АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

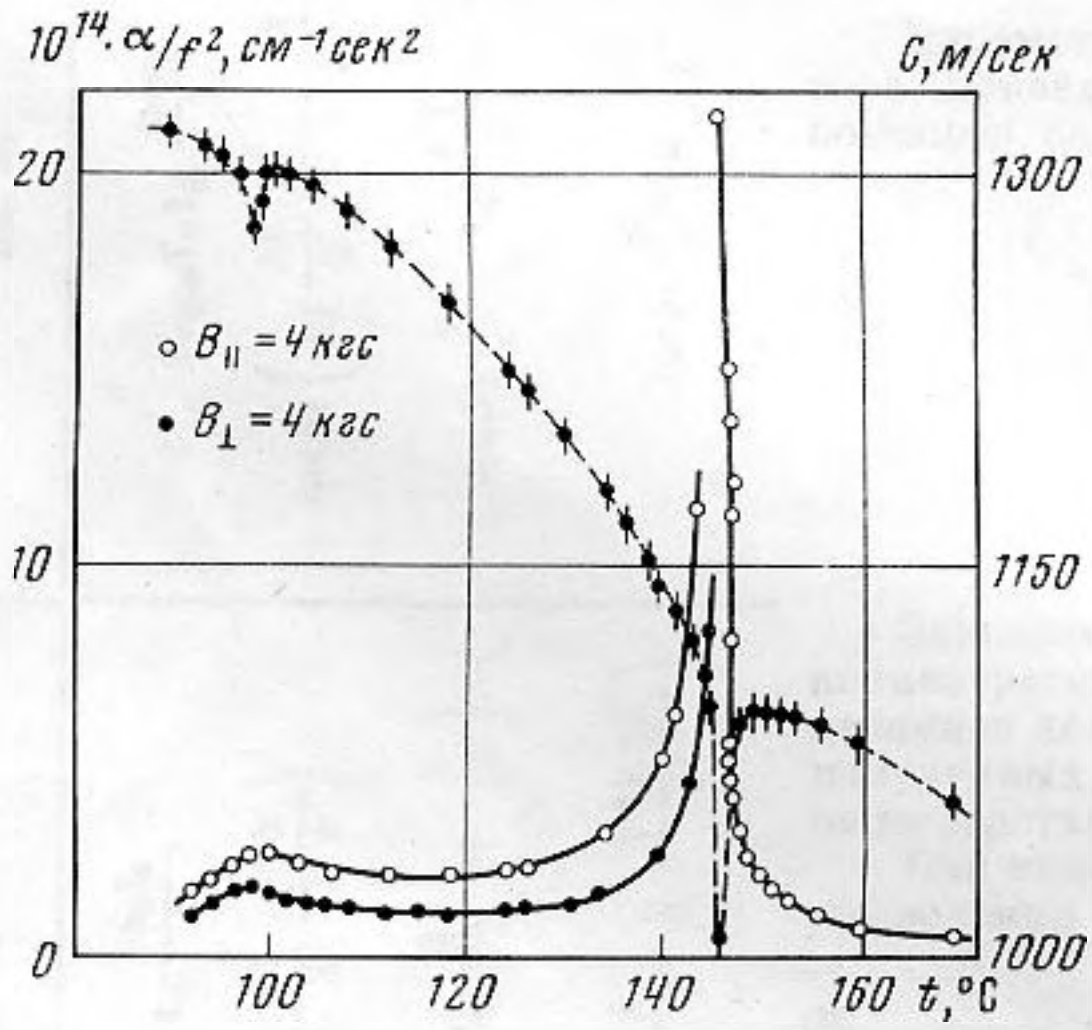
Том XX 1974 Вып. 3

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

УДК 534.2

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЪЕДИНЕННОГО НАУЧНОГО СОВЕТА АН СССР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПРОБЛЕМЕ «ФИЗИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ АКУСТИКА» И НАУЧНОГО СОВЕТА АН СССР ПО ПРОБЛЕМЕ «УЛЬТРАЗВУК»

24 октября 1973 г. в конференц-зале Акустического института АН СССР состоялась очередная научная сессия Объединенного научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Физическая и техническая акустика» и Научного совета АН СССР по проблеме «Ультразвук». На сессии были заслушаны следующие доклады: А. В. Белоусов, А. С. Лагунов, В. Ф. Ноздрев «Влияние магнитного поля на акустическую релаксацию в нематической фазе жидких кристаллов», А. П. Капустин «О некоторых свойствах жидких кристаллов» О. А. Капустина «Акустические свойства и перспективы применения жидких кристаллов», Е. И. Рюмцев «Релаксационные явления в жидких кристаллах в электрических полях». Ниже публикуется краткое содержание докладов.



А. В. Белоусов А. С. Лагунов, В. Ф. Ноздрев. Влияние магнитного поля на акустическую релаксацию в нематической фазе жидких кристаллов. В связи с исследованием анизотропии явлений переноса в жидких кристаллах появились работы [1–3], посвященные изучению анизотропии акустических свойств жидких кристаллов. Во всех работах «монодоменность» образца создавалась воздействием магнитного поля на «планкообразные» молекулы, обладающие анизотропией магнитной восприимчивости.

Ниже приводятся результаты измерений скорости распространения и коэффициента поглощения ультразвуковых колебаний в жидких кристаллах. Измерения проводились импульсно-фазовым методом переменного расстояния в диапазоне частот 3–700 *мгц*, в интервале изменения температуры 20–250° С и магнитной индукции 20–10 000 *гс*.

Объектами исследования являлись: *п*-метоксибензилиден-*п*-*н*-бутиланилин (МББА); T_f=22° С; T_c=45° С; *п*-азоксианизол (ПАА), T_f=118° С; T_c=135° С; анисалдазин (АНА), T_f=169° С; T_c=182° С; *п*-*н*-гептилоксибензойная кислота T_f=92° С; T_s=98° С; T_c=146° С, где T_f – температура плавления, T_s – температура перехода смектический жидкий кристалл (СЖК) – нематический жидкий кристалл (НЖК), T_c – температура просветления (перехода нематический жидкий кристалл – изотропная жидкость (ИЖ)).

Для всех исследованных веществ обнаружена сильная зависимость акустических свойств от температуры. В области фазовых переходов СЖК – НЖК, НЖК – ИЖ наблюдается резкое уменьшение скорости распространения ультразвуковых колебаний, а также увеличение адиабатической сжимаемости и коэффициента поглощения. Влияние магнитного поля распространяется только на область существования мезо-

фазы. На фигуре представлена температурная зависимость величины α/f^2 и с в гептилоксибензойной кислоте (ГОБК). Пунктирной линией показана температурная зависимость скорости распространения акустических колебаний. Сплошной – коэффициента поглощения. Данные относятся к частоте 7 *мгц* при величине индукции $B=4$ *кгс*. Измерения акустических параметров проведены для двух случаев: $\overline{\mathbf{B}}\perp\overline{\mathbf{K}}$ и $\overline{\mathbf{B}}\parallel\overline{\mathbf{K}}$, где $\overline{\mathbf{B}}$ – вектор магнитной индукции, $\overline{\mathbf{K}}$ – волновой вектор, причем наложение поперечного поля ($\mathbf{B}_\perp$) уменьшает, а продольного ($\mathbf{B}_\parallel$) увеличивает поглощение ультразвуковых колебаний. Величина $\Delta=(\alpha/f^2)_\parallel-(\alpha/f^2)_\perp$ для данного вещества зависит от температуры, частоты и величины магнитной индукции. Полученные данные позволяют рассчитать коэффициенты объемной вязкости η_4 и η_5 из соотношения [4]:

$$\frac{\alpha}{f^2}=\frac{4\pi^2}{\rho c^3}\left\{\left[\frac{k_\perp(\gamma-1)}{C_p}+\eta_2+\eta_4\right]\sin^2\varphi+\right.$$

$$+\left[\frac{k_\parallel(\gamma-1)}{C_p}+2\eta_1+\eta_2-\eta_4+2\eta_5\right]\cos^2\varphi-$$

$$\left.-\frac{1}{2}(\eta_1+\eta_2-2\eta_3)\sin^2 2\varphi\right\},$$

где C – скорость звука, φ – угол ориентации, f – частота колебаний, ρ – плотность, $\gamma=C_p/C_v$ – отношение теплоемкостей, $k_\perp$ и $k_\parallel$ – коэффициенты теплопроводности, η_1, η_2, η_3 – коэффициенты сдвиговой вязкости. Результаты, характеризующие величины коэффициентов объемной вязкости η_4 и η_5 для *n*-азоксианизола (ПАА), приведены в таблице.

ПАА	частота	η_4 (*пуаз*)	η_5 (*пуаз*)
(122 °C)	3 *мгц*	0,88	1,2
	60,5 *мгц*	0,61	0,6

Следует отметить, что влияние поля распространяется также на область существования смектической фазы ГОБК, однако выявление его возможно лишь при условии охлаждения изотропного расплава в присутствии магнитного поля.

Анализ частотной зависимости коэффициента поглощения α и величины скорости ультразвуковых колебаний *c* позволил обнаружить существование релаксационных процессов с распределением времен релаксации. Если величина Δ уменьшается с ростом частоты, то изменение поглощения на длину волны $\Delta\mu$ возрастает как следствие сильной зависимости скорости от частоты.

На графике зависимости величины α/f^2 от индукции магнитного поля в ПАА для различных частот отчетливо проявляется область «насыщения». Максимальному изменению акустических параметров соответствует изменение магнитной индукции от 0 до 1,5 *кгс*. Характерным является значительно большее изменение акустических параметров в продольном магнитном поле по сравнению с изменениями их в поперечном магнитном поле.

Рассмотренные закономерности качественно объясняются с точки зрения взаимодействия магнитного поля и акустической волны, являющегося причиной изменения степени дальнего ориентационного порядка в мезофазе. В частности, «анизотропия» объемной вязкости является следствием изменения сил притяжения ориентационной части внутренней энергии при изменении взаимной ориентации **B** и **K**. Асимметрия в изменении коэффициента поглощения как функции величины **B** является следствием увеличения времени ориентационной релаксации в магнитном поле, независящей от взаимной ориентации **B** и **K**.

ЛИТЕРАТУРА

1. *A. E. Lord, M. M. Labes.* Anisotropik ultrasonic properties of a nematic liquid cristal. Phys. Rew. Lett., 1970, 25, 9, 570.
2. *E. D. Lieberman, J. D. Lee, F. C. Moon.* Anisotropik ultrasonic wave propagation in a nematic liquid cristal placed in a magnetic field. Appl. Phys. Lett., 1971, 18, 7, 280.

3. *K. A. Kemp, S. V. Letcher.* Ultrasonic determination of anisotropic Shear and bulk viscosities in nematic liquid crystals. Phys. Rew. Lett., 1971, 27, 24, 1634.
4. *D. Forster, T. C. Lubensky, P. C. Martin, J. Swijt, P. S. Pershan.* Hydrodynamics of liquid crystals. Phys. Rew, Lett., 1971, 26, 17, 1016.

Московский областной педагогический институт
им. Н. К. Крупской

А. П. Капустин. О некоторых свойствах жидких кристаллов. Жидкие кристаллы (мезофаза), как и твердые отражают и преломляют свет, обладают колоссальной оптической активностью, «памятью», пьезоэлектрическими свойствами, вызывают акустическое двулучепреломление и другое. Они могут быть в форме моно- и поликристаллов. Комбинация веществ может быть использована для различных целей в диапазоне температур от —20 до +250° С. Сочетание текучести с упругостью и анизотропией различных свойств является особенностью жидких кристаллов и обеспечивает им практически безграничное применение.

Специфика и сложность явлений в жидких кристаллах таковы, что для их изучения привлечены почти все современные физические методы исследования.

Изучению общих физических свойств жидких кристаллов, как всегда, принадлежит ведущая роль. В докладе суммированы результаты исследования эффектов изменения плотности, вязкости, времен релаксации, термического расширения, диэлектрической проницаемости и их температурной и частотной зависимости для различных жидких кристаллов. Эти эффекты легко измеримы. Поэтому исследование скорости распространения и поглощения звука в жидких кристаллах дает полезную информацию об их структуре и кинетике роста зародышей мезофазы. Современное состояние экспериментальных исследований указывает на интересные и практически ценные применения жидких кристаллов в широком диапазоне частот и интенсивностей от инфра- до гиперзвука – датчики, устройства отображения информации и другое. Это связано с тем, что механическое действие с различной частотой создает в жидком кристалле сдвиги, повороты, что ведет к новому размещению молекул и к новым управляемым свойствам вещества.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

О. А. Капустина. Акустические свойства и перспективы применения жидких кристаллов. Известно, что акустические методы успешно используются при исследовании поведения жидких кристаллов в области фазовых переходов и предпереходных состояний для изучения вязкоупругих характеристик жидких кристаллов и т. п. Так, например, данные о скорости и поглощении акустических волн позволяют с большей степенью точности определить термодинамические параметры: адиабатическую и изотермическую сжимаемости, теплоемкость при постоянном объеме, отношение теплоемкостей, исследовать кинетику необратимых процессов и установить их связь с внутримолекулярными и межмолекулярными явлениями.

В последние годы в физической акустике четко наметились новые направления, связанные с открытием различных интересных явлений в жидких кристаллах при активном воздействии акустических колебаний. Дело заключается в том, что физические свойства этого класса веществ, занимающего промежуточное положение между твердым кристаллом и жидкостью, весьма резко изменяются под влиянием различных внешних факторов, в частности в акустическом поле. Особенно большой интерес представляют исследования воздействия акустических колебаний на оптические свойства нематических и холестерических жидких кристаллов, что объясняется широкими возможностями практического использования этих веществ в различных областях науки и техники. Дело заключается в том, что молекулы жидких кристал-

лов находятся в возбужденном состоянии, и малейшее изменение среды как общее, так и локальное приводит к изменению структуры вещества, а вместе с ней его оптических свойств.

Характер изменения оптических свойств нематической фазы в акустическом поле (акустооптический эффект) различен в ориентированных монокристаллических и неориентированных поликристаллических образцах. Своеобразие оптического поведения ориентированного жидкокристаллического слоя обусловлено тем, что ансамбль его молекул обладает способностью синхронно переориентироваться под действием акустических колебаний, что приводит к изменению проходящего через систему поляризатор – слой – анализатор когеррентного светового потока.

Впервые факт влияния механического воздействия на оптическую прозрачность указанной системы установил Леман [1]. Значительно позднее Фредерикс и Золина [2] показали, что изменение оптической прозрачности слоя обусловлено поворотом его оптической оси на некоторый угол по отношению к исходной ориентации и возникновением двухлучепреломления. В последние годы было показано [3, 4], что механизм ориентационного воздействия акустического поля зависит от величины отношения частоты звуковых колебаний к ω к частоте максвелловской релаксации ω_p.

На частотах, не превышающих частоты максвелловской релаксации, изменение ориентации оптической оси происходит за счет динамооптического эффекта, тогда как при $\omega > \omega_p$ оптическое поведение слоя определяет упругооптический эффект. Проводившиеся рядом авторов экспериментальные исследования [3, 5] показали, что амплитудная характеристика системы поляроиды – слой такова, что пока интенсивность звука не превышает некоторую критическую величину $I_{зв_{кр}}$ интенсивность светового потока, проходящего через систему, связана с интенсивностью звука линейной зависимостью. При значениях $I_{зв} \gg I_{зв_{кр}}$ относительная оптическая прозрачность системы стремится к постоянной величине, равной 0,25. Указанный характер зависимости сохраняется во всей области температур существования нематической фазы, однако по мере приближения к температуре фазового перехода (нематическая фаза – изотропная фаза) при одной и той же величине акустического поля относительная прозрачность системы уменьшается [5]. Частотная характеристика системы определяется наличием двух различных механизмов ориентационного воздействия звукового поля. При $\omega < \omega_p$ с повышением частоты действующего акустического поля относительная прозрачность растет, тогда как для частот, превышающих ω_p, с ростом частоты она спадает. Такой характер зависимости позволяет ожидать на кривой частотной характеристики в переходной области ($\omega \simeq \omega_p$) существование максимума.

Хотя интерес к исследованию акустооптического эффекта в ориентированных слоях возродился сравнительно недавно, уже сейчас очевидно, какие возможности они таят. С одной стороны, акустооптический эффект в жидких кристаллах может дать достаточно достоверную информацию о проходящих ориентационных процессах и внутренних параметрах вещества (постоянная Максвелла, время Максвелловской релаксации, упругооптическая постоянная, модули упругости, коэффициент вязкости и т. п.). С другой стороны, ориентированные слои нематических жидких кристаллов могут служить материалом для создания управляемых транспорантов, выполняющих функции амплитудных и фазовых преобразователей информации с высокой скоростью и высокой чувствительностью отклика к воздействию поля, датчики для регистрации акустических сигналов в жидкостях или твердых телах, системы для визуализации акустических полей [6].

Акустооптический эффект в неориентированных поликристаллических образцах аналогичен явлению динамического рассеяния в электрических полях и известен в литературе под названием оптическое рассеяние света [7]. Природа этого явления пока не ясна; так же как и акустооптический эффект в ориентированных слоях, оптическое рассеяние позволяет осуществлять визуализацию акустических полей.

Холестерические жидкие кристаллы, являющиеся одной из разновидностей нематических кристаллов благодаря особенностям молекулярного строения обладают огромной естественной вращательной способностью [8]. Угол поворота плоскости поляризации зависит от толщины слоя, длины световой волны и температуры. В пределах узкой спектральной области вблизи длины волны инверсии, где знак вращательной способности изменяется, наблюдается интенсивное избирательное рассеяние света, падающего на слой. Длина волны рассеянного света зависит от температуры и угла между лучом рассеянного и падающего света. При наблюдении под постоянным углом зрения, цвет препарата определяется температурой (термооптический эффект). В более нагретых областях представляется сине-фиолетовым, в более холодных – красным. Изменение длины волны рассеянного света может достигать 1000 Å на 1° С, так что по изменению окраски удается обнаружить локальные изменения температуры.

Способность холестерических кристаллов к избирательному рассеянию падающего света может быть использована для визуализации акустических полей [9, 10], обнаружения объектов, находящихся в поле [11], а также для целей акустической голографии [12]. В акустическом поле локальные изменения температуры обусловлены поглощением акустической энергии в материале подложки, на которую нанесен слой кристалла. Имеющиеся экспериментальные данные по использованию термооптического эффекта для указанных целей охватывают диапазон частот 20 *кгц* – 1 *Ггц*.

Время формирования изображения и длительность его сохранения зависит от амплитуды акустических колебаний. К числу бесспорных преимуществ жидкокристаллических детекторов изображения относится возможность работы в реальном масштабе времени и относительно высокая разрешающая способность.

Более подробно рассмотренные в докладе вопросы освещены в обзорной статье О. А. Капустина: «Свойства жидких кристаллов в акустическом поле». (Акуст. ж., 1974, *20*, 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *O. Lehman.* Die Kristallisationsmikroscop und die damit gemachten Endeckungen ins besondere die flüssigen Kristalle, 1910. Braunschweige.
2. *В. В. Золина.* Упругие колебания анизотропной жидкости. Тр. Ломоносовского ин-та АН СССР, 1936, *8*, 11—18.
3. *О. А. Капустина, Ю. Г. Статников.* Воздействие ультразвуковых поверхностных волн на жидкие кристаллы. ЖЭТФ, 1973, *64*, 1, 226—230.
4. *О. А. Капустина, Ю. Г. Статников.* Ориентационное воздействие акустического поля на нематические кристаллы. Акуст. ж., 1974, *20*, 2, 248—251.
5. *А. П. Капустин, З. Х. Куватов, А. И. Трофимов.* Фотоупругие явления в некоторых жидких кристаллах. В сб.: Уч. зап. Ивановск. пед. ин-та, 1972, *99*, 64—69.
6. *О. А. Капустина, А. А. Талашев.* Визуализация ультразвуковых поверхностных волн с помощью жидких кристаллов. Акуст. ж., 1973, *19*, 4, 626—627.
7. *L. W. Kessler, S. P. Sawyer.* Ultrasonic stimulation of optical scattering in nematic liquid crystals. Appl. Phys. Letters, 1970, *17*, 10, 440—441.
8. *J. L. Fergason.* Liquid crystals in nondestructive testing. Applied Optics, 1968, 7, 1729.
9. *K. Juzuka.* A liquid — crystal film used for mapping and acoustic field. Proc. IEEE, 1970, *58*, 2, 288.
10. *B. D. Cook, R. E. Werchan.* Mapping ultrasonic fields with cholesteric liquid crystals. Ultrasonics, 1971, *9*, 2, 101—102.
11. *W. H. Sproat, S. E. Cohen.* An acoustographic imaging system. Mater. Eval, 1970, *28*, 4, 73—76.
12. *M. J. Intlekofer, D. C. Auth.* Liquid – crystal holography of high frequency acoustic waves. Appl. Phys. Letters, 1972, *20*, 4, 151—152.

Акустический институт
Академии наук СССР

Е. И. Рюмцев. Релаксационные явления в жидких кристаллах в электрических полях. В последние годы все большее практическое значение приобретают вопросы, связанные с изучением поведения нематических жидких кристаллов в переменных электрических полях. Характер ориентации нематического жидкого кристалла в электрическом поле определяется величиной и знаком его макроскопической диэлектрической анизотропии $\Delta\varepsilon=\varepsilon_{\parallel}-\varepsilon_{\perp}$, где $\varepsilon_{\parallel}$ и $\varepsilon_{\perp}$ – главные значения диэлектрических постоянных мезаморфного образца в направлениях, параллельном и перпендикулярном его оптической оси.

Величина $\Delta\varepsilon$ у различных нематических жидких кристаллов в диапазоне радиочастот может быть как положительной ($\varepsilon_{\parallel}>\varepsilon_{\perp}$), так и отрицательной ($\varepsilon_{\parallel}<\varepsilon_{\perp}$). В соответствии с этим в первом случае оптическая ось нематического образца ориентируется параллельно силовым линиям электрического поля, во втором – перпендикулярно им. Различные знаки $\Delta\varepsilon$ являются следствием существенной роли дипольной поляризации вещества в диэлектрических свойствах мезофазы.

Молекулярные механизмы дипольной поляризации нематической жидкости в электрических полях связаны с поворотами жестких диполей вокруг короткой и длинной осей палочкообразных молекул жидкого кристалла. При этом силы межмолекулярного взаимодействия, ответственные за дальний ориентационный порядок в жидких кристаллах, препятствуют таким поворотам диполей, причем в разной степени для различных типов вращения. Поворот диполя является более свободным, когда он совершается вокруг длинной оси молекулы ($\varepsilon_{\perp}$) и более заторможенным (ограниченным), когда осью вращения является короткая ось молекулы ($\varepsilon_{\parallel}$).

Анизотропный характер молекулярного вращения в нематической мезофазе проявляется как при равновесной диэлектрической поляризации жидкого кристалла, так и в релаксационных свойствах анизотропных жидкостей. В нематических жидких кристаллах экспериментально обнаружены две области дисперсии $\Delta\varepsilon$, связанные с частотной зависимостью $\varepsilon_{\parallel}$ и $\varepsilon_{\perp}$.

Дисперсия $\varepsilon_{\parallel}$, наблюдаемая экспериментально в области частот в сотни и тысячи килогерц в жидких кристаллах как с положительной, так и с отрицательной диэлектрической анизотропией, является причиной уменьшения положительных величин $\Delta\varepsilon>0$ и возрастания отрицательных значений $\Delta\varepsilon<0$ при увеличении частоты поля ν. Частотная зависимость $\varepsilon_{\parallel}$ в указанной области ν может привести в ряде случаев к

изменению знака $\Delta\varepsilon$ с положительного на отрицательный и, следовательно, к изменению характера макроскопической ориентации образца в электрическом поле.

Вторая область дисперсии $\Delta\varepsilon$ связана с исключением из дипольной поляризации жидкого кристалла молекулярных движений, при которых короткие поперечные оси молекул вращаются вокруг их продольных осей ($\varepsilon_\perp$). Дисперсия $\varepsilon_\perp$ проявляется в области нескольких тысяч мегагерц и ответственна за положительный знак $\Delta\varepsilon$ всех нематических жидких кристаллов в области сантиметровых длин волн.

Таким образом, изучение частотной зависимости диэлектрических свойств нематических жидких кристаллов наглядно демонстрирует наличие двух типов молекулярного движения в мезофазе, ответственных за величину и знак диэлектрической анизотропии жидкого кристалла.

Как равновесные, так и релаксационные диэлектрические свойства нематических жидких кристаллов могут быть количественно описаны в рамках теории диэлектрической анизотропии, учитывающей анизотропию заторможенности молекулярного вращения в нематической мезофазе.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова