

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Кушнарев Егор Александрович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Метод измерения комплексного показателя преломления жидкостей
в дальнем ИК диапазоне**

Практикум электричества и магнетизма, 2 курс, группа № 18307

Научный руководитель:

д. х. н Чесноков Е. Н.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 2019г.

Преподаватель практикума:

Ассистент Краснопевцев С. Е.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 2019г.

Куратор практикума:

к. т. н. Астрелин В. Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 2019г.

Аннотация:

Целью данной работы было изучение оптических и электромагнитных свойств поглощающей жидкости (керосина) в ИК диапазоне при помощи оптических методов. Для определения мнимой компоненты показателя преломления был измерен коэффициент поглощения керосина в ИК области и определена мнимая компонента показателя преломления. Для определения реальной компоненты было использовано явление интерференции в узком зазоре между двумя диэлектрическими пластинами. Была найдена реальная часть коэффициента преломления путем сравнения максимумов интерференционной картины для пустой кюветы и кюветы с заполненной жидкостью.

Ключевые слова: комплексный показатель преломления, коэффициент поглощения, интерференция.

Оглавление

1. Введение	4
2. Теория	5
3. Описание установки	6
4. Эксперимент и результаты	7
5. Обработка результатов.....	10
6. Заключение	12
7. Список литературы	13
8. Приложение 1	14

1. Введение

Для того чтобы эффективно передавать информацию при помощи электромагнитных волн, необходимо знать электромагнитные и оптические свойства среды. В частности важно знать, как будут рассеиваться волны на частичках жидкости в атмосфере в зависимости от влажности. Для этого необходимо знать комплексный коэффициент преломления воды для разных диапазонов электромагнитных волн и использовать Теорию Ми для расчета рассеяния на сферических капельках. На данный момент работ, посвященных изучению свойств воды, много, в то время как для других жидкостей их мало, либо данные в них недостаточно достоверные.

Чаще всего для измерения комплексного коэффициента преломления используют формулы Крамерса-Кронига. Они позволяют восстановить мнимую или реальную часть комплекснозначной аналитической функции, зная другую, по формулам

$$\chi_1(\omega) = \frac{1}{\pi} v.p. \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\chi_2(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega'$$

$$\chi_2(\omega) = \frac{1}{\pi} v.p. \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\chi_1(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega'$$

Где $F(\omega) = \chi_1(\omega) + i\chi_2(\omega)$.

Коэффициент поглощения, с помощью которого находят мнимую часть показателя преломления, находят непосредственно. Но для того чтобы восстановить таким образом действительную часть показателя преломления, необходимо знать мнимую часть во всем диапазоне частот от нуля и до

бесконечности. Очевидно, что данные по всем диапазонам не совсем надежны, поэтому подход с использованием соотношений Крамерса-Кронига не может считаться прямым методом для определения действительной части показателя преломления поглощающих сред.

К прямому методу можно отнести технику эллипсометрии. Однако, в ИК диапазоне эта техника сложна.

2. Теория

В нашей работе для измерения необходимых величин использовалось явление интерференции и прямое измерение коэффициента поглощения.

Для измерения мнимой составляющей показателя преломления необходимо измерить спектр поглощения жидкости и из него по формуле (4) из Приложения 1 определить мнимую составляющую.

Действительная часть коэффициента определяется из следующих соображений. Максимум интерференции наблюдается, если целое число полуволен волн укладывается в зазор.

$$m \cdot \lambda_m = 2d \cdot n_{Re} \text{ или } \nu_m = \frac{m}{2dn_{Re}} \quad (5)$$

d -ширина зазора.

Если известно значение для двух соседних максимумов частот, то для них будет верно:

$$\Delta \nu_m = \frac{m+1}{2dn_{Re}} - \frac{m}{2dn_{Re}} = \frac{1}{2dn_{Re}},$$

Откуда

$$n_{Re} = \frac{1}{2d\Delta v_m}.$$

В воздухе показатель преломления примерно равен единице, поэтому отношение коэффициентов в воздухе и керосине будут описаны следующим образом:

$$\frac{n_{Re \text{ в керосине}}}{n_{Re \text{ в воздухе}}} = n_{Re \text{ в керосине}} = \frac{\Delta v_m \text{ в воздухе}}{\Delta v_m \text{ в керосине}}$$

Данная формула удобна тем, что не нужно знать точное значение длины зазора в кювете.

3. Описание установки

В данной работе использовался спектрометр Вектор 22 (Рис. 1.а), в который помещались различные кюветы (Схематичный вид на Рис.1.б), состоящие из полости разной ширины, ограниченной двумя плоскими параллельными пластинами (материал КРС-5). Все полученные в работе спектры были измерены в данном спектрометре, путем заполнения кюветы необходимым содержимым (воздух, керосин). Материал кюветы подобран таким образом, чтобы его коэффициент отражения был достаточно большим для наблюдения интерференции. Диапазон спектра расположен в дальнем ИК диапазоне 500-4500 см⁻¹.



Рис. 1 а, б

На Рис.1.а внешний вид спектрометра, на Рис.1.б схематичный вид кюветы.

4. Эксперимент и результаты

Для нахождения мнимого коэффициента преломления были получены спектры поглощения в воздухе и в керосине. (Рис. 2) На графике показаны спектр излучения, прошедшего через пустую кювету с зазором 1 мм, и через заполненную поглощающей жидкостью. Поглощение в области $700\text{-}1600\text{ см}^{-1}$ велико, однако большой динамический диапазон прибора позволяет надежно измерить это поглощение.

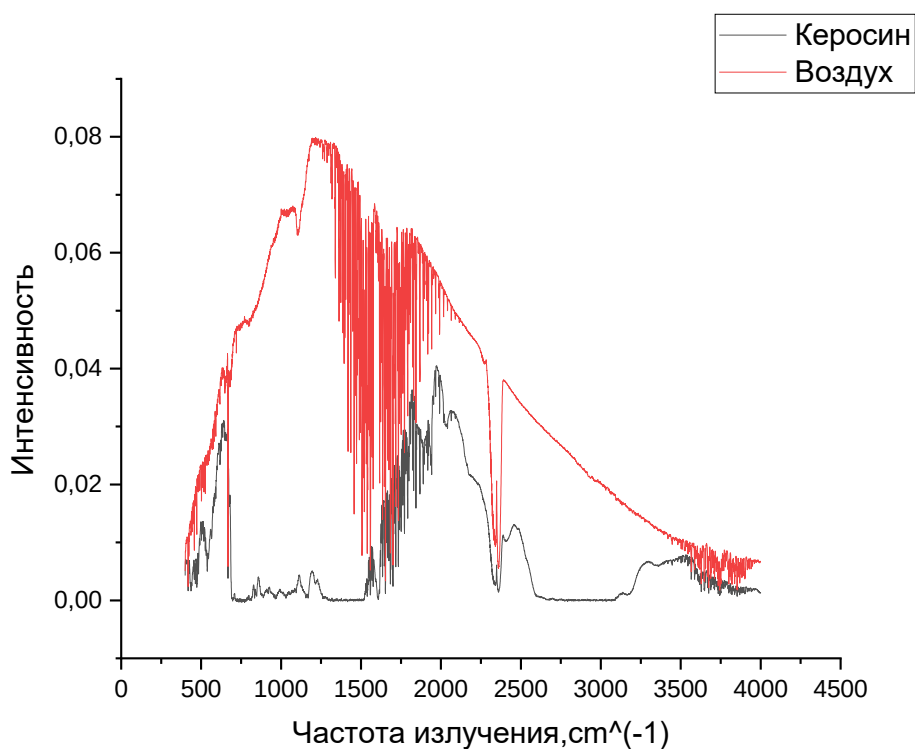


Рис.2

Для нахождения действительной части коэффициента преломления были проделаны измерения кюветой, имеющей маленький зазор 0.05 мм. Были измерены спектр интенсивности электромагнитного излучения, прошедшего через пустую кювету (Рис. 3)

Положение максимумов хорошо описывается формулой $F_i = 5.5 + i * 102.1$ [см⁻¹]. В данном случае i равно числу полуволн, укладывающихся в зазоре. На Рис.3 это число указано для каждого максимума.

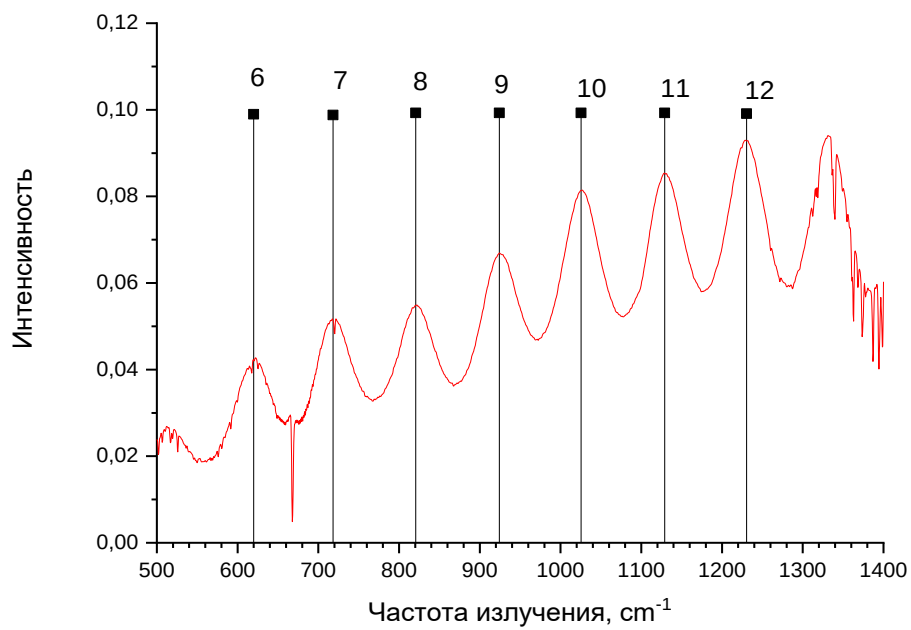


Рис. 3 (F_i - частоты соответствующие максимумам интенсивности)

На Рис. 4 приведен спектр излучения прошедшего через заполненную керосином кювету.

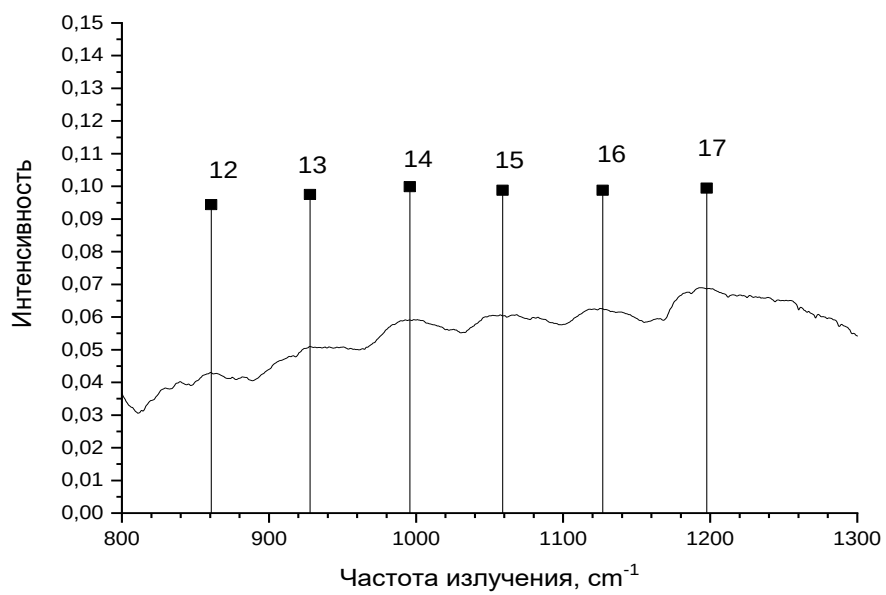


Рис.4

Абсолютные значения интенсивностей на рисунках 3 и 4 отличаются мало, то есть поглощение в тонком зазоре невелико. Важно, что интерференционная картина при заполнении зазора сохранилась. Она стала менее отчетливой. Это может быть связано с тем, что коэффициент отражения на границе «окно-воздух» больше, чем на границе «окно-керосин».

5. Обработка результатов

По Рис. 3 была найдена зависимость коэффициента поглощения от частоты. Коэффициент поглощения находился по формуле

$$\alpha(\nu) = \ln \left(\frac{I_0(\nu)}{I_f(\nu)} \right) / d$$

Где $I_0(\nu)$, $I_f(\nu)$ - интенсивность света в воздухе и керосине соответственно, $d=0.1$ см – величина зазора.

Из него по формуле $n_{\text{Im}} = \frac{\alpha(\nu)}{4 \cdot \pi \cdot \nu}$, выведенной в Приложении 1, был получен график зависимости мнимого показателя преломления от частоты (Рис. 5).

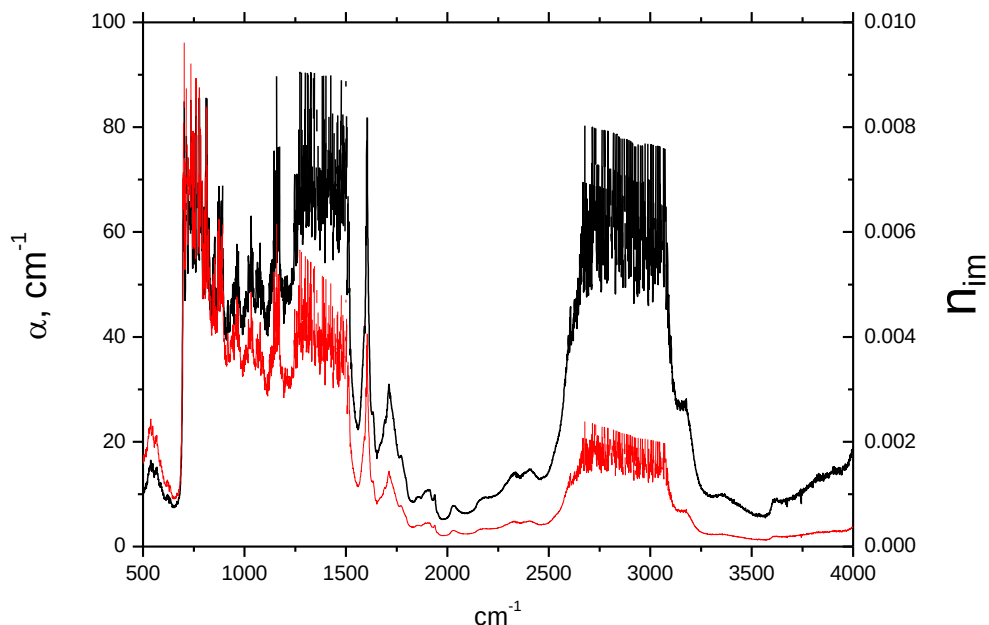


Рис. 5 Красной линией указан график n_{im} , черной — $\alpha(v)$.

Вещественную часть показателя преломления можно оценить, сравнивая расстояния между максимумами на рисунках 3 и 4. Для пустой кюветы это расстояние составляет 102 см^{-1} , для заполненной примерно 70 см^{-1} . Отсюда $n_{Re} = 1.46$

Точность этого результата определяется точностью, с которой было определено расстояние между соседними максимумами на Рис. 4. Эта точность не лучше, чем $\pm 20\%$. Существенно повысить точность можно было бы, если бы удалось определить число полувольт, соответствующих каждому интерференционному максимуму на Рис. 4. Тогда n_{Re} определялся бы по формуле (5) непосредственно из положения максимума с точностью $\pm (2 - 3)\%$. На рисунке нанесены предположительные значения этих чисел.

6. Заключение

Был опробован новый способ определения комплексного показателя преломления поглощающих жидкостей в ИК диапазоне. Для определения мнимой части n_{Im} измерялся коэффициент поглощения, для определения действительной части n_{Re} определялась интерференционная картина в спектре пропускания оптической кюветы с очень малым зазором. В результате сравнение положений интерференционных максимумов для пустой и заполненной кюветы позволяет определить длину волны в жидкости. Был измерен мнимый показатель преломления керосина в дальнем ИК спектре. Получена оценка действительной части показателя преломления $n_{\text{Re}} = 1.46$ для дальнего инфракрасного спектра.

Плюсы такого метода заключаются в том, что он не требует особых установок т. к. спектрометры довольно распространены в научных лабораториях, процесс измерения быстрый и не требует глубоких знаний ни в работе с самим спектрометром, ни в обработке данных. Из минусов можно выделить тот факт, что для точного определения реальной части показателя преломления необходимо либо делать несколько замеров с кюветами разных размеров, либо нужно подобрать материал для стенок кюветы так, чтобы с одной стороны они хорошо пропускали электромагнитное излучение в необходимом диапазоне, а с другой имели высокий коэффициент отражения для наблюдения четкой интерференционной картины.

7. Список литературы

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоритическая физика: Учебное пособие. В 10 т.-Т. VIII. Электродинамика сплошных сред.–3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.- мат. лит., 1992.–664 с.– ISBN 5-02-01473-0. Глава X.

8. Приложение 1

Электрическое поле электромагнитной волны при распространении в поглощающей среде меняется по закону [1]

$$E(z) = E_0 \cdot \exp(i * 2\pi n z / \lambda) = E_0 \cdot \exp(i * 2\pi n \nu z) \quad (1)$$

n – комплексный показатель преломления,

λ – длина волны в вакууме,

ν – волновое число, $\nu = 1/\lambda$

Представив комплексный показатель преломления в виде

$$n(\nu) = n_{Re}(\nu) + i n_{Im}(\nu) \quad (2)$$

перепишем формулу (1) в виде

$$E(z) = E_0 \cdot \exp(i * 2\pi n_{Re}(\nu) \nu z) \cdot \exp(-2\pi n_{Im}(\nu) \nu z) \quad (3)$$

Последний множитель в формуле (3) описывает затухание волны. Отсюда получаем связь коэффициента поглощения с мнимой частью показателя преломления.

$$\alpha(\nu) = 4\pi \nu n_{Im}(\nu) \quad (4)$$

Формула (4) позволяет вычислить $n_{Im}(\nu)$ непосредственно из инфракрасного спектра, в котором измеряется коэффициент поглощения $\alpha(\nu)$.