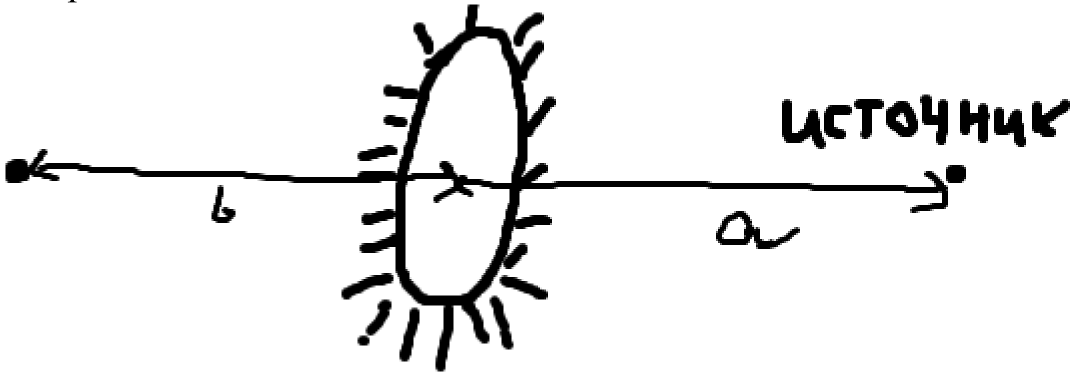
Строгую теорию дифракцию придумал Кирхгоф в конце 19 века. Но Френель, живущий в начале 19-го, будучи экспериментатором, придумал правило определения интенсивности от дифракции. Правило такое эмпирическое, которое впоследствии назвали методом зон Френеля.

Итак, у нас есть источник света и точка наблюдения. Между ними поставим плоскость, в которой у нас будет что-то, вызывающее дифракцию. Например, круглое отверстие.



Введём радиусы Френеля, вычисляющиеся по формуле

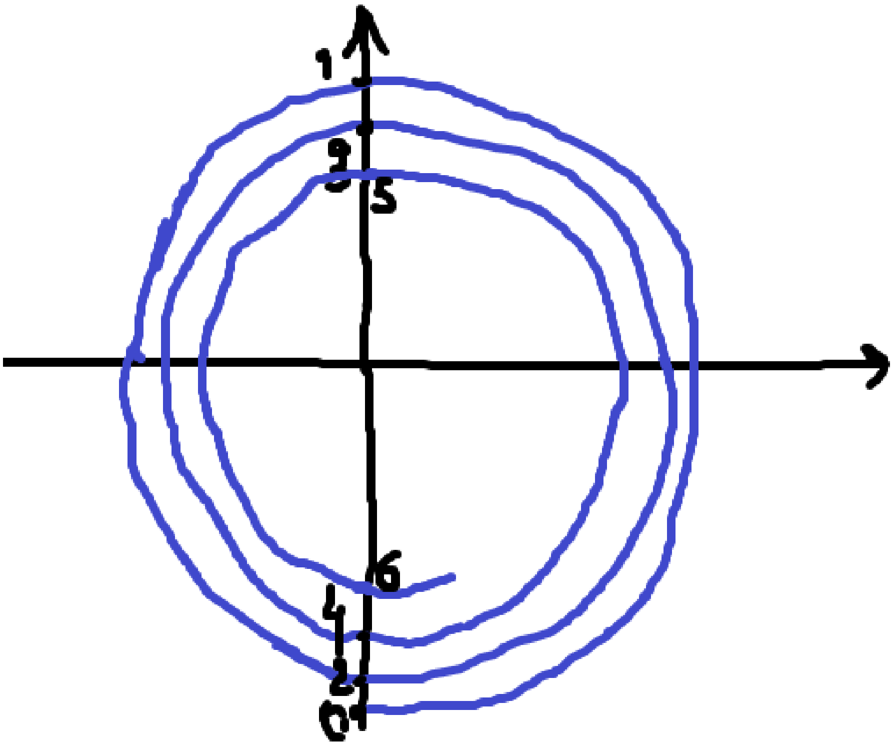
$$R_n^2 = \frac{n\lambda}{1/a + 1/b}$$

Пусть в нашей задаче отверстие оказалось аккурат первого радиуса Френеля:

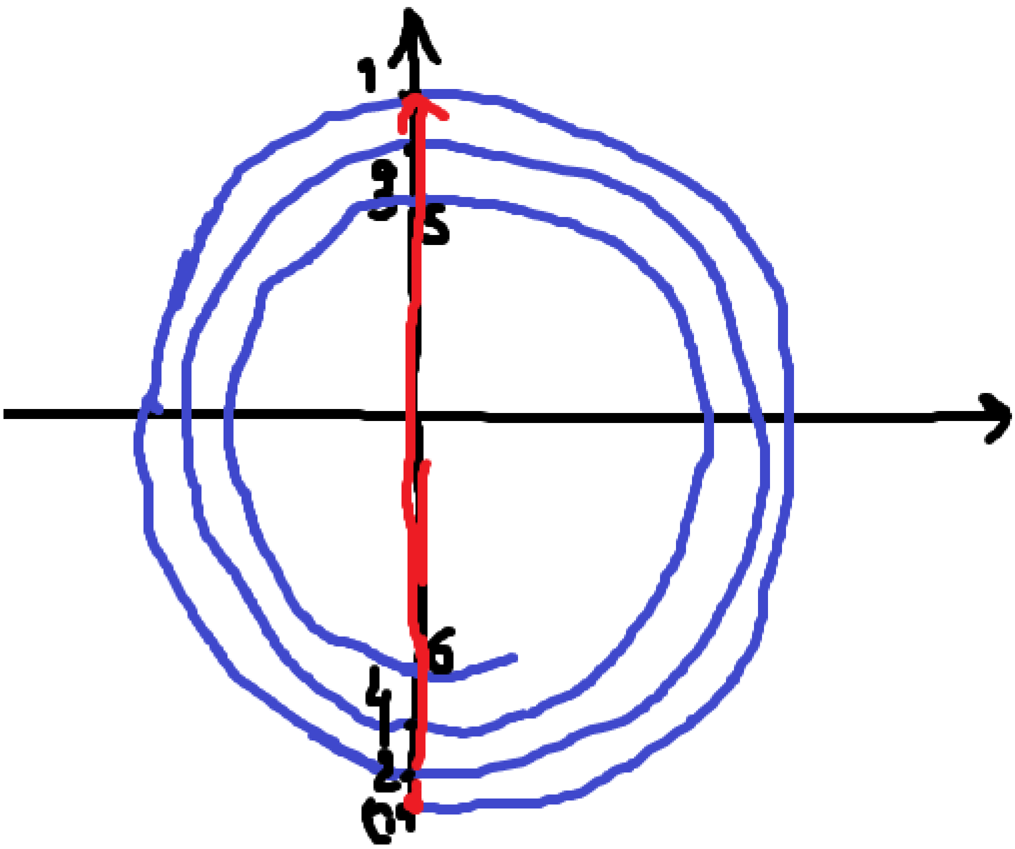
$$R_1 = \sqrt{\frac{\lambda}{1/a + 1/b}}$$

Задача: найти интенсивность в точке наблюдения, зная исходную.

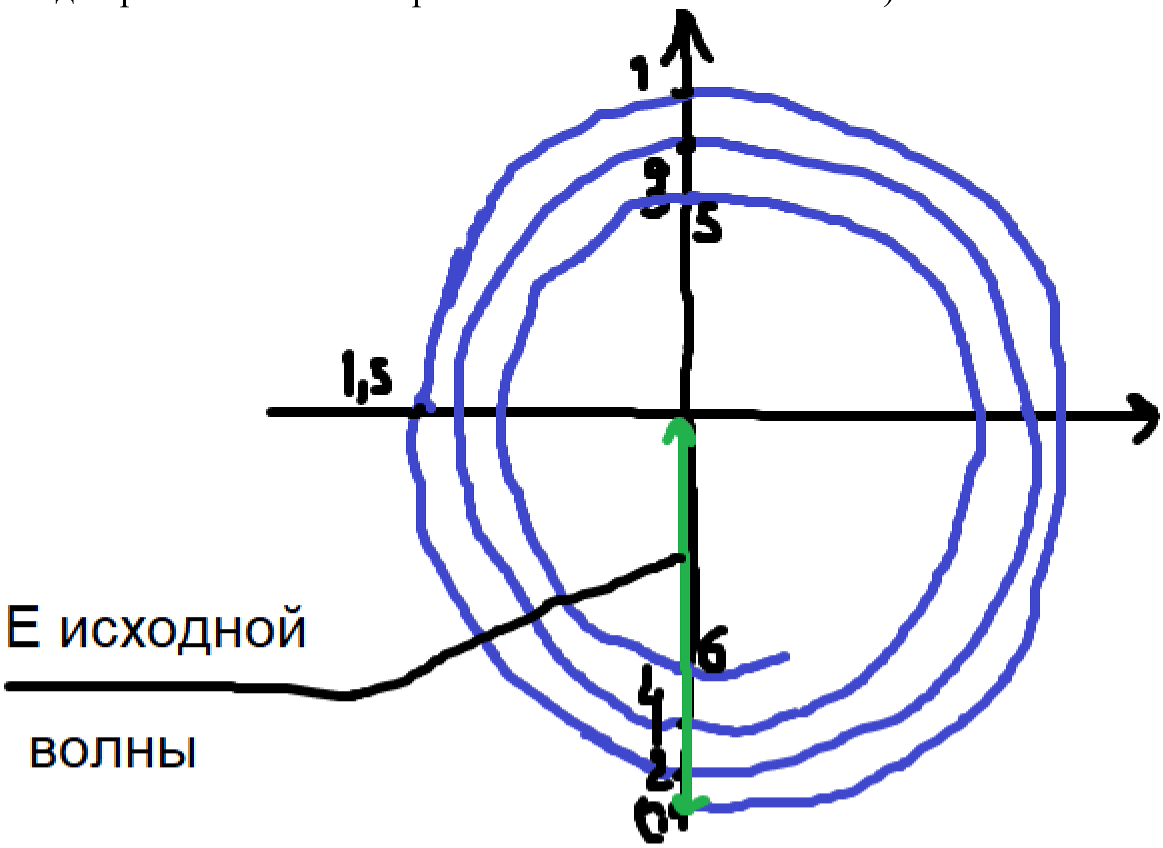
Такие задачи решаются с помощью спирали Френеля:



Какие радиусы у нас открыты? С нулевого по первый. Чертим вектор из точки 0 в точку 1:

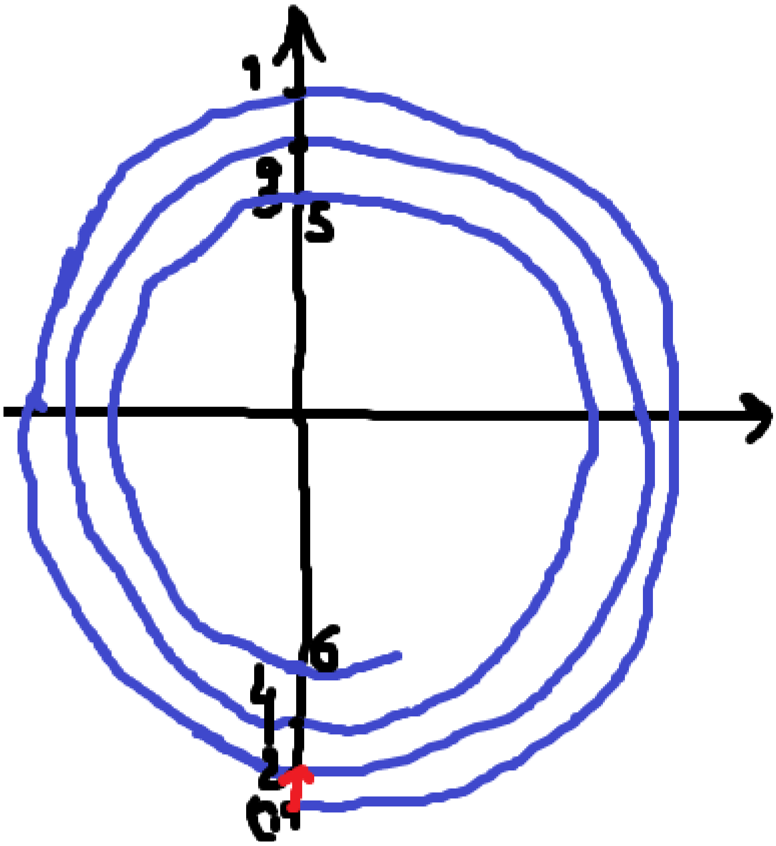


Длина этого вектора – напряжённость E (расстояние от центра спирали до точки «0» всегда принимается за напряжённость волны источника).



А тут красный вектор вдвое длинее! Значит, напряжённость будет в два раза больше, а интенсивность в четыре. Ответ: в 4 раза больше.

А что, если радиус отверстия будет равен второму радиусу Френеля? Тогда красный вектор будет

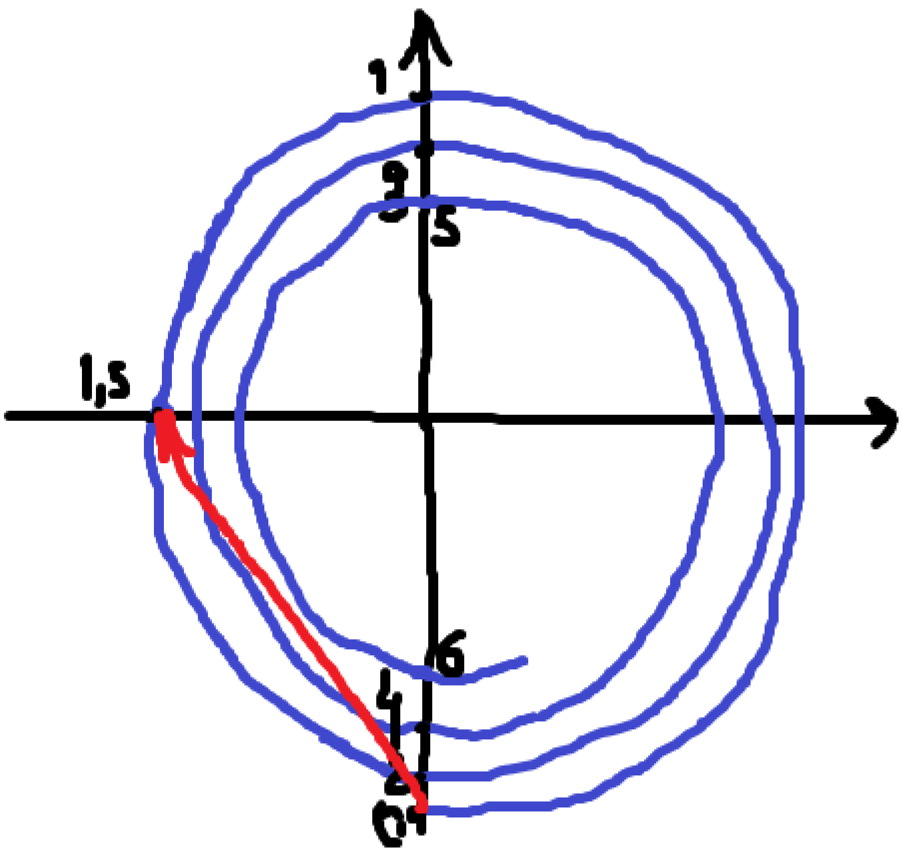


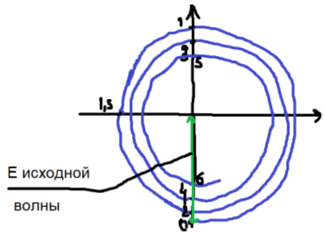
Ути-пути, какой маленький! С учётом того, что расстояние между витками бесконечно мало, получим 0. Интенсивности в точке наблюдения не будет совсем.

А если сделаем радиус отверстия равным полуторному радиусу Френеля?

$$R_{1,5} = \sqrt{\frac{1{,}5\lambda}{1/a + 1/b}}$$

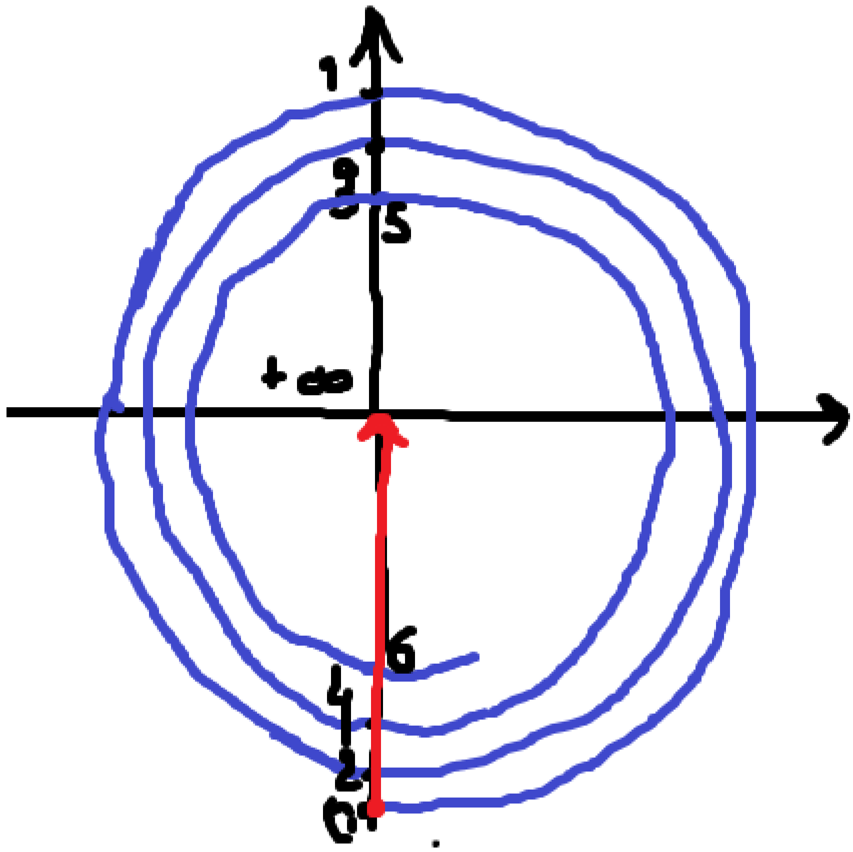
На моей иллюстрации точки с надписью «1,5» нет, но, думаю, вы догадаетесь, где она:



Получаем вектор, в sqrt(2) длиной больше, чем зелёный отрезок (

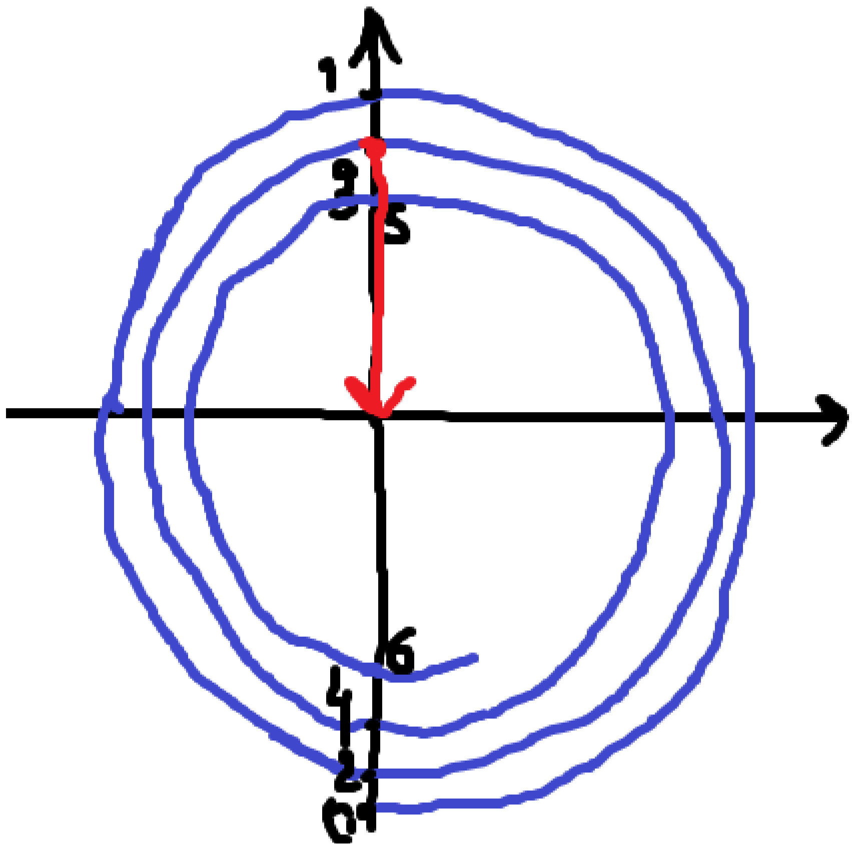
). Значит, интенсивность будет в 2 раза больше.

А что, если сделать отверстие бесконечного радиуса (т.е. считать, что его нет). Где находится точка, соответствующая бесконечному радиусу Френеля? Это центр спирали (он же центр СК). Представьте себе, что мы рисуем спираль, рисуя всё новые и новые витки. Очевидно, что в конце концов мы придём в центр. Расстояние между ними бесконечно мало, но когда этих витком будет бесконечно много, мы отодвинемся от внешнего витка на конечное расстояние и как раз придём в центр.



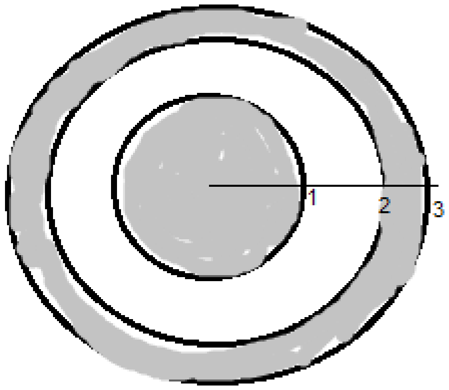
В этом случае красный вектор
будет как раз длиной с единичный зелёный отрезок. То есть интенсивность в точке наблюдения будет точно такой же, что и до. Что неудивительно – раз отверстия нет, то и дифракции не будет ☺

А что, если у нас не отверстие, а, скажем, наоборот, непрозрачный круг радиусом третьего радиуса Френеля? То есть свет проходит через все радиусы от третьего до бесконечности, а вот маленькие радиусы как раз не участвуют, т.к. их загораживает непрозрачный круг.
Рисуем вектор от тройки до бесконечности:

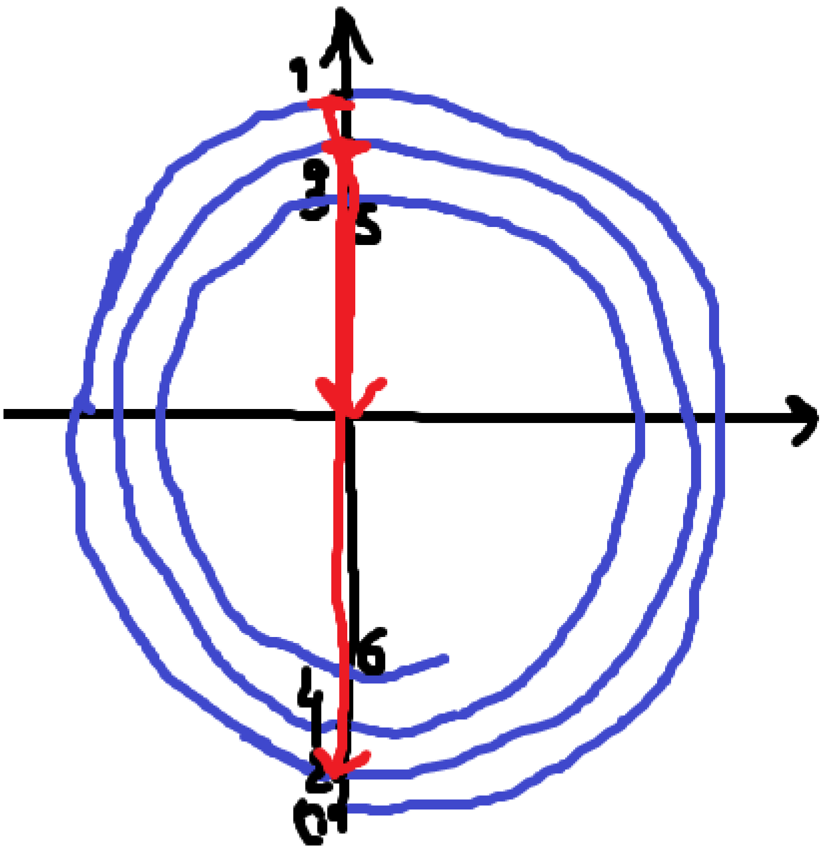


Снова длина единична и интенсивность будет той же.

А что, если одновременно будут открыты, например, радиусы с первого по второй и с третьего до бесконечности?
Это будет круг с кольцевым вырезом:

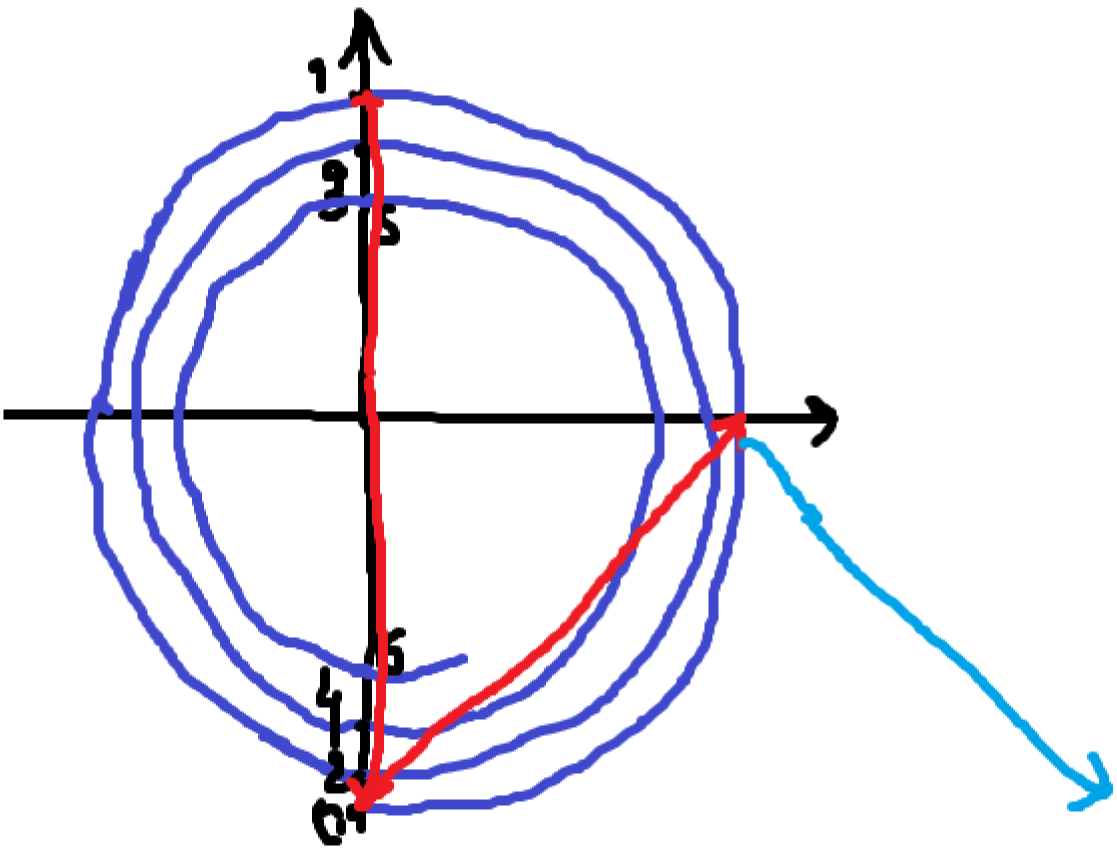


Рисуем два вектора:



Один единичной длины, другой двойной длины. Векторно их складываем, получаем вектор тройной длины. Ответ: интенсивность будет в 9 раз больше!

Заключительная задача: открыты радиусы с нулевого по половинный и с первого по второй.
Рисуем две стрелки:



Их векторная сумма будет голубая стрелка длины sqrt(2). Ответ: интенсивность будет в 2 раза больше.

Отмечу, что складывать нужно именно векторно! Напряжённости от разных зон могут идти с разностью фаз, и векторы как раз её показывают (аргумент вектора – это и есть фаза).

Замечания.
Напомню, что формула для радиусов Френеля содержит в себе a и b. Меняя a и b, радиусы Френеля будут сдвигаться.
Это, кстати, у вас будет на 403 задаче. a и λ фиксированы, отверстие фиксированного радиуса, а вот b может меняться. Давайте себе это представим. Меняя b, мы можем получить, что отверстие будет первого-второго-третьего-четвёртого и т.д. радиуса Френелей. В чётных будет минимум (нулевая интенсивность), а в нечётных максимумы (учетверённая интенсивность). Между ними – непрерывный переход.

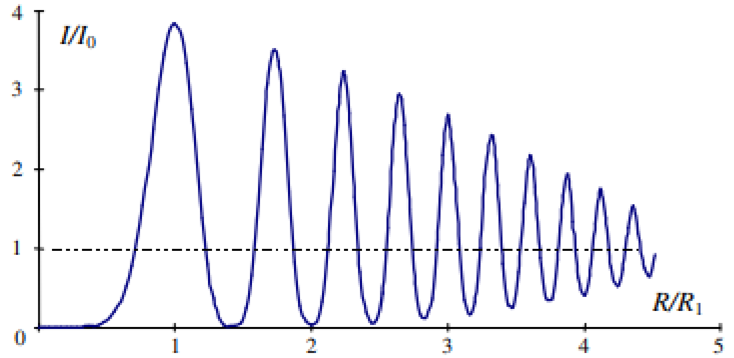
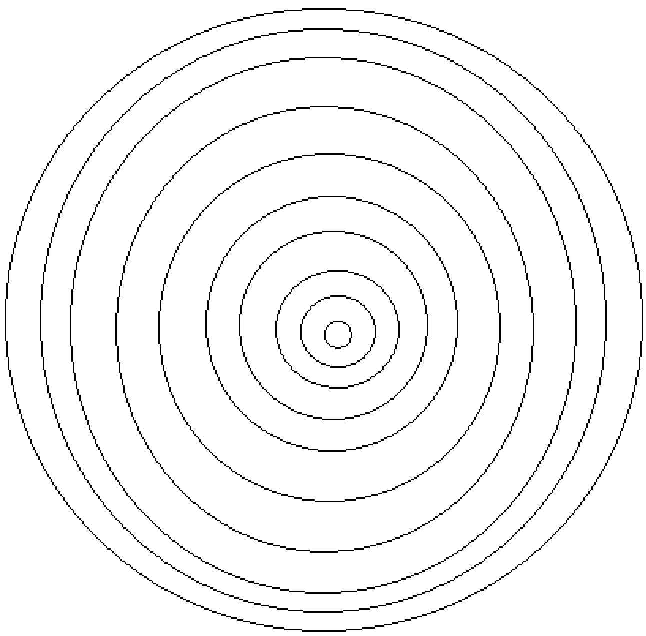


Рис. 4. Зависимость интенсивности в центре картины при дифракции на круглом отверстии от радиуса отверстия

Также мы считали источник света точечным. Если вначале был плоский фронт, то это соответствует a=бесконечности и 1/a=0.

Как Френель выдумал свою спираль?
Решать задачи это вам не поможет, но понимание улучшит.
Возмущение в точке наблюдения складывается из суперпозиции источников в виде тоненьких колечек, на которое мы разбиваем плоскость дифракции.

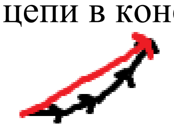


Свет в точке наблюдения складывается как свет от каждого колечка. Все точки данного колечка (если его толщина достаточно малая) синфазы. Но соседние кольца оказываются уже сдвинуты по фазе.

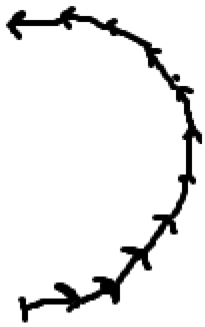
Попытаемся изобразить вклад от каждой стрелочкой длиной dE:

Чтобы стрелочки были одной длины, нужно, чтобы кольца были одной площади (поэтому и формуле для n-ного радиуса Френеля стоит радикал). А под разным углом они как раз из-за разности фаз.

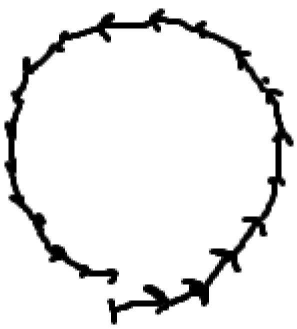
Чтобы найти суммарный вклад он нескольких подряд идущих колечек, нужно векторно сложить все стрелочки. Но т.к. они образуют цепочку, когда конец одного вектора является началом другого, их векторная сумма – то вектор из начальной точки цепи в конечную:



Это как раз та красная стрелка, которую мы рисовали, решая задачи до этого:
Рано или поздно мы придём к радиусу, где свет будет идти в противофазе:



Это и будет первый радиус Френеля.
Затем, пройдя ещё столько колечек, приходим ко второму радиусу Френеля:



Второй радиус Френеля – это следующий после нулевого радиуса радиус, свет от колечка которого идёт в той же фазе, что и свет через нулевой радиус.

Когда мы закрываем что-то, мы убираем некоторые из колечек, оставляя оставшиеся, векторную сумму стрелочек от которых мы и считаем.

А спираль «без углов» получим, если мы устремим толщину колечек к нулю.