

### Задание 3. Глаз

Глаз человека представляет собой уникальный оптический прибор, посредством которого мозг получает зрительную информацию. Согласно усредненным данным *глазное яблоко* можно считать шаром диаметра  $D = 24 \text{ мм}$ , который заполнен *стекловидным телом* 2. Основным оптическим элементом глаза является *хрусталик* 3, который можно считать тонкой линзой с переменным фокусным расстоянием. Процесс изменения фокусного расстояния (оптической силы) глаза называется *аккомодацией*. В процессе аккомодации человек

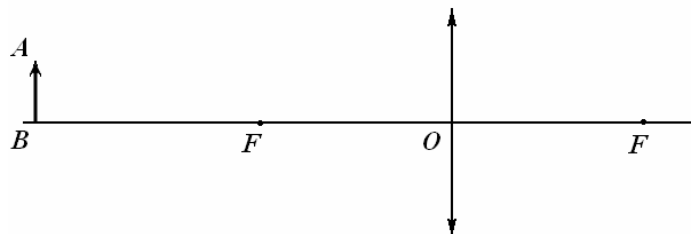
может с сохранением резкости достаточно быстро переводить взгляд с более удаленных предметов на менее удаленные (или наоборот).

Описание оптических свойств глаза чрезвычайно сложно, поэтому мы рассмотрим предельно упрощенную оптическую схему глаза, состоящую из линзы переменного фокусного расстояния (моделирующую хрусталик) находящуюся в воздухе, и плоского экрана (моделирующего сетчатку), расположенного на расстоянии от линзы равном диаметру глазного яблока  $D$  и перпендикулярного главной оптической оси линзы. Диаметр линзы примем равным диаметру хрусталика  $d = 4,0 \text{ мм}$ .



#### Часть 1. Введение.

Предмет  $AB$  находится на расстоянии  $a$  от тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$ .



1.1 Постройте изображение предмета в линзе.

1.2 Используя сделанное построение, покажите, что расстояние от предмета до линзы  $a$ , расстояние от линзы до изображения  $b$  и фокусное расстояние линзы  $F$  связаны соотношением (которое называется формулой линзы<sup>1</sup>)

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}. \quad (1)$$

1.3 Пусть предмет находится на расстоянии  $a$  от тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$  ( $a > F$ ). На какое расстояние  $\Delta b$  и в какую сторону переместится изображение предмета, если расстояние  $a$  увеличится на малую величину  $\Delta a$ .

Подсказка. Рекомендуем использовать приближенную формулу, справедливую при малых  $\Delta a$ :

<sup>1</sup> Если Вам не удалось доказать справедливость формулы тонкой линзы, то используйте ее как «очевидный» факт при выполнении последующих пунктов задачи.

$$\frac{1}{a + \Delta a} = \frac{1}{a \left( 1 + \frac{\Delta a}{a} \right)} \approx \frac{1}{a} \left( 1 - \frac{\Delta a}{a} \right) \quad (2)$$

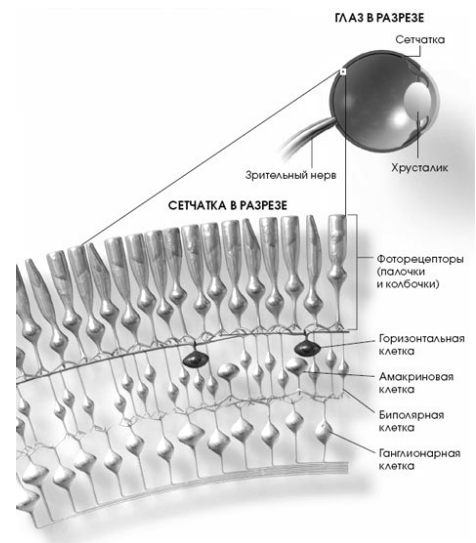
## Часть 2. Изменение фокусного расстояния глаза.

Согласно физиологическим исследованиям, благодаря процессу аккомодации глаза здоровый человек может с незначительной временной задержкой переводить взгляд с предметов, расположенных «на бесконечности»  $a_1 = \infty$  на предметы, расположенные на расстоянии  $a_0 = 25 \text{ см}$ , при котором можно наиболее отчетливо рассмотреть мелкие детали предмета без перенапряжения мышц хрусталика.

**2.1** Вычислите пределы ( $F_{\min}$  и  $F_{\max}$ ) изменения фокусного расстояния хрусталика глаза при этом.

## Часть 3. Глубина резкости.

Сетчатка глаза человека содержит светочувствительные клетки (фоторецепторы) двух типов: колбочки (для восприятия цветного изображения) и палочки (для восприятия черно-белого (сумеречного) изображения). Среднее количество колбочек в сетчатке глаза  $N_1 = 6,0 \cdot 10^6$ , палочек  $N_2 = 1,2 \cdot 10^8$ . В центральной ямке (желтом пятне) глазного яблока концентрация колбочек на единицу площади максимальна, а палочек там практически нет. Примем, что все колбочки расположены в пределах желтого пятна, радиус которого  $r = 2,5 \text{ мм}$ . Палочки расположены пределами желтого пятна на задней полусфере глазного яблока. Каждый фоторецептор создает изображение независимо от других фоторецепторов.



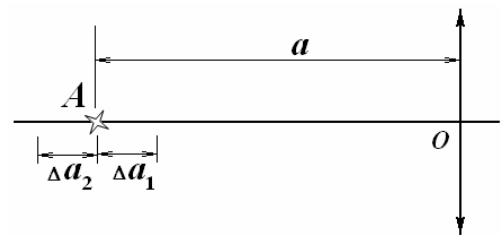
за

**Будем считать, что точка видна резко, если она проецируется на одну колбочку в желтом пятне.**

Пусть точка  $A$  находится на главной оптической оси на расстоянии  $a_0 = 25 \text{ см}$  от глаза.

**3.1** На какое расстояние  $\Delta a_1$  ее можно приблизить к глазу, чтобы изображение осталось резким?

**3.2** На какое расстояние  $\Delta a_2$  ее можно удалить от глаза (без изменения фокусного расстояния хрусталика), чтобы изображение осталось резким?



## Часть 4. Разрешающая способность.

Две точки находятся на расстоянии  $a_0 = 25 \text{ см}$  от хрусталика глаза на малом расстоянии  $h$  друг от друга.

**4.1** При каком расстоянии минимальном расстоянии  $h$  эти точки будут видны раздельно?

