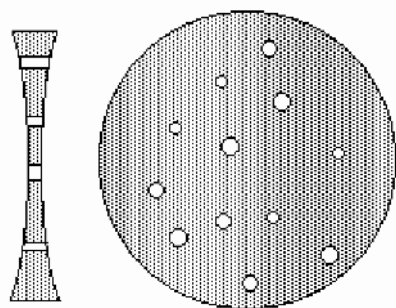


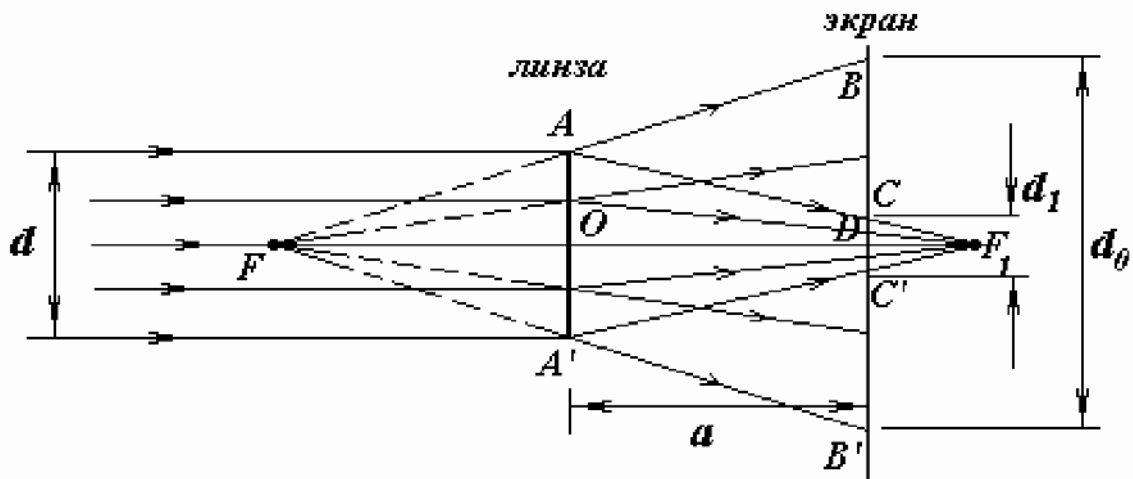
Условие

2. Для изготовления тонкой линзы пространство между двумя сферическими тонкими поверхностями залили материалом с показателем преломления $n_0 = 1,69$. В процессе изготовления линзы был допущен технологический брак, из-за чего внутри линзы оказалось множество небольших воздушных пузырьков, касающихся обеих граней линзы, и равномерно распределенных по поверхности линзы. Полученную таким образом двояковогнутую линзу поместили в воду (показатель преломления $n_1 = 1,33$), и на расстоянии $a = 40$ см за линзой расположили экран параллельно плоскости линзы. Линзу полностью осветили параллельным пучком света, направленным вдоль главной оптической оси. На экране образовался светлый круг, диаметр которого в два раза больше диаметра линзы. Кроме того, в центре этого светлого круга образовалось небольшое круглое пятно, освещенность которого в $\eta = 3,0$ раза больше освещенности остального круга. Определите суммарную площадь (в процентах к общей площади линзы) пузырьков в линзе. Дифракцией света пренебrecь.



Решение

11.2 Так как показатель преломления материала линзы больше, чем показатель преломления воды, то такая линза, помещенная в воду, будет рассеивающей. Множество пузырьков воздуха, вкрапленных в линзу, тоже можно рассматривать как линзу, но с показателем преломления равным 1. В воде такая линза будет собирающей. Таким образом, больший светлый круг образован лучами, преломившимися в основном материале линзы, а более яркий кружок - лучами, преломившимися в пузырьках воздуха.



Рассмотрим ход лучей, преломившихся на основном материале линзы. Крайние лучи этой группы AB , $A'B'$ образуют границу освещенной области. Так как, диаметр d_0 освещенного круга BB' в два раза больше диаметра d линзы AA' , фокусное расстояние F_0 линзы (OF) равно расстоянию a между линзой и экраном (OD). Как известно, фокусное расстояние линзы определяется по формуле

$$\frac{1}{F} = (n' - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad (1)$$

где R_1, R_2 - радиусы кривизны преломляющих поверхностей, n' - относительный показатель преломления линзы (относительно среды). Поэтому отношение фокусных расстояний основной линзы F_0 и линзы «пузырьковой» F_1 , вычисляется по формуле

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{\frac{n_0}{n_1} - 1}{\frac{1}{n_1} - 1} = \frac{n_0 - n_1}{1 - n_1}. \quad (2)$$

Учитывая, что $F_0 = -a$ (линза рассеивающая!), вычислим фокусное расстояние воздушной линзы $F_1 = a \frac{n_0 - n_1}{n_1 - 1} \approx 44$ см. Теперь с помощью рисунка можем выразить диаметр более яркого пятна CC'

$$d_1 = d \frac{F_1 - a}{F_1}. \quad (3)$$

Обозначим падающий на линзу световой поток Φ , тогда поток света, преломившегося в пузырьках, будет равен $\Phi_1 = \varepsilon \Phi$ (где ε доля площади линзы занимаемой пузырьками); световой поток, преломившийся в основном материале линзы $\Phi_0 = (1 - \varepsilon)\Phi$. Освещенность поверхности пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна освещаемой площади. Поэтому освещенность светлого круга $E_0 \sim \frac{\Phi_0}{d_0^2} \sim \frac{1-\varepsilon}{4d^2}$. Освещенность поверхности, создаваемая лучами, преломившимися в пузырьках, $E_1 \sim \frac{\Phi_1}{d_1^2} \sim \frac{\varepsilon}{d^2} \left(\frac{F_1}{F_1 - a}\right)^2 \approx 120 \frac{\varepsilon}{d^2}$. Отношение освещенностей центрального пятна и остального круга, выражается формулой

$$\eta = \frac{E_0 + E_1}{E_0} = 1 + \frac{E_1}{E_0} \approx 1 + 480 \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

Из этой формулы определяем величину $\varepsilon \approx 0,4\%$