



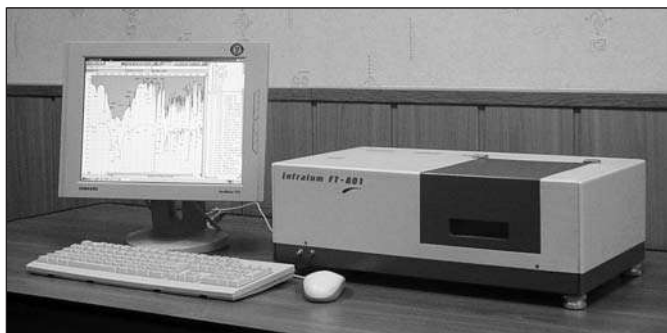
Применение фурье-спектрометрии в криминалистике

Ежевская Т.Б.,
кандидат технических наук

Бубликов А.В.,
ведущий инженер

Эта статья — первая из цикла статей по применению фурье-спектрометрии в криминалистике, которые мы будем публиковать для вас в новом журнале «Эксперт-криминалист» в 2006 году.

Бум в развитии и продвижении фурье-спектрометров на мировом рынке пришелся на 80-90 годы, когда появились быстродействующие персональные компьютеры. Россия вступила в этот период позже, с 2000 года, и надо сказать, что скорость освоения криминалистами метода фурье-спектрометрии в России была очень высокой. Сейчас трудно найти экспертно-криминалистические и научные лаборатории, не оснащенные инфракрасными фурье-спектрометрами — либо зарубежными, либо отечественными.



На фото — автоматизированный инфракрасный фурье-спектрометр для криминалистики «Инфралюм ФТ-801» производства Научно-производственной фирмы «Люмэкс-Сибирь» (г. Новосибирск). Разработка фурье-спектрометра была начата учеными Академгородка в 1993 году по заданию и активной поддержке ЭКЦ МВД. В настоящее время такие фурье-спектрометры работают в 56 криминалистических организациях России, а именно:

15 приборов — в экспертно-криминалистических подразделениях УВД (МВД) в городах: Иваново, Ижевск, Казань, Киров, Мирный, Ноябрьск, Салехард, Самара, Смоленск, Чебоксары, Якутск, Владивосток, Тюмень, Оренбург, Абакан;

36 приборов — в лабораториях судебной экспертизы (в том числе в РФЦСЭ — Российском федеральном центре судебной экспертизы при Минюсте РФ) в городах: Архангельск, Барнаул, Брянск, Владивосток, Владимир, Волгоград, Вологда, Воронеж, Екатеринбург, Казань, Калининград, Кемерово, Краснодар, Красноярск, Курск, Махачкала, Москва, Нижний Новгород, Новосибирск, Орел, Пенза, Пермь, Ростов-на-Дону, Рязань, Самара, Саранск, Саратов, Ставрополь, Тамбов, Томск, Тула, Улан-Удэ, Уфа, Чебоксары, Чита, Якутск;

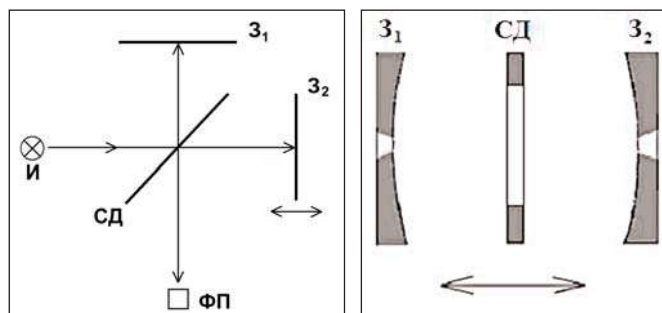
5 приборов — в лабораториях УФСКН (Управлений Федеральной службы по контролю за оборотом наркоти-

ков) в городах: Магадан, Пермь, Самара, Ярославль и Сыктывкар.

Преимущества фурье-спектрометров перед спектрофотометрами (дифракционными спектрометрами) в разных областях спектра.

Основы метода фурье-спектрометрии были заложены еще нобелевским лауреатом А.А. Майкельсоном в 1880 году, когда он изобрел свой интерферометр, состоящий из двух плоских зеркал и светоделителя (рис. 1а), и применил его для измерения скорости света.

В фурье-спектрометрии сейчас используется как интерферометр Майкельсона с автоматической юстировкой в процессе работы, так и другие интерферометры, более устойчивые к разъюстировкам, не требующие автоматической подстройки. На рис. 1б приведена оптическая схема интерферометра ДКГ «двойной кошачий глаз», используемого в фурье-спектрометре «Инфралюм ФТ-801» (обозначения на рисунках: З₁ и З₂ — зеркала, СД — светоделитель, И — источник, ФП — фотоприемник, стрелкой показан подвижный элемент).



Но сам термин фурье-спектрометрии появился и устоялся только в 60-е годы XX века, с началом применения компьютерной техники. Пионерами в этой области были французские ученые, их именами названы **основные преимущества метода фурье-спектрометрии по сравнению с дифракционной спектрометрией:**

выигрыш Жакино — в геометрическом факторе: через фурье-спектрометры можно пропустить в 200 раз больше энергии, чем через дифракционные спектрометры;

выигрыш Фелжета — в энергии или мультиплекс-факторе: в фурье-спектрометре фотоприемник принимает одновременно все частоты спектра, а не последовательно, как в дифракционном приборе;

выигрыш Ж. Конн — в точности получения отсчетов в фурье-спектрометре: спектр получается с равным шагом по волновым числам, точность отсчета зависит от точности длины волны гелий-неонового лазера, входящего в состав фурье-спектрометра, поэтому калибровки по из-

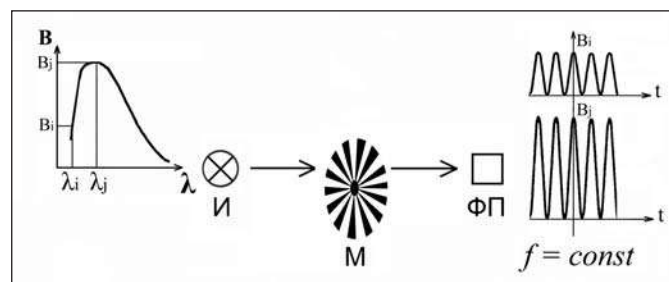


вестным химическим эталонам, как в дифракционных приборах, не требуется.

Кроме этих преимуществ фурье-спектрометры имеют более компактную оптическую схему, более широкий спектральный диапазон, реализуемый без смены оптических элементов (например, наиболее часто используемый в криминалистике инфракрасный (ИК) диапазон $400\text{--}4000\text{см}^{-1}$), более высокое быстродействие и удобное увеличение отношения сигнал/шум в спектре накоплением интерферограмм или спектров.

Несмотря на то что в видимой области спектра выигрыш Фелжета теряется, т.к. в видимой области используются высокочувствительные фотонные приемники, у которых шум зависит от уровня сигнала, и одновременный прием всех сигналов фотоприемником, как это происходит в фурье-методе, приводит к увеличению и уровня шума, но остальные выигрыши остаются. В ИК-области (выше $1,3\text{ мкм}$) фурье-спектрометры вытеснили дифракционные спектрофотометры. В видимой и ближней ИК-области (до $1,3\text{ мкм}$) они по-прежнему удерживают свои позиции, т.к. фурье-спектрометров, работающих в видимой области немного и они дороги, вследствие трудностей, связанных с ужесточением требований к качеству и положению оптических элементов спектрометров.

Суть метода фурье-спектрометрии проще всего понять следующим образом: представьте себе, что вы имеете излучатель, модулятор-вертушку и фотоприемник.

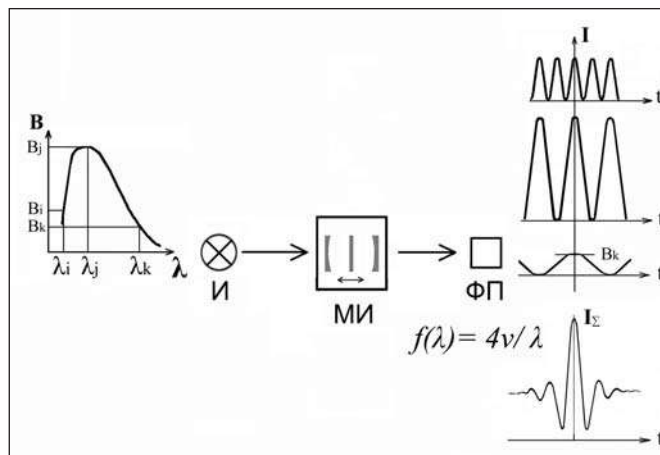


Каждый излучатель имеет свой спектр излучения — зависимость амплитуды излучения от длины волны (λ) или от спектральной частоты σ ($\sigma = 1/\lambda$; разрешение в мкм и разрешение в см^{-1} связаны соотношением: $\delta\sigma = 10^4 \delta\lambda/\lambda^2$). Если излучатель — лазер, то он имеет (упрощенно) одну длину волны определенной амплитуды.

Диск модулятора, вращаясь, перекрывает пучок излучения по типу «темно-светло», и на фотоприемнике вы увидите периодический сигнал, амплитуда которого будет равна амплитуде излучения лазера, а частота будет зависеть от частоты вращения вертушки. Другой лазер с другой длиной волны или излучатель непрерывного спектра (например, глобар) даст на фотоприемнике периодический сигнал другой амплитуды, но той же частоты.

Теперь представим, что вы изобрели такой модулятор, что он модулирует все длины волн не одинаково, как вертушка, а по-разному: так, чтобы каждой длине волны излучателя на фотоприемнике соответствовал периодический сигнал со своей частотой.

Именно таким модулятором является интерферометр, в котором модуляция излучения возникает при непрерывном движении одного из его элементов: например, зеркала — в интерферометре Майкельсона и делителя —



в интерферометре «двойной кошачий глаз». Такой метод интерференционной модуляции получил название — метод быстрого сканирования.

Широкий спектр источника белого света (глобара или лампы) можно представить как непрерывный ряд монохроматических излучений с определенной амплитудой, и каждое излучение (после прохождения через интерферометр) имеет на фотоприемнике свой сигнал с частотой $f = KV/\lambda$, где V — скорость перемещения подвижного элемента, а K — постоянный коэффициент, зависящий от типа интерферометра: для Майкельсона $K=2$, для ДКГ $K=4$.

Кроме того, интерференционный модулятор устроен так, что в нем существует единственное положение подвижного элемента, при котором все косинусоиды, независимо от того, какой длине волны они соответствуют, имеют максимум. Это положение называется нулевой разностью хода, а так как фотоприемник принимает все сигналы одновременно, то в этот момент сигнал на фотоприемнике максимален и равен сумме амплитуд всех косинусоид (от всех длин волн). При перемещении подвижного элемента в одну или другую сторону от нулевой разности хода сигнал быстро убывает и на фотоприемнике в идеальном случае будет симметричный сигнал, который называется интерферограммой. Интерферограмма является фурье-образом спектра и, сняв с нее отсчеты (оцифровав) с помощью аналого-цифрового преобразователя, можно вычислить на компьютере соответствующий ей исходный спектр. Во многих фурье-спектрометрах всю интерферограмму или только ее верхнюю часть можно увидеть на компьютере при работе с прибором.

Только по одному виду интерферограммы можно сделать некоторую оценку спектра, и наоборот. Например, чем шире спектр, тем больше набор суммируемых косинусоид и тем уже его интерферограмма. У спектра, состоящего всего из нескольких монохроматических компонент (например от лазера, дающего одновременно три длины волны), на осциллографе, подключенном к фотоприемнику, будут видны биения. Для узкого спектра интерферограмма будет иметь вид слабо затухающей функции.

Разрешение фурье-спектрометра.

Интерферограмма имеет ограниченную длину $\pm L$, в зависимости от того, на какую величину $\pm \Delta$ можно переместить подвижный элемент от положения нулевой разности хода в интерферометре. Спектр, вычисленный по



ограниченной интерферограмме монохроматического источника, называют аппаратной функцией фурье-спектрометра. Полуширина аппаратной функции определяет разрешение спектрометра: чем длиннее интерферограмма, тем уже аппаратная функция прибора и тем лучше разрешение.

Для интерферометра ДКГ $L=4\Delta$ и разрешение $\delta\sigma=K_{оп}/2L$, где $K_{оп}$ — коэффициент аподизации (постоянная величина, соответствующая математической процедуре вычисления спектра по интерферограмме конечной длины). В приборах обычно указывается несколько типов аподизации и даются рекомендации, какую и когда надо выбрать. А чаще всего указывается три типа аподизации: сильная, слабая аподизация и без аподизации. Процедура аподизации — это просто умножение снятой интерферограммы на некоторую гладкую функцию с максимумом в максимуме интерферограммы и с нулями на ее краях. **Цель аподизации** — улучшить вид аппаратной функции, т.е. убрать получающиеся в расчетах отрицательные пики, при этом происходит некоторое уширение аппаратной функции и ухудшение разрешения, поэтому в задачах, где важно получить максимально высокое разрешение, а пики выражены и далеко отстоят друг от друга, аподизация отключается. В задачах, где надо разрешить близко расположенные пики, снимают спектры с разной аподизацией, подбирая наиболее подходящую.

Снятие спектров

Сняв интерферограмму без образца и выполнив на компьютере ее фурье-преобразование, мы получим спектр источника излучения, прошедшего через прибор, $V_{\phi}(\sigma)$ — спектр фона, референтный или опорный спектр (можно употреблять все эти названия). Если между источником и приемником до или после интерферометра поставить исследуемый образец, то получим спектр фона, прошедший через образец: $V_{\phi}(\sigma) \times \tau(\sigma)$ и, поделив второй спектр на первый, получим спектр пропускания образца $\tau(\sigma)$.

Очевидно, что если снять подряд два спектра фона (при отсутствии образца) и разделить их друг на друга, то спектр пропускания был бы равен единице, если бы не было шумов и изменений в атмосфере на пути прохождения луча в приборе между измерениями. На самом деле мы увидим спектр, близкий к 1, а при умножении на 100 — так называемую 100% линию прибора.

Качество 100% линии имеет важнейшее значение для оценки состояния прибора — его чувствительности (отношения сигнал/шум) и фотометрической точности.

В следующих публикациях мы планируем дать более подробное описание технических характеристик современных фурье-спектрометров, а также в соавторстве с экспертами-криминалистами опубликовать полезные материалы о самом методе молекулярной спектроскопии среднего ИК-диапазона и особенностях его практического применения в криминалистике.

К вопросу о значении неидентификационных (диагностических) почерковедческих исследований при расследовании уголовных дел

Скрипилева Н.А.,

адъюнкт ВНИИ МВД России, Главный эксперт ЭКО УВД САО г. Москвы, капитан милиции

Известно, что для правильного разрешения каждого уголовного дела суд должен установить фактические его обстоятельства, имевшие место в действительности.

В значительной мере установлению объективной истины способствует привлечение к участию в деле экспертов, когда для разрешения возникших по делу вопросов необходимы специальные знания. Производство экспертизы как способ установления и истолкования фактов занимает не последнее место при расследовании и рассмотрении дел судом.

Среди криминалистических экспертиз, проводимых экспертно-криминалистическими подразделениями ОВД по назначению следственных и судебных органов, значительный процент составляют экспертизы, связанные с исследованием различного рода документов, в частности экспертизы, имеющие целью установить лицо, исполнившее рукописный текст (запись) или подпись в конкретном документе.

За последние годы значительно возросло число преступлений в кредитно-финансовой сфере, массовый характер приобрели хищения денежных средств с использованием подложных документов, поддельных банковских гарантий, «отмывание» денег, добытых преступным путем. В настоящее время при расследовании преступ-

лений, совершенных в сфере экономики, изымаются сотни и даже тысячи документов — вещественных доказательств, причем органы следствия не всегда могут ограничить круг вероятных исполнителей. Объектами исследования в таких случаях становятся рукописные записи и подписи, выполняемые в накладных, нарядах, отчетах, удостоверениях личности и т.д. При рассмотрении гражданских дел также нередко оспаривается достоверность записей и подписей в договорах, расписках, доверенностях, завещаниях, а также иной личной или официальной переписке.

Вместе с тем заключения экспертов-почерковедов используются не только для изобличения виновных лиц. На практике нередки случаи, когда они служат средством исправления ошибок в случае необоснованного привлечения невиновных к ответственности.

Судебно-почерковедческая экспертиза базируется на ряде научных принципов, к которым, в частности, можно отнести установление механизма процесса письма и его закономерностей, формирования навыков письма, системы признаков почерка, наличия в нем пределов индивидуализации почерка¹. Изучение механизма письма и его закономерностей