

2-26-2020

## OPTICAL SYSTEMS FOR REMOVING POLARIZATION SPECTRA OF SELF-ASSEMBLED MOLECULES

Guzal Karimovna Kasimova  
*basic doctoral student, BETI*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu>



Part of the [Life Sciences Commons](#)

---

### Recommended Citation

Kasimova, Guzal Karimovna (2020) "OPTICAL SYSTEMS FOR REMOVING POLARIZATION SPECTRA OF SELF-ASSEMBLED MOLECULES," *Scientific reports of Bukhara State University*. Vol. 4 : Iss. 1 , Article 30.  
DOI: 10.52297/2181-1466/2020/4/1/4  
Available at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu/vol4/iss1/30>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific reports of Bukhara State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

параметрларни фотоВАХни ноидеаллик коэффициентиға боғланиши назарий тадқиқ қилинди. Бу параметрларни фотоВАХнинг қисқа туташув тоқи зичлигини аниқланувчи нуқтасидағи фотоВАХсини ноидеаллик коэффициентиға боғланиши жуда кучли бўлиши аниқланди. Фотогальваник характеристикаларнинг эффектив қийматлари аниқланувчи нуқтадағи фотоВАХни ноидеаллик коэффициентиға боғланиши эса чизиқли бўлиши кўрсатилди. Эффектив кучланишни қисқа туташув тоқи зичлиги аниқланувчи нуқтадағи фотоВАХни ноидеаллик коэффициентиға боғланиши жуда кучсиз бўлиши кўрсатилди.

### АДАБИЁТЛАР

1. Aliev R., Alinazarova M.A., Ikramov R.G., Ismanova O.T. Vliyaniya temperaturi na effektivnie znacheniya fotogalvanicheskix xarakteristik solnechnix elementov. International Scientific Journal for Alternativ Energy and Ekologi, Scientific Technical Center. TATA, - № 15, (137) 2013. - S. 36-40.
2. Aliev R., Ikramov R.G., Alinazarova M.A., Ismanova O.T. Influence of temperature on photocurrent of amorphous semiconductor-based solar element. Applied Solar Energy, 2009, Vol.45, No.3. - P. 148-150.
3. Aliev R., Ikramov R.G., Ismanova O.T., Alinazarova M.A. Poluempiricheskoe uravnenie dlya temperaturnix zavisimostey fotoelektricheskix parametrov a-Si:H solnechnix elementov. Geliotexnika, 2011. - №1. - S. 61-64.
4. Amorfnie poluprovodniki: Per. s angl./Pod red. M. Brodski. - M.: Mir, 1982. - 418 s.
5. Zaynobiddinov S., Ikramov R.G., Aliev R., Ismanova O.T., Niyazova O., Nuritdinova M.A. «Vliyaniye temperaturi na fotoelektricheskie xarakteristiki solnechnix elementov iz amorfnoyo kremniya». Geliotexnika, 2003. - № 3. - S.19-22.
6. Farenbrux A., Byub R. Solnechnie elementi (teoriya i eksperiment). - M.: Energoatomizdat, 1987. - 278 s.

УДК: 539.194; 541.18

## ЎЗ-ЎЗИДАН ЙИГИЛУВЧИ МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ ҚУТБЛАНИШ СПЕКТРЛАРИНИ ОЛИШДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ОПТИК ТИЗИМЛАР

### ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СНЯТИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СПЕКТРОВ САМОСОБРАННЫХ МОЛЕКУЛ

### OPTICAL SYSTEMS FOR REMOVING POLARIZATION SPECTRA OF SELF-ASSEMBLED MOLECULES

*Касимова Гузал Каримовна*  
базовый докторант БухИТИ  
*Kasimova Guzal Karimovna*  
basic doctoral student, BETI

**Аннотация.** Мақолада муаллифлар томонидан ишлаб чиқилган ва қатор йиллар давомида анизотроп молекулаларнинг қутбланиш хоссаларини аниқлаш учун қўлланилган оптик тизимлар келтирилган. Иккала тизим ҳам кўринувчи ва ультрабинафша спектрал соҳаларга мўлжалланган. Бунда иккаланган Френел параллелопипеди чорак тўлқин узунликли қатлам вазифасини бажаради. Улар Jasco-20 дихрографидағи Покельса ячейкасидан кейин қўлланилади. Бунинг натижасида қурилманинг сезгирлиги  $\theta \cong 10^{-3}$  град·см<sup>-1</sup> дан  $3 \cdot 10^{-5}$  оптик зичликлар фарқиғача ошади.

**Таянч сўзлар:** оптик тизимлар, анизотроп молекулалар, қутбланиш хоссалари, ультрабинафшавий спектрал соҳа, чорак тўлқин узунликли қатлам, сезгирлик, оптик зичлик.

**Аннотация.** Приведены оптические системы, которые разработаны авторами и в течение многих лет применялись для снятия поляризационных свойств анизотропных молекул. Обе системы рассчитаны на видимую и близкую к ультрафиолетовой спектральные области. При этом двойной параллелепипед Френеля играет роль ахроматической четверть волновой пластинки. Они используются в дихрогрофе Jasco-20 после ячейки Покельса. В результате чего чувствительность прибора возрастает от  $\theta \cong 10^{-3}$  град·см<sup>-1</sup> до  $3 \cdot 10^{-5}$  величины разностей оптической плотности.

**Ключевые слова:** оптические системы, анизотропные молекулы, поляризационные свойства, ультрафиолетовая спектральная область, четверть волновая пластинка, чувствительность, оптическая плотность.

**Annotation.** Optical systems developed by the authors and used for many years to study the polarization properties of anisotropic molecules are presented. Both systems are designed for visible and close to ultraviolet spectral regions. In this case, the double Fresnel parallelepiped plays the role of the achromatic quarter wave plate. They are used in the Jasco-20 dichrograph after the Pokels cell. Causing the sensitivity of the device increases from  $\theta \cong 10^{-3} \text{ deg}\cdot\text{sm}^{-1}$  to  $3 \cdot 10^{-5}$  the magnitude of differences of the optical density.

**Key words:** optical systems, anisotropic molecules, polarization properties, ultraviolet spectral region, quarter wave plate, sensitivity, optical density.

**Введение.** Поляризационные спектры дают информацию об ориентации молекул растворённых веществ, а также эти спектры являются более информативными по отношению к электронным спектрам[15].

Фотофизические и фотохимические свойства и процессы, происходящие в растворах витаминных препаратов, изучены в работах[3,4,5,6,9]. Молекулы растительного происхождения обладают такими характеристиками, которые определяют их фотостойкость и термостабильность, эти характеристики являются гарантией применения их в фармацевтике и медицине. В работах[1,2,22] обобщены результаты исследования по изучению фотохимических процессов, происходящих в растворах.

Некоторые медпрепараты являются водорастворимыми, что позволяет готовить на их основе различные лекарственные препараты, используемые в фармацевтике[8,20] в виде их концентрированных водных растворов[18,19].

Создание новых лекарственных препаратов на основе растительных пигментов требует проведения дальнейших исследований их самосборки. Выявление условий образования самосборки молекул является одной из актуальных проблем фармацевтики, в результате решения которой возникает возможность произвести тестирование лекарственных препаратов[16,24]. Определение структуры само- собранных молекул позволяет целенаправленно использовать их в медицине[11, 17].

Проведение этих исследований позволяет выявить связь анизотропно - оптических спектров со структурой самоагрегатов. Эти методы исследования обладают высокой чувствительностью по обнаружению тонких деталей оптических переходов.

К первой оптической системе отнесена зеркальная система. Схема зеркальной системы приведена на рис.1, который содержит бизеркало 1 с углом  $270^{\circ}$  между его рабочими гранями а и b, бизеркала 2 и 3 с углом  $90^{\circ}$  между их собственными рабочими гранями с,d,e, и g-d. Рассмотрим преобразование поляризации при последовательных отражениях в системе. Пусть на входную грань системы падает световой пучок в общем случае произвольной эллиптичности поляризации.

Обозначим через  $E_p$  и  $E_s$  компоненты электрического поля падающего света, лежащие в плоскости падения и перпендикулярно к ней соответственно. После отражения от грани а эллиптичность света изменяется - компоненты электрического поля становятся равными

$$E_p^I \text{ и } E_s^I.$$

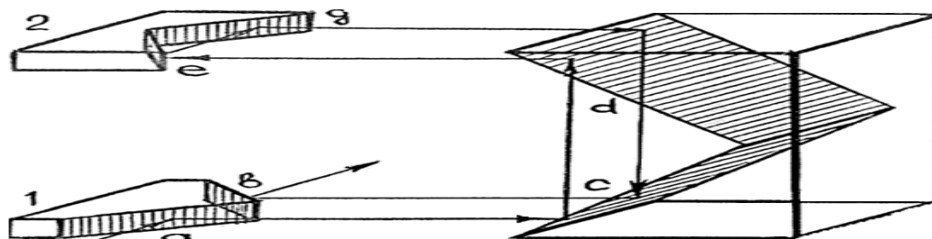


Рис.1. Зеркальная система для спектрально-оптических поляризационных измерений

Плоскости падения для граней,  $a$  и  $c$  взаимно перпендикулярны, поэтому  $S$  – компонент на грани  $a$  является  $P$  – компонентом на грани  $c$ . Аналогично,  $P$  – компонент на грани  $a$  является  $P$  – компонентом на грани  $c$ . Такое преобразование компонентов электрического вектора описывается матрицей  $y=(G-b)$ . После последовательного отражения от граней  $a$  и  $c$ ,

результующий вектор электрического поля  $\vec{E}'$  равен

$$\vec{E}' = \vec{A}\vec{E}, \quad (1)$$

где,  $\vec{E}$  – электрический вектор падающей на систему световой волны,  $A$  – матрица преобразования.

В матрице  $A$  учтено, что изменения фаз  $\delta_p$  и  $\delta_s$ ,  $\delta_s$  и  $\delta_p$  колебаний  $p$  и  $s$  – компонентов электрического поля световой волны при отражении от граней  $a$  и  $c$  попарно одинаковы в силу равенства углов падения света на грани. Из вида матрицы  $A$  следует, что последовательное отражение от граней  $a$  и  $c$  системы бизеркал вносит одинаковые сдвиги фаз ( $\delta_p+\delta_s$ ) в оба компонента  $E_p$  и  $E_s$ . Эллиптичность света при этом не меняется, а оси эллипса поляризации разворачиваются на  $90^0$ . Последовательные отражения светового пучка от граней  $d$  и  $l$  восстанавливают первоначальное его состояние поляризации, так как это отражение идентично отражению от граней  $a$  и  $c$ . Дальнейшее отражение света от граней  $d$ ,  $g$ ,  $c$  и  $b$  не изменяет состояния поляризации световой волны в силу симметрии зеркальной системы относительно бисекторной плоскости бизеркал 1 и 2. Эллиптичности световых пучков входящего и между гранями  $c-d$  и  $d-c$  равны. Данное устройство используется: как универсальная приставка к разнообразным оптическим и спектральным приборам для измерения оптической активности, кругового и линейного дихроизма. При этом необходимо избавиться от рассеянного света, так как можно увеличить длину оптического пути без существенных изменений габаритов приборов и без нарушения исходной поляризации измерительного светового луча, как отражающая система, аналогичная многоходовым кюветам для увеличения оптической плотности разряженных газовых смесей, паров и растворов. Кроме этого, данное оптическое устройство позволяет проводить измерения оптической анизотропии у веществ, анизотропия которых наведена гравитационным и магнитным полем Земли, позволяет выделить и идентифицировать эти эффекты, что достигается размещением исследуемых образцов в различных оптических каналах зеркальной системы, так как можно обеспечить взаимнообратное прохождение световых пучков с одинаковой поляризацией.

**Двойной параллелепипед Френеля.** Спектр поляриметр *Spektropol-1*, в котором применен компенсационный метод измерения оптического вращения плоскости поляризации света, имеет чувствительность  $2 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-2}$  угловых градусов [21].

Другой метод измерения линейного дихроизма слабо ориентированных систем реализован нами в серийных круговых дихрографах. Принципиальная возможность измерения линейного дихроизма с помощью серийных дихрографов, в которых применен электрооптический метод измерения кругового дихроизма, была предсказана в ряде работ [12,14]. Одну из этих возможностей можно реализовать на *Jasko-20*, применяя оптическую приставку - двойной параллелепипед Френеля, рассчитанную на видимую и близкую ультрафиолетовую спектральную область [23].

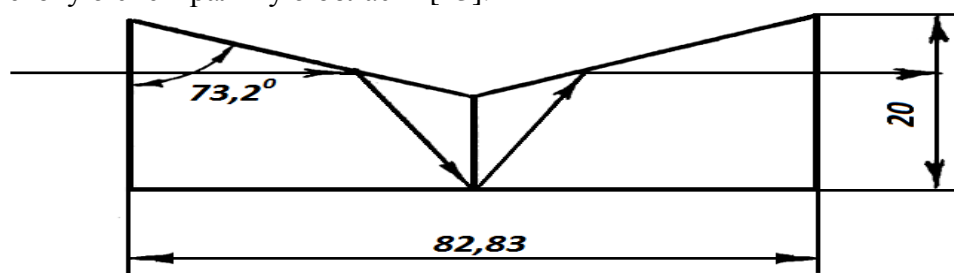
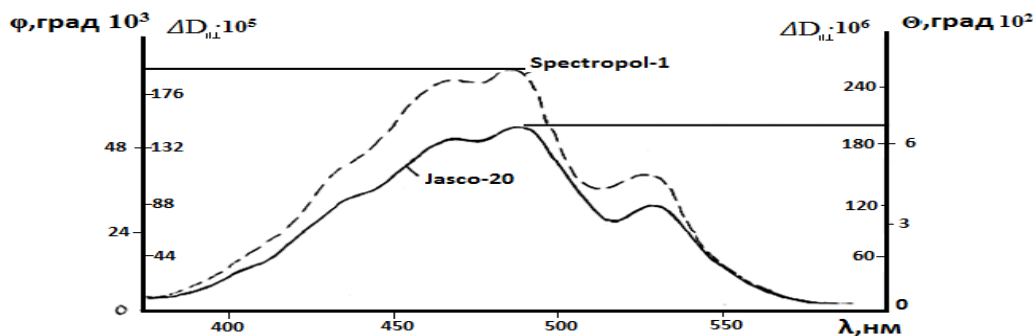


Рис. 2. Двойной параллелепипед Френеля

На рис. 2 представлена оптическая схема двойного параллелепипеда Френеля - устройства, играющего в наших измерениях роль ахроматической четвертьволновой пластинки и нулевые линии дихрографов, используемых нами для измерения линейного дихроизма слабо ориентированных анизотропных и giro анизотропных систем.

На рис.3 приведены данные по измерению линейного дихроизма одного и того же линейно-дихроичного образца с использованием спектрополяриметров *Spektropol-1* и кругового дихрографа *Jasco-20* по описанным выше методикам. В качестве анизотропного линейно-дихроичного объекта была выбрана полимерная пленка из полиметилметакрилата, содержащая родамин 6Ж и его основание, растянутая одноосно в 4 раза. Оба красителя в полимерной пленке находятся в агрегированном состоянии и легко ориентируются при ее растяжении. Кривые 1 и 2 зарегистрированы на спектро поляриметрах *Spektropol-1* и *Jasco-20*, соответственно, в масштабах шкалы этих приборов:  $\varphi$  и  $\theta$ . Рядом на вертикальных осях отмечены, масштаб по линейному дихроизму, пересчитанный по приведенным выше формулам.

Измерение спектров линейного дихроизма на спектрополяриметре проводили при ориентации пленки с осью ее растяжения под углом  $45^0$  к вектору поляризации падающего на нее света. Измерение спектров линейного дихроизма на круговом дихрографе вели при ориентации пленки осью ее растяжения под углом  $0^0$  к вектору линейной поляризации, преобразованной двойным параллелепипедом Френеля из круговой.



**Рис. 3 Спектры линейного дихроизма пленки полиметилметакрилата, содержащей родамин 6Ж и его основание, растянутой 4 раза. Толщина пленки 0,3 мм**

Положения пленок в обоих случаях соответствовали максимальным амплитудам полос регистрируемых кривых. При этом наблюдается хорошее соответствие друг другу обоих спектров линейного дихроизма. Так, в максимуме обеих кривых с  $\lambda_{\max}^{\varphi} = 490\text{nm}$  амплитуды, регистрируемые на *Spektropol - 1* и *Jasco-20*, соответственно равны  $2,03 \cdot 10^{-3}$  и  $2,04 \cdot 10^{-3}$  единиц разностной оптической плотности.

В качестве электрооптического элемента в серийном дихрографе *Jasco-20* используется ячейка Поккельса с кристаллом КДП ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) [13].

На практике, мерой кругового дихроизма служит величина эллиптичности, определяемая отношением малой и большой осей эллипса и равная для малых  $\theta$ ;

$$tq\theta \approx \theta = tq \frac{\pi}{\lambda} (X_L - X_R) \cdot l \approx 33C \cdot l(\varepsilon_l - \varepsilon_R), \quad (2)$$

где  $x_L, x_R, \varepsilon_L, \varepsilon_R$  - коэффициенты поглощения и молярные коэффициенты экстинкции вещества для света с длиной волны  $\lambda$  поляризованного по кругу влево (L) и вправо (R); C-концентрация оптически активного вещества; l-толщина образца.

Известно, что

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_l - \varepsilon_R = \frac{1}{Cl} \log_{10} \frac{I_R}{I_L}, \quad (3)$$

где  $I_R, I_L$ - интенсивности прошедшего образец света, поляризованного по кругу вправо и влево.

В силу этого

$$\theta = 33 \cdot \log_{10} \frac{I_R}{I_L} = 33 \cdot \log_{10} \frac{1 + I_2 / 2I_1}{1 - I_2 / 2I_1}, \quad (4)$$

где  $I_1 = \frac{1}{2}(I_R + I_L)$ ,  $I_2 = I_R - I_L$  по определению.

Так как  $\frac{I_R - I_L}{I_R + I_L} = \frac{I_2}{2I_1} \leq 1$  (для малых величин оптической активности), то

$$\log_{10} \frac{1 + I_2 / 2I_1}{1 - I_2 / 2I_1} \approx \log_{10} \frac{e^{+I_2 / 2I_1}}{e^{-I_2 / 2I_1}} = \frac{I_2}{I_1} \cdot \log_{10} e \quad (5)$$

следовательно,

$$\theta = 33 \cdot \frac{I_2}{I_1} \cdot \log_{10} e \quad (6)$$

т.е., величина эллиптичности (в градусах) пропорциональна отношению интенсивностей  $I_2$ ,  $I_1$ , которые регистрируются [10] фотоэлектрической системой дихрографа Jasko-20.

При переходе от кругового к линейному дихроизму удобно пользоваться формулой для  $\theta$  и в другом виде:

$$\theta_{\text{КД}} = 28,6 \frac{I_R - I_L}{I_R + I_L}. \quad (7)$$

При падении на двойной параллелепипед Френеля круговой поляризации света, последний преобразуется в свет линейно поляризованный, причем, для R и L круговые поляризации ортогональны. Следовательно, дихрограф Jasko-20, измеряющий величину  $\theta_{\text{КД}}$  в градусах, снабженный оптической приставкой в виде двойного параллелепипеда Френеля, расположенной после ячейки Погкельса перед исследуемым образцом, измеряет линейный дихроизм

$$\theta_{\text{ЛД}} = 28,6 \cdot \left| \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}} \right| \quad (8)$$

где  $I_{\perp}$ ,  $I_{\parallel}$  - интенсивности линейно поляризованного света, прошедшего через образец и падающие на фотоприемник дихрографа:

$$\begin{aligned} \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}} &= \frac{10^{-D_{\perp}} - 10^{-D_{\parallel}}}{10^{-D_{\perp}} + 10^{-D_{\parallel}}} = \frac{e^{-D_{\perp} \log_e 10} - e^{-D_{\parallel} \log_e 10}}{e^{-D_{\perp} \log_e 10} + e^{-D_{\parallel} \log_e 10}} = \\ &= th \left[ (D_{\perp} - D_{\parallel}) \log_e 10 / 2 \right] \approx \frac{(D_{\perp} - D_{\parallel}) \cdot \log_e 10}{2} \quad (9) \end{aligned}$$

(для малых значений аргумента). Таким образом, измеряемый дихрографом дихроизм

$$\Delta D_{\perp, \parallel} = D_{\perp} - D_{\parallel} = \frac{\theta_{\text{ЛД}}}{32,98} \quad (10)$$

при предельной чувствительности дихрографа

$$\theta_{\text{КД}} = 10^{-3} \text{град} \cdot \text{см}^{-1} \quad (11)$$

соответствует его чувствительности по линейному дихроизму

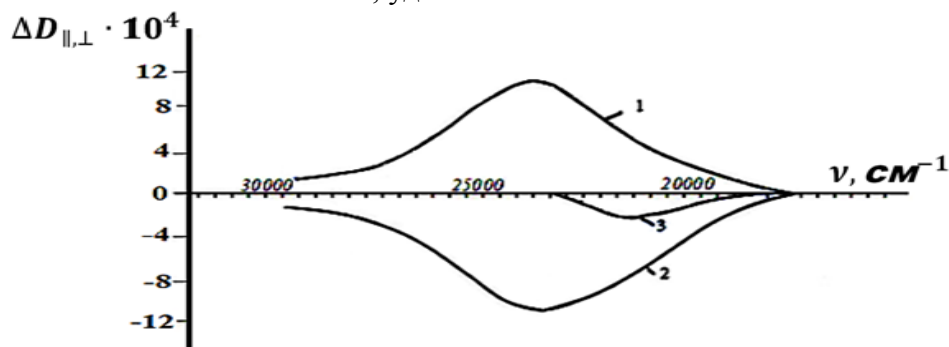
$$\Delta D_{\perp, \parallel} \cong 3 \cdot 10^{-5} \quad (12)$$

величины разностной оптической плотности.

Спектрополяриметр *Spektropol-1* позволяет проводить измерения в спектральной области 200 - 610 нм, а дихрограф *Jasko-20* - в спектральной области 200-700 нм. Нулевая линия спектр поляриметра (по воздуху) имеет идеальный прямолинейный характер, в то время как нулевая линия линейного дихрографа на базе *Jasko-20* не совсем идеальна: Отклонение этой линии от прямой в спектральных областях 200-320 и 640-700 нм, по-видимому, связан с несовершенством ячейки Погкельса дихрографа, дающей в этих спектральных областях имеют значения, как и в круговой поляризации света. В результате этого, после прохождения светом двойного параллелепипеда Френеля он приобретает



поляризацию, близкую к линейной, с очень большой эллиптичностью. Таким образом, если линейно-дихроичный образец обладает малым линейным двулучепреломлением, то измерение линейного дихроизма предпочтительнее вести на спектр поляриметре *Spektropol* – 1. Во всех других случаях, особенно когда образец гиро анизотропный и обладает значительной оптической активностью, удобно использовать *Jasko-20*.



**Рис. 4.** Спектры линейного дихроизма ассоциатов тартразина в условиях гидродинамического потока его раствора при угле между вектором скорости потока и вектором поляризации проходящего света  $+45^\circ$  (1) и  $-45^\circ$  (2). Кривая 3-является разностью спектров 1 и 2.  $C = 2 \cdot 10^{-4} \text{M}$ .  $l = 0,1 \text{ см}$ .

В качестве примера нами были исследованы растворы тартразина в условиях ламинарного гидродинамического потока. При этом установлено, что они проявляют значительный линейный дихроизм, его величина в максимуме полосы поглощения при  $\nu=23500 \text{ см}^{-1}$  составляет  $\Delta D_{||,⊥}=10^{-3}$  ед. дихроич.опт.плотн.

На рис.4 представлен спектр линейного дихроизма ассоциатов тартразина, ориентированных в гидродинамическом потоке бинарной смеси водно-диоксанового раствора, полученный из соответствующего спектра негиротропного поворота плоскости поляризации при угле между вектором скорости потока и вектором поляризации, проходящего перпендикулярно потоку линейно поляризованного света, равном  $+45^\circ \text{C}$  (крив.1), и спектр линейного дихроизма этого же раствора, зарегистрированный при значении угла -  $45^\circ \text{C}$  (истинный спектр линейного дихроизма)(крив.2). Именно при таких углах ориентации вектора скорости потока относительно вектора поляризации проходящего света наблюдаются максимальные амплитуды основных полос в соответствующих спектрах негиротропного поворота плоскости поляризации, что является необходимым условием регистрации на спектрополяриметре кривых линейного дихроизма  $\Delta D_{||,⊥} = (\lambda)[7]$ . Алгебраическая сумма спектральных кривых 1 и 2 дает кривую 3, из которой, применив разложение на лоренцевские контуры, удастся выделить две различные по амплитуде полосы линейного дихроизма, положение максимумов и полуширина которых в точности соответствуют положению максимумов и полуширинам полос поглощения, ассоциированного тартразина, что подтверждает корректность проводимых измерений и расчетов. Тот факт, что ассоциаты тартразина проявляют линейный дихроизм, легко ориентируясь в ламинарном гидродинамическом потоке, свидетельствует о сильной анизотропии микрокристаллов красителя, имеющих игольчатую (палочкообразную) форму.

Полученные результаты показывают, что как в концентрированных водных растворах, так и в бинарных смесях растворителей ассоциация пищевых красителей проявляется в результате объединения молекул исследованных соединений непосредственно между собой.

Автор выражает благодарность профессору С.Х. Астанову за представленную тему научной работы и обсуждение полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ahmad I., Fasihullah Q., Vaid F.H.M. // *J. Photochem and Photobiol. B: Biology* 2004. V. 75. – P. 13-20.
2. Ahmad I., Fasihullah Q., Vaid F.H.M. // *J. Photochem and Photobiol. B: Biology* 2005. V. 78. – P. 229-234.
3. Ahmad I., Ahmed S., Sheraz M. A., Vaid F. H. M. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 2008.V.93. – P. 82-87
4. Ahmad, M. A. Sheraz, S. Ahmed, S. H. Kazi, T. Mirza, M. Aminuddin. *Res. Pharmasci.*, 2011. V.1. – P. 11-15.

5. Astanov S., Sharipov M.Z., Fayzullaev A.R., Kurtaliev E.N., Nizomov N. *Spectroscopic study of photo and thermal destruction of riboflavin. Journal of Molecular Structure* 2014. V.1071. – P. 133-138.
6. Astanov S., Sharipov M.Z., Faizullaev A.R., Kurtaliev E.N., Nizomov N. *Thermal Destruction of Riboflavin in Different Aggregate States.* 2014. V.81(1). – P. 37-42.
7. Astanov S.X., Prishchepov A.S., Niyazxanova B.E. *Spektralno-opticheskie svoystva assotsiatov indigokarmina i tartrazina v rastvorax. // Prikl. spektr., 1990, T.53, № 5. - S. 800-806.*
8. Astanov S.X., Qosimova G.K., Turdiev M.R. *Spektroskopicheskie proyavleniya samosborki pishevogo krasitelya tartrazina. J. Razvitie nauki i texnologiy. 2017. №3. - S. 93.*
9. Astanov S.X., Shamsiev R.X., Fayzullaev A.R. *Pishevie krasiteli (sposobi polucheniya stabilizatsii). - T.: Razvitie nauki i texnologiy, 2014. - S. 60-74.*
10. Belkov M.V., Losev A.P. *Spectroscopy Letters.*1978. V. 11. – P. 653-669.
11. Brzezinska E., Mielczarek C., Pajak W. *Analysis of acid-base properties of riboflavin calculated via semi-empirical methods. Acta Poloniae Pharmaceutica.* 2008. V.65 (1). – P. 59-63.
12. Vellyuz L., Legran M., Grojan M. *Opticheskiy krugovoy dixroizm. - M.: Mir, 1967. - 318 s.*
13. Davidson A., Norden B. *Chemical. Scripta., 1975. V.7. – P. 167.*
14. *Jasko Model J-20 Recording Spectropolarimetr. - Japan Spectroscopic CO, Engeneer's manual, LTD, 1972.*
15. Kasimova G.K., Astanov S., Kurtaliev E.N., Nizomov N. *Structure of self-assembled riboflavin molecules in solutions. Journal of Molecular Structure* 2019. V.1185. – P. 107-111.
16. Keller P.J., Van Q.L., Bacher A., Floss H.G. *Biosynthesis of riboflavin: C-NMR techniques for the analysis of multiply C-labeled riboflavins. Tetrahedron.* 1983.V.39, #21. – P. 3471-3481.
17. Klauwünzer B., Kröner D., Saalfrank P. *(TD-)DFT Calculation of Vibrational and Vibronic Spectra of Riboflavin in Solution. J. Phys. Chem. B.* 2010. V.114 (33). – P. 10826-10834.
18. Kubo Y., Yahata Sh., Miki S., Akanuma Sh., Hosoya K. *Blood-to-retina transport of riboflavin via rfvts at the inner blood-retinal barrier. Drug Metabolism and Pharmacokinetics.* 2017. V.32(1). – P. 92-99.
19. Lebedev-Stepanov P.V., Kadushnikov R.M., Molchanov S.P., Ivanov A.A., Mitrokhin V.P., Vlasov K.O., Rubin N.I., Yurasik G.A., Nazarov V.G, Alfimov M.V. *Self-assembly of nanoparticles in the microvolume of colloidal solution: Physics, modeling, and experiment. Nanotechnologies in Russia.* 2013. V.8. (3–4). – P. 137-162.
20. *Monograph on Riboflavin; British Pharmacopoeia; Her Majesty's Stationary Office: London, UK, 2013; Electronic version.*
22. *Spectropolarimetr Spectropol-1. Inst. Manual. Sot. Francaise D'Instr.de Control et D'Analyses (Fika). Franse.*
23. Sheraz M.A., Kazi S.H., Ahmed S., Anwar Z., I.Ahmad. *Photo, thermal and chemical degradation of riboflavin. Beilstein Journal of organic chemistry.* 2014. V.10. – P.1999-2012.
24. Prishchepov A.S., Astanov S.X., Zaripov B.D., Pilko Ye.K., Poznyak N.I. *Polyarizatsionnie metodi issledovaniy v biologii i meditsine. - Minsk, 1988. preprint №524 In-ta fiziki AN BSSR.*
25. Williamson G., Edmondson D.E. *H NMR spectral analysis of the ribityl side chain of riboflavin and its ring-substituted analogs. Methods in Enzymology.* 1986. V.122. – P. 240-248.