

Repere pentru înțelegerea rolului spectroscopiei în investigația criminalistică

Guidelines for understanding the role of spectroscopy
in forensic investigation

Ancuța Elena Frant¹

Rezumat: Prezenta lucrare își propune să facă o scurtă analiză a metodelor spectroscopice și să prezinte utilitatea lor în Criminalistică. Sunt expuse principiile după care funcționează spectroscopia și sunt prezentate principalele tipuri de spectroscopie. Datorită importanței pe care o are spectroscopia Raman în realizarea investigației criminalistice, ultima parte a lucrării se concentrează pe acest tip de spectroscopie, prezentând tehniciile care permit utilizarea ei în Criminalistică, precum și câteva situații concrete în care spectroscopia Raman duce la obținerea unor rezultate foarte importante pentru investigația criminalistică.

Cuvinte-cheie: criminalistică, spectroscopie, spectroscopia Raman.

Abstract: This paper aims to make a brief analysis of the spectroscopic methods and to present their utility in Forensic Science. There are presented the principles by which spectroscopy works and the main types of spectroscopy. Due to the importance of Raman spectroscopy in carrying out the forensic investigation, the final part of the paper focuses on this type of spectroscopy, presenting the techniques which allow its use in Forensic Science, as well as some actual cases in which Raman spectroscopy leads to very important results for the forensic investigation.

Key-words: Forensic Science, spectroscopy, Raman spectroscopy.

1. Aspecte generale privind importanța spectroscopiei

Criminalistica este un domeniu prin excelență multidisciplinar. Acet caracter este pe deplin demonstrat de faptul că în investigația criminalistică sunt utilizate tehnici și procedee care sunt, în principiu, folosite în alte domenii ale științei. Unele elemente de tehnică utilizate în Criminalistică sunt atât de mult legate de un anumit domeniu, încât apar conexiuni nebănuite între Criminalistică și arii cu totul diferite ale cunoașterii umane. Este și cazul spectroscopiei, ramură a fizicii care, pe lângă faptul că a stat la baza unor descoperiri spectaculoase în fizică, are numeroase aplicații în Criminalistică.

Spectroscopia a permis, printre altele, descoperirea unor informații foarte importante din domeniul astronomiei, de exemplu faptul că universul se extinde²

¹ Lector univ. dr., Facultatea de Drept, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași,
e-mail: ancuta.frant@uaic.ro

și a făcut posibilă aflarea compoziției planetelor din sistemul nostru solar sau chiar a planetelor aflate la peste 1000 de ani-lumină depărtare de sistemul solar (aşa-numitele exoplanete)³.

Din punct de vedere istoric, se consideră că spectroscopia a fost utilizată pentru prima dată în 1865, când doi savanți germani, Robert Bunsen și Gustav Kirchoff au stabilit compoziția chimică a Soarelui, utilizând spectroscopia⁴.

2. Fenomenele care permit analiza spectroscopică

Spectroscopia este un domeniu al fizicii care studiază interacțiunea dintre materie și radiația electromagnetică (lumina vizibilă sau orice alt tip de radiație electromagnetică). Practic, spectroscopia se bazează pe separarea radiației electromagnetice provenite de la un obiect în lungimile de undă componente, la fel cum o prismă descompune lumina în culorile sale componente⁵.

La baza spectroscopiei stau regulile specifice care se aplică la nivel atomic (și sub-atomic) și la nivel molecular. Un sistem microscopic (nucleu, atom, moleculară) se caracterizează prin faptul că poate exista numai în anumite stări (numite stări staționare), corespunzătoare unei mulțimi discrete de valori ale energiei

² Această descoperire s-a bazat pe observarea modificării Doppler a liniilor spectrale. A se vedea N.A. Bahcall, *Hubble's Law and the Expanding Universe*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112 (11), 2015, pp. 3173-3175, [Online] la <https://doi.org/10.1073/pnas.1424299112>, accesat la data de 17.11.2019.

³ Cu ajutorul spectroscopiei astronomii au descoperit că pe unele planete din sistemul nostru solar există condițiile propice pentru formarea ploilor cu diamante (pe Saturn, Jupiter, posibil și pe Uranus și Neptun). Tot spectroscopia a permis formularea ipotezei că pe planeta HAT-P-7b (numită și Kepler-2b, aflată la aproximativ 1112, 2 ani-lumină de sistemul nostru solar) plouă cu rubine. Această supozиie a pornit de la faptul că analiza spectroscopică a dus la detectarea în atmosfera acestei planete a substanței denumită corindon, care este un precursor al rubinelor. Analize similare au dus la formarea ipotezelor că pe alte planete plouă cu safire, precum și că unele planete au miezul format din diamant, rubin sau safir, întocmai cum Terra are miezul format din fier. A se vedea D.J. Armstrong, E. de Mooij, J. Barstow, H.P. Osborn, J. Blake, N. Fereshteh Saniee, *Variability in the atmosphere of the hot giant planet HAT-P-7b*, Nature Astronomy 1, Article number 0004 (2016), [Online] la <https://www.nature.com/articles/s41550-016-0004>, accesat la data de 18.11.2019. Pentru alte utilizări ale spectroscopiei, a se vedea, de exemplu, V. Tiron, V. Pohoata, C. Vițelaru, Gh. Popa, *Investigation of Zeeman Effect by Tunable Diode-Laser Spectroscopy*, Proceedings of the XX European Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG), Novi Sad, Serbia, 13-17 iulie 2010, [Online] la <http://www.escampig2010.ipb.ac.rs/papers/P1.19.pdf>, accesat la data de 18.11.2019.

⁴ Encyclopædia Britannica [Online] la <https://www.britannica.com/biography/Robert-Bunsen>, accesat la data de 19.11.2019.

⁵ A se vedea M.H. Penner, *Basic Principles of Spectroscopy*, în S. Suzanne Nielsen (editor), *Food Analysis*, Springer, New York, pp. 375-385.

(nivele de energie). Orice variație a energiei sistemului microscopic se face printr-o tranziție dintr-o stare staționară în alta⁶.

Concret, absorbția și emisia radiațiilor electromagnetice de o anumită energie (lungime de undă) se produc datorită mișcării electronilor între diferite stări de energie, conform legilor mecanicii cuantice. Electronii din atomi și molecule sunt distribuiți pe diferite nivale de energie, dar, de regulă, se află la cel mai jos nivel de energie (numit „stare staționară”). Atunci când un sistem microscopic primește o anumită cantitate de energie (de exemplu, radiație electromagnetică), electronii trec în stări de energie superioară și „sar” de pe o orbită pe alta. Acest proces se realizează cu absorbție de energie, producându-se *spectroscopia de absorbție*. Absorbția de energie se face la lungimi de undă specifice, ceea ce dă naștere unui spectru de absorbție specific. Noua stare a electronilor nu este însă stabilă, electronii având tendința de a reveni la starea inițială. Când se face revenirea la starea inițială, acest fenomen se produce cu emisie de energie, producându-se *spectroscopia de emisie*⁷.

Toți atomii și toate moleculele absorb și emit radiația electromagnetică (deci și lumina) la anumite lungimi de undă, specifice fiecărui atom și fiecarei molecule în parte. Practic, aceasta înseamnă că fiecare element are o amprentă atomică unică, ce poate fi observată sub forma unui set unic de lungimi de undă, numit spectru. Prin urmare, aspectul unui anumit spectru va indica exact despre ce element este vorba.

Spectroscopia permite atât analiza calitativă, cât și analiza cantitativă. Analiza calitativă (structurală), adică identificarea tipului de element, este posibilă datorită specificității spectrelor de emisie și absorbție. Analiza cantitativă a substanțelor se face prin observarea intensității liniilor spectrale⁸.

3. Tipuri de spectroscopie

Dintre diferitele tipuri de spectroscopie, vom menționa mai jos câteva dintre cele mai utilizate în Criminalistică.

Spectroscopia în spectrul luminii vizibile / spectrul ultraviolet este o metodă larg folosită pentru a măsura absorbția radiațiilor în spectrul luminii vizibile și în spectrul ultraviolet. Pentru utilizarea acestui tip de spectroscopie se folosesc un dispozitiv numit spectrofotometru. La baza acestui tip de spectroscopie stau două principii, care guvernează absorbția luminii care trece printr-o soluție, și anume: absorbția luminii este exponențial legată de numărul de molecule ale soluției absorbante, deci de concentrația soluției; absorbția luminii este exponențial legată de distanța parcursă de lumină prin soluția absorbantă⁹.

⁶ A se vedea M.H. Penner, *op. cit.*, pp. 375-385.

⁷ A. Langford, J. Dean, R. Reed, D. Holmes, J. Weyers, A. Jones, *Practical Skills in Forensic Science*, Pearson Education Limited, Harlow, 2005, p. 267.

⁸ A. Langford *et al.*, *op. cit.*, p. 267.

⁹ A. Langford *et al.*, *op. cit.*, p. 267; M.H. Penner, *op. cit.*, pp. 375-385.

Spectroscopia de infraroșu se bazează pe modificările de energie care au loc la nivelul legăturilor covalente din molecule¹⁰.

Spectroscopia de rezonanță magnetică nucleară (RMN) se bazează pe absorbția de energie de către nucleu atomice specifice în câmpuri magnetice. Este considerată de către unii autori cea mai importantă metodă de determinare structurală a moleculelor¹¹.

Spectroscopia de masă este, de fapt, o metodă fizico-chimică, ce se bazează pe fragmentarea compușilor organici. Dacă alte tipuri de spectroscopie (în spectrul vizibil și ultraviolet, în infraroșu și spectroscopia de rezonanță magnetică nucleară) au la bază interacțiunea dintre radiația electromagnetică și molecule, spectroscopia de masă se bazează pe efectul de „rupere” a moleculelor pe care îl au particulele de energie mare (electroni sau ioni)¹².

Spectroscopia atomică este o metodă de analiză cantitativă utilizată pentru determinarea metalelor dintr-o anumită moștră. Aplicarea acestui tip de spectroscopie se poate face prin două tehnici principale: spectroscopia de absorbție atomică și spectroscopia de emisie atomică¹³.

Spectroscopia de fluorescentă se bazează pe faptul că, în cazul unor molecule, după ce electronii trec într-o stare superioară de energie datorită absorbției energiei electromagnetic, revenirea lor la starea inițială se face parțial prin emiterea de radiație electromagnetică, fenomen numit fluorescentă. Prin comparație cu spectroscopia în *spectrul luminii vizibile / spectrul ultraviolet*, spectroscopia de fluorescentă prezintă anumite avantaje: sensibilitate sporită (chiar de 1000 de ori) și specificitate crescută, deoarece sunt detectate două lungimi de undă pentru un anumit compus. Există însă și unele dezavantaje: nu toate substanțele prezintă fluorescentă intrinsecă; lumina emisă poate fi de nivel mai redus decât cel așteptat, de exemplu dacă o anumită substanță din moștră (cum ar fi oxigenul) interferează cu transferul de energie sau absoarbe lumina emisă¹⁴.

Spectroscopia de fluorescentă în radiații X poate fi utilizată pentru a determina structura unei largi categorii de substanțe, ceea ce face ca această tehnică să fie foarte utilă în Criminalistică. Este o metodă non-destructivă și care face posibilă identificarea rapidă a elementelor¹⁵.

Spectroscopia Raman este un alt tip de spectroscopie frecvent utilizată în Criminalistică. Datorită importanței sale, o vom analiza într-o secțiune separată.

¹⁰ A. Langford *et al.*, *op. cit.*, p. 292.

¹¹ *Ibidem.*

¹² *Ibidem.*

¹³ *Ibidem*, p. 274.

¹⁴ *Ibidem*, pp. 270-271.

¹⁵ *Ibidem*, p. 286.

4. Utilitatea spectroscopiei în Criminalistică

Faptul că spectroscopia permite identificarea precisă a substanțelor face ca această ramură a fizicii să fie foarte utilă în investigația criminalistică. Folosind spectroscopia, se poate stabili cu precizie care este natura substanțelor găsite de investigatori la locul faptei sau în alte circumstanțe legate de săvârșirea unei fapte antisociale.

În investigația criminalistică, spectroscopia permite, de exemplu, analiza firului de păr (inclusiv a substanțelor depuse pe firul de păr), a fluidelor corporale, a sebumului și a transpirației (inclusiv urmele care permit formarea amprentelor digitale). Prin analiza acestor urme de natură biologică, se poate stabili dacă persoana în cauză a consumat sau a fost expusă efectului unor substanțe diverse, toxice sau non-toxice. De asemenea, se pot analiza urmele de textile. Spectroscopia permite identificarea unor substanțe de natură necunoscută, care pot fi stupefiante sau alte substanțe a căror detinere este interzisă ori medicamente. Se pot identifica și substanțe explozive. Practic, domeniul de utilizare a spectroscopiei în Criminalistică este nelimitat, din moment ce spectroscopia permite, în principiu, evidențierea naturii (și chiar a cantității) oricărui element¹⁶.

Spectroscopia prezintă anumite avantaje față de alte metode.

Unul dintre avantaje constă în faptul că metoda este non-destructivă (spre deosebire de altele, cum ar fi metodele chimice de analiză). Aceasta înseamnă că mostrele de materie analizate prin metodele spectroscopice vor putea fi supuse ulterior și altor tipuri de analize. Astfel, este posibilă obținerea unui maxim de informații din urmele găsite¹⁷.

Un alt avantaj constă în faptul că metoda spectroscopică, de regulă, nu presupune o preparare anterioară a materialului analizat¹⁸.

5. Spectroscopia Raman și importanța sa în cadrul investigației criminalistice

În rândurile care urmează ne vom concentra atenția asupra spectroscopiei Raman, care ocupă un loc important în rândul metodelor spectroscopice utilizate în Criminalistică. Importanța acestui tip de spectroscopie pentru Criminalistică provine din faptul că metodele bazate pe spectroscopia Raman sunt ușor de folosit și duc la obținerea unor rezultate precise, într-un timp foarte scurt.

5.1. Principiile după care funcționează spectroscopia Raman

Spectroscopia Raman¹⁹ este o spectroscopie vibrațională. Ea se bazează pe fenomenul de împrăștiere inelastica a radiației monocromatice, ca o consecință a

¹⁶ C.K. Muro, K.C. Doty, J. Bueno, L. Halámková, I.K. Lednev, *Vibrational Spectroscopy: Recent Developments to Revolutionize Forensic Science*, în *Analytical Chemistry*, Vol. 87, 2015, pp. 306-327.

¹⁷ Pentru detalii, a se vedea A. Langford *et al.*, *op. cit.*, pp. 267- 321.

¹⁸ *Ibidem.*

interacțiunii acestei radiații cu vibrațiile moleculare. Dispozitivele de analiză spectroscopică Raman analizează lumina împrăștiată de substanțe ca urmare a ciocnirii inelastice care se produce între fotoni (particulele din care este formată lumina) și sistemele atomice²⁰.

În esență, dispozitivele de analiză Raman funcționează prin trimiterea unei raze laser spre probă și analizarea spectrului care rezultă. Orice spectrometru Raman trebuie să poată filtra majoritatea radiației elastice împrăștiate (radiația Rayleigh), care este mai intensă decât radiația Raman. Majoritatea dispozitivelor Raman comerciale prezintă un filtru optic de mare densitate optică pe o lungime de undă îngustă (în jurul lungimii de undă a laserului utilizat)²¹.

5.2. Importanța spectroscopiei Raman în Criminalistică

Spectroscopia Raman este foarte importantă pentru domeniul Criminalisticii. Spectrometrele Raman pot fi, în esență, de două categorii: de laborator și de utilizare *in situ* (la fața locului). Cea de-a doua categorie este foarte importantă, deoarece permite obținerea imediată a unor informații, chiar în cadrul cercetării la fața locului. Acest fapt este posibil deoarece tehnologia utilizată pentru analiza spectroscopică Raman poate fi încorporată în dispozitive de mici dimensiuni. Asemenea dispozitive pot fi transportate la fața locului, ceea ce permite analiza și identificarea rapidă a substanțelor de natură necunoscută găsite²².

Dispozitivele Raman portabile au fost astfel construite încât să poată fi utilizate de către persoane care nu au pregătire de specialitate în domeniul fizicii sau chimiei. Acest lucru este posibil deoarece dispozitivele Raman au încorporată o bază de date, care permite identificarea imediată nu doar a structurii substanțelor găsite, ci chiar a denumirii lor științifice și uzuale. De asemenea, bazele de date arată dacă respectiva substanță este toxică sau nu, dacă este sau nu interzisă deținerea ei sau dacă este un precursor al unei substanțe periculoase. Informațiile sunt prezentate utilizatorului pe un ecran. Un alt avantaj al dispozitivelor Raman constă în faptul că acestea pot funcționa și dacă substanța de analizat este într-un

¹⁹ Numele de spectroscopie Raman provine de la C.V. Raman, cel care a descoperit principiile care stau la baza acestui tip de spectroscopie. C.V. Raman a fost un cercetător indian, care a descoperit efectul Raman în 1928 și a câștigat premiul Nobel pentru fizică în 1930. A se vedea *Sir Chandrasekhara Venkata Raman – Biographical*. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019, [Online] la <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1930/raman/biographical/>, accesat la data de 21.11.2019.

²⁰ J.M. Chalmers, H.G.M. Edwards, M.D. Hargreaves, *Vibrational Spectroscopy Techniques: Basics and Instrumentation*, în J.M. Chalmers, H.G.M. Edwards, M.D. Hargreaves (editori), *Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science*, John Wiley & Sons, Ltd, Publication, Chichester, 2012, pp. 9-45.

²¹ J.M. Chalmers *et al.*, *op. cit.*, p. 24.

²² *Ibidem*, p. 22.

recipient transparent (din sticlă sau plastic). Astfel, se diminuează considerabil riscul contaminării investigatorilor, dar și riscul alterării materialului de analizat²³.

5.3. Aplicații concrete în Criminalistică ale spectroscopiei Raman

În continuare vom prezenta câteva aplicații concrete ale spectroscopiei de tip Raman în Criminalistică.

5.3.1. Aplicarea spectroscopiei Raman în identificarea fibrelor

Spectroscopia Raman este foarte utilă în analiza fibrelor găsite la fața locului sau în alt context și despre care se crede că pot oferi informații importante pentru soluționarea cauzei. Metoda presupune, în esență, stabilirea compoziției polimerilor din care sunt alcătuite fibrele. În practică, fibrele sunt inițial analizate cu un stereomicroscop, apoi sunt aşezate pe lamele de sticlă pentru cercetări ulterioare. Analizarea fibrelor se poate face prin diferite metode, precum metoda comparației, utilizarea luminii polarizate, utilizarea microscopelor de fluorescență. Asemenea metode sunt considerate „clasice” în Criminalistică. Datorită evoluției tehnologiei de producere a fibrelor, s-a făcut simțită nevoia unor noi metode, care să permită diferențieri pe care metodele clasice nu le mai pot face între diferitele genuri și subgenuri de fibre. În acest context, spectroscopia Raman poate aduce informații relevante, mai ales dacă fibrele nu sunt vopsite. Metoda Raman prezintă unele avantaje în analiza fibrelor față de alte metode. De exemplu, spre deosebire de utilizarea spectroscopiei în infraroșu, spectroscopia Raman poate fi utilizată chiar dacă fibrele sunt deja fixate între lamele de sticlă și fără o pregătire anterioară a probei²⁴.

5.3.2. Aplicarea spectroscopiei Raman în analiza documentelor

Spectroscopia Raman și-a demonstrat utilitatea și în ceea ce privește analiza documentelor. În acest domeniu al analizei actelor, se poate pune problema dacă un document a fost falsificat prin adăugarea unor elemente prin printare după ce semnătura a fost deja dată. Dacă textul printat se suprapune sau se intersectează cu semnătura, pentru stabilirea falsului se examinează punctele de intersecție. În acest scop, se utilizează o serie de metode standard, precum microscopia optică, microscopia de tip SEM (Scanning Electron Microscopy) sau microscopia de tip AFM (Atomic Force Microscopy). Însă, în ipoteza în care textul printat nu se intersectează cu semnătura, asemenea metode „clasice” nu mai pot fi utilizate. Se poate însă folosi cu succes spectroscopia Raman, care va stabili succesiunea cronologică a textului printat, respectiv a textului scris de mână²⁵.

²³ [Online] la <https://bwtek.com/technology/handheld-raman/>, accesat la data de 19.11.2019.

²⁴ J.V. Miller, E.G. Bartick, *Forensic Analysis of Single Fibers by Raman Spectroscopy*, în *Applied Spectroscopy*, Vol. 55, Nr. 12, 2001, pp. 1729-1732.

²⁵ T. Gal, J. Sandor, A. Karoly, *Micro-Raman study of the sequence of non-intersecting lines for forged document investigation*, în Horiba Scientific, Forensic 04, 2012.

Potibilitatea de a utiliza spectroscopia Raman în ipoteza prezentată mai sus se bazează pe fragmentele de toner cu dimensiuni extrem de mici (de ordinul micronilor), care sunt create în procesul de imprimare și care sunt răspândite pe suprafața foii, ca un efect secundar al operațiunii de printare. Stropii de toner sunt împrăștiați la întâmplare pe suprafața foii, cu o densitate de aproximativ 100 de stropi/cm². Practic, acești stropi sunt depuși pe hârtie concomitent cu procesul de imprimare. Distribuirea lor pe toată suprafața hârtiei face ca, în ipoteza în care textul printat nu se intersectează cu semnătura, cel puțin acești stropi se vor regăsi pe suprafața pe care se află semnătura. Prin urmare, pentru a stabili succesiunea cronologică a printării și a scrierii de mâna, este suficientă analiza succesiunii cronologice a aşezării petelor microscopice de toner, respectiv a urmelor de cerneală din instrumentul de scris, pe suprafața pe care se află semnătura. Această analiză se poate face prin utilizarea spectroscopiei Raman. Cu ajutorul acestei tehnici se poate afla dacă pe hârtie a fost „așezată” mai întâi micro-pata de toner sau urma de cerneală din scrierea de mâna²⁶.

Concret, se analizează compoziția chimică a stratului de la suprafața hârtiei, prin intermediul tehnicii micro-Raman. Atunci când, în urma analizei stratului superior, se obține spectrul specific tonerului, aceasta înseamnă că semnarea a fost făcută anterior printării, ceea ce reprezintă un indiciu că documentul a fost falsificat. Când, în urma analizei stratului superior, se obține spectrul specific cernelii utilizate pentru scrierea de mâna, aceasta înseamnă că semnarea a fost făcută ulterior printării, ceea ce reprezintă un indiciu al autenticității documentului²⁷.

5.3.3. Utilizarea spectroscopiei Raman în analiza fluidelor corporale

În demersul de investigare criminalistică o importanță aparte o are analiza fluidelor corporale găsite la locul săvârșirii faptei sau într-un alt context. Fluidele corporale pot fi supuse analizei ADN, care poate duce la concluzii esențiale pentru rezolvarea unei cauze. Însă, înainte de a putea face analize de laborator asupra unor fluide corporale, este esențial ca aceste fluide să fie descoperite la locul cercetat și să se facă diferența între categoriile de fluide corporale care ar putea să se afle la fața locului. Acest demers de descoperire, respectiv de corectă identificare a tipului de fluid corporal găsit la fața locului, nu este întotdeauna o misiune ușor de îndeplinit, deoarece fluidele pot fi greu de sesizat sau, chiar dacă sunt descoperite, pot fi ușor confundate unele cu altele. Dintre metodele standard utilizate de-a lungul timpului pentru a diferenția diferențele tipuri de fluide găsite în cadrul unei investigații criminalistice, unele au caracter distructiv, ceea ce înseamnă că respectivele fluide nu mai pot fi supuse unor analize ulterioare care ar putea duce la obținerea unor concluzii de certitudine. În acest context, este esențial ca, pentru identificarea fluidelor, să fie utilizate tehnici non-destructive. O astfel de tehnică este cea bazată pe spectroscopia Raman. Această metodă are

²⁶ Ibidem.

²⁷ Ibidem.

avantajul de a prezenta o mare selectivitate și specificitate la substanțele chimice și biochimice (deși are o sensibilitate mai scăzută decât alte tehnici, cum sunt cele bazate pe spectroscopia de fluorescență). Un alt avantaj al utilizării spectroscopiei Raman în analiza fluidelor corporale este faptul că spectroscopia Raman, spre deosebire de alte tipuri de spectroscopie vibrațională (cum ar fi spectroscopia de absorție în infraroșu) prezintă o interferență foarte redusă cu apa²⁸.

Pentru analiza urmelor de fluide corporale la fața locului se pot utiliza dispozitive Raman portabile. În practică a fost utilizată cu succes această tehnică pentru a identifica urme de sânge, spermă, salivă, secreții vaginale, transpirație. Identificarea acestor fluide este posibilă deoarece spectrul Raman al fiecărui fluid corporal este unic. În plus, spectrul Raman conține numeroase vârfuri, spre deosebire de spectrele obținute prin alte metode (de exemplu spectrele obținute prin spectroscopia de fluorescență, care conțin vârfuri puține și largi), ceea ce permite obținerea rapidă a unor concluzii neechivoce. Tehnologia Raman face posibilă și identificarea unor fluide aflate în amestec, deoarece spectrul Raman al amestecului va fi o combinație a spectrelor specifice fiecărui fluid component, iar aplicarea unor reguli matematice va permite identificarea spectrului fiecărui fluid în parte. De asemenea, tehnica Raman permite diferențierea fluidelor care provin de la om de cele care provin de la animale²⁹.

6. Concluzii

Informațiile prezentate mai sus demonstrează faptul că spectroscopia este foarte utilă în realizarea unei investigații criminalistice. Mai mult, exemplele concrete pe care le-am dat arată versatilitatea acestei metode, care poate fi aplicată într-o gamă foarte largă de situații. Potențialul metodelor de investigare bazate pe spectroscopie indică faptul că, pe viitor, este posibil ca spectroscopia să ofere soluții pentru rezolvarea unor probleme care, deocamdată, par a nu avea răspuns. Prin urmare, credem că trebuie încurajată cercetarea referitoare la utilizarea spectroscopiei în Criminalistică.

²⁸ K. Virkler, I.K. Lednev, *Analysis of body fluids for forensic purposes: From laboratory testing to non-destructive rapid confirmatory identification at a crime scene*, în Forensic Science International, Vol. 188, 2009, pp. 1-17.

²⁹ *Ibidem.*

