

МЕТОД КРЮКОВ РОЖДЕСТВЕНСКОГО ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСТАНОВКЕ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА

В. Г. Мишаков и А. М. Шухтин

Обсуждается возможность применения метода крюков Рождественского с использованием установки, содержащей интерферометр Майкельсона. Описан схематический вид картины интерференции. Показано, что при фотографической регистрации для осевых точек интерферограммы справедливы обычные рабочие формулы метода крюков Рождественского.

Рождественский в работе [1] упоминает о попытке использования интерферометра Майкельсона (ИМ) для изучения явления аномальной дисперсии. Найдя ИМ слишком подверженным температурным воздействиям, автор отказался от его применения и разработал интерферометр собственной конструкции. С тех пор при исследовании аномальной дисперсии к ИМ больше не обращались. Между тем техника эксперимента сильно изменилась и упомянутый недостаток ИМ в ряде случаев теперь оказывается несущественным. Другие же его особенности, как двукратное прохождение зондирующего светового пучка через исследуемый слой вещества и геометрия прибора, позволяет иногда предпочесть его другим интерферометрам. В связи с этим нам представляется полезным краткое описание картины, которую можно получить с помощью установки, включающей ИМ, и методов обработки интерферограмм. Кроме того, нам кажется, что это будет полезным для понимания и анализа интерферограмм, получаемых с помощью интерферометров других типов.

Пусть ИМ включен в установку типа установки Рождественского [1].

1. Длины плеч ИМ равны между собой, оптическая длина пути, создаваемая разделительной пластинкой, строго уравнивается компенсационной пластинкой. Плоскости зеркал ИМ строго перпендикулярны одна другой. В одно из плеч перпендикулярно оси введен слой пара толщиной l с одиночной линией поглощения λ_j . Система освещается источником излучения сплошного спектра. Определим схематический вид картины интерференции, наблюдаемой в фокальной плоскости спектрографа в области λ_j с разных сторон от одиночной линии поглощения. Уравнение интерференционной полосы порядка k можно записать так

$$\lambda_k(\varphi) = \frac{2l \ln \cos r - 2l \cos \varphi}{k}, \quad (1)$$

где φ — угол падения луча, r — угол преломления луча в слое пара (рис. 1). Для малых значений φ и r примем следующие приближения $\cos \varphi = 1 - \varphi^2/2$; $\cos r = 1 - r^2/2$; $\varphi = nr$. Тогда из (1) получается уравнение

$$k(\varphi) = \frac{2l(n-1) + l\left(1 - \frac{1}{n}\right)\varphi^2}{\lambda}. \quad (2)$$

При $\varphi = 0$

$$k(0) = \frac{2l(n-1)}{\lambda}. \quad (3)$$

Далеко от λ_j будет наблюдаться сплошной фон, соответствующий $k=0$. По мере приближения к линии поглощения k растет. При $\varphi \neq 0$, $r \neq 0$ точкам полосы данного порядка k будут соответствовать $\lambda_k(\varphi) \neq \lambda_k(0)$. Полоса выпишет кривую, симметричную относительно оси картины ($\varphi=0$). Направление искривления полос найдем, определив направление изменения величины k при изменении φ для заданного значения λ . Составив отношение (3) к (2), находим

$$\frac{k(0)}{k(\varphi)} < 1. \quad (4)$$

Полосы выпуклостью обращены в сторону возрастания k , т. е. к линии поглощения с обеих сторон от нее, что схематически изображено на рис. 2, а. Определив положение осевых точек полос, можно получить кривую дисперсии вещества.

2. Длины плеч ИМ различаются на величину Δl и в короткое плечо внесен слой пара толщиной l .

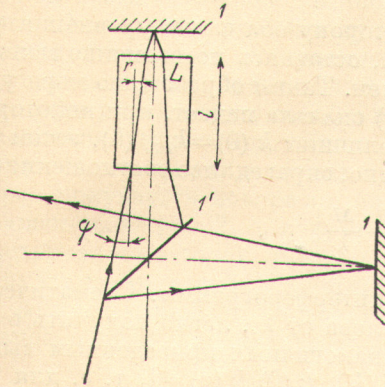


Рис. 1. Схема хода лучей в ИМ. 1 — сплошные зеркала ИМ, 1' — полупрозрачное зеркало ИМ, φ — угол падения, r — угол преломления, L — слой пара.

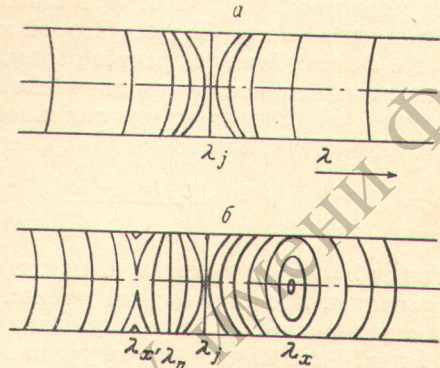


Рис. 2. Схематический вид картины интерференции.

а. Найдем вид картины с красной стороны от линии поглощения ($\lambda > \lambda_j$, $n > 1$). Уравнение полосы запишется так:

$$\lambda_k = \frac{2(l + \Delta l) \cos \varphi - 2l n \cos r}{k}. \quad (1')$$

Полосы и здесь будут кривыми, симметричными относительно оси картины. В границах принятого приближения легко получить соотношения.

$$k(\varphi) = \frac{2\Delta l - 2l(n-1) + \left[\frac{l}{n} - (l + \Delta l)\right] \varphi^2}{\lambda}, \quad (2')$$

$$\frac{k(0)}{k(\varphi)} = \frac{2\Delta l - 2l(n-1)}{2\Delta l - 2l(n-1) + \left[\frac{l}{n} - (l + \Delta l)\right] \varphi^2}. \quad (4')$$

Рассмотрим сначала последовательность расположения максимумов на оси картины

$$k(0) = \frac{2\Delta l}{\lambda} - \frac{2l(n-1)}{\lambda}. \quad (3')$$

Далеко от линии поглощения, по мере уменьшения λ , второй член уравнения (3') растет медленнее, чем первый, $k(0)$ здесь повышается, достигая максимальной величины $k_{\max}(0)$ при некотором значении $\lambda = \lambda_x$. Начиная с λ_x второй член уравнения (3') растет быстрее первого и $k(0)$ начинает уменьшаться. Очевидно, для точки $\lambda = \lambda_x$ справедливо соотношение 5.

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{l(n-1)}{\lambda} \Big|_{\lambda=\lambda_x} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{\Delta l}{\lambda} \Big|_{\lambda=\lambda_x}. \quad (5)$$

Задача состоит в отыскании этой точки на интерферограмме. Уравнение (4') позволяет представить схематически вид картины интерференции. Поскольку множитель при φ^2 меньше нуля, то при $\Delta l > l(n-1)$ $k(0)/k(\varphi) > 1$. Этому соотношению соответствует картина, схематически представленная на рис. 2, б справа от λ_j . Видно, что точку λ_x легко отыскать на спектрограмме. При $\Delta l = l(n-1)$, $k(0) = 0$. Для $\varphi = 0$ нулевой максимум получится при $\Delta l > l(n-1)$, т. е. нулевая полоса, как и последующие за ней полосы, будет иметь изгиб того же направления, что и соседние предыдущие. Поэтому нулевая полоса не выделяется на интерферограмме.

б. Найдем вид картины интерференции с синей стороны от линии поглощения ($\lambda < \lambda_j$; $n < 1$). Последовательность расположения максимумов на оси картины интерференции можно представить на основе уравнения (3'), записав его в следующем виде:

$$k(0) = \frac{2(l + \Delta l)}{\lambda} - \frac{2 \ln}{\lambda}.$$

По мере продвижения от λ_j в синюю сторону оба члена уравнения растут. Сначала растет быстрее второй член, оставаясь по величине меньше первого, а затем быстрее растет первый член. Таким образом, по мере удаления от линии поглощения значение $k(0)$ сначала падает, при некотором значении $\lambda = \lambda_{x'}$ достигает минимальной величины $k(0) = k_{\min}(0)$, затем начинает возрастать. Для точки $\lambda = \lambda_{x'}$, очевидно, справедливо соотношение (5')

$$\left. \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{l(n-1)}{\lambda} \right|_{\lambda=\lambda_{x'}} = \left. \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{\Delta l}{\lambda} \right|_{\lambda=\lambda_{x'}}. \quad (5')$$

Точку $\lambda = \lambda_{x'}$ отыскиваем с помощью интерферограммы. Схематически вид картины, представленный на рис. 2 слева от λ_j , легко получить с помощью уравнения (4') и рассуждений, аналогичных приведенным выше. При $l/n = l + \Delta l$, как видно из уравнения (4'), $k(0)/k(\varphi) = 1$, т. е. для $\lambda = \lambda_n$, соответствующей этому условию, полоса равной разности фаз представляется прямой перпендикулярной оси длин волн. Это замечание справедливо для значений φ , при которых допустимо использованное приближение.

Итак, с помощью интерферограммы легко найти точки λ_x и $\lambda_{x'}$, соответствующие экстремальным значениям разности фаз. Используя их, с помощью уравнений (5) и (5') не составляет труда получить соотношения, совершенно аналогичные рабочим формулам метода крюков Рождественского. Для обработки интерферограмм по осевым точкам можно воспользоваться методом, описанным в [2].

Продолжим анализ интерференционной картины. Из рис. 2, б видно следующее. Картина интерференции имеет различный вид с разных сторон от линии поглощения. В области экстремальных значений разности фаз с обеих сторон от линии поглощения возникают интерференционные полосы, аналогичные крюкам Рождественского, состоящие из двух ветвей. Справа они образуют замкнутую кривую, слева незамкнутую. Кривые имеют разную форму с разной острой вершин. Из уравнения (2') для экстремальных значений $k = k_{\text{экстр.}}$, когда $dk/d\lambda = 0$, получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{2l(n-1)}{\lambda} \right] = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left\{ \frac{2\Delta l + \left[\frac{l}{n} - (l + \Delta l) \right] \varphi^2}{\lambda} \right\}. \quad (6)$$

При $\varphi = 0$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{l(n-1)}{\lambda} \right] = \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{\Delta l}{\lambda}. \quad (6')$$

При $\varphi \neq 0$ связь между скоростью изменения фазы, обусловленной действием пара, и неравенством длин плеч интерферометра становится сложной. Положение точки, соответствующей экстремальному значению разности фаз, т. е. положение вершин крюков относительно линии поглоще-

ния зависит от величины угла φ . Таким образом, вершины крюков, расположенные на разных расстояниях от оси интерференционной картины, будут на разных расстояниях от линии поглощения. Величина второго слабого в правой части уравнения (6), зависящая от величины показателя преломления пара n , будет различаться по величине и даже может менять знак с разных сторон от линии поглощения при одинаковой абсолютной величине $(n-1)$ и при заданном значении φ . Следовательно, при заданном значении φ , кроме $\varphi=0$, экстремальные точки будут расположены на разных расстояниях от одиночной линии поглощения с разных сторон от нее. Нетрудно понять, что картина, по своему виду вполне аналогичная рассмотренной, должна получаться, если вместо ИМ воспользоваться интерферометром последовательного типа с параллельно выставленными зеркалами.

С помощью интерферометров Жамена и Рождественского, пластины или головки которых выставлены строго параллельно одна другой, также можно вести исследование аномальной дисперсии, поместив на пути одного из интерферирующих пучков слой пара, а на пути второго — прозрачную пластинку. Схематический вид картины интерференции в этом случае, очевидно, будет аналогичен виду картины, даваемой ИМ, плечи которого равны между собой и в одно из них введен слой пара, а в другое — прозрачная пластинка. Используя приемы, указанные выше, нетрудно показать, что в этих условиях возникнет картина, сходная с картиной, которая получается поворотом на угол $\alpha = \pi$, схемы интерферограммы, изображенной на рис. 2, б, вокруг оси, совпадающей с линией поглощения λ_j . Экстремальные точки интерферограммы и здесь можно использовать для получения значений величины N_j .

Авторы выражают благодарность С. Э. Фришу и Г. П. Старцеву за полезное обсуждение и интерес к работе.

Литература

- [1] Д. С. Рождественский. Работы по аномальной дисперсии в парах металлов. Изд. АН СССР, М.—Л., 1951.
- [2] А. М. Шухтин. Опт. и спектр., 19, 824, 1965.

Поступило в Редакцию 31 мая 1971 г.