

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

К.А. Гребенюк, О.Е. Глухова

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ РЕФРАКТОМЕТРИЯ

Часть 2. Практика

Учебно-методическое пособие

Саратов, 2011

Содержание

1. Контрольные вопросы	3
2. Темы для обсуждения	4
3. Задачи на основные понятия, связанные с интерференцией	5
4. Задачи на определение показателя преломления	8
5. Задачи на определение концентрации вещества в растворе	10
Библиография	13

1. Контрольные вопросы

- 1.1 Что такое рефрактометрия?
- 1.2 Что устанавливают/определяют в фармацевтическом анализе методами рефрактометрии?
- 1.3 На какие группы делятся методы рефрактометрии?
- 1.4 Что такое интерференционная рефрактометрия?
- 1.5 Что такое интерференция?
- 1.6 Какие волны называют когерентными?
- 1.7 Что такое интенсивность света?
- 1.8 Почему существующие фотоприемники реагируют на интенсивность света, а не на мгновенные значения плотности потока энергии световой волны?
- 1.9 Запишите уравнение интерференции и объясните смысл всех входящих в него величин;
- 1.10 Какие предположения были сделаны при выводе уравнения интерференции, для каких волн оно было получено?
- 1.11 Запишите уравнение интерференции и получите из него условия максимума и минимума интенсивности в интерференционной картине;
- 1.12 Что такое оптический путь? оптическая разность хода?
- 1.13 Как связаны между собой в произвольной точке наблюдения разность фаз двух монохроматических волн одинаковой частоты и их оптическая разность хода?
- 1.14 Запишите условия максимума и минимума интерференционной картины через оптическую разность хода интерферирующих волн;
- 1.15 Нарисуйте схему и объясните устройство рефрактометра на основе интерферометра Рождественского;
- 1.16 Нарисуйте схему и объясните устройство рефрактометра на основе интерферометра Рэлея;

2. Темы для обсуждения

- 2.1 Почему интерференция наблюдается только при наложении когерентных волн?
- 2.2 Почему мы сейчас не наблюдаем интерференцию света на поверхности стола или на стене, несмотря на то, что там происходит наложение нескольких световых волн (например, от нескольких ламп, включенных в аудитории)? Какие особенности схем рефрактометров позволяют обеспечить в них наблюдение интерференции?
- 2.3 Как вы думаете, почему в оптике при описании распространения света вводят понятие оптического пути, вместо того, чтобы ограничиться использованием обычного понятия расстояния (геометрического пути)?
- 2.4 Что означает понятие «фазовый набег» (на примере уравнения (1) — см. пособие «Интерференционная рефрактометрия. Часть 1. Теория»)?
- 2.5 Как с помощью уравнения (1) узнать, насколько изменится фаза данной волны при распространении на расстояние равное длине волны в среде λ ?
- 2.6 Благодаря чему в интерференционных рефрактометрах удается достичь столь высокой точности измерения показателя преломления? Что ограничивает эту точность?

3. Задачи на основные понятия, связанные с интерференцией

3.1 Используя определения понятий «длина волны» и «абсолютный показатель преломления», выведите формулу, связывающую длину монохроматической волны в среде λ с длиной той же волны в вакууме λ_0 .

3.2 В вакууме ($n = 1$) за 5 секунд световая волна проходит расстояние $15 \cdot 10^5$ километров. Найти расстояние (геометрический путь) и оптический путь, которые прошла бы световая волна за то же время

- а) в воде ($n = 1,333$);
- б) в кварце ($n = 1,544$);
- в) в рубине ($n = 1,76$);
- г) в алмазе ($n = 2,417$).

Сравните результаты, полученные в пунктах а, б, в, г для величины оптического пути. Объясните результаты сравнения.

3.3 На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку ($n = 1,5$) толщиной 1 мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку [1]:

- а) нормально;
- б) под углом 30° ;
- в) под углом 60° .

3.4 При температуре 20°C показатель преломления дистиллированной воды для света с длиной волны в вакууме 706,5 нм составляет 1,3302, а для света с длиной волны 404,7 нм — 1,34274. Во сколько раз будут различаться:

- а) геометрические пути, проходимые этими волнами в дистиллированной воде за одно и то же время;
- б) оптические пути, проходимые этими волнами в дистиллированной воде за одно и то же время.

3.5 В рефрактометре на основе интерферометра Рождественского

наблюдают интерференцию монохроматического света с длиной волны λ_0 . Прибор настроен так, что при отсутствии кювет в плечах интерферометра разность хода волн 1 и 2 в центре области наблюдения равна нулю.

Чему будет равна эта разность хода, если

- а) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с фтором ($n = 1,000195$);
- б) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с фтором ($n = 1,000195$), а в другое — такую же кювету, внутри которой создан вакуум ($n = 1$);
- в) в одно из плеч интерферометра поместить кювету фтором ($n = 1,000195$), а в другое — такую же кювету с воздухом ($n = 1,000277$);
- г) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с 3,85%-ным раствором хлорида кальция ($n = 1,338$), а в другое — такую же кювету с 7,04%-ным раствором хлорида кальция ($n = 1,342$).

Параметры кюветы: материал — стекло ($n = 1,5$), толщина стенок 2 мм, длина кюветы (расстояние между стенками) 3 см.

3.6 Определить разность фаз двух монохроматических волн в точке наблюдения, если их оптическая разность хода в данной точке равна

- а) 0; б) $\lambda_0/2$; в) λ_0 ; г) $0,8\lambda_0$.

3.7 В рефрактометре на основе интерферометра Рождественского наблюдают интерференцию монохроматического света с длиной волны λ_0 . Прибор настроен так, что при отсутствии кювет в плечах интерферометра разность фаз монохроматических волн 1 и 2 в центре области наблюдения равна нулю.

Чему будет равна эта разность фаз, если

- а) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с сероводородом ($n = 1,000619$);
- б) в одно из плеч интерферометра поместить кювету сероводородом ($n = 1,000619$), а в другое — такую же кювету с воздухом ($n = 1,000277$);
- в) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с 4,5%-ным раствором новокаина ($n = 1,343$), а в другое — такую же кювету с 5,4%-ным раствором новокаина ($n = 1,345$);
- г) в одно из плеч интерферометра поместить кювету с водой ($n = 1,333$), а

в другое — такую же кювету с 20%-ным раствором сахара ($n = 1,364$).

Параметры кюветы: материал — стекло ($n = 1,5$), толщина стенок 1 мм, длина кюветы (расстояние между стенками) 1 см.

3.8 В условии задачи 3.5 определить, на сколько полос сдвинется в каждом случае интерференционная картина.

3.9 В условии задачи 3.7 определить, на сколько полос сдвинется в каждом случае интерференционная картина.

3.10 В плечах интерференционного рефрактометра находятся одинаковые кюветы с водой. При замене одной из этих кювет на кювету с раствором произошло смещение интерференционной картины на 0,1 полосы. Найти изменение разности хода, которое привело к этому смещению. Длина кюветы 0,1 м, длина волны используемого света $\lambda_0 = 500$ нм.

3.11 В плечах интерференционного рефрактометра находятся одинаковые кюветы с водой. При замене одной из этих кювет на кювету с раствором произошло смещение интерференционной картины на 2 полосы. Найти изменение разности хода, которое привело к этому смещению. Длина кюветы 0,15 м, длина волны используемого света $\lambda_0 = 600$ нм.

3.12 При температуре 25°C показатель преломления дистиллированной воды для света с длиной волны в вакууме 501,6 нм составляет 1,33586, а для света с длиной волны 656,3 нм — 1,33067. Во сколько раз будут различаться:

- а) геометрические пути, проходимые этими волнами в дистиллированной воде за одно и то же время;
- б) оптические пути, проходимые этими волнами в дистиллированной воде за одно и то же время.

4. Задачи на определение показателя преломления

4.1 Найдите минимальную разницу показателей преломления, которую можно обнаружить с помощью интерферометра Рэлея, если минимальное регистрируемое смещение интерференционной картины составляет $1/40$ полосы. Длину кюветы считать равной $0,1$ м, длину волны используемого света — равной 550 нм.

4.2 В условии задачи 3.10 найдите разность показателей преломления веществ в плечах интерференционного рефрактометра.

4.3 В условии задачи 3.11 найдите разность показателей преломления веществ в плечах интерференционного рефрактометра.

4.4 При замене в интерференционном рефрактометре в одной из кювет воздуха ($n = 1,000277$) на аммиак интерференционная картина сместилась на 17 полос. Длина волны используемого света 589 нм, длина кюветы 10 см. Найдите показатель преломления аммиака [2].

4.5 В плечах интерференционного рефрактометра помещаются трубки длиной 2 см наполненные воздухом ($n = 1,000277$). Одну из трубок заполнили хлором, при этом интерференционная картина сместилась на 20 полос. Определите показатель преломления хлора, если наблюдения производятся с монохроматическим светом с длиной волны 589 нм [2].

4.6 Для измерения показателя преломления аммиака в одно из плеч интерференционного рефрактометра помещена откачанная до высокого вакуума стеклянная трубка длиной 15 см. При заполнении трубки аммиаком интерференционная картина сместилась на 192 полосы. Определите показатель преломления аммиака, если длина волны используемого света равна 589 нм [2].

4.7 При замене в интерференционном рефрактометре в одной из кювет воздуха на углекислый газ интерференционная картина сместилась на 15 полос.

Считая показатель преломления воздуха равным 0,000256, найдите показатель преломления углекислого газа. Длина волны используемого света 0,6 мкм, длина кюветы 0,1 м [3].

4.8 В одном из плеч интерференционного рефрактометра поместили вакуумированную трубку длиной 7 см. По мере заполнения этой трубки азотом интерференционная картина сместилась на 57 полос. Найдите показатель преломления азота, если длина волны используемого света равна 600 нм [3].

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

5. Задачи на определение концентрации вещества в растворе

5.1 При измерении показателей преломления водных растворов сахарозы были получены следующие данные:

C, %	1	2	3	4	5	6
n	1,33442	1,33586	1,33732	1,33879	1,34026	1,34175

Построить график зависимости показателя преломления водного раствора сахарозы от концентрации, оценить по графику фактор показателя преломления и найти концентрацию сахарозы в растворе с показателем преломления 1,33950.

5.2 При измерении показателей преломления водных растворов ацетона были получены следующие данные [4]:

C, %	10	20	30	40	50
n	1,3340	1,3410	1,3485	1,3550	1,3610

Построить график зависимости показателя преломления водного раствора ацетона от концентрации, оценить по графику фактор показателя преломления и найти концентрацию ацетона в растворе с показателем преломления 1,3450.

5.3 В плечах интерференционного рефрактометра находятся одинаковые кюветы с водой. При замене одной из этих кювет на кювету с раствором

- а) йодида натрия ($F = 143 \cdot 10^{-5}$);
- б) йодида калия ($F = 130 \cdot 10^{-5}$);
- в) борной кислоты ($F = 67 \cdot 10^{-5}$);
- г) амидопирин ($F = 225 \cdot 10^{-5}$);

произошло смещение интерференционной картины на 2,5 полосы. Найдите концентрацию вещества в растворе, если длина кюветы 3 см, а длина волны используемого света $\lambda_0 = 550$ нм.

5.4 С помощью интерференционного рефрактометра были измерены показатели преломления n пяти растворов сульфата магния с известными концентрациями C . Перед каждым измерением в плечах рефрактометра устанавливались одинаковые кюветы с водой, затем одна из них замещалась кюветой с водным раствором сульфата магния.

При $C=0,002\%$ наблюдался сдвиг интерференционной картины на 0,6 полосы, при $C=0,004\%$ - на 1,3 полосы, при $C=0,006\%$ - на 1,9 полосы, при $C=0,008\%$ - на 2,6 полосы, при $C=0,01\%$ - на 3,2 полосы. Длина кюветы 20 см, длина волны используемого света 589 нм, показатель преломления воды 1,333.

Задание:

- а) получить для сульфата магния таблицу зависимости показателя преломления n от концентрации C ;
- б) построить график зависимости показателя преломления n от концентрации C ;
- в) по графику зависимости $n(C)$ определить концентрацию сульфата магния в растворе, если показатель преломления раствора составляет 1,333007;
- г) определить концентрацию сульфата магния в растворе, если известно, что при замещении в рефрактометре кюветы с водой на кювету с данным раствором интерференционная картина сместилась на 2,2 полосы.

5.5 С помощью интерференционного рефрактометра были измерены показатели преломления n пяти растворов хлорида натрия с известными концентрациями C . Перед каждым измерением в плечах рефрактометра устанавливались одинаковые кюветы с водой, затем одна из них замещалась кюветой с водным раствором хлорида натрия.

При $C=0,01\%$ наблюдался сдвиг интерференционной картины на 0,6 полосы, при $C=0,02\%$ - на 1,15 полосы, при $C=0,03\%$ - на 1,7 полосы, при $C=0,04\%$ - на 2,3 полосы, при $C=0,05\%$ - на 2,9 полосы. Длина кюветы 2 см, длина волны используемого света 589 нм, показатель преломления воды 1,333.

Задание:

- а) получить для хлорида натрия таблицу зависимости показателя преломления n от концентрации C ;
- б) построить график зависимости показателя преломления n от концентрации C ;
- в) по графику зависимости $n(C)$ определить концентрацию хлорида натрия в растворе, показатель преломления которого составляет 1,33304;
- г) определить концентрацию хлорида натрия в растворе, если известно, что при замещении в рефрактометре кюветы с водой на кювету с данным раствором интерференционная картина сместилась на 2,6 полосы.

5.6 Найдите минимальную концентрацию барбитала натрия ($F = 182 \cdot 10^{-5}$) в водном растворе, которую можно обнаружить с помощью интерферометра Рэлея, если минимальное регистрируемое смещение интерференционной картины составляет $1/40$ полосы. Длину кюветы считать равной 0,1 м, длину волны используемого света — равной 550 нм.

5.7 Найдите минимальную концентрацию барбитала натрия ($F = 182 \cdot 10^{-5}$) в водном растворе, которую можно обнаружить с помощью интерферометра Рэлея, если минимальное регистрируемое смещение интерференционной картины составляет 0,1 полосы. Длину кюветы считать равной 0,1 м, длину волны используемого света — равной 550 нм.

5.8 При интерферометрическом определении концентрации растворов соляной кислоты были получены следующие данные [4]:

С, %	0,205	0,400	0,605	0,805	1,05
Показания компенсатора	1,54	3,01	4,54	6,10	7,62

Построить калибровочный график и вывести уравнение зависимости концентрации соляной кислоты от показаний шкалы компенсатора. Определить концентрацию раствора соляной кислоты, для которого отсчет по шкале компенсатора равен 2,75.

Библиография

1. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для вузов. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во Физко-математич. Лит-ры, 2001. 640 с.
2. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1999. - 591 с.
3. Ремизов А.Н., Исакова Н.Х., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: Учеб. пособие для медицинских вузов. - М.: Высш. шк., 1987. - 159 с.
4. Задачник по физико-химическим методам анализа / Ю.С. Ляликов, М.И. Булатов, В.И. Бодю, С.В. Крачуи. - М.: Химия, 1972. - 268 с.
5. Бутиков Е.И. Оптика: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2003. - 480 с.
6. Саржевский А.М. Оптика. Полный курс. - 2-е изд. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 608 с.
7. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. - СПб.: Питер, 2006. - 336 с.
8. Шредер Г., Трайбер Х. Техническая оптика \ Пер. с нем. - М.: Техносфера, 2006. - 424 с.
9. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика: Учебник. 2-е изд. - Изд-во МГУ; Наука, 2004. - 656 с.