



ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Сборка и калибровка интерферометра Маха-Цендера
- Наблюдение интерференционной картины, когда информация есть, информации нет и она «стерта».

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Демонстрация «квантового ластика» в опыте, проводимом по аналогии.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Свет как таковой можно описать с помощью волновых уравнений квантовой механики. Из них можно получить пространственное распределение плотности вероятности в виде квадрата модуля волновой функции. Поэтому свет подходит для постановки опытов, которые демонстрируют явления квантовой механики по аналогии. Такой опыт по аналогии демонстрирует так называемый эффект квантового ластика с помощью интерферометра Маха-Цендера и наблюдения интерференции двух разделенных лучей на экране. Если два перпендикулярных поляризатора поместить на путях распространения разделенных лучей, интерференция исчезает, так как, с точки зрения квантовой механики, становится возможным определить путь, который проходит фотон. Если третий поляризаторный фильтр поставить под углом 45° непосредственно перед экраном, эта квантовая информация «стирается», и интерференция вновь становится видна.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Интерферометр Маха-Цендера	U10353
1	Гелий-неоновый лазер	U21840

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Свет как таковой можно описать с помощью волновых уравнений квантовой механики. Из них можно получить пространственное распределение плотности вероятности в виде квадрата модуля волновой функции. Сочетание двух лучей соответствует суперпозиции двух волновых функций. Тогда выражение для плотности вероятности содержит смешанный член, который описывает интерференционную картину. Поэтому свет подходит для постановки опытов, которые демонстрируют явления квантовой механики по аналогии.

2

Чтобы продемонстрировать так называемый эффект квантового ластика с помощью опыта, демонстрирующего его по аналогии, используется интерферометр Маха-Цендера. Когерентный свет получается путем создания расходящихся лучей от лазера. С помощью делителя луча BS1 свет делится на два луча. Поляризатор P обеспечивает одинаковую интенсивность света обоих лучей (см. Рис. 1). Затем эти два луча проходят разные пути, но потом вновь сводятся вместе вторым делителем луча BS2. Тогда, с точки зрения традиционной волновой оптики, электрические поля двух разделенных лучей, E_1 и E_2 , складываются:

$$(1) \quad E = E_1 + E_2$$

С точки зрения квантовой механики их волновые функции, Ψ_1 и Ψ_2 , также можно сложить следующим образом:

$$(2) \quad \Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

Отсюда

$$(3) \quad |E|^2 = |E_1|^2 + |E_2|^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2$$

и

$$(4) \quad |\Psi|^2 = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + 2 \cdot \langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$$

Смешанные члены в выражениях (3) и (4) в обоих случаях описывают интерференционную картину, которую можно наблюдать на экране. Выражение 4 описывает поведение отдельного фотона. Такой фотон интерферирует «сам с собой», если он наблюдается в каком-либо процессе измерения или если невозможно отследить фактический путь, который он проходит. В этом случае говорят, что «при отсутствии информации о пройденном им пути фотон ведет себя как волна и демонстрирует интерференцию». Но если информация о пройденном фотонном пути имеется, фотон «ведет себя» как классическая частица, и интерференции быть не может.

Два дополнительных поляризатора, P1 и P2, установленные на путях разделенных лучей 1 и 2, оказывают влияние на интерференционную картину. Если эти поляризаторы установлены под прямым углом друг к другу, скалярное произведение $E_1 \cdot E_2$ исчезает в классическом описании уравнения (3), как и интерференционный член $\langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$ в уравнении (4), которое представляет ситуацию с точки зрения квантовой механики. Это приводит к тому, что интерференционная картина исчезает. С точки зрения квантовой механики это происходит потому, что поляризация означает, что становится возможным точно определить, какой путь, путь 1 или путь 2, прошел каждый из фотонов.

Но если третий поляризатор A, установленный под углом 45° к другим поляризаторам, помещается за вторым делителем луча, интерференционная картина появляется вновь. С точки зрения квантовой механики это происходит потому, что поляризатор A «стирает» информацию о пройденном пути, т.е. после поляризатора A больше невозможно определить, какой путь прошел тот или иной отдельный фотон. С точки зрения классического представления следовало бы ожидать, что третий поляризатор уменьшит интенсивность поляризованных разделенных лучей, но они сохраняют свою поляризацию.

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

При отсутствии обоих поляризаторов, P1 и P2, не будет информации о пути, пройденном светом, и поэтому будет наблюдаться интерференция. После того, как установлены два поляризатора, можно различить пути, и интерференция не происходит. Третий поляризатор, A, «стирает» информацию о путях, и интерференция вновь появляется.

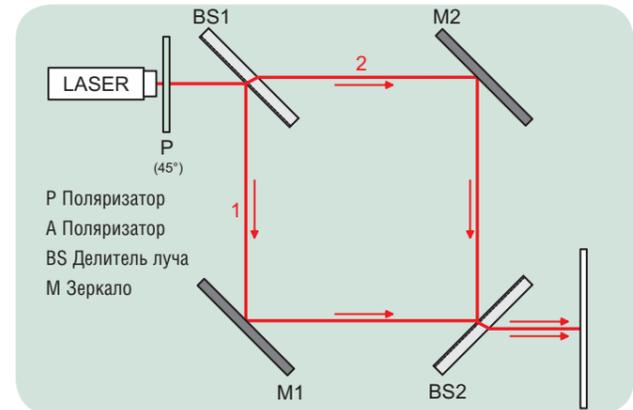


Рис. 1: Пути прохождения света через интерферометр Маха-Цендера (информации о пройденных путях нет)

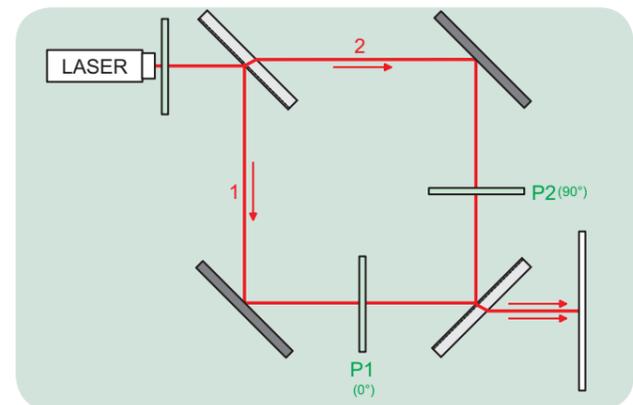


Рис. 2: Пути прохождения света через интерферометр Маха-Цендера (поляризаторы P1 и P2, установленные на путях прохождения двух разделенных лучей, означают, что информацию о пройденном пути можно получить)

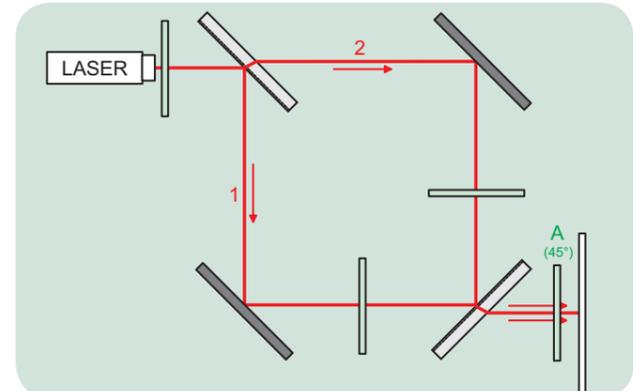


Рис. 3: Пути прохождения света через интерферометр Маха-Цендера (поляризатор A «стирает» информацию о пройденных путях)