

УДК 530.531

А. А. Сонин

ПЬЕР-ЖИЛЬ ДЕ ЖЕН И ФИЗИКА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

PIERRE-GILLES DE GENNES AND PHYSICS OF LIQUID CRYSTALS

Московский государственный машиностроительный университет «МАМИ»,
кафедра физики, 107023 Москва, ул. Б. Семёновская, 38. E-mail: soninaa@mami.ru;

Российский государственный гуманитарный университет,
Институт информационных наук и технологий безопасности,
125993, ГСП-3, Москва, Миусская пл., 6

В статье излагается биография знаменитого французского физика-теоретика, Нобелевского лауреата, Пьера-Жиля де Жена. Описывается история создания учёным группы по исследованию жидких кристаллов в Университете Орсе, а также анализируется вклад де Жена в физику этих веществ.

Ключевые слова: *Пьер-Жиль де Жен, жидкие кристаллы, группа по изучению жидких кристаллов Орсе, параметр порядка, фазовые переходы, локальный переход Фредерикса.*

A biographical essay of the famous French physicist-theoretician, Nobel Prize winner, Pierre-Gilles de Gennes is given in this article. The history of creation by this scientist of the group for investigation of liquid crystals at the University of Orsay is described, and the analysis of de Gennes' impact on the physics of these substances is given.

Key words: *Pierre-Gilles de Gennes, liquid crystals, Orsay group on liquid crystals, order parameter, phase transitions, local Fredericksz transition.*

Введение

Работы известного французского физика-теоретика, Нобелевского лауреата, Пьера-Жиля де Жена оставили заметный след практически во всех разделах физики конденсированного состояния. Это – магнетики, сверхпроводники, жидкие кристаллы, полимеры, явления перколяции, смачивания, адгезии и трения, гранулированные вещества, биофизика,...

Статья начинается с краткого изложения биографии учёного, которое, думается, будет полезно для лучшего понимания его личности и творчества. Затем даётся краткий экскурс в историю исследования жидких кристаллов во Франции, после чего рассказывается о деятельности созданной де Женом в Университете Орсе группы по изучению этих веществ. Далее анализируется вклад самого де Жена в физику жидких кристаллов. Таким образом, показывается его роль в этой области и как организатора науки, и как учёного.

Биография

Более подробные сведения о жизни и работах учёного могут быть найдены в [1 – 12].

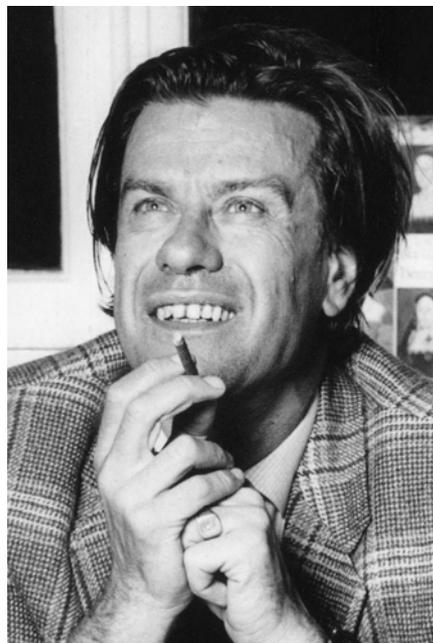
Пьер-Жиль де Жен (рис. 1, *а, б*) родился 24 октября 1932 г. в Париже. Его отец (он рано умер – в 1941 г. от сердечного приступа) был врачом, потомственным дворянином, а мать происходила из буржуазного рода лионских банкиров.

У мальчика были проблемы с лёгкими, и военные годы он прожил с матерью во французских Альпах (в основном, в г. Барселонетта), получая образование на дому.

В 1944 г., сразу после освобождения Парижа от немцев, они вернулись домой, и здесь Пьер-Жиль уже посещал лицей.



а



б



в



г

Рис. 1. Пьер-Жиль де Жен:

а – 1972 г. [12]; б – 1991 г. [1]; в – рисунок де Жена (на рождественской поздравительной открытке, полученной автором статьи), 1990-е гг.; г – картина маслом, написанная де Женом в 2006 г. [2]

С 1951 по 1955 г. Пьер-Жиль учился в престижной парижской Высшей нормальной школе. В 1954 г. он женился на Анн-Мари Руэ, с которой имел троих детей.

С 1955 г. де Жен работал в ядерном исследовательском центре в Сакле, – так называемом Комиссариате атомной энергетики. Здесь он познакомился со многими известными Французскими физиками – например, с Анатолем Абрагамом и Жаком Фриделем.

В 1957 г. на факультете науки Сорбонны в Париже он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Вклад в исследование магнитного рассеяния нейтронов».

В 1959 г. де Жен проходил постдокторскую стажировку в Калифорнийском университете в Беркли в лаборатории профессора Чарльза Киттеля. Затем он вернулся во Францию, где до 1961 г. служил в армии, продолжая работать над оборонными проектами в Центре Сакле.

В 1961 г. де Жен получил должность доцента, а затем – профессора на факультете науки парижского Университета в Орсе, впоследствии ставшего южным парижским Университетом 11. Здесь, в рамках лаборатории физики твёрдого тела (возглавляемой Жаком Фриделем), он собрал группу экспериментаторов и теоретиков, занимавшуюся проблемами сверхпроводимости.

В 1968 г. в стенах той же лаборатории де Жен организовал группу по исследованию жидких кристаллов. Сам он активно занимался этой тематикой вплоть до 1972 года, а впоследствии периодически публиковал статьи по жидким кристаллам.

В 1971 г. учёный был избран на престижную должность профессора парижского Коллеж де Франс. Этот пост он занимал вплоть до 2002 г. В Коллеже де Жен организовал собственную экспериментально-теоретическую лабораторию, которая успешно занималась многими проблемами физики конденсированного состояния: коллоидами, поверхностями, адгезией, смачиванием, полимерами, ... Сам де Жен в это время преимущественно работал над макроскопическими теориями полимеров и явлений смачивания и адгезии. Он также с неизменным успехом читал студентам Коллежа различные специальные курсы по интересовавшим его разделам науки.

В 1976 г. он стал директором парижской Высшей школы инженерной физики и химии и пребывал на этом посту вплоть до 2003 г. На этом посту учёный много сделал для возвращения бывшего престижа школы и для улучшения её финансирования. С середины 1970-х гг. Пьер-Жиль жил на две семьи: с женой и со своей аспиранткой (а впоследствии – профессором Института Кюри) Франсуазой Брошар-Вьяр. С ней у него было четверо детей. Переживая вначале из-за сложной семейной ситуации, жена учёного решила заняться бизнесом. В 1976 г. она открыла ресторан под названием «Настоящая кровяная колбаса» («Le Boudin Sauvage») прямо в их доме в Орсе. Это заведение быстро стало очень популярным и существует и процветает до сих пор.

В 1979 г. де Жен был избран членом французской Академии наук. Затем последовала череда премий и наград (среди которых, например, Орден почётного легиона), избраний почётным профессором различных университетов. Учёный стал научным консультантом некоторых крупных промышленных компаний.

В 1991 г. де Жену была присуждена Нобелевская премия по физике за то, что он показал что «методы, развитые для изучения явлений упорядочения в простых системах, могут быть обобщены для описания более сложных форм материи, в особенности жидких кристаллов и полимеров» [13]. То есть – за нахождение многочисленных аналогий между физикой твёрдого тела и физикой конденсированного состояния («наукой о мягкой материи», как называл её де Жен).

С 2002 г. до конца своих дней учёный работал консультантом президента Института Кюри. В последние годы жизни он занимался преимущественно проблемами биофизики.

Де Жен был широко одарённым человеком. Прежде всего – выдающимся учёным: он опубликовал более 600 статей (большинство из которых – без соавторов) и более десятка отличных монографий и научно-популярных книг [6]. Он повлиял на становление научной карьеры многих молодых исследователей, был (как уже отмечалось) превосходным лектором, организатором и популяризатором науки. Например, после получения Нобелевской премии, он в течение почти двух лет ездил по различным школам Франции с популярными лекциями по физике.

Учёный всегда занимал активную общественную позицию по многим вопросам жизни и политики и не боялся высказывать её. В частности, он с неистощимой энергией поддерживал французскую науку и научные журналы, выступал за увеличение финансирования конкретных небольших научных проектов и был противником сооружения крупных международных исследовательских центров (ядерных реакторов, ускорителей элементарных частиц и т. д.).

Кроме того, де Жен прекрасно рисовал (см. рис. 1, в, г), разбирался в живописи и музыке, увлекался горными лыжами и походами на байдарках, а также был заботливым отцом для своих детей и дедом для многочисленных внуков.

Учёный умер после долгой борьбы с раком 18 мая 2007 г. в своём доме в Орсе. Он похоронен на парижском кладбище Монруж в семейном склепе рядом со своим отцом и дедом.

Первые исследователи жидких кристаллов во Франции

Начало французской школе изучения жидких кристаллов положил визит О. Лемана (первооткрывателя мезофаз) в Париж в 1909 г., где он встретился со многими физиками, интересовавшимися этими необычными веществами. Среди них были известный кристаллограф Жорж Фридель (рис. 2), дед уже упоминавшегося Жака Фриделя, директор Высшей национальной школы горных инженеров Сен-Этьена.



Рис. 2. Жорж Фридель (1865 – 1933) [14]

Он то и стал первым и, пожалуй, самым крупным исследователем жидких кристаллов во Франции (подробнее об истории изучения мезофаз см., например, [15, 16]). В 1920-х гг. Фридель предложил общепринятую сейчас классификацию термотропных мезофаз, разделив их на три группы: нематики, холестерики и смектики [17].

Заметим, что значительная роль, сыгранная дедом старшего товарища в науке о жидких кристаллах, была достаточно символична для де Жена...

Среди других французских пионеров изучения жидких кристаллов следует также отметить Шарля Могена из парижской Высшей нормальной школы, ученика Ж. Фриделя; Франсуа Гранжана; сына Ж. Фриделя – Эдмона и ученика Ш. Могена Пьера Шателена, работавшего в Университете Монпелье. Последний в 1941 г. придумал широко используемый сейчас на практике метод ориентации нематиков. Он показал, что стекло, натёртое в одном направлении каким-либо мягким материалом (тканью, бумагой), даёт однородную («монокристаллическую») ориентацию молекул контактирующей с ним нематической мезофазы [18].

Группа жидких кристаллов Орсе

Де Жен называл всю более чем вековую историю исследования жидких кристаллов «одиссеей». Его собственная жидкокристаллическая одиссея была достаточно короткой, но очень плодотворной.

Учёный пришел к мысли заняться жидкими кристаллами почти случайно. Один из коллег порекомендовал ему только что вернувшемуся со стажировки в Гарвардском университете молодого исследователя Жоржа Дюрана, занимавшегося там оптически-ми свойствами этих тогда ещё мало известных даже в научных кругах веществ. Знакомство с Дюраном подтолкнуло де Жена к размышлениям о жидких кристаллах и чтению соответствующей литературы. Изучив, в частности, обзорную статью талантливого советского физика И.Г. Чистякова (рис. 3) в «Успехах физических наук» (1966 г.) [20], де Жен увидел «...насколько жидкие кристаллы были ещё мало поняты...».



Рис. 3. Игорь Григорьевич Чистяков (1929 – 1982) [19]

Увлёкшись жидкими кристаллами, де Жен уже не мог отпустить от себя Дюрана, имевшего опыт экспериментальных измерений в этой области; и предложил ему работу в своей группе, предварительно предупредив: «У нас мало места и средств». Однако Дюран был очень рад возможности продолжить свои американские исследования и, не задумываясь, согласился.

Начиная с сентября 1968 г., Дюран стал собирать вокруг себя экспериментальную группу по изучению жидких кристаллов. В неё вошли молодая исследовательница, приехавшая из Гренобля, Мадлен Вейсье, и два аспиранта, Лилиан Леже и Франсис Ронделез. Довольно быстро эта группа добилась заметных успехов в изучении мезофаз. Был опубликован ряд статей, многие из которых подписывались не именами авторов, а фразой «Группа исследований жидких кристаллов (Орсе)».

Прослышав об успехах только что созданной команды, ещё несколько сотрудников Университета Орсе присоединились к группе де Жена. Среди них были Морис Клеман, специалист по дефектам, и Этьен Гийон, который оставил из-за жидких кристаллов свои работы по сверхпроводимости, а также многие другие: специалисты по оптике, кристаллографии и т. д.

У де Жена хватало идей, чтобы обеспечить работой всех этих исследователей. Его радовало, что значительное количество людей объединилось для достижения одной цели. По его мнению, это делало научные изыскания очень эффективными.

Однако, вначале, в группе были проблемы с химическим синтезом необходимых для экспериментов жидких кристаллов и с разработкой новых мезофаз. Для решения этих задач де Жен пригласил в свою группу трёх химиков: Лежека Стржелески, Лионеля Льебера и, позднее, Патрика Келлера. Он также привлёк в группу и целый ряд молодых теоретиков: Элизабет Дюбуа-Виолетт, Оливье Пароди, Мориса Папулара и др., а также аспирантов: уже упоминавшегося Франсуазу Брошар-Вьяр и Альбера Рапини.

Менее чем за три года учёный стал «звездой» в области жидких кристаллов. Его работы во многом стимулировали интерес к исследованию мезофаз, которое стало актуальным направлением физики конденсированного состояния. Теперь сотни учёных по всему миру стремились, по примеру де Жена, приложить свои усилия в этой области...

В описываемый период учёный участвовал в работе многих международных конгрессов, и его доклады встречались с неизменным интересом. Сам он всегда выделялся из толпы других исследователей, – высокий (1 м 93 см [1]), обычно сопровождаемый двумя молодыми, очаровательными дамами: Элизабет Дюбуа-Виолетт и Франсуазой Брошар. Последнее особенно поражало американцев, так как в то время в США женщин в науке практически не было.

Де Жен также принимал у себя в лаборатории немало иностранных гостей. Во время этих визитов завязывались тесные научные контакты и, даже, дружеские отношения. Например, другом де Жена стал американец Роберт Мейер, который во время своей пост-докторской стажировки в группе Орсе теоретически предсказал существование сегнетоэлектрических смектиков С*. Впервые, такое вещество (ДОБАМБЦ) было чуть позже с успехом синтезировано тремя упомянутыми выше химиками из команды де Жена.

Учёный проводил некоторое время и в индустриальных исследовательских центрах. Например, часто бывал в лаборатории ИВМ в Цюрихе, где тогда работал научным консультантом, а также практически ежегодно посещал лаборатории компании General Electric в США.

В начале 1970-х гг. лаборатория физики твёрдого тела сильно разрослась. В ней насчитывалось уже более 150 исследователей, и управлялась она довольно инертным административным советом. Работа среди такого количества коллег начала постепенно

тяготить де Жена, и он стал подумывать о том, чтобы покинуть Университет Орсе и закончить заниматься жидкими кристаллами. Этому во многом способствовало его назначение в 1971 г. профессором Коллежа де Франс, давшее ему возможность создать уже упоминавшуюся выше собственную лабораторию. Тем не менее, он продолжал участвовать в конференциях по жидким кристаллам и опубликовал много статей по мезофазам в 1970-х гг., и даже одну (последнюю) в 1990 г.

Учёный подытожил исследования по жидким кристаллам в своей, ставшей классической, непревзойдённой книге [21]. Её второе (существенно дополненное) издание [22] было написано в соавторстве с Жаком Простом (рис. 4) – талантливым физиком-теоретиком из Бордо, приглашённым де Женом в 1987 г. в Высшую школу промышленной физики и химии. В 2003 г. Прост сменил де Жена на посту директора этого заведения.



Рис. 4. Жак Прост (род. в 1946 г.) [23]

Работы по физике жидких кристаллов

За исключением отдельных исследований по лиотропным мезофазам, де Жен в основном занимался изучением термотропных жидких кристаллов. Им он посвятил около 60 статей. Здесь будут кратко рассмотрены его основные достижения в этой области.

а. Тензорный параметр порядка и континуальная теория жидких кристаллов [21, 22, 24 – 26]

Для описания упорядочения жидких кристаллов де Жен ввёл тензорный параметр порядка

$$Q_{ij} = Q(n_i n_j - 1/3 \delta_{ij}) \quad (1)$$

Здесь $Q = \frac{1}{2} \langle (3 \cos^2 \theta - 1) \rangle$ – скалярный параметр порядка (впервые описан советским физиком В. Н. Цветковым (например, [27])), скобки $\langle \rangle$ означают усреднение, θ – угол

между выделенной осью (ось z на рис. 2) и ориентацией директора, n_i и n_j – компоненты директора ($i, j = 1, 2, 3$), δ_{ij} – символ Кронекера.

Записывая деформации, возникающие в жидком кристалле, как частные производные тензорного порядка по координатам (dQ_{ij}/dx_k , где $k = 1, 2, 3$), де Жен существенно упростил континуальную теорию (теорию упругости) жидких кристаллов.

б. Рассеяния света в нематиках [21, 22, 28 – 30]

Де Жену удалось ответить на вопрос, почему нематические кристаллы выглядят мутными?

Существовало два взгляда на структуру этих мезофаз. Одна группа учёных (например, голландский физик Леонард Орнштейн) считала, что нематики состоят из так называемых «роев» (областей с параллельной ориентацией молекул) и, таким образом, не являются непрерывной средой. Другие исследователи (среди них выделялся немецкий физик Ганс Цохер) отстаивали континуальную теорию, согласно которой нематик – это непрерывная среда (континуум), в которой средняя ориентация молекул плавно варьируется от точки к точке.

Де Жен теоретически окончательно показал, что уже прочно утвердившаяся среди исследователей в 1960-х гг. вторая гипотеза является единственно верной, и, что нематики кажутся мутными из-за сильного рассеяния света на тепловых флуктуациях ориентации их молекул. Его расчёты находились в хорошем согласии с экспериментами, проведёнными, в частности, в группе жидких кристаллов Орсе.

в. Электро- и магнитооптические эффекты [21, 22, 31]

В рамках континуальной теории Де Жен рассмотрел вопрос о раскрутке холестерической спирали во внешних электрических и магнитных полях и вывел (одновременно с Р. Мейером [32] и независимо от него) выражение для критического поля раскрутки.

г. Динамика нематиков и явления электрогидродинамической неустойчивости [12 (Pieransky P., с. 131), 21, 22, 29, 30, 33, 34]

Де Жен внёс существенный вклад в развитие макроскопической теории динамики нематиков. В частности, он описал с помощью уравнений нематодинамики длинноволновые динамические флуктуации в нематиках. Это было сделано с целью интерпретации экспериментов по неупругому светорассеянию, проводимых в группе Орсе. Эти работы позволили найти соотношения между коэффициентами вязкости Лесли. Он также развил модель Карра-Хельфриха [35, 36] для описания электрогидродинамических (ЭГД) неустойчивостей в нематиках (доменов Капустина-Вильямса, шевронов) – пороговых эффектов, возникающих в постоянных и переменных электрических полях. Эти явления детально экспериментально исследовались в группе Орсе. В своей модели де Жен учёл динамические процессы релаксации ориентации молекул.

д. Фазовые переходы в жидких кристаллах

Переход нематик – изотропная жидкость [21, 22, 24, 25]

Используя феноменологический подход Ландау, основанный на разложении плотности свободной энергии F в ряд по степеням малого (вблизи точки фазового перехода) параметра порядка, де Жен описал фазовое превращение нематик – изотропная жидкость.

В этом случае разложение F по степеням тензора Q_{ij} (см. формулу (1)) имеет вид

$$F = F_0 + 1/2A Q_{ij} Q_{ji} + 1/3B Q_{ij} Q_{jk} Q_{ki} + 1/4C Q_{ij} Q_{jk} Q_{km} Q_{mi} + \dots \quad (2)$$

Здесь F_0 – плотность свободной энергии изотропной фазы, коэффициент $A = \alpha(T - T^*)$, где T^* – некоторая температура, немного меньшая температуры фазового перехода T_c , $\alpha = \text{const}$, коэффициенты B и C являются функциями температуры и давления. Суммирование в (2) ведётся по повторяющимся индексам.

Используя (1), выражение (2) можно также записать и через скалярный параметр порядка Q .

Рассчитанные из (2) зависимости F от Q для различных температур изображены на рис. 5. При $T > T_c$ абсолютный минимум F соответствует $Q = 0$ (изотропной фазе). При $T < T_c$ F имеет минимум для $Q \neq 0$ (нематическая фаза). При $T = T_c$ могут сосуществовать изотропная и нематическая фаза с конечным параметром порядка $Q = Q_c$, т. е. переход в точке T_c является фазовым превращением первого рода. Более низкая температура T^* соответствует обращению в ноль члена с Q^2 в выражении (2). Ниже T^* изотропная фаза полностью неустойчива относительно нематического упорядочения.

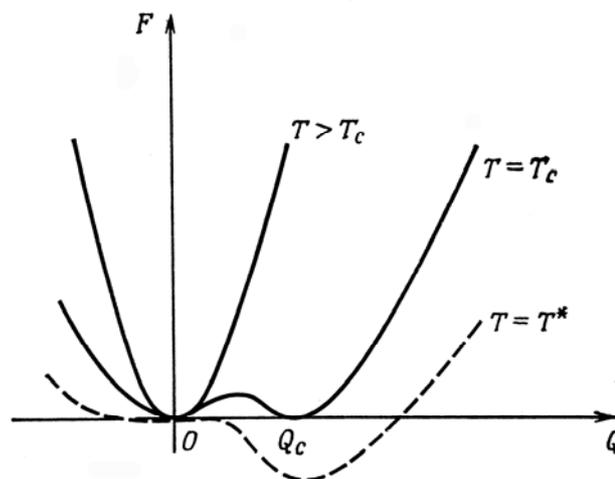


Рис. 5. Плотность свободной энергии нематика как функция параметра порядка Q при различных температурах [21]

Переход смектик А – нематик [12 (Lubensky Т. С., с. 98), 21, 22, 37]

В рамках феноменологического подхода Ландау де Жен рассмотрел фазовый переход между нематической и смектической А фазами.

В нематической фазе плотность ρ является величиной постоянной (рис. 6, а). В смектике А ρ становится периодической функцией координаты z , нормальной смектическим слоям (рис. 6, б): $\rho(z) = \rho(z + l)$ (здесь l – расстояние между слоями).

Функцию $\rho(z)$ можно разложить в ряд Фурье по косинусам, ограничившись двумя первыми членами ряда (см., например, [38]):

$$\rho(z) = \rho_0 + |\psi| \cos(qz), \quad (3)$$

Здесь ρ_0 – постоянная плотность нематической фазы, $|\psi|$ – амплитуда волны плотности в смектике А, $q = 2\pi/l$ – волновое число.

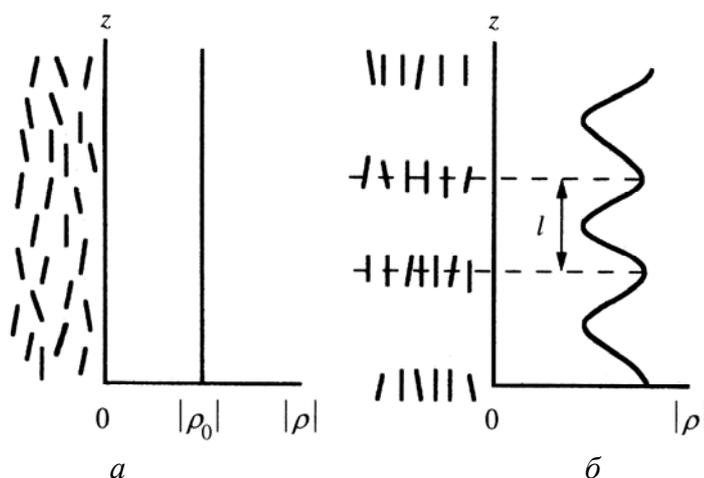


Рис. 6. К определению параметра порядка, применяемого для описания фазового перехода нематик – смектик А:

a – в нематике плотность ρ постоянна; *б* – в смектике А наблюдается периодическая модуляция ρ по координате z , нормальной к слоям (адаптировано из [38])

В смектике А $|\psi| \neq 0$, тогда как в нематической фазе $|\psi| = 0$, поэтому де Жен использовал $|\psi|$ в качестве параметра порядка для описания фазового перехода смектик А – нематик. Де Жен [37] и У. МакМиллан (например, [39]) независимо друг от друга отмечали, что такой параметр порядка (если его представить в комплексном виде) аналогичен периодической функции распределения в жидком гелии (при Бозе конденсации).

Де Жен показал [37], что фазовое превращение смектик А – нематик описывается так же, как и переход сверхпроводник – обыкновенный металл (рассмотренный Л. Д. Ландау и В. Л. Гинзбургом [40]): выражения для свободной энергии в обоих этих случаях аналогичны.

На рис. 7 изображена смектическая А-фаза, подвергнутая продольному изгибу. Так как смектик стремится сохранять расстояния между слоями, то в нём возникают краевые дислокации. В случае деформации кручения – появляются винтовые дислокации. Такие дефектные жидкокристаллические фазы аналогичны шубниковской фазе в сверхпроводниках, когда в сверхпроводящий материал частично, в виде квантовых вихрей (вихрей Абрикосова), проникает магнитное поле.

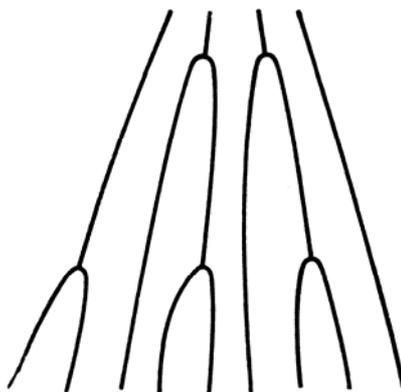


Рис. 7. Краевые дислокации в продольно изогнутом смектике А – аналог шубниковской фазы в сверхпроводниках [46]

Подобно тому, как сверхпроводники стремятся вытолкнуть наружу магнитное поле (эффект Мейснера), так и смектики стремятся вытеснить из себя дислокации. Данная аналогия, найденная де Женом, позволила понять структуру одной из так называемых голубых фаз холестерика – закрученную зернограничную фазу (twist grain boundary (TGB) phase – англ.), представляющую собой упорядоченный массив стенок винтовых дислокаций.

е. Поверхностные явления в жидких кристаллах [41, 42]

Де Жен и Е. Дюбуа-Виолетт теоретически описали взаимодействие нематических жидких кристаллов с анизотропными (твёрдокристаллическими) подложками, ориентирующими молекулы мезофазы дальнедействующими ван-дер-ваальсовыми (дисперсионными) силами. Они предсказали интересный поверхностный эффект, – так называемый локальный переход Фредерикса: переориентацию молекул нематика в случае, когда кристаллическая подложка экранировалась тонкой аморфной плёнкой, задающей иную (чем подложка) ориентацию директора (рис. 8, а).

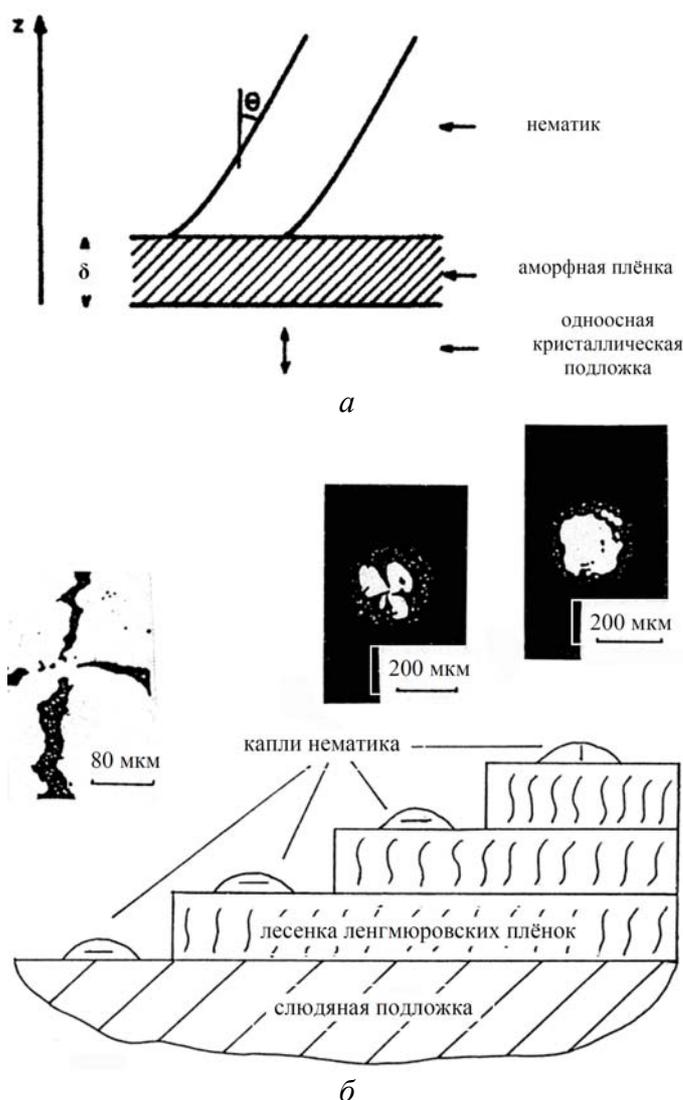


Рис. 8. Схема, показывающая геометрию задачи о локальном переходе Фредерикса (адаптировано из [41]) (а); экспериментальная реализация этого эффекта (адаптировано из [47]) (б)

Это явление было названо по аналогии с переходом Фредерикса, – переориентацией нематического директора во внешнем магнитном или электрическом поле (см., например, [21, 22, 38]). Заметим, что одними из первых, кто изучал ориентацию жидких кристаллов на твёрдокристаллических сколах, были уже упомянутые Ш. Моген [43] и Ф. Гранжан [44].

По-видимому, первые экспериментальные наблюдения локального перехода Фредерикса были осуществлены в [45]. Здесь слой нематика экранировался от стеклянной подложки тонкой углеродной плёнкой. Энергия сцепления между нематиком и плёнкой варьировалась при изменении температуры. При низких температурах наблюдалась планарная (параллельная подложкам) ориентации директора, которая, при повышении температуры, переходила в наклонную, а затем – в гомеотропную (перпендикулярную подложкам).

Более детальное исследование этого эффекта было осуществлено в [46] (см. также [47]). Здесь изменялась не энергия сцепления нематика с экранирующей плёнкой, а толщина самой плёнки. На свежий скол слюды наносилась лесенка ленгмюровских плёнок (моно- или бислоев амфифильных молекул), на каждую ступеньку которой помещалась маленькая капелька нематика (рис. 8, б). Высота ступеньки такой лесенки составляла примерно 25 Å для монослойных и 50 Å для бислоевых плёнок. Слюда ориентировала нематик (ван-дер-ваальсовыми силами) планарно, а ленгмюровские плёнки (короткодействующими силами сцепления) – гомеотропно. В результате, для критической толщины экранирующей плёнки δ_c порядка нескольких сотен Å, в нематических капельках происходили ориентационные переходы из первоначальной планарной текстуры в наклонную или гомеотропную. Величина δ_c соответствовала эффективному радиусу действия дисперсионных сил.

Автор признателен Жаку Просту и Доминик Ланжевен за внимание к этой работе и за уточнение некоторых вопросов, а также – А. С. Сонину за полезные обсуждения.

Список использованной литературы

1. *Plévert L.* Pierre-Gilles de Gennes : Gentleman physicien. Paris: Éditions Belin, 2009. 368 p. /Английский перевод: *Plévert L.* Pierre-Gilles de Gennes: A Life in Science. Singapore: World Scientific, 2011. 372 p./.
2. *Pierre-Gilles de Gennes.* L'enchanteur de la physique // Pour la Science. Les génies de la science. 2009. № 40. 96 p.
3. Un savant nommé Pierre-Gilles de Gennes // Science et Vie. 1995. Hors série. № 192. 168 p.
4. *Pieransky P., Guyon E.* // Liquid Crystals. 2007. Vol. 34. № 8. P. 995.
5. *Sluckin T. J.* // Liquid Crystals. 2009. Vol. 36. № 10/11. P. 1019.
6. *De Gennes* // J. Phys. Chem. 2009. Vol. B113. № 12. Special Issue
7. *Pierre-Gilles de Gennes* (http://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre-Gilles_de_Gennes).
8. Biographie et interview de Pierre Gilles de Gennes – 21.06.2002 // Futura-sciences (http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/physique/d/biographie-et-interview-de-pierre-gilles-de-gennes_93/c3/221/p1/).
9. *Сонин А. А.* // Материалы Междунар. научно-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвящ. 145-летию МГТУ «МАМИ». Москва, 2010. Секция 9. С. 78.
10. *Сонин А. А.* // Исследования по истории физики и механики : сборник, издаваемый Институтом истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН. М. : Наука, 2012. С. 267.

-
11. Сонин А. А. // Материалы 77-й Междунар. научно-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». Москва, МГТУ «МАМИ», 2012. Секция 9. С. 63.
 12. P. G. de Gennes' Impact on Science / ed. J. Bok, J. Prost, F. Brochard-Wyart. Vol. I – Solid State and Liquid Crystals. Singapore: World Scientific, 2009. 200 p; Vol. II – Soft Matter and Biophysics. Singapore: World Scientific, 2009. 180 p.
 13. The Official Web Site of the Nobel Prize
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1991/.
 14. *Georges Friedel* (http://fr.wikipedia.org/wiki/Georges_Friedel).
 15. Сонин А. С. Дорога длиною в век. М. : Наука, 1988. 224 с.
 16. *Sluckin T. J., Dunmur D. A., Stegemeyer H.* Crystals that Flow. London-New York : Taylor & Francis, 2004. 760 p.
 17. *Friedel G.* // Ann. Phys. 1922. Vol. 18. P. 273.
 18. *Chatelain P.* // C. R. Acad. Sci. (Paris). 1941. Vol. 213. P. 875.
 19. Материалы Международной школы молодых учёных «IV Чистяковские чтения» // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2004. Вып. 2(8). 111 с.
 20. *Чистяков И. Г.* // УФН. 1966. Т. 89. С. 563.
 21. *De Gennes P.-G.* The Physics of Liquid Crystals. Oxford: Oxford University Press, 1974. 333 p. /Русский перевод: *де Жен П.-Ж.* Физика жидких кристаллов / ред. А. С. Сонин. М. : Мир, 1976. 400 с./.
 22. *De Gennes P.-G., Prost J.* The Physics of Liquid Crystals : 2nd edition. Oxford: Oxford University Press, 1993. 616 p.
 23. The Official Web Site of the ESPCI (http://www2.espci.fr/presentation/index_en.htm).
 24. *De Gennes P.G.* // Phys. Lett. 1969. Vol. 30A. P. 454.
 25. *De Gennes P.-G.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1971. Vol. 12. P. 193.
 26. *De Gennes P.-G.* // J. Phys. (France) Colloq. C4. 1969. Vol. 30. P. 65.
 27. *Zwetkoff W.* // Acta Physicochim. URSS. 1942. Bd. 15. S. 132.
 28. *De Gennes P.G.* // C. R. Acad. Sci. (Paris). 1968. Vol. 266. P. 15.
 29. *Groupe d'études des cristaux liquides (Orsay)* // J. Chem. Phys. 1969. Vol. 51. P. 816.
 30. *De Gennes P.-G.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1969. Vol. 7. P. 325.
 31. *De Gennes P.-G.* // Solid State Commun. 1968. Vol. 6. P. 163.
 32. *Meyer R. B.* // Appl. Phys. Lett. 1969. Vol. 14. P. 208.
 33. *Dubois-Violette E., de Gennes P.-G., Parodi O.* // J. Phys. (France). 1971. Vol. 32. P. 305.
 34. *De Gennes P.-G.* Nematodynamics in Molecular fluids // Lecture notes of the XXVth session of the Les Houches Summer School on Physics / ed. R. Balian, G. Weill. London: Gordon and Breach, 1976. P. 373.
 35. *Carr E. F.* Ordered Fluids and Liquid Crystals / ed. R. S. Porter, J. F. Johnson. Adv. Chem. Series, Am. Chem. Soc. Pub. 1967. Vol. 63. P. 76.
 36. *Helfrich W.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1972. Vol. 21. P. 187.
 37. *De Gennes P.-G.* // Solid State Commun. 1972. Vol. 10. P. 753.
 38. Сонин А. С. Введение в физику жидких кристаллов. М. : Наука, 1983. 319 с.
 39. *McMillan W. L.* // Phys. Rev. A. 1972. Vol. 6. P. 936.
 40. *Гинзбург В. Л., Ландау Л. Д.* // ЖЭТФ. 1950. Т. 20. С. 1064.
 41. *Dubois-Violette E., De Gennes P.-G.* // J. Phys. (France) Lett. 1975. Vol. 36. P. 255.
 42. *Dubois-Violette E., De Gennes P.-G.* // J. Colloid Interface Sci. 1976. Vol. 57. P. 403.
 43. *Mauguin Ch.* // C. R. Acad. Sci. (Paris). 1913. Vol. 156. P. 1246.
 44. *Grandjean F.* // Bull. Soc. Fr. Min. 1916. Vol. 39. P. 164.
 45. *Ryschenkow G., Kléman M.* // J. Chem. Phys. 1976. Vol. 64. P. 404.
 46. *Блинов Л. М., Давыдова Н. Н., Сонин А. А., Юдин С. Г.* // Кристаллография. 1984. Т. 29. С. 537.
 47. *Sonin A. A.* The Surface Physics of Liquid Crystals. Amsterdam-Reading : OPA-Gordon and Breach, 1995. 180 p.

Поступила в редакцию 10.10.2012 г.