

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра оптики и биофотоники

**Измерение показателя преломления тканей головного мозга, включая  
цереброспинальную жидкость, серое и белое вещество головного мозга и  
паутинную оболочку**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4023 группы

направления 03.03.02 Физика

Института физики

Баймуратов Багдат Болатулы

Научный руководитель  
Старший преподаватель  
кафедрой оптики и биофотоники

  
\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Лазарева Е.Н.

Зав. кафедрой оптики и биофотоники  
д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН

  
\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Тучин В.В.

Саратов 2022

## **Введение**

**Актуальность работы:** В медицинской физике широко используется табличные данные и эмпирические формулы для показателей преломления многих биологических сред, однако в литературе мало данных для тканей головного мозга и их компонентов, в связи, с чем выбранная тема ВКР является актуальной.

**Цель исследования:** изучить оптические характеристики тканей бычьего головного мозга: спинномозговая (цереброспиральная) жидкость, серое вещество головного мозга, белое вещество головного мозга, паутинная оболочка головного мозга, методом многоволновой рефрактометрии на 12 длинах волн видимого и ближнего ИК диапазона, провести анализ и аппроксимацию полученной дисперсионной зависимости, подобрав коэффициенты для формулы Зельмейера.

**Структура и объем работы.** Выпускная квалификационная работа состоит из введения, теоретической, экспериментальной части, результаты и обсуждение заключения и списка используемой литературы. Всего в работе 47 страниц.

### **Основное содержание работы**

Во **введении** описан основной метод работы, практическая значимость и сформированы цели работы.

**В теоретической части** представлено:

- подробное описание показателя преломления и его особенности, методы измерения показателя преломления с различными установками.

- методы измерения показателя преломления биологических тканей таких как: метод полного внутреннего отражения, фазовый контрастный метод, метод оптической когерентной томографии.

- Строение тканей головного мозга и их оптические свойства. Подробно рассказывается про серое, белое вещество, цереброспинальную жидкость, твердую мозговую оболочку и лимфу. Описаны их функции, химический состав.

В экспериментальной части рассказывается об экспериментальной установке многоволновом рефрактометре Аббе M2-1550 (Atago). Данный рефрактометр позволяет проводить измерения показателя преломления в диапазоне длин волн от 450 нм до 1550 нм при помощи использования интерференционных фильтров. Точность измерений прибора составляет  $\pm 0,0002$ .

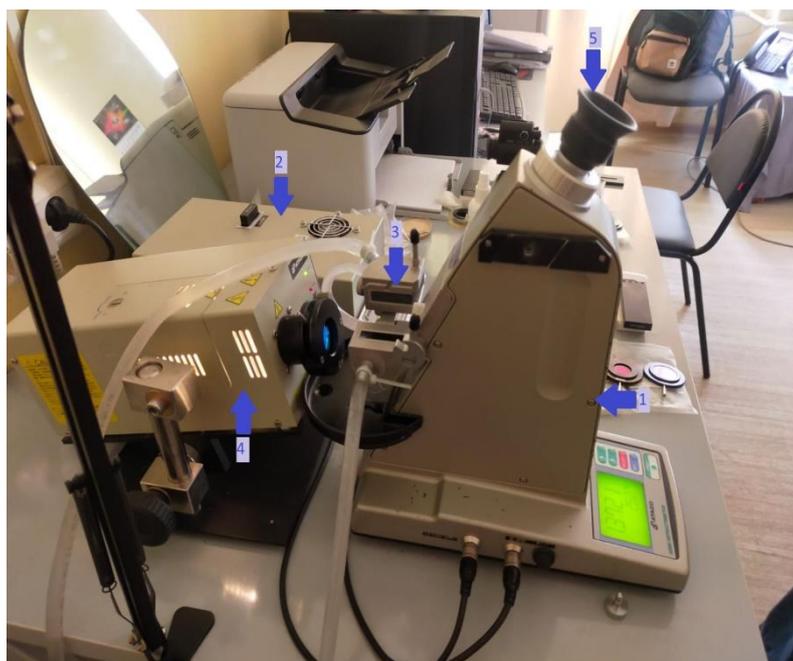


Рисунок 1 - Экспериментальная установка: многоволновой рефрактометр Аббе M2-1550 (Atago). 1, рефрактометр; 2, –блок питания; 3, образец; 4, источник света, интерференционный фильтр; 5, окуляр

Так же в экспериментальной части было описана **Методика приготовления и измерения образцов исследования**. В начале каждого эксперимента проводилась калибровка прибора путем измерения показателя

преломления дистиллированной воды на длине волны 589 нм, так как, она соответствует полосе поглощения натрия. Также дистиллированная вода была выбрана в качестве эталонного образца, для оценки правильности измерений. С этой целью был измерен показатель преломления воды на всех 12-ти длинах волн и полученные значения сравнивались с литературными данными.

Показатель преломления измеряли для образцов тканей, полученных из бычьего головного мозга. Образцы бычьего головного мозга были получены в течении 6 часов после забоя животного. Срез серого и белого веществ выполнялся медицинским скальпелем, толщина образцов составляла около 400-500 мкм. Паутинная оболочка отделялась от белого и серого веществ, её толщина составляла 0,465мм. Забор спинномозговой (цереброспинальной) жидкости выполнялся пипеткой из складок, создаваемых извилинами головного мозга.

Для исследований брались 3 образца разных биотканей от 3 разных животных. Измерение показателя преломления полученных тканей проводили при комнатной температуре 24 °С. Проводился анализ полученных данных, аппроксимация дисперсионной зависимости биотканей при помощи формулы Зельмейера и сравнение с имеющимися литературными данными.

$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{A_1 \times \lambda^2}{\lambda^2 - B_1} + \frac{A_2 \times \lambda^2}{\lambda^2 - B_2} \quad (1)$$

где  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  и  $B_2$  — эмпирические константы. Формула Селлмейера дает хорошее согласие для описания дисперсионной зависимости ПП многокомпонентных систем вблизи полос поглощения исследуемой среды. Математические расчеты проводились в программном комплексе Origin ProLab

В результате аппроксимации экспериментальных значений были получены коэффициенты, дающие возможность проводить аппроксимацию

по формуле Зельмейера в спектральном диапазоне 480-1550 нм. На рисунке 2 представлены экспериментальные данные и данные аппроксимации по формуле по формуле Зельмейера (1) в видимой и ближней инфракрасной области, так как у воды имеются полосы поглощения на длинах волн 1197 и 1450 нм. Аппроксимация выполнялась при помощи специальной компьютерной программы «OriginPro».

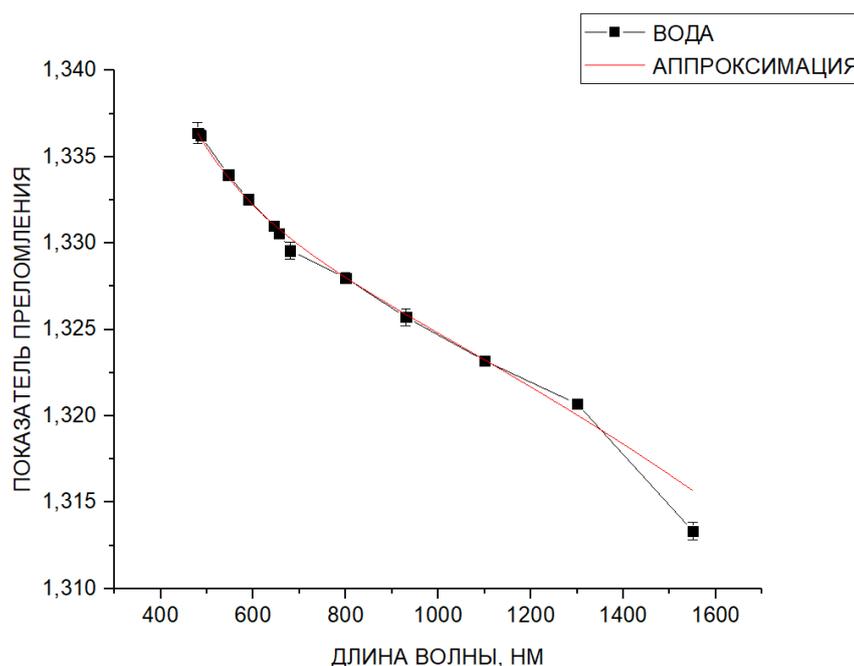


Рисунок 2 - Аппроксимация дисперсионной зависимости воды

После расчетов коэффициентов формула Зельмейера(1) для воды будет иметь вид:

$$n_{\text{вода}}^2(\lambda) = 1 + \frac{0,76637 \times \lambda^2}{\lambda^2 - 6745,1401} + \frac{4,94347 \times 10^{35} \times \lambda^2}{\lambda^2 - 2,89185 \times 10^{43}}, \dots \dots \dots (2)$$

В работе [1] значения для показателя преломления воды при температуре T=+20°C 1,3345 для длины волны 550 нм и 1,3201 для длины волны 1300 нм. В данной работе получены значения при температуре +24 °C 1,3339 для длины волны 546 нм и 1,3207 для длины волны 1300 нм. Учитывая

поправку на температуру, в видимой области экспериментальные данные хорошо согласуются с литературными.

В результате аппроксимации экспериментальных значений для показателя преломления спинномозговой жидкости были получены коэффициенты для проведения аппроксимации по формуле Зельмейера (1). Аппроксимация данных показана на рисунке 3.

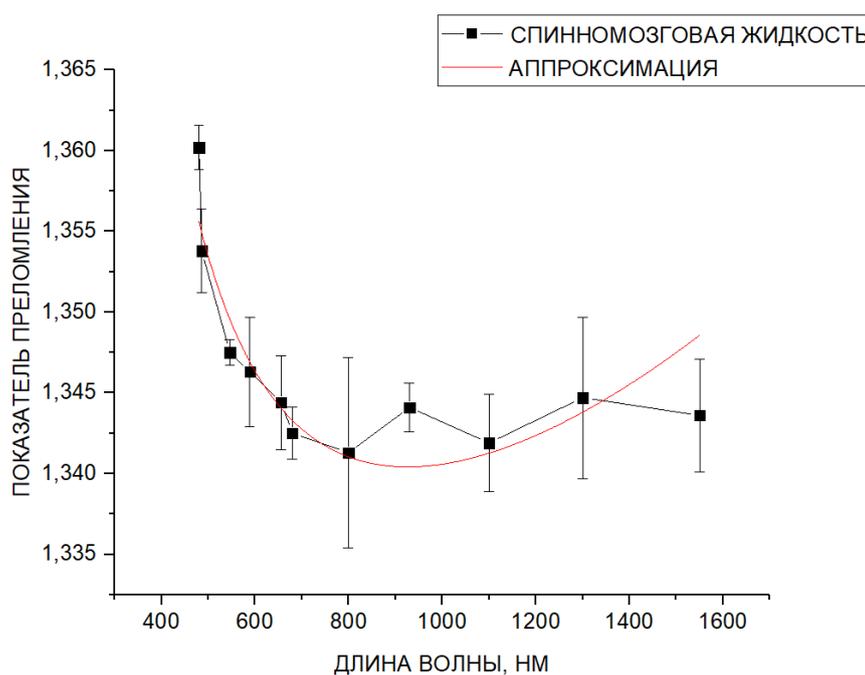


Рисунок 3 - Аппроксимация дисперсионной зависимости спинномозговой жидкости бычьего головного мозга

После вычисления коэффициентов формула Зельмейера для спинномозговой жидкости примет вид:

$$n_{\text{сп.ж.}}^2(\lambda) = 1 + \frac{0,76853 \times \lambda^2}{\lambda^2 - 18169,45097} + \frac{-2,09856 \times 10^{36} \times \lambda^2}{\lambda^2 - 1,37434 \times 10^{44}} \quad (3)$$

На рисунке 4 – аппроксимация данных серого вещества.

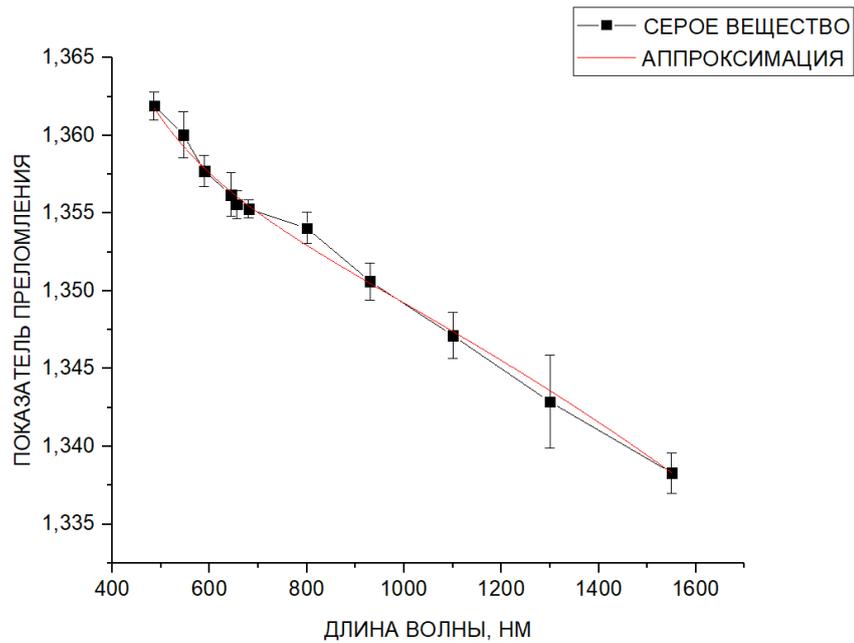


Рисунок 4 - Аппроксимация дисперсионной зависимости серого вещества

В результате аппроксимации экспериментальных значений была получена формула дисперсионной зависимости серого вещества бычьего головного мозга:

$$n_{\text{серое в-во}}^2(\lambda) = 1 + \frac{0,83762 \times \lambda^2}{\lambda^2 - 5131,77365} + \frac{2,70818 \cdot 10^{35} \times \lambda^2}{\lambda^2 - 1,30416 \cdot 10^{43}} \quad (4)$$

Зависимость показателя преломления белого вещества бычьего головного мозга от длины волны в диапазоне 480-1550 нм и аппроксимация данных отражены на рисунке 5.

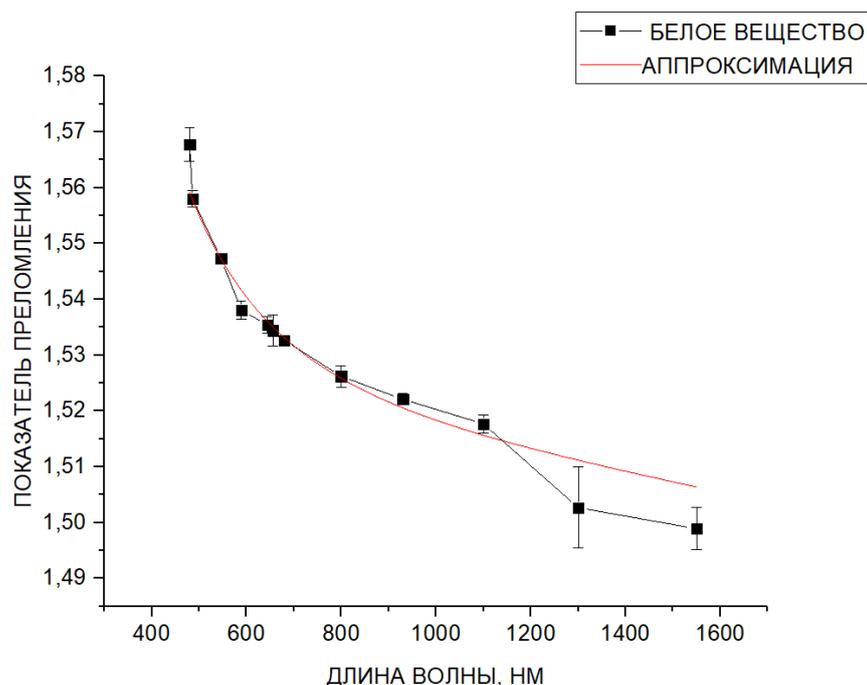


Рисунок 5 - Аппроксимация измерение дисперсионной зависимости белого вещества бычьего головного мозга

Формула Зельмейера, позволяющая восстановить значение показателя преломления белого вещества бычьего головного мозга в диапазоне 480-1550 нм принимает вид:

$$n_{\text{белое в-во}}^2(\lambda) = 1 + \frac{1,29012 \times \lambda^2}{\lambda^2 - 24503,0571} + \frac{2,23541 \cdot 10^{36} \times \lambda^2}{\lambda^2 - 9,67476 \cdot 10^{43}} \quad (5)$$

Последним исследуемым компонентом бычьего головного мозга была паутинная оболочка. Аппроксимация дисперсионной зависимости показателя преломления паутинной оболочки бычьего мозга для диапазона 480-1550 нм. показана на рисунке 6.

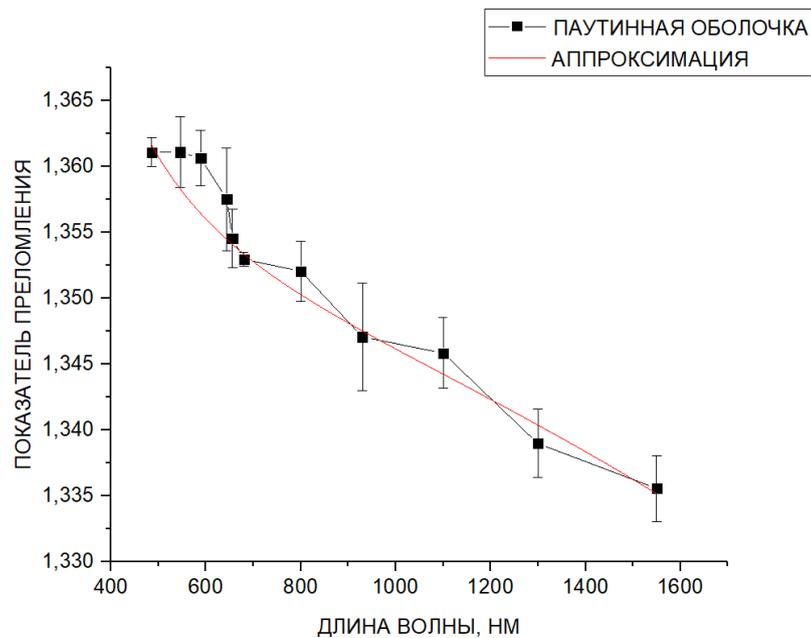


Рисунок 6-Аппроксимация дисперсионной зависимости паутинной оболочки

В результате аппроксимации экспериментальных значений, формулу Зельмейера (1) можно записать в следующем виде:

$$n_{\text{паутинная об-ка}}^2(\lambda) = 1 + \frac{0,82651 \times \lambda^2}{\lambda^2 - 10008,33051} + \frac{-2,45947 \cdot 10^6 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (-1,21024) \cdot 10^{14}} \quad (6)$$

На рисунке 12 даны дисперсионные зависимости всех измеренных тканей бычьего головного мозга: спинномозговой жидкости, серого вещества, белого вещества и паутинной оболочки.

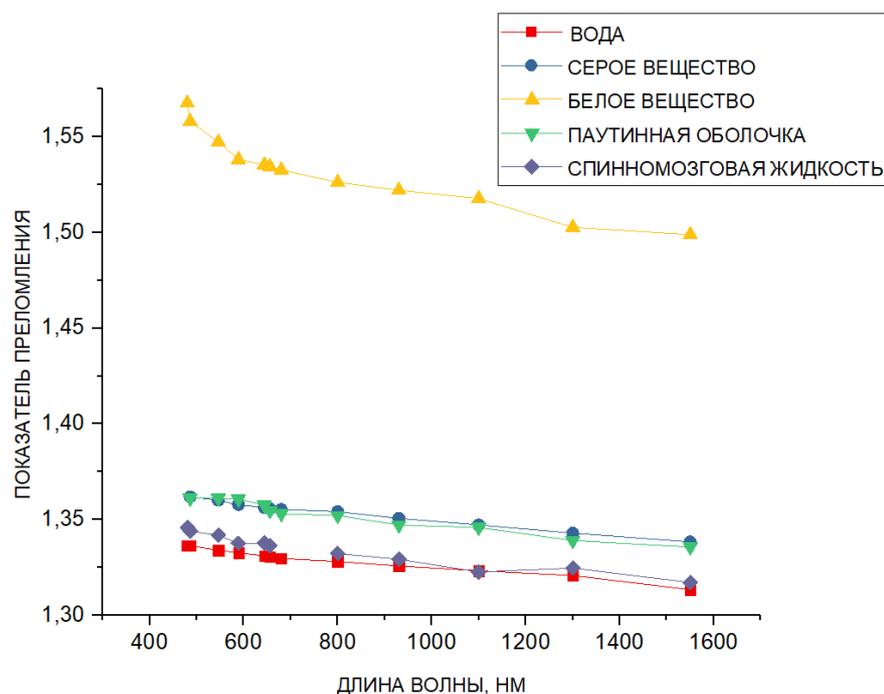


Рисунок 12 – Дисперсионная зависимость показателя преломления воды и различных тканей бычьего головного мозга

Таблица 5 – Сравнение данных показателя преломления тканей головного мозга

Биоткань	Данная работа ( $n_{589}$ )	Литературные данные	
		n	Ссылка, пояснение (объект исследования, метод исследования)
Спинномозговая жидкость	$1,3375 \pm 0,0034$	1,335	[2], мозг человека
Серое вещество	$1,3577 \pm 0,001$	1,36	[2], мозг человека

Белое вещество	1,5381±0,0016	1,38	[2], мозг человека
Паутинная оболочка	1,3606±0,0021	-	-

В таблице 5 дано сравнение экспериментальных данных значений показателя преломления тканей бычьего головного мозга для длины волны 589 нм и литературных данных.

По данным литературы, показатель преломления серого вещества равен 1,36 на длине волны 589 нм [2], что хорошо соответствует полученным экспериментальным данным. Так же можно и сказать про спинномозговую жидкость, так как экспериментальные данные не сильно разнятся от литературных, а различия могут объясняться индивидуальными особенностями образцов.

Белое вещество в данной работе бралось с области близкой к спинному мозгу и таким образом, чтобы содержание воды было минимальным. Так как сухой остаток состоит по большей части из жиров, которые имеют высокий показатель преломления 1,47 [2], то допустимо значение показателя преломления 1,5381±0,0016, измеренное в данной работе.

**В заключении** приводится перечень основных выводов, полученных в результате проведенных исследований, и кратко суммируются основные результаты, полученные при выполнении данной работы.

Были измерены показатели преломления тканей бычьего головного мозга в диапазоне волн от 480 до 1550 нм, построены графики зависимости показателя преломления от длины волны, графики аппроксимации измерений дисперсионной зависимости.

Полученные данные могут стать основой для дальнейшего изучения тканей головного мозга.

## Список используемой литературы

1. Kedenburg, S., Vieweg, M., Gissibl, T. and Giessen, H. Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear optical liquids in the visible and near-infrared spectral region/ Opt. Mat. Express. 2012. Vol. 2 № 11. P. 1588-1611.
2. Тучин, В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. - 2-е изд. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 208 с.
3. Курунина, Г. М. Рефрактометрический метод анализа [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.М. Курунина ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 535,86КБ). – Волжский, 2020. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.
4. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы химии [Текст]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград : Химия. Ленингр. отд-ние, 1974. - 400 с..
5. Савельев И. В. Курс общей физики: в 3 т. / И. В. Савельев. - 3-е изд., испр. – М. : Наука, 1986-1988.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Оптика. М.: Наука, 1980.-752 с.
7. Фихман Б.А. микробиологическая рефрактометрия. - М.: Медицина , 1967. - 281 с.