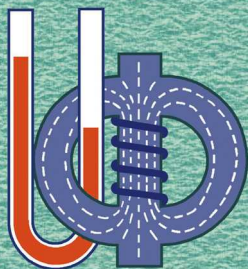


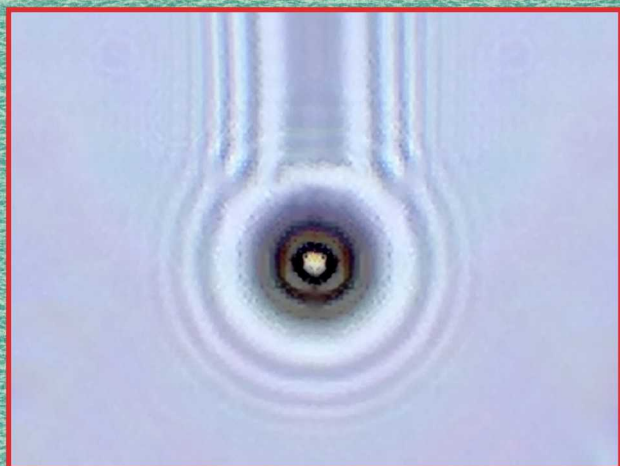
ISSN 2307-5457



УЧЕБНАЯ ФИЗИКА



1
2020



В. В. Майер, Е. И. Варакина
ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА
ДЛЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПЫТОВ

В лабораторной работе по экспериментальному изучению дифракции Френеля предлагается использовать простой точечный источник света на основе сверхъяркого белого светодиода. Рассмотрены различные конструкции точечного источника.

Ключевые слова: дифракция Френеля, точечный источник света, конструкции источника.

1. Введение

Новые открытия в физике часто связаны с совершенствованием техники эксперимента. В 1815 году один из выдающихся основоположников волновой оптики О. Френель в своем первом мемуаре о дифракции света представил результаты исследования теней от непрозрачных объектов. Чтобы исключить образование полутени и тем самым упростить дифракционные явления, он использовал точечный источник света, который называл *светящейся точкой*. Чтобы осознать трудности, преодоленные Френелем, полезно вникнуть в суть проделанной им работы.

«Вначале для получения световой точки я пользовался очень маленьким отверстием, проделанным в листе жести, на котором я концентрировал значительное количество света при помощи большой линзы. Но движение Солнца быстро смещало фокус, и каждое наблюдение могло длиться только мгновение. В конце концов я использовал средство, указанное мне г-ном Араго, которое мне прекрасно удалось. Я образовал световую точку при помощи весьма выпуклой линзы; таким способом я получил весьма отчетливые каемки¹, при помощи линзы, с фокусным расстоянием в 6 линий², в то время как тело, тень которого я наблюдал, находилось на расстоянии более 50 см от светящейся точки. Когда я пробовал поместить его ближе, каемки становились слишком размытыми для того, чтобы точно их измерить. Не обладая более сильной линзой для получения более тонкой световой точки, я использовал шарик меда, помещенный на небольшое отверстие, сделанное в медном

¹Каемки Френеля сейчас называют дифракционными полосами.

²Линия — единица измерения длины; 1 линия=2,25 мм.

листе. Освещенная этим шариком железная проволока, каемки которой я измерял, давала еще весьма четкие изображения, даже в том случае, когда она находилась на расстоянии только одного сантиметра от световой точки» [1, с. 77–78]. На рис. 1 изображены оптические схемы точечных источников света S , которые использовал Френель.

В 1912 году, то есть спустя почти сто лет после публикации Френеля, серию фотографий картин френелевой дифракции сделал видный русский (впоследствии советский) физик В. К. Аркадьев. «Источником света служило при этом небольшое отверстие в металлической пластинке, круглое или в виде щели, шириной не более 1,5 мм. При опытах с белым светом на отверстие этой диафрагмы проектировались концы углей фонаря переменного тока (30 А), а при фотографировании в монохроматических лучах отверстие диафрагмы ставилось в фокусе зрительной трубы спектроскопа, на щель которого проектировались те же угли» [2, с. 278]. Расстояние от описанного источника света до фотопластинки составляло 39 м.

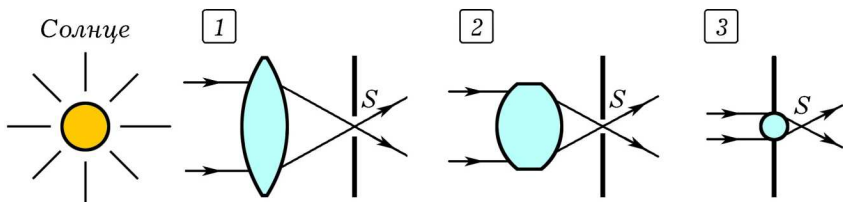


Рис. 1. Оптические схемы точечного источника света, которые исследовал О. Френель

Точечный источник в опытах В. К. Аркадьева был выполнен по схеме Френеля (рис. 1.1), но вместо Солнца в нем использовалась электрическая дуга. Так как отверстие диафрагмы, на котором фокусировался свет, было довольно большим, то объект дифракции пришлось удалить от такого источника примерно на 20 метров.

В 1960 году М. Н. Башкатов и Ю. Ф. Огородников опубликовали небольшую книгу [3], в которой они рекомендовали в школьных опытах по дифракции использовать лампу карманного фонаря со слегка изогнутой нитью накала. В зависимости от ориентации такая лампа могла служить как точечным, так и линейным источником света (рис. 2). С выходом этой книги, насколько нам известно, дифракционные опыты впервые стали доступны для воспроизведения в массовой школе. Основной недостаток такого источника состоит в его относительно невысокой яркости — постановка дифракционных опытов с ним требует по крайней мере частичного затемнения лаборатории.

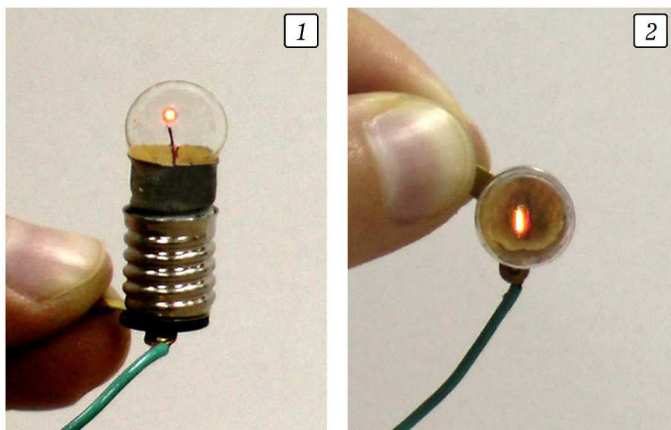


Рис. 2. Точечный и линейный источники света из лампы накаливания карманного фонаря

Задачей настоящей статьи является описание таких конструкций точечного источника света для дифракционных опытов, которые отличаются простотой, доступностью, современностью и позволяют проводить наблюдения дифракционных картин при нормальном освещении лаборатории.

2. Условие точечности источника света

Размеры источника света, при которых его можно считать точечным, вычисляются в учебнике Г. С. Ландсберга [4, с. 74–76]. Учебная теория пространственно когерентного или точечного источника света дана в статье [5], в которой показано, что наибольший размер d источника, который можно считать точечным, должен удовлетворять условию:

$$d < \frac{L}{D} \lambda, \quad (1)$$

где L — расстояние от источника света до объекта дифракции, D — характерный размер этого объекта, λ — длина световой волны. Если взять $L = 1$ м, $D = 1$ мм и $\lambda = 6 \cdot 10^{-4}$ мм, то для d получается оценка $d < 0,6$ мм.

3. Конструкция классического точечного источника света

Реальный источник света, близкий к точечному, может состоять из диафрагмы с небольшим отверстием, на котором сфокусирован световой пучок (рис. 1.2). Для учебных опытов по дифракции мы

рекомендуем использовать источник белого света, так как в белом свете дифракционные картины выглядят более естественно, и обучающимся становится очевидной зависимость дифракционного распределения интенсивности света от длины световой волны. Для самостоятельного изготовления такого источника подойдет небольшой сверхъяркий светодиод.

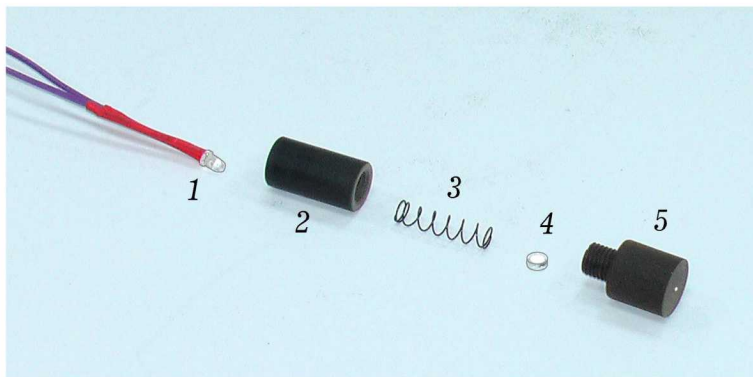


Рис. 3. Детали для сборки точечного источника света по классической схеме

На рис. 3 показаны детали точечного источника света: 1 — сверхъяркий светодиод диаметром 3 мм, дающий излучение белого света; 2 — втулка из эбонита длиной 22 мм, в левое отверстие которой плотно вставляется светодиод, а правое отверстие снабжено резьбой; 3 — стальная пружина; 4 — собирающая линза диаметром 5 мм с фокусным расстоянием 5 мм от лазерной указки; 5 — диафрагма с отверстием диаметром 0,4 мм, изготовленная из эбонита в виде втулки с резьбой. Расстояние между линзой и отверстием диафрагмы составляет 8–10 мм. Настройка источника состоит в подборе такого расстояния между светодиодом и линзой, при котором яркость и ширина светового пучка, выходящего из диафрагмы, максимальны.

Понятно, что такой простой прибор нетрудно изготовить разными способами. Студентам будет полезно подумать над этим и вычислить расстояния от линзы до светодиода и до диафрагмы, при которых на диафрагме получается, уменьшенное, например, в два раза изображение светодиода.

4. Точечный источник света отражательного типа

Если перед выпуклым сферическим зеркалом с радиусом кривизны R на расстоянии a от его поверхности поместить предмет высотой l , то зеркало создаст уменьшенное мнимое изображение

этого предмета высотой l' на расстоянии b от своей поверхности (рис. 4). Расстояния a и b связаны с фокусным расстоянием f зеркала соотношением, хорошо известным студентам еще со школьной скамьи:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}. \quad (2)$$

Так как фокусное расстояние сферического зеркала равно половине его радиуса кривизны $f = R/2$, то отсюда $b = aR/(R + 2a)$. Тогда линейное увеличение зеркала

$$\Gamma = \frac{l'}{l} = \frac{R - b}{R + a} = \frac{R}{R + 2a}. \quad (3)$$

Представим теперь, что в качестве сферического зеркала взят отполированный стальной шарик от подшипника радиусом $R = 5$ мм, а предметом является расположенный на расстоянии $a = 50$ мм от него протяженный источник света диаметром $l = 2$ мм. Тогда изображение источника в шарике будет иметь диаметр

$$l' = \Gamma l = \frac{Rl}{R + 2a} = 0,1 \text{ мм}, \quad (4)$$

что меньше приведенной выше оценки максимальных размеров точечного источника (1). Таким образом, точечный источник света для дифракционных опытов может состоять из небольшого протяженного источника, свет от которого падает на отполированный шарик и отражается в направлении объекта дифракции.

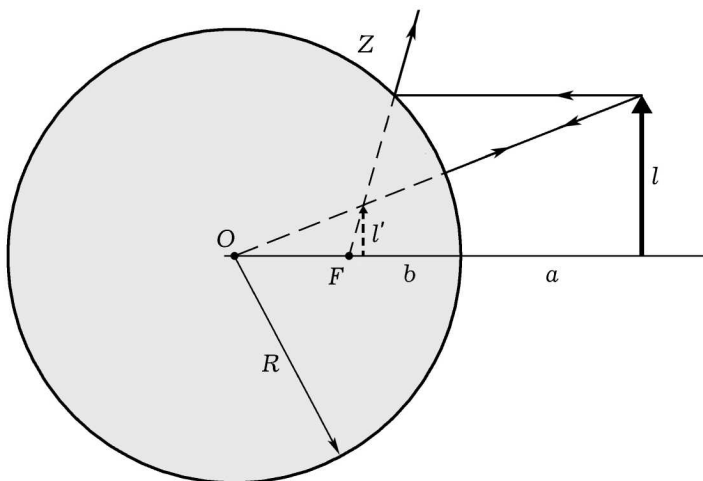


Рис. 4. Уменьшенное изображение предмета в стальном шарике

На рис. 5.1 приведена фотография деталей точечного источника света отражательного типа: 1 — стальной шарик от подшипника диаметром 10–16 мм; 2 — светодиодный фонарик диаметром 12 мм и длиной 60 мм, смонтированный в одном корпусе с лазерной указкой; 3 — стальной канцелярский зажим; 4 — основание прибора размером $10 \times 20 \times 120$ мм, изготовленное из эбонита, в паз которого вклеены неодимовые магниты размером $4 \times 8 \times 8$ мм; 5 — стойка диаметром 12 мм и длиной 120 мм.

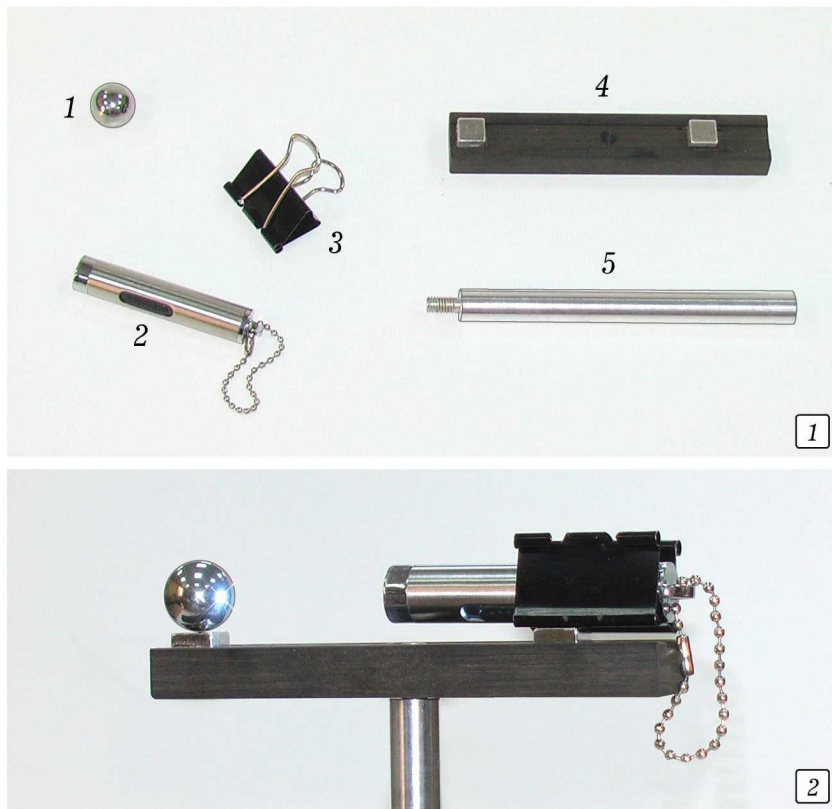


Рис. 5. Детали и конструкция точечного источника света отражательного типа

На лабораторном занятии студенты быстро собирают точечный источник. Для этого они в основание прибора вкручивают стойку и закрепляют ее в штативе вертикально. Чистой тканью протирают стальной шарик и, не касаясь его поверхности пальцами, помещают на неодимовый магнит. Светодиодный фонарик помещают в стальной канцелярский зажим и располагают его на втором нео-

димовом магните (без этого зажима трудно обеспечить надежное примагничивание фонарика). В итоге получается точечный источник света, показанный на рис. 5.2.

5. Заключение

Описанные в статье точечные источники света позволяют проводить визуальные наблюдения различных дифракционных и интерференционных картин при нормальном освещении лаборатории. Кроме того, они обеспечивают фотографирование этих картин на цифровой фотоаппарат и смартфон. Материал статьи может быть использован при выполнении курсовых, дипломных и диссертационных исследований при обучении в бакалавриате и магистратуре.

Авторы выражают благодарность И. А. Васильеву, оказавшему существенную помощь при выполнении этой работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00157. *Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00157.

ЛИТЕРАТУРА

1. Френель О. Избранные труды по оптике. — М.: Гостехтеориздат, 1955. — 604 с.
2. Аркадьев В. К. Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 332 с. (С. 277–284).
3. Башкатов М. Н., Огородников Ю. Ф. Школьные опыты по волновой оптике. — М.: Изд-во АПН РСФСР, 1960. — 84 с.
4. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.
5. Майер В. В. Понятие когерентности света в курсе общей физики педагогического вуза // Учебная физика. — 2018. — № 4. — С. 36–44.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 24.04.20.