

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. А. ОСТРОУМОВ

**ОПТИЧЕСКИЙ КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД НАБЛЮДЕНИЯ
ТЕПЛОВЫХ И ДИФФУЗИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ И МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЧТИ ПЛОСКИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ (МЕТОД РЕШЕТКИ)**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 13 II 1950)

I. Введение

При экспериментальной проверке законов распространения тепла, а также диффузионных процессов, в конечном счете приходится обычно проверять справедливость основного уравнения теплопроводности или формально совпадающего с ним уравнения диффузии. Существенным членом в этих уравнениях является лапласиан температур или концентраций. Непосредственное вычисление лапласиана, т. е. суммы вторых производных по координатам от наблюдаемых величин температур или концентраций, по методу конечных разностей отягчено тем большими погрешностями, что приходится вычислять малые разности больших величин, измеренных только приблизительно. Поэтому исследователям приходится прибегать к различным обходным приемам, например сначала аппроксимировать наблюдаемые величины какими-либо целесообразно выбранными функциями координат, а потом аналитическим путем определять значение оператора Лапласа.

Таким образом, непосредственное экспериментальное определение величины лапласиана, хотя бы для условий плоской задачи, очень заманчиво. Ниже описывается установка, позволяющая решать эту задачу.

II. Описание установки

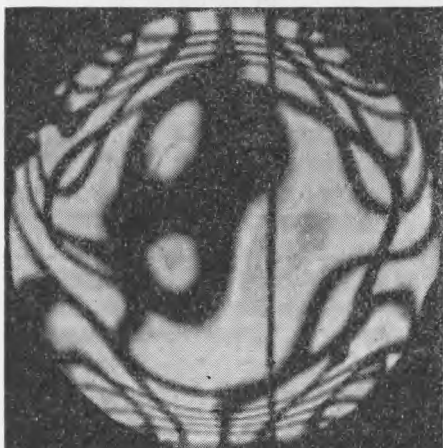
Изготавливается исследуемая модель, снабженная положительными линзами, так, что она служит как предметом, так и объективом в установке Теплера. Фокусное расстояние этого объектива должно быть велико по сравнению с размерами модели (малая светосила модели-объектива). Модель освещается точечным источником света. В отсутствие теплового или диффузионного процесса изображение источника света фокусируется моделью-объективом на решетку, состоящую из системы равноотстоящих вертикальных и горизонтальных стержней, и именно на перекрестке этих стержней. Через хороший объектив, расположенный непосредственно позади решетки, модель-объектив фокусируется на матовое стекло или фотопластинку обыкновенной фотокамеры, или на фильм киносъемочного аппарата. Это изображение будет темным, так как оно получено только за счет лучей, рассеянных моделью, потому что прямые лучи источника будут задержаны перекрестием стержней решетки.

Если теперь в модели возникает тепловое или диффузионное явление, то в некоторых местах модели возникает градиент плотности, а вместе с ним и градиент показателя преломления. Такие места будут действовать как призмы, отклоняющие лучи в сторону больших плотностей. Свет, проходящий через эти места модели, попадает на решетку не в то перекрестие, как раньше, а на новый участок решетки — на стержень ее или в промежуток между стержнями. В первом случае это место на позитиве фотографии снова получится темным, во втором — светлым. Таким образом, теперь на фотографии модели возникнут темные полосы, распадающиеся на два семейства. Каждая темная полоса соответствует одному стержню решетки, отстоящему от точки первоначальной фокусировки на определенное расстояние. Поэтому одно семейство, соответствующее горизонтальным стержням решетки, отобразит на фотографии модели изолинии равного вертикального, второе — изолинии равного горизонтального градиента показателя преломления (плотности, температуры, концентрации).

III. Теория

Число изолиний равного вертикального градиента плотности, приходящееся на единицу длины любого вертикального отрезка в пределах изображения модели, представляет в известном масштабе пространственную скорость изменения вертикального градиента плотности в этом месте модели, т. е. вторую производную плотности по вертикальной координате. Точно так же число изолиний равного горизонтального градиента, приходящееся на горизонтальную единицу длины, представит вторую производную по горизонтальной координате. Сумма обоих чисел (с учетом знаков) в том же масштабе даст величину лапласиана плотности (показателя преломления, температуры, концентрации).

Холоднее Верх



Теплее. Низ

Рис. 1

Таким образом, задача, сформулированная в разделе I, решается непосредственно с большой степенью точности.

Таким образом, задача, сформулированная в разделе I, решается непосредственно с большой степенью точности.

IV. Приемы применения

На рис. 1 и 2 даны примеры применения этого метода *. В качестве модели взята цилиндрическая полость в металлическом массиве с горизонтальной осью диаметром и длиной по 35 мм. Полость ограничена с обеих сторон положительными очковыми стеклами и заполнена глицерином. Вертикальное направление отмечено прямой линией отвеса.

Рис. 1 соответствует случаю, когда в массиве был создан вертикальный градиент температуры (внизу теплее). В связи с этим в полости возникло конвективное движение жидкости: по вертикальному диаметру теплая жидкость поднимается, по бокам опускается. В тех местах модели, где жидкость интенсивно нагревается или охлаждается — внизу и

* В изготовлении этих фотографий принимала участие Г. Гук.

вверху фотографии — лапласиан имеет большую положительную или отрицательную величину: изолинии равных градиентов расположены густо. Это особенно заметно в отношении вертикальных градиентов. В центральной части модели нагретая жидкость, поднимаясь, переносит большие количества тепла, сохраняя температуру почти неизменной: в этой части изолинии почти отсутствуют. Вернее, здесь заметна одна изолиния, свитая в причудливый клубок. Он может быть легко расшифрован увеличением фокусного расстояния или применением мелкоячеистой решетки.

Рис. 2 соответствует случаю, когда в массиве создан горизонтальный градиент температур. В связи с этим в полости возникло конвективное движение: вдоль теплой стенки жидкость поднимается, вдоль холодной опускается. Значительная густота изолиний обоих семейств наблюдается в тех частях модели, где жидкость подвергается значительному изменению температуры. В центральной части модели имеются признаки только вялого теплового процесса. Изолиния, образовавшая в центре фотографии одну замкнутую кривую, соответствует почти нулевому горизонтальному градиенту. Изолинии, образовавшие наискосок две пары взаимно охватывающих фигур, принадлежат к семейству равных вертикальных градиентов.

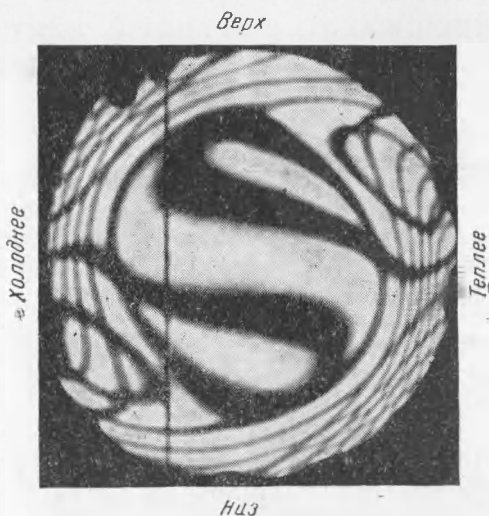


Рис. 2

V. Варианты метода

Описываемый метод может быть применен для количественных измерений во всех тех случаях, где может быть полезен качественный полутеневого метод. Ниже приводятся некоторые примеры.

1. Для увеличения светосилы и сокращения выдержки, в частности для киносъемок устанавливаемых процессов, точечный источник света может быть заменен плоским. В этом случае он должен представлять негативное воспроизведение решетки (прозрачные вертикальные и горизонтальные щелеобразные просветы в непрозрачном слое) в таком масштабе, который обеспечивает темное изображение при отсутствии изучаемого явления. Необходимо все-таки, чтобы видимые размеры источника были малы, если смотреть из центра модели.

2. В качестве модели могут быть исследованы любые предметы, в которых должны быть изучены оптические неоднородности. Например, может быть изучена незначительно меняющаяся толщина стеклянной пластинки или свили в ней, а также пленки жидкостей и их смесей на поверхности прозрачных пластинок или зеркал (ср. п.п. 4 и 5).

3. Объектив фотокамеры может быть заменен вогнутым зеркалом, на котором начерчена решетка. Этот вариант существенно сокращает габариты установки.

4. Объектив модели также может быть заменен вогнутым зеркалом. Тогда луч света должен дважды пройти сквозь модель, что удваивает чувствительность метода. Этот вариант еще раз существенно сокращает габариты установки.

5. Метод может быть применен для измерений постоянных или временных уклонений этого зеркала от сферической или плоской формы. В последнем случае перед зеркалом нужно поставить объектив.

Полезно подчеркнуть, что явления дифракции ограничивают чувствительность описываемого метода снизу, а не сверху.

Молотовский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
17 I 1950

