

Мих. В. ФОК

ШИРОКОУГОЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ОТ КВАДРУПОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА

(Представлено академиком А. Н. Терениным 28 I 1953)

С. И. Вавилов ⁽¹⁾ изложил интерференционный метод определения природы элементарных излучателей для тех источников света, где они расположены хаотически. Этот метод состоит в том, что заставляют интерферировать лучи, исходящие из малого источника света под определенным углом друг к другу, и исследуют видимость интерференционных полос и их поляризацию в зависимости от этого угла.

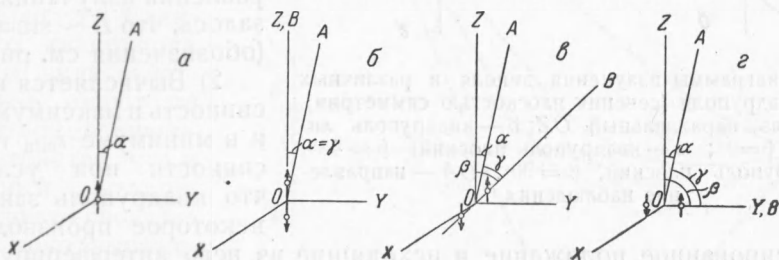


Рис. 1. *а* — диполь, параллельный OZ ; *б* — квадруполь линейный, $\beta = 0^\circ$; *в* — квадруполь плоский, $\beta = 45^\circ$; *г* — квадруполь плоский, $\beta = 90^\circ$. OA — направление наблюдения; OB — прямая, соединяющая диполи, из которых составлен квадруполь

С. И. Вавилов показал, что для источника, состоящего из диполей, видимость интерференционных полос постепенно убывает с увеличением φ и при $\varphi = 180^\circ$ интерференционная картина полностью исчезает, несмотря на когерентность лучей. Однако поляризация интерференционного поля при этом сохраняется, так что при наблюдении через поляроид полосы становятся заметны.

Подобные расчеты были проведены С. И. Вавиловым ^(2,3) и для линейного квадруполь, который можно представить в виде двух антипараллельных диполей, колеблющихся в фазе и расположенных так, что прямая, их соединяющая, параллельна направлению их дипольных моментов (рис. 1). Расстояние между диполями при этом много меньше длины волны λ испускаемого ими света. В этом случае интерференционные полосы исчезают дважды, при $\varphi = 60^\circ$ и при $\varphi = 180^\circ$. Поляризация в максимуме и в минимуме интенсивности проходит через нуль при $\varphi = 120^\circ$ *.

При экспериментальном определении природы элементарных излучателей мы можем иметь дело и не обязательно с линейным квадрупольем, поэтому важно, сохраняются ли эти особенности квадруполь-

* Дерман и Хальперн ⁽⁴⁾ провели расчеты для квадруполь несколько другим методом.

ного источника для квадрупольей общего вида*. Такой квадруполь отличается от линейного тем, что дипольные моменты составляющих его диполей не параллельны прямой, их соединяющей, а составляют с ней некоторый угол β . Этот угол характеризует внутреннее строение квадруполя (в дальнейшем нам удобнее будет употреблять вместо β величину $a = 4 - \sin^2 \beta$). Ориентация квадруполя в этом

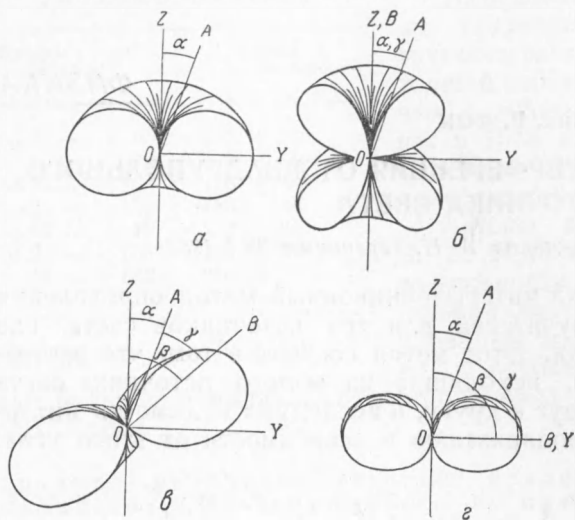


Рис. 2. Диаграммы излучения диполя и различных видов квадруполя (сечения плоскостью симметрии). *a* — диполь, параллельный *OZ*; *б* — квадруполь линейный, $\beta=0^\circ$; *в* — квадруполь плоский, $\beta=45^\circ$; *г* — квадруполь плоский, $\beta=90^\circ$. *OA* — направление наблюдения

но фиксированное положение и исходящие из него интерферирующие лучи составляют угол φ между собой.

3) Для учета хаотичности расположения квадруполей в источнике производится интеграция i_{\max} и i_{\min} по всем углам, характеризующим положение квадруполя. Для линейного квадруполя таких углов два — азимут и полярное расстояние образующих его диполей. Для плоского квадруполя добавляется еще угол, определяющий положение плоскости *BOZ*.

4) Из полученных в результате интеграции в п. 3 величин I_{\max} и I_{\min} определяют видимость полос интерференции: $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$.

5) Подобным же образом вычисляют и поляризацию в максимуме P_{\max} и в минимуме P_{\min} . В этом случае вместо i_{\max} и i_{\min} надо взять интенсивность света, поляризованного в плоскости, которую составляют интерферирующие лучи, и в плоскости, перпендикулярной к ней. Для максимума и минимума интенсивности вычисления надо производить отдельно. Все эти вычисления элементарны, но довольно длинны. Поэтому мы здесь приводим только их результаты.

$$\text{Видимость полос интерференции } V = \frac{(\cos \varphi + 1)(a \cos \varphi - 3a + 10)}{4(5 - a)}. \quad (1)$$

На рис. 3 изображен график функции $V = V(\varphi)$ для квадрупольного источника с $a = 3; 3,5$ и 4 , а также для дипольного источника.

* Как известно, вообще мультиполи высшего порядка можно получить из низших, размещая рядом два противоположно ориентированных мультиполя низшего порядка. Подробности см. (5, 6).

Поляризация полос интерференции в максимуме и в минимуме (P_{\max} и P_{\min} соответственно) оказалась равной:

$$P_{\max} = \frac{-(1 - \cos \varphi)(a \cos \varphi + 3a - 10)}{a \cos^2 \varphi + 2(5 - a) \cos \varphi - 7a + 30}, \quad (2)$$

$$P_{\min} = \frac{a \cos \varphi + 3a - 10}{a \cos \varphi - a + 10}. \quad (3)$$

Графики этих функций для $a = 3$; 3,5 и 4, а также для дипольного источника даны на рис. 4.

Если источник света состоит из квадруполей с разными β , то формулы (1), (2) и (3) не изменяют своего вида, но в них a надо заменить некоторым средним $\bar{a} = \frac{\alpha_1 a_1 + \alpha_2 a_2 + \dots}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots}$, где $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ — концентрации квадруполей каждого сорта.

Интересно отметить, что если в (1), (2) и (3) формально положить $a = 0$ (тогда $\sin \beta = 2$, т. е. β комплексно), то получаются соответствующие формулы для дипольного излучения, с тем, однако, отличием, что поляризацию надо брать с обратным знаком.

Из рис. 3 и 4 видно, что квадруполи общего вида действительно имеют те же интерференционные свойства, что и линейный квадруполь, но эти свойства менее ярко выражены. Поляризация полос и их видимость, в целом, у квадруполю общего вида меньше, чем у линейного квадруполя. Это создает дополнительные экспериментальные трудности, но все же можно на опыте отличить дипольное излучение от квадрупольного. Если имеется возможность наблюдать интерференцию при углах между лучами примерно от $\varphi = 10^\circ$ до $\varphi = 180^\circ$, то, постепенно увеличивая φ , легко заметить, что для квадрупольного источника полосы интерференции сперва пропадают, а потом вновь появляются. Для дипольного излучения видимость полос убывает монотонно. Однако для $3 \leq a < 3,5$ вновь появившиеся полосы очень слабы и могут быть не замечены. В этом случае необходимо еще исследовать поляризацию. Для дипольного излучения поляризация в минимуме всегда полная, а для квадрупольного она при некоторых углах φ проходит через нуль. Поляризация в максимуме тоже имеет характерный ход.

При экспериментировании следует учесть, что вся эта картина будет смазана из-за конечных размеров источника света. Например, для наблюдения интерференции при $\varphi = 90^\circ$ источник света должен быть по величине меньше 10λ . Поэтому одного исчезновения полос, скажем, при $\varphi = 60^\circ$, еще не достаточно, чтобы утверждать, что мы

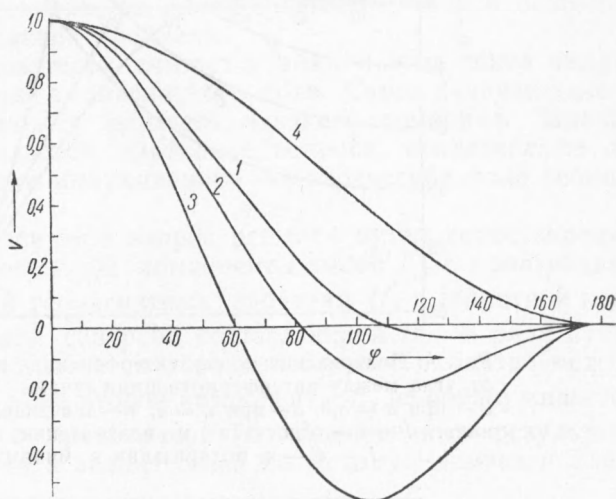


Рис. 3. Видимость полос интерференции в зависимости от угла между интерферирующими лучами. 1 — при $a = 3$; 2 — при $a = 3,5$; 3 — при $a = 4$; 4 — для дипольного источника

имеем дело с квадрупольным источником. Для этого необходимо еще обнаружить появление полос при больших φ или найти изменение знака поляризации, как это описывалось выше.

В заключение приведем схематическую сводку признаков, по которым можно судить о природе элементарных излучений.

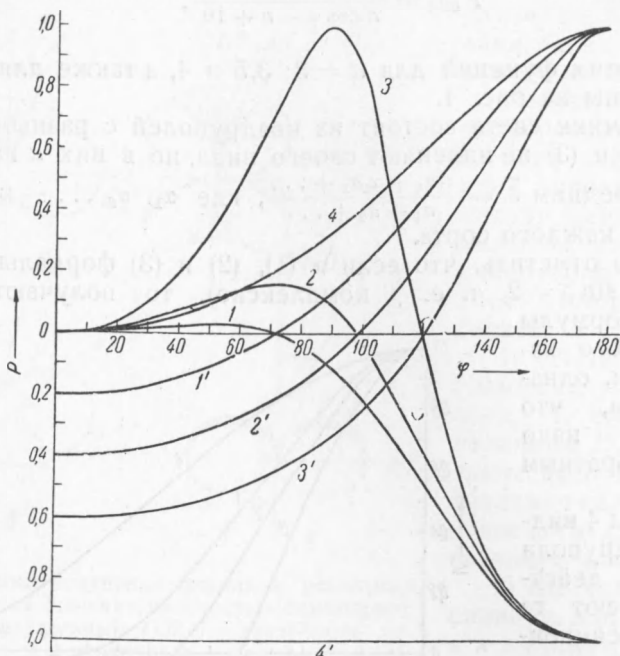
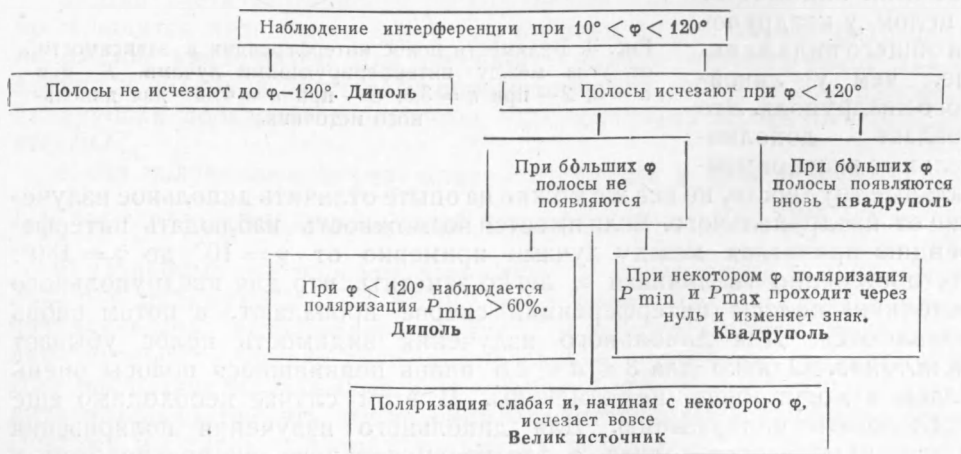


Рис. 4. Поляризация полос интерференции в зависимости от угла между интерферирующими лучами. 1— при $a = 3$; 2— при $a = 3,5$; 3— при $a = 4$; 4— для дипольного источника. 1—4— относятся к поляризации в максимуме, 1'—4'— к поляризации в минимуме



Поступило
21 I 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. И. Вавилов, Микроструктура света, изд. АН СССР, М., 1950. ² С. И. Вавилов, ЖЭТФ, **10**, 1363 (1940). ³ С. И. Вавилов, Е. М. Брумберг, Phys. Z. Sowietunion, **3**, 103 (1933). ⁴ O. Halpern, F. W. Doermann, Phys. Rev., **52**, 937 (1937). ⁵ A. Rubinowicz, J. Blaton, Erg. d. exakt. Naturwiss., **11**, 176 (1932). ⁶ A. Rubinowicz, Rep. Phys., Soc. Progr. Phys., **12**, 233 (1949).