

МНОГОЛУЧЕВЫЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ  
НА ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТКАХ

В. В. Берцев, Ю. Г. Козлов и А. И. Лопатин

Рассматривается возможность применения дифракционных решеток в интерферометрах для анализа спектрального состава излучения. Предлагается ряд схем интерферометров и рассматриваются их преимущества по сравнению с другими, в частности, по сравнению с интерферометром Фабри—Перо. Даны рекомендации по выбору параметров решеток.

В настоящей работе мы хотели бы обратить внимание на возможность использования дифракционных решеток в схемах многолучевых интерферометров, используемых в качестве спектральных приборов, и некоторые преимущества таких схем. Многолучевые интерферометры применяются почти исключительно в качестве анализаторов спектрального состава света высокого разрешения. Наиболее распространенным из них является интерферометр Фабри—Перо (ИФП), с которым мы и будем проводить аналогию при обсуждении предлагаемых выше схем.

Сначала отметим два существенных недостатка практически всех известных многолучевых интерферометров как приборов высокого разрешения. Первый из них состоит в том, что, чем выше разрешающая способность его, тем уже интервал свободной дисперсии. Дело в том, что спектральный интервал, свободный от переложения порядков, уменьшается с увеличением номера порядка ( $\Delta\lambda = \lambda/k$ ), а подавляющее большинство приборов высокой разрешающей способности работает именно на высоких порядках интерференции. Из этого следует, что многолучевые интерферометры можно применять лишь в паре с предварительным селектором. Обычно им является другой спектральный прибор низкого разрешения.

Второй недостаток присущ также всем приборам этого класса, кроме отражательного шелона Майкельсона: это трудность его использования в инфракрасной области спектра, так как их конструкция предполагает прохождение (чаще всего многократное) через вещество, прозрачное для анализируемой длины волны.

Последнее отрицательное качество отсутствует у прибора, схема которого приведена на рис. 1. Две одинаковые дифракционные решетки устанавливаются автоколлимационно и под углом максимального блеска относительно друг друга, причем плоскости их параллельны. Входящий пучок дает нулевой порядок в направлении второй решетки и автоколлимационный в обратном направлении. Вторая решетка частично пропускает свет в направлении нулевого порядка и возвращает попавший на нее пучок автоколлимационно на первую решетку. То же происходит с последним пучком на первой решетке и т. д.

Легко показать, что пучки света разных длин волн, падающие на систему по направлению, указанному стрелкой, выходят параллельно друг другу с некоторым виньетированием. В этом смысле система двух решеток эквивалентна обычному эталону Фабри—Перо, так как частотной селек-

ции по углам не происходит. Аналогия с ЭФП будет более полной, если обеспечить достаточно большой коэффициент взаимодействия решеток (аналогично высокому коэффициенту отражения в ЭФП). Для этого достаточно выполнить следующие условия. Во-первых, выбрать решетки таким образом, чтобы существовал только один автоколлимационный по-

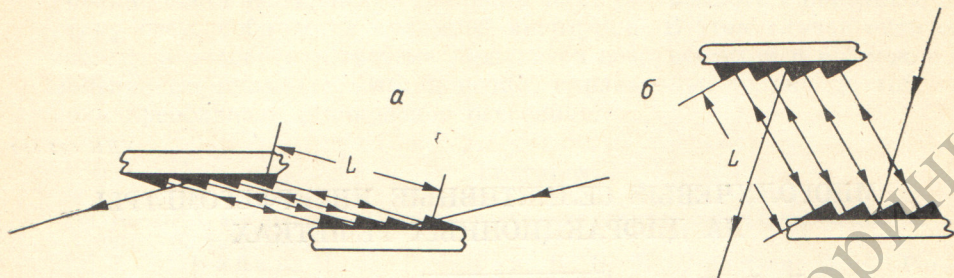


Рис. 1. Многолучевой интерферометр с нулевой суммарной дисперсией дифракционных решеток.

рядок дифракции. Естественно, что этот порядок будет первым, следовательно, должно выполняться условие, ограничивающее постоянную решетки:  $\lambda < b < 2\lambda$ .

Во-вторых, условие максимального блеска в направлении автоколлимации предполагает параллельность одинаковых граней штрихов решеток.

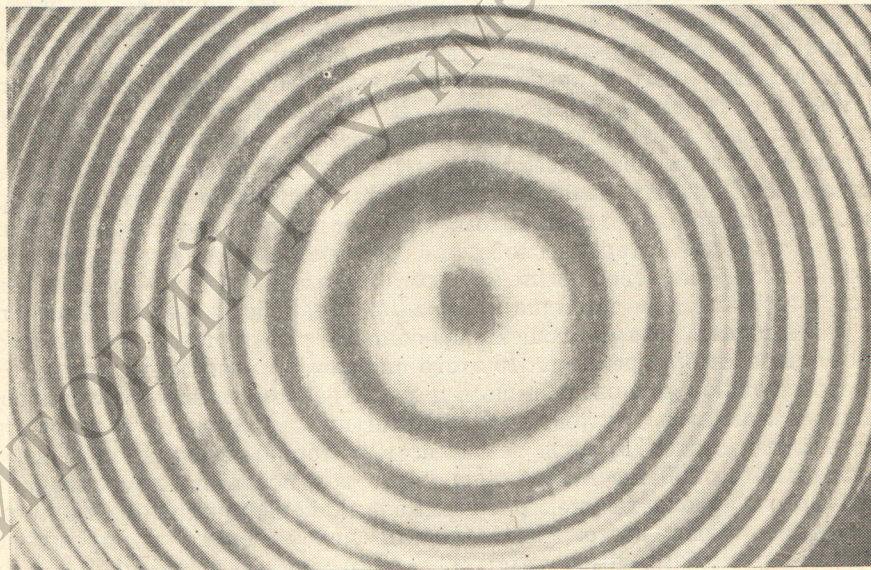


Рис. 2. Интерференционная картина, полученная в схеме по рис. 1. Источник света He—Ne лазер,  $\lambda=6328 \text{ \AA}$ .

Если не требуется большой разности хода такого «эталоны», то решетки должны быть расположены близко друг к другу (рис. 1, а). Тогда, чтобы входящий пучок не перекрывался одной из решеток, его надо впустить в ИФП под большим углом  $\varphi$ , и, следовательно, обращены будут друг к другу малые грани штрихов. Если же требуется большая толщина «эталоны» (рис. 1, б), можно поставить в положение автоколлимации большие грани. Из рисунка, иллюстрирующего эти варианты, видно, что для эффективной работы такого интерферометра угол при вершине штриха должен быть около  $90^\circ$ . Это есть второе желательное условие.

Обратим внимание на тот факт, что входящий световой пучок при выполнении второго условия будет практически полностью возвращаться назад в направлении автоколлимации. Эта ситуация полностью соответствует процессу образования стоячей волны в ЭФП, когда при больших коэффициентах отражения свет поступает в резонатор малыми порциями.

При описании подобных систем можно пользоваться терминами, принятыми для ЭФП. Долю входящего в систему светового потока будем называть коэффициентом пропускания. Часть света, автоколлимационно дифрагировавшего в обратном направлении внутри резонатора, коэффициентом отражения и т. д. Картина интерференции, даваемая системой двух решеток, установленных автоколлимационно друг к другу, представлена на рис. 2. Решетки имели 600 штр./мм и размеры  $40 \times 40$  мм; они были установлены на расстоянии 5 см вдоль луча, что соответствует

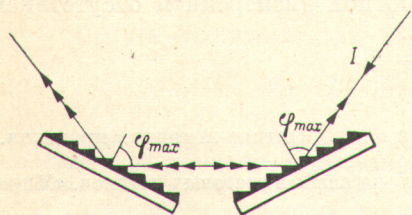


Рис. 3. Многолучевой интерферометр со сложением дисперсий дифракционных решеток.

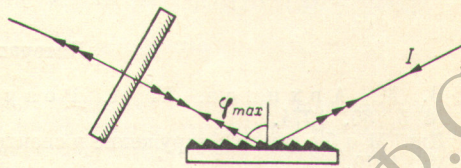


Рис. 4. Многолучевой интерферометр с одной дифракционной решеткой.

порядку интерференции  $\sim 2 \cdot 10^5$  для волны  $6328 \text{ \AA}$ . Резкость картины соответствует эффективному коэффициенту отражения «зеркал» эталона 0.65 и разрешению  $\sim 1.5 \cdot 10^6$ .

Обратимся к рис. 3. Эта оптическая схема трансформируется из предыдущей поворотом второй решетки вокруг направления автоколлимации на угол  $180^\circ$ . Если в схеме рис. 1 суммарная угловая дисперсия решеток равна нулю, т. е. свет всех длин волн выходил из системы под одним и тем же углом, то в схеме рис. 3 имеется еще и угловое перераспределение излучения с различными длинами волн. Решетки опять же установлены автоколлимационно относительно друг друга, но только для одной длины волны  $\lambda_0$ . Система аналогична настроенному на параллельность зеркал ЭФП для  $\lambda_0$  и «расстроенному» ЭФП для соседних длин волн. Таким образом, излучение с длиной волны  $\lambda \neq \lambda_0$  даст тем меньший вклад в регистрируемый сигнал, чем больше расстройка  $\delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ .

Мы получаем оптическую схему, которая выполняет одновременно две функции: предварительного селектора по длинам волн и многолучевого интерферометра высокой разрешающей способности. Все замечания по установке решеток остаются в силе. Таким образом, мы имеем прибор, свободный от обоих недостатков, о которых говорилось выше. Система из двух решеток является эталоном Фабри—Перо со свободным интервалом дисперсии, определяемым самими решетками и их взаимным расположением. Особо следует подчеркнуть ценность схемы при выполнении условия  $\lambda < b < 2\lambda$ , когда коэффициент отражения достаточно велик.

По-видимому, можно подобрать условия, при которых интерференционные максимумы ЭФП совпадут с нулями аппаратной функции селективного интерферометра. Отклик прибора тогда на частотную  $\delta$ -функцию будет иметь один лишь Эйри-максимум. В этом случае можно записать любой участок спектра без переложения порядков с разрешением, несколько большим разрешения эталона с толщиной  $2L$ .

И, наконец, рассмотрим схему, приведенную на рис. 4, которая устраняет необходимость дополнительной селекции, но имеет элемент, работающий на пропускание. Эта схема используется как лазерный селективный

резонатор, но может быть использована в качестве многолучевого спектрального прибора. О возможности его применения как спектроанализатора в двухлучевом варианте указано ранее.

В работах [1, 2] отмечается, что совместное использование ЭФП и СИСАМа имеет много преимуществ по той причине, что оба прибора являются интерференционными и, следовательно, их геометрические факторы согласуются. Отметим, что схемы рис. 3 и 4 представляют собой одновременно и СИСАМ и ЭФП. При этом они позволяют исключить несогласованность этих приборов при записи различных длин волн установкой оси сканирования на пересечении плоскостей зеркала и решетки или двух решеток.

Итак, многолучевые спектрометры высокой разрешающей способности могут быть построены на дифракционных решетках с некоторым уменьшением эффективного числа пучков, но с достаточно весомыми преимуществами — расширением интервала свободной дисперсии и отсутствием элементов, работающих на пропускание.

#### Литература

- [1] В. М. Архипов, В. А. Розуванова. Оптико-механич. промышл., № 5, 30, 1974.  
[2] Дж. М и б е р н. Обнаружение и спектрометрия слабых световых потоков. «Мир», М., 1979.

Поступило в Редакцию 11 марта 1980 г.