

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРОМАТИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

© 2025 г. **Ш. В. Эгамов**¹, **А. М. Хидиров**¹, **Х. Б. Мирзокулов**^{1,*}, **Б. Н. Рахимов**²

¹Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий
имени Мухаммада ал-Хоразмий, Самарканд, Узбекистан

²Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкент, Узбекистан

*E-mail: liverpool_2592@mail.ru

Поступила в редакцию 15.11.2024 г.

После доработки 14.12.2024 г.

Принята к публикации 30.12.2024 г.

Получены экспериментальные результаты спектров фарадеевского вращения в диапазоне 1.8–3.65 эВ для H₂O, CCl₄, диметиланилина, бензола, нитробензола, о-толуидина, о-анизидина, м-хлоранилина и о-хлоранилина. Полуэмпирические квантово-механические расчеты самосогла-сованного поля с использованием метода MNDO/D для органических молекул были выбраны для оценки электронных спектров в видимом диапазоне для интерпретации экспериментальных ре-зультатов. Показано, что магнитооптический отклик образцов меняется не только в зависимости от геометрии, распределения пи-электронов в ароматических жидкостях, но и существенно зави-сит от их химического состава.

Ключевые слова: эффект Фарадея, жидкостные магнитооптические волноводные логические вен-тили

DOI: 10.31857/S0367676525040056, **EDN:** GSZTEX

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в прикладных целях все активнее стали применяться органические матери-алы, как в твердой, так и в жидкой фазе. С це-лью определения магнитооптических парамет-ров органических углеводородов были проведе-ны экспериментальные исследования аромати-ческих углеводородов в видимой области спек-тра. Бензол и его производные являются осно-вой многих синтезируемых полимеров, приме-няющихся в современных устройствах и весьма привлекательны для исследований.

Условием ароматичности является наличие π -связей, расположенных в кольцевой структуре молекул, причем каждый атом кольца должен обладать p -орбиталью, формирующей перекрыва-ющиеся области p_z -составляющих. Атомы ко-льца при этом чаще всего гибридизируются в состо-яние sp^2 . К примеру, в бензоле все три π -связи на-ходятся в пределах кольца из шести атомов в sp^2 , которые формируют перекрывающиеся p_z орби-тали [1–4].

Данная молекула остается плоским кольцом (с лучами атомов водорода), несмотря на деформа-ции кручения и к тому же удовлетворяет пра-вилу Хюккеля и, соответственно, является аро-

матической. Опыты с ЯМР с молекулами бен-зола показывают, что делокализованные элек-троны молекул бензола под воздействием маг-нитного создают индуцированный кольцевой ток π -электронов.

Собственно, именно такое поведение электро-нов бензольного кольца и его моно- и ди- за-мещенных производных приводит к достаточ-но большой магнитооптической добротности ор-ганических материалов, поэтому данные образцы были выбраны для более детального исследова-ния авторами работ [5, 6].

Выбранный для исследований органических жидкостей магнитооптический эффект Фара-дея происходит при взаимодействии плоско-поляризованной световой волны с веществом в присутствии магнитного поля. Свет после про-хождения образца в общем случае становится эл-липтически поляризованным с главными осями, повернутыми на некоторый угол относительно плоскости поляризации падающего пучка. При воздействии относительно слабого внешнего по-ля H фарадеевское вращение можно считать эф-фектом первого порядка по H .

Образцы ароматических жидкостей с бензоль-ными кольцами: бензол, нитробензол, орто-

толуидин, орто-анизидин, а также мета- и орто-хлоранилин были очищены путем перегонки и помещены в трубки Вуда. Спектральные магнитооптические свойства образцов были изучены с помощью монохроматора МДР12, были проведены измерения спектров магнитооптического эффекта Фарадея в диапазоне длин волн 350–600 нм. Блок-схема установки приведена на рис. 1 [7].

Исследования магнитооптических спектров проводились на специально выбранной серии образцов с целью определения влияния химического состава и геометрии молекул на величину эффекта Фарадея в видимой области. Как и следовало ожидать, состав атомов в моно- и ди-замещенных производных бензола оказывает достаточно заметное влияние как на оптические, так и на магнитооптические свойства исследованных жидкостей (рис. 2). Сравнивая экспериментальные кривые спектральных зависимостей эффекта Фарадея для бензола (C_6H_6) и нитробензола ($C_6H_5NO_2$), легко видеть, что замещение одного атома водорода группой NO_2 приводит к сильному уменьшению максимума эффекта Фарадея. Изменяется и вид дисперсионной кривой, как это видно на рис. 2а.

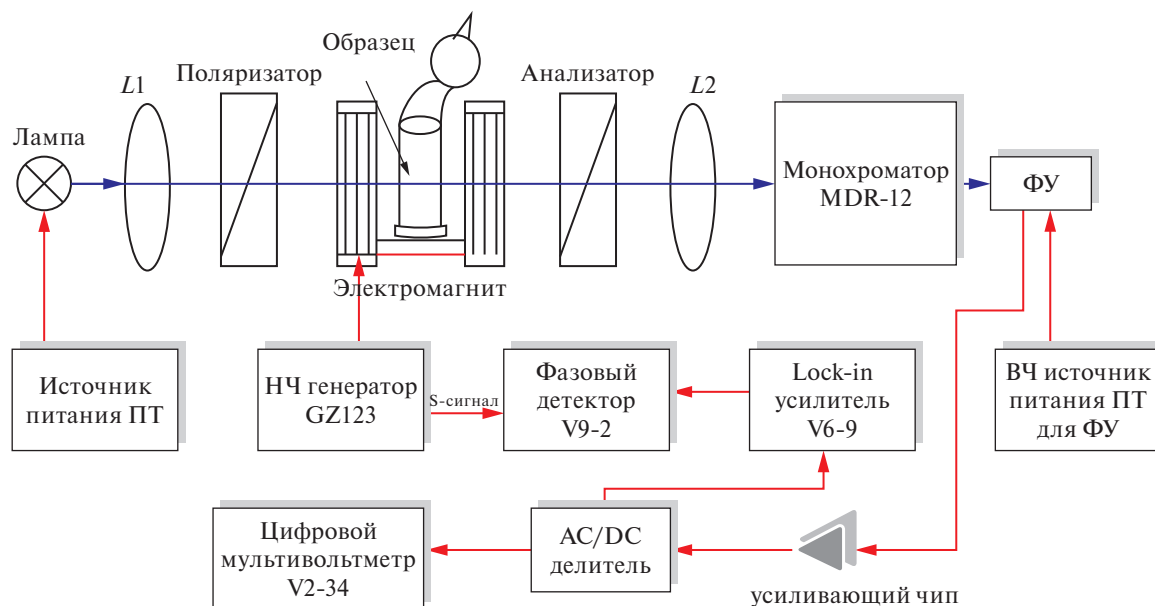
Результаты проведенных компьютерных вычислений, приведенные в табл. 1 [7,8] показали, что при переходе от C_6H_6 к $C_6H_5NO_2$, происходит сильное перераспределение электронных плотностей молекул, и одновременно меняется

их энергетический спектр, длины волн переходов в таблице даны в электрон-вольтах (эВ) (см. нижние расчетные кривые для сил осцилляторов на рис. 2а).

На рис. 2б представлены спектральные кривые эффекта Фарадея для орто-анизида и орто-толуидина, в которых один атом водорода бензольного кольца замещен группой CH_3O у молекулы о-анизида и CH_3 у о-толуидина, а вторые заместители (NH_2) – одинаковые. Наличие лишнего атома кислорода приводит к тому, что магнитооптическая добротность о-анизида оказывается существенно больше, чем у о-толуидина.

Представляло интерес выяснить, как влияет структурная изомерия, обусловленная различным положением ди- замещающих групп бензольного скелета на их магнитооптические свойства. Для этого были выбраны образцы хлоранилина в орто- и мета- состояниях. Полученные результаты для данных образцов представлены на рис. 3.

Исследования магнитооптических спектров проводились на специально выбранной серии образцов с целью определения влияния химического состава и геометрии молекул на величину эффекта Фарадея в видимой области. Как и следовало ожидать, состав атомов в моно- и ди-замещенных производных бензола оказывает достаточно заметное влияние как на оптические, так и на магнитооптические свойства исследованных жидкостей. Результаты спек-



Эксперимент проведен с модуляцией внешнего магнитного поля с частотой $f = 37$ Гц, $H(\max) = 40$ Э.

Рис. 1. Блок-схема магнитооптической установки для исследования магнитооптических спектров ароматических жидкостей. Эксперимент выполнен с модуляцией внешнего магнитного поля с частотой $f = 37$ Гц, $H(\max) = 40$ Э.

Таблица 1. Электронные спектры ароматических молекул (на основе расчетов MNDO/d).

Benzene	687.04	410.77	410.77	417.77	346.28	346.28	330.63	292.48					
Переход	1	2	3	4	5	6	7						
Вырожденность	1	2	2	2	2	1	2						
Спиновая мультиплетность	3	3	3	3	2.002	1	3						
Сила осциллятора	0	0	0	0	0	0	0						
Nitrobenzene	2270.7	1344.68	1078.19	922.14	658.77	464.54	454.08	427.43	416.62	412.32	411.83		
Переход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Вырожденность	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		
Спиновая мультиплетность	3	3	1	1	1	3	3	1	3	3	1		
Сила осциллятора	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0		
o-Toluidine	740.34	515.65	448.86	381.81	357.99	356.79	338.25	329.37					
Переход	1	2	3	4	5	6	7	8					
Вырожденность	1	1	1	1	2	2	1	1					
Спиновая мультиплетность	3	3	3	1	1	3	3	3					
Сила осциллятора	0	0	0	0.036	0.036	0	0	0					
o-Anizidine	826.81	529.61	463.15	394.1	382.97	363.53	359.02	337.44	256				
Переход	1	2	3	4	5	6	7	8	12				
Вырожденность	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Спиновая мультиплетность	3	3	3	1	1	3	3	3	1				
Сила осциллятора	0	0	0	0.027	0.031	0	0	0	0.299				
m-Chloraniline	770.64	577.72	457...35	415.29	401.34	388.63	360.3	343.76	337.08	335.35	331.81	303.57	280.1
Переход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вырожденность	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Спиновая мультиплетность	3	3	3	1	3	1	3	3	3	1	3	3	1
Сила осциллятора	0	0	0	0.027	0	0.088	0	0	0	0	0	0	0.498
o-Chloraniline	1153.7	723.24	500.98	455.06	444.09	437.58	379.92	361.87	352.53	333.63	324.96	290.72	
Переход	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	17	
Вырожденность	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	
Спиновая мультиплетность	3	3	3	1	3	1	3	3	3	1	1	1	
Сила осциллятора	0	0	0	0.086	0	0.046	0	0	0		0.015	0.272	

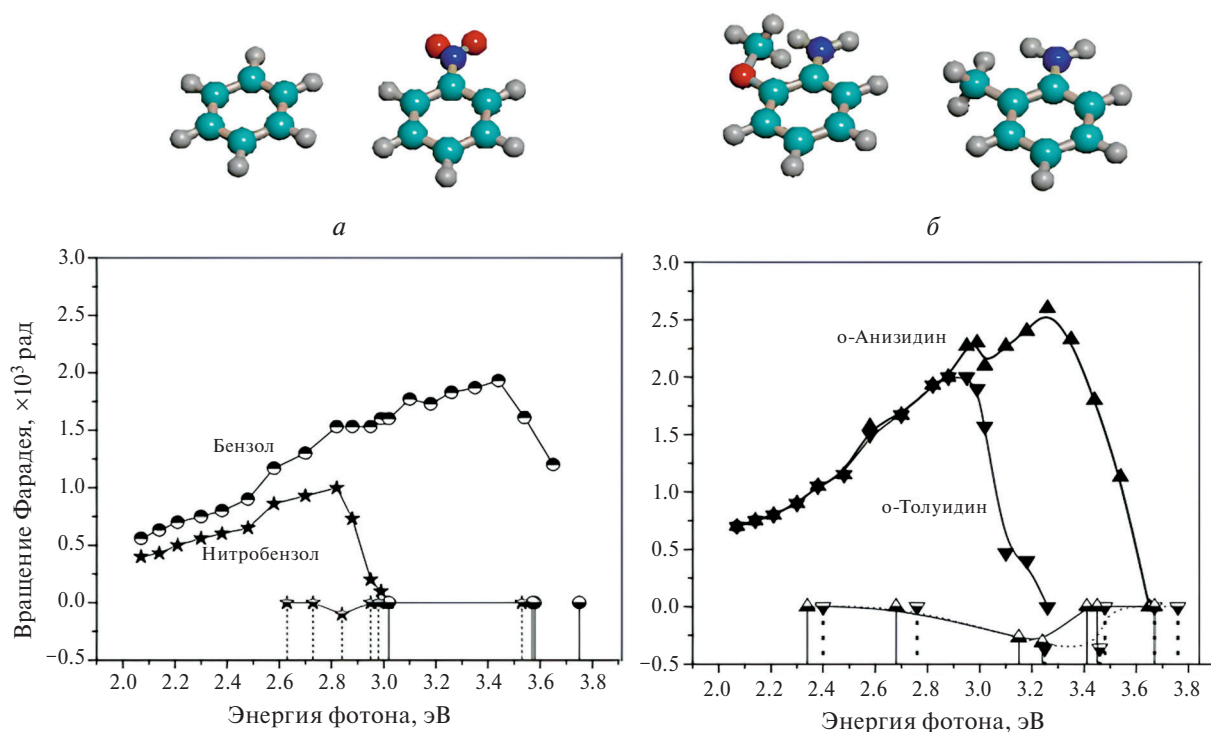


Рис. 2. Магнитооптические спектры и расчеты сил осцилляторов спектров дизамещенных бензола: бензола и нитробензола (а), о-анизидина и о-толуидина (б). Вверху – структура молекул.

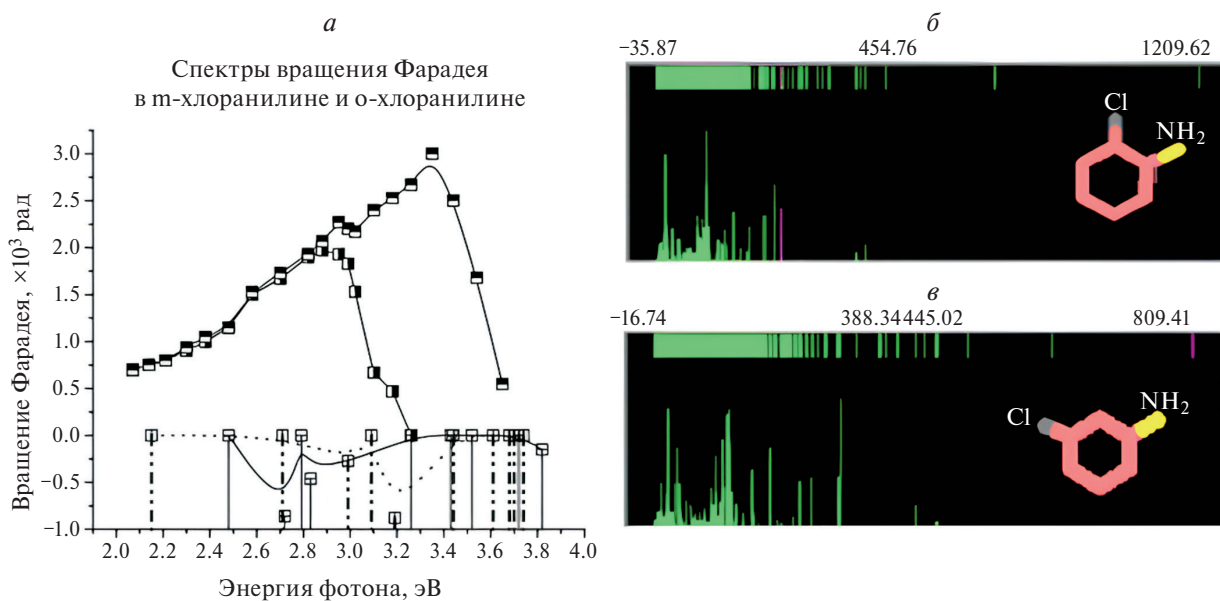


Рис. 3. Магнитооптические спектры фарадеевского вращения для о-хлоранилина (а, кривая 1) и m-хлоранилина (а, кривая 2) и их расчетные энергетические спектры (б, в) (без учета влияния магнитного поля).

тров фарадеевского вращения для выбранных образцов в диапазоне 1.8–3.65 эВ для толщины слоя образца 2.3 см и приложенного внешнего магнитного поля $H_z = 40$ Э представлены на рис. 4.

Анализ полученных данных показывает, что на энергетические спектры исследованных молекул

оказывает сильное влияние не только химический состав, но и само расположение замещающих групп относительно друг друга. Еще более заметно это влияние на магнитооптические свойства изомеров.

По результатам исследования магнитооптических спектров приведенным на рис. 3 можно

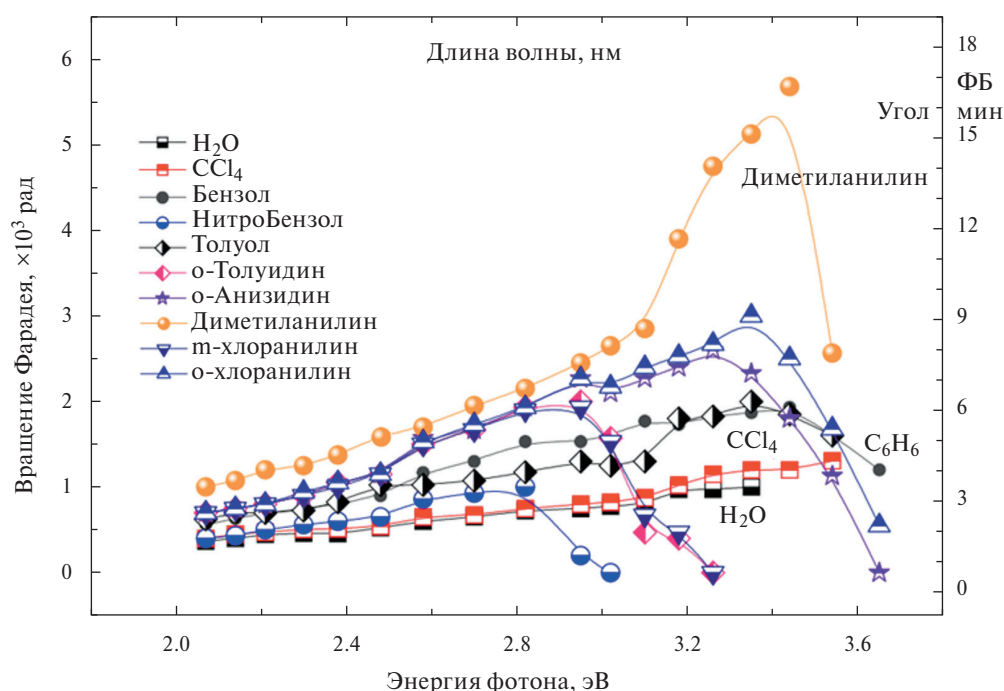


Рис. 4. Эффект Фарадея в некоторых жидкостях.

сделать вывод, что магнитооптическая добротность органических жидкостей вполне достаточна для их использования в прикладных целях что позволяет сформулировать задачу для разработки полученных экспериментальных результатов для проектирования широкого спектра устройств обработки, хранения и передачи информации [9].

Еще одним интересным приложением, безусловно, является выбор использования ароматических жидкостей для обработки данных, таких как матрица умножение на матрицу и другие. В работе [9] показано, как мы можем использовать магнитооптические преимущества для обработки сигналов. Например, мы можем использовать поляризационные свойства фотонов и их запутанность для моделирования элементарного полусумматора.

Целью данной статьи является, скорее, формулирование магнитооптических задач, связанных с применением ароматических жидкостей в современных областях связи и хранения данных, а не подробное объяснение всего их поведения. Наиболее реалистичными устройствами являются магнитооптические волокна и выбор использования магнитооптики для управляемых вентилях ИЛИ и НЕ для обработки данных [10–13]. Здесь мы лишь вкратце изложим некоторые идеи таких приложений.

Давайте проведем некоторые элементарные расчеты для соленоидного магнита, используя волокно длиной 1 см и диаметром 100 мкм с наружным диаметром и сердцевинной, заполненной подходящей ароматической жидкостью, в качестве образца для магнитооптического прибора.

Если подать ток около 0.1 А на проволочную катушку диаметром 0.2 мм (с магнитооптическим волокном, имеющим вышеуказанные параметры), то эффект Фарадея может быть отрегулирован в диапазоне 30°–45° (угловых) в зависимости от природы образца. Это означает, что мы можем без особых проблем использовать такие органические материалы в целях связи, как магнитооптические модуляторы и изоляторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fathi M.B., Baniasadi F., Panahi N. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 2006. V. 469. P. 13.
2. Gribanyov D.A., Postnova E.Y., Orlov V.N. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2024. V. 88. No. 2. P. 186.
3. Ерин К.В., Вивчарь В.И. // ЖПС. 2023. Т. 90 №. 6. С. 843; Yerin K.V., Vivchar V.I. // J Appl. Spectrosc. 2024. V. 90. No. 6. P. 1205.
4. Gracheva I.E., Olchowik G., Gareev K.G. et al. // J. Phys. Chem. Solids. 2013. V. 74. P. 656.
5. Egamov S. // Proc. of the Frontiers in Optics. OSA Technical Digest. (New York, 2006). Art. No. FWR6.
6. Egamov S. // Proc. of the Frontiers in Optics. OSA Technical Digest. (California, 2007). Art. No. JWC21.
7. Egamov S., Wang G., Zhang S. et al. // J. Appl. Phys. 1988. V. 63. No. 8. P. 3116.
8. Юрасов А.Н., Яшин М.М., Ганьшина Е.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 5. С. 716; Yurasov A.N., Yashin M.M., Ganshina E.A. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 5. P. 601.
9. Egamov S. // Proc. of the Frontiers in Optics. OSA Technical Digest (California, 2009). Art. No. FWB3.
10. Эгамов Ш.В., Хидиров А.М., Уринов Х.О. и др. // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46. №. 19. С. 7; Egamov S.V., Khidirov A.M., Urinov K.O. et al. // Tech. Phys. Lett. 2020. V. 46. No. 10. P. 947.

11. *Egamov S., Siddikov I., Khidirov A.* // Proc. of the ICISCT (Tashkent, 2020). P. 1.
12. *Egamov Sh., Khidirov A., Mirzokulov Kh.* // J. Eng. Res. Sci. 2022. V. 1. No. 8. P. 19.
13. *Мирзокулов Х.Б., Салахитдинов А.Н., Юрасов А.Н.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 5. С. 692; *Mirzokulov K.B., Salakhitdinov A.N., Yurasov A.N.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 5. P. 579.

Study of magneto-optical properties of aromatic liquids and their application in signal processing

S. V. Egamov, A. M. Khidirov^a, Kh. B. Mirzokulov^{a,*}, B. N. Rakhimov^b

^a *Muhammad al-Khwarizmi Tashkent University of Information Technologies, Samarkand Branch,
Samarkand, Uzbekistan, 140100*

^b *Muhammad al-Khwarizmi Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, Uzbekistan, 100000*

^{*}*e-mail: liverpool_2592@mail.ru*

Experimental results of Faraday rotation spectra in the range of 1.8-3.65 eV were obtained for H₂O, CCl₄, dimethylaniline, benzene, nitrobenzene, o-toluidine, o-anisidine, m-chloroaniline and o-chloroaniline. Semi-empirical quantum mechanical self-consistent field (SCF) calculations using the MNDO/D method for organic molecules were chosen to evaluate electronic spectra in the visible range for interpretation of experimental results. It is shown that the magneto-optical response of samples varies not only depending on geometry. distribution of pi electrons in aromatic liquids, but also significantly depends on their chemical composition.

Keywords: Faraday effect, liquid magneto-optical waveguide logic gates