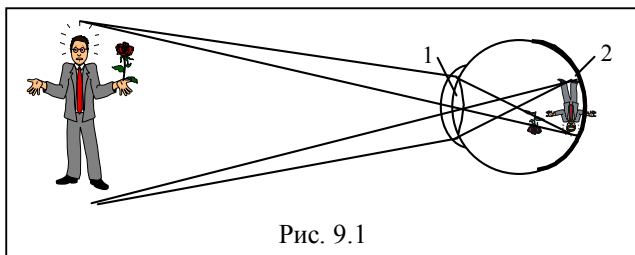


Лабораторная работа № 9

Исследование аметропии глаза путем наблюдения спекл-структуры

Цель работы – определение аметропии зрения (близорукости или дальнозоркости) с помощью картины спеклов.

Во многих оптических измерениях, осуществляемых при помощи зрительных труб, микроскопов, интерферометров и т.д., оптическое излучение регистрируется непосредственно глазом наблюдателя. Человеческий глаз имеет сложное строение, но для описания оптических свойств [8, 10, 25] достаточно учитывать такие его оптические детали как *хрусталик* 1 (собирающую линзу) и фоточувствительную *сетчатку* 2 (рис. 9.1). По своему



оптическому устройству глаз во многом напоминает фотоаппарат. Свет, поступающий в глаз от внешнего источника, преломляется в хрусталике

и дает действительное перевернутое изображение предмета на поверхности сетчатки. Однако, зрение – сложный психологический процесс, который не сводится только к образованию изображения предметов на сетчатке глаза [26]. Работу зрения организует мозг. Реально никакой перевернутой картины мы не видим, наблюдаемое изображение предмета соответствует самому предмету. Разум автоматически "переворачивает" изображение, образованное на сетчатке.

Основной оптической характеристикой линзы или оптической системы (в том числе глаза) является оптическая сила – величина, обратная фокусному расстоянию линзы (системы) F :

$$D = 1/F. \quad (1)$$

Единицей оптической силы служит диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м. Оптическая сила характеризует способность оптической системы к рефракции (преломлению лучей).

В отличие от твердого стеклянного объектива фотоаппарата основная оптическая деталь глаза – хрусталик представляет собой прозрачное упругое двояковыпуклое тело. Хрусталик расположен в кольце из особых мышц, которые могут сжиматься и разжиматься. Если мы рассматриваем

предмет, расположенный близко от глаза, мышца сжимается, хрусталик ею сдавливается, становится более выпуклым и его фокусное расстояние делается короче. Если мы смотрим вдаль, мышца ослабляется, хрусталик растягивается, его фокусное расстояние увеличивается. Изменения радиуса кривизны упругого тела хрусталика и позволяют получать на сетчатке глаза резкое изображение различно удаленных предметов. Эта способность глаза называется *аккомодацией*. Процесс наводки глаза на фокус происходит произвольно, как бы автоматически.

Область расстояний предмета от глаза, в которой благодаря аккомодационной способности глаза можно получить изображение, сфокусированное на сетчатке, называют областью ясного зрения (областью аккомодации). Минимальное расстояние, на котором глаз еще способен давать резкое изображение предмета, называется *ближней точкой ясного видения*, а соответствующее максимальное расстояние – *дальней точкой ясного видения*.

Ширина аккомодации различна у разных людей, она изменяется также с возрастом. Так называемый *эмметропический* (нормальный) глаз в ненапряженном состоянии благодаря аккомодации может с полной резкостью видеть предметы с расстояния 10 см и до практически бесконечно удаленных (Луна, планеты, звезды и другие небесные светила). Он способен собирать параллельные лучи в точку F на сетчатке (рис. 9.2а), т.е. дальняя точка ясного видения для такого глаза находится на бесконечности. Расстояние 250 мм считается наиболее удобным для рассматривания предметов, оно называется *расстоянием наилучшего зрения*.

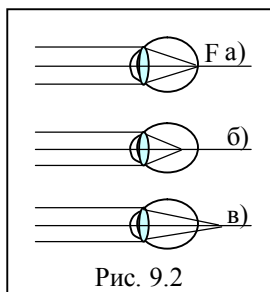


Рис. 9.2

с возрастом. Так называемый *эмметропический* (нормальный) глаз в ненапряженном состоянии благодаря аккомодации может с полной резкостью видеть предметы с расстояния 10 см и до практически бесконечно удаленных (Луна, планеты, звезды и другие небесные светила). Он способен собирать параллельные лучи в точку F на сетчатке (рис. 9.2а), т.е. дальняя точка ясного видения для такого глаза находится на бесконечности. Расстояние 250 мм считается наиболее удобным для рассматривания предметов, оно называется *расстоянием наилучшего зрения*.

Объем аккомодации измеряется предельным количеством диоптрий, на которые глаз способен изменять свою рефракцию. С возрастом человека происходит уменьшение эластичности хрусталика глаза и постепенная утрата аккомодационной способности. Так, к десяти годам оптическая сила глаза может изменяться от 0 до 14 диоптрий, к 25 годам - от 0 до 10 диоптрий, к 50 годам – от 0 до – 2,5 диоптрий. В возрасте старше 75 лет аккомодация практически равна нулю. При этом дальняя и ближняя точки ясного видения сливаются и находятся на расстоянии 400 мм от глаза.

Как уже отмечалось, четкое изображение предмета будет осуществляться в глазу, если оно попадает на сетчатку. Однако глазу свойственны недостатки. Если изображение предмета не попадает на сетчатку, то глаз является *аметропическим*. Различают два вида аметропии: *миопию* или

близорукость, при которой изображение предмета получается перед сетчаткой (рис. 9.2б), и *гиперметропию* или дальнозоркость, при которой изображение предмета получается за сетчаткой (рис. 9.2в). Как при близорукости, так и при дальнозоркости изображение на сетчатке нечеткое, каждая точка предмета отображается кружком. Для получения четкого изображения в обоих случаях нужны очки: при близорукости - с вогнутыми линзами (т.е. рассеивающими), при дальнозоркости – с выпуклыми (т.е. собирающими) стеклами.

Возможную аметропию глаза исследователя учитывают при проектировании оптических приборов. Окуляры в таких приборах могут перемещаться вдоль оси, что позволяет изменять некоторые параметры оптической системы и обеспечить наблюдение изображения без напряжения глаза.

Аметропию глаза можно определять различными методами. В медицине (офтальмологии), например, для этого используют специальные таблицы.

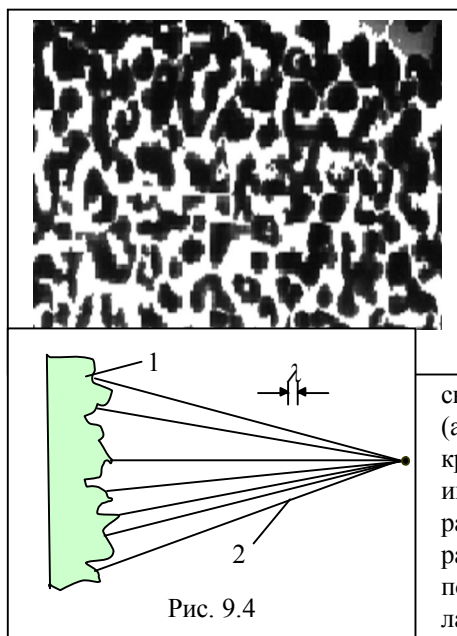


Рис. 9.4

В данной лабораторной работе аметропия определяется путем наблюдения *спеклов* (спекл-структуры) [27].

Если объект, поверхность которого диффузно отражает свет, освещать лазером, то в рассеянном излучении наблюдается так называемая *спекл-картина*, изображенная на рис. 9.3. Спекл-картина представляет собой хаотическое скопление темных и светлых пятен

(англ. "speckles" означает пятнышки, крапинки) и является результатом интерференции вторичных волн 2, распространяющихся от небольших рассеивающих центров на диффузной поверхности 1 объекта (рис. 9.4). Т. к. лазерное излучение обладает высокой степенью пространственной и

временной когерентности, вторичные рассеянные волны также когерентны и могут интерферировать, несмотря на то, что расстояния, пройденные рассеянными волнами, могут отличаться на много длин волн. Интерференция сдвинутых по фазе когерентных вторичных волн приводит к "зернистому" распределению интенсивности в спекл-картине. Диффузно отражающий

временной когерентности, вторичные рассеянные волны также когерентны и могут интерферировать, несмотря на то, что расстояния, пройденные рассеянными волнами, могут отличаться на много длин волн. Интерференция сдвинутых по фазе когерентных вторичных волн приводит к "зернистому" распределению интенсивности в спекл-картине. Диффузно отражающий

свет объект создает спекл-структуру во всем окружающем его пространстве.

Спеклы часто являются нежелательным свойством лазерного излучения. Они, в частности, существенно снижают качество голографических изображений. Разработаны методы, уменьшающие влияние *спекл-шума* при работе с когерентным излучением. Однако оказалось, что спекл-картины не всегда являются вредным эффектом. В настоящее время свойства спекл-структур используются в оптических методах измерения смещений, деформаций, вибраций, определение формы и качества диффузных поверхностей и т.д.

Нетрудно оценить по порядку величины размер зерна (средний размер пятна) $\langle d \rangle$ в спекл-картине. Рассмотрим случай, когда свет распространяется через систему формирования изображения (рис. 9.5), где 1 – лазерный пучок, 2 – рассеиватель, 3 – плоскость регистрации.

В этом случае для объяснения наблюдаемой картины необходимо учитывать как интерференцию, так и дифракцию вторичных когерентных волн.

При этом рассеянный диффузным объектом свет регистрируется на фоточувствительном материале после того, как он прошел через линзу, проецирующую объект на материал. Перед линзой располагается диафрагма диаметром D' . Спекл-картина будет наблюдаться при условии, что диаметр отдельного рассеивающего центра диффузного объекта d гораздо меньше диаметра отверстия D и в плоскости регистрации имеется существенное перекрытие между дифрагированными пучками от различных рассеивающих центров. Для этого расстояние L между диффузным объектом и линзой должно быть таким, чтобы выполнялось неравенство:

$$L > \frac{d \cdot D}{\lambda}.$$

Размер пятна в плоскости регистрации определяется следующим приближенным выражением

$$\langle d \rangle = \frac{2\lambda L'}{D'}, \tag{2}$$

где L' – расстояние между линзой и плоскостью регистрации.

Устройство на рис. 9.5 соответствует случаю, когда рассеивающий объект наблюдается непосредственно глазом. При этом линзой служит хрусталик, а плоскостью регистрации – сетчатка глаза. Соответственно, вели-

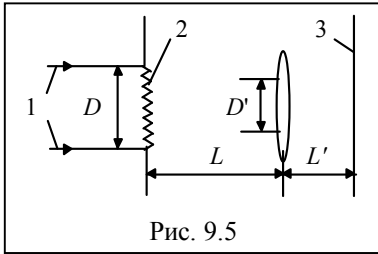


Рис. 9.5

чина $\langle d' \rangle$, определяемая выражением (2), представляет собой диаметр пятна на сетчатке глаза. Заметим, что видимый диаметр зерна на рассеивающей поверхности

$$\langle d' \rangle = \langle d \rangle \frac{L}{L'} = 2\lambda \frac{L}{D'}. \quad (3)$$

Он возрастает с увеличением расстояния L между наблюдателем и диффузным объектом, и уменьшается с увеличением диаметра зрачка (например, когда глаз адаптируется к темноте).

Методика выполнения работы

В основе метода, применяемого в данной работе для определения аметропии глаза, лежат следующие свойства спекл-структуры.

Предположим, что зрение нормальное и глаз аккомодирован на бесконечность. Тогда любой луч, например АВ, попадает в фокус F глаза О (рис. 9.6а). Если глаз сместится вверх перпендикулярно прямой OF, то луч АВ займет положение, показанное на рис. 6б, и после преломления опять попадет в фокус F, а спекл-структура при этом останется неподвижной.

Предположим теперь, что глаз близорукий. В этом случае луч АВ придет в точку С на сетчатке глаза (рис. 9.7а). Если глаз смещается вверх, то луч АВ займет положение, показанное на рис. 9.7б, и при этом спекл-структура на сетчатке также сместится вверх. Реально наблюдатель видит смещение спекл-картины в противоположную сторону, т.е. вниз.

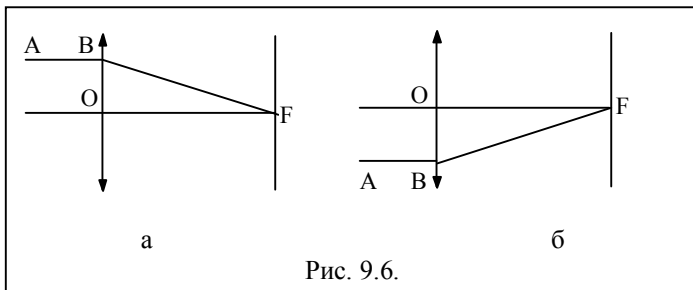


Рис. 9.6.

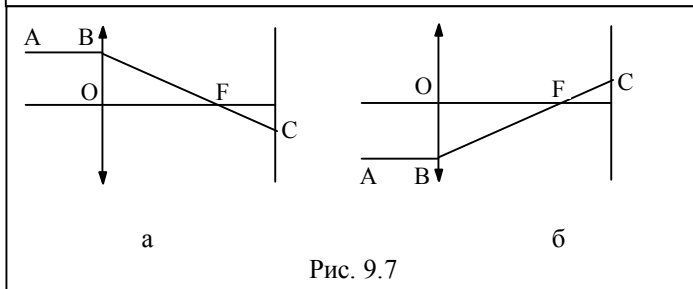


Рис. 9.7

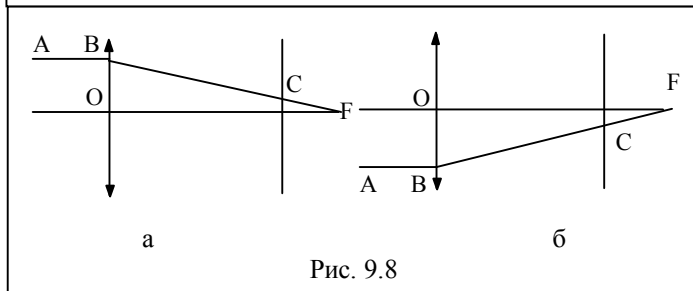


Рис. 9.8

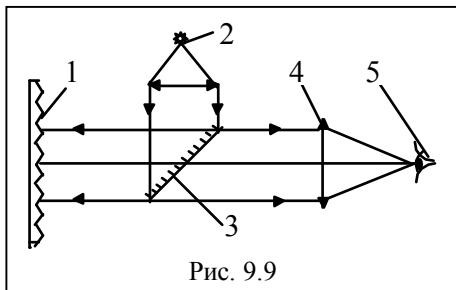
В случае дальнозоркого глаза (рис. 9.8а) при смещении глаза вверх спекл-структура на сетчатке глаза смещается вниз (рис. 9.8б), а наблюдатель видит ее смещение вверх.

Аналогичные смещения спекл-структуры наблюдаются при смещении глаза в горизонтальном направлении. При дальнозоркости спекл-картина смещается в сторону движения глаза, при близорукости – в противоположную.

Следовательно, для исправления аметропии зрения нужно очковое стекло такой оптической силы, при которой спекл-структура на сетчатке глаза остается неподвижной, несмотря на смещение головы.

Установка для определения аметропии глаза (рис. 9.9) состоит из гелий-неонового лазера с длиной волны излучения 633 нм, диффузного эк-

рана 1, который освещается лазером с помощью полупрозрачного зеркала 3, и набора очковых стекол 4. Исследуемый глаз 5 наблюдает спекл-картину.



Порядок выполнения работы

1. Собрать схему установки, изображенную на рис. 9.9.
2. Включить лазер, предварительно убедившись в невозможности попадания в глаз прямого или зеркально отраженного луча.
3. В отсутствие линзы рассмотреть световое пятно на экране. Убедиться в том, что размеры зерен в картине спеклов изменяются при изменении расстояния до экрана в соответствии с соотношением (3).
4. Смещая голову в вертикальном (горизонтальном) направлении, пронаблюдать смещение спекл-структуры. Определить тип аметропии своего глаза.
5. Устанавливая в держатель очковые стекла с различной оптической силой (от меньших диоптрий к большим), подобрать такое стекло, при котором спекл-структура не смещается при смещении головы.
6. Если глаз эметропический (нормальный), установить по указанию преподавателя в держатель линзу с неизвестной оптической силой. Далее определить ее оптическую силу в соответствии с п.5.