الباب السادس

التطبيقات
Applications

1:6 مقدمة

تغطى تطبيقات مطيافية رامان الوصفية والكمية مساحة واسعة من المجالات فى العلوم الفيزيائية، الكيميائية، الجيولوجية، البيولوجية، الطبية والبيئية، حيث تستخدم مطيافية رامان فى التعرف على المجموعات الجزيئية الكيميائية، كل مجموعة صغيرة جدا من الذرات داخل الجزىء لها ترددات خاصة بها، تعرف بترددات المجموعة، تميزها عن غيرها من المجموعات الأخرى بغض النظر عن موقعها فى الجزيء. وتستخدم أيضا مطيافية رامان، عادة بالاشتراك مع مطيافية تحت الحمراء، لتعيين تماثل المجموعات الكيميائية التي تظهر تشتت رامان وكذلك تصنيف الأعداد الموجية للأنماط التذبذبية التابعة لها. ويساعد تصنيف الذبذبات فى الحصول على معلومات كمية عن القوى بين أو فى الجزيئات Intermolecular & Intramolecular Forces وحساب خصائص الديناميكا الحرارية. ويعتمد عدد كبير من التطبيقات على استخدام شدة ذبذبات رامان لقياس تركيز المجموعات التي تشتت رامان. وتوجد تطبيقات أخرى تستخدم التغير فى العدد الموجي، والشدة وملامح شريط رامان فى دراسة تأثير الحرارة والضغط على المجموعات الجزيئية.

مطيافية رامان أداة فاعلة فى دراسة تذبذبات وتحركات الذرات فى البلورات.

تعطى مطيافية رامان معلومات أكثر من مطيافية IR بالنسبة للمجموعات -C ≡ C- , -N=N- , >C=C<. وإذا كان وضع هذه المجموعات فى أي جزيء متماثلا، فسوف تكون شدة ذبذباتها من نوع رامان نشطة وليست من نوع تحت الحمراء نشطة.

تظهر أطياف رامان ترددات الذبذبات الجزيئية التي توجد نتيجة الفرق بين تردد الضوء الساقط والضوء المشتت. تتناسب شدة امتصاص شريط تحت الحمراء مع مربع مشتقة عزم ثنائي القطب بالنسبة للمسافة بين الذرات (مربع معدل تغير عزم ثنائي القطب مع المسافة بين الذرات)، بينما تتناسب شدة خطوط رامان مع مربع مشتقة الاستقطابية الجزيئية بالنسبة للمسافة بين النوى أي أن :

$$I_R \approx [d\alpha\backslash dq]^2_{q=q_o}$$

ويظهر للجزيء طيف رامان عندما ينتج عن التفاعل بينه وبين الضوء الساقط عليه تغيرا فى الاستقطابية. ويستنتج من ذلك أن الجزيئات ثنائية الذرة المتجانسة $[H_2, O_2, N_2]$ التي لا يظهر لها طيف تحت الحمراء تكون رامان نشطة إذ أن $d\alpha\backslash dq \neq 0$. ويختلف طيف IR عن طيف رامان لأن تغير مشتقة الاستقطابية يختلف عن تغير مشتقة ثنائي القطب. وبصرف النظر عن التردد والشدة فإن أهم خصائص أطياف رامان هى نسب منع الاستقطاب لخطوط رامان.

ونسب منع الاستقطاب ρ تتغير فى المدى $0 \leq \rho \leq 1$ ونسبة منع الاستقطاب تتأثر بعدة عوامل مثل: انفراج الضوء الساقط وأيضا تأثير استقطاب العناصر البصرية للمطياف... إلخ. ونسبة منع الاستقطاب تعكس خاصية توزيع كثافة الإلكترون، وتأثير تبادل الرابطة الزوجية Conjugation Effect فى الجزيئات العضوية.

وتعطى مقارنة أطياف IR و رامان معلومات عن تماثل الجزيئات. فمثلا في الإيثيلين Ethylene، ذبذبات المد للرابطة الزوجية متماثلة لذا لايظهر لهذه الذبذبة أى امتصاص فى طيف IR ، وفى نفس الوقت تظهر هذه الذبذبة فى طيف رامان وهذا يعنى أن التركيب الجزيئي متماثل. يظهر فى طيف رامان خط قوى تابع لذبذبة المد للرابطة الزوجية فى Tetrachloro ethylene رابع كلوريد الإيثيلين ($\upsilon C = C$ 1570cm^{-1}) ولا يظهر فى طيف IR ، وتظهر لذبذبة الرابطة الزوجية الأقل تماثلا فى السيكلوهيكسين Cyclohexene($\upsilon C = C$ 1658cm^{-1}) شريط ضعيف فى طيف IR وخط قوى إلي حدما فى طيف رامان. ترددات رامان وتحت الحمراء لنفس الذبذبة [$\upsilon C = C$ ، υNO_2] لا تكون بالضرورة متشابهة Identical بسبب الخواص النوعية للطريقتين.

وتكون الذبذبات المتماثلة مثل: ذبذبة المد الأسيتيلينية C – C، وذبذبة المد -S-S- عادة قوية فى طيف رامان ولا تظهر في طيف تحت الحمراء، والذبذبات غير المتماثلة مثل: C = O, C - H في الألدهايدات تظهر قوية فى طيف تحت الحمراء وضعيفة في طيف رامان.

ويستخدم تأثير رامان الرنين Resonance Raman Effect لتقوية ذبذبات مجموعة كروموفور معينة في الجزيء، وهذه خاصية خاصة تتميز بها مطيافية رامان وخصوصا في دراسة الجزيئات البيولوجية الكبيرة (تقوية فى حدود 10^{2}-10^{6}). وتعتبر مطيافية رامان المقواة بالسطح Surface – Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) من أحدث وأهم خصائص هذه المطيافية.

2:6 ترددات المجموعة Group Frequencies

ترددات ذبذبات المد الهيدروجينية X-H Stretching Vibrations

جميع الترددات التي تظهر في المنطقة $2550-3700cm^{-1}$ تصنف للرابطة بين ذرة الهيدروجين وأي ذرة أخرى مثل: S,C,N,O. وبالرغم من أن هذه الرابطة أحادية إلا أن الذبذبات المصاحبة لها تظهر عند أعلى الترددات في طيف المنطقة الوسطى. ويعتمد تردد ذبذبة المد على تعدد الروابط بين الذرات،فكلما زاد عدد الروابط زاد ثابت القوة، وزاد تبعا لذلك تردد الذبذبة. ولكن تلاحظ أشرطة ذبذبات المد الهيدروجينية عند أعداد موجية أعلى من تلك التابعة لترددات ذبذبات المد للروابط الثلاثية والثنائية، والسبب في ذلك هو أن ذرة الهيدروجين هي أخف الذرات؛ لذا فهي تتذبذب بأقصى قوة، علاوة على أنها أحادية التكافؤ.

وطبقا لقوانين الانتقاء تظهر أشرطة المد O-H المترابطة في طيف تحت الحمراء قوية وعريضة بينما تظهر خطوط رامان لهذه المجموعة ضعيفة في نفس المنطقة من الأعداد الموجية. وينطبق ذلك أيضا على مجموعة N-H المترابطة.أي تظهر الأشرطة تحت الحمراء لها قوية (في المنطقة من $3500-3300cm^{-1}$) وتظهر خطوط رامان متوسطة أو ضعيفة الشدة.

وتظهر خطوط رامان لمجموعة CH قوية في المنطقة $3300-2700cm^{-1}$. ويظهر للمجاميع CH3,CH2 خطان أو ثلاثة خطوط في المنطقة $2970-2850cm^{-1}$. ولكل من هاتين المجموعتين ترددات مد تماثلية ولا تماثلية. وتوجد خطوط رامان لمجموعة C-H= غير المشبعة، أي التي تكون فيها ذرة الهيدروجين متصلة بذرة كربون في حلقة عطرية أو أليفين Aromatic or Olefin أو أسيتيلين Acetylene في المنطقة $3300-3000cm^{-1}$.

ويظهر خط رامان للمجموعة S - H فى المنطقة مـــن $2590-2560cm^{-1}$ وتكون شدة هذا الخط قوية فى طيف رامان بينما يظهر شـريط تحـت الحمـراء ضعيفا.

ذبذبات المد للرابطة الثلاثية Triple Bond Stretching Vibration

تنشأ أعلى الترددات عن تذبـذب المجموعـات ذات الرابطـة الثلاثيـة حيث إن: كلما زاد عـدد الروابـط بيـن ذرات المجموعـة المـهتزة زاد ثـابت القوة، وزاد تبعا لذلك تردد ذبذبة المجموعـة؛ لـذا نتوقـع أن تظـهر خطـوط ذبذبات المد C≡X في المنطقـة $2260-2100cm^{-1}$. والتغـير فـى اسـتقطابية هذه المجموعات يكون كبيرا؛ لـذا تظـهر هـذه الخطـوط قويـة فـى طيـف رامان. وتظـهر خطـوط C≡N فـى المنطقـة $2250-2230cm^{-1}$ وتكـون شـدة خطوط هذه المجموعة أقوى من شدة أشـرطة امتصاصـها فـى طيـف تحـت الحمـراء. وتظـهر خطـوط المجموعـة -C≡C- فـى المـدى $2250-2100cm^{-1}$، وبالرغم من أن خطوط هذه المجموعة تظـهر قويـة فـى طيـف رامـان إلا أن أشرطة امتصاصها لا تظهر فى طيف تحـت الحمـراء.

ترددات ذبذبات المد للروابط الزوجية
Double Bond Vibrational Stretching Frequencies

توجد ترددات ذبذبات المد للمجموعات ذات الروابط الزوجية فى المـدى $2000-1600cm^{-1}$.

C = C

تظهر خطوط هذه المجموعة قوية أو متوسطة الشدة فى طيـف رامـان ولكن أشرطة امتصاصها تكون دائما ضعيفة ولا تظهر فى بعض الحالات فى طيف تحت الحمراء. وتظهر خطوط هذه المجموعة فى المنطقة $1700-1575cm^{-1}$، فمثلا تظهر خطوط الألكينات (Alkene) C = C فى المدى $1675-1600cm^{-1}$ وتكون قوية

أو متوسطة الشدة؛ بينما تظهر خطوط C=C العطرية فى المدى $1620-1580cm^{-1}$ وأيضا تكون شدة الخطوط قوية إلي متوسطة وبسبب الخواص التماثلية أو عزم ثنائي القطب يلاحظ اختفاء أشرطة امتصاص هذه المجموعة أو ظهور أشرطة ضعيفة فى طيف تحت الحمراء. وجدول(13) يوضح بعض الأمثلة لترددات C=C فى طيف رامان.

C = O

تظهر خطوط رامان لمجموعة C=O عند الترددات $1870-1630cm^{-1}$، وتكون شدة هذه الخطوط ضعيفة أو متوسطة؛ علما بأن أشرطة امتصاص هذه المجموعة تظهر قوية فى طيف تحت الحمراء، ويرجع ذلك لقاعدة الانتقاء. وترددات ذبذبات مجموعة C=O تتأثر بنوع المجموعات الذرية المتصلة بذرة الكربون. وعلى ذلك يمكن تمييز ترددات ذبذبات الإستر Esters والكيتون، و الألدهيد.... إلخ، فمثلا تظهر خطوط أستر فى المدى $1755-1715cm^{-1}$ وخطوط الكيتون فى المدى $1725-1700cm^{-1}$ بينما تظهر خطوط الألدهايد فى المدى $1740-1790cm^{-1}$ والأميد $1686-1630cm^{-1}$. والجدول(16) المرفق يوضح ترددات ذبذبات هذه المجموعة.

C=N

تظهر خطوط هذه المجموعة قوية فى طيف رامان بينما تظهر أشرطة امتصاصها فى طيف تحت الحمراء متوسطة الشدة. وتوجد الترددات فى المدى $1680-1610cm^{-1}$. والجدول(17) يبين ترددات هذه المجموعة فى المركبات المختلفة.

N=N

تظهر خطوط متوسطة الشدة فى طيف رامان للمجموعة (N=N)υ ولا يظهر لهذه المجموعة أي امتصاص فى طيف تحت الحمراء، وفى حالة الإحلال الأليفاتى Aliphatic Substitution تظهر الخطوط عند الترددات فى المدى $1580\text{-}1550cm^{-1}$ أما فى حالة الإحلال الأروماتى تظهر الخطوط فى مدى الترددات $1440\text{-}1410cm^{-1}$.

N=O

توجد خطوط المد ألا تماثلية $\upsilon_a[(C\text{-})NO_2]$ فى مدى الترددات $1590\text{-}1530cm^{-1}$ وتكون خطوط رامان متوسطة الشدة؛ بينما تكون أشرطة تحت الحمراء قوية. وتظهر خطوط $\upsilon_s[(C\text{-})NO_2]$ فى مدى الترددات من $1380\text{-}1340cm^{-1}$ وتظهر الخطوط قوية جدا فى طيف رامان وتظهر أشرطة تحت الحمراء متوسطة الشدة. الجدول (17) يبين ترددات NO_2 فى بعض المركبات.

ترددات ذبذبات الرابطة الأحادية

Single Bond Vibrational Frequencies

1 - ترددات ذبذبة المد

C - O

تظهر خطوط ترددات ذبذبات المد υ_a (C-O-C) اللا تماثلية فى المدى من $1150\text{-}1060cm^{-1}$ وتكون ضعيفة فى طيف رامان وقوية فى طيف تحت الحمراء، بينما تظهر ترددات ذبذبات المد التماثلية υ_s(C-O-C) فى المدى من $970\text{-}800cm^{-1}$، وتكون خطوط رامان قوية أو متوسطة الشدة وتكون أشرطة تحت الحمراء ضعيفة أو فى بعض الحالات لا تظهر.

C-C

تظهر ترددات ذبذبات المـــد C-C فـــى المنطقـــة مـــن $1100-1040cm^{-1}$ ويظهر لها خطوط قوية فى طيف رامان ولا يظهر لـــها امتصـــاص فـــى طيـــف تحت الحمـــراء.

2 – ترددات ذبذبة الانحناء للروابـــط الأحاديـــة

N-H

يقع تـــردد الانحنـــاء $\delta(NH_2)$ فـــى المـــدى $1650-1490cm^{-1}$ ويكـــون شريط خط رامان ضعيفًا بينما يكون شريط تحت الحمـــراء متوســـط الشـــدة.

C-H

تقـــع خطـــوط $\delta_5(CH_2)$، $\delta_a(CH_3)$ فـــــى المنطقـــــة $1470-1400cm^{-1}$ وشدة هذه الخطوط تكون متوسطة فـــى طيـــف رامـــان وأيضـــا طيـــف تحـــت الحمراء، ويظـــهر خـــط $\delta_s(CH_3)$ عنـــد $1380cm^{-1}$ ، وشـــدة هـــذا الخـــط فـــى طيف رامان تكون متوسطة أو ضعيفة بينمـــا تكـــون شـــدة شـــريط امتصـــاص تحت الحمراء قوية أو متوســـطة.

C - C

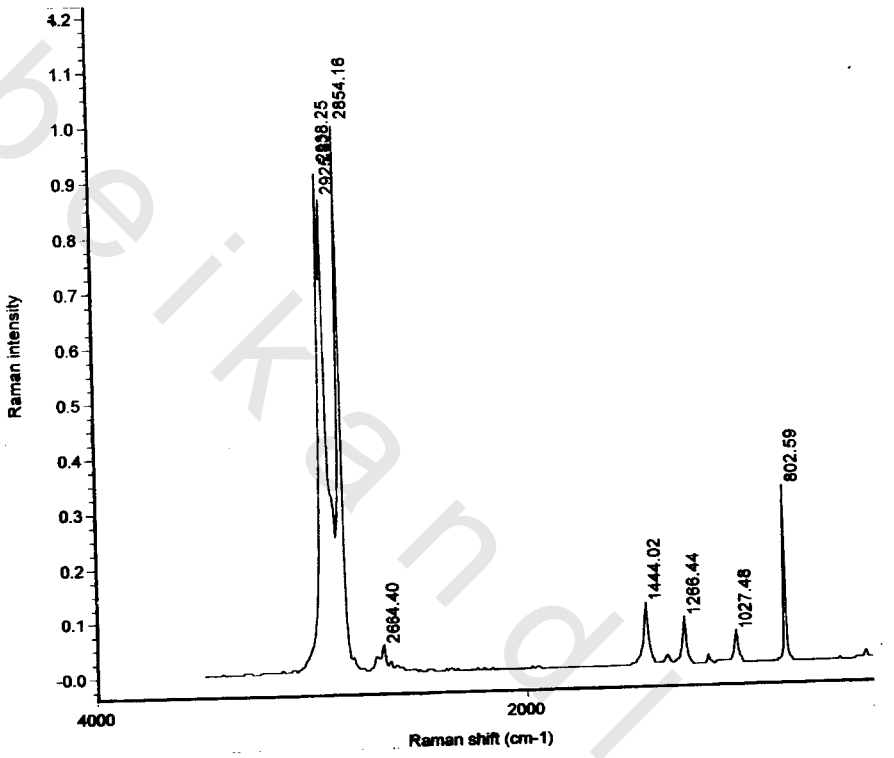
يظـــهر خـــط رامـــان لمجموعـــة $\delta_s(C-C)$، Aliphatic (وعـــدد ذرات الكربـــون n=3...12) فـــى المـــدى $400-250cm^{-1}$ و تكـــون شـــدته قويـــة أو متوسطة، بينما تكون شدة الامتصاص فـــى طيـــف تحـــت الحمـــراء ضعيفـــة أو معدومـــة.

الجداول التالية تحتوى على الـــتـرددات الممـــيزة للمجموعـــات الذريـــة العضوية فى أطياف رامـــان. كمـــا توضـــح الأشـــكال (80-59) أطيـــاف بعـــض المركبات العضوية التي تحتوى على أمثلة مـــن هـــذه المجموعـــات.

الـــهيدروكربونات

جدول(11): الكانات Alkanes.

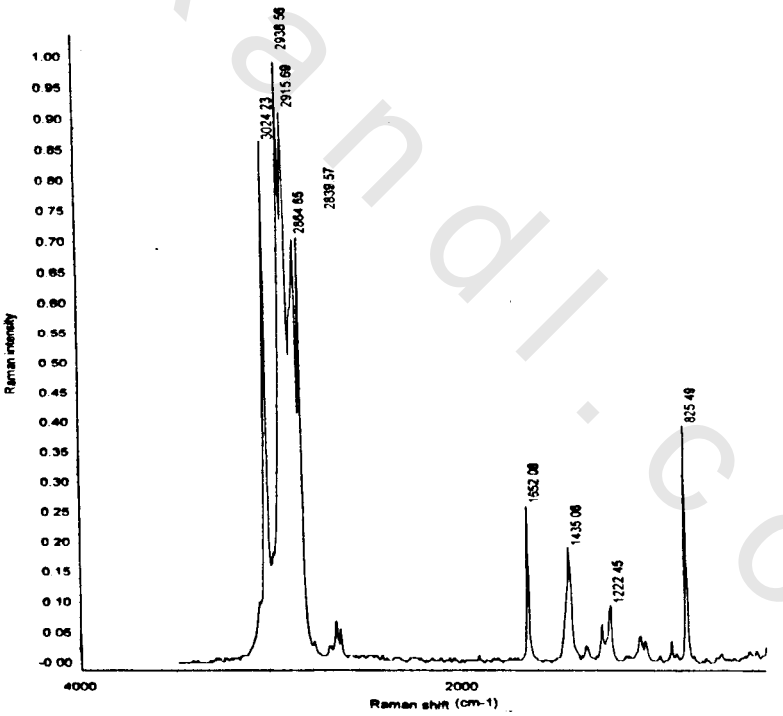
التصنيف	التردد cm^{-1}
تردد المد اللا تماثلي$(\upsilon_{as}(CH_3)$	2970-2960
تردد المد اللا تماثلي$(\upsilon_{as}(CH_2)$	2930-2910
تردد المد التماثلي$(\upsilon_{s}(CH_3)$	2885-2880
تردد المد التماثلي$(\upsilon_{s}(CH_2)$	2860-2850
تردد انحناء $\delta(CH_3,CH_2)$	1475-1446
تردد انحناء $\delta(CH_3)$	1470-1460
تردد انحناء $\delta_s(CH_3)$	1385-1365
تردد انحناء فى المستوى$\delta(CH_2)$	1305-1295
تردد انحناء $\delta(CH_2)$	1310-1175



شكل(59): طيف (FTRaman) للسيكلوهيكسان Cyclohexane.

جدول(12): الكينات Alkenes

التصنيف	التردد cm^{-1}
تردد المد اللا تماثلي $=CH_2$	3095-3070
تردد المد التماثلي $=CH_2$	3026
تردد المد C=C	1675-1600
تردد انحناء فى المستوى $\delta(CH_2)$	1420-1410
تردد انحناء خارج المستوى $\delta(CH)$	1000-960



شكل(60): طيف (FTRaman) للسيكلوهيكسين Cyclohexene.

obeikandl.com

جدول(13): تردد ذبذبة المد C=C فى بعض المركبات المختلفة.

المركب	التردد
Monofluoalkenes	1689-1644
Alkylidend Cyclopentanes	1687-1651
Tetra alkyl etylenes	1680-1665
Methylene Cyclobutane	1679
Trialkyl ethylenes	1678-1664
Trans-Dialkylethylenes	1676-1665
Cis-Dialkyl ethylenes	1660-1654
R_2 C=CH	1658-1644
Cyclohexene Cycloheptene	1636
Allyl Derivatives	1649-1625
H_2C=CH	1648-1638
Cyclopropene	1647
Isoprene	1637
Ethylene	1623
Polyenes	1620-1540
Chloroalkenes	1616-1571
Cyclopentenes	1614
Bromoalkenes	1596-1547
Iodoalkenes	1581-1465
1,3- Cyclohexadiene	1575
Cyclobutene	1566
Cyclopentane	1500

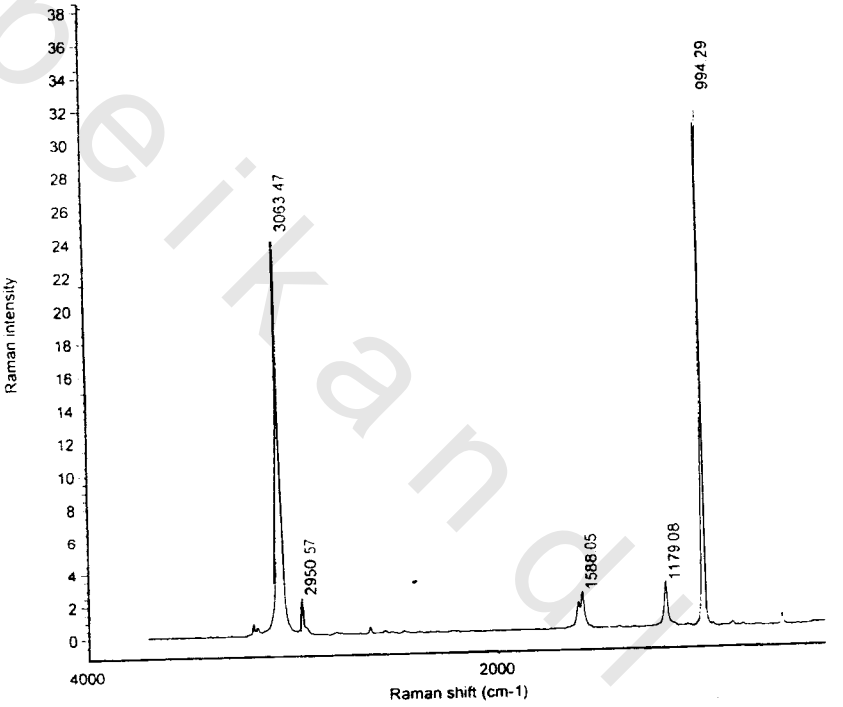
جدول(14):الكاينات Alkynes

التصنيف cm^{-1}	التردد
تردد المد ≡C-H	3300(w)
تردد المد C ≡ C	2250-2100(vs)
تردد المد RCCR	2300-2190(s)
تردد المد RCCH	2140-2100(s)

جدول(15):المركبات العطرية
Aromatic Compounds

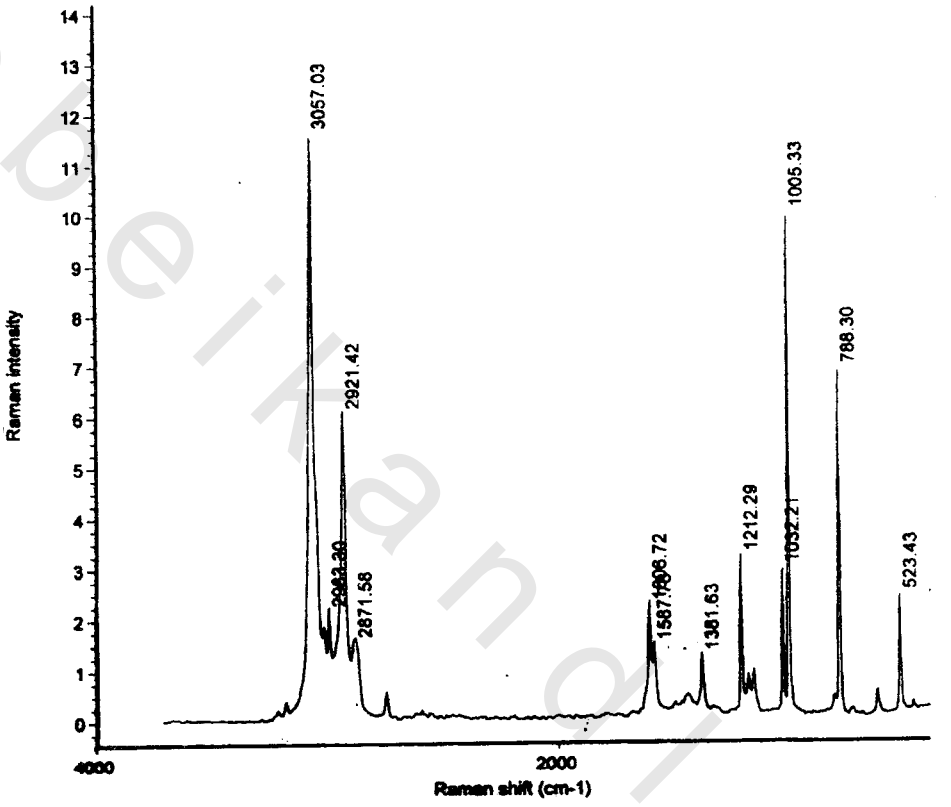
التصنيف	التردد cm^{-1}
التردد υ(C-H)	3100-3000
التردد الحلقي υ(C=C)	1620-1560
التردد الحلقي	1230-1200
التردد C_6H_5-C	1205
التردد الحلقي	1060-1020
التردد الحلقي	1010-990
تردد انحناء فى المستوى δ(CH)	1030-1015

obeikandl.com

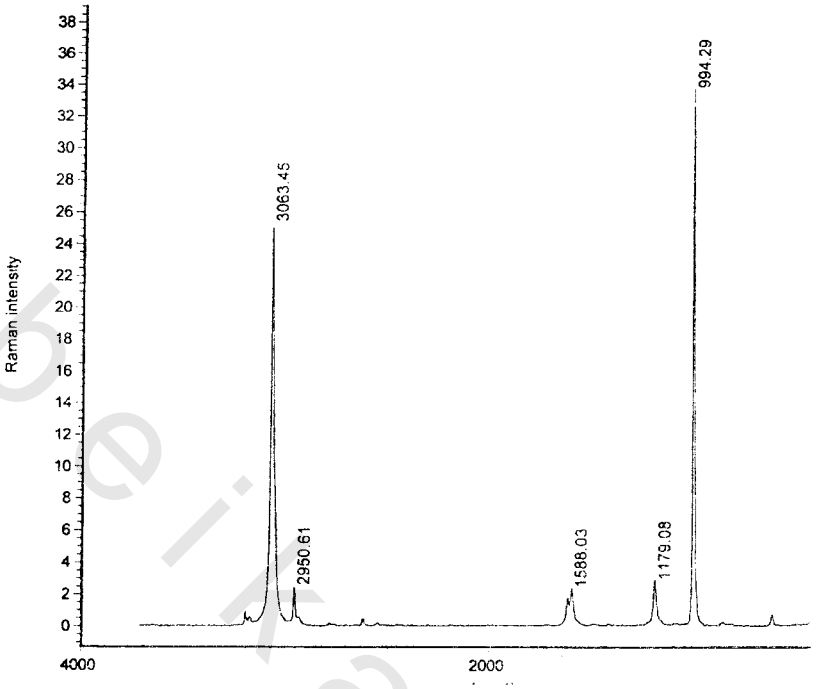


شكل(61): طيف (FTRaman) للبنزين Benzene.

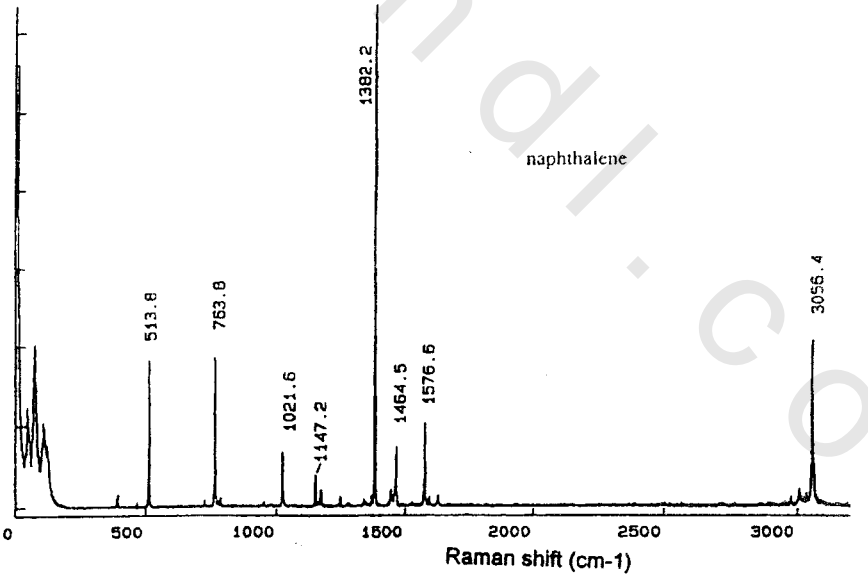
obeikandi.com



شكل(62): طيف (FTRaman) للتولوين Toluene.



شكل(63): طيف (FTRaman) للزيلين xylene.



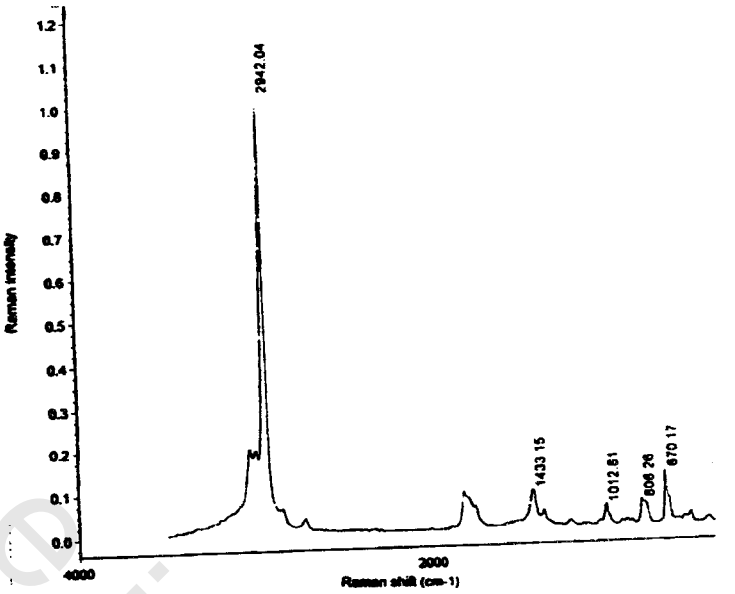
شكل(64): طيف (FTRaman) للنفتالين Naphthalene.

جدول(16): ترددات مركبات الكربونيل Carbonyl Compouds.

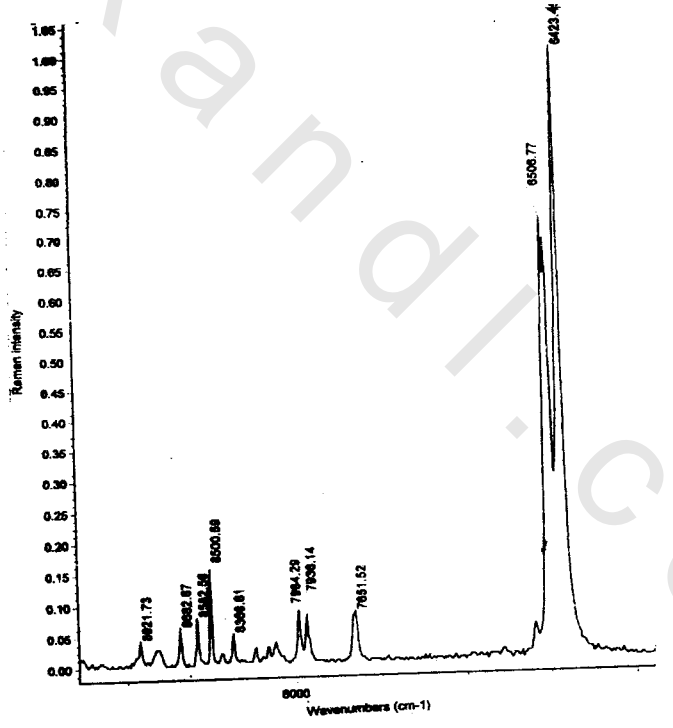
C=O

التصنيف	المركب	التردد cm^{-1}
الكيتونات Ketones	اليفاتى Aliphatic	1725-1700
ألديهايد Aldehyde	اليفاتى	1740-1720
	هالوجينى	1770-1730
الإستر Ester		1735-1715
حمض الكربوكسيل	اليفاتى مشبع	1760
Carboxylic acid حمض الكربوكسيل	اليفاتى غير مشبع	1715-1696
	عطري	1700-1680
الأميد Amide	أولى	1686-1636
	ثانوى	1660-1650
	ثالوثى	1670-1630
أنهيدرايد Anhydride		1850-1800
حمض الهاليد Acid halide		1810-1788

obeikandl.com



شکل(65): طیف (FTRaman) Acetic anhydride.



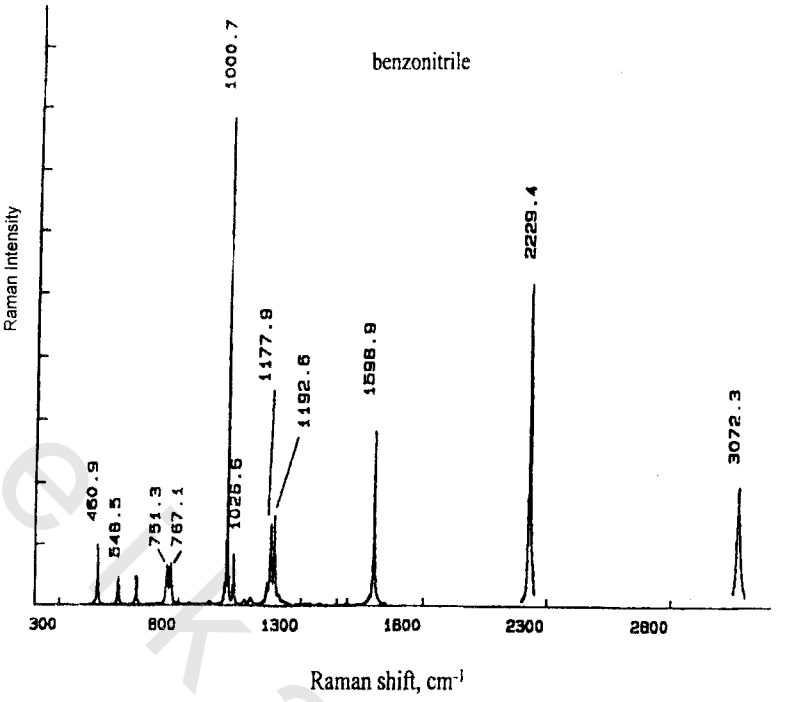
شکل(66): طیف (FTRaman) Cyclopentanone.

جدول(17): المركبات المحتوية على النيتروجين Nitrogen Containing Compounds

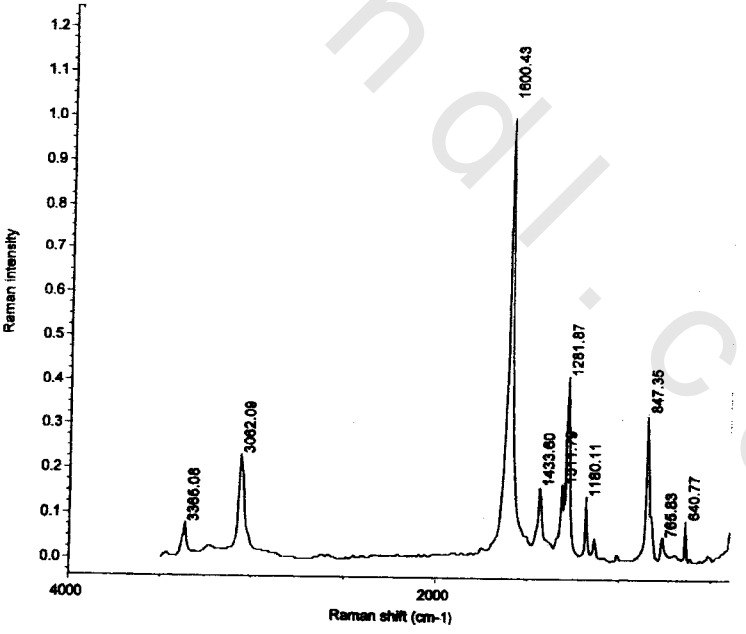
التصنيف	المركب	التردد cm^{-1}
ذبذبة المد اللا تماثلي NH_2 (مترابط)		3400-3320
	Primary Amides	3360-3330
تردد المد التماثلي NH_2(مترابط)	Primary Amines	3300-3250
تردد مد NH(مترابط)	Secondary Amines	3310-3290
تردد مد تماثلي NH_2 (مترابط)	Primary Amides	3190-3140
تردد مد NH (مترابط)	Pyrazoles	3180-3150
تردد مد تماثلي NH_3^+	Alkyl ammonium	2990-2970
تردد مد لا تماثلي N≡C	Isocyanates	2300-2240
تردد مد N≡C	Cyanamide	2260
تردد مد C≡N	AliphaticNitriles	2250-2230
تردد مد لا تماثلي N=C=S(2bands)	Alkyl IsothioCyanates	2220-2100
تردد مد C≡N	Dialkyl Cyanamides	2220-2200
تردد مد C≡N	Aliphatic Isonitriles	2161-2134
تردد مد C≡N	Alkyl Thiocyanates	2156-2140
تردد مد لا تماثلي N=N=N	CH_3N_3	2104
تردد مد C≡N	HCN	2094
تردد مد C=N	Aldimine	1673-1666
تردد مد C=N	Ketoximes	1666-1652
تردد مد C=N	Semicarbazones	1665-1650
تردد مد C=N	Aldazines Ketazines	1663-1636
تردد مد C=N	Aldoximes	1660-1649
تردد مد C=N	Hydrazones	1660-1610

1652-1642	Thiosemicarbazor	تردد مد C=N
1650-1590	Primary Amines	تردد انحناء NH_2
1648-1640	Alkyl Nitrites	تردد مد N=O
1634-1622	Alkyl Nitrates	تردد مد لا تماثلي NO_2
1573	Azometane	تردد مد N=N
1560-1550	Primary Nitroalkanes	تردد مد لا تماثلي NO_2
1555-1550	SecondaryNitroalkanes	تردد مد لا تماثلي NO_2
1548	1-Pyrazoline	تردد مد N=N
1545-1535	Tertiary Nitroalkanes	تردد مد لا تماثلي NO_2
1450-1400	Isocyanate	تردد مد تماثلي N=C=O
1442	Azobenzene	تردد مد N=N
1395-1380	Primary Nitroalkanes	تردد مد تماثلي NO_2
1375-1360	Secondary Nitroalkanes	تردد مد تماثلي NO_2
1355-1345	Tertiary Nitroalkanes	تردد مد تماثلي NO_2
1282-1272	Alkyl Nitrates	تردد مد تماثلي NO_2
1276	CH_3N_3	تردد مد تماثلي N=N=N
111	Hydrazine	تردد مد NN
906	Hydroxylamine	تردد مد ON
900-850	Secondary amines	تردد مد تماثلي CNC
851-840	O-Alkyl Hydroxylamine	تردد مد CON
690-650	Alkyl isothiocyanates	تردد مد تماثلي N=C=S

openkandil.com



شكل(67): طيف (FTRaman) Benzonitrile.



شكل(68): طيف (FTRaman) Aminobenzoic acid

جدول (18): أهم ترددات المد المميزة للمركبات المحتوية على الكبريت

Sulfur Containing Compounds

التصنيف	المركب	التردد cm^{-1}
S-H str	Thiols	2590-2566
υ_s (SO_2)	Alkyl Sulfites	1190-1185
υ_s SO_2 str	Alkyl Sulfonates	1172-1188
υ_s SO_2 str	Dialkyl Sulfones	1145-1125
S=O str	Aliphatic Sulfoxides	1070-1040
C=S str	Ethylene Sulfoxides	1065
C=S str	Alkyl Sulfides	740-585
C=S str	Thioamides,Trithioreas(solid)	735-690
C=S str	Dialkyl Disulfides	715-620
N=C=S str	Alkyl Isothiocyanates	690-650
υ_s CSC str	Pentamethylene Sulfide	659
SS str	Dialkyl Disulfides	525-510
SS str	Dialkyl Trisulfides	510-480

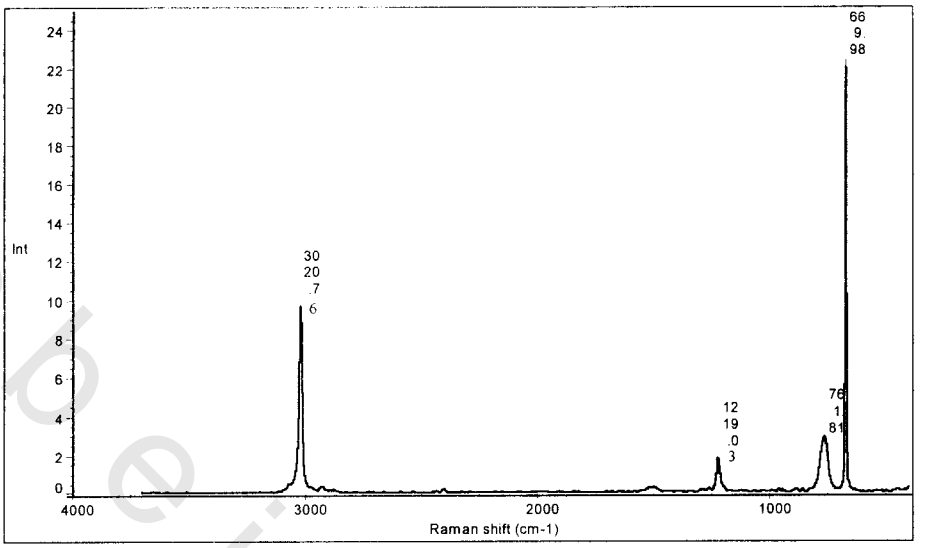
جدول(19): ترددات المد للمركبات المحتوية على الهالوجينات

Compounds Containing Halogen

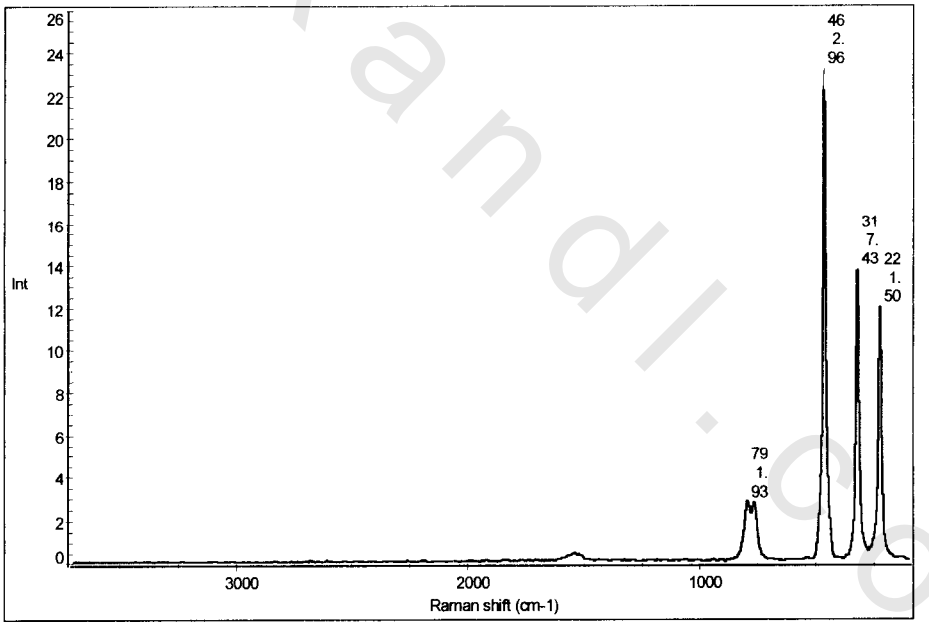
الصنف	المركب	التردد
CCl str.	PrimaryChloroalkanes	730-720
C C l str.	CH_3Cl	709
υ_s C C l $_2$ str.	CH_2Cl	703
υ_s C C l $_3$ str.	$CHCL_3$	668
CCl str.	PrimaryChloroalkanes	660-650
CBr str,	Bromoalkanes	655-640

615-605	SecondariChloroalkanes	CCl str,
610-590	Primary Iodoalkanes	CIs tr,
609	CH_3Br	CBr str
577	CH_2Br_2	υ_s C Br_2 str.
560−570	TertiaryChloroalkanes	CCL str,
565-560	Primary Bromo alkanes	CBr str,
540-535	SecondaryBromoalkanes	CBr str,
539	CH Br_3	υ_s CBr_3 str
523	CH_3I	CI sr
520-510	Tertiary Bromoalkanes	CBr str,
510-500	Primary Iodoalkanes	CI str,
494-485	Secondary Iodoalkanes	CI str,
495-485	Tertiary Iodoalkanes	CI str,
483	CH_2I_2	υ_s CI_2 str
459	CCl_4	υ_s Cl_4 str
437	CHI_3(insolution)	υ_s CI_3 str

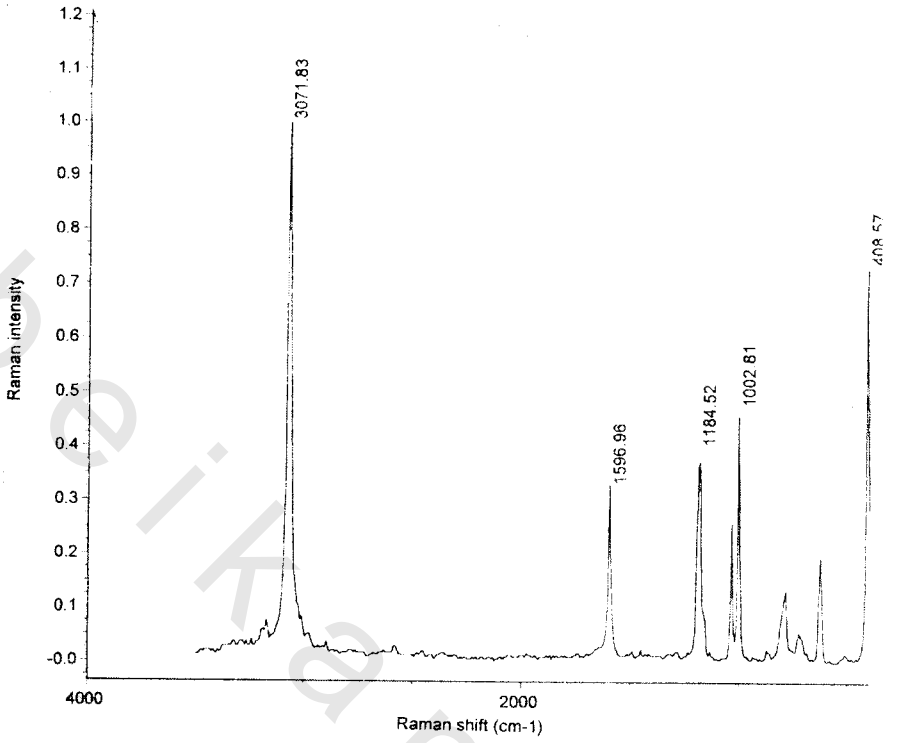
obeikandl.com



شکل(69): طیف (FTRaman) Chloroform.



شکل(70): طیف (FTRaman) Carbontetracloride .



شكل(71): طيف (FTRaman) (Trichloromethyl)benzene.

3:6 مجالات التطبيق

المركبات البيولوجية Biological Compounds

تستخدم أطياف رامان على نطاق واسع الآن فى دراسة الجزيئات البيولوجية والتعرف على تركيبها وحل كثير من المشاكل. وتعتبر البروتينات و الدهون من أهم المركبات البيولوجية. وتعتبر مجموعة CO NH الوحدة البنائية المشتركة فى جميع جزيئات

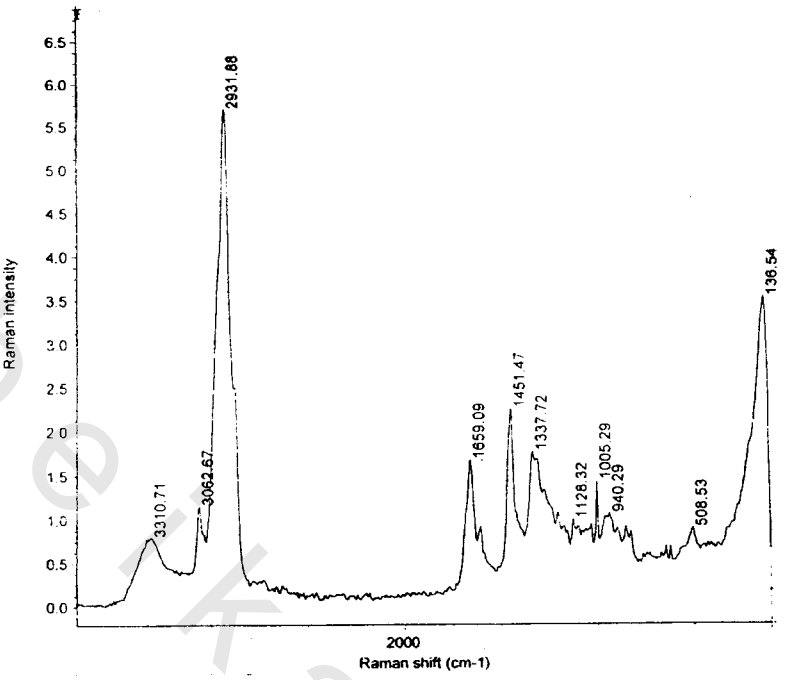
البروتينات. وتظهر فى أطياف رامـــان أشـــرطة حساســـة للـــتركيب، وتوضـــح الجداول (23-20) أهم ترددات البروتينـــات والدهـــون.

جدول(20): أهم ترددات الأميد.

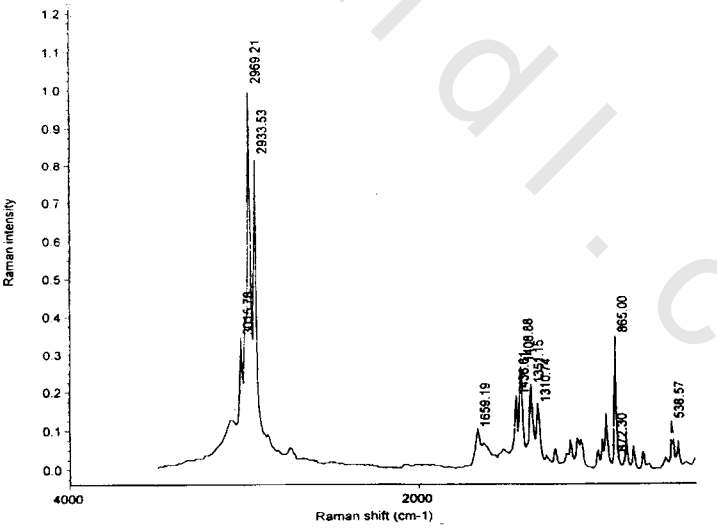
الرمز	التردد	التصنيف
Amide 1	1657	80% تردد C=O، 10% تـــردد C-N، 10% تردد انحناء N-H
Amide 111	1298	40% تردد مد C-N 30% تردد انحناء N-H 20% تردد مد CH_3-C 10% تردد انحناء O=C-N
Amide 1V	628	40% تردد انحناء O=C-N 30% تردد مد CH_3-C
Amide V1	600	تردد انحناء C=O خارج المستوى

جدول(21): يوضح أشرطة رامان للأحماض الأمينية Amino acids residues.

Disulfide (S-S) bond	Histidine (His)	Tyrosine (Tyr)	Tryptophan (Trp)	Phenylalamine (Phe)
540-510	1408	Doublet at 850 and 830	1623,1555, 1436, 1016, 882, 762	1203, 1032, 1004, 624



شکل(72): طیف (FTRaman) Bovine serum albumin.



شکل(73): طیف (FTRaman) L(+)Glutamic acid.

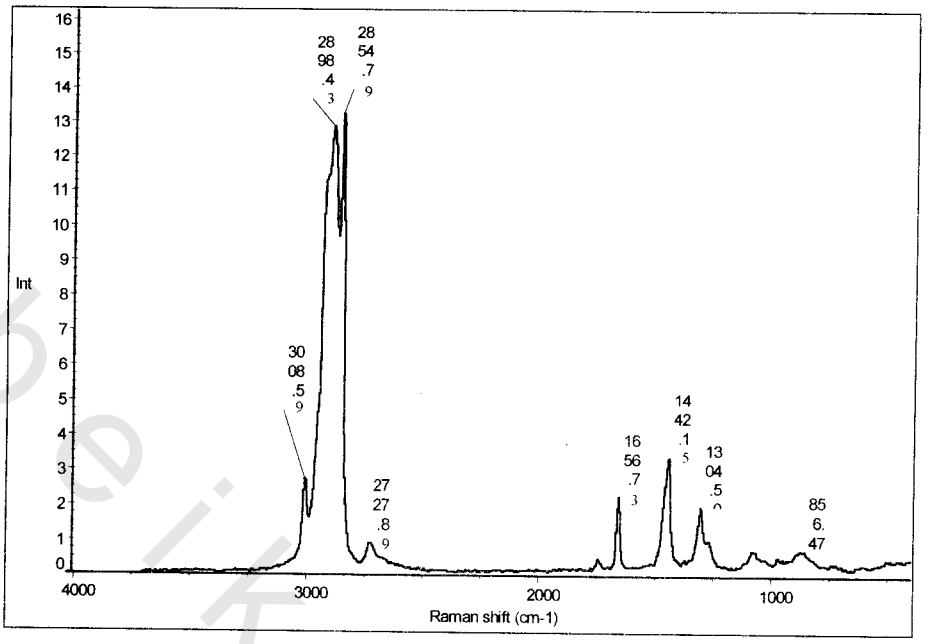
جدول(22): يبين أهم ترددات أشرطة الأحماض النووية Nucleic Acids.

Uracil(U)	Cytosine(C)	Guanine(G)	Adenine(A)
1680,1634, 1400, 1235, 785	1657,1607, 1528,1292, 1240, 782	1582,1487, 1375,1328, 670	1580,1510, 1484,1379, 1310, 1255, 729

جدول (23) يبين أهم ترددات الدهون Fats

التصنيف	التردد cm^{-1}
تردد مد لا تماثلي υ_a(=C-H)	3014
تردد مد لا تماثلي υ_a(-C-H)	2926
تردد مد تماثلي υ_s(-C-H)	2855
تردد مد υ (C=O)	1745
تردد مد υ (C=C)	1661
تردد انحناء δ(CH_2)	1444
تردد انحناء فى المستوى δ(CH_2)	1306
تردد انحناء فى المستوى δ(=C-H)	1272

obeikandl.com



شكل(74): طيف (FTRaman) للزيت النباتيOil.

مطيافية رامان لها تطبيقات عديدة فى مجالات الكيمياء الحيوية والطبية. وتستخدم مطيافية رامان الرنين منذ وقت بعيد فى تشخيص التغيرات التركيبية فى الهيم Hemes والبولينات Polyenes. يمكن مراقبة التغيرات البنائية فى ألوان صبغات Pigments البوليين فى زمن فيمتوثانية Femto Second Time Scale تماما مثل الحالة المستقرة. وتستخدم مطيافية رامان العادية فى دراسة التركيب الثانوي للبروتين Secondary Structure of Protein والأحماض النووية Nucleic Acid. ويمكن باستخدام الألياف البصرية الحصول على أطياف رامان للأغشية Membranes وأيضا لنماذج الأغشية وحيدة الطبقة. وقد ساعد استخدام مطيافية رامان تحت الحمراء فى التشخيص الطبي، وهذه التطبيقات تعتمد على الفروق فى نسبة الدهون إلي البروتين فى الأنسجة الطبيعية

والسرطانية. التغيرات فى المكونات تظهر فى منطقة البصمة Fingerprint ومنطقة ترددات المد C-H. ومطيافية رامان مهمة جدا فى هذه التطبيقات حيث يمكن إجراء القياسات فى الأنسجة الحيةInvivo باستخدام مجس الألياف البصرية، وأيضا يمكن قياس أطياف عينات صغيرة جدا باستخدام مجهرية رامان.

ظاهرة تفلور بعض المواد عند استخدام مطياف رامان العادي تسببت فى عدم إمكانية استخدام هذه المطيافية فى دراسة المواد الغذائية والمحاصيل الزراعية لفترة طويلة حتى ظهر مطياف رامان بتحويل فورير الذي يستخدم الأشعة تحت الحمراء القريبة كمصدر للإثارة واستخدام CCD ككاشف. وبفضل هذا المطياف تم إجراء دراسات عديدة على الدهون مثل: الزيت و الزبد ومن هذه الزيوت زيوت عباد الشمس والقطن والزيتون. وقد أثبتت هذه الدراسات أنه يمكن تقدير رقم اليود Iodine Number لدهون المواد الغذائية باستخدام مطياف رامان بتحويل فورير. وتستخدم الروابط الزوجية فى الأحماض الدهنية غير المشبعة فى الدهون لتحديد عدم التشبع.

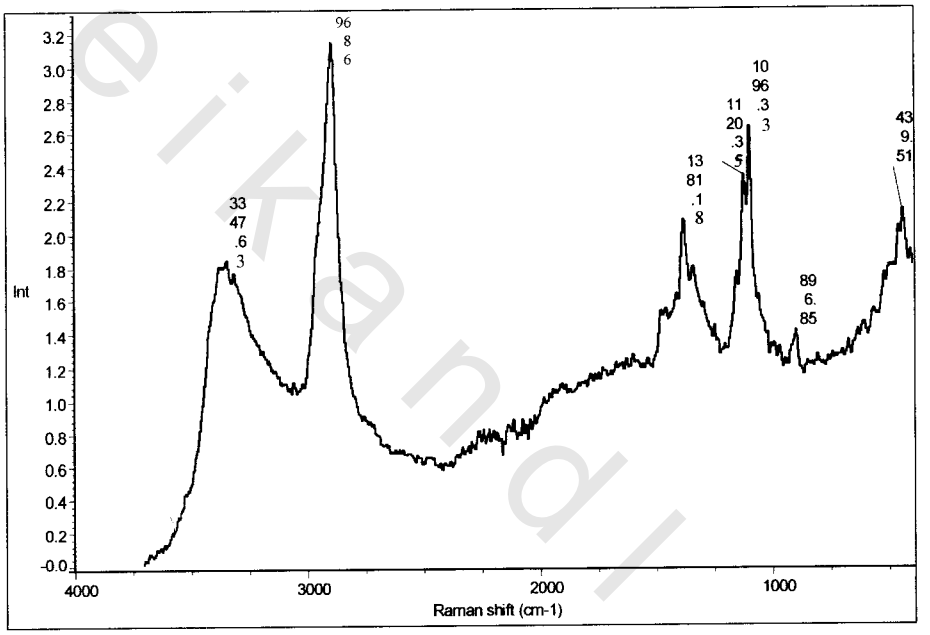
تعتبر مطيافية رامان أداة مهمة وفاعلة فى دراسة العديد من الأنظمة البيولوجية نظرا لوجود عدد كبير من الأنماط التذبذبية النشطة لرامان فضلا عن عدم وجود تداخلات طيفية بسبب وجود الماء. ونأخذ على سبيل المثال استخدام أطياف رامان فى دراسة الجزر Carrotوكل من زلال Albumin، وصفارالبيض Yolk. يتكون زلال البيض من الماء(88%) و البروتين (11%) وكميات صغيرة من الدهون والجلوكوز وأيونات المعادن. وأقوى أشرطة البروتين هو شريط أميد1 (Amide1) والذي يظهر بين $1660-1640cm^{-1}$. وأيضا يتكون الصفار من (47%) ماء، (33%) دهون و(7%) بروتين ويحتوى أيضا Orange Yellow Carotinoids. ويمكن إحداث تقوية رنين لخطوط رامان حتى فى حالة

استخدام الإثارة الحمراء. فيمكن تقوية أشرطة تردد المد C=C في المنطقة $1600-1500cm^{-1}$، وأشرطة تردد المد C-C في المنطقة $1200-1100cm^{-1}$. والكاروتين Carotenoids هي عادة المسئولة عن اللون وأيضا أشرطة رامان القوية في طيف الجزر. وأهم أشرطة البروتين والكاروتين فى البيض تقع فى المنطقة من $800-2000cm^{-1}$. والفرق بين طيف الزلال و الصفار يكمن في وجود شريطين عند , $1161cm^{-1}$ $1526cm^{-1}$ فى طيف الصفار. هذان الخطان الناتجان عن كاروتين البيض لا يوجدان فى طيف الزلال. وشريط أميد 1 للبروتين يظهر فى كل من الزلال و الصفار لكن مع فرق صغير في التردد.

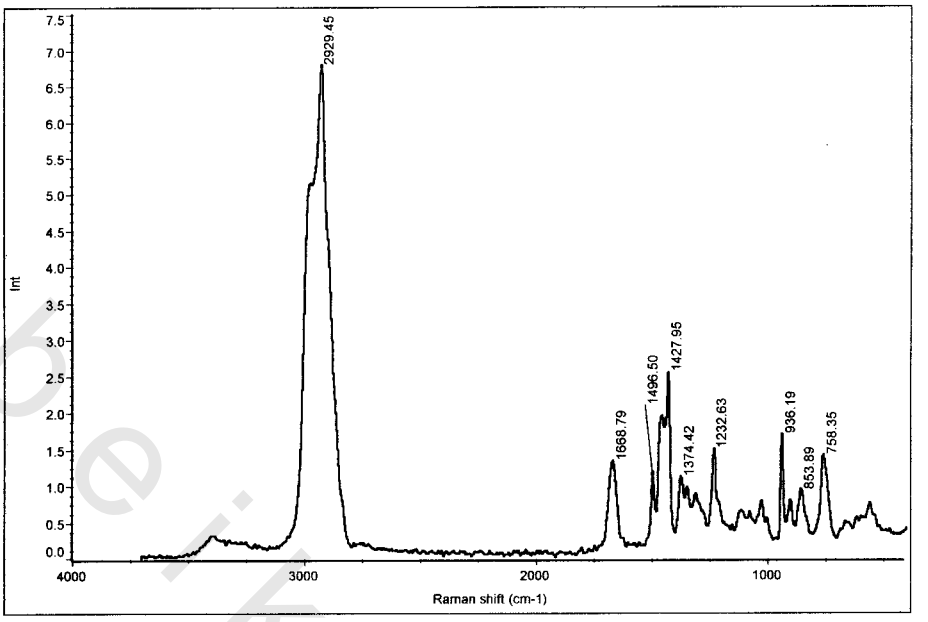
توصيف البلمرات Polymer Characterization

تلعب مطيافية رامان أدوارا متعددة فى توصيف البلمرات وهذه الأداة مفيدة جدا فى قياس عدم التشبع فى البلمرات، ويرجع ذلك لشدة أشرطة ترددات ذبذبة المد C=C، وأيضا يمكن قياس عدم التشبع المتبقي Residual Unsaturation (i.e Degree of Cure) بسهولة. أشرطة المد للألكينات Alkenes أو شريط المونومر Monomer يمكن استخدامه فى قياس Formation Kinetics ونظرا لأن الأطياف التذبذبية حساسة للبيئة المحيطة فإن مطيافية رامان تكون أداة هامة جدا فى تشخيص هيئة الألياف Morphology Diagnostics. ينشأ عن التبلور مثلا تغير فى شكل واتساع وشدة الأشرطة. فمثلا تظهر لمنطقة التبلور فى طيف أفلام البولي إثيلين ترفثاليت Poly (Ethylene Terepthalate) شريط لمجموعة الكربونيل أضيق من ذلك الذي يظهر فى المنطقة الأمورفية Amorphous، ولكن شدة أشرطة الجليكول Glycol تتغير أيضا. وبالمثل يمكن استخدام التغيرات فى أشرطة رامان لإجراء قياسات على الانفعالات

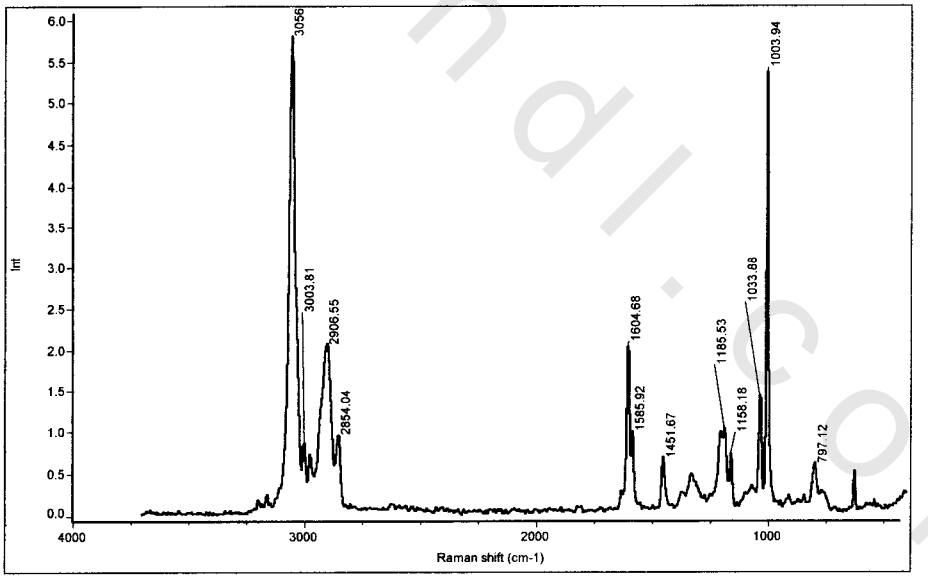
فى الألياف. هذا عـــلاوة علـــى أنـــه يمكـــن دراســـة العديـــد مـــن خصـــائص البلمرات مثل: التوجهيـــة Orientation، وتحليـــل طبقـــات البلمـــر باســـتخدام المجهر متحد البـــؤرة، والتأكســـد والتحلـــل ونواتـــج التفـــاعلات والمعالجـــات المختلفـــة.



شكل(75): طيف (FTRaman) للسليولوز Cellulose.



شکل(76): طیف (FTRaman) Poly(vinyl Pyrrolidone).



شکل(77): طیف (FTRaman) Poly styrene

تستخدم مطيافية رامان على نطاق واسع فى دراسة خصائص وخواص المواد غير العضوية. وتتغير أبعاد الشبيكة البلورية عندما يضاف إليها طعم Dopant وعندما تتعرض المواد إلي إجهاد ميكانيكي أو حرارة. وتسبب هذه التغيرات إزاحة فى بعض الأشرطة (يمكن حدوث إزاحة من $0.1\text{-}10cm^{-1}$)، ويمكن أيضا حدوث تغير فى عرض الأشرطة. ومراقبة وتسجيل هذه التغيرات يساعد على معرفة حالة المادة. وتعتمد مطيافية رامان على الاستقطاب لذلك تستخدم هذه الخاصية فى قياس توجيه البلورة Crystal Orientation ونوجز فيمايلى بعض تطبيقات مطيافية رامان فى هذا المجال.

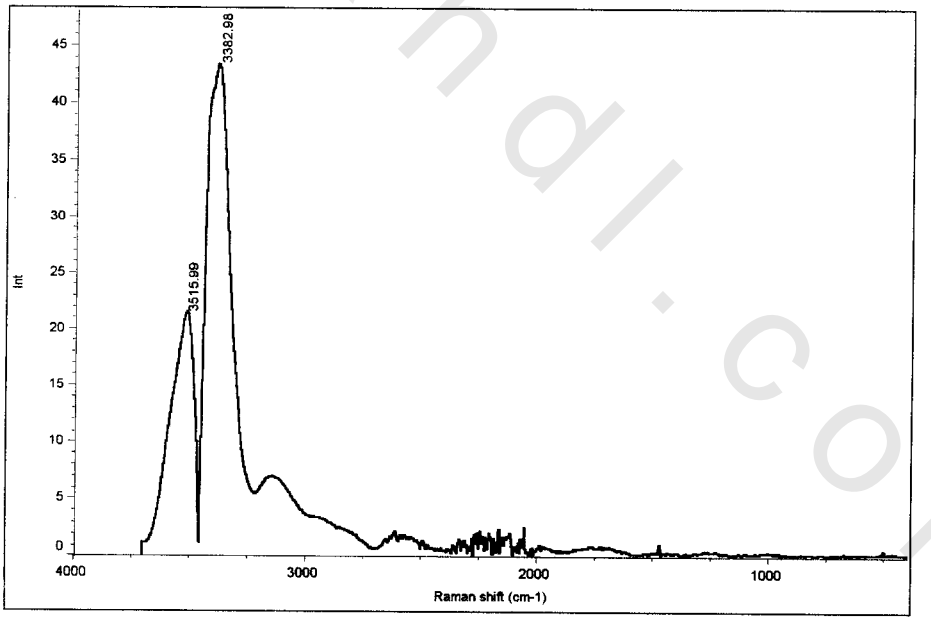
الألماس

تعتبر مطيافية رامان أداة مهمة جدا فى دراسة وتوصيف الألماس و الصور الأخرى للكربون. الألماس عنده ذبذبة شبيكة واحدة ثلاثية الانحلال من الرتبة الأولى A single Triply Degenerated First Order Phenomena وهى من نوع رامان نشطة وليست من نوع تحت الحمراء نشطة. وتظهر كشريط قوى ضيق عند $1332\ cm^{-1}$.

يظهر شريط للجرافيت متعدد التبلور عند $1580cm^{-1}$ ، وفى حالة Pyrolytic Graphite عالي الترتيب يظهر الشريط عند $1576cm^{-1}$ ويكون الشريط ضيقا فى الحالتين. الكربون غير المتبلور SP_2 (الجرافيتى) مثل الكربون الزجاجي Glassy Carbon يظهر زوجا من الأشرطة عند حوالي $1345cm^{-1}$ - $1585cm^{-1}$. ومرة أخرى يتغير موضع الشريط حسب نوع الكربون، ونظرا لأن هذه المواد غير مرتبة فإن الأشرطة تكون أعرض من أشرطة الجرافيت أو الألماس.

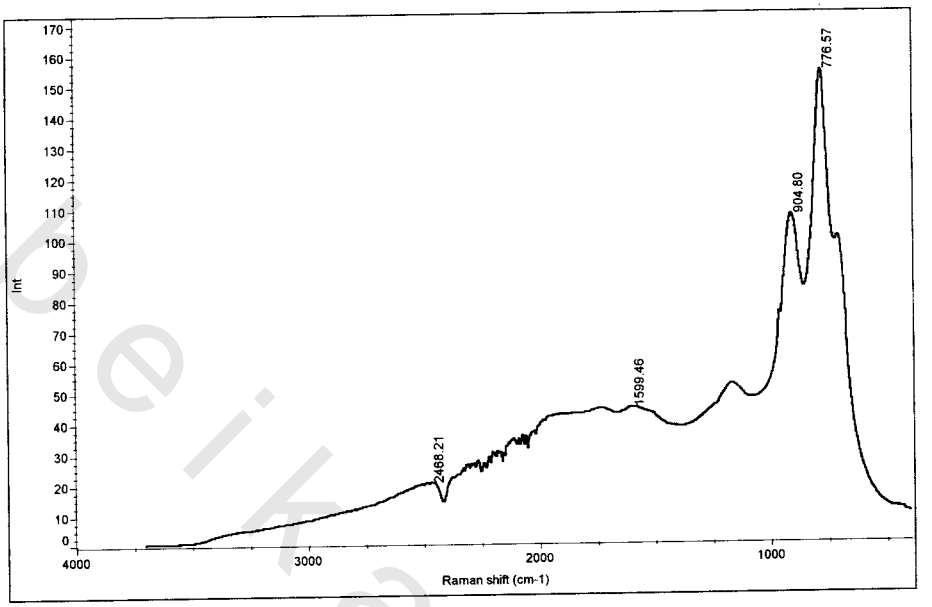
ويظهر فـــى طيـــف رامـــان للألمـــاس الطبيعـــي شـــريط حـــاد عنـــد $1332cm^{-1}$ تقريبا وشـــــريط ضعيـــف عنـــد حوالـــي $2750cm^{-1}$. ويظـــهر فـــى طيف رامان للبلورة النقية من الجرافيت شريط واحـــد حـــاد عنـــد $1580\ cm^{-1}$. ويظهر فى طيـــف الكربـــون البلـــوري كتـــف عريـــض فـــى المنطقـــة مـــن $1600\text{-}1000cm^{-1}$. ويظـــهر للكربـــون 60 (C60) وهـــو صـــورة أخـــرى مـــــن صـــور الكربـــون المتبلـــور أشـــرطة واضحـــة فـــى طيـــف رامـــــان عنـــد الترددات $3383,3516cm^{-1}$ شـــــكل(76).

وشريط ذبذبة الشبيكة للسيليكون عند $522cm^{-1}$ مفيد جدا فى تمييز هـــذه المادة عندما تستخدم المطيافية المجهرية بســـبب صغـــر أبعـــاد أجـــهزة أشـــباه الموصلات. ويكون الشريط ضعيفا فى حالة بلورة الســـيليكون المنفـــردة. وعـــدم تماثل الشريط يدل على السيليكون ذي البللورة الميكرونيـــــة Microcrystalline Silicon. ويمكن تعيين توجيه البلورة من خواص الاستقطاب.

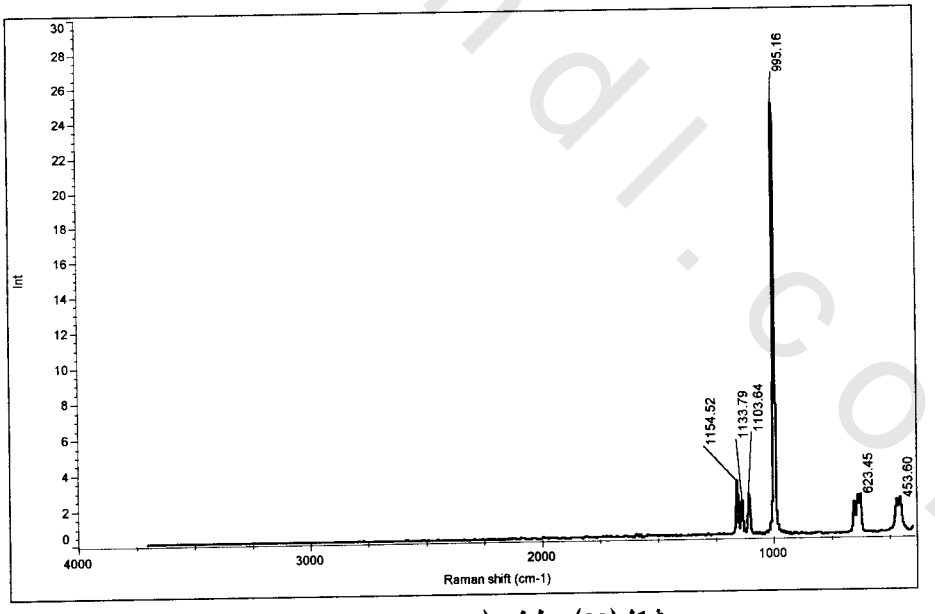


شكل(78): طيف (FTRaman) (C60)

تظهر خطوط واضحة فى أطياف رامان للأيونات PO_4، SO_4 أشكال(76-77)



شكل(79): طيف Hydroxy apatite (FTRaman)



شكل(80): طيف Na SO_4 (FTRaman)

التطبيقات الصناعية

إن دخول تقنيات حديثة فى قياسات أطياف رامان أدى إلي تطور كبير فى التطبيقات الصناعية لأطياف رامان وهذه التقنيات هي:

- أطياف رامان بتحويل فوريير .
- الألياف البصرية .
- الكواشف الحديثة .
- مجهرية رامان .

وفيما يلي بعض الأمثلة على هذه التطبيقات .

التطبيقات البيئية

يوجد العديد من الأمثلة على تحليلات البيئة باستخدام مطيافية رامان. تحليل المياه الأرضية Analysis of Ground Water، يمكن الكشف عن المواد الضارة التي توجد فى المياه بكميات شحيحة مثل: الأيونات المعدنية فى المواقع وفى زمن قياسي. ويتم ذلك باستخدام طرق SERS مع الألياف البصرية. هذه التقنية تراقب العينات وتسجل الأيونات فى المحاليل المائية ونقيس التغير في أطياف رامان باستخدام مواد تعمل على تكوين معقدات مع الأيونات المعدنية (Indicators).

وجود أيونات النترات بكميات شحيحة في الماء تدل على مدى تلوث هذا الماء. لقد تطورت طرق SERS لتحديد أيونات النترات بتركيزات منخفضة فى المحاليل المائية لدرجة حساسية عالية.

صناعات البويات، والأصبـــاغ والبـــترول

Plants, Dyes and Petroleum Industries

يستخدم مطياف Raman فى دراسة العمليـــات المختلفـــة التـــي تتـــم فى صناعة البويـــات مثـــل تفـــاعل مســـتحلب البلمـــرة حيـــث إن نظـــام هـــذا المطياف يراقب العمليـــات.

من المعـــروف أن معظـــم الأصبـــاغ تتفلـــور عنـــد تعرضـــها لأشـــعة الليزر فى المنطقة المرئية، لذلك لم ينجح مطياف رامـــان فـــى دراســـة تحليـــل و توصيف الأصباغ حتى ظهر مطياف رامان بتحويـــل فوريـــر الـــذي يســـتخدم Nd.YAG لمصدر الإثارة ويستخدم كاشـــف In Ga As.

تســـتخدم تقنيـــة مطيافيـــة رامـــان فـــى الدراســـات الكهروكيميائيـــة للسطوح و الأغشية المكونة علـــى الســـطوح ويعطـــى معلومـــات قيمـــة عـــن السطوح البينية للصلب والمحلـــول Solid-Solution فـــى الموضـــع.

حاول علماء البـــترول منـــذ اكتشـــاف تـــأثير رامـــان اســـتخدام هـــذه التقنية فى دراسة مكونات منتجات البترول. وقـــد تـــأخرت المحـــاولات بعـــض الوقت بسبب صعوبات التفلور حتـــى ظـــهر مطيـــاف رامـــان بتحويـــل فوريـــر FT-Raman تجـــددت المحـــاولات وبـــدأت دراســـة مخـــاليط الجـــازولين باستخدام مطيـــاف FT-Raman.

المراجع

1. Banwell C. N., Fundamentals of Molecular Spectroscopy, 3rd Edition(1960).
2. Brown C.W., Donahue S.M. and LO S.C., Advances in Near-Infrared Measurements, Gabor Patonay,London, Vol.1(1993).
3. Bist H. D., James R. Durig and Sullivan J.F., Raman Spectorscopy Sixty Years On., Elsevier, New York(1989).
4. Daimay Lin-vein, Norman B.,William G. and Jeanette G., The Hand book of Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules., Academic Press Limeted, London(1991).
5. Gardiner D.J. and Graves R., Practical Raman Spectroscopy, Springer-Verlag, Germany(1989).
6. Joh R.F& Kazuo N., Introductory Raman Spectroscopy, Academic Press, Inc, New York(1994).
7. Long D.A., Raman Spectroscopy, McGraw-Hill, New York(1977).
8. Patrick H., Catherine J. and Gavin W., Conventional Laser-Raman Spectroscopy, Ellis Horwood Limited,England(1991).
9. Richard L.Mc., Raman Spectroscopy for Chemical Analysis, J.D.Winefordner, New York,Vol.157(2000).
10. Siesler H.W. and Holland-Moritz K., Infrared and Raman Spectroscopy of Polymers, Marcel Dekker, Inc., New York,Vol.4(1980).
11. أساسيات وتطبيقات أطياف الأشعة تحت الحمراء

تأليف أ.د.محمد عبد القادر محرم. الناشر دار النشر للجامعات(1999)

obeikandl.com

obeikandl.com

الثوابت الأساسية		
Constants		
$C= 3x\ 10^{8}$ m/s	سرعة الضوء	Velocity of light
$Mu = 1.256x10^{-6}\ Hm^{-1}$	نفاذية الفراغ	Permeability of space
$E= 8.85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1}$	سماحية الفراغ	Permitivity of space
$G = 6.67x10^{-11}$ Nm^2/Kg	ثابت الجاذبية	Gravitational constant
$K = 1.38x10^{-23}\ J/K$	ثابت بولتزمان	Boltzman constant
$-e = -1.602x10^{-19}\ C$	شحنة الإلكترون	Electron charge
$m_e = 9.11x10^{-31}\ Kg$	كتلة الإلكترون	Electron mass
$m_p = 1.675x10^{-27} Kg$	كتلة البروتون	Proton mass
$R_H = 1.1x10^{7}/m$	ثابت رايدبرج	Rydberg constant
$h = 6.626x10^{-34}\ Js$	ثابت بلانك	Planks constant
$N=6.02x10^{23}\ mol^{-1}$	عدد أفوجادرو	Avogadro's number
$R=8.314JK^{-1}mol^{-1}$	ثابت الغاز للجرام الجزيء	Gas constant
$a.m.u.=1.66x10^{-27}KJ$	وحدة الكتلة الذرية	Atomic mass unit

كسور ومضاعفات الوحدات		
الكسر	المعامل	الرمز
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	C
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	u
10^{-9}	nano	n

obeikandl.com

10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

المعاملات	البادئة	الرمز
10	deka	da
10^{2}	hecto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tetra	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

obeikandl.com

Dictionary

-A-

Absolute	مطلق
Absorb	يمتص
Absorbance	امتصاصية
Absorption	امتصاص
Absorption band	شريط الامتصاص
Absorption spectrum	طيف الامتصاص
Absorptivity	معامل الامتصاص
Acid	حامض
Adsorption	امتزاز
Albumin	زلال البيض
Alifatic	أليفاتية
Alkane	الكينات
Alkene	الكانات
Alkyl	أكايل
Alternating	متناوب
Alternator	مناوبة
Amorphous	غير متبلور
Amplifier	المضخم
Amplitude	السعة
Amplitude of vibration	سعة الذبذبة
Analyser	محلل
Analysis	تحليل
Anharmonic oscillator	متذبذب لا توافقي
Anharmonicity	اللاتوافق
Apparent	ظاهري

obeikandl.com

Aromatic	**عطري**
Asymmetry	**لاتماثلى**
Atom	**ذرة**
Atomic number	**العدد الذرى**
Attenuated total reflection	**الانعكاس الكلى الموهن**
Attenuation	**توهين**
Attenuator	**موهن**
automatic controller	**منظم أوتوماتيكي**
Avogadro's number	**عدد أفوجادرو**
-B -	
Band	**شريط**
Band spectrum	**الطيف الشريطي**
Barrier	**حاجز**
Base	**قاعدة**
Bending	**انحناء**
Beam of light	**حزمة ضوئية**
Bond	**رابطة**
Broad	**عريض**
Bound electron	**إلكترون مقيد**
-C-	
Carrot	**الجزر**
Cation	**أيونات موجبة**
Cell	**خلية**
Chain	**سلسلة**
Characteristics	**خصائص**
Charge	**شحنة**
Charge carrier	**حاملة الشحنات**
Coefficient	**معامل**

obeikandl.com

Coherent	مترابط
Cohesion	تماسك
Cladding	قشرة
Collimator	مجمع
Comparison spectrum	طيف المقارنة
Compressible	قابل للانضغاط
Concept	مفهوم
Conduction	توصيل
Confocal	متحد البؤرة
Covalent bond	رابطة تساهمية
Core	قلب (لب)
Crystalline material	مادة متبلورة
-D-	
Data	بيانات
Decay	انحلال
Deconvolution	فك المطويات
Definition	تعريف
Deformation	التواء
Delectric constant	ثابت العزل
Density	كثافة
Depolarization	منع الاستقطاب
Derivative	مشتق
Destruction	هدام
Detection	كشف
Detector	كاشف
Deviation	انحراف
Dielectric	عازل
Diffraction	حيود

obeikandl.com

Diffuse	انتشار
Dilution	تخفيف
Dimension	أبعاد
Dipole	ثنائي القطب
Dipole moment	عزم ذى القطبين
Disc	قرص
Discharge Tube	أنابيب تفريغ
Displacement	إزاحة
Dissociation	تفكك
Dissolve	يذيب
Distortion	تشويه
Distribution	توزيع
Donor	مانح
Doublet	ثنائية

-E-

Electro magnetic spectrum	طيف كهرومغناطيس
Electromagnetic waves	موجات كهرومغناطيسية
Electron	إلكترون
Electron shell	قشرة إلكترونية
Electron spin	لف الإلكترون
Electron transition	انتقال إلكتروني
Electronic band spectra	أطياف الشرائط الإلكترونية
Electrostatic induction	تأثير كهروستاتيكى
Elongation	استطالة
Ellipsoid	إهليجى (بيضاوى)
Exclusion	الإستثناء
Emission	انبعاث
Emulsion	مستحلب

obeikandl.com

Energy	طاقة
Energy levels	مستويات الطاقة
Enhance	يقوى
Enhancement	تقوية
Enlarged	مكبر
Evaporation	تبخير
Excited	مستثار
Experiment	تجربة
-F-	
Factor	عامل
Falling	ساقط
Field of plane mirror	مجال مرآة مستوية
Film	غشاء
Filter	مرشح
Fine	دقيق
Fixed axis of rotation	محور ثابت للدوران
Force	قوة
Force constant	ثابت القوة
Free vibration	ذبذبات حرة
Frequency	تردد
Fundamental	أساسي
-G-	
Gas	غاز
Grain	حبة
Grating	محزوز
-H-	
Half	نصف
Half band with	قيمة نصف عرض الشريط

obeikandl.com

Heavy hydrogen	هيدروجين ثقيل
Homogeneous	متجانس
Humidity	رطوبة
Hyper fine spectrum	طيف فائق الدقة
-I -	
Impurity	شائبة
Incidence	سقوط
Incident light	ضوء ساقط
Index of refraction	معامل الانكسار
Indicator	دليل
Inert gas	غاز خامل
Infra-red	تحت الحمراء
Intensity	شدة
Interaction	تفاعل
Interference	تداخل
Invisible	غيرمرئى
- J -	
Junction	وصلة
Joule	جول
- K -	
Kilocalorie	كيلو سعر
Kysler	مقلوب السنتيمتر
Kilogram	كيلوجرام
- L -	
Lambert	وحدة اللمعان
Lamp	مصباح
Lattice	شبيكة
Length	طول

obeikandl.com

Linkage	ارتباط
Line spectrum	طيف خطى
Level	مستوى
Laser beam	شعاع ليزري
- M -	
Machine	آلة
Magnification	تكبير – تضخيم
Magnitude	مقدار
Mass	كتلة
Matter	مادة
Mechanism	ميكانيكية
Medium	وسط
Membrane	غشاء
Method	طريقة
Microscope	مجهر
Microscopic	مجهرى
Microwave	موجات دقيقة
Migration of ions	هجرة الأيونات
Millimicron	مللي مي كرون
Minerology	علم المعادن
Mirror	مرآة
Miscibility	امتزاجية
Mixture	مخلوط
Mobility	تحركيه
Moderator	ملطف
Modification	تعديل
Modulus	معامل
Molecule	جزىء

obeikandl.com

Monochromatic	وحيد اللون
Monovalent	أحادى التكافؤ
Motion	حركة
Metallic bond	رابطة فلزية
Magnification	تكبير
Monochromatic light	ضوء أحادى اللون
Mutual	يتبادل
- N -	
Nuclear energy	طاقة نووية
Nuclear reaction	تفاعل نووى
Near	قريب
Negative	سالب
Neutral	متعادل
Neutral molecule	جزيء متعادل
Non-polar	لاقطبى
Normal spectrum	طيف عادى
Nuclear	نووي
Nuclear energy	طاقة نووية
Nuclei	نوى
Nucleus	نواة
- O -	
Object	شيء
Ohm	أوم
Opacity	عتامة
Opaque	معتم
Open circuit	دائرة مفتوحة
Orbit	مدار
Orbital	مدارى

obeikandl.com

Orbital electron	إلكترون مدارى
Original	أصلى
Oscillation	ذبذبة
Oscilator	متذبذب
Out of plane	خارج المستوى
Output	ناتج
Overlapping	تراكب
Overtones	توافقيات
Optical path	مسار الضوء
Order	ترتيب
- P -	
Pole	قطب
Potential	جهد
Pressure	ضغط
Pulse	نبضة
Phase	طور
Phase change	تحول طوري
Partial	جزئي
Plane of vibration	مستوى الاهتزاز
Parallel ray	شعاع متوازي
Perfect	مثالي
Particle	جسيم
Period	دورة
Permeability	نفاذية
Phenomenon	ظاهرة
Piston	مكبس
Plane mirror	مرآة مستوية
Plank constant	ثابت بلانك

obeikandl.com

Plutonium	**بلوتونيوم**
Point source	**مصدر نقطى**
Polar	**قطبى**
Polar molecule	**جزيء قطبى**
Polarization	**استقطاب**
Polarizability	**استقطابية**
Polar solvent	**مذيب قطبى**
Pole strength	**قوة القطب**
Polished	**مصقول**
Population	**تعداد**
Positive pole	**قطب موجب**
Potential diagram	**حاجز الجهد**
Primary	**أولى**
Prism	**منشور**
Probable error	**خطأ محتمل**
Probe	**مجس**
Propagation of light	**انتشار الضوء**
Puls	**نبضة**
Pump	**مضخة**
Pure spectrum	**طيف نقى**
- Q -	
Qualitative	**وصفى**
Quantitative	**كمي**
Quantization	**تكمية**
Quantized	**مكماة**
Quantum number	**أعداد كمية**
Quanta	**كمات**

obeikandl.com

- R -

Reduced mass	الكتلة المختزلة
Recorder	مسجل
Refractive index	معامل انكسار
Region	منطقة
Resonance	رنين
Resolution	تحليل
Restoring force	القوة المرجعة
Rigid	متماسك
Rocking vibration	ذبذبة التمايل
Rotator	دوار
Rotation	دوران
Radiation	إشعاع
Random	عشوائي
Rare earth element	عناصر الأرض
Restoring force	القوة المرجعة
Resolving force	قوة التحليل
Resolution	تحليل

- S -

Stimulate	يحفز
Spontaneous	تلقائى
Sensor	محس

-T-

Tensor	ممتد (كمية متجدهه)

-V-

Virtual	افتراضي

-Y-

Yolk	صفار البيض

obeikandl.com