

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

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБМЕР ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ
ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ПЛАМЕНИ, ПОЛУЧЕННОЙ НА
ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ СДВИГА

Методические указания к лабораторной работе № 8

БАРНАУЛ–2010

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

Получение и обмер интерференционной картины осесимметричного пламени, полученной на интерферометре сдвига: 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, 16 с.

Дано краткое описание простейшей реализации интерферометра сдвига на основе лазера и плоско-параллельной пластины, излагается порядок выполнения работы. Даются контрольные вопросы, приводится список литературы. Описана методика обмера сдвиговых интерферограмм.

Предназначено для студентов специальности 010701.65 «физика» специализации «теплофизика». Ил. 2. Библиогр. 6.

Получение и обмер интерференционной картины осесимметричного пламени, полученной на интерферометре сдвига

Цель работы: Основная цель работы – изучение принципа действия интерферометра сдвига с плоскопараллельной пластиной.

Оборудование: малая оптическая скамья, гелий-неоновый ОКГ HNA-188, поворотное зеркало, поворотная призма, микрообъектив, объективы Юпитер 37Б 2 шт., объектив Юпитер 9, плоскопараллельная стеклянная пластина–закрепленные в держателях на рейтерах, фотоаппарат с фотообъективом и удлинительными кольцами, столик для исследуемого объекта, компьютер для анализа изображений интерферограмм.

Сдвиговая интерферометрия

Интерферометры с полным разделением интерферирующих пучков (типа Маха–Цендера, Майкельсона и т. д.) обеспечивают прямое измерение оптической толщины с наибольшей точностью. Однако промышленные интерферометры типа Маха–Цендера ввиду сложности их изготовления и высокой цены не доступны широкому кругу исследователей. Кроме того, громоздкость прибора весьма затрудняет его использование при модернизации уже существующих экспериментальных установок. Приобретают также актуальность задачи, которые требуют нескольких направлений просвечивания, и компоновка с этой целью нужного числа интерферометров Маха–Цендера представляется практически неразрешимой задачей. При практическом применении интерферометров с полным разделением интерферирующих пучков исследователь встречает ряд трудностей, наиболее серьезными из которых являются:

- трудности уравнивания оптических длин путей интерферирующих пучков до величины, не превышающей длину когерентности источника (при применении нелазерных источников света);
- трудности устранения влияния дисперсии деталей из стекла и других диспергирующих материалов на контраст интерференционных полос при использовании немонахроматических источников;
- трудности получения высококонтрастных полос при конечной апертуре (при конечных размерах) протяженного источника света.

Если эти трудности разрешаются путем применения лазера, то остается трудность, вытекающая из требований к жесткости конст-

рукции. По этим причинам экспериментаторы осваивают интерферометры сдвига, которые, не будучи в полной мере эквивалентными интерферометру Маха–Цендера, тем не менее обладают достаточно широкими возможностями и даже некоторыми преимуществами. Интерферометры сдвига просты в юстировке и регулировках, стабильны в работе, имеют компактные светоделители и компенсаторы, а по сравнению с теневыми приборами обеспечивают большее удобство измерений и большую точность.

Наибольшее распространение получили интерферометры бокового сдвига, в которых две волновые поверхности, оставаясь параллельными, получают боковое смещение одна относительно другой, они применимы для широкого класса задач теплофизики, газодинамики, горения и т. п. В этих интерферометрах полосы образуются благодаря переналожению двух идентичных по форме, одинаково искаженных неоднородностью волновых поверхностей. На рис. 1 в верхней части изображены две смещенные одна относительно другой идентичные деформированные волновые поверхности, в нижней – их разность, определяющая форму и положение интерференционных полос. Эти функции определяются соотношениями

$$\Delta\varphi_{02}(x, y) = \Delta\varphi_{01}(x - s, y); \quad \Delta\varphi_2(x, y) = \Delta\varphi_1(x - s, y), \quad (1)$$

где s – величина сдвига одной волновой поверхности относительно другой (плоскость XU ориентирована так, чтобы ось X совпадала с направлением сдвига), а разности хода интерферирующих пучков при наличии неоднородности и без неоднородности – выражениями

$$\begin{aligned} \Delta(x, y) &= \Delta\varphi_1(x, y) - \Delta\varphi_1(x - s, y); \\ \Delta_0(x, y) &= \Delta\varphi_{01}(x, y) - \Delta\varphi_{01}(x - s, y). \end{aligned} \quad (2)$$

Разность $\Delta(x, y) - \Delta_0(x, y)$ определяется действием неоднородности и называется дополнительной разностью хода.

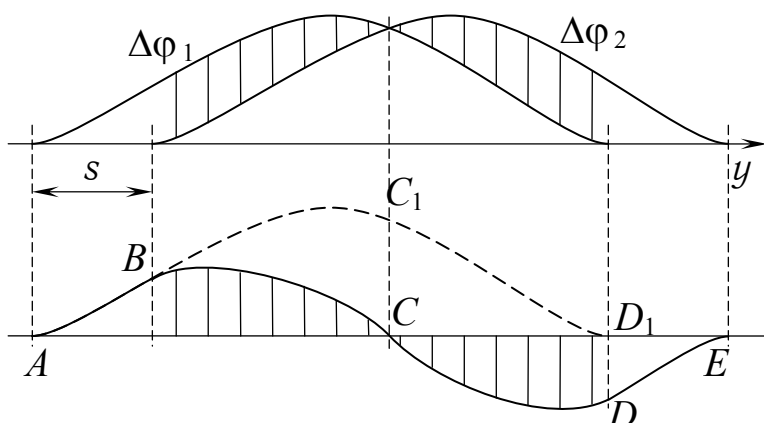


Рис. 1. Образование интерференционных полос в интерферометре сдвига.

Для расчета поля показателя преломления необходимо знать функцию $\Phi(x, y)$, определяющую деформацию волновой поверхности неоднородностью. В общем случае, когда о характере функции $\Phi(x, y)$ ничего не известно, а сдвиг s выбран произвольным образом (например, более чем в половину диаметра рабочего поля), такая задача неразрешима: полосы в поле интерференции образованы переналожением двух неизвестных волновых поверхностей, хотя и представляющих участки одной и той же поверхности.

На практике обычно имеют дело с одним на двух случаев:

- размеры исследуемой неоднородности меньше, чем величина сдвига s ; тогда для невозмущенной области можно положить $\Delta\varphi_1(x-s, y) = \Delta\varphi_{01}(x-s, y)$; возмущенный волновой фронт накладывается на невозмущенный, и из (2) имеем

$$\Delta(x, y) - \Delta_0(x, y) = \Delta\varphi_1(x, y) - \Delta\varphi_{01}(x, y) = \Phi(x, y), \quad (3)$$

полосы получаются такие же, как в двухлучевом интерферометре типа Маха–Цендера;

- сдвиг мал по сравнению с размерами неоднородности; волновая поверхность имеет невозмущенный участок (или размер неоднородности меньше диаметра поля прибора, или рассматривается часть неоднородности, так что в поле прибора *обязательно* попадает и область пространства без неоднородности); в этом случае можно записать множество уравнений для дополнительной разности хода:

$$\begin{aligned} \Delta(x, y) - \Delta_0(x, y) &= [\Delta\varphi_1(x, y) - \Delta\varphi_{01}(x, y)] - \\ &- [\Delta\varphi_1(x-s, y) - \Delta\varphi_{01}(x-s, y)] = \Phi(x, y) - \Phi(x-s, y); \\ \Delta(x-s, y) - \Delta_0(x-s, y) &= \Phi(x-s, y) - \Phi(x-2s, y); \\ \Delta(x-2s, y) - \Delta_0(x-2s, y) &= \Phi(x-2s, y) - \Phi(x-3s, y); \end{aligned}$$

.....

$$\Delta(x-ms, y) - \Delta_0(x-ms, y) = \Phi(x-ms, y) - \Phi(x-(m+1)s, y).$$

Для каждой небольшой области интерферограммы (не превышающей величины сдвига) можно выбрать число m таким, что точки $(x-(m+1)s, y)$ будут лежать в области поля интерференции, не возмущенной неоднородностью, в которой $\Phi(x-(m+1)s, y) = 0$. Тогда, сложив левые и правые части всех равенств, получим, что для данной области интерферограммы искомая функция $\Phi(x, y)$ изменения оптической длины пути за счет действия неоднородности выразится формулой

$$\Phi(x, y) = \sum_{k=0}^m [\Delta(x - ks, y) - \Delta_0(x - ks, y)]. \quad (4)$$

Отметим чрезвычайно важное для измерений и интерпретации результатов измерений обстоятельство: измерение положения интерференционных полос необходимо проводить вдоль прямых, проведенных строго вдоль направления сдвига. Для разных небольших областей интерферограммы (протяженностью, равной величине сдвига) приходится брать различные m : для окраинной области неоднородности, для которой возмущенный волновой фронт накладывается на невозмущенный, $m=0$, и в пределах этой области $\Phi(x, y)$ определяется формулой (3), для следующей области неоднородности, удаленной от края неоднородности на расстояние от s до $2s$, берется значение $m=1$, затем $m=2$, и т. д. (при этом приходится учитывать некоторую нечеткость границы области неоднородности и иметь в виду, что если взять значение m на единицу больше, чем это требуется, и при этом выйти за пределы интерферограммы, результат расчета будет верным).

Основная погрешность в восстановлении искомой формы волновой поверхности обусловлена случайной погрешностью суммы величин $\Delta(x, y)$ и $\Delta_0(x, y)$ для разных k , каждая из которых определяется по интерферограммам с некоторой случайной ошибкой; кроме того, имеет место погрешность вследствие ошибки в определении величины и направления сдвига. Ясно, что сдвиг желательно по возможности увеличивать, однако он не должен превышать ширину невозмущенного участка волновой поверхности.

Описание установки

Пространственная и временная когерентность и высокая яркость излучения лазеров делает их удобными источниками света для интерферометров. Используя лазер, можно создать очень простой интерферометр сдвига, используя для получения смещенных по отношению друг к другу световых пучков отражение от передней и задней поверхностей пластины из оптического стекла.

Оптическая схема установки приведена на рис. 2. Излучение ОКГ, направленное поворотной призмой 1 (или системой зеркал) в интерферометр, расширяется микрообъективом 2. Длиннофокусный объектив 3 образует с микрообъективом телескопическую систему, т.е. фокусы этих объективов совпадают, и из длиннофокусного объектива излучение выходит в виде плоской световой волны диамет-

ром приблизительно 7 см. На пути этого светового пучка располагается исследуемый объект (пламя спиртовки) таким образом, чтобы часть светового пучка проходила мимо объекта без возмущений – в этом случае при визуальном наблюдении интерферограммы обнаруживается небольшая невозмущенная область, к которой примыкает область интерференции между невозмущенным волновым фронтом и волновым фронтом, прошедшим через объект, а далее, на расстоянии от края неоднородности, превышающем величину сдвига, наблюдается интерференция между волновыми фронтами, прошедшими через объект и смещенными один относительно другого. Затем, чтобы не применять светоделительный элемент такого большого размера, как диаметр световой волны в рабочей области, располагается телескопическая система, уменьшающая диаметр световой волны и оставляющая волновой фронт близким к плоскому, она состоит из длиннофокусного объектива 4 и объектива с фокусным расстоянием 85 мм 5, после чего на пути волнового фронта располагается светоделитель, в данном случае – плоскопараллельная пластина: отраженные от первой и второй поверхностей пластины световые волны имеют сдвинутые когерентные волновые фронты.

Сдвиг между волновыми поверхностями определяется формулой:

$$s' = \frac{h \cdot \sin 2i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}, \quad (5)$$

где h – толщина пластины, i – угол падения, n – показатель преломления материала пластины.



Рис. 2 Оптическая схема установки.
 1 – поворотная призма,
 2 – микрообъектив,
 3, 4 – длиннофокусные объективы,
 5 – объектив с фокусным расстоянием (85...90) мм,
 6 – плоская стеклянная пластина,
 7 – проекционный объектив,
 8 – фотоаппарат.

Сдвиг между интерферирующими лучами в плоскости исследуемого объекта H равен:

$$s = \frac{F'}{f'} s', \quad (6)$$

где F' и f' фокусные расстояния объективов 4 и 5 на рис. 3 (при условии, что фокусы этих объективов совпадают).

Из анализа формулы (5) следует, что с пластиной из стекла К8 ($n = 1,516$) наибольшее значение сдвига s' , равное $0,75 h$, достигается при $i = 51^\circ$. При уменьшении угла падения от 51° до 10° сдвиг изменяется от наибольшего значения до $0,22 h$.

Если применяются совершенные оптические элементы, начальная разность хода между интерферирующими лучами определяется формулой, известной из общего курса физики

$$\Delta = 2hn \cos r + \frac{\lambda}{2} = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}, \quad (7)$$

где r – угол преломления, $n \sin r = \sin i$. При строгой параллельности поверхностей пластины друг другу начальная разность хода зависит только от угла i . При небольшой дефокусировке объективов 4 и 5 пластина освещается не плоской волной, а волной от точечного источника, удаленного на расстояние, приблизительно равное $z' = -f'^2/\delta$, где δ – расстояние между задним фокусом объектива 4 и передним фокусом объектива 5. Изменению угла падения i на величину δi в направлении сдвига соответствует линейное перемещение Δx в окрестности пластины на величину $z' \delta i$. Этому же изменению δi угла i соответствует изменение разности хода

$$\delta \Delta = -\frac{2h \sin i \cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \delta i = -s' \delta i.$$

Подставляя в эту формулу $\delta i = \Delta x / z' = -\Delta x \cdot \delta / f'^2$, получим формулу для начальной разности хода в виде

$$\Delta = \frac{s' \cdot \delta}{f'^2} x + const, \quad (8)$$

где x – абсцисса точки интерференционного поля (ось X параллельна направлению сдвига). В соответствии с (8), в поле интерференции имеем равномерную освещенность при $\delta = 0$ или систему прямолинейных и эквидистантных полос, перпендикулярных к направлению сдвига, при $\delta \neq 0$.

Практически удобнее вместо плоскопараллельной пластины использовать плоскую пластину со слабой клиновидностью. В этом случае начальная разность хода равна

$$\Delta = 2\eta\alpha\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{s' \cdot \delta}{f'^2} x + \text{const}, \quad (9)$$

где α – преломляющий угол клина. Координатная ось $O\eta$ лежит в плоскости интерферограммы и перпендикулярна к ребру клина.

Из выражения (9) следует, что при $\delta=0$ интерференционные полосы перпендикулярны оси $O\eta$, и их направление можно менять поворотом пластины вокруг нормали к поверхности пластины.

При $\delta \neq 0$ ориентация полос зависит от соотношения между слагаемыми в формуле (9). С клиновидной пластиной может быть получена также настройка интерферометра на равномерную освещенность (одну широкую полосу). Для этого оси OX и $O\eta$ (направление сдвига и ребро клина) следует направить в противоположные стороны, а объективы 4 и 5 рис. 3 расфокусировать на величину

$$\delta = \frac{2f'^2\alpha\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{s'}$$

В любой оптической неоднородности лучи искривляются. И если этим искривлением можно пренебречь в самой неоднородности и вблизи нее, то по мере удаления волновой поверхности от неоднородности ее форма все более и более искажается, причем нарушается подобие между волновой поверхностью на выходе из неоднородности и на удалении от нее. Чтобы свести это искажение к минимуму, интерферограмма помещается в плоскости, сопряженной с плоскостью, примыкающей к неоднородности на выходе из нее световых лучей, или вблизи этой плоскости. Для практического нахождения этой плоскости определяется положение изображения неоднородности в области интерференции. Так как изображение может оказаться (и в данной схеме оказывается) до светоделителя, применяется дополнительный объектив 7, с помощью которого изображение неоднородности переносится в область интерференции на фотопленку в фотоаппарате 8.

Для идентификации точек и невозмущенных полос на интерферограмме объекта и невозмущенного поля, в рабочем поле необходимо помещать стержень, играющий роль репера, а также позволяющий определять масштаб интерферограммы, величину и направление сдвига.

Методика обмера интерферограмм

Обработку интерферограмм можно разделить на два типа. К первому относят совокупность операций, результатом которых является установление формы возмущенной волновой поверхности. После того, как эти операции завершены, ставится задача определения локальных значений показателя преломления исследуемой неоднородности. Приемы, используемые на этом (втором) этапе, не зависят от того, каким способом найдена деформация волновой поверхности.

Обмер интерферограмм на компьютере производится в графическом редакторе, позволяющем работать со слоями изображения (Gimp, Photoshop и т. п.). Выбранные интерферограммы – с пламенем и без пламени – вставляются как два слоя одного файла; включая и выключая видимость верхнего слоя или изменяя его прозрачность, легко контролировать совмещение их реперов и интерференционных полос вне пламени, взаимное смещение слоев устранить путем перемещения верхнего слоя. Исследуемое сечение выбирается строго параллельным направлению сдвига, одно и то же на обеих интерферограммах. Для этого поверх слоев с интерферограммами накладывается еще слой, на котором и проводится отсчетная прямая.

Обработку интерферограмм начинают с установления соответствия полос на изображении неоднородности, за пределами неоднородности на интерферограмме объекта, и на интерферограмме, полученной в отсутствие объекта. При этом произвольной полосе на интерферограмме, полученной без объекта, присваивается некоторый номер, остальные полосы нумеруются по обе стороны от исходной полосы по порядку соответственно в порядке возрастания или убывания номеров.

Допустим, полосы пронумерованы по всему снимку. Тогда форму волновой поверхности можно восстановить либо графически, либо расчетным путем. Поясним с помощью рис. 1, в чем состоит графический способ. Для простоты возьмем случай, когда сдвиг направлен вдоль сечения обработки. В соответствии с формулой (4), для нахождения величин деформации волновой поверхности неоднородностью необходимо иметь значения дополнительной разности хода.

Способы измерений дополнительной разности хода зависят от настройки интерферометра. При настройке на одну широкую поло-

су вдоль прямой, проведенной через интересующую точку интерферограммы в направлении сдвига, проводят так называемую отсчетную прямую. Значения приращений разности хода находят в точках пересечения прямой отсчета с серединами соответствующих интерференционных полос, значения приращения разности хода при этом равны произведению порядка интерференции на длину волны. По этим данным строят так называемую кривую приращений разности хода (рис. 1) – разности хода между одинаковыми волновыми фронтами, сдвинутыми по отношению друг к другу на величину s (эти волновые фронты изображены в верхней части рис. 1), причем полагается, что в отсутствие неоднородности разность хода интерферирующих волн равна нулю или постоянна по всему полю (интерференционные полосы отсутствуют).

При настройке интерферометра на полосы действительные значения дополнительной разности хода определяются не непосредственно по интерферограмме исследуемого объекта, а с применением двух интерферограмм – первая получена при наличии объекта, вторая – в его отсутствие: через одну и ту же точку исследуемой области одинаковым образом (в направлении сдвига) на обеих интерферограммах проводятся отсчетные прямые, вдоль которых определяются значения приращения разности хода. При вычитании второй кривой из первой получается кривая дополнительной разности хода.

Чтобы понять принцип нахождения величины деформации волновой поверхности, рассмотрим, как формируется кривая приращения разности хода. Приняв левый из приведенных на рис. 1 волновых фронтов за исследуемый, а правый – за опорный и условившись считать разность хода q , выраженную в числе волн, положительной, когда первый из них отстает от второго, получим из рис. 1 эту функцию (рис. 1 внизу).

Из приведенного построения очевиден способ восстановления формы волновой поверхности по измеренной разности хода. Прибавляя к ординатам q (или Δq , если есть полосы и без объекта) правее точки B значения ординат, отстоящих влево на величину сдвига s , получим кривую BC_1D_1 , которая вместе с участком AB описывает сечение волновой поверхности. Следует иметь в виду, что прибавляемые ординаты, лежащие правее точки B , – это ординаты достраиваемой кривой BC_1D_1 , а не исходной кривой BCD . На участке D_1E суммируются равные отрезки с противоположными

знаками. Графическая обработка уместна, когда она ведет к реальному сглаживанию ошибок измерений. При высокой точности исходных данных нужно пользоваться более надежными методами, например, расчетом по формуле (4) на компьютере с применением сплайн-аппроксимации экспериментальной функции.

Порядок выполнения работы

Получение интерферограмм

Проверить ориентацию и частоту интерференционных полос в отсутствие неоднородности, небольшой дефокусировкой второго длиннофокусного объектива выставить в поле 20...30 полос, которые должны быть горизонтальными (с небольшой кривизной), если они не горизонтальны, поворотом пластины вокруг нормали к ее поверхности обеспечить требуемую ориентацию.

Перекрыв рабочее поле интерферометра матовым стеклом и передвигая в рабочем поле масштабный стержень, найти плоскость, отображаемую оптической системой на фотопленке резко, вблизи этой плоскости и следует размещать исследуемый объект.

Установить на столик спиртовку и зажечь ее. Выставить ее так, чтобы небольшая часть интерференционной картины (справа или слева) не изменялась при наличии пламени. Установить на столике масштабный стержень, который одновременно будет играть роль репера. Сфотографировать несколько раз интерференционную картину, не изменяя положения спиртовки и репера. Затем осторожно, не меняя положения реперного стержня, погасить спиртовку. Сделать фотографию интерференционной картины с теми же временами экспозиции при том же положении стержня.

Убрать спиртовку и измерить диаметр масштабного (реперного) стержня, что потребуется для установления масштаба интерферограмм.

После загрузки файлов изображений в компьютер выбрать наилучшую пару интерферограмм – с пламенем и без пламени.

Определение дополнительной разности хода

Провести обработку указанного преподавателем сечения интерферограммы по методике, описанной в разделе «Методика обмера интерферограмм». Начало отсчета и нумерации полос на интерферограммах должны совпадать. Первой из интерференционных полос, пересекаемых прямой отсчета, удобно присвоить номер 20,

остальные полосы нумеруются по порядку (направление увеличения номера полосы – вверх или вниз – пока безразлично; в конечном счете функции $\Phi(x)$ следует приписать знак минус, так как из-за меньшей плотности нагретого газа оптическая длина пути в пламени уменьшается). Светлым интерференционным полосам присваиваются целые номера, темным – полуцелые.

Вдоль прямых отсчета выполнить измерения координат пересечения середин светлых и темных интерференционных полос. Положение начала отсчета не существенно, важно, чтобы начала отсчета на обеих интерферограммах совпадали. Результаты измерений представлять в виде аккуратно заполненных таблиц (аккуратность особенно важна для ввода полученных значений в компьютер): в качестве аргумента x записывается координата пересечения полосы, в качестве функции y – номер пересекаемой интерференционной полосы (полуцелый, если полоса темная). Если на протяжении нескольких сантиметров прямая отсчета не пересекает полосы, на этом участке с интервалом (1.5...2) см определяется дробный номер q интерференционной полосы.

Измерить величину сдвига и масштаб изображения. Величина сдвига определяется по расстоянию между левыми или правыми краями двойного изображения масштабного стержня, масштаб изображения равен отношению диаметра изображения стержня к диаметру самого стержня. Масштаб изображения учитывается в дальнейшем, при расчете поля показателя преломления.

Построить на миллиметровой бумаге или средствами компьютера кривые приращений разности хода вдоль отсчетной прямой. Обе кривые разместить на одном графике. Масштабы на миллиметровой бумаге: по оси X 2:1, по оси Y изменению номера полосы на единицу должно соответствовать 2 см. Вычитая из ординат кривой приращений разности хода неоднородности ординаты кривой приращений разности хода сравнительной интерферограммы, на этом же графике построить кривую значений дополнительной разности хода.

Определение изменения оптической длины пути, обусловленное действием исследуемой неоднородности

Расчет экспериментальной функций $\Phi(x)$ осуществляется на компьютере и контролируется графически с использованием пакета Maple V Release 4. При расчете на компьютере кривые приращений разности хода аппроксимируются кубическими

сплайнами, и кривая дополнительной разности хода вычисляется по разности этих аппроксимирующих кривых для соответствующих значений x . Затем по формуле (18) вычисляется изменение $\Phi(x)$ оптической длины пути, обусловленное действием неоднородности.

Алгоритм действий следующий:

1. Ввод общих констант: величины сдвига s (в тех же единицах, что и координаты пересечения середин интерференционных полос), длины волны λ в м, масштаба для приведения измеренных x -координат к истинному в м.
2. Для опорной и объектной интерферограмм формирование функции в виде сплайнов:
 - 2.1. Для интерферограммы без пламени (опорной) ввод списков измеренных X -координат и соответствующих им порядков интерференции (номеров полос).
 - 2.2. Подсчет числа точек n_1 опорной интерферограммы с помощью функции `pos()`.
 - 2.3. Создание функции-сплайна (кубического) $y^{(оп)}(x)$ – для этой интерферограммы с использованием `unappr1 y()`.
3. То же проделывается для интерферограммы с пламенем:
 - 3.1. Ввод списков измеренных x -координат и соответствующих им порядков интерференции (номеров полос).
 - 3.2. Подсчет числа точек n_1 объектной интерферограммы.
 - 3.3. Создание функции-сплайна $y^{(об)}(x)$ для этой интерферограммы.
4. Выбор общих для обеих зависимостей начала и конца по оси абсцисс, чтобы избежать экстраполяции (левая граница – большее из x_1 , правая граница – меньшее из x_{n1} и x_{n2}).
5. Вычисление длины рабочего участка интерферограмм $L = x_n - x_1$.
6. Создание функции-сплайна для объектной интерферограммы.
7. Смещение ее по высоте (введение поправки к неточно измеренным данным, цель которой – чтобы обе кривые исходили из нуля по оси ординат):
 - 7.1. Вычисление смещения: $\Delta y = y^{(оп)}(x_1) - y^{(об)}(x_1)$.
 - 7.2. Ввод поправки в функцию: $y^{(об)}(x) \rightarrow y^{(об)}(x) + \Delta y$.
8. Формирование кривых для графического отображения полученных функций.
9. Отображение кривых на одном рисунке (`display`).
10. Формирование разностного сплайна $f(x)$ (со смещением по оси X так, чтобы кривая исходила из начала координат).

11. Отображение этого сплайна на графике.
12. Нахождение его максимума, минимума f_{\max} , f_{\min} и их положения x_{\max} , x_{\min} (приблизительно, последовательным перебором и сравнением значений сплайна с шагом 0.01, если x введены с двумя значащими цифрами после запятой, с шагом 1 если единицы измерения x – пиксели).
13. Теоретически величины максимума и минимума должны быть одинаковы по величине, поэтому целесообразно сделать линейно зависящую от X поправку.
- 13.1. Нахождение коэффициента наклона b этой поправки:

$$b = (f_{\max} + f_{\min}) / (x_{\max} + x_{\min}).$$
- 13.2. корректировка сплайна-функции: $f(x) \rightarrow f(x) - bx$.
14. Отображение кривых на одном рисунке.
15. Создание кусочно-гладкой функции (рис. 1) оптической толщины пламени с учетом сдвига в соответствии с теоретической формулой (4).
16. Нахождение радиуса и диаметра пламени последовательным перебором и проверкой, являются ли значения сплайна положительными, с шагом сначала 0.1, затем в интервале смены знака сплайна с шагом 0.01 и затем аналогично с шагом 0.001, если x введены с двумя значащими цифрами после запятой.
17. Отображение этой функции на графике.

Результаты расчетов на компьютере представляются на графике и в виде таблиц. Для контроля правильности ввода информации в компьютер и для усвоения алгоритма расчета выполнить определение функции $\Phi(x)$ также графически по методике, описанной в разделе «Методика обмера интерферограмм» (построить кривую $\Phi(x)/\lambda$).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как формируется интерференционная картина в интерферометре бокового сдвига, когда размер неоднородности не превышает величину сдвига? Как определить в этом случае деформацию волновой поверхности, обусловленную действием неоднородности?
2. Как формируется интерференционная картина и как определить деформацию волновой поверхности, обусловленную действием исследуемой неоднородности, когда величина сдвига

значительно меньше размера неоднородности? Что называют дополнительной разностью хода?

3. С какой целью применяется проекционный объектив, отображающий на фотоматериале плоскость, прилегающую к неоднородности?
4. Как следует располагать исследуемый объект в рабочем поле интерферометра сдвига? Как выглядит интерферограмма в отсутствие исследуемого объекта?
5. Как определить величину и направление сдвига, масштаб изображения?

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1979. – 928 с.
2. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. – М.: Высшая школа, 1978. – 364 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1980. – 752 с.
4. Зимин В.Д. Оптические методы исследований прозрачных неоднородностей: Учебное пособие по спецкурсу. – Пермь: Изд-во Пермского университета, 1976. – 92 с.
5. Хауф В., Григуль У. Оптические методы в теплопередаче. – М.: Мир, 1973. – 240 с.
6. Оптические методы исследований в баллистическом эксперименте/ Под ред. Мишина. – Л.: Наука, 1979. – 230 с.