

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра общей и экспериментальной физики

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБМЕР ТЕНЕВОЙ КАРТИНЫ МОДЕЛЬНОГО
ОБЪЕКТА (ДЛИННОФОКУСНОЙ ЛИНЗЫ) ПО МЕТОДУ ЩЕЛИ И
НОЖА ФУКО, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ

Методические указания к лабораторной работе № 5

БАРНАУЛ–2010

Составитель В. В. Чертищев (к. ф.-м.н., доцент) УДК 536

Получение и обмер теневой картины модельного объекта (длиннофокусной линзы) по методу щели и ножа Фуко, определение её фокусного расстояния: метод. указания к выполнению лабораторной работы по специальному физическому практикуму специализации «теплофизика» к спецкурсу «Оптические методы теплофизики» /Алт.гос.ун-т: составитель В.В. Чертищев. Барнаул, 2010, 8 с.

Дано краткое описание разновидности теневого метода Теплера – метода щели и ножа Фуко, излагается порядок выполнения работы. Даются контрольные вопросы, приводится список литературы. Описана методика измерений по методу щели и ножа Фуко.

Предназначено для студентов специальности 010701.65 «физика» специализации «теплофизика». Ил. 2. Библиогр. 3.

Получение и обмер теневой картины модельного объекта (длиннофокусной линзы) по методу щели и ножа Фуко, определение её фокусного расстояния

Цель работы: ознакомление с количественными теплеровскими методами исследования стационарных неоднородностей, подготовка эталонной неоднородности для выполнения работы «Исследование температурного поля эталонным фотометрическим методом».

Оборудование: осветитель, коллиматор с щелью, держатели в рейтерах, поворотный и микрометрический столики (из комплекта оптической скамьи ОСК-2), конденсор, объектив ОТ-500, обойма для крепления шайбы с ножом Фуко, шайба с ножом Фуко, линза с удлинительными кольцами (используется в качестве фотографического объектива), фотоаппарат, горизонтальный микроскоп, длиннофокусная линза (в качестве исследуемой стеклянной пластины переменной толщины).

ВВЕДЕНИЕ

Метод щели и ножа позволяет исследовать стационарные объекты, такие как изделия из оптического стекла (плоскопараллельные пластины, призмы, линзы, подложки зеркал) и т.п., с целью выявления дефектов (шлир), или визуализировать (сделать видимой) картину течения неоднородных (например, по составу или температуре) жидкости или газа.

В настоящей работе составляется карта углов отклонения длиннофокусной линзой, с тем чтобы последнюю можно было использовать как эталонную в теневом фотометрическом методе.

1. Оптическая схема теневого прибора Теплера

Установка для исследования прозрачных неоднородностей по методу Теплера состоит из следующих основных элементов (рис. 1):

- источника света S , в качестве которого обычно используют светящуюся щель, параллельную кромке ножа Фуко. Щель освещают электролампочкой L (накаливания или газоразрядной, в некоторых применениях – импульсной) через конденсорный объектив $O_{\text{кон}}$;
- длиннофокусного коллиматорного объектива $O_{\text{кол}}$ (фокусное расстояние до 2000 мм, реже более);

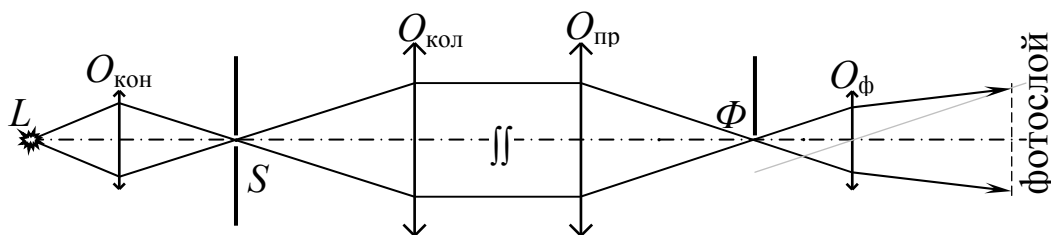


Рис. 1. Оптическая схема теневого прибора Теплера.
 L —электролампочка, $O_{\text{кон}}$ —конденсорный объектив, S —щель,
 $O_{\text{кол}}$ —коллиматорный объектив, $O_{\text{пр}}$ —приемный объектив, Φ —нож Фуко,
 $O_{\text{ф}}$ —фотографический (проекционный) объектив.

- приемного объектива $O_{\text{пр}}$ (обычно с таким же фокусным расстоянием, как у коллиматора);
- визуализирующей диафрагмы (ножа Фуко или нити, решетки и др.);
- проекционного (фотографического) объектива $O_{\text{ф}}$;
- фотокамеры (или фотоэлектрической сканирующей системы регистрации).

Роль проекционного объектива для измерений столь же важна, как и роль приемного объектива с визуализирующей диафрагмой; если визуализирующая диафрагма (нож Фуко) позволяет измерять смещение изображения источника и с помощью соотношений (1) рассчитывать углы ε_x и ε_y отклонения лучей в неоднородности, то проекционный объектив позволяет на созданном им изображении определить, какие именно области неоднородности отклонили лучи на эти углы, и измерить координаты x' , y' изображений этих областей. Пересчитав по известному масштабу M изображения $x = x'/M$, $y = y'/M$, можно значениям функций $\varepsilon_x(x, y)$ и $\varepsilon_y(x, y)$ поставить в соответствие аргументы x, y этих функций. Проекционный объектив совместно с приемным создает на фотослое изображение неоднородности. Без визуализирующей диафрагмы прозрачные области исследуемого объекта однотонны и не видны, и нож Фуко или другая диафрагма, перекрывая часть лучей, обеспечивает теньовое изображение объекта.

2. Метод узкой щели и ножа Фуко

Для исследования стационарных неоднородностей или для визуализации нестационарных процессов с помощью теневого прибора Теплера (рис. 1) широко применяется метод, известный как метод щели и ножа. В качестве источника света используется ярко освещенная узкая (шириной $0.01 \div 0.05$ мм) щель. Ее изображение в

фокальной плоскости приемного объектива представляет собой узкую яркую полосу. Рабочее поле теневого прибора (между коллиматорным и приемным объективом) при этом равномерно освещено, и равномерно освещенным на экране (или фотослое) оказывается изображение некоторой плоскости, пересекающей рабочее поле поперек оптической оси и отображаемой проекционным (фотографическим) объективом совместно с приемным на экран (фотослой). Кромка ножа Фуко располагается параллельно краям щели.

Если на пути светового пучка в рабочем поле теневого прибора окажется оптическая неоднородность—исследуемый объект (рис. 2), и некоторый участок его (с координатами x, y) отклонит свет в направлении, проекции которого на плоскости XZ и YZ составят углы $\varepsilon_x(x, y)$ и $\varepsilon_y(x, y)$ с осью Z , направленной вдоль оптической оси прибора, то это приведет к смещению изображения щели (но только теми лучами, которые проходят через упомянутый участок) на расстояние $f' \varepsilon_x(x, y)$ в направлении оси x , перпендикулярной кромке ножа Фуко (или нити), и на аналогичную величину в направлении оси Y , параллельной кромке ножа (смещение по оси Y нас не интересует, поскольку при данной ориентации щели и ножа

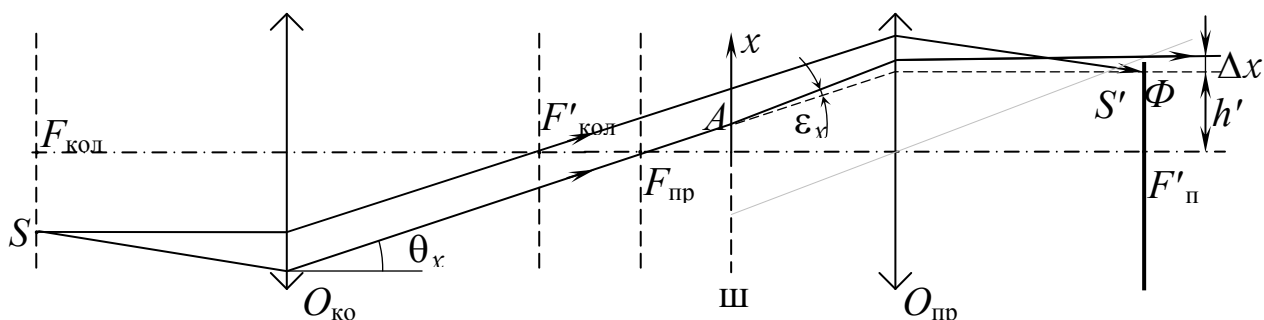


Рис. 2. Смещение изображения источника, обусловленное действием шпире. оно не может быть измерено).

Пусть кромка ножа Фуко проходит в фокальной плоскости приемного объектива по изображению щели пренебрежимо малой ширины так, что расстояние от кромки ножа до оптической оси равно $h' > 0$ (как на рис. 2). При этом нож не перекрывает лучи, проходящие дальше кромки ножа (отсчет ведем вдоль оси X), и стоит на пути остальных лучей.

В отсутствие ножа Фуко все лучи (как отклоненные, так и нет) собираются проекционным объективом (совместно с приемным) в соответствующие точки теневого изображения на фотослое: поскольку плоскость фотослоя сопряжена с определенной плоскостью

в рабочем поле теневого прибора, каждая точка последней отображается в соответствующую точку экрана по законам геометрической оптики, независимо от того, отклонен луч неоднородностью или нет, если только отклоненный луч не пройдет мимо приемного объектива.

Области исследуемого объекта, которые отклоняют лучи на углы, превышающие $\varepsilon_x(x, y) = h'/f'$, будут отображаться светлыми, а области, отклоняющие лучи на углы $\varepsilon_x(x, y) < h'/f'$, окажутся в изображении темными, поскольку соответствующие лучи перекрываются ножом Фуко. Резкая граница света и тени в изображении отвечает углу отклонения $\varepsilon_x(x, y) = h'/f'$. Зная положение ножа Фуко относительно заднего фокуса приемного объектива при фотографировании, мы по полученной фотографии находим линии, представляющие собой множества точек объекта, отклонивших лучи на этот угол ε_x .

Сместим нож Фуко на малое расстояние. Соответственно сместится резкая граница света и тени в изображении исследуемого объекта в положение, отвечающее новому ε_x . Получив множество фотографий стационарного исследуемого объекта при различных положениях ножа Фуко, мы по ним сможем восстановить семейство линий $\varepsilon_x = \text{const}$, т. е. по сути – искомое поле углов отклонения лучей $\varepsilon_x(x, y)$.

Чувствительность метода щели и ножа определяется шириной щели: реальная граница света и тени оказывается несколько размытой полутенью, получаемой из-за конечной ширины щели, и дифракционных явлений. Наименьшая разумная ширина щели определяется следующими факторами:

- точностью изготовления кромок щели и ножа Фуко;
- требованием пропустить световой поток, достаточный для наблюдения и регистрации теневой картины;
- дифракционным размытием границы света и тени – при некоторой ширине щели дальнейшее ее уменьшение не приведет к увеличению резкости границы света и тени.

3. Порядок проведения эксперимента.

Получение теневой картины

1. Проверьте юстировку теневого прибора (см. лаб. работу №4). Рекомендуемая ширина щели 0.05 мм (проверьте положение нуля шкалы на маховичке регулировки ширины щели). В качестве визуализирующей диафрагмы используется нож Фуко.
2. Установите в рабочем поле теневого прибора на столике исследуемый объект—в данной работе это длиннофокусная линза.
3. Наблюдая теневую картину в видоискатель фотоаппарата, перемещайте нож Фуко посредством механизма поперечного перемещения столика с ножом Фуко сначала в одну сторону до полного затемнения поля изображения, затем в другую—до полного просветления всего поля; для обоих положений столика снимите отсчеты по шкалам механизма его перемещения; пусть это будут ξ_0 и ξ_m . Расстояние $\xi_m - \xi_0$ (в мм) разделите на 36 (по числу кадров на фотопленке) и округлите в сторону увеличения до двух знаков после запятой:

$$\text{Целое}((\xi_m - \xi_0) \cdot 100 / 36) / 100 = \Delta\xi.$$

4. Найдите таким же путем положение ножа Фуко, при котором фон (область изображения за пределами исследуемой неоднородности) имеет приблизительно половинный уровень освещенности между максимальной и минимальной; при этом кромка ножа Фуко проходит вдоль середины изображения осветительной щели; снимите отсчет ξ_c по тем же шкалам.
5. Сфотографируйте теневую картину при положениях визуализирующей диафрагмы с координатами ξ_c , $\xi_c + \Delta\xi$, $\xi_c + 2\Delta\xi$, $\xi_c + 3\Delta\xi, \dots$, пока не будет $\xi_c + k\Delta\xi > \xi_m$, и при $\xi_c - \Delta\xi$, $\xi_c - 2\Delta\xi, \dots$, пока $\xi_c - k\Delta\xi \geq \xi_0$. Запишите, какому по счету кадру соответствует какая координата ξ_k ножа Фуко.
6. Измерьте диаметр линзы d .
7. В графическом редакторе на компьютере скопируйте на одно изображение границы света и тени (по середине полутени) всех кадров, используя для совмещения изображений видимые на фотографиях границы линзы и кадров. Пронумеруйте эти линии и в таблице укажите, какой линии $\varepsilon_x = \text{const}$ соответствует какой угол отклонения $\varepsilon_x = h' / f'_{\text{пр}}$, где $h' = k\Delta\xi$, k —целое. Получаемое

семейство линий описывает искомое поле углов отклонения лучей исследуемым объектом.

Обмер теневой картины и обработка результатов обмера.

1. Измерьте диаметр изображения линзы d .
2. Определите масштаб изображения $M = d'/d$.
3. Проведите отсчетную прямую через центр теневого изображения линзы перпендикулярно линиям $\varepsilon_x = \text{const}$.
4. Измерьте вдоль нее расстояния x' от центра изображения линзы до каждой линии $\varepsilon_x = \text{const}$.
5. Постройте графики $\varepsilon_x(x)$, где $x = x'/M$. Экспериментальные точки должны укладываться на прямую. Методом наименьших квадратов найдите наклон этой прямой и погрешность этого наклона, по ним рассчитайте фокусное расстояние линзы $f'_л$: $\varepsilon_x = x / f'_л$, откуда $f'_л = x / \varepsilon_x$.
6. Оцените чувствительность методов и погрешность измерений координаты x и углов отклонения ε , а также нахождения фокусного расстояния линзы.

Контрольные вопросы

1. К чему приведет использование более длиннофокусного или короткофокусного приемного объектива в теневом приборе Теплера?
2. Как можно найти поправку в показания измерительного барабана, показывающего ширину щели коллиматора?
3. Можно ли в принципе обойтись без отдельного проекционного объектива в использованном методе?
4. Что такое сопряженные плоскости?
5. Почему экспериментальные точки зависимости $\varepsilon_x(x)$ для рассматриваемого случая должны укладываться на прямую?

Литература

1. Васильев Л.А. Теневые методы. –М.: Наука, 1968. –400 с.: ил.
2. Зимин В.Д. Оптические методы исследования прозрачных неоднородностей: учеб, пособие по спецкурсу. Пермь: Изд. Пермского ун-та, 1976.–92 С.: ил.
3. Хауф В., Григуль У. Оптические методы в теплопередаче. М.: Мир, 1973. –240 с.: ил.