

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА

Ляликова Ирина, Б05-911

Работа 4.3.1

Цель работы: изучение двухлучевой интерференции, определение длины волны, проверка эффекта Доплера.

В работе используются: интерферометр Майкельсона с подвижным зеркалом, лазер ЛГН-203, фотоумножитель ФЭУ-68 с блоком питания, частотомер ЧЗ-54, линзы.

Теоретическое введение и установка

Схема устройства интерферометра приведена на рис. 1. Источником света служит лазер ЛГ. Лазер излучает узкий пучок света, который фокусируется линзой L_1 . В фокусе этой линзы возникает точечный источник света 5. Сферическая световая волна от источника 5 падает на делительную призму Π и делится её диагональной гранью на две волны — отражённую 1 и проходящую 2. Волна 1 отражается от зеркала $З_1$, возвращается к призме Π , частично проходит сквозь неё и попадает на экран \mathcal{E} . Волна 2 отражается от зеркала $З_2$, частично отражается от призмы Π и также попадает на экран. Световые волны 1 и 2 испускаются одним источником 5, и они когерентны между собой. Эти волны создают на экране \mathcal{E} интерференционную картину. Для увеличения масштаба интерференционной картины может быть использована линза L_2 .

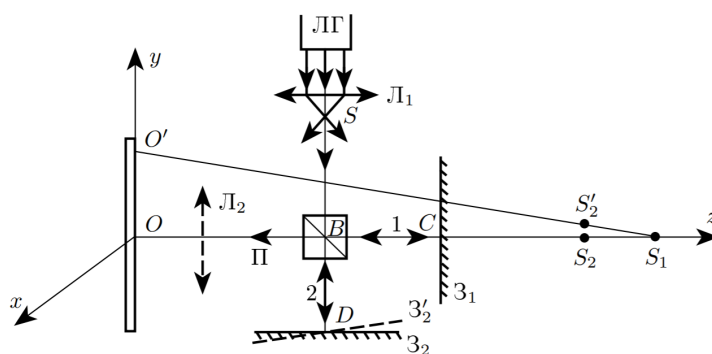


Рис. 1: Схема интерферометра

Зеркало $З_1$ установлено перпендикулярно падающему лучу. Оно может перемещаться вдоль луча. Это зеркало в дальнейшем будет называться подвижным. Зеркало $З_2$ вдоль направления падающего луча не перемещается. Его, однако, можно наклонять по отношению к лучу.

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Источником света служит гелий-неоновый лазер ЛГН-203. Его излучение обладает большой длиной когерентности, что позволяет получать хорошо различимую глазом интерференционную картину при разности хода в десятки сантиметров. Неподвижное зеркало Z_2 , поворачивается микрометрическими винтами M , (относительно горизонтальной) и M , (относительно вертикальной оси). Зеркало Z_1 установлено перпендикулярно падающему лучу. Оно может передвигаться вдоль луча с по-

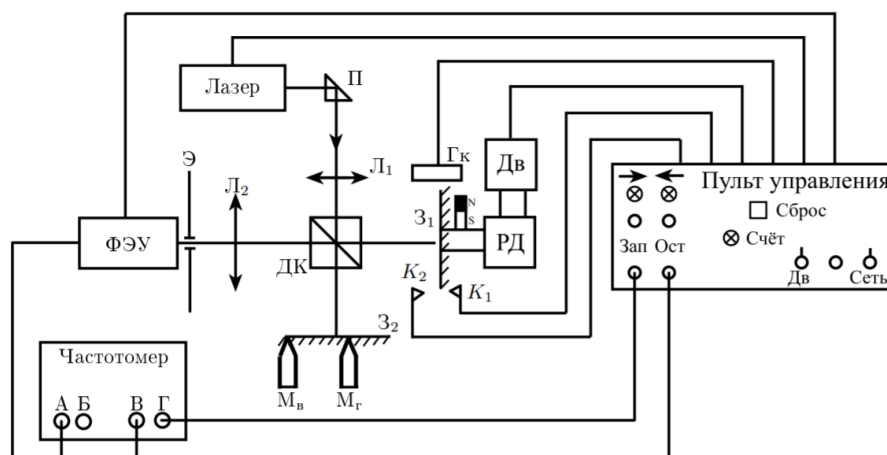


Рис. 2: Схема установки

мощью микрометрического винта, соединённого с двигателем Дв через муфту и редуктор РД, позволяющий менять скорость движения зеркала. Двигатель питается от сети через блок питания пульта управления. Концевые контакты K_1 и K_2 меняют направление движения зеркала на обратное. Включение лазера и двигателя производится с пульта управления. Сигнальные лампочки указывают, в какую сторону движется зеркало.

Интерференционная картина наблюдается на экране Э. Она может быть увеличена с помощью линзы L_2 . В этом случае на экране в увеличенном масштабе воспроизводится интерференционная картина, которая создаётся перед линзой в плоскости, сопряжённой экрану. Линза закреплена на съёмном столике, её фокусное расстояние 4,3 см.

Для регистрации изменения интенсивности света используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-68, установленный непосредственно за экраном. Свет на окно ФЭУ попадает через небольшое отверстие в центре экрана. Для питания ФЭУ используется высоковольтный выпрямитель. Выпрямитель включается тумблером «Сеть» на пульте управления.

Периодическое изменение интенсивности света, возникающее при движении зеркала Z_1 , приводит к такому же изменению сигнала ФЭУ. Число периодов изменения интенсивности света пересчитывается частотомером ЧЗ-54. Частотомер может работать в одном из трёх режимов.

1. Он может измерять число импульсов, поступающих на его входы (А или Б) за некоторый промежуток времени (его продолжительность определяется поступлением сигналов на управляющие входы В и Г).
2. С помощью частотомера можно измерять промежутки времени. Для таких измерений в прибор встроен кварцевый генератор. Частотомер из-

меряет время, прошедшее между поступлением сигналов на его управляющие входы, подсчитывая соответствующее число импульсов кварцевого генератора.

3. Наконец, частотомер может измерять частоту сигнала, поступающего на его вход, сравнивая число периодов исследуемого сигнала с числом импульсов кварцевого генератора.

Для получения управляющих сигналов используется геркон Гк (герметичный магнитоуправляемый контакт). Схема работает следующим образом. На отсчётной головке микрометрического винта зеркала Z_1 закреплён небольшой магнит. Головка вращается вместе с винтом. После срабатывания концевого контакта. K_2 зеркало начинает двигаться от экрана. При приближении магнита к геркону вырабатывается управляющий сигнал, который подаётся через схему пульта управления на вход В частотомера. Частотомер начинает счёт импульсов. После того, как с помощью геркона зарегистрировано 32 оборота ходового винта, на вход Г частотомера подаётся сигнал на окончание счёта. После срабатывания концевого контакта К, зеркало начинает движение к экрану. На этом участке движения счёт импульсов не производится. Один оборот микрометрического винта приводит к перемещению зеркала на 1 мм. Таким образом, полное перемещение зеркала Z_1 составляет $l = 32$ мм.

Ход работы

Юстировка системы

1. Включили блок питания установки (тумблер слева от частотомера).
2. Убедились, что луч от поворотной призмы (П на рис.2) идёт параллельно столу на высоте 100 ± 2 мм (при этом линза L_1 и делительный кубик сняты).
3. Установили оправу с зеркалом Z_2 перпендикулярно лучу поворотом оправы в зеркале.
4. Установили делительный кубик в центре системы и определили его положение относительно вертикали: луч от поворотной призмы, отразившись от полупрозрачной грани кубика, попадает на центр подвижного зеркала Z_1 , а прямой луч, отразившись от зеркала Z_2 , — на центр экрана.

Исследование интерференционной картины

1. Чтобы увеличить интерференционную картину, установили между экраном и кубиком столик с линзой L_2 .
2. Слегка проворачивая вручную муфту двигателя, установили в центре экрана оказалось тёмное пятно. Приложили к экрану лист бумаги, на котором проведён крест из взаимно перпендикулярных линий. Совместили центр креста с центром колец, наметили положение пяти-шести первых тёмных колец и измерили их радиусы. $\Delta r_n = 0,5$ мм.

n	1	2	3	4	5	6
r_n , мм	1,5	4,0	5,5	6,5	7,5	8,5

Построим график квадрата радиуса кольца от его номера чтобы проверить справедливость формулы

$$r_n \approx \sqrt{\frac{2nL(L-a)}{m_0}},$$

где $m_0 = a/\lambda$ — порядок интерференции.

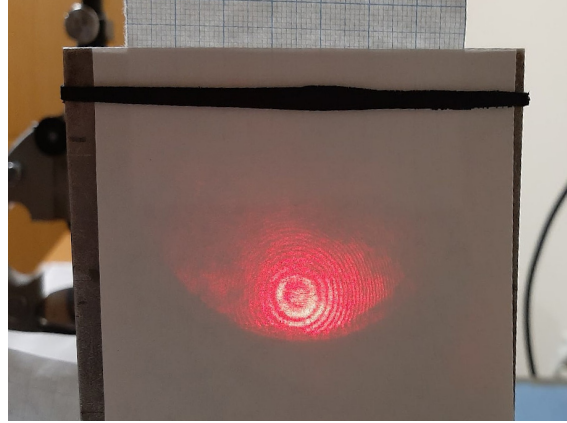


Рис. 3: Интерференционная картина

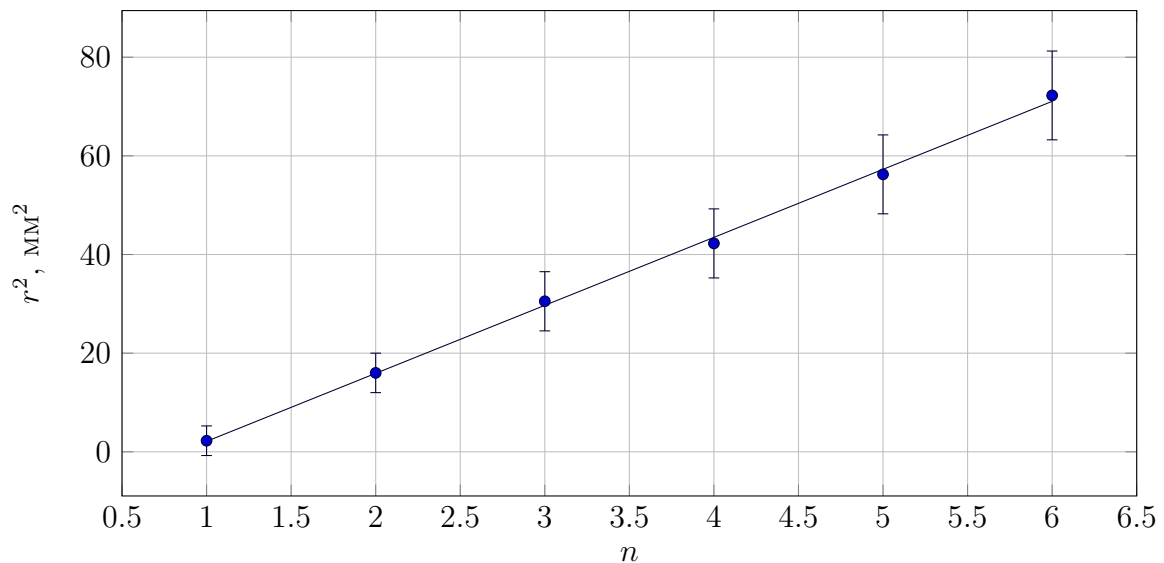


Рис. 4: Зависимость квадрата радиуса от номера кольца

По линейности графика можно судить о том, что формула верна.

Измерение длины волны лазерного излучения

1. Получили картину колец без столика с линзой L_2 . Установили частотомер в режим счёта импульсов. Включили двигатель тумблерами «Сеть» и «Дв» на пульте управления. Проследили за работой схемы управления двигателем при 2-3 изменениях направления движения зеркала.
2. Определили по табло частотомера число колец N , прошедших через центр экрана, (через вход «ФЭУ») за время движения зеркала. В выбранном

режиме работы частотомер включается при отходе зеркала от контакта K_2 и выключается после 32-го оборота ходового винта. Перемещение зеркала $l = 32$ мм. Запуск частотомера происходит автоматически: после вспышки индикатора «→» (движение от экрана) загорается лампочка селектора частотомера и начинается отсчёт.

Провели измерения числа интерференционных полос N , проходящих через центр экрана. Отключили двигатель. Результаты измерений представлены в таблице ниже:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$N \cdot 10^3$	144	147	150	147	144	137	146	147

По результатам этих измерений $\langle N \rangle = 145 \pm 4$ нашли длину волны лазерного излучения, используя формулу

$$l = vT = N\lambda/2. \quad (1)$$

Сравнили полученный результат для длины волны $\lambda = 440 \pm 12$ нм с паспортным: $\lambda = 632,8$ нм.

Исследование эффекта Доплера

Измерения сводятся к определению частоты колебаний интенсивности света на входе ФЭУ при движении зеркала и определению скорости этого движения. Для проверки результатов измерений используется формула (1). При измерении частоты частотомер работает в режиме измерения частоты, при измерении скорости — в режиме измерения времени (скорость рассчитывается по времени, которое требуется для перемещения зеркала на расстояние $l = 32$ мм).

1. Установили максимальную скорость передвижения зеркала (рычаг регулятора скорости — в положение 1). Включили двигатель.
2. При выбранном значении скорости сначала измерили время передвижения зеркала на расстояние l , затем доплеровскую частоту — частоту изменения яркости света, падающего на ФЭУ (число полос, проходящих через ФЭУ за 1 с). Повторили измерения. Время передвижения $t = 42,3 \pm 0,2$ с., откуда получаем скорость зеркала $v_1 = 0,757 \pm 0,004$ мм/с. Результаты измерения частоты:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
ν_1 , кГц	2,462	2,480	2,473	2,509	2,510	2,533	2,526	2,594
ν_2 , кГц	3,013	2,925	2,999	3,032	2,964	2,988	2,930	3,015

Тогда получаем, что для такой скорости

$$\langle \nu_1 \rangle = 2,511 \pm 0,002 \text{ кГц}, \quad \langle \nu_2 \rangle = 2,983 \pm 0,002 \text{ кГц}.$$

Тогда рассчитываем среднюю частоту $\langle \nu \rangle = 2,724 \pm 0,002$ кГц, а так же доплеровскую разность частот $\Delta\nu = 0,4270 \pm 0,0004$ кГц.

3. Повторили измерения для 2-й скорости передвижения зеркала.

$$t = 81,8 \pm 0,2 \text{ с.}, \quad v = 0,391 \pm 0,001 \text{ мм/с}.$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8
ν_1 , кГц	1,709	1,730	1,775	1,723	1,653	1,599	1,652	1,725
ν_2 , кГц	1,555	1,664	1,658	1,677	1,507	1,576	1,668	1,664

$$< \nu_1 > = 1,621 \pm 0,004 \text{ кГц}, \quad < \nu_2 > = 1,696 \pm 0,003 \text{ кГц}.$$

$$< \nu > = 1,659 \pm 0,004 \text{ кГц}, \quad \Delta\nu = 0,0375 \pm 0,0001 \text{ кГц}.$$

4. Повторили измерения для 3-й скорости передвижения зеркала.

$$t = 224,8 \pm 0,2 \text{ с.}, \quad v = 0,1423 \pm 0,0002 \text{ мм/с}.$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8
ν_1 , кГц	1,577	1,802	1,643	1,774	1,708	1,603	1,666	1,645
ν_2 , кГц	1,465	1,318	1,554	1,204	1,183	1,497	1,537	1,462

$$< \nu_1 > = 1,677 \pm 0,005 \text{ кГц}, \quad < \nu_2 > = 1,40 \pm 0,02 \text{ кГц}.$$

$$< \nu > = 1,54 \pm 0,01 \text{ кГц}, \quad \Delta\nu = 0,277 \pm 0,002 \text{ кГц}.$$

5. Тут предлагалось построить график доплеровской разности частот в зависимости от скорости, но это выглядит совсем нецелесообразно, потому что среди трёх точек средняя частота одной сильно отличается от остальных по необъяснимым причинам, так что информативность такого графика будет невысокой.

Вывод

Провели опыт по двухлучевой интерференции Майкельсона, получили интерференционную картину, провели измерения радиусов колец для проверки формулы. Полученная зависимость подтверждает теоретическую.

С помощью частотометра провели измерение числа колец, проходящих за единицу времени через точку на экране при разных скоростях движения зеркала. Рассчитали длину волны лазера, исходя из полученных результатов, получили заметное расхождение с паспортными данными. Это может быть связано с неточностью измерения частоты вследствие нечёткой интерференционной картины.

Провели измерения для различных направлений движения, качественно убедились в существовании эффекта Доплера. Количественные измерения не дали удовлетворительных результатов.