

ПЕРЕХОДЫ "ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ" – "ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ" МОНОПОЛЬ В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

М.В.Курик, О.Д.Лаврентович

Впервые экспериментально выяснен характер изменений монопольных структур при переходе от левозакрученного холестерика к правозакрученному. Введено понятие "–" и "+" монополей в холестериках. В области инверсии обнаружены текстуры с экваториальными дисклинациями, поверхностными и объемными точечными дефектами. Отмечены аналогии с текстурами ${}^3\text{He-A}$ в сфере.

В результате исследования сферических капель холестерических жидких кристаллов (ХЖК) в^{1,2} была установлена возможность образования сферических концентрических систем слоев ХЖК с дефектной линией, исходящей из центра каждой такой системы, – для случая $|q|R \sim 10$ ($|q| = 1/P$, P – шаг спирали ХЖК, R – радиус капли). В континуальном приближении ($|q|R \gg 1$), как было показано теоретически в³, подобные текстуры представляют собой монополи в ХЖК – аналоги монополя Дирака. При этом предсказывались как структуры с одной $\chi (+2)$, так и с двумя $\chi (+1)$ линиями. Экспериментальное исследование^{4,5}, проведенное для $|q|R \sim 100$, подтвердило выводы³.

Монополь в ХЖК характеризуется наличием точечной сингулярности поля вектора \mathbf{n} нормали к холестерическим слоям, из которой выходят χ -линии³. В зависимости от правой или левой закрученности спирали ХЖК (ХЖКП и ХЖКЛ соответственно) вектор \mathbf{n} оказы-

вается параллельным или антипараллельным радиусам-векторам сферы, иными словами, можно различать " + " и " - " монополи. В связи с этим представляет интерес исследование характера возможных превращений " - " в " + " монополь и обратно, что и изучалось в настоящей работе. Подобное превращение можно реализовать для смеси двух ХЖК с различным знаком закрученности спирали (знаком q), так как известно, что для подобных систем при определенной температуре происходит переход от отрицательных значений q к положительным⁶. В точке инверсии $q = 0$ и смесь является нематиком (НЖК).

В работе использовалась смесь холестерилхлорида и холестерилмиристеата в весовой пропорции 1,75 : 1,00 с температурой инверсии 41 °С, выше которой смесь является ХЖКЛ ($q < 0$), ниже – ХЖКП ($q > 0$). Вещество диспергировалось в виде сферических капель радиуса $R \lesssim 50$ мкм в изотропных жидкостях: чистом глицерине для создания тангенциальных граничных условий и глицерине с добавками (до 1%) раствора лецитина для создания нормальных граничных условий⁷. Образцы исследовались с помощью поляризационного микроскопа NU-2E, температура изменялась со скоростью $0,2^\circ$ С/мин.

Результаты исследования свежеприготовленных смесей для переходов изотропная жидкость (ИЖ) → ХЖКЛ → НЖК → ХЖКП представлены на рис.1 и рис.2. Отметим, что при обратном направлении переходов характер текстурных превращений не изменялся.

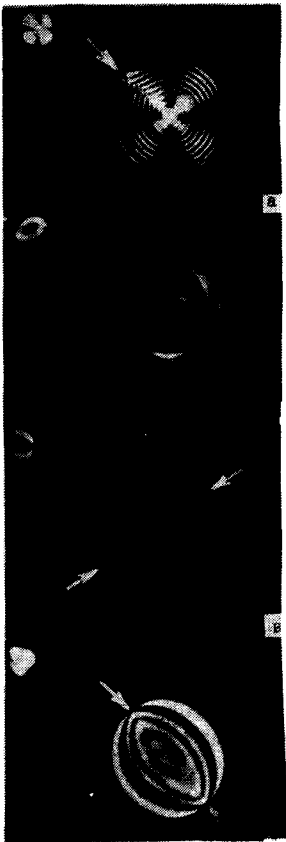


Рис.1

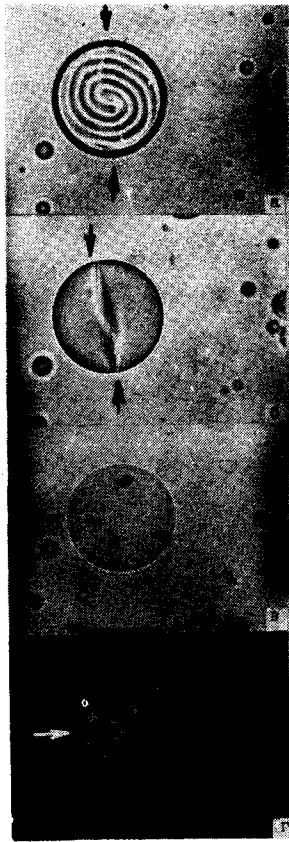


Рис.2

Рис.1. Капля ХЖК с $R = 35$ мкм в глицерине. Николи скрещены. *а* – монополярная структура с $\chi (+2)$ -линией, $P = 6,5$ мкм, *б, в, з* – процесс вырождения $\chi (+2)$ -линии в две сингулярные точки и их расхождение к полюсам капли ($P \approx 40, 60 > 100$ мкм соответственно). Дефекты указаны стрелками

Рис.2. Капля ХЖК с $R = 38$ мкм в глицерине не с добавками лецитина. Николи отсутствуют. *а* – экваториальная дисклинация, $P = 16$ мкм, *б* – экваториальная дисклинация, $P = 80$ мкм, *в* – точечная поверхностная сингулярность, $P \approx 80$ мкм, *з* – то же, в скрещенных николях. Дефекты указаны стрелками

Тангенциальные граничные условия. При переходе ИЖ – ХЖКЛ в каплях образуются системы концентрических сферических слоев ХЖК с χ -линиями. Поскольку смесь при температурах $t > 41^\circ$ С левозакручена, текстуры представляют собой " - " монополи. При этом вероятность обнаружения $\chi (+2)$ -линии в капле больше вероятности образования двух $\chi (+1)$ -линий примерно в 100 раз. С понижением температуры происходит раскручивание спирали ХЖКЛ (рис.1, *а*), характер расположения слоев при этом сохраняется вплоть до

значений $|q| R \sim 1$, причем наблюдаются лишь капли с $\chi (+2)$ -линиями. Зависимость q от t , измеренная по методике ², практически линейна, что совпадает с данными ⁶. Размер ядер $\chi (+2)$ -линий увеличивается с ростом шага спирали. При $|q| R \lesssim 1$ в месте выхода χ -линий на поверхность капли ядро вырождалось в две сингулярные точки (рис.1, б), которые расходились к полюсам капли (рис.1, в), в результате чего устанавливалась так называемая биполярная текстура ² с двумя диаметрально противоположными точечными поверхностными сингулярностями силы +1 каждая. При дальнейшем понижении t и инверсии знака q сингулярности сближаются и в месте их локализации образуется выход $\chi (+2)$ -дисклинации "++" монополя с правозакрученной спиралью.

Таким образом, для капель ХЖК с тангенциальными граничными условиями переходы "–" в "++" монополю (и обратно) обусловлены взаимными превращениями $\chi (+2)$ -дисклинаций и поверхностных точечных сингулярностей силы +1. Отметим, что процесс сближения двух точек биполярной текстуры напоминает переход к текстуре типа буджума ⁸ с одной поверхностной сингулярностью силы +2, но лишь для случая $|q| R < 1$, так как для $|q| R \gg 1$, как указывалось в ⁵, образование буджума связано со значительными энергетическими затратами из-за существования условия эквидистантности слоев ХЖК ³.

Нормальные граничные условия. При больших значениях $|q| R > 10$ текстуры в каплях представляют собой "–" монополи, т.е. в данном случае условия на поверхности не изменяют упаковки слоев. Однако они сказываются при $|q| R < 5$, – наблюдается появление дополнительного дефекта, – экваториальной дисклинации (рис.2, а, б). Подобный дефект предсказывался теоретически ⁹ и наблюдался экспериментально ² для капель нематика в сильном магнитном поле. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что наличие внешнего магнитного поля не является необходимым условием для образования поверхностной дисклинации. В области $|q| R < 1$ дисклинация может релаксировать в точечный поверхностный дефект (рис.2, в). Исследование этой текстуры в режиме скрещенных николей (рис.2, г) позволяет утверждать, что конфигурация директора \mathbf{d} для нее аналогична распределению вектора \mathbf{l} орбитального углового момента для сверхтекучего ³He-A в текстуре буджума ^{8,10,11}. Сам процесс стягивания дисклинации в точечный дефект аналогичен релаксации текстуры ³He-A в сфере с экваториальной полудисгирацией к текстуре буджума ^{10,11} и обусловлен энергетическими условиями: энергия линейных дефектов, в отличие от точечных, содержит логарифмически расходящиеся члены $\sim R \ln R$.

Текстуры с экваториальными дисклинациями и поверхностными точечными дефектами не являлись единственно возможными: наблюдались их переходы в радиальные структуры (детально исследованные в ²) и обратные переходы из радиальных текстур в текстуры с поверхностными точечными дефектами.

При дальнейшем понижении температуры образуются "++" монополи, причем в случае, если им предшествуют текстуры с точечной поверхностной сингулярностью, выход $\chi (+2)$ -линий образуется в месте локализации этой точки.

Таким образом, переход "–" в "++" монополю в ХЖК (и обратно) при нормальных граничных условиях характеризуется образованием дополнительных поверхностных дефектов, – экваториальной дисклинации и точечной сингулярности аналогичной сингулярности вектора \mathbf{l} в текстуре буджума для ³He-A, а также образованием точечной сингулярности в объеме капли.

Литература

1. Robinson C. Trans. Far. Soc., 1956, 52, 517.
2. Candau S., Le Roy P., Debeauvais F. Mol. Cr. Liq., Cr., 1973, 23, 283.
3. Воловик Г.Е., Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 357, 522.
4. Курик М.В., Лаврентович О.Д. Тезисы докл. IV Межд. конф. социалистических стран по жидким кристаллам (г.Тбилиси, 5 – 8 / X-1981), ч.1, стр.173.
5. Kurik M.V., Lavrentovich O.D. Mol. Cr. Liq. Cr.Lett., in press.
6. Sackmann E., Meiboom S., Snyder L.C., Meixner A.E., Dietz R.E. Journ. Am. Chem. Soc., 1968, 90, 3567.

7. *Derzhanski A.J., Naidenova S.B., Taneva B.* Compt. Rend. Acad. Bulg. Sc., 1978, 31, 517.
8. *Stein D.L., Pisarski R.D., Anderson P.W.* Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 1269.
9. *Dubois-Violette E., Parodi O.* Journ. de Phys., 1969, 30, Suppl., 57.
10. *Mermin N.D., Quantum Fluids and Solids*, eds. S.B. Trickey, E.D. Adams, J.F. Dufty, Plenum Press, New-York — London, 1977, p. 3. Перевод в сб. "Квантовые жидкости и кристаллы" под ред. А.С.Боровика—Романова, М.: Мир, 1979, стр.9).
11. *Anderson P.W., Palmer R.G.* Ibid., p. 23, перевод там же, стр.31)

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
6 марта 1982 г.
