



ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ И ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ ---

DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu10.2017.4.5>

УДК: 539.2:530.145

ББК 67.52

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ЭКСПЕРТИЗЕ СЛЕДОВ, ОБНАРУЖЕННЫХ НА МЕСТЕ ПРЕСТУПЛЕНИЯ

Ольга Игоревна Авраменко

Студент направления подготовки «Судебная экспертиза материалов, веществ и изделий»,
Волгоградский государственный университет
semf@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Татьяна Александровна Ермакова

Кандидат химических наук, доцент кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
semf@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Владимир Витальевич Акатьев

Старший преподаватель кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
semf@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Константин Олегович Смирнов

Старший преподаватель кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
semf@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе отражены принципы работы рамановской спектроскопии, ее преимущества и применение в судебной экспертизе материалов, веществ и изделий. Также представлены некоторые разработки в модернизации данного метода и возможности применения рамановской спектроскопии в других областях судебной экспертизы.

Ключевые слова: спектроскопия; спектроскопия комбинационного рассеяния света; рамановская спектроскопия; методы анализа; судебная экспертиза материалов, веществ и изделий.

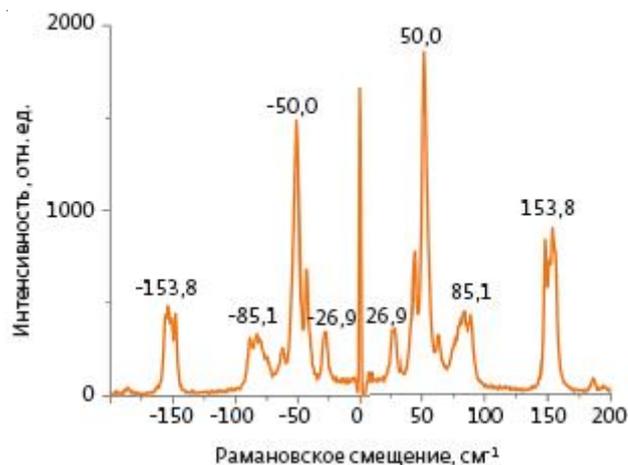
В судебной экспертизе используется множество разнообразных методов экспертно-анализа веществ, которые основаны на химических и физических принципах. Среди таких методов метод спектроскопии комбинационного рассеяния отличается простотой и надежностью.

В 1928 г. индийский физик Ч.В. Раман и его студент К.С. Кришнан открыли на жидкостях явление неупругого рассеяния света. Сконструировав специальный спектрометр, который с помощью телескопа фокусирует солнечные лучи на образце чистой жидкости, использовав систему светофильтров, они смогли отделить лучи с частотой колебаний, отличной от падающих. Учеными было обнаружено, что фотоны рассеиваемого молекулами излучения, совпадают по частоте с фотонами падающего излучения, а также содержат некоторое количество фотонов с измененной или смещенной частотой, что указывало на существование нерезонансного рассеяния. Спектроскопический процесс измерения смещенных фотонов был назван в честь Ч.В. Рамана, а само изменение частоты – «эффектом Рамана». Уже к концу 1930-х гг. рамановская спектроскопия стала основным методом неразрушающего химического анализа [1].

Суть метода заключается в том, что через образец исследуемого вещества пропускают луч с определенной длиной волны, который при контакте с образцом рассеивается. Полученные лучи с помощью линзы собираются в один пучок и пропускаются через светофильтр, отделяющий слабые рассеянные лучи от более интенсивных. «Чистые» рамановские лучи усиливаются и направляются на детектор, который фиксирует частоту их колебания. Это позволяет определить наличие определенных функциональных групп по характеристическим частотам колебаний их фрагментов.

Комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) представляет собой неупругое рассеяние оптического излучения в газах, жидкостях и кристаллах, сопровождающееся заметным изменением частоты. При анализе в спектре рассеянного излучения наблюдаются спектральные линии с частотами, являющимися комбинациями частот падающего излучения и собственных частот молекулы (колебательных и вращательных), которые отсутствуют в линейчатом спектре первичного (возбуждающего) света. Каждой функциональной группе соответствует определенная спектральная линия рассеяния, которая, в свою очередь, характеризуется индивидуальным положением и относительной интенсивностью. Именно такой набор спектральных характеристик является уникальным для каждой молекулы (см., например, рисунок), что позволяет расшифровывать состав смеси различных веществ.

Уже в течение нескольких десятилетий рамановская спектроскопия является одним из основных методов в судебной экспертизе, используемых для идентификации взрывчатых и наркотических веществ, анализа различных тканей и пятен на них, контроля изменений в молекулярной структуре связей, определения состава различных жидкостей, мелких частиц и т. д. Сейчас не все отрасли судебной экспертизы для химического анализа используют спектроскопию комбинационного рассеяния света, несмотря на широкий спектр преимуществ данного метода. Ранее применимость данного метода была ограничена высокой стоимостью и большим размером стандартной установки для исследования рамановского рассеяния. Но в последние 10–15 лет в связи с совершенствованием экспериментальной техники и появлением новых теоретических подходов возможности практического применения данного метода существенно возрастают.



Низкочастотный рамановский спектр серы

Источник: [2]

Так как рамановская спектроскопия специфична по отношению к химической структуре материалов, это дает возможность ее использования для неразрушающего контроля образцов, что обеспечивает значительное преимущество в сравнении с другими методами. Другим преимуществом Раман-спектроскопии является то, что эффект Рамана проявляется в рассеянном, а не в поглощенном образцом свете, поэтому спектроскопия комбинационного рассеяния практически не требует подготовки образцов к экспертизе и нечувствительна к полосе поглощения воды. Благодаря этому свойству комбинационного рассеяния света становится легче процесс измерения твердых тел, жидкостей и газов, так как он может осуществляться не только напрямую, но и через прозрачные контейнеры, такие как стекло, кварц и пластик.

Также Раман-спектроскопия обладает высокой избирательностью, которая позволяет идентифицировать и дифференцировать похожие молекулы и химические соединения. Даже несмотря на то, что некоторые химические вещества обладают аналогичной молекулярной структурой, их спектры комбинационного рассеяния будут четко дифференцируемы. Используя спектральные библиотеки, легко увидеть, что спектры комбинационного рассеяния могут быть использованы для идентификации и проверки материалов.

Помимо вышеуказанных преимуществ, метод комбинационного рассеяния света

также предусматривает следующие возможности:

- удаленный бесконтактный анализ (для систем с оптическим волокном);
- работа с водными растворами (нет наложения сигнала воды, как в ИК-спектрометрии);
- применение недорогих кварцевых или стеклянных кювет (не требуется солевая оптика, как в ИК-спектрометрии);
- контроль температуры/давления/влажности в ячейках, криостатах;
- картографирование образцов с высоким латеральным разрешением до 1 мкм;
- сканирование по глубине образца, прозрачного в выбранном диапазоне, с проникновением вглубь от 0,1 до 10 мкм;
- одновременное получение спектров КР и фотолюминесценции; комбинирование КР с ИК-Фурье, системой измерения времени жизни флуоресценции, сканирующим электронным микроскопом СЭМ/катоодолюминесценцией, атомно-силовым микроскопом АСМ.

Судебная экспертиза является процессуальной формой использования достижений научно-технического прогресса в уголовном судопроизводстве и выступает как один из основных способов получения доказательственной информации [3]. Одной из главных задач судебной экспертизы является получение сведений о преступлениях в ходе исследований криминалистических объектов, а также следов их контактного взаимодействия.

Раман-спектроскопия является одним из методов, позволяющих получить сведения о следах, найденных на месте преступления.

Недавно учеными Университета Олбани К. Муру и др. была опубликована статья, где были проанализированы многочисленные судебно-экспертные исследования, в которых использовался метод Раман-спектроскопии [14]. Последние достижения в области работы со спектроскопией комбинационного рассеяния света оказали значительное влияние на развитие многих научных дисциплин, в том числе на развитие экспертизы некоторых улик с места преступления.

В судебно-криминалистической экспертизе рамановская спектроскопия может применяться для идентификации:

- красок, чернил;
- полимерных пленок;
- различных волокон;
- стекол;
- взрывчатых, наркотических, отравляющих веществ;
- состава взрывчатых смесей, порохов.

Так как данный метод спектроскопии стремительно развивается, с каждым годом появляется все больше возможностей его применения в отдельных видах химической экспертизы.

Рассмотрим некоторые возможности его применения в экспертизе волокна.

В стандартном анализе волокна обычно используется световая микроскопия. Также часто применяются такие методы, как растровая электронная микроскопия, хроматографические методы анализа, микроспектрофотометрия, тонкослойная хроматографии (ТСХ) и т. д. Для получения максимально качественного анализа волокна используют дополнительные аналитические методы. Спектроскопия комбинационного рассеяния света является одним из важных дополнительных методов в анализе волокон. Раман-спектроскопия комбинационного рассеяния света не является идеальным методом для идентификации сырых, неокрашенных волокон одного типа. Причина заключается в том, что волокна одного и того же типа, естественные (например, хлопок, вискозное волокно и т. д.) или синтетические (например, полипропилен, полиэстер, нейлон, акрил и т. д.), не облада-

ют достаточной изменчивостью в спектрах комбинационного рассеяния света. Поэтому при анализе окрашенных волокон спектроскопию комбинационного рассеяния света обычно применяют для идентификации химических веществ в красителях, а также для дифференцирования похожих веществ в составе красителей.

Ранее спектроскопия комбинационного рассеяния света использовалась в анализе волокон для определения их структуры. В одной из обзорных статей учеными из французского Национального центра научных исследований Т. Лефевра и др. упоминается возможность применения поляризованной спектроскопии комбинационного рассеяния для дифференцирования нескольких шелковых волокон тутового шелкопряда и различных пауков на основе характеристик молекулярной структуры [12]. Поляризованная спектроскопия комбинационного рассеяния света была также задействована для исследования ориентации молекул различных типов волокон, включая поли-L-молочную кислоту, полиакрилонитрил, полиэтилен, полипропилен, шелк, шерсть и хлопок [6, р. 14, 18]. Было установлено, что Раман-спектроскопия может быть использована для характеристики волокон и определения молекулярной структуры независимо от типа волокна.

В 2012 г. Европейская сеть институтов судебной медицины «European Fibres Group (EFG)» опубликовала совместное исследование, демонстрирующее преимущества высокой чувствительности спектроскопии комбинационного рассеяния света перед световой микроскопией в анализе волокон с различными концентрациями красителя [9, р. 200–202, 205]. EFG показала, что спектроскопия комбинационного рассеяния лучше подходит для обнаружения красителей в волокнах с низкой концентрацией красящего вещества, а именно желтого реакционноспособного красителя 145 и реактивного синего 221, которые были обнаружены в концентрациях 0,05 % и 0,005 % соответственно. Кроме того, было показано, что спектроскопия комбинационного рассеяния света может идентифицировать незначительные красители в смеси на 10 % от общей концентрации красителя по сравнению с 30 % с

использованием микроспектрофотометрии. Эти результаты продемонстрировали зависимость анализа от инструментальных параметров, а также значение использования спектроскопии комбинационного рассеяния света для характеристики и дифференциации акрила, хлопка и волокон шерсти черного, синего или красного цвета. Они продемонстрировали, что получение спектра существенно зависит от длины волны лазера, применяемого для анализа, а также от цвета и типа волокна.

За последние 10–15 лет одним из важных достижений в науке является появление портативных спектрометров комбинационного рассеяния. Громоздкие и дорогие газовые лазеры были заменены мощными миниатюрными лазерами. Появление многослойных интерференционных фильтров с узкими спектральными характеристиками позволило заменить тройной рамановский спектрометр более простым, меньшим по стоимости и компактным одиночным спектрометром. Также стоит отметить, что появились миниатюрные матричные фотодетекторы с высокой чувствительностью, разрешением и низкими шумами (см. таблицу). Эти три фактора обеспечили прорыв в приборостроении и способство-

вали созданию удобных в применении, доступных по цене портативных спектрометров. Такая система идентификации может использоваться непосредственно на месте обнаружения следов. Только в последнее десятилетие портативные спектрометры находят широкое применение в судебной экспертизе. Технологии, первоначально разработанные с использованием приборов «Benchtop», только недавно начали применять для экспертизы на месте преступления.

С каждым годом возможностей применения спектроскопии комбинационного рассеяния в судебной экспертизе становится все больше. С недавних пор данный метод уже используется в экспертизе парфюмерно-косметических средств: Майкл Вент (Michael Went) из Университета Кента с коллегами установил, что картина, полученная с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния, позволяет отличать друг от друга различные марки и типы губной помады. Анализы мазков губной помады на стеклянной посуде, окурках и текстиле были успешно проанализированы даже тогда, когда они находились в прозрачном пластиковом пакете для улик [10].

Стандартные технические характеристики современных портативных спектрометров

Длина волны возбуждения/мощность	785 нм / макс. 300 мВт
Спектральный диапазон/разрешение	176–2900 см ⁻¹ / ≈ 9 см ⁻¹ на 912 нм
Тип детектора	Охлаждаемая ПЗС-линейка
Стандартные аксессуары	Point & Shoot, стандартный полистирол, держатель виал, адаптер прямого угла
Аккумулятор	Заряжаемая батарея типа Li-ion, 12–18 В постоянного тока при 1,67–2 А, > 5–6 ч работы
Библиотека данных	Встроенная USP-библиотека. Доступны дополнительные библиотеки
Считыватель штрих-кода	Линейный и 2D стандарт
Соответствие стандартам	21 CFR часть 11 стандарт / степень защиты IP64 (IP65)
Режимы анализа	Режим исследования «Совпадение/несовпадение (HQI)». Режим распознавания «Проходит/не проходит». Анализ смеси
Платформа	для Windows / Android
Время проведения анализа	от 3 до 10 с на образец
Интерфейс	Bluetooth/ USB соединение с компьютером

Составлено по: [4, с. 1]

Данные исследования демонстрируют широкую применимость спектроскопии комбинационного рассеяния света в криминалистических целях и, что более важно, возможность использования портативных и карманных приборов на месте проведения анализа. Также рамановская спектроскопия находит активное применение в экспертизе наркотических средств, психотропных веществ, полимерных материалов, волокнистых материалов, взрывных веществ и др. Тем не менее необходимы дополнительные усилия для развития данного метода. Одним из наиболее важных шагов в этом процессе должна быть разработка и тестирование спектральных библиотек.

Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света как универсального аналитического инструмента в судебной экспертизе постоянно развивается. Несмотря на широкий спектр возможностей, Раман-спектроскопия сталкивается с такими проблемами, как флуоресцентные вмешательства, слабая чувствительность. Тем не менее спектроскопия комбинационного рассеяния – один из немногих методов, способных быстро предоставить достоверную искомую информацию при анализе вещества, при этом никак не повредив исследуемый образец.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в рамановскую спектроскопию // Studbooks.net : Студенческая библиотека онлайн. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://studbooks.net/1886282/matematika_himiya_fizika/literaturnyy_obzor (дата обращения: 15.10.2017). – Загл. с экрана.
2. Информационные материалы: Применение рамановской спектроскопии для контроля лекарственных средств // СЕНС-ОПТИК. Аналитическое приборостроение. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://cmoptec.ru/material/materials_id/4 (дата обращения: 10.11.2017). – Загл. с экрана.
3. Плоткин, Д. М. Использование ионной и электронной спектроскопии в судебной экспертизе веществ, материалов и изделий по уголовным делам : дис. ... канд. юрид. наук / Плоткин Дмитрий Матвеевич. – М., 2003. – 258 с.
4. Сравнительная таблица портативных рамановских спектрометров // CZL: Лабораторное оборудование. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.czl.ru/netcat_files/userfiles/PDF/portativnye_ramanovskie_spektrometry.pdf (дата обращения: 10.11.2017). – Загл. с экрана.
5. Химическая энциклопедия / гл. ред. И. Л. Кнунянц, Н. С. Зефирова. – М. : Сов. энцикл., 1990. – Т. 2. – С. 436–438.
6. Adar, F. Raman Microscopy Analysis of Molecular Orientation in Organic Fibers / F. Adar // Spectroscopy solutions for materials analysis. – 2013. – Vol. 28 (2). – P. 14–22.
7. A Comparison of Four Commercially Available Portable Raman Spectrometers / H. Markert, J. Ring, N. Campbell, K. Grates // National Forensic Science Technology Center. – 2011. – Electronic data. – Mode of access: http://www.nfstc.org/wp-content/files/RAMAN-handout_AAFS_2011_214.pdf (date of access: 17.05.2017). – Title from screen.
8. Forensic analysis of degraded polypropylene hollow fibers utilized in microfiltration / X. Lu, P. Shah, S. Maruf, S. Ortiz, T. Hoffard, J. Pellegrino, J. Appl // Journal of applied polymer science. – 2015. – Vol. 132 (21). – DOI: <https://doi.org/10.1002/app.41553>.
9. Raman spectroscopy and microspectrophotometry of reactive dyes on cotton fibres: Analysis and detection limits / G. Massonnet, P. Buzzini, F. Monard, G. Jochem, L. Fido, S. Bell, M. Stauber, T. Coyle, C. Roux, J. Hemmings, H. Leijenhorst, Z. Van Zanten, K. Wiggins, C. Smith, S. Chabli, T. Sauneuf, A. Rosengarten, C. Meile, S. Ketterer, A. Blumer, A. Forensic // Forensic Science International. – 2012. – Vol. 222. – P. 200–207.
10. Salahoglu, F. Application of Raman Spectroscopy for the Differentiation of Lipstick Traces / F. Salahoglu, M. J. Went, S. J. Gibson // Analytical Methods. – 2013. – Vol. 5 (20). – P. 5392–5401.
11. Standardization of Raman spectra for transfer of spectral libraries across different instruments / J. D. Rodriguez, B. J. Westerberger, L. F. Buhse, J. F. Kauffman // Analyst. – 2011. – Vol. 136 (20). – P. 4232–4240.
12. Structure of silk by Raman spectromicroscopy: from the spinning gland to the fiber / T. Lefèvre, F. Paquet-Mercier, J.-F. Rioux-Dubé, M. Pézolet // Biopolymers. – 2012. – Vol. 97. – P. 322.
13. Vašková, H. Raman spectroscopy as an innovative method for material identification / H. Vašková // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. – 2011. – Vol. 5 (7). – P. 1205–1212.
14. Vibrational spectroscopy: recent developments to revolutionize forensic science / C. K. Muro, K. C. Doty, J. Bueno, L. Halámková, I. K. Lednev // Analytical chemistry. – 2014. – Vol. 87 (1). – P. 306–327.
15. What can Raman spectroscopy do for criminalistics? / K. C. Doty, C. K. Muro, K. Claire, J. Bueno, L. Halámková, I. K. Lednev // Journal of Raman Spectroscopy. – 2016. – Vol. 47 (1). – P. 39–50.

REFERENCES

1. Vvedenie v ramanovskuyu spektroskopiyu [Introduction to Raman Spectroscopy]. *Studbooks.net: Studencheskaya biblioteka onlayn* [Student Library Online]. URL: http://studbooks.net/1886282/matematika_himiya_fizika/literaturnyy_obzor (accessed October 15, 2017).
2. Informatsionnye materialy: Primenenie ramanovskoy spektroskopii dlya kontrolya lekarstvennykh sredstv [Information Materials: Application of Raman Spectroscopy for Drug Control]. *SENS-OPTIK. Analiticheskoe priborostroenie* [SENS-OPTIK. Analytic Instrumentation]. URL: http://ecmoptec.ru/material/materials_id/4 (accessed November 10, 2017).
3. Plotkin D.M. *Ispolzovanie ionnoy i elektronnoy spektroskopii v sudebnoy ekspertize veshchestv, materialov i izdeliy po ugovnym delam: dis. ... kand. jurid. nauk* [Using the Ion and Electron Spectroscopy in the Forensic Examination of Substances, Materials and Articles in Criminal Cases. Cand. jurid. sci. diss.]. Moscow, 2003. 258 p.
4. Sravnitel'naya tablitsa portativnykh ramanovskikh spektrometrov [Comparative Table of Portable Raman Spectrometers]. *CZL: Laboratornoe oborudovanie* [CZL: Laboratory Equipment]. URL: https://www.czl.ru/netcat_files/userfiles/PDF/portativnye_ramanovskie_spektrometry.pdf (accessed November 10, 2017).
5. Knunyants I.L., Zefirov N.S. *Khimicheskaya entsiklopediya* [Encyclopedia of Chemistry]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1990, vol. 2, pp. 436-438.
6. Adar F. Raman Microscopy Analysis of Molecular Orientation in Organic Fibers. *Spectroscopy solutions for materials analysis*, 2013, vol. 28 (2), pp. 14-22.
7. Markert H., Ring J., Campbell N., Grates K. A Comparison of Four Commercially Available Portable Raman Spectrometers. *National Forensic Science Technology Center*, 2011. URL: http://www.nfstc.org/wp-content/files//RAMAN-handout_AAFS_2011_214.pdf (accessed May 17, 2017).
8. Lu X., Shah P., Maruf S., Ortiz S., Hoffard T., Pellegrino J., Appl J. Forensic analysis of degraded polypropylene hollow fibers utilized in microfiltration. *Journal of applied polymer science*, 2015, vol. 132 (21), DOI: <https://doi.org/10.1002/app.41553>.
9. Massonnet G., Buzzini P., Monard F., Jochem G., Fido L., Bell S., Stauber M., Coyle T., Roux C., Hemmings J., Leijenhof H., Van Zanten Z., Wiggins K., Smith C., Chabli S., Sauneuf T., Rosengarten A., Meile C., Ketterer S., Blumer A. Raman spectroscopy and microspectrophotometry of reactive dyes on cotton fibres: Analysis and detection limits. *Forensic Science International*, 2012, vol. 222, pp. 200-207.
10. Salahioğlu F., Went M.J., Gibson S.J. Application of Raman Spectroscopy for the Differentiation of Lipstick Traces. *Analytical Methods*, 2013, vol. 5 (20), pp. 5392-5401.
11. Rodriguez J.D., Westenberger B.J., Buhse L.F., Kauffman J.F. Standardization of Raman spectra for transfer of spectral libraries across different instruments. *Analyst*, 2011, vol. 136 (20), pp. 4232-4240.
12. Lefèvre T., Paquet-Mercier F., Rioux-Dubé J.-F., Pézolet M. Structure of silk by Raman spectromicroscopy: from the spinning gland to the fiber. *Biopolymers*, 2012, vol. 97, p. 322.
13. Vašková H. Raman spectroscopy as an innovative method for material identification. *International journal of mathematical models and methods in applied sciences*, 2011, vol. 5 (7), pp. 1205-1212.
14. Muro C.K., Doty K.C., Bueno J., Halámková L., Lednev I.K. Vibrational spectroscopy: recent developments to revolutionize forensic science. *Analytical chemistry*, 2014, vol. 87 (1), pp. 306-327.
15. Doty K.C., Muro C.K., Claire K., Bueno J., Halámková L., Lednev I.K. What can Raman spectroscopy do for criminalistics? *Journal of Raman Spectroscopy*, 2016, vol. 47 (1), pp. 39-50.

APPLYING THE METHOD OF RAMAN SCATTERING SPECTROSCOPY IN EXPERTISE OF TRACES DETECTED AT THE CRIME SCENE

Olga Igorevna Avramenko

Student, Profile in Forensic Examination of Materials, Substances and Products,
Volgograd State University
semf@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Tatyana Aleksandrovna Ermakova

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Department of Forensic Expertise and Physical Materials Science,
Volgograd State University
semf@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Vladimir Vitalyevich Akatyev

Senior Lecturer,
Department of Forensic Expertise and Physical Materials Science,
Volgograd State University
semf@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Konstantin Olegovich Smirnov

Senior Lecturer,
Department of Forensic Expertise and Physical Materials Science,
Volgograd State University
semf@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The work reflects the principles of Raman spectroscopy, its advantages and application in forensic examination of materials, substances and products. Some developments in the modernization of this method and the possibility of using Raman spectroscopy in other areas of forensic examination are presented.

These studies demonstrate the wide applicability of Raman spectroscopy in forensic uses and, more importantly, in the use of portable and handheld devices. Besides, Raman spectroscopy finds extensive use in the examination of drugs, psychotropic substances, polymeric materials, fibrous materials, explosive substances, etc. However, additional efforts are needed for the development of this method. One of the most important steps in this process should be to develop and test spectral libraries.

The use of Raman spectroscopy as a versatile analytical tool in forensic science is constantly evolving. Despite the wide range of possibilities, Raman spectroscopy is faced with problems such as fluorescence interference, low sensitivity. Raman spectroscopy is one of the few methods that can quickly provide accurate desired information in the analysis of substances, while not damaging the sample.

Key words: spectroscopy; combination scattering spectroscopy; Raman spectroscopy; analysis methods; forensic examination of materials, substances and products.