

трюки

Условие

Задача 11-2. Голограммы.

В настоящее время широкое распространение получили рекламные «трюки» основанные на явлении дифракции. На металлической фольге выдавливают тонкие бороздки, которые играют роль своеобразных дифракционных решеток. При попадании на них света они переливаются различными цветами. Почему-то эти кусочки тисненой фольги называют «голограммами». Такие же голограммы размещают на банкнотах и лицензионных марках.

В данной работе вам необходимо «расшифровать» структуру тиснения двух типов голограмм.

Приборы и оборудование; пластинка с двумя тисненными голограммами (которые почти полностью заклеены, оставлены только тонкие полоски), лазер (длина волны вам будет указана) на подставке с блоком питания, измерительная линейка. экран с круговой шкалой, держатели, направляющие линейки, скотч, пластилин.

В данной работе вам предоставляется полная свобода творчества, самостоятельно разрабатывайте методику эксперимента, самостоятельно разрабатывайте теоретические модели, проводите измерения, обрабатывайте их – но выполняйте задания!

Помните. что основой физического эксперимента является изучение зависимостей, поэтому постарайтесь выбрать такие зависимости, которые, во-первых, можно измерить, во-вторых, являются информативными, то есть позволяют находить искомые параметры.

Рекомендации по проведению эксперимента. Конечно, надо направлять луч лазера на пластинки и изучать отраженный ими свет. Старайтесь, чтобы луч лазера падал на пластинки нормально, для этого лазер можно вставлять в отверстия экранов. Хорошо закрепляйте все элементы ваших установок, используйте скотч, пластилин. В своей работе обязательно приведите теоретическую модель, схему установки с указанием всех параметров, качественное описание наблюдаемых эффектов, результаты измерений, их обработку.

Не очень увлекайтесь словесным описанием – больше конкретных данных!

Часть 1. Пластинка 1.

На пластинке 1 нанесены концентрические кольца, радиусы которых изменяются нелинейно.

1.1 Определите зависимость радиусов этих колец от их номера (или хотя бы от расстояния до центра пластинки).

Часть 2. Пластинка 2.

На пластинке 2 нанесены полосы, описываемые некоторой функцией $y(x)$ - ось x вдоль щели, y перпендикулярно им. Все полосы одинаковы, только сдвинуты вдоль оси y с некоторым малым шагом h (некоторые полосы пропущены).

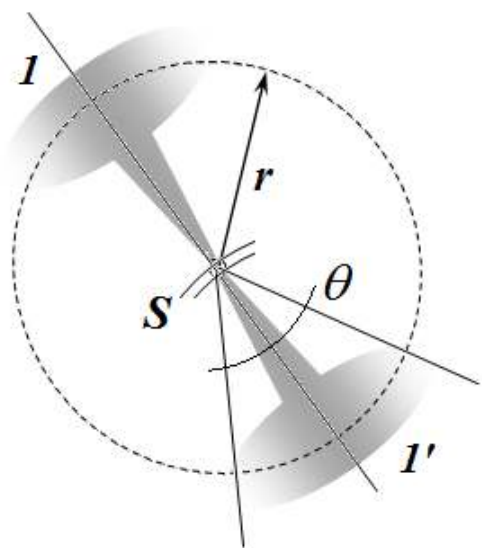
2.1 Определите шаг сдвига полос, покажите, что он постоянен (за исключением небольших пропусков)

2.2 Предложите вид функции $y(x)$, позволяющий описать наблюдаемые дифракционные картины. Определите численные значения параметров этой функции.

Решение

Задача 11-2. Голограммы.

Данная задача носит качественный характер, потому, что с помощью имеющегося оборудования провести точные измерения не возможно. Понятно, что для решения задачи необходимо направить луч лазера на пластинку и наблюдать в отраженном свете дифракционную картину. В обоих случаях дифракционная картина представляет собой два размытых пятна, центры которых расположены диаметрально противоположно на некоторой окружности. Размеры и ориентация этих пятен изменяются при изменении точки падения луча света на пластинки.



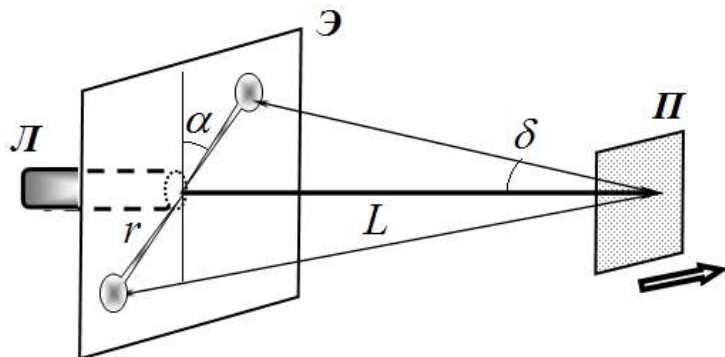
Схематически типичная дифракционная картина показана на рисунке. Здесь S - набор полос, на которых происходит дифракция света (масштаб сильно увеличен). $1, 1'$ - дифракционные пятна (при некоторых положениях точки падения луча света эти пятна образуют почти полную окружность). В соответствии с общими законами дифракции ось дифракционной картины перпендикулярна линиям, на которых происходит дифракция. Угол дифракции δ , который определяет, в данном случае, радиус дифракционного кольца r зависит от расстояния между линиями d , задается формулой

$$d\delta = \lambda, \quad (1)$$

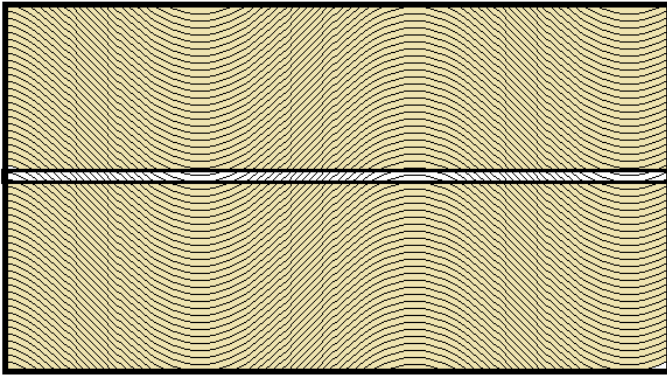
Угол α можно считать малым, λ - длина волны света. Тогда радиус кольца оказывается равным

$$r = L\delta = \frac{L\lambda}{d}. \quad (2)$$

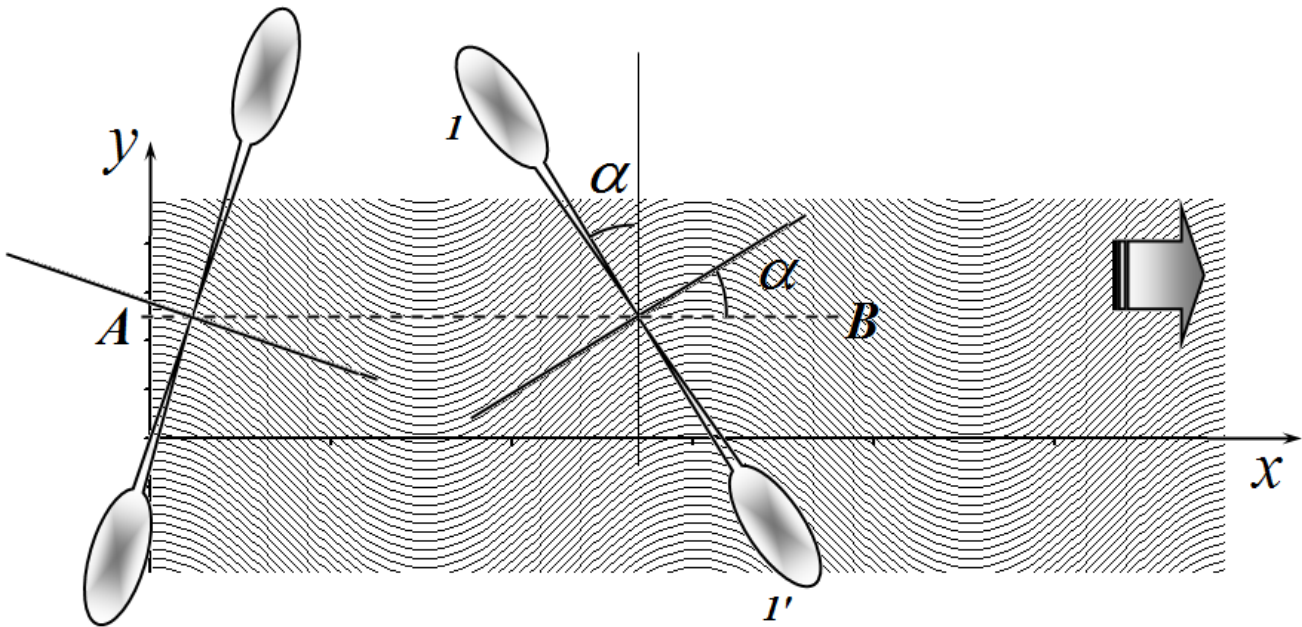
Угловой размер дифракционных пятен θ определяется изгибом полос и равен углу дуги колец в пределах светового кольца. Таким образом, имеется три характеристики дифракционной картины (угол отклонения оси, радиус кольца, угловой размер пятна), которые поддаются приближенному измерению. Для проведения измерений необходимо луч лазера L направить на пластинку Π перпендикулярно ей и наблюдать дифракционную картину на экране $\mathcal{E}$ (см. рис.), в центре которого проделано отверстие для луча света. На экране также имеется радиально-круговая шкала для измерения угла отклонения оси α и радиуса дифракционного кольца r . Смещая пластинку, можно изменять положение точки падения луча.



Для пластики 1 угол отклонения α может незначительно изменяться. Это связано с тем, что линия сканирования (на пластинке) не всегда проходит через центр колец на пластинке. Отклонение дифракционных пятен r практически не зависит от положения точки падения луча. Это дает возможность утверждать, что кольца на пластинке являются равноотстоящими. То есть радиус кольца *возрастает прямо пропорционально его номеру*. По измеренному радиусу r можно оценить расстояние между кольцами, которое составляет величину порядка 10-30 мкм.



Пластика 2 заклеена полосами плотной бумаги, между которыми оставлена только тонкая щель. На рисунке показана действительная форма вытесненных полос, имеющих форму синусоид (участники олимпиады видеть ее не могли). При смещении пластинки изменялось положение луча, который все время должен попадать в открытую щель. При этом на экране наблюдается описанная дифракционная картина. При смещении пластинки периодически изменяется угол отклонения оси дифракционной картины α . Также значительно изменяется и угловые размеры пятен θ . Для восстановления структуры полос достаточно измерить зависимость угла α от координаты точки падения x . Следующий рисунок иллюстрирует основную идею решения поставленной задачи.



Как уже было отмечено, направление оси дифракционной картины перпендикулярно направлениям рисок пластинки. Точнее, касательных к этим линиям. Следовательно, угол отклонения оси от вертикали α равен углу наклона касательных к горизонтали, т.е. к оси x (в наших обозначениях). А тангенс угла наклона касательной равен производной от искомой

функции $y(x)$, описывающей форму линий. Заметим, что значение производной в данном случае зависит только от координаты x , так как вертикальное смещение линий не изменяет эту производную. Иными словами, хотя дифракция происходит на разных линиях, но все они имеют одинаковый наклон при заданном значении x . Таким образом, измеряя зависимость угла наклона $\alpha(x)$ от координаты, x мы можем получить зависимость производной искомой функции от координаты

$$\frac{dy(x)}{dx} = \operatorname{tg} \alpha(x). \quad (3)$$

Измерения показывают, что зависимость $\alpha(x)$ является периодической, следовательно, и сами линии являются периодическими. Можно приближенно считать, что *они являются синусоидами*.