



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

¹Хидиров А., ¹Жуманов Х., ¹Гайратов З.

¹Самаркандский государственный университет имени Шарафа Рашидова.

abduvali.xidirov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены магнитооптические свойства ряда ароматических жидкостей на основе спектров фарадеевского вращения. Исследования проведены в энергетическом диапазоне 1,8–3,65 эВ для таких жидкостей, как H₂O, CCl₄, бензол, нитробензол, о-толуидин, о-анизидин, м-хлоранилин и о-хлоранилин. Для интерпретации экспериментальных результатов использованы полуэмпирические квантово-механические расчёты методом MNDO/D. Показано, что величина магнитооптического отклика зависит от химического состава, структуры молекул и распределения π -электронов. Полученные результаты подтверждают перспективность ароматических жидкостей для применения в устройствах оптической обработки сигналов.

Ключевые слова: эффект Фарадея, магнитооптический спектр, ароматические жидкости, фарадеевское вращение, обработка сигналов, оптические логические элементы.

Введение. Магнитооптические явления, особенно эффект Фарадея, занимают важное место в современной оптике, фотонике и телекоммуникационных системах. Сущность данного эффекта заключается в повороте плоскости поляризации света при прохождении через вещество, находящееся во внешнем магнитном поле. Благодаря этому магнитооптические материалы применяются в оптических модуляторах,



сенсорах, устройствах управления поляризацией и системах передачи информации.

Особый интерес представляют органические ароматические жидкости, обладающие развитой π -электронной системой и высокой поляризуемостью. Бензол и его производные способны проявлять заметный магнитооптический отклик даже при сравнительно небольших магнитных полях. Это делает их перспективными материалами для создания новых фотонных устройств и элементов обработки оптических сигналов.

Целью данной работы является исследование магнитооптических характеристик ряда ароматических жидкостей и оценка возможности их практического применения в системах обработки, хранения и передачи информации.

Постановка задачи. В качестве основного физического эффекта в работе рассматривается фарадеевское вращение, возникающее при прохождении линейно поляризованного света через исследуемую жидкость во внешнем магнитном поле. Под действием магнитного поля плоскость поляризации света поворачивается на определённый угол, величина которого зависит от природы вещества, длины волны излучения и напряжённости магнитного поля.

Для эксперимента были выбраны ароматические жидкости, содержащие бензольное кольцо: бензол, нитробензол, о-толуидин, о-анизидин, м-хлоранилин и о-хлоранилин. Перед измерениями образцы очищались методом перегонки и помещались в специальные трубки. Измерения проводились в диапазоне длин волн 350–600 нм с использованием монохроматора МДР-12.

Экспериментальная установка включала источник света, систему линз, поляризатор, электромагнит с образцом, анализатор, монохроматор, фотоприёмник, lock-in усилитель, фазовый детектор и цифровой мультиметр.



Магнитное поле модулировалось с частотой 37 Гц, а максимальная амплитуда составляла 40 Э (Рис. 1).

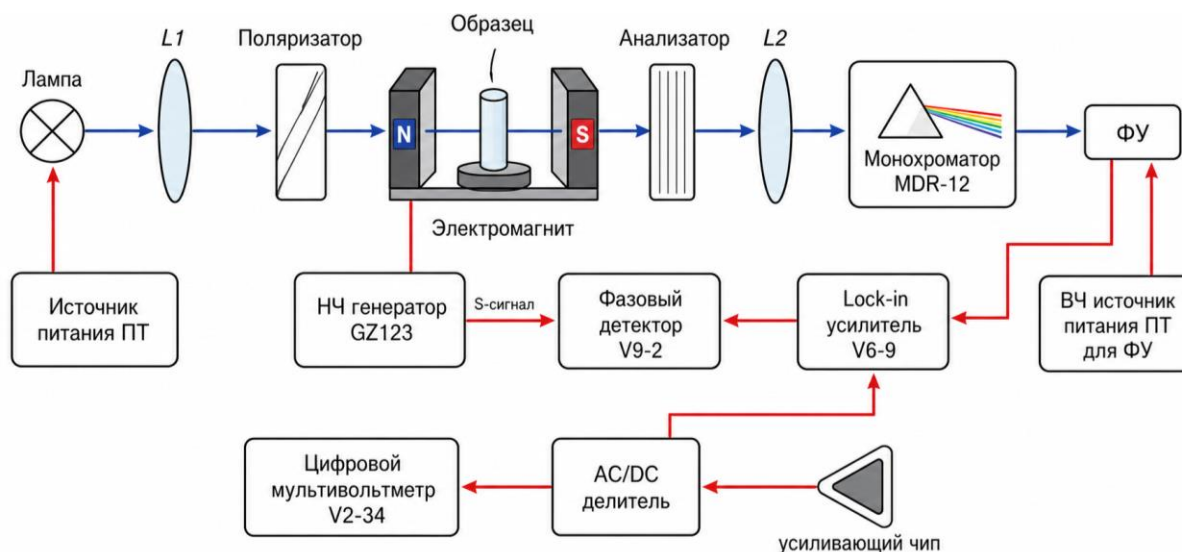


Рис. 1. Блок-схема магнитооптической установки для исследования магнитооптических спектров ароматических жидкостей. Эксперимент проводился при модуляции внешнего магнитного поля с частотой $f = 37 \text{ Гц}$ и $H(\text{max}) = 40 \text{ Э}$.

Метод исследования. Для анализа влияния молекулярной структуры на магнитооптические свойства были исследованы моно- и дизамещённые производные бензола. Экспериментальные спектры фарадеевского вращения сопоставлялись с результатами квантово-механических расчётов электронных спектров молекул методом MNDO/D.

Сравнение бензола и нитробензола показало, что замещение атома водорода нитрогруппой NO_2 приводит к снижению максимального значения фарадеевского вращения. Это связано с перераспределением электронной плотности и изменением энергетического спектра молекулы.

При сравнении о-анизида и о-толуида установлено, что наличие кислородсодержащей группы в структуре о-анизида усиливает его магнитооптическую активность. Это указывает на важную роль химического состава заместителей в формировании магнитооптического отклика.



Также было рассмотрено влияние структурной изомерии на примере о-хлоранилина и м-хлоранилина. Полученные данные показали, что различное расположение замещающих групп в бензольном кольце заметно влияет на спектральные характеристики эффекта Фарадея.

Обсуждение результатов. Результаты исследования подтверждают, что магнитооптические свойства ароматических жидкостей определяются не только наличием бензольного кольца и π -электронной системы, но и химической природой заместителей, а также их пространственным расположением.

Наиболее выраженный магнитооптический отклик наблюдался у соединений, в структуре которых присутствуют функциональные группы, способствующие перераспределению электронной плотности. При этом изменение положения заместителей в молекуле также приводит к заметному изменению формы спектральных кривых.

Полученные спектры фарадеевского вращения показывают, что ароматические жидкости обладают достаточной магнитооптической добротностью для практического использования (Рис. 2). Особенно перспективным является их применение в оптических модуляторах, магниточувствительных датчиках, устройствах управления поляризацией и волноводных логических элементах.

На рисунке 2 представлены спектральные зависимости эффекта Фарадея для различных жидкостей. По оси абсцисс отложена энергия фотона, эВ, а в верхней части графика указана соответствующая длина волны, нм. По левой оси ординат показано вращение Фарадея, $\times 10^3$ рад, а по правой оси — угол вращения Фарадея в град/мм. Данный график позволяет сравнить магнитооптическую активность исследованных жидкостей в диапазоне энергий примерно от 2,0 до 3,6 эВ.



Из графика видно, что для большинства исследованных жидкостей при увеличении энергии фотона наблюдается рост величины фарадеевского вращения. Особенно заметное увеличение происходит в области 2,5–3,4 эВ. Это связано с усилением взаимодействия световой волны с электронной структурой молекул, а также с особенностями электронных переходов в видимой области спектра.

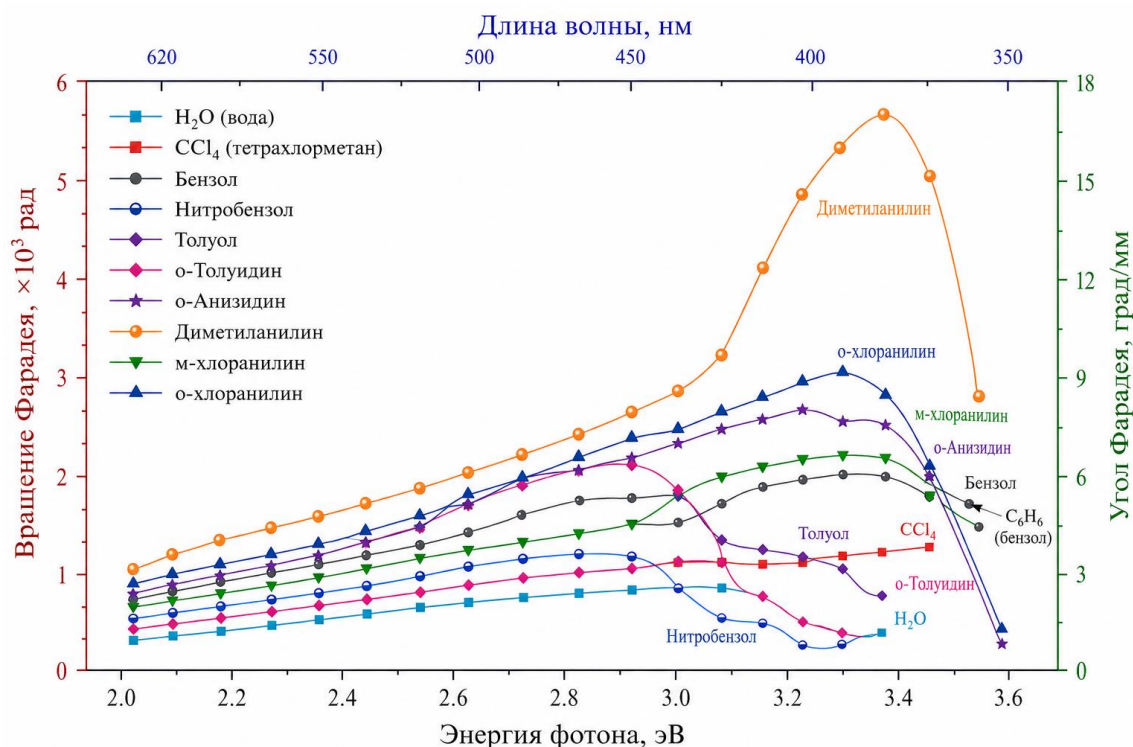


Рис. 2. Проявление эффекта Фарадея в некоторых жидкостях.

Наиболее высокий магнитооптический отклик наблюдается у диметиланилина. Его кривая значительно превосходит остальные исследованные жидкости. Максимальное значение достигается приблизительно в области 3,35–3,40 эВ, после чего наблюдается резкое снижение. Такой результат показывает, что молекула диметиланилина обладает высокой чувствительностью к воздействию магнитного поля. Это может быть связано с особенностями распределения электронной плотности и наличием развитой π -электронной системы в ароматическом кольце. Поэтому диметиланилин можно рассматривать как один из наиболее перспективных



материалов для магнитооптических модуляторов и устройств управления оптическими сигналами.

Достаточно высокие значения фарадеевского вращения показывают также о-хлоранилин и м-хлоранилин. Их спектральные кривые постепенно возрастают с увеличением энергии фотона и достигают максимума в области около 3,2–3,4 эВ. При этом о-хлоранилин имеет несколько более выраженный магнитооптический отклик по сравнению с м-хлоранилином. Это свидетельствует о том, что не только химический состав вещества, но и пространственное расположение замещающих групп в бензольном кольце существенно влияет на магнитооптические свойства.

Заметную магнитооптическую активность проявляет и о-анизидин. Его значения фарадеевского вращения выше, чем у бензола, толуола и о-толуидина. Это можно объяснить наличием в молекуле кислородсодержащей метоксигруппы, которая влияет на перераспределение электронной плотности в ароматическом кольце. Следовательно, функциональные группы, входящие в состав молекулы, могут усиливать или ослаблять магнитооптический эффект.

Бензол демонстрирует средний уровень фарадеевского вращения. Несмотря на то что его молекула содержит ароматическое кольцо и делокализованную π -электронную систему, отсутствие дополнительных активных функциональных групп приводит к более умеренному магнитооптическому отклику. Тем не менее результаты для бензола подтверждают, что сама ароматическая структура уже способствует проявлению эффекта Фарадея.

Для нитробензола наблюдается более низкий магнитооптический отклик по сравнению с бензолом и рядом других ароматических жидкостей. При увеличении энергии фотона его кривая сначала немного возрастает, но затем в области около 3,0 эВ начинает снижаться. Это может быть связано с



влиянием нитрогруппы NO_2 , которая обладает электроноакцепторными свойствами и изменяет распределение электронной плотности в бензольном кольце. В результате способность молекулы к выраженному магнитооптическому отклику уменьшается.

О-толуидин показывает рост фарадеевского вращения до области примерно 3,0 эВ, после чего наблюдается заметное снижение. Это указывает на то, что в определённой энергетической области его молекулярная структура способствует усилению эффекта Фарадея, однако при дальнейшем увеличении энергии фотона магнитооптическая активность уменьшается. Толуол имеет более стабильную, но сравнительно невысокую кривую, что говорит о его умеренной магнитооптической активности.

Наименьшие значения фарадеевского вращения наблюдаются у воды H_2O и тетрахлорметана CCl_4 . Эти жидкости не имеют ароматической π -электронной системы, поэтому их магнитооптический отклик значительно слабее по сравнению с ароматическими соединениями. Это подтверждает важную роль ароматического кольца и делокализованных электронов в формировании выраженных магнитооптических свойств.

В целом результаты показывают, что ароматические жидкости обладают более высокой магнитооптической активностью по сравнению с неароматическими жидкостями. На величину эффекта Фарадея существенно влияют химический состав молекулы, наличие функциональных групп, распределение π -электронов и расположение заместителей в бензольном кольце. Эти выводы согласуются с содержанием статьи, где подчёркивается зависимость магнитооптического отклика от химического состава и молекулярной структуры исследованных ароматических жидкостей.

Заключение. По результатам анализа можно сделать вывод, что среди исследованных жидкостей наибольшей магнитооптической активностью обладает диметиланилин. Высокие значения также демонстрируют о-



хлоранилин, м-хлоранилин и о-анизидин. Бензол занимает промежуточное положение, а нитробензол, о-толуидин и толуол проявляют более ограниченный магнитооптический отклик. Самые низкие значения наблюдаются у воды и CCl_4 .

Полученные результаты подтверждают перспективность использования ароматических органических жидкостей в фотонных и телекоммуникационных системах. Особенно они могут быть полезны при создании магнитооптических модуляторов, датчиков магнитного поля, устройств управления поляризацией света и элементов оптической обработки сигналов.

Список литературы:

1. Postava K., Yamaguchi T., Hrabovský D. Magneto-optical devices in optical communication systems. *Optical and Quantum Electronics*, 2019, 51:171.
2. Mikhaylov A.S., Dovbeshko G.I. Magneto-optical properties of aromatic compounds under low magnetic fields. *Journal of Molecular Liquids*, 2016, 224, pp. 842–849.
3. Delage-Laurin L., Swager T.M. Liquid Crystalline Magneto-Optically Active Peralkylated Azacoronene. *JACS Au*, 2023, 3(7), pp. 1965–1974.
4. Egamov S. Experimental study of the magneto-optical Faraday rotation spectra in some aromatic liquids. *Frontiers in Optics*, OSA Technical Digest, 2006.
5. Egamov S. Influence of the pi-electrons distribution on the magneto-optical activity stimulation in some aromatic liquids. *Frontiers in Optics*, OSA Technical Digest, 2007.
6. Egamov S. Modeling of Quantum Computing Based on Magneto-Optical Elastic Fiber Containing Organic Liquid Core with Aromatic Rings. *Frontiers in Optics*, OSA Technical Digest, 2009.



7. Egamov S.V., Khidirov A.M., Urinov K.O., Zhumanov K.A. Waveguide Logic Gates for Magneto-optical Qubits. *Technical Physics Letters*, 2020, 46(10), pp. 947–949.

8. Egamov S., Siddikov I., Khidirov A. Magneto-optical waveguide gates for digital logic operations. *ICISCT*, 2020, pp. 7–14.