УДК 548.0.532.783

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЛИОТРОПНОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

Г.Г. БАДАЛЯН^{*}, С.О. ФАЛТАДЖАНЯН

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

*e-mail: hbadal@ysu.am

(Поступила в редакцию 24 декабря 2018 г.)

При помощи одновременной дифракции рентгеновских лучей под большим и малым углами и оптического поляризационного микроскопа было изучено влияние гамма-лучей на структуру лиотропных ламелярных жидких кристаллов. Показано, что вследствие воздействия этих лучей в ламеле нарушается баланс электростатических отталкивающих и Ван-дер-Ваальсовых сил, в результате чего изменяются структурные параметры ламелы – толщина ламеля, парциальная площадь, приходящаяся на одну головку фосфолипидной молекулы, а также степень кристаллизации. В результате слой фосфолипиды набухает и возникают микронапряжения.

1. Введение

Лиотропные жидкие кристаллы были обнаружены более сотни лет назад, однако интерес исследователей к ним не угас в основном по двум причинам: 1. они считаются конденсированной средой;

2. в них ламели являются простыми физическими моделями биологических мембран.

Структурные изменения ламелей можно считать подобными структурным изменениям биологических мембран, поскольку их основной каркас составляют фосфолипиды – в частности, в мембране эритроцита преобладает фосфодитилхолин (лецитин), а в оболочке бактерий – фосфодитиэтаноламин. Как показывают научные эксперименты, данные, полученные из опытов и компьютерного моделирования ламелей, можно успешно использовать для реальной биологической мембраны, так как результаты, полученные из физических и компьютерных моделей, в основном, совпадают качественно, а в некоторых случаях точно [1–3]. При использовании подобных моделей, были получены данные как о структурных и функциональных изменений биологической мембраны, так и о фазовых переходах и биологической функции в мембранах. Вследствие этого, в последние годы непосредственной мишенью ионизирующих и не ионизирующих радиаций считается не ДНК, а биологическая мембрана [4–5]. С другой стороны, применение лиотропных жидких кристаллов получило новый размах в технике: в качестве дисплеев, устройств памяти и т.д., для которых крайне очень актуально сохранение защиты от ионизирующих и не ионизирующих радиаций, особенно, для современной военной техники. Поэтому изучение влияния ионизирующих радиаций на лиотропные жидкие кристаллы является актуальной задачей.

2. Экспериментальная часть

Для получения экспериментальных данных был использован метод дифракции рентгеновских лучей одновременно под малыми и большими углами, а также были проведены исследования при помощи оптического поляризационного микроскопа. Схема реализации дифракции рентгеновских лучей одновременно под малыми и большими углами приведена на рис.1.



Рис.1. Использованная рентгеновская дифракционная схема.1 – Источник рентгеновских лучей, 2 – Ni-ый фильтр, 3 – вход коллиматора, 4 – коллиматор, 5 – образец, 6 – камера, 7 – пленка для регистрации рентгеновских лучей под большими углами, 8 – пленка регистрирования рентгеновских лучей под малыми углами.

Для анализа рентгеновского дифракционной картины использована двухпараметровая формула Лузати [6]

$$d = l_0 + \left(k + \frac{2\mu}{\rho_0 S_0}\right) \frac{C_w}{C_a} \tag{1}$$

где d период идентичности, l_0 длина фосфолипидной молекулы, k коэффициент набухания, μ молекулярная масса фосфолипида, ρ_0 плотность воды, S_0 парциальная площадь одной головки фосфолипида, C_w концентрация воды, C_a концентрация анфифила в жидком кристалле. Формула (1) дает возможность найти степень набухания ламеля, парциальную площадь одной головки составляющей ламель фосфолипидной молекулы. Получив график зависимости d от C_w/C_a описываемой формулой (1) в виде линейной функции, для угла наклона прямой находим

$$\tan \alpha = k + \frac{2\mu}{\rho_0 S_0} \quad \text{или} \quad k = \tan \alpha - \frac{2\mu}{\rho_0 S_0}.$$
(2)

Во втором члене правой части формулы (2) величины µ и р₀ являются табличными данными, а S₀ представляется из дифракционной картины, полученной под большими углами. Имея эти данные, из формулы (2) получаем коэффициент набухания биологической мембраны, являющийся очень важным параметром для обеспечения естественной жизнедеятельности биологической мембраны. Кроме того, пользуясь результатами, полученными из микрофотометрии интенсивности рентгено-дифракционной картины, можно определить степень кристаллизации ламеля [7] в виде

$$\delta = I_k \left(I_k + 0.65 I_A \right), \tag{3}$$

из формулы (3). Здесь I_k интенсивность дифракции на кристаллической части, I_A полученной от аморфной части, 0.65 – коэффициент, зависящий от температуры и разности плотностей в аморфной и кристаллической фазах.



Рис.2. (а) Рентгенограмма и (b) гистограмма, полученная от фосфолипидного бислоя до облучения γ-излучением.

Доза поглощенной радиации определена согласно формуле [8-9]

$$D = \frac{(I_0 - I)S\Delta t}{m},\tag{4}$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения, I – интенсивность после прохождения через образец, S – облучаемая площадь образца, Δt – время облучения, m – масса облученного образца.



Рис.3. (а) Рентгенограмма и (b) гистограмма, полученная из фосфолипидного бислоя после облучения *у*-излучением.

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

Пользуясь методом дифракции рентгеновских лучей одновременно под большими и малыми углами, для системы лецитин-вода получены зависимость периода идентичности ламеряльного жидкого кристалла от соотношения концен-



Рис.4. Зависимость толщины бислоя (1), межмолекулярного расстояния (2,3,4), среднего расстояния между молекулами воды (5) от концентраций отношения воды и фосфолипида (а) до и (b) после облучения γ -излучением

траций воды и фосфолипида, а также график зависимости от соотношения концентраций, согласно формуле (1) до и после облучения (см. рис.4a,b).

Как видно из сравнения этих зависимостей графиков, толщина ламелы возросла от 52Å до 65 Å. С другой стороны, заметно, что после облучения график зависимости $d(C_w/C_a)$ является прямой и в некоторых местах имеет переломы. Это объясняется тем, что после облучения отдельные части ламелей приобретают различную степень гидрации и, следовательно, беспорядочные изменения толщины.

На рис.5 изображена зависимость парциальной площади, приходящейся на головку фосфолипиды, от концентрации фосфолипиды до и после облучения. Получается, что до облучения максимальная парциальная площадь равна 64 Å², а после облучения – 82 Å². Соответственно, вследствие набухания ламели парциальная площадь одной головки возросла приблизительно на 18 Å².



Рис.5. Зависимость парциальной поверхности одной головки от соотношения концентраций воды и амфифильного вещества: (1) до облучения, (2) после облучения.

Подобное явление наблюдается и в случае изменения толщины ламели. На рис.5 изображена зависимость соотношения толщины ламеля L и длины одной молекулы l_0 от соотношения концентраций вода – амфифила до и после облучения.

Как видно из рис. 6 соотношение толщины ламеля L к длине молекулы l_0 случае 50% концентрации возросло приблизительно в полтора раза, т.е. облучение вызвало 25%-й рост толщины ламела.

Исходя из микрофотометрических данных дифракции рентгеновских лучей и формулы (3), определена также степень кристаллизации ламели, поскольку



Рис.6. Зависимость парциальной поверхности одной головки от соотношения концентраций воды и амфифильного вещества: (1) до облучения, (2) после облучения.

работа поляризационного оптического микроскопа основана на повороте плоскости поляризации кристаллом. При перекрещенных призмах николя, если изучаемый образец является кристаллом, мы получим светлые области, а в случае аморфного – темные. Пользуясь этим, нами определена степень кристаллизации образца оптическим способом с соотношением зон светлого и темного поля. Таким образом, степень кристаллизации образца определяется оптическим поляризационным микроскопом с погрешностью $\approx 1\%$, (рис.2 и 3) чем в случае определения методом дифракции рентгеновских лучей. В первом случае это делается простым и быстрым способом [10].

Исходя из дифракционной картины рентгеновских лучей определены также микронапряжения, возникшие вследствие структурных изменений после облучения (напряжения второго рода). Под понятием микронапряжений имеется в виду напряжение, возникшее вследствие изменения расстояния между фосфолипидными хвостами в ламеле. Поэтому около одной поверхности среднее расстояние хвостов становится равным $d + \Delta d$ а на другой площади – $d - \Delta d$ где d – расстояние между хвостами.

Такую деформацию на практике можно описать с помощью относительной деформации $\Delta d/d$ откуда для напряжения имеем:

$$\sigma = \frac{\Delta d}{d} E \,, \tag{5}$$

где E – модуль Юнга. В случае регулярного расположения $\Delta d/d = \Delta a/a$ где a – постоянная решетки, $d \pm \Delta d$ соответствует изменению расстояния хвостов. $\theta \pm \Delta \theta$ – угловое изменение дифракции, где $\Delta \theta$ определяется из ширины линии в дифракционной картине. В случае регистрации дифракционной картины на плоской пленке имеем

$$\Delta \theta = \frac{\Delta b}{D} (\cos 2\theta)^2, \qquad (6)$$

где D расстояние от образца до пленки, Δb ширина линии, если единственной причиной расширения линии является микронапряжение, то для 2-й линии имеем

$$\frac{\Delta \theta_2}{\Delta \theta_1} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1} \,. \tag{7}$$

Наконец получаем, что

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta b}{D\tan\theta} (\cos 2\theta)^2, \qquad (8)$$

откуда

$$\sigma = \frac{\Delta b}{D\tan\theta} E\left(\cos 2\theta\right)^2,\tag{9}$$

то есть, измерив Δb а дифракционной картине и отмерив расстояние образец – пленка D угол дифракции θ можем определить возникшие микронапряжения после воздействия ионизирующей радиации. Исходя из этого, можем также определить микронапряжения в лиотропных жидких кристаллах при наличии различных дисинклинаций.

4. Заключение

Исходя из дифракции рентгеновских лучей одновременно под большими и малыми углами, а также из данных, полученных при помощи оптического поляризационного микроскопа, определена степень набухания ламелей в лиотропных жидких кристаллах, парциальная площадь, приходящаяся на одну головку, степень кристаллизации ламел и механические напряжения в ламеле как результат воздействия ионизирующей радиации. Эти данные могут быть использованы для описания воздействия ионизирующей радиации на биологические системы, что очень важно для ранней диагностики степени поражения персонала после аварии на атомных станциях и других источниках атомной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. S.A. Reshetnyak, V.A. Shcheglov, V.I. Blagodatskikh, P.P. Gariaev, M.Yu. Maslov. Laser Physics, 6, 621 (1996).
- R.J. Mashl, H.L. Scott, S. Subramaniam, E. Jakobsson. Biophysical Journal, 81, 3005 (2001).
- 3. A.A. Gurtovenko, I. Vattulainen. J Chem. Phys., 130, 215107 (2009).

- 4. L. Saiza, M.L. Klein. J. Chem. Phys., 116, 3052 (2002).
- 5. H.G. Badalyan, S.M. Yayloyan, Molecular Crystals and Liquid Crystals, 623, 208 (2015).
- 6. H.G.Badalyan, P.A.Grigoryan, M.Kh.Mnasyanc, M.Kh.Sedrakyan. Coll. scientific. Works "Physics", 2007, pp. 36-39.
- 7. H.G. Badalyan, Sh.I. Astanyan. Armenian Journal of Physics, 9, 80 (2016).
- 8. D. Soghomonyan, A. Margaryan, K. Trchounian, K. Ohanyan, H. Badalyan, A. Trchounia. Cell Biochem. Biophys., 76, 209 (2018).
- 9. A. Margaryan, H. Badalyan, A. Trchounian. Cell Biochem. Biophys., 74, 381 (2016).
- Г.Г. Бадалян, Х.М. Казарян, С.М. Яйлоян. Изв. НАН Армении, Физика, 50, 111 (2015).

ԻՈՆԱՑՆՈՂ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼԻՈՏՐՈՊ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՎՐԱ

Հ.Գ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Ս.Հ. ՖԱԼԹԱՋԱՆՅԱՆ

Ռենտգենյան ձառագայթների միաժամանակյա մեծ և փոքր անկյունների տակ դիֆրակցիայի և օպտիկական բնեռային մանրադիտակի օգնությամբ ուսումնասիրվել է գամմա ձառագայթների ազդեցությունը լիոտրոպ լամելյար հեղուկ բյուրեղների կառուցվածքի վրա։ Ցույց է տրվել, որ այդ ձառագայթների ազդեցության հետևանքով լամելում խախտվում է էլեկտրաստատիկ վանողական և Վան-դեր-Վալսյան ուժերի բալանսը, որի արդյունքում փոխվում է լամելի կառուցվածքային պարամետրերը՝ լամելի հաստությունը, ֆոսֆոլիպիդայի մոլեկուլի մեկ գլխիկին բաժին ընկնող մակերեսը, ինչպես նաև բյուրեղացման աստիձանը։ Արդյունքում ֆոսֆոլիպիդայի շերտը փքվում է և առաջանում են միկրոլարումներ։

INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON THE STRUCTURE OF A LYOTROPIC LIQUID CRYSTAL

H.G. BADALYAN, S.H. FALTAJANYAN

The influence of the gamma rays on the structure of lyotropic lamellar liquid crystals via the simultaneously diffraction of X-rays at large and small angles and the optical polarizing microscope has been studied. It has been shown that the interaction of these rays in the lamella changes the balance between of the electrostatic repulsive and Van der Waals' attractive forces, which changes such structure parameters of the lamella, as its width, partial area for one head of phospholipid molecule, as well as the extent of its crystallization. As a result, the phospholipid bilayer is swollen and microstresses are created.