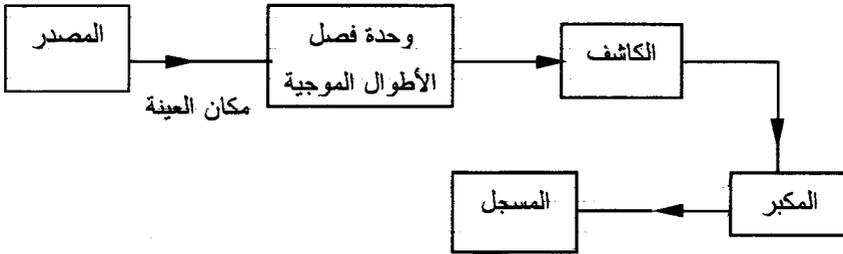


## الباب الثاني

### الأجهزة وتحضير العينات Instruments and Sampling

#### 1:2 مطياف الأشعة تحت الحمراء Infrared Spectrophotometer

طيف امتصاص المادة عبارة عن رسم يبين كيفية تغير امتصاص المادة للأشعة تحت الحمراء مع طول الموجة أو العدد الموجي. يسمى الجهاز المستخدم للحصول على هذا الطيف المطياف، يتكون المطياف من الوحدات الأساسية التالية (شكل 22):



شكل (22): الوحدات الأساسية للمطياف المزدوج الحزمة الضوئية.

#### 1- مصدر الإشعاع Source

يصدر إشعاعاً مستمراً من الأشعة تحت الحمراء، لا تتغير شدته مع تغير طول الموجة في منطقة الأشعة تحت الحمراء، إلا بمقدار ضئيل.

#### 2- وحدة تحليل الضوء Monochromator

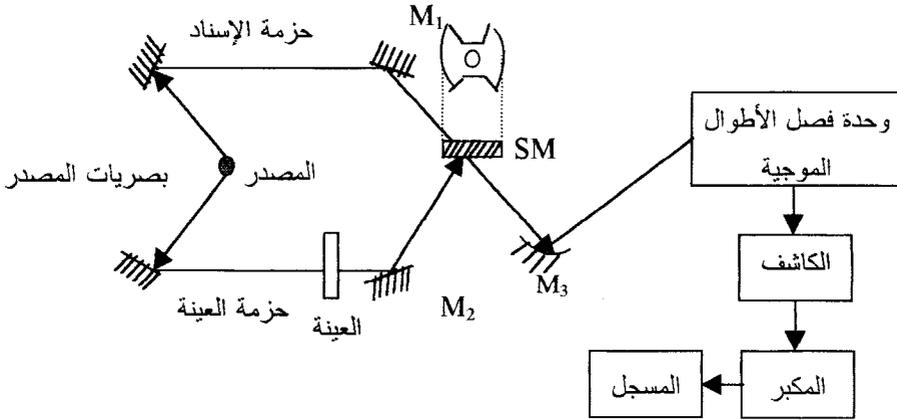
تعمل على فصل الأطوال الموجية للأشعة الساقطة عليها وتنتقى طولاً موجياً معيناً [في الواقع شريط ضيق من الأطوال الموجية] وتممره إلى الكاشف.

يستقبل الطاقة الإشعاعية القادمة إليه من وحدة تحليل الضوء ويحولها إلى نبضات كهربائية بحساسية التأثير الحراري للأشعة تحت الحمراء.

### Operation Of Spectrophotometer

### طريقة عمل المطياف

تتجزأ الأشعة المنبعثة من المصدر إلى حزمتين ضوئيتين متماثلتين تماما (شكل 23)، بواسطة مرأتين مستويتين، تمر إحدى الحزمتين وتسمى حزمة العينة إلى خلية العينة وتمر الأخرى وتسمى حزمة الإسناد إلى خلية الإسناد، ثم تنعكس الحزمتان النافذتان من الخليتين بواسطة مرأتين  $M_1, M_2$  إلى مرآة مقطعية دوارة (Rotating Sector Mirror) تدور بواسطة محرك بسرعة معينة بحيث تعكس كل حزمة بالتناوب عشرين مرة في الثانية إلى المرآة  $M_3$  التي تعكس هذه الحزم إلى وحدة تحليل الضوء [عدد الدوران في الثانية يختلف من جهاز إلى جهاز فمثلا يكون في بعض الأجهزة عشرين وفي البعض الآخر يكون عشرة].



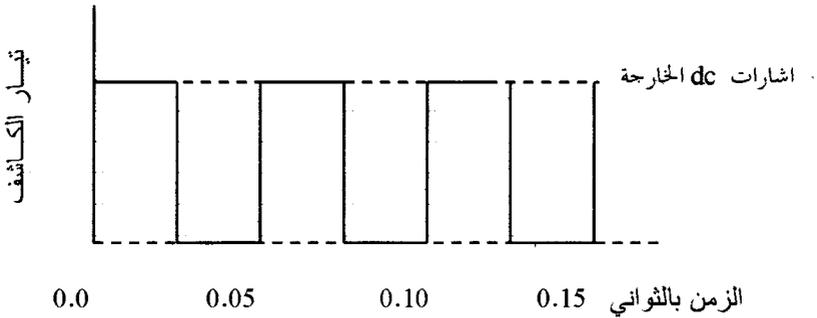
شكل (23): رسم تخطيطي للمسار الضوئي والوحدات الأساسية

للمطياف المزدوج الحزمة الضوئية.

تعمل وحدة تحليل الضوء سواء كانت منشوراً أو محزوز حيود على فصل الأطوال الموجية وانتقاء طولاً موجياً معيناً أو شريطاً ضيقاً من الأطوال الموجية ثم تمرره إلى الكاشف. يحول الكاشف الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه باستشعاره الحراري للأشعة تحت

الحمراء إلى نبضات كهربائية تصل بعد ذلك إلى المكبر الذي يعمل على تكبيرها ومنه إلى وحدة التسجيل. عندما تكون شدة الضوء النافذ من كل من الخليتين متساوية، تكون شدة الضوء الساقط على الكاشف من كل منهما متساوية أيضاً، وبالرغم من أن كل من الحزمتين تمر بالتناوب من المرآة المقطعية إلا أن الإشارات الصادرة من الكاشف عن كل منهما تكون ثابتة أى تكون عبارة عن إشارات تيار مستمر d . c. signals (شكل 24). وفى هذه الحالة لا يستقبل الكاشف تلك الإشارات ولا يكبرها حيث إنه حسب تصميمه لا يستجيب إلا لإشارات التيار المتردد فقط.

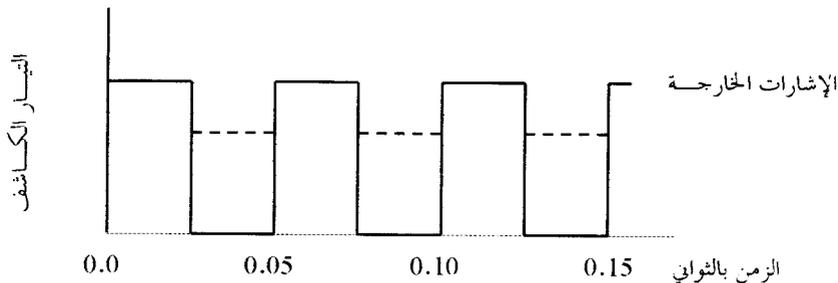
عندما تمتص العينة طولاً موجياً معيناً في هذه الحالة تكون الإشارات الناتجة عن الحزمة الضوئية للعينة أضعف من تلك الناتجة عن الحزمة الضوئية للإسناد، يصدر عن الكاشف في هذه الحالة إشارات تيار متردد a c. Signals تردده 20 Hz حيث أن المرآة الدوارة تقطع الضوء 20 مرة في الثانية كما هو واضح في شكل (25) ويستقبل المكبر بعدئذ هذه الإشارات بتردد 20 Hz ويستجيب لها ويكبرها. الإشارات الصادرة من المكبر تعمل على دفع إسفين ضوئي Optical Wedge إلى الحزمة الضوئية للإسناد لكي تتساوي الحزمتان في الشدة مرة أخرى. يتصل الإسفين الضوئي مباشرة بسن المسجل ويتحركان بمقدار تحدده شدة الامتصاص عند كل طول موجي.



\_\_\_\_\_ سقوط حزمة الإسناد على الكاشف.

----- سقوط حزمة العينة على الكاشف.

شكل (24): إشارات الكاشف في عدم وجود العينة.



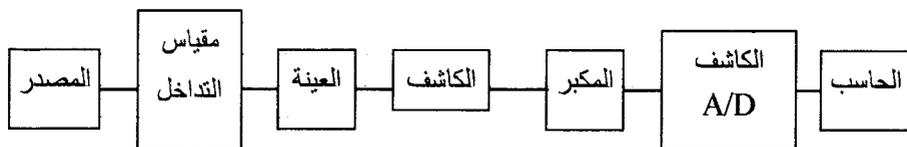
\_\_\_\_\_ سقوط حزمة الإسناد على الكاشف.  
 - - - - - سقوط حزمة العينة على الكاشف.

شكل (25): إشارات الكاشف في وجود العينة.

## 2:2 مطياف تحويل فوريير Fourier Transform Spectrophotometer

تفضل المعامل الآن استخدام مطياف الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريير FTIR. وكل يوم يزداد الإقبال عليه، وهذه الطريقة الحديثة تستخدم الفكرة القديمة لتداخل شعاعين من الضوء لتكوين نموذج تداخل، وهذا النموذج يعتمد على الفرق في طول مسار الشعاعين، وتسمى المعالجات الرياضية التي تحلل الموجة المركبة إلى مركباتها من الترددات تحويل فوريير. وجاءت هذه التسمية بعد أن طور عالم الرياضيات الفرنسي Jean Bapt, ste Fourier هذه الطريقة سنة 1800م. وبدون تفاصيل يكفي أن نذكر أنها عملية تكامل على شكل الموجة المركبة و يتم تنفيذ هذه العملية بواسطة الحاسب.

مقياس التداخل لميكلسون، الذي يمثل الوحدة الأساسية في المطياف، معروف منذ قرن مضى إلا أنه لم يستخدم في هذا المجال إلا بعد التقدم الهائل في تكنولوجيا الحاسبات. وشكل 26 يبين الوحدات الأساسية لجهاز FTIR .



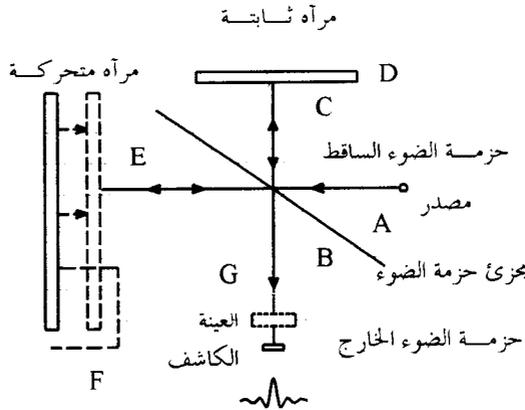
شكل (26): الوحدات الأساسية لجهاز FTIR.

تمر الأشعة من المصدر إلى العينة من خلال مقياس التداخل قبل وصولها إلى الكاشف، وعند تكبير الإشارات بالمكبر الذي يستبعد الترددات العالية تتحول البيانات إلى أرقام بواسطة Analog - to - Digital Converter ثم تنتقل إلى الحاسب حيث يتم تحويل فوريير.

## Michelson Interferometer

## مقياس ميكلسون للتداخل

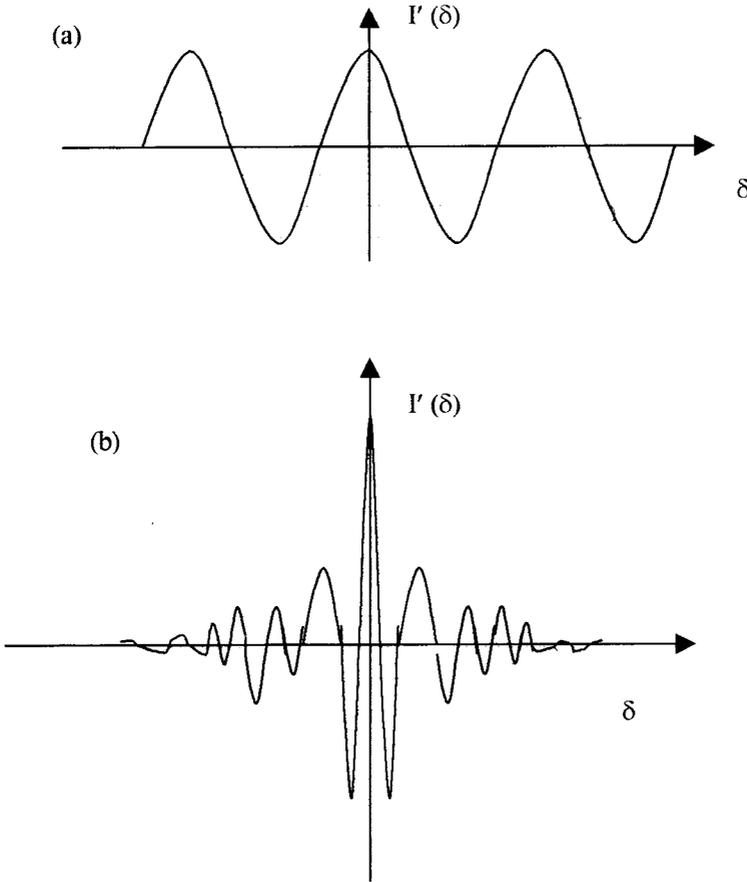
يتكون مقياس ميكلسون للتداخل، كما في شكل (27)، من مرآتين مستويتين موضوعتين على محورين متعامدين إحداهما تتحرك بسرعة ثابتة والأخرى ثابتة، بالإضافة إلى مجزئ للشعاع عبارة عن لوح نصف مفضل يميل بزاوية  $45^\circ$  على مستوى المرآتين. يسقط ضوء ذو طول موجي واحد من المصدر (A) على المجزئ (B) المصمم على أساس تجزيء الشعاع (A) إلى جزأين، جزء ينعكس [الشعاع C] إلى المرآة (D) التي تعكسه إلى الخلف مرة أخرى إلى (B)، الجزء الثاني [الشعاع E] ينفذ إلى المرآة المتحركة F التي تعكسه خلفاً إلى (B). ينفذ و يعكس المجزئ الشعاعين السابقين على التوالي مرة ثانية ليتحدوا في الشعاع (G) في اتجاه عمودي على انتشار الشعاع (A) ليصل إلى الكاشف.



شكل (27): مقياس التداخل لميكلسون.

إذا كان الفرق في مسار الشعاع من B إلى المرآتين D و F يساوي مضاعفات العدد الصحيح للطول الموجي أي  $s = n\lambda$  حيث  $n = 0, \pm 1, \pm 2$  فإن الشعاعين (G) يتحدان في

تداخل بناء ويصل الكاشف أشعة ذات شدة عالية. أما إذا كان الفرق في المسار يساوي  $s = (n + \frac{1}{2}) \lambda$  فإن الشعاعين يتحدان في تداخل هدمي ويصل الكاشف أشعة ضعيفة الشدة [ يتغير طول المسار بتحريك المرآة المتحركة F ]. والمرآة المتحركة F تتحكم في نوع التداخل فيصل الكاشف بالتناوب صور مضيئة ثم معتمة إذا تحركت المرآة (F) ببطء بعداً عن أو قريباً من (B). وتكون الإشارات الصادرة من الكاشف كما هو موضح في الشكل (28). ويكون شكل نموذج التداخل في حالة الشعاع وحيد الطول الموجي كما في شكل (28.a). أما إذا كان الشعاع الصادر من المصدر متعدد الأطوال الموجية يكون نموذج التداخل كما في شكل (28.b).



شكل (28): نموذج تداخل (a) شعاع وحيد الطول الموجي،  
(b) شعاع متعدد الطول الموجي.

يجب أن نذكر أنه لا بد من اختيار مادة المجزئ على أساس منطقة قياس الطيف. ترسب مواد مثل الجيرمانيوم أو أكسيد الحديد على أقراص شفافة للأشعة تحت الحمراء من بروميد البوتاسيوم أو أيوديد السيزيوم للحصول على مجزئ في منطقة الأشعة تحت الحمراء الوسطى والقريبة. وتستخدم أفلام عضوية رقيقة من البولي إيثيلين تريفيناليت للمنطقة البعيدة. المرآة المتحركة هي أهم وحدة في مقياس التداخل فيجب أن تكون حركتها الإتجاهية دقيقة تماماً لكي يمكن مسح مسافتين بحيث يأخذ فرق المسار قيمة محددة. لاستنتاج المعادلات الأساسية لنظام تحويل فورير نعتبر أولاً أبسط حالة وهي التي يكون فيها الشعاع الصادر من المصدر ذا طول موجي واحد ( $\nu_0$ )، وأن هذا الشعاع يتجزأ بواسطة مقياس التداخل إلى موجتين متساويتي الشدة ( $\nu_0$ )  $I$ . ويقاس الكاشف الشدة  $I(\varphi)$  التي تساوي :

$$I(\varphi) = 2I(\nu_0) [1 + \cos \varphi] \quad (2.1)$$

ويمكن التعبير عن فرق الطور  $\varphi$  بدلالة فرق المسار الضوئي ( $s$ ) للشعاعين الضوئيين والطول الموجي  $\lambda_0$

$$\varphi = \frac{2\pi s}{\lambda_0} \quad (2.2)$$

وبالتعويض تصبح العلاقة السابقة على الصورة:

$$I(s) = 2I(\nu_0) [1 + \cos 2\pi \nu_0 s] \quad (2.3)$$

وكما ذكرنا فإن التداخل البناء يحدث عندما

$$s = n\lambda_0, \quad n = 0 \pm 1 \pm 2 \dots$$

والتداخل الهدمي يحدث عندما

$$s = (n + \frac{1}{2}) \lambda_0$$

في مقياس تداخل ميكلسون الماسح، يتغير فرق المسار الضوئي بتحريك إحدى المرآتين بسرعة ثابتة  $v$ . ينشأ عن هذا المسح تغيير شدة الموجة الصادرة جيبياً بالنسبة للزمن بتردد  $f$  يعتمد على العدد الموجي  $\nu$  وسرعة حركة المرآة  $v$ ، أي أن:

$$f = 2\nu v \quad (2.4)$$

أما إذا كان الضوء الصادر من المصدر متعدد الأطوال الموجية أو مستمراً، في هذه الحالة تكون الشدة الناتجة عبارة عن حاصل الجمع أو التكامل على جميع الاهتزازات الناتجة عن كل تردد ضوئي على التوالي. على ذلك تكتب المعادلة (2.3) بالنسبة للمصدر المستمر على الصورة التالية:

$$I(s) = 2 \int_0^{\infty} I(\nu) (1 + \cos 2\pi \nu s) d\nu \quad (2.5)$$

ويمكن تجزئ الدالة  $I(s)$  إلى مركبتين إحداهما لا تعتمد على  $s$  وهي:

$$I(\infty) = 2 \int_0^{\infty} I(\nu) d\nu \quad (2.6)$$

والمركبة التذبذبية يمكن أن تأخذ قيمة سالبة أو موجبة. وهذه المركبة هي، في الواقع، المسئولة عن التركيب المميز لنموذج التداخل وتسمى دالة نموذج التداخل  $F(s)$

$$F(s) = 2 \int_0^{\infty} I(\nu) \cos 2\pi \nu s d\nu \quad (2.7)$$

وحيث أن:  $I(\nu) = I(-\nu)$

فإن :

$$F(s) = 2 \int_{-\infty}^{+\infty} I(\nu) \cos 2\pi \nu s d\nu \quad (2.8)$$

يبين شكل (28) نموذج التداخل في الحالتين، في حالة الشعاع وحيد الطول الموجي، والشعاع متعدد الأطوال الموجية . واضح من الشكل أنه يبدو من الصعب الحصول على بيانات مفصلة عن الطيف في نموذج التداخل الناتج عن لأشعة متعددة الأطوال الموجية أو من المصدر المستمر ولذلك نطبق الطريقة الرياضية لتحويل فورير . وهذه الطريقة تربط بين الطيف  $I(u')$  ودالة نموذج التداخل  $F(s)$  كمايلي :

$$I(0) = 4 \int_0^{\infty} I(u') du' = 2 I(\infty) \quad (2.9)$$

$$I(u') = \int_{-\infty}^{+\infty} F(s) \cos 2\pi u' s ds \quad (2.10)$$

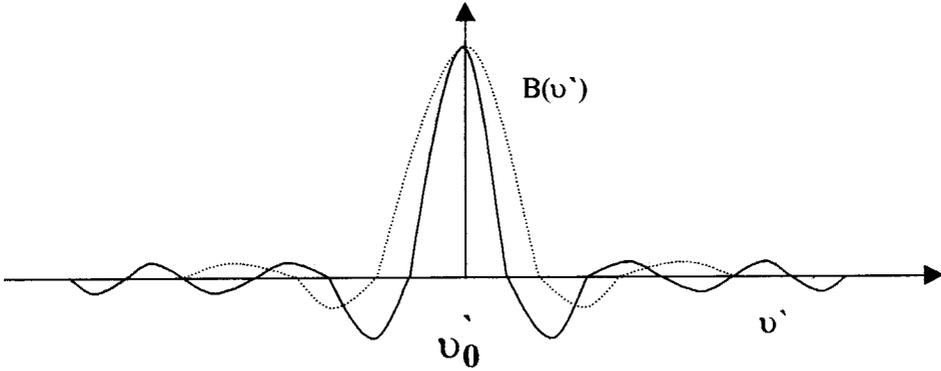
ولأن  $F(s) = F(-s)$  فإن

$$I(u') = 2 \int_0^{\infty} F(s) \cos 2\pi u' s ds \quad (2.11)$$

لحساب الطيف  $I(u')$  باستخدام العلاقة الجيبية لتحويل فورير السابقة، يلزم معرفة نموذج التداخل لفروق في المسار تصل إلى مالا نهاية، ولكن التحويل الذي يتم من الناحية العملية يشمل تكامل على إزاحة محدودة وليست لانتهائية، المعالجة الرياضية لتحويل فورير تفرض حدود لانتهائية، ونتيجة لهذا التقريب الحتمي فإن الشكل الظاهري للخط الطيفي سيظهر كما في شكل (29) حيث تكون مساحة الشريط الأساسي عبارة عن سلسلة من الفصوص الموجبة والسالبة التي تتناقص سعاتها حتى تتلاشى. يمكن التخلص من هذه الفصوص أو الفلقات ( Lobes أو Pods ) بضرب  $F(s)$  بدالة مناسبة قبل إجراء تحويل فورير والدالة المناسبة تجعل شدة نموذج التداخل يهبط إلى الصفر عند كل من نهايتيه بدون ظهور أي فصوص.

إذا كانت الأشعة الصادرة من المصدر ذات طول موجي واحد فإن الأشعة المتحدة التي تغادر الجهاز عند النقطة (B) تتداخل تداخلا بناء أو هدمياً حسب الفرق في طول المسار من B إلى D و من B إلى F . إذا كان طول المسارين متساوي أو كان الفرق بينهما يساوي

مضاعفات الطول الموجي فإن التداخل يكون بناء أما إذا كان الفرق يساوي نصف العدد الصحيح لمضاعفات  $\lambda$  فإن التداخل يكون هدمياً.



شكل (29): الشكل الظاهري للخط قبل التصحيح وبعده.

عندما تتحرك F إلى B أو بعيداً عنها فإن الكاشف يسجل أشعة ذات شدة دورية. فإذا فرضنا أن المصدر يبعث ترددين منفصلين  $\nu_1, \nu_2$  لهما نفس الطول الموجي فإن نموذج تداخل  $\nu_1, \nu_2$  سيعطي نموذج التداخل الناتج من F ، D و يسجل الكاشف شدة معقدة و متغيرة عند تحرك F، ولكن تحويل فوريير يحول هذه الإشارات بسرعة إلى الترددات والشدة الأصلية الناتجة من المصدر. وحتى إذا بعث المصدر ضوءاً أبيض و نتج عن ذلك تداخل معقد فإن تحويل فوريير سيعيد ذلك إلى التوزيع الأصلي للترددات. فإذا مر الشعاع المتحد الخارج من مقياس التداخل على العينة قبل وصوله إلى الكاشف فإن العينة ستمتص بعض الترددات ويظهر هذا الإمتصاص كفجوات في توزيع الترددات، هذا يعطى بعد التحويل طيف الإمتصاص العكسي. فإنتاج الطيف يمكن أن نفكر فيه كما يلي:

تتحرك المرآة F خلال فترة من الزمن [ثانية مثلاً] مسافة حوالي واحد سم بينما تتجمع إشارات الكاشف (Interferogram) في كمبيوتر متعدد القنوات (Multi Channels). يسجل الكمبيوتر إشارات الكاشف في زمن قدره واحد من ألف من الثانية وأثناء تحرك المرآة تخزن البيانات في ذاكرة الكمبيوتر، يقوم الكمبيوتر بإجراء تحويل فوريير على البيانات المخزونة وبعد ذلك يتم تسجيل الطيف المناسب على الورق.

أهم ميزة في FTIR هي سرعة التسجيل حيث يتم الحصول على الطيف بأكمله في صورة التداخل الذي يسجله الكمبيوتر خلال ثانية واحدة وهذا هو زمن التسجيل الفعلي. وحتى

لو أضفنا مثلاً زمناً للحاسب وزمناً للتسجيل حوالي 15 ثانية فإن مجموع الزمن الذي نحصل فيه على الطيف الكامل يعتبر ضئيلاً جداً مقارنة بالزمن الذي يستغرق في الحصول على نفس الطيف في الأجهزة العادية والمميزات الأخرى هي:

1- في الأجهزة العادية يركز الضوء على شق ضيق و يسجل الكاشف صورة هذا الشق، والشق الرقيق يعطى قوة تحليل جيدة حيث سينفذ منه حزمة ضيقة من الأطوال الموجية لتصل إلى الكاشف في أي لحظة لكن كمية الطاقة الكلية التي تمر في الجهاز تكون محدودة ويلزم تكبيرها باستخدام المكبر. في جهاز FTIR لا توجد حاجة إلى الشق وهذا يعنى أن كل طاقة المصدر تمر خلال الجهاز والحاجة إلى المكبر نقل. وتعتمد قوة التحليل على حركة المرآة وسعة الكمبيوتر. لهذا السبب استخدم جهاز التداخل أولاً في حالة منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة حيث أن طاقتها أقل من طاقة أشعة المنطقة الوسطى.

2- قوة التحليل في جهاز FTIR ثابتة لكل أجزاء الطيف. في أجهزة المنشور ومحزوز الحيود تعتمد قوة التحليل على الزاوية التي يصنعها الشعاع مع المنشور أو المحزوز.

3- وجود الحاسب يساعد على عمليات أخرى مثل تحسين شكل الطيف.

## 3:2 طرق الانعكاس Reflectance Methods

تستخدم طرق الانعكاس في حالة العينات التي لا يمكن قياسها بطريقة النفاذية المعتادة. ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى طريقتين:

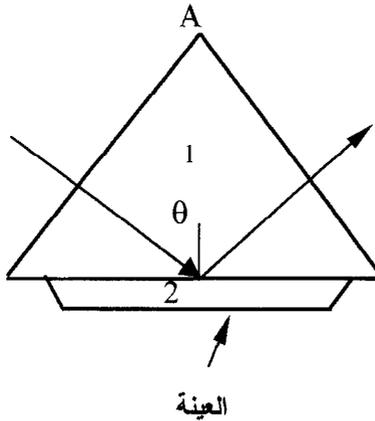
### 1- قياس الانعكاس الداخلي Internal Reflectance Measurement

ويتم ذلك باستخدام خلية الانعكاس الكلى الموهن بالتلامس مع العينة.

### 2- قياس الانعكاس الخارجي External Reflectance Measurement

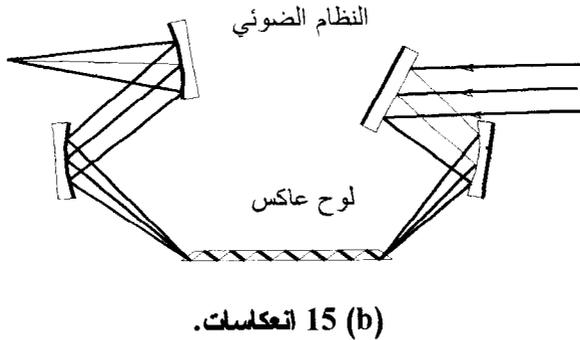
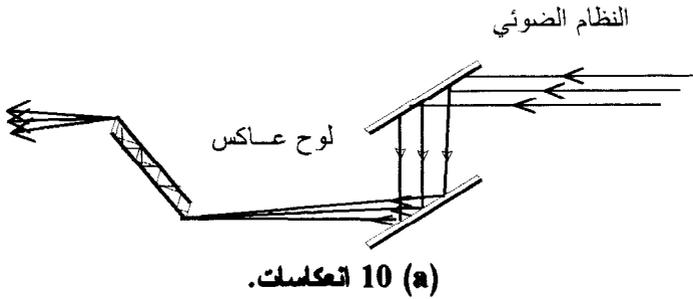
وفيها يتم قياس الأشعة تحت الحمراء المنعكسة من سطح العينة مباشرة.

إذا سقط شعاع من الأشعة تحت الحمراء على السطح الخلفي لمنشور بزواوية  $\theta$  أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يعاني انعكاساً كلياً. إذا طلى هذا السطح بالعينة فإن الأشعة تنفذ خلال العينة عند الأطوال الموجية التي تمتصها بينما يحدث الانعكاس الكلي في مكان آخر. عندئذ يكون الانعكاس الكلي قد وهن عند هذه الأطوال الموجية. والعلاقة بين شدة الامتصاص والأطوال الموجية للضوء المنعكس تشبه طيف امتصاص العينة مع بعض الخلافات في الشدة النسبية وشكل أشرطة الامتصاص. وطريقة ATR (الانعكاس الكلي الموهن) مهمة خصوصاً في حالة العينات التي لا يمكن دراستها بطرق الامتصاص العادية و التي لا تذوب في المذيبات المناسبة للأشعة تحت الحمراء مثل أفلام الدهانات ، أحبار الطباعة على المعادن والمعادن. يمكن تسجيل الطيف بواسطة عاكس متطور بطريقة تعتمد على الانعكاس الكلي للضوء. إذا علم أن معامل انعكاس المنشور 1 (الشكل 30) أكبر من معامل إنكسار 2 و إذا كانت زاوية السقوط  $\theta$  أكبر من الزاوية الحرجة فإن الحزمة الضوئية للأشعة تحت الحمراء في 2 سوف تعاني انعكاساً كلياً عند سطح التلامس بين 2,1 وحزمة الضوء يجب أن تقطع مسافة قصيرة جداً (عدد قليل من الميكررون) في الوسط 2 قبل نفاذها مرة ثانية إلى 1، إذا امتص الوسط 2 جزءاً من الضوء فإن الحزمة النافذة سوف توهن بدلاً من أن تنعكس كلياً. هذا المبدأ يمكن أن يمتد لينتج طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للوسط 2 وهذه الطريقة تسمى الانعكاس الكلي الموهن ATR.



شكل (30): الانعكاس الكلي.

الانعكاس الواحد في الوسط (الشكل 30) ينشأ عنه مسار قصير جداً في الوسط 2 وينشأ عن ذلك طيف ضعيف الشدة إذا لم يحدث تكرار الانعكاس كما في الشكل (31). هذا النظام يمكن إدخاله إلى حزمة الضوء في مطياف الأشعة تحت الحمراء. وبذلك يمكن الوصول إلى عدد من الانعكاسات يمكن أن يصل إلى 25 انعكاساً وبهذا نحصل على طيف يشابه طيف الامتصاص العادي.



شكل (31): وحدة انعكاس كلي.

نجاح الطريقة يعتمد على استخدام الوسط I المنفذ لضوء الأشعة تحت الحمراء و الذي له معامل انكسار عالي ( $\mu = 2.5 - 3.5$ ). شدة الطيف تعتمد على درجة الالتصاق بين البلورة والعينة وعلى مساحة الالتصاق وزاوية الانعكاس. وعمق نفاذية الشعاع في الانعكاس الكلي الموهن دالة لطول الموجة  $\lambda$  شكل (32) ومعامل انكسار المنشور وزاوية سقوط الشعاع  $\theta$ .

ويمكن تعيين عمق النفاذ dp للوسط الذي لا يمتص من الصيغة التالية:

$$dp = \frac{(\lambda/n_1)}{2H \left[ \sin \theta - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \right]^{0.5}} \quad (2.12)$$

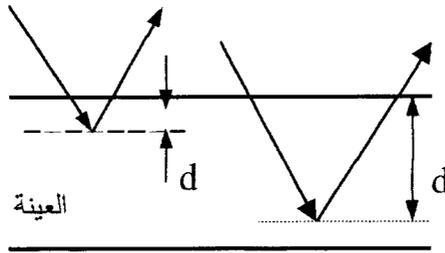
حيث  $n_1$  معامل انكسار العينة.

$n_2$  معامل انكسار منشور الانعكاس الكلي الموهن.

ويتضح من هذه المعادلة ما يلي:

1 - زيادة عمق النفاذ مع زيادة الطول الموجي.

2 - لأي قيمة من  $n_1/n_2$  يقترب عمق النفاذ من القيمة العظمى في إتجاه الزاوية الحرجة للانعكاس الداخلي ( $\theta_c$ ).



شكل (32): تأثير الطول الموجي على مقدار عمق الاختراق.

وتصنع مادة المنشور أو البلورة المستخدمة من مادة قليلة الذوبان في الماء ولها معامل إنكسار كبير جداً. هذه المواد تشمل :

Thalium iodide (KRS-5), Germanium(Ge) , Zinc Selenide(Znse).

وخواص هذه المواد موضحة بالجدول (4).

جدول(4): خواص مادة المنشور.

المادة	معامل الإنكسار	الخواص
KRS-5	2.4	تذوب في القاعدة bases تذوب قليلاً في الماء لا تذوب في الأحماض، لينه Soft ،سامة جداً ولا بد من الحذر عند استخدامها.
Zn Se	2.4	لا تذوب في الماء أو المذيبات العضوية والأحماض المخففة و القاعدة.
Ge	4	لا تذوب في الماء، هش.

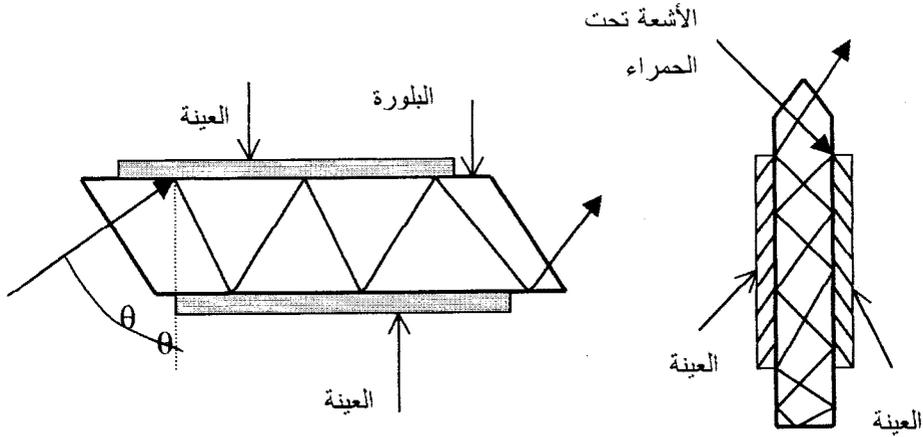
تتكون الوحدة من جزأين أساسيين.

1- بلورة optical system وتقوم بدور الوسط العاكس.

2- مجموعة بصرية وعملها تركيز أشعة المصدر على السطح الأمامي للبلورة وفي بعض الأحيان تجمع الأشعة النافذة وتوجهها إلى وحدة تحليل الأشعة.

لكي يحدث الإنعكاس الكلي الموهن لا بد أن يوجد فرق كبير بين معامل إنكسار الوسط العاكس والعينة. وبما أن معامل إنكسار معظم العينات يكون في حدود الواحد فإن معامل إنكسار الوسط يجب أن يكون على الأقل 2.

في البداية كان الوسط العاكس على شكل منشور وكان يتم تكبير زاوية سقوط الشعاع حتى يمكن الحصول على أنسب طيف بالشدة المناسبة وكانت المجموعة البصرية لهذه الأجهزة ليست عالية الحساسية مما يؤدي إلى صعوبة تحليل بعض العينات. وقد استبدل هذا النظام في الأجهزة الحديثة باستخدام نظام الإنعكاس المتعدد ويستخدم فيه ألواح عاكسة على شكل مقطع من متوازي أضلاع أو معين شكل (33).



شكل (33): الإنعكاس الداخلي المتكرر.

ويوجد نوعان من وحدة الإنعكاس المتعدد أحدهما ثابت الزاوية والثاني متغير الزاوية.

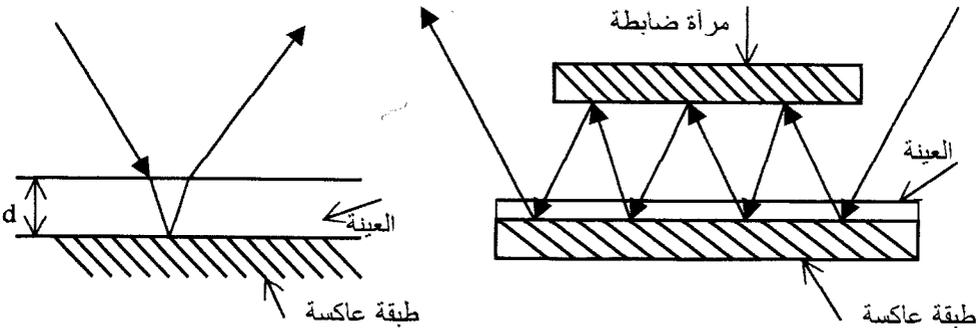
يستخدم في النوع الأول ألواح عاكسة ذات أبعاد  $30 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  وسمك  $3 \text{ mm}$  وتعطى 9

أو 10 إنعكسات عند زاوية إنعكاس  $45^\circ$  . هذه الوحدة ذات حساسية كافية لمعظم الاستخدامات. يمكن تغيير سمك هذه الألواح لتغيير عدد الإنعكسات للحصول على الطيف المناسب الشدة.

النظام البصري في الوحدة التي تستخدم زاوية سقوط متغيرة يكون أكثر تعقيداً من النظام في الوحدة السابقة، حيث تستخدم مرآيا مقعرة لتكبير أشعة المصدر على السطح الأمامي للوح العاكس ومجموعة أخرى لتركيز الأشعة الخارجة من السطح العاكس. وأبعاد الألواح العاكسة في هذه الوحدة يكون في حدود  $50\text{mm} \times 20\text{mm}$  وسمك  $2\text{mm}$  وتعطى 25 إنعكاساً عند زاوية سقوط  $45^\circ$  .

### الانعكاس المنظاري Specular Reflectance

في الإنعكاس الخارجي تركز الأشعة الساقطة على العينة ويمكن حدوث شكليين من الإنعكسات أحدهما يسمى الإنعكاس المنظاري Specular والآخر يسمى الإنعكاس المنتشر diffuse ، لقياس الإنعكاس الخارجي للأشعة المنعكسة من السطح لابد إذن أن تكون العينة عاكسة أو تكون ملتصقة من الخلف بمادة عاكسة. ويحدث الإنعكاس المنظاري عندما تكون زاوية إنعكاس الأشعة الساقطة مساوية لزاوية السقوط كما في الشكل (34). كمية الضوء المنعكسة تعتمد على زاوية السقوط ومعامل الإتكسار وخشونة السطح وخواص امتصاص العينة. والتطبيق المفيد لهذه الطريقة هو دراسة أسطح الطلاء مثل أسطح المعادن المعالجة، والدهانات و البلمرات .



(b): إنعكاس منظاري

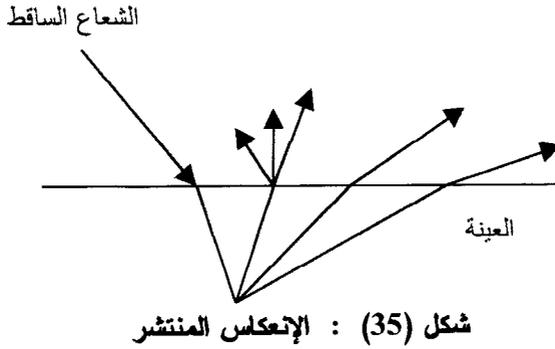
(a): إنعكاس متكرر.

شكل (34) : انعكاس منظاري متكرر

## Diffuse reflectance

## الإعكاس المنتشر:

عندما تسقط الأشعة على سطح مادة فإنها إما تمتص أو تنعكس مباشرة كما في الإعكاس المنطاري Specular أو إنها تنتشر متشتتة في مساحة واسعة. والإعكاسات المنتشرة في كل الإتجاهات يطلق عليها الإعكاسات المنتشرة [كما في الشكل (35) في هذه الطريقة تخلط العينات في صورة مسحوق بمسحوق KBr. تعكس خلية الإعكاسات المنتشرة الأشعة إلى المسحوق و تجمع الأشعة المنعكسة خلال زاوية كبيرة. هذه الطريقة معقدة جداً في حالة المساحيق.



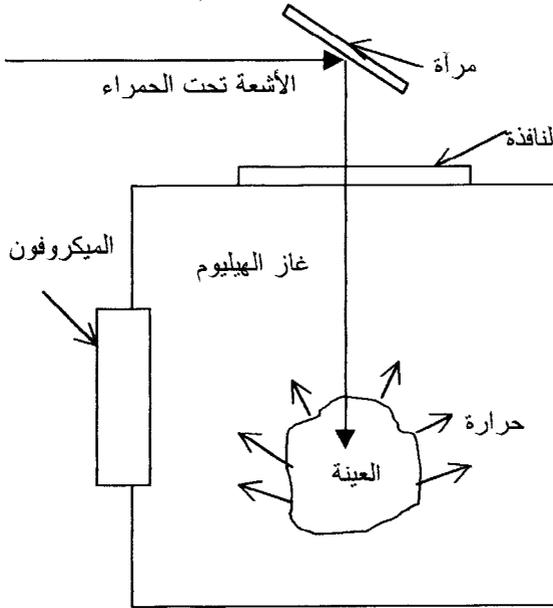
وقد طور كيوبلكا ومنك Kubelka & Munk نظرية توصف الإعكاس المنتشر لعينات المساحيق وتربط بين تركيز المسحوق وشدة الأشعة المشتتة والمعادلة التي وصفها هي :

$$\frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} = \frac{C}{K}$$

حيث  $R_{\infty}$  الإعكاس المطلق لطبقة المسحوق و  $c$  تركيز العينة و  $K$  معامل الإمتصاص المولى Molar extinction coefficient.

## 4:2 الطيف الضوء - صوتي [PAS] Photo Acoustic Spectroscopy

بنيت هذه الطريقة على أساس تحويل الأشعة تحت الحمراء المعدلة Modulated إلى نبذبات ميكانيكية. ويمكن قياس المادة في صورها الثلاث الصلبة والسائلة والغازية بهذه الطريقة. تظهر أهمية هذه الطريقة في حالة المواد عالية الإمتصاص مثل الكاوتشوك والفحم. عندما تمتص العينة الأشعة تحت الحمراء المعدلة Modulated فإن المادة تسخن و تبرد حسب الاستجابة للأشعة التي تصل العينة. وهذا النموذج من التسخين و التبريد يتحول الى موجة ضغط يمكن كشفها بالميكروفون وشكل (36) يوضح خلية PAS .



شكل (36): خلية الطيف الضوء- صوتي.

طريقة الطيف الضوء - صوتي مفيدة جداً لأن الإشارة المكتشفة detected تتناسب مع تركيز العينة ويمكن استخدامها في حالة العينات عالية الإمتصاص أو السوداء جداً. هذه الطريقة تسمح في الغالب المادة من السطح أو لعدة ميكرو مترات تحت السطح لذلك فهي طريقة لها أهمية خاصة في دراسة السطوح.

## Combination Techniques

## 5:2 طرق القياس المشتركة

التحاليل الجرافومترية الحرارية TGA طريقة لقياس الفقد في كتلة العينة عند تسخينها ويمكن الحصول منها على معلومات كمية عن عملية تحلل العينة ولكن لا نستطيع تمييز نواتج التحلل باستخدام هذه الطريقة و يتم الآن استخدام طريقتي TGA , IR مشتركين في جهاز واحد للحصول على معلومات كمية ووصفية عن نواتج التحلل في المراحل المختلفة. كما تستخدم طريقة IR مشتركة مع طريقة الغاز جروماتوجرافي GC-IR لمعرفة تركيب المواد الناتجة.

## Sampling Techniques

## 6:2 طرق تحضير العينات

تعيين التركيب الجزيئي لمدة ما من طيف إمتصاصها للأشعة تحت الحمراء يشمل ثلاثة مراحل، تحضير العينة، تسجيل الطيف بالمطياف ثم تفسير الأطياف. لا تقل أهمية أي مرحلة عن الأخرى ووجود خطأ ما في أي من هذه المراحل يتسبب في عدم دقة النتائج. معنى ذلك أنه عندما نرغب في الحصول على طيف مادة ما يجب أن نختار أولاً الشكل المناسب الذي تكون عليه العينة التي يتم عليها القياس. والأشكال المختلفة التي يمكن أن تكون عليها العينة هي :

- 1- محلول في مذيب مناسب أو سائل.
- 2- فيلم رقيق من السائل أو الصلب [ في حالة البلمرات مثلاً ].
- 3- عجينه ملساء.
- 4- قرص مضغوط لخليط من بروميد البوتاسيوم و العينة.
- 5- سطح أملس ينعكس منه الشعاع.
- 6- غاز.

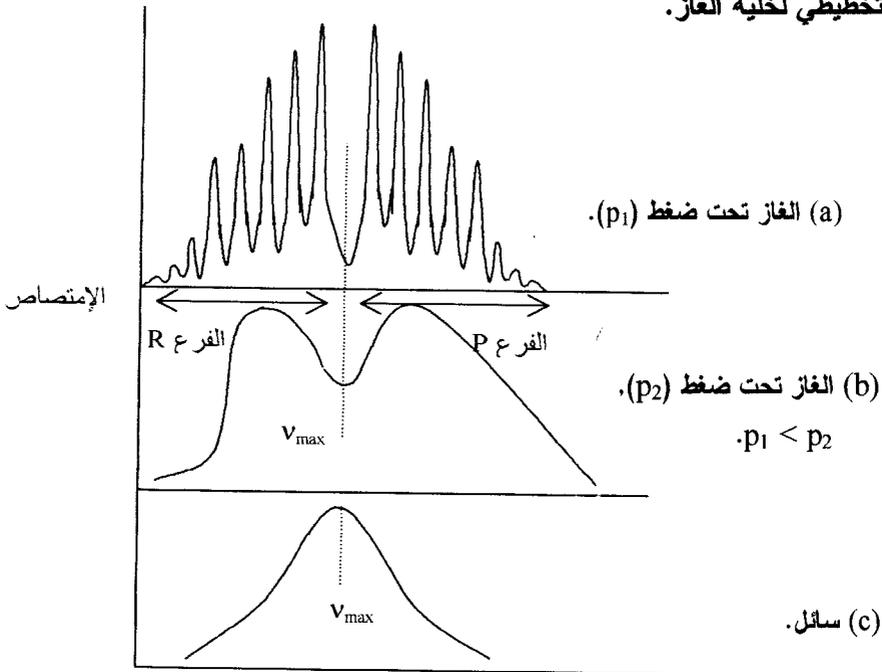
## Gasses

## الغازات

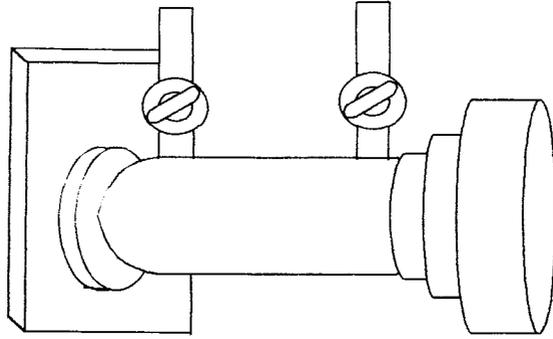
عند دراسة التركيب الجزيئي لمادة ما، من الأفضل دراسة الجزيئات وهي غير واقعة تحت تأثير المؤثرات الخارجية، مثل تأثير الجزيئات المجاورة (كما في حالة الغازات). عند

ضغط الغاز المنخفض (أقل من  $10^{-2}$  جو) لا تؤثر الجزيئات المجاورة على الجزيء إلا بأقل قدر ويكون التغير في مستويات الطاقة الجزيئية ضعيف. الجزيء في حالة الغازات حر الدوران والتذبذب أيضا حيث أن التأثير المتبادل بين الجزيئات يمثل أدنى قيمة له، لذا يكون طيف الأشعة تحت الحمراء للغاز عبارة عن أشرطة إمتصاص عريضة ناشئة عن تراكم عديد من أشرطة الدوران الحادة على أشرطة الذبذبات.

يسجل طيف الأشعة تحت الحمراء للغازات في خلايا على هيئة أسطوانة جدرانها من البيركس Pyrex وقاعدتيها (النوافذ) من مادة شفافة منغذة للأشعة تحت الحمراء مثل KBr أو NaCl، ويتراوح طولها من واحد سنتيمتر إلى 10 سم. توضع الخلية في مسار شعاع الضوء مباشرة. في بعض القياسات تتكرر إنعكاسات الضوء في الخلية (خلية الغاز متعددة الإنعكاسات) ولذلك توضع مرآيا في مسار شعاع الضوء لتتيح له الإنعكاس عدة مرات خلال الخلية لزيادة حساسيتها وطول مسار الضوء. يمكن بسهولة تسجيل طيف إمتصاص الأشعة تحت الحمراء للغازات حيث يسهل التحكم في تركيز العينات بتغيير ضغط الغاز. وتزود الخلية بفتحات لقياس الضغط والتفريغ. تستخدم الخلية في دراسة ملوثات الهواء والشوائب في الغازات. يعتمد شكل طيف الغاز على ضغطه كما في شكل (37) وشكل (38) يوضح رسم تخطيطي لخلية الغاز.



شكل (37): طيف المادة في الحالة الغازية.



شكل (38): رسم تخطيطي لخلية الغاز.

## Liquids السوائل

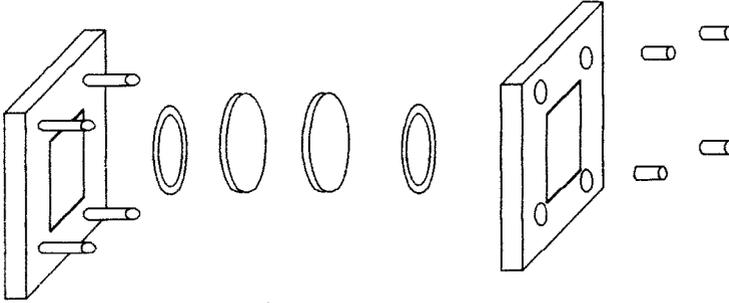
### أ- السوائل اللزجة أو الغليظة Viscous Liquids

توضع نقطة من السائل فوق قرص [نافذة] من مادة الهالوجينات القلوية مثل بروميد البوتاسيوم أو كلوريد الصوديوم ويغطي القرص بقرص آخر مماثل ويضغط على القرصين معاً ضغطاً خفيفاً عن طريق ماسك فيتكون بينهما فيلم رقيق. إذا حدث وكانت شدة امتصاص العينة ضعيفة بسبب صغر سمك العينة فيمكن وضع رقائق فاصلة بينهما من التفلون أو الرصاص أو الألمونيوم للحصول على السمك المناسب. هذه الرقائق يختلف سمكها من 0.06 mm إلى 1 mm. السوائل تحتاج الي سمك يصل 0.025mm لكي تعطي الطيف المناسب. هذه الخلية لا تصلح للسوائل المتطايرة و الخفيفة لأنها تسيل من جوانب الخلية قبل التسجيل وشكل (39) يوضح شكل تخطيطي للخلية.

### ب - السوائل الطيارة غير اللزجة Non-viscous Liquids (Volatile)

توجد أنواع مختلفة من الخلايا المنفذة للأشعة تحت الحمراء خاصة بالسوائل منها الخلايا ذات السمك الثابت المحكمة، للسوائل الطيارة ومن عيوبها عدم إمكانية تنظيف الأقراص أو النوافذ قبل و بعد التسجيل. وهناك الخلايا النصف دائمة والتي يمكن فكها لتنظيف النوافذ. والشكل يبين مكونات هذه الخلية. والرقائق كما ذكرنا من قبل متغيرة السمك فيمكن التحكم في

سمك العينة. ويوجد نوع آخر من الخلايا محكمة ومتغيرة السمك مزودة بنظام لتغيير السمك و تدرج لقراءة قيمة السمك. يساعد التدرج على التحكم وضبط السمك بدقة.



شكل (39): رسم تخطيطي لخلية السوائل.

أهم عنصر في اختيار الخلية المناسبة هو مادة النوافذ ومن أهم خصائص مادة النوافذ أن تكون منفذة للأشعة الساقطة عليها. والجدول المرفق يوضح أهم المواد المستخدمة وخصائصها.

مادة النافذة	منطقة القياس $\text{cm}^{-1}$	معامل الانكسار	الخواص
كلوريد الصوديوم NaCl	$4000\text{cm}^{-1} - 600\text{cm}^{-1}$	1.52	يذوب في الماء، قليل الذوبان في الكحول، رخيص الثمن، مقاومة متوسطة للصدمات الميكانيكية والحرارية. سهل الصقل.
بروميد البوتاسيوم KBr	$4000\text{cm}^{-1} - 400\text{cm}^{-1}$	1.53	يذوب في الماء والكحول وقليل الذوبان في الأكاسيد والقاعدة. تمتص الماء. مقاومته للصدمات جيدة.
فلوريد الكالسيوم Ca F <sub>2</sub>	$4000\text{cm}^{-1} - 1100\text{cm}^{-1}$	1.4	لا يذوب في الماء، يقاوم الأحماض والقاعدة، لا يتعتم، مفيد في حالة الضغوط المرتفعة.
فلوريد الباريوم Ba F <sub>2</sub>	$4000\text{cm}^{-1} - 800\text{cm}^{-1}$	1.45	لا يذوب في الماء ويذوب في NH <sub>4</sub> Cl، لا يتعتم، حساس للصدمات الميكانيكية والحرارية.
كلوريد البوتاسيوم KCl	$4000\text{cm}^{-1} - 400\text{cm}^{-1}$	1.5	له خواص مشابهة لـ NaCl ولكنه أقل ذوبان في الماء ويمتص الماء.
بروميد السيزيوم Cs Br	$4000\text{cm}^{-1} - 250\text{cm}^{-1}$	1.7	يذوب في الماء والأحماض ويمتص الماء.
أيوديد السيزيوم CsI	$4000\text{cm}^{-1} - 200\text{cm}^{-1}$	1.7	يذوب في الماء والكحولات ويمتص الماء.

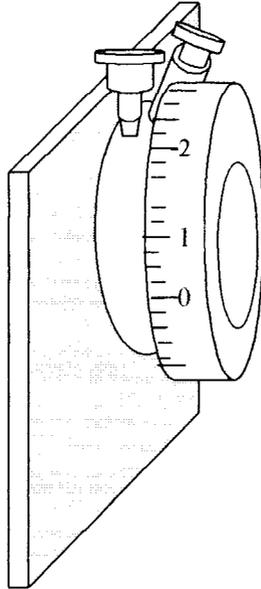
إذا كان إمتصاص المادة المراد تسجيل طيفها، سواء كانت سائلة أو صلبة، قويا و يصعب تسجيله وكان من السهل إذابة المادة في مذيب عضوي، يفضل تسجيل طيف محاليل هذه المواد في المذيبات. و تستخدم نفس الخلايا التي تستخدم في حالة السوائل ولكن يجب وضع خلية مملوءة بالمذيب في المسار الآخر للضوء لطرح إمتصاص المذيب من إمتصاص المحلول لنحصل على إمتصاص المادة فقط.

ولابد أن تتوافر الخواص التالية للمذيب المناسب:

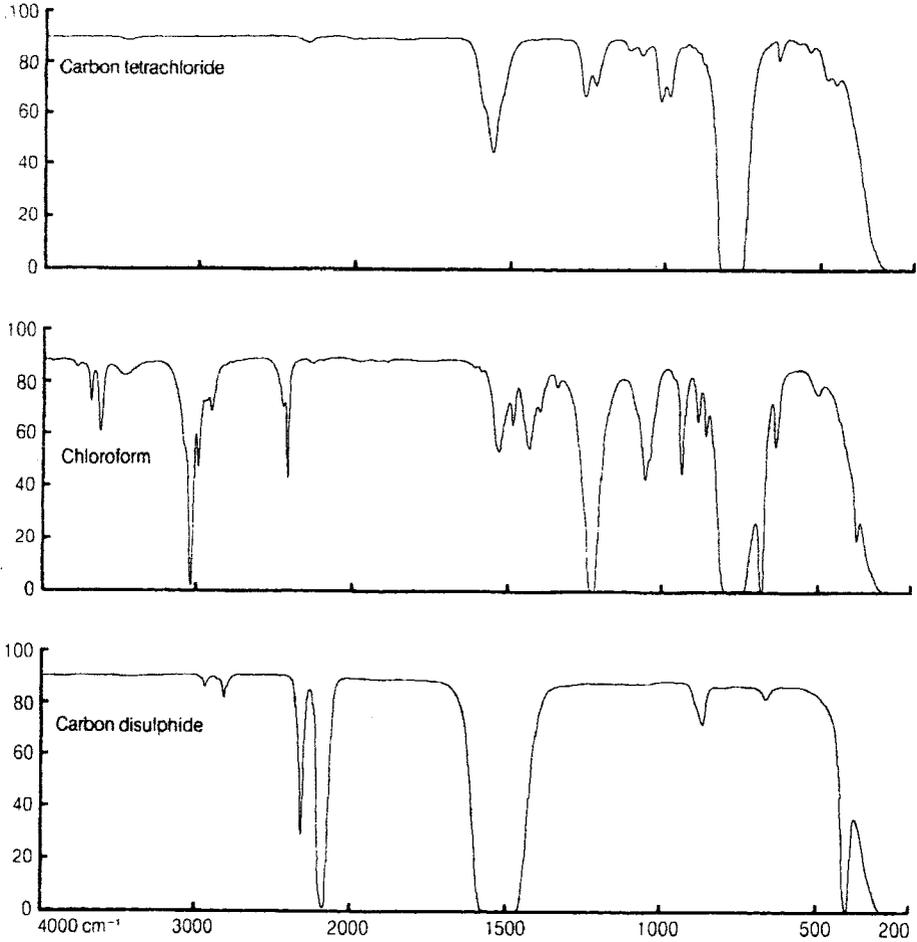
1- لا يكون للمذيب إمتصاص قوى في منطقة القياس.

2- لا يتفاعل مع المذاب.

ومن أهم المذيبات المستخدمة رابع كلوريد الكربون، الكلوروفورم و ثنائي كبريتيد الكربون. لا يوجد مذيب واحد يغطي منطقة طيف الأشعة تحت الحمراء بأكملها ولكن يمكن إستخدام أكثر من مذيب حسب المنطقة التي لا يمتص فيها هذا المذيب وشكل (40) يوضح رسم تخطيطي لخلية متغيرة السمك. كمايبين شكل(41) أطراف بعض المذيبات الشائعة الاستخدام.



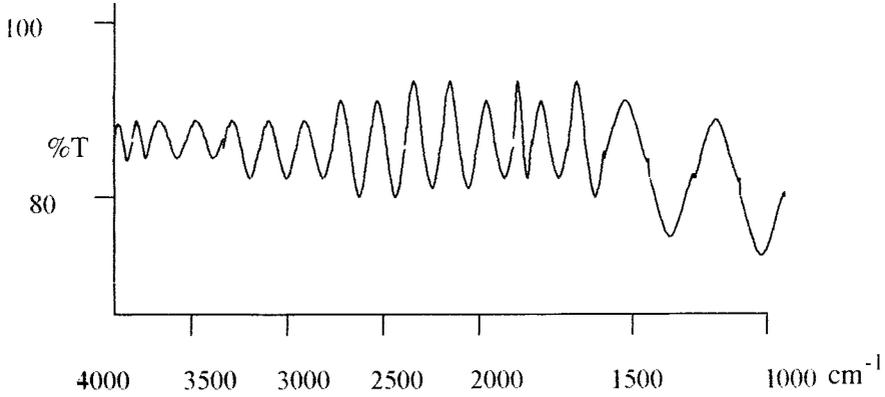
شكل (40) : رسم تخطيطي للخلية متغيرة السمك



شكل (41): أطيف بعض المذيبات.

### تعيين و معايرة سمك الخلية

من المفيد أن نعرف بدقة سمك الخلية التي تحتوى السوائل والمحاليل وخصوصاً في حالة القياسات الكمية. يمكن أن يتم ذلك بطريقة حساب عدد حلقات التداخل interference fringes كما يلي: توضع الخلية فارغة في مسار الضوء في المطياف ويتم تسجيل منطقة من الأطوال الموجية. سيظهر نموذج تداخل مثل الموضح في الشكل (42) و تتغير سعة الموجة من 2% إلى 15% حسب حالة النواقد.



شكل (42): نموذج التداخل في الخلية.

عندما تسقط الأشعة عمودياً على سطح الخلية شكل (43) فإن معظمها ينفذ في خط مستقيم مثل A وبعض منها يعانى إنعكاساً مزدوجاً داخل الخلية مثل B الذي سوف يقطع مسافة  $2l$  زيادة عن A. إذا كان فرق المسار  $2l$  يساوى عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية أي  $2l = n\lambda_1$  فإن الشعاعين A, B يكونان في طور واحد وتكون شدة الشعاعين قيمة عظمى A + B مثل النقطتين a, c كما في الشكل (43) بينما تكون شدتيهما قيمة صغرى مثل النقط b, d عندما يكون فرق المسار

$$2l = (n + \frac{1}{2}) \lambda_2$$

فإذا كان  $\lambda_1$  هو طول الموجة عند القيمة العظمى (a) و  $\lambda_2$  طول الموجة عند القيمة الصغرى التي تليها مباشرة في شكل (43) أي عندما تكون

$$2l = n\lambda_1, \quad 2l = (n + \frac{1}{2}) \lambda_2 \quad (2.13)$$

فإذا عوضنا عن قيمة  $n$  نجد أن :

$$2l = \lambda_2 \left[ \frac{2l}{\lambda} + \frac{1}{2} \right] \quad (2.14)$$

وبدلالة التردد

$$\nu_1 = \frac{1}{\lambda_1} \text{ cm}^{-1}, \quad \nu_2 = \frac{1}{\lambda_2} \text{ cm}^{-1}$$

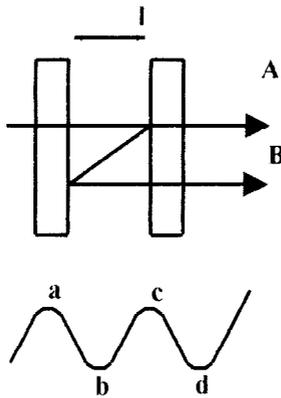
$$\therefore 2l v_2' = 2l v_1' + \frac{1}{2} \quad (2.15)$$

$$4l v_2' = 4l v_1' + 1$$

أو

وهذا يعطى

$$l = \frac{1}{4(v_2' - v_1')} \text{ cm} \quad (2.16)$$



شكل (43) : مسار الأشعة داخل الخلية الفارغة

لقياس  $l$  نحدد قيمة العدد الموجي عند القيمة العظمى والعدد الموجي عند القيمة الصغرى التي تليها مباشرة ولكن من الناحية العملية لابد أن نقيس عدد كامل من الهدب Fringes وليكن العدد الموجي  $v_1'$  عند أول قيمة عظمى و  $v_2'$  عند القيمة العظمى لعدد كامل من الهدب فيصبح السمك

$$l = \frac{N}{2(v_2' - v_1')}$$

فمثلا إذا كانت

$$v_1' = 500 \text{ cm}^{-1}, v_2' = 1980 \text{ cm}^{-1}, N = 30$$

إذن

$$l = \frac{0.5 N}{(v_2' - v_1')} \text{ mm} = \frac{5 \times 30}{(1980 - 500)} = 0.1014 \text{ cm}$$

مثال: إذا كان عدد القيم العظمى بين الترددين  $1180 - 3780 \text{ cm}^{-1}$  يساوى 13 إحصى سمك الخلية.

$$l = \frac{N}{2(v_2' - v_1')} = \frac{5 \times 13}{3780 - 1180}$$

الحل:

$$= 2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

## العينات الصلبة Solid Samples

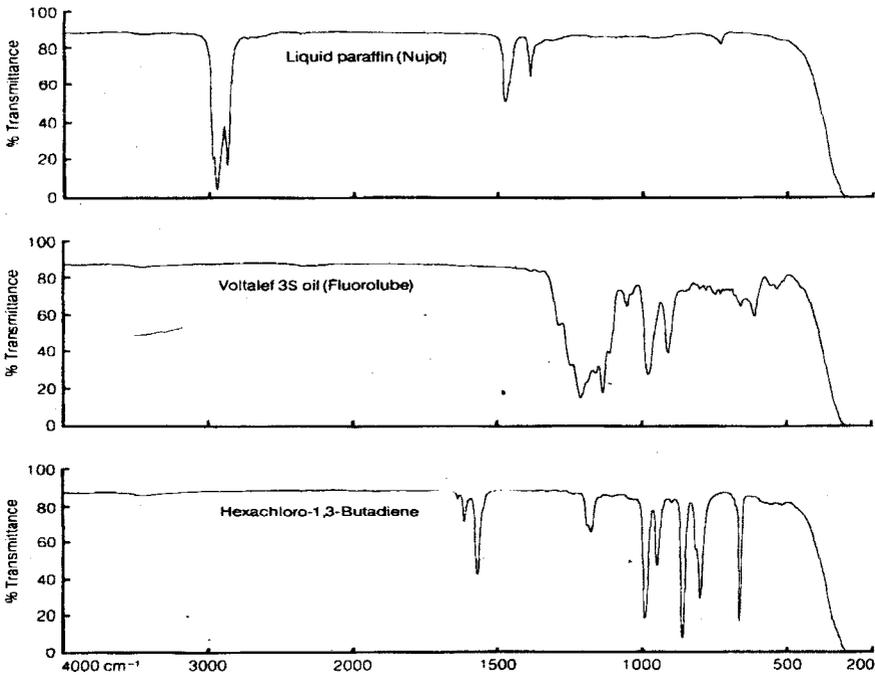
أهم عامل يجب أخذه في الاعتبار للحصول على أفضل طيف للمادة هو حجم الحبيبات. من الوجهة النظرية يتحتم أن يكون حجم الحبيبات أقل من طول الموجة الساقطة عليها لتقليل تشتت وإنكسار الأشعة. لذا يجب أن لا يزيد حجم الحبيبات عن 2 ميكرون للعينات التي تقاس في المنطقة من  $200 - 5000 \text{ cm}^{-1}$ . للحصول على الأحجام المناسبة للحبيبات يلزم طحن العينات مما ينشأ عنه رفع درجة حرارتها أو تغيير شكلها البلوري. يمكن التغلب على مساوئ الطحن إما بتبريد العينة أثناء الطحن أو الطحن لفترات دورية قصيرة.

أما العامل الثاني الذي يجب أخذه في الاعتبار للحصول على طيف جيد هو ضرورة تقارب معاملي إنكسار المادة والوسط الموزعة فيه المادة. وهذا التقارب يقلل من تشتت أو إنكسار الأشعة ولا يتسبب في إزاحة أو تشويه أشرطة الإمتصاص.

## طريقة المعلق Mull

أبسط طريقة لتحضير العينات الصلبة التي لا تذوب في مذيب مناسب هي طريقة توزيع حبيبات العينة في سائل شفاف غليظ القوام مثل زيت السيرافين أو Nujol. في هذه الطريقة تطحن العينة جيدا إلى مسحوق ناعم، يقلب جزء من المسحوق جيدا في عدة قطرات من السائل اللزج ثم يضغط المعلق بين قرصين من بروميد البوتاسيوم أو كلوريد الصوديوم أو

أويديد السيزيوم فيتكون فيلم رقيق للمخلوط بين القرصين. في هذه الطريقة يجب أن يكون حجم الحبيبات صغيراً جداً لتلافي التشتت والإتكسار و هذا يفقد المادة أحد خصائصها التركيبية حيث تفقد الخاصية البلورية. ومن عيوب هذه الطريقة كذلك أنه لا يمكن إجراء دراسات كمية على العينات حيث لا يمكن التحكم في سمكها أو تجانسها وأيضاً تركيزها : علماً بأن هذا السائل شفاف في منطقة الأشعة تحت الحمراء ولا يتفاعل مع المواد. يوضع في المسار الأخر للضوء عينة من هذا السائل لطرح الطيف الخاص به من طيف العينة. شكل (44) يبين طيف بعض المواد التي تستخدم Mull.



شكل (44): طيف Nujol وبعض مواد Mull.

## Melting Method

## طريقة الصهر

يمكن صهر كمية صغيرة من المادة ، التي لها نقطة انصهار منخفضة بين قرصين من بروميد البوتاسيوم ثم تبريد القرصين فتكون طبقة رقيقة من المادة يمكن قياس طيف إمتصاصها ولكنها طريقة غير كمية.

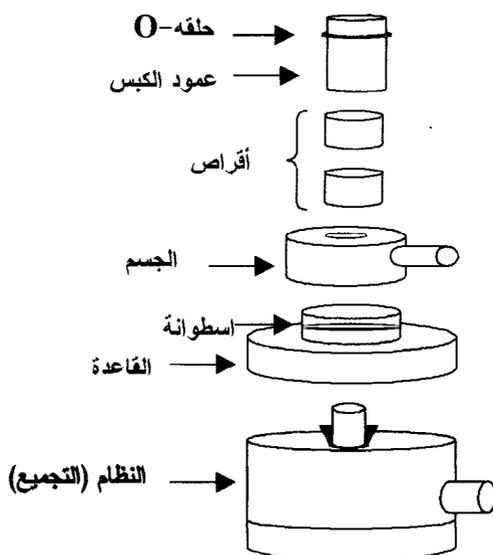
## طريقة الأفلام الرقيقة من المحاليل Thin Films

تذاب المادة في مذيب مناسب ثم يصب المحلول على لوح من الزجاج أو بروميد البوتاسيوم و يترك المذيب عند درجة حرارة مناسبة أو تحت تفريغ حتى يتبخر. يمكن سحب الفيلم بسهولة وقياسه. هذه الطريقة كمية ودقيقة. يجب أن يتوافر في المذيب الخصائص التالية:

- 1- قدرته على إذابة المادة تماما.
- 2- له درجة غليان منخفضة و يتطاير بسهولة.
- 3- لا يتفاعل مع المادة.

## طريقة أقراص بروميد البوتاسيوم KBr Disc Method

تعد العينة أولاً على هيئة مسحوق ناعم. يضاف من 1-3 ملليجرامات من المادة على حوالي 200 ملليجرام من آي من بروميد البوتاسيوم أو أيوديد السيزيوم ويقلب المخلوط جيداً للحصول على خليط متجانس. يوضع الخليط في قالب خاص شكل (45) ثم يضغط على العينة أثناء التفريغ لسحب بخار الماء للحصول على قرص شفاف متماسك.



شكل(45): الأجزاء المختلفة لقالب أقراص بروميد البوتاسيوم.

تتميز هذه الطريقة بمايلي:

ا - يمكن حساب تركيز العينة وسمك القرص مما يساعد على إجراء دراسة كمية لطيف المادة.

ب- يمكن توزيع حبيبات المادة توزيعاً متجانساً في الوسط كما أن حجم الحبيبات لا يلزم أن يكون صغيراً إلى حد يفقد المادة خواصها البلورية.

ج- يمكن حفظ القرص لفترة طويلة لإعادة القياس عليه مرة أخرى إذا لزم الأمر.

ويجب أخذ الاحتياطات لكي لايمتص القرص بخار الماء من الجو فتظهر خطوط الماء في الطيف كما أن إمتصاص الماء يقلل من شفافية القرص وهذا يؤثر على شكل أشرطة إمتصاص مجموعات OH، NH.

## العينات المجهرية Micro Samples

طيف الأشعة تحت الحمراء أداة ممتازة في تمييز المواد غير المعروفة و تتفوق على غيرها من الطرق التحليلية الأخرى في كونها لا تحتاج الالميكرو جرامات قليلة من المادة. ولكن لا يمكن استخدام الطرق المعتادة لقياس طيف الكميات الصغيرة جداً. وتوجد قطع إضافية خاصة لتحضير هذه الكميات سواء كانت صلبة أو سائلة في حدود الميكروجرامات أو الميكرومليمترات. يتم ذلك بتكثيف شعاع الضوء الساقط على العينة بحيث يمر بالعينة أكبر قدر ممكن من الشعاع. وتوجد خلايا صغيرة جداً يصل حجمها إلى 4 ميكرو مليمترات وسمكها 1mm. وتوجد أنواع متعددة من الخلايا. ومثال على ذلك خلية الألماس للعينات الصلبة وتتكون من قطعتين من الألماس تضغطان بينهما العينة للسمك المناسب للقياس ولزيادة مساحة السطح. ويمكن استخدام الخلية المتعددة الإنعكاسات الداخلية وهذه الطريقة تمكن من الحصول على أطياف قوية الإمتصاص.

توجد أنواع من الخلايا التي يمكن بواسطتها قياس طيف العينات عند درجات حرارة مختلفة من  $180^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C} +$  بدقة  $0.1^{\circ}\text{C}$ . وهذه الخلايا مزودة بنظام تسخين كهربائي للحرارة فوق درجة حرارة الغرفة و بالنيتروجين السائل و التسخين لدرجات أقل من درجة حرارة الغرفة ويمكن بواسطة هذه الخلايا دراسة انتقال المادة من حالة إلى أخرى وميكانيكية التفاعل. كما توجد خلايا حرارية للقياس في حالة الإنعكاس الكلي الموهن وكذلك العينات المجهرية.