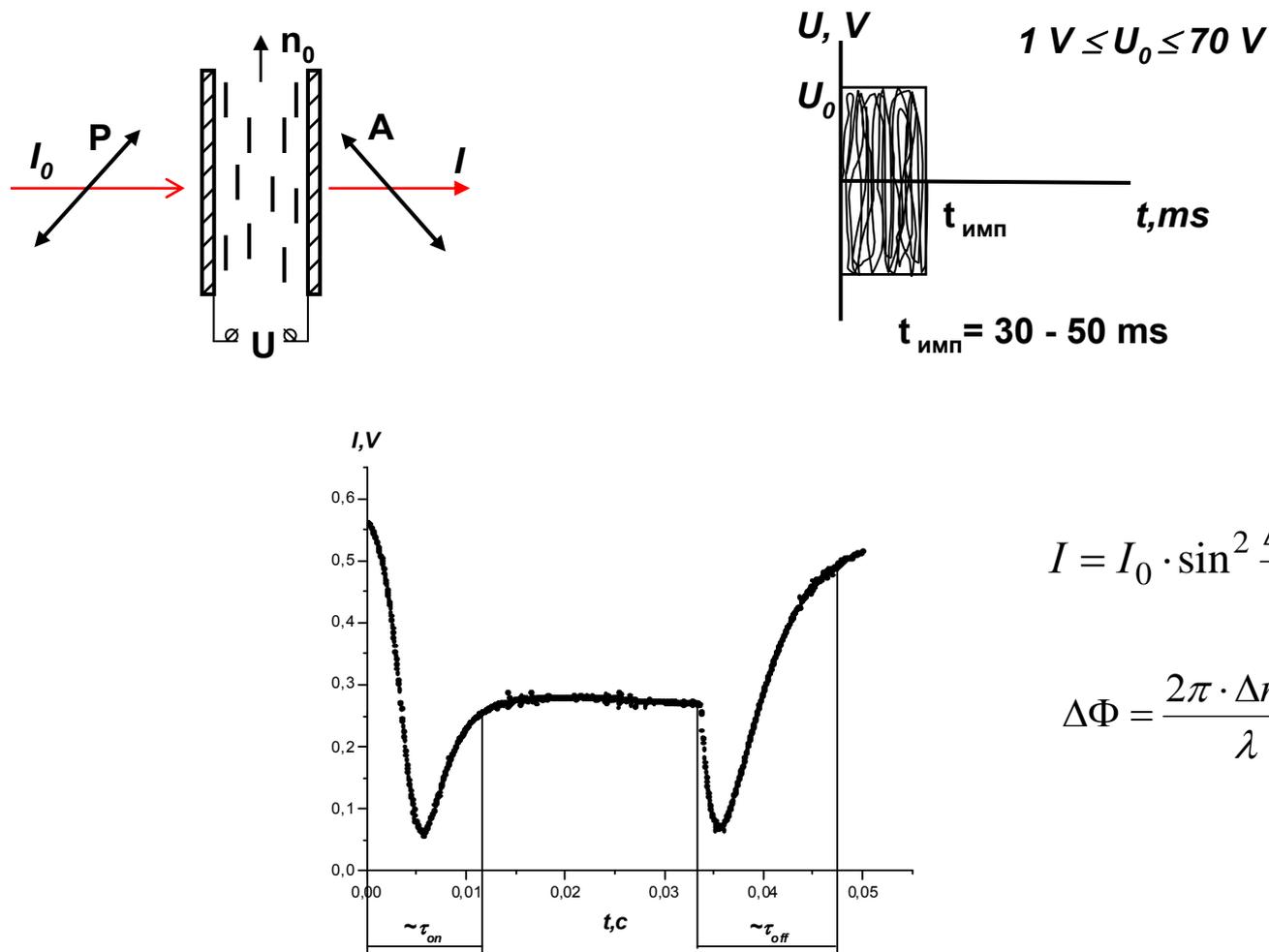


Рис. 6. . Зависимости интенсивности I света прошедшего образец PNLC от времени t . Толщина слоя PNLC 4.7 мкм, величина приложенного к нему импульсного напряжения 4 В и длительность 33 мс.

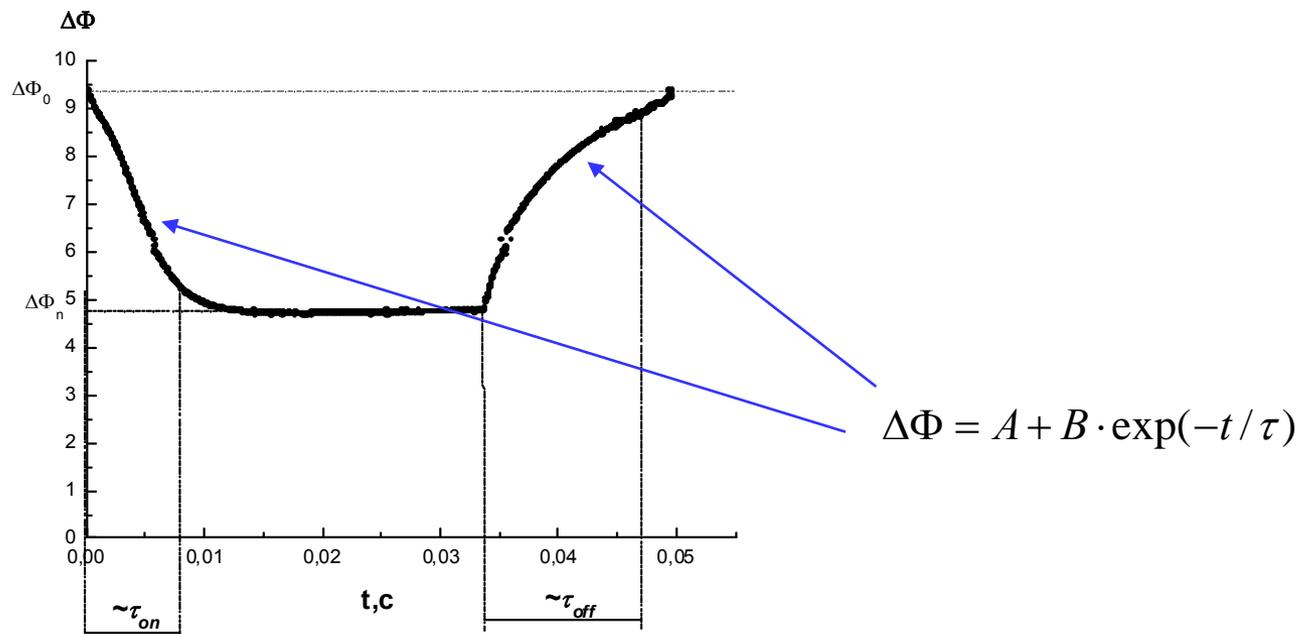


Рис. 7. . Зависимости разности фаз $\Delta\Phi$ света прошедшего образец PNLС от времени t . Толщина слоя PNLС 4.7 мкм, величина приложенного к нему импульсного напряжения 4 В и длительность 33 мс.

$$\Delta\Phi_n(U), \quad \tau_{on}(U), \quad \tau_{off}(\cancel{U}),$$

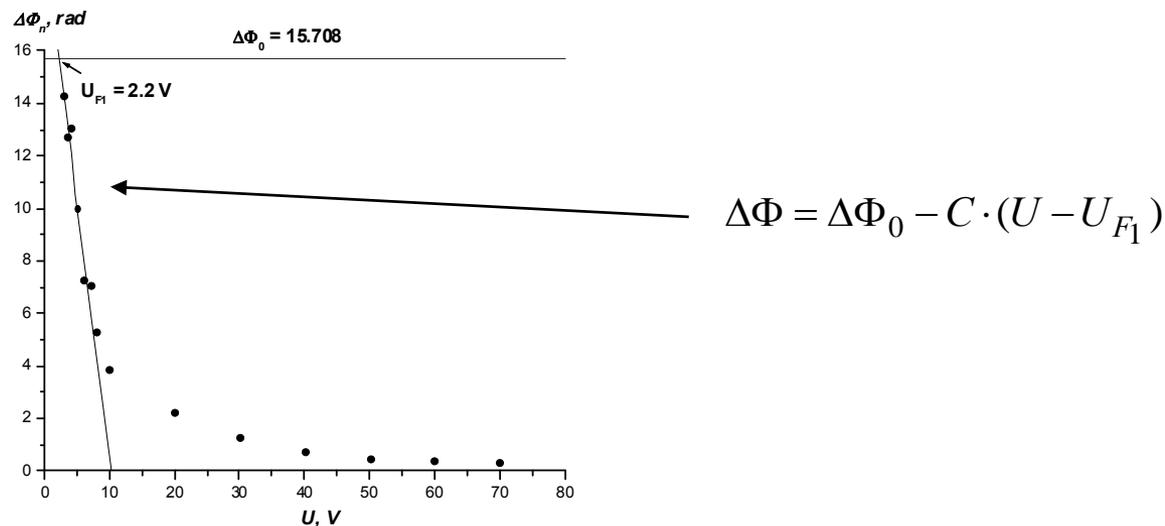


Рис. 8. Зависимость минимальной разности фаз $\Delta\Phi_n$ от напряжения U импульса для образца PNLC толщиной 7.5 мкм.

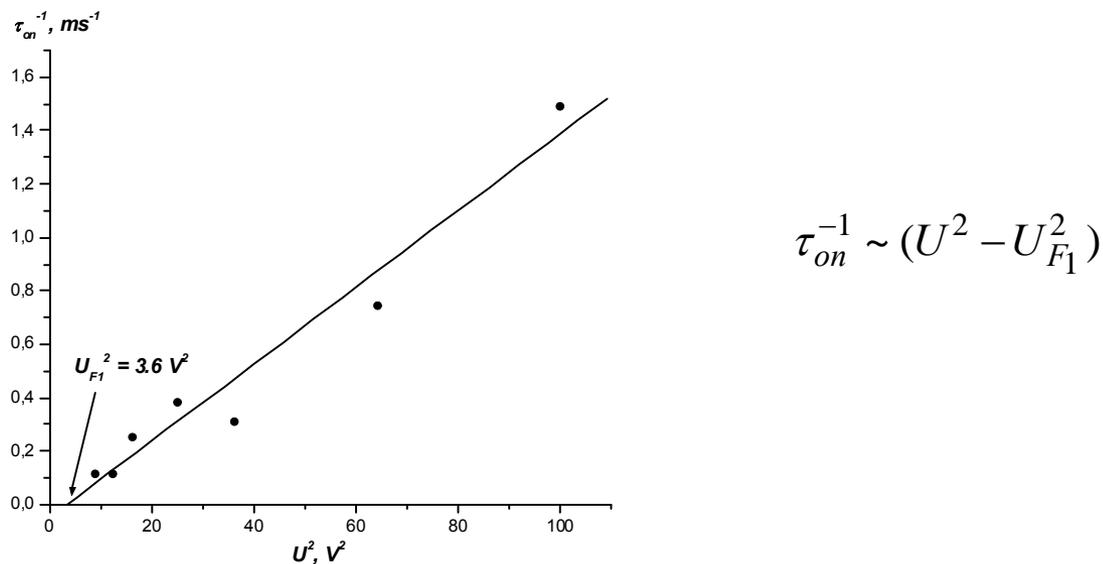


Рис. 9. Зависимость обратного времени включения электрооптического эффекта от квадрата напряжения U импульса для образца PNLC толщиной 7.5 мкм

Вывод Электрооптика планарных слоев PNLC подчиняется континуальной теории, разработанной для планарных слоев чистых НЖК.

В чем состоит отличие? !

$$U_{F1}(d), \quad \tau_{off}(d),$$

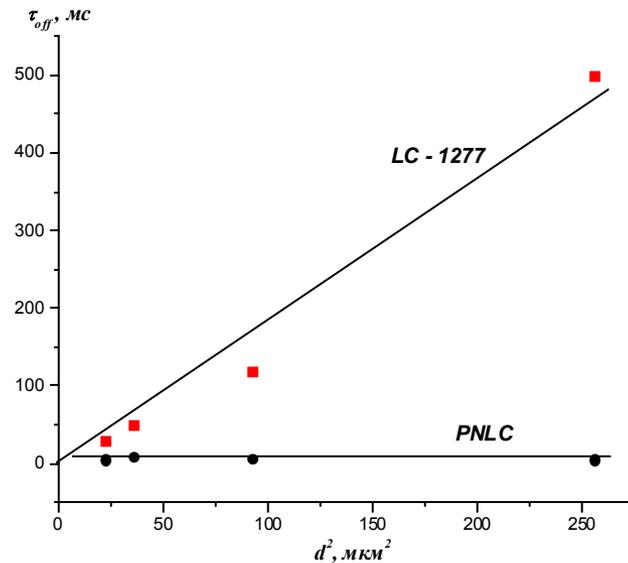
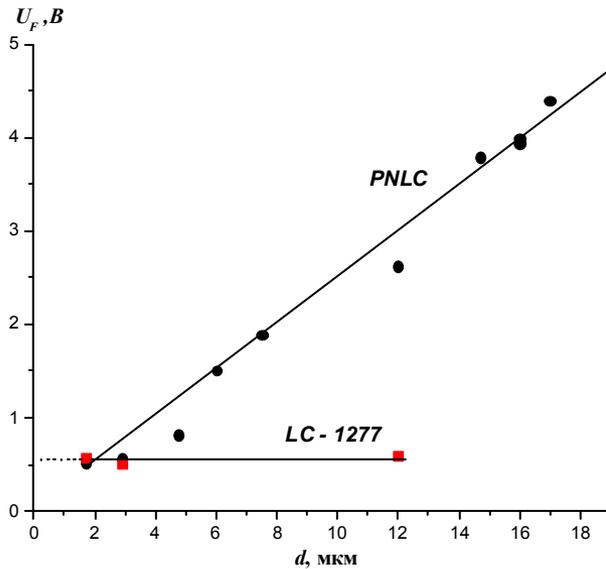
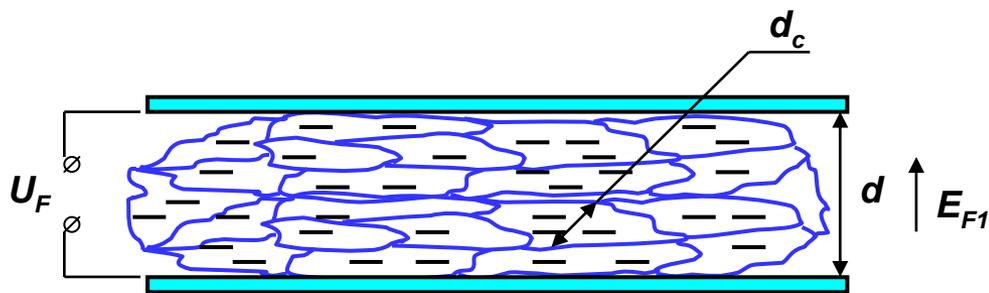


Рис. 10. Зависимость порогового напряжения Фредерикса U_F от толщины слоя d для образцов PNLC и чистого ЖК.

Рис. 11. Зависимость времени выключения τ_{off} от квадрата толщины слоя d для образцов PNLC и чистого ЖК.

III. Обсуждения и выводы



1. Пороговое поле Фредерикса .

PNLC: $U_F^{(1)} = C_F d$, $C_F \approx 0.25 \text{ В/мкм}$

LC - 1277: $U_F^{(2)} \approx 0.57 \text{ В} = \text{Const}$

$$U_F^{(1)} = \frac{U_F^{(2)}}{d_c} d,$$

$$C_F = \frac{U_F^{(2)}}{d_c} \Rightarrow \underline{d_c = \frac{U_F^{(2)}}{C_F} \approx 2.3 \text{ мкм}}$$

2. Время релаксации .

PNLC: $\tau_{off}^{(1)} \approx 6.6 \text{ мс} = \text{Const}$

LC - 1277: $\tau_{off}^{(2)} \approx C_\tau d^2$, $C_\tau \approx 1.87 \text{ мс/мкм}^2$

$$\tau_{off}^{(1)} = C_\tau d_c^2 \Rightarrow \underline{d_c = \left(\tau_{off}^{(1)} / C_\tau \right)^{1/2} \approx 1.9 \text{ мкм}}$$

Вывод Доменная модель PNLC позволяет объяснить необычное экспериментальное поведение порогового напряжения Фредерикса и времени выключения электрооптического эффекта от толщины и оценить размеры доменных областей, полученные двумя независимыми способами.

IV. Раскрутка холестерической спирали граничными поверхностями

(работа по проекту с ITRI (Тайвань), 2008 г.)

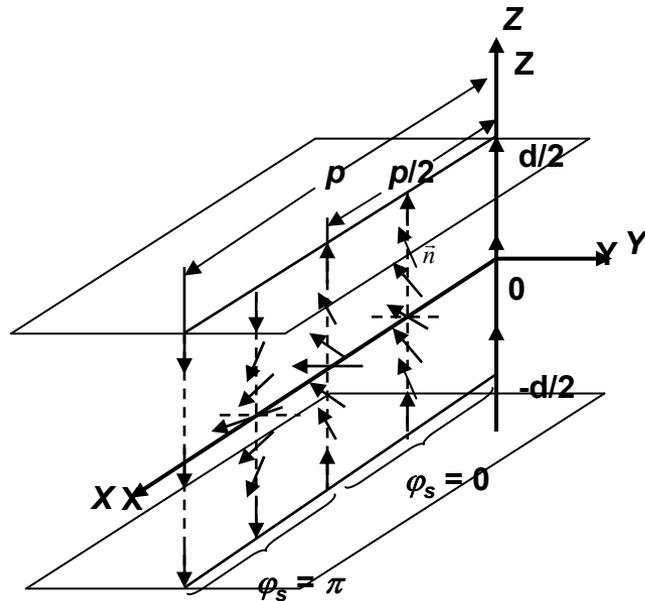


Рис.1. Геометрия задачи

Условия задачи

1. Ось холестерической спирали совпадает с осью X.
2. Энергия сцепления директора с границами ($z = \pm d/2$) бесконечно велика. Директор на границах ориентирован вдоль оси Z.

Постановка задачи

$$\Phi = \frac{K}{2} \int_{-d/2}^{d/2} dz \int_0^{p/2} \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} - q_0 \right)^2 \right] \cdot dx$$

\Downarrow

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \tilde{z}^2} = 0 \quad \text{- уравнение равновесия}$$

$$\sin 2\varphi = 0 \quad \text{при} \quad z = \pm \pi/2$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial \tilde{x}} \Big|_{\tilde{x}=\pi p/2d} = \frac{\partial \varphi}{\partial \tilde{x}} \Big|_{\tilde{x}=-\pi p/2d} \end{array} \right\} \text{- граничные условия}$$

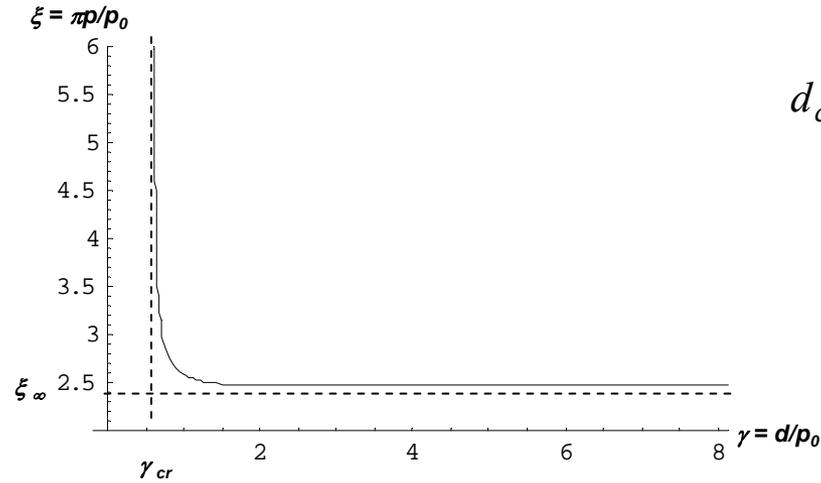
где $\tilde{x} = \pi x / d, \quad \tilde{z} = \pi z / d$

Зависимость шага спирали от толщины слоя:

$$-\frac{\pi^2}{16} sh \frac{\xi}{\gamma} - \frac{\pi^2}{16\gamma} \xi + 2\gamma \cdot sh^2 \frac{\xi}{2\gamma} = 0,$$

где $\xi = \pi p / p_0$ - безразмерный шаг спирали,

$\gamma = d / p_0$ - безразмерная толщина слоя.



$$d_{cr} = \frac{\pi^2}{16} p_0$$

Рис.2. График зависимости безразмерного шага ξ холестерической спирали от безразмерной толщины слоя γ

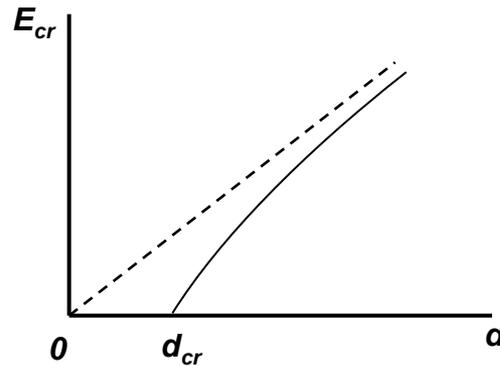


Рис.3. Зависимость критического поля раскрутки спирали E_{cr} от толщины слоя d .

Основные результаты

1. В плоском слое холестерика, с осью спирали расположенной в его плоскости, при сильном сцеплении директора с границами возможна раскрутка спирали. Это происходит при критической толщине слоя

$$d_{cr} = \frac{\pi^2}{32} \left(1 + \frac{K_3}{K_2} \right) p_0, \text{ где } K_3 \text{ и } K_2 - \text{ константы упругости, } p_0 - \text{ равновесный шаг спирали.}$$

При $K_3 = 3K_2$ величина $d_{cr} \approx 1.2 p_0$.

2. При воздействии на холестерическую спираль электрического поля происходит ее раскрутка. В отличие от бесконечной спирали, взаимодействие с границами приводит к тому, что критическое поле раскрутки спирали зависит от толщины слоя. При критической толщине слоя критическое поле обращается в нуль. При больших толщинах критическое поле увеличивается линейно с увеличением толщины слоя.

Список публикаций

1. Сонин А.С., Чурочкина Н.А., Казначеев А.В. Жидкокристаллические гели для устройств управления оптическим излучением // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2006. Вып.1-2 (15-16) С. 15 – 20.
2. Сонин А.С., Усольцева Н.В. К юбилею проф. В.П. Шibaева // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2006. Вып.3 С. 7 – 12.
3. Сонин А.С., Чурочкина Н.А., Комарова Л.И., Казначеев А.В. Электрооптические жидкокристаллические композиты // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2007. Вып.3 С. 80 – 91.
4. Сонин А.С., Чурочкина Н.А., Казначеев А.В. Полимерный жидкокристаллический композит для управления оптическим излучением // Высокомолек. соед. Серия Б. 2008. Т.50. №2. С. 342-348.
5. Сонин А.С. История открытия лиотропных жидких кристаллов // Сб. «Исследования по истории физики и механики» М. Наука 2008. С. 281 – 313.
6. Сонин А.С., Чурочкина Н.А., Голованов А.В. Композит с лиотропным жидким кристаллом // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2009. Вып.2 С. 89 – 91.
7. Сонин А.С., Чурочкина Н.А. Жидкие кристаллы, стабилизированные полимерными сетками // Высокомолек. соед. Серия Б. 2009 (обзор, в печати).

Совместные работы с группой мезоморфных кремнийорганических соединений (рук. Н.Н. Макарова)

1. Макарова Н.Н., Зубавичус Я.В., Казначеев А.В., Петровский П.В., Бузин А.И., Власова Т.В. **Самоорганизующиеся циклолинейные метилциклогексасилоксановые полимеры с реакционноспособными винильными группами // Высокомолек. соед. Серия А. 2007. Т.49. №11. С.1915-1926.**
2. Макарова Н.Н., Казначеев А.В., Петровский П.В., Петрова И.М. **Синтез и свойства жидкокристаллических метилциклогексасилоксановых полимеров с боковыми мезогенными цианобифенильными группами // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2008. Вып. 3(25). С. 12 – 22.**
3. Петрова И.М., Казначеев А.В., Петровский П.В., Макарова Н.Н. **Синтез и свойства жидкокристаллических метилциклотетрасилоксановых полимеров с боковыми мезогенными цианобифенильными группами // Жидкие кристаллы и их практическое использование 2008. Вып. 4(26). С. 15 – 25.**

Участие в конференциях

1. Казначеев А.В., Сонин А.С. **Динамика электрооптического переключения PDLC в слабых и сильных электрических полях** // VI Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам. Иваново 2006. Тез. докладов С. 39.
2. Кувшинов Ю.А., Казначеев А.В. **О причинах изломов формы нематических капель (тактоидов) в лиотропных жидких кристаллах** // VI Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам. Иваново 2006. Тез. докладов С. 40.
3. Сонин А.С., Чурочкина Н.А., Казначеев А.В. **Электрооптические свойства жидкокристаллических гелей** // VI Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам. Иваново 2006. Тез. докладов С. 45.
4. Макарова Н.Н., Петрова И.М., Казначеев А.В., Чижова Н.В., Власова Т.В. **Синтез новых стереорегулярных ЖК органоциклосилоксанов, циклолинейных полиорганосилоксанов и изучение влияния архитектуры силоксановой матрицы на полимезоморфизм и тип упаковки в ЖК состоянии** // VI Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам. Иваново 2006. Тез. докладов С. 107.
5. Казначеев А.В., Смирнова И.Ю., Сонин А.С. **Электрооптика нематических жидких кристаллов стабилизированных полимерной сеткой (PNLC)** // VII Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам и наноматериалам. Иваново 2009. Тез. докладов С. 68.
6. Макарова Н.Н., Петрова И.М., Казначеев А.В. **Синтез новых гребнеобразных ЖК циклолинейных полиметилсилоксанов и изучение влияния архитектуры силоксановой матрицы на полморфизм и тип упаковки в ЖК состоянии** // VII Международная научная конференция по лиотропным жидким кристаллам и наноматериалам. Иваново 2009. Тез. докладов С. 51.