ния x (рис.1)? Этот вопрос связан с пониманием роли интерференции, суть которой заключается во взаимодействии двух волн, пришедших в точку наблюдения (рис.2): если эти волны пришли в одной фазе (или со сдвигом фаз, кратным 2π, что соответствует разности хода волн, равной целому числу длин волн), то их «горбы» и «впадины» складываются; если же волны придут в противофазе (или с разностью хода, равной нечетному числу полуволн), то результатом их взаимодействия в данной точке может стать взаимное уничтожение.

Чтобы понять суть дела, повторим геометрические построения, которые до нас догадался сделать Огюстен Френель еще в начале прошлого века. Проведем из точки наблюдения P (рис.3) несколько лучей: один из них пусть пройдет через центр отверстия, другой будет ровно на $\lambda/2$ длиннее, следующий на $\lambda/2$ длиннее предыдущего, ..., и опишем, как ножкой циркуля, каждым из этих лучей окружности в плоскости отверстия с радиусами r_1, r_2, ... Далее, разобьем первый круг на кольца ($а_1$, $б_1$, ..., $э_1$, $ю_1$, $я_1$) одной и той же площади. Согласно Гюйгенсу и Френелю, каждое из этих колец посылает в точку P вторичные волны (первичная волна пришла в плоскость самого отверстия), причем их амплитуды пропорциональны площадям колец (они, по построению, одинаковы), а сдвиг фаз нарастает с удалением от центра и достигает величины, соответствующей разности хода $\lambda/2$ у края зоны радиусом r_1 (так называемой первой зоны Френеля). Этот набор слов иллюстрируется на рисунке 3 справа в виде малых векторов $\vec{а}_1$, $\vec{б}_1$, ..., $\vec{ю}_1$, $\vec{я}_1$, имеющих (почти) одинаковую длину, но повернутых друг относительно друга на упомянутую разность фаз, причем последний вектор $\vec{я}_1$ по договору повернут относительно $\vec{а}_1$ на 180° (или π), что и свидетельствует о разности хода $\lambda/2$ между соответствующими волнами. Сумма всех этих малых векторов равна $\vec{A}_1$. А почему упомянуто слово «почти»? Да потому что кольцо $я_1$ все-таки дальше от точки наблюдения, чем центральный диск $а_1$; следовательно, пришедший от него в точку P сигнал будет чуть слабее.

Проделаем аналогичные построения для кольца, лежащего между окружностями с радиусами r_1 и r_2 (вторая зона Френеля). В результате сумма возмущений $\vec{а}_2$, $\vec{б}_2$, ..., $\vec{ю}_2$, $\vec{я}_2$, приходящих от элементов этого кольца, даст вектор $\vec{A}_2$, противоположно направленный по отношению к вектору $\vec{A}_1$ (и несколько меньший по модулю). Таким образом, вторичные волны, пришедшие от второй зоны Френеля, почти полностью погасят те, которые пришли от первой зоны.

Уже на этом этапе почти все понятно: из отверстия радиусом r_1 в точку P придет света гораздо больше, чем из отверстия радиусом $r_2 > r_1$. Значит, уменьшив площадь отверстия, мы увеличили освещенность в точке наблюдения! Но продолжим увеличивать радиус отверстия. Достигнув трех зон Френеля, увидим, что вектор $\vec{A}_3$ будет почти равен вектору $\vec{A}_1$, и, следовательно, освещенность в точке P возрастет. Открыв четвертую зону, мы вновь почти погасим свет в точке наблюдения; пятая зона приведет опять к росту освещенности и т.д. Когда непрозрачное препятствие полностью исчезнет, спираль (так называемая спираль Френеля) свернется в центр окружности диаметром A_1, а в точке P останется первичная волна с амплитудой A_0, приблизительно вдвое меньшей A_1.

Но пора бы сделать и численные оценки. Из прямоугольного треугольника $Oя_1P$ (см. рис.3) можно найти радиус первой зоны Френеля:

$$r_1 = \sqrt{\left(x + \frac{\lambda}{2}\right)^2 - x^2} = \sqrt{\lambda x + \frac{\lambda^2}{4}} \approx \sqrt{\lambda x} \qquad (1)$$

(здесь мы пренебрегли малой величиной $\lambda^2/4$, считая, что расстояние от отверстия до точки наблюдения много больше длины волны, т.е. $x \gg \lambda$). Аналогично найдем

$$r_2 = \sqrt{2\lambda x}\,,\ r_3 = \sqrt{3\lambda x}\,,\ \ldots,\ r_m = \sqrt{m\lambda x}\,. \qquad (2)$$

(Отметим здесь замечательный факт: площадь круга, лежащего в плоскости отверстия, пропорциональна разности длин лучей, проведенных из точки P к окружности и к центру. Причем это верно не только для дискретных значений этой разности ($\frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}$, ..., $m\frac{\lambda}{2}$), но и для любых значений. Этот факт и был использован выше при построении элементарных возмущений $\vec{а}_1$, $\vec{б}_1$, ..., $\vec{я}_1$: именно благодаря тому, что одинаковым приращениям площади соответствуют одинаковые приращения длины луча, векторы возмуще-

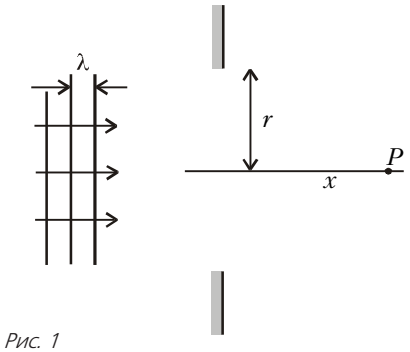

Рис. 1

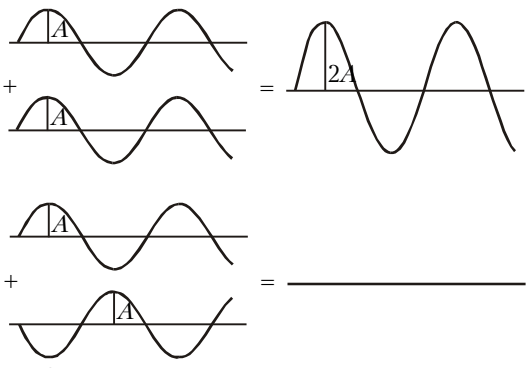

Рис. 2

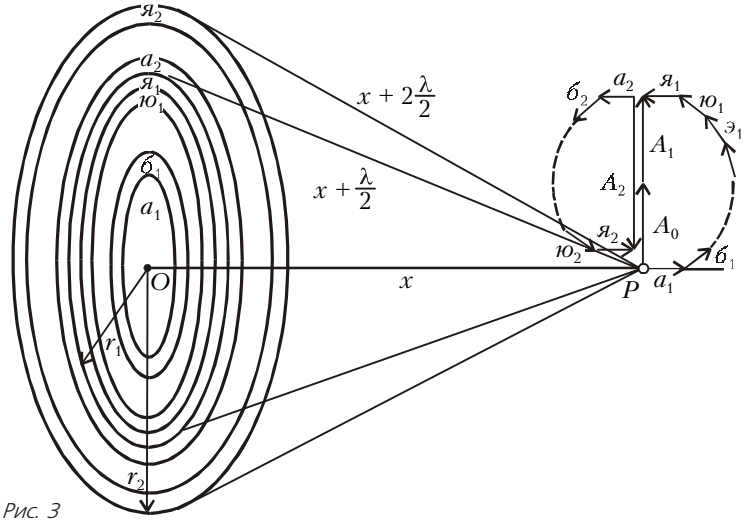

Рис. 3