



جامعة 8 ماي 1945 قالمة  
كلية الرياضيات و الاعلام الآلي و علوم المادة  
قسم علوم المادة

## أطروحة

مقدمة لنيل شهادة

## الدكتوراه

---

# دراسة غير متلفة للوسائط المرنة لأنصاف النواقل العضوية مع تطبيقات مختلفة (الانتراسين)

---

الفيزياء  
تخصص: أنصاف النواقل  
2013

من طرف  
حداد عبد النور

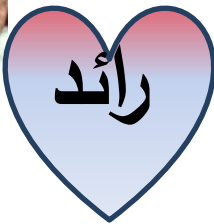
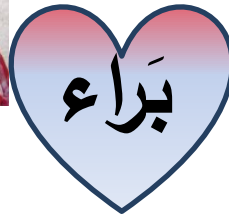
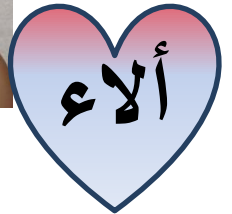
تحت إشراف: الأستاذ عبد العزيز دغمان

أمام اللجنة

رئيسا	جامعة قالمة	أستاذ التعليم العالي	مدور عثمان
مقررا	جامعة عنابة	أستاذ التعليم العالي	دغمان عبد العزيز
ممتحنا	جامعة عنابة	أستاذ التعليم العالي	حجوب زهية
ممتحنا	جامعة سطيف	أستاذ التعليم العالي	بوسنة احمد
ممتحنا	جامعة عنابة	أستاذ التعليم العالي	علاوة شيباني

الإهداء

أهدى  
قلوبك  
أبياتي  
الأعزى



حَدَادُ عَبْدِ النُّورِ

## تشكرات

هذا العمل أنجز في مخبر أنصاف النواقل، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة باجي مختار بعنابة.

أتقدم بالشكر الجزيل، التقدير و الاحترام العظيم لأستاذي العزيز، الأستاذ الدكتور عبد العزيز دغمان، أستاذ التعليم العالي بجامعة عنابة، و عضو بأكاديمية نيويورك للعلوم سلك الأساتذة، لإشرافه على هذه الأطروحة و على جميع النصائح، الارشادات و التوجيهات العلمية القيمة خلال فترة انجاز هذا البحث، المبنية على كفاءته و خبراته العلمية. وانه لشرف عظيم لي أن اكون واحدا من طلابه و عضو من فريق بحثه.

أشكر جزيل الشكر الأستاذ الدكتور عثمان مدور، أستاذ التعليم العالي، و عميد كلية الرياضيات، الاعلام الآلي و علوم المادة بجامعة قالمة على قبوله رئاسة لجنة مناقشة هذه الاطروحة.

أشكر كثيراً، الأستاذة الدكتورة زهية حبوب، أستاذة التعليم العالي بجامعة عنابة، عضو بأكاديمية نيويورك للعلوم و مديرة مخبر أنصاف النواقل على موافقتها أن تكون عضوا في لجنة مناقشة هذه الاطروحة.

أشكر كثيراً، الأستاذ الدكتور أحمد بوسنة، أستاذة التعليم العالي بجامعة سطيف على موافقته أن يكون عضوا في لجنة مناقشة هذه الاطروحة.

---

أشكر كثيراً، الأستاذ الدكتور علاوة شيباني، أستاذ التعليم العالي بجامعة عنابة على موافقته أن يكون عضواً في لجنة مناقشة هذه الأطروحة.

كما أتقدم بجزيل الشكر الى كافة أفراد عائلتي، كبيرهم و صغيرهم، على دعمهم المعنوي الذي كان له كبير الأثر في إنجاز هذا العمل.

أتقدم بشكر خاص لزوجتي الغالية، على صبرها، تفانيها، دعمها، تضحياتها و على كل الجهود التي بذلتها من أجل العائلة و من أجل إنجاز هذه الأطروحة، التي هي في النهاية إنجاز عائلي.

---

## المخلص

### دراسة غير متلفة للوسائط المرنة لأنصاف النواقل العضوية مع تطبيقات مختلفة (الانتراسين)

من إعداد: حدّاد عبد النور

تعتمد المجهرية الصوتية، التي تعتبر وسيلة حديثة غير متلفة، على استجابة الخواص المرورية للمواد مع الموجات الصوتية، و بالتالي فهي تسمح بتحديد الخواص المرورية لهذه المواد. استخدمنا برنامجاً نظرياً يحاكي مجهراً صوتياً يعمل بنظام الانعكاس، لدراسة الخواص المرورية لمادة الانتراسين، التي تعتبر نموذجاً لأنصاف النواقل العضوية. درسنا أولاً، العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي ( التواتر، الكثافة، كثافة السائل، فتحة العدسة)، فتحصلنا على العلاقات التحليلية لتغيرات هذه الفعالية بدلالة كل واحد من هذه العوامل. ثم درسنا و اقترحنا طريقة لفصل الانماط (نمط رايلي، النمط العرضي، و النمط الطولي) في المجهرية الصوتية. بعد ذلك درسنا تأثير الاتجاهات البلورية للانتراسين على تبدد كل نمط من هذه الانماط في البنية انتراسين/مسند، فدرسنا تبدد النمط الطولي في البنيتين؛ انتراسين/ $SiO_2$ ، انتراسين/ $Cu$  و تبدد نمط رايلي في البنيتين؛ انتراسين/ $SiO_2$  و انتراسين/ $PE$ . كما درسنا التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية انتراسين/ $PE$ ، ثم عممنا هذه العملية، فدرسنا التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة/مسند، دراسة نوعية و كمية.

**الكلمات المميزة:** المجهرية الصوتية، الانتراسين، معاملات المرورية، أنصاف النواقل العضوية، منحنيات التبدد، الانماط الصوتية، فعالية نمط رايلي، التغيرات غير العادية، البنية انتراسين/مسند، الطبقات الرقيقة.

## Résumé

### *Investigation non destructive des paramètres élastiques des semi-conducteurs organiques avec différentes applications (anthracène)*

*Par: Abdenour HADDAD*

*La microscopie acoustique est une technique dynamique, récente, non destructive basée sur l'interaction ondes élastiques-matière, permettant donc, la détermination des propriétés élastiques des matériaux. Par utilisation d'un programme de simulation appliqué à la microscopie acoustique à balayage (SAM : scanning acoustic microscopy), nous avons étudié les propriétés élastiques de l'Anthracène, qui est un prototype, des semi-conducteurs organiques. Dans une première partie, il nous a été possible de déterminer des relations analytiques de l'efficacité du mode de Rayleigh dans d'Anthracène en fonction de différents paramètres (fréquence, densité, angle d'excitation de différents modes, ...). Ensuite, on a proposé une méthode pour dissocier les différents modes acoustiques (Longitudinal, transversal, et mode de Rayleigh) dans le cas du SAM. De plus, on a étudié l'influence des orientations cristallographiques sur les paramètres élastiques de l'Anthracène via les phénomènes de dispersions des modes acoustiques en fonction de l'épaisseur des couches minces, dans les combinaisons Anthracène/SiO<sub>2</sub>, Anthracène/Cu, Anthracène/polyéthylène. Enfin, nous avons étudié les anomalies apparentes dans les courbes de dispersion des vitesses de Rayleigh dans la structure Anthracène/polyéthylène, ainsi que les structures Anthracène/substrat.*

**Mots Clefs :** *Microscopie acoustique, ondes acoustiques, couches minces, Anthracène, paramètres élastiques, courbes de dispersions, semi-conducteurs organiques, efficacité du mode de Rayleigh, anomalies.*

**Abstract**

*Nondestructive investigation of elastic parameters of organic semiconductors with different applications (anthracene).*

By: Abdenour HADDAD

*Acoustic microscopy, a dynamic and nondestructive recent technique, depends on the elastic response of materials to acoustic waves. Thus, it allows the determination of materials elastic properties. Using a simulation program applied to scanning acoustic microscopy, SAM, we studied elastic properties of anthracene that represents organic semiconductors. First, we determined analytical relations of the generation efficiency of Rayleigh mode in Anthracene, as a function of different parameters (frequency, density, angle of excitation modes, etc.). Then, we proposed a method to dissociate acoustic modes (longitudinal, transverse, and Rayleigh mode) using the SAM technique. Moreover, the influence of crystallographic orientations on elastic parameters of anthracene was investigated via the velocity dispersion caused by the variation of film thickness of longitudinal mode in Anthracène/SiO<sub>2</sub>, Anthracene/Copper combinations as well as the dispersion of Rayleigh mode in Anthracène/SiO<sub>2</sub>, Anthracene/Polyethylene structures. Finally, we investigated the anomalous behaviour in the dispersion curves of Rayleigh mode in Anthracene/Polyethylene and Anthracene/substrate structures.*

**Keywords:** *Acoustic microscopy, acoustic waves, elastic parameters, thin films, organic semiconductors, dispersion curves, acoustic velocities, Anthracene, anomalous behavior, efficiency of the Rayleigh mode.*

## قائمة الرموز

$a_0$	نصف قطر فتحة العدسة.
$a_T$	نصف قطر محول الضغطية الكهربائية.
$\alpha_0$	معامل التخماد في السائل.
$\alpha_T$	معامل التخماد الكلي لأمواج رايلي لكل وحدة مسافة.
$\alpha, \beta, \delta, a, b, c$	الزوايا و الأبعاد البلورية لخلية الوحدة.
$C_{ij}$	ثوابت المرونة
$D$	البعد بين محول الضغطية الكهربائية و سطح العدسة عند محورها.
$f$	التواتر.
$\varphi$	التغير في الطور.
$e$	سمك الطبقة.
$Eff.$	فعالية نمط رايلي.
$\delta$	النسبة بين، حاصل قسمة كثافة الطبقة على كثافة المسند، و حاصل قسمة سرعة رايلي للطبقة على سرعة رايلي للمسند.
$\zeta$	حاصل ضرب السمك المنظم، المقابل للسرعة القصوى، في $\delta$ .
$FFT$	(Fast Fourier Transform) تحويل فورييه السريع.
$(e / \lambda_T)_{\max}$	السمك المنظم المقابل لسرعة رايلي العظمى.
$(e / \lambda_T)_{\text{sat}}$	السمك المنظم المقابل لمرحلة التشبع (استقرار السرعة).



سمك الطبقة.	$h$
العدد الموجي.	$k_0$
الشعاع الموجي لأمواج رايلي.	$k_R$
الشعاع الموجي للأمواج العرضية.	$k_S$
الشعاع الموجي للأمواج الطولية.	$k_l$
الشعاع الموجي في الطبقة.	$k_C$
طول فرينل.	$L_0$
طول الموجة الصوتية.	$\lambda$
طول الموجة الصوتية العرضية في الطبقة.	$\lambda_T$
طول الموجة الصوتية في السائل.	$\lambda_0$
الطول الموجي لأمواج رايلي.	$\lambda_R$
الطول الموجي للأمواج العرضية في الجسم الصلب.	$\lambda_S$
الطول الموجي للأمواج الطولية في الجسم الصلب.	$\lambda_l$
معامل انكسار العدسة.	$n$
الفتحة العددية للعدسة.	$N.A.$
تبدد سالب يحتوي على قيمة عظمى لسرعة رايلي.	$N_{Max}$
تبدد سالب يحتوي على قيمة دنيا لسرعة رايلي.	$N_{Min}$
بولي ايثيلين	$PE$
تبدد موجب يحتوي على قيمة عظمى لسرعة رايلي.	$P_{Max}$
تبدد موجب يحتوي على قيمة دنيا لسرعة رايلي.	$P_{Min}$

دالة العدسة.	$P(\theta)$
الزاوية نصف القطرية.	$\pi$
البعد المحرقي للعدسة.	$q$
نصف قطر انحناء العدسة.	$r$
فيتمثل معامل الانعكاس العمودي.	$R_0(0)$
معامل الانعكاس.	$R(\theta)$
معامل الانعكاس عند السطح الفاصل بين السائل و الجسم الصلب المتماثل المناحي.	$R(k_x)$
كثافة السائل.	$\rho_0$
كثافة الجسم الصلب.	$\rho_1$
كثافة المسند.	$\rho_s$
كثافة الطبقة.	$\rho_c$
معامل تخامد أمواج رايلي الناتج عن التسرب في السائل .	$\alpha_R$
كثافة الطبقة.	$\rho_c$
كثافته الجسم الصلب.	$\rho_{Sol}$
( <i>Scanning Acoustic Microscope</i> ) المجهر الصوتي الماسح.	$SAM$
زاوية الورود.	$\theta$
قيمة الزاوية في الطبقة.	$\theta_c$
زاوية الورود المحرصة للنمط الطولي.	$\theta_L$
نصف فتحة العدسة.	$\theta_m$

زاوية الورود المحرصة لنمط رايلي أو زاوية رايلي.	$\theta_R$
زاوية الورود المحرصة للنمط العرضي.	$\theta_T$
سرعة انتشار الامواج الصوتية الطولية في السائل.	$v_O$
استجابة محول الضغطية الكهربائية لحقل منتظم سعته تساوي الوحدة.	$V_0$
سرعة انتشار الامواج الطولية.	$v_L$
سرعة انتشار الامواج الطولية.	$V_L$
سرعة انتشار الامواج الطولية في الطبقة.	$V_{LC}$
سرعة الامواج الطولية في الطبقة.	$v_{Lc}$
سرعة انتشار الامواج الصوتية الطولية في السائل.	$v_{liq}$
سرعة الامواج الطولية في المسند.	$v_{Ls}$
سرعة انتشار الامواج الطولية في المسند.	$V_{LS}$
سرعة انتشار امواج رايلي.	$v_R$
سرعة رايلي للطبقة.	$V_{RC}$
سرعة رايلي القصوى (عظمى أو دنيا).	$(V_R)_{Ext}$
سرعة رايلي العظمى.	$(V_R)_{Max}$
سرعة رايلي للمسند.	$V_{RS}$
سرعة انتشار الامواج العرضية.	$v_T$
سرعة انتشار الامواج العرضية.	$V_T$
سرعة الامواج العرضية في الطبقة.	$v_{Tc}$
سرعة انتشار الامواج العرضية في الطبقة.	$V_{TC}$

سرعة الامواج العرضية في المسند.	$v_{Ts}$
سرعة انتشار الامواج العرضية في المسند.	$V_{TS}$
الامضاء الصوتي.	$V(z)$
اشارة الخروج الناتجة عن انعكاس الأمواج بتناظر هندسي.	$V_G(z)$
استجابة العدسة.	$V_{len}(z)$
اشارة الخروج الناتجة عن أمواج رايلي المتسربة.	$V_R(z)$
استجابة العينة المدروسة.	$V_s(z)$
مقدرة الفصل.	$w$
المسافة البؤرية أو الممانعة الصوتية.	$Z$
المسافة البؤرية التي من اجلها تتجمع الاشعة المنعكسة هندسياً على محول الضغطية الكهربائية.	$Z_0$
الممانعة الصوتية للطبقة.	$Z_C$
ممانعة مادة النحاس.	$Z_{Cu}$
الممانعة الطولية للجسم الصلب.	$Z_L$
الممانعة الصوتية للسائل.	$Z_{liq}$
الممانعة الصوتية للمسند.	$Z_S$
الممانعة الكلية للجسم الصلب.	$Z_{Sol}$
الممانعة العرضية للجسم الصلب .	$Z_T$
القيم الحدية للمسافة البؤرية التي من اجلها الأشعة المنعكسة تغطي كل مساحة محول الضغطية الكهربائية.	$Z_{max}, Z_{min}$

## قائمة الاشكال

- الشكل(1-1): مقارنة بين صورة ضوئية و الصورة الصوتية  
لنفس العينة من الخرسانة .....06
- الشكل(2-1): صورة صوتية لطبقة من الايبوكسي على الألومنيوم،  
من اجل مسافات بؤرية مختلفة .....06
- الشكل(3-1): مقارنة بين صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح و الصورة  
الصوتية لنفس العينة من الخرسانة .....07
- الشكل(4-1): مخطط لمجهر صوتي ماسح يعمل بنظام الانعكاس .....10
- الشكل(5-1): هندسة و إحدائيات الجملة المستخدمة في أنموذج الشعاع  
الضوئي .....16
- الشكل(6-1): استجابة العدسة و استجابة الجملة (عدسة + عينة) .....21
- الشكل(7-1): استجابة العينة .....21
- الشكل(8-1): طيف تحويل فورييه السريع *FFT* .....22

الشكل(9-1): بلورة أنتراسين ..... 23

الشكل(10-1): جزيء الأنتراسين..... 23

الشكل(11-1): أبعاد الخلية الأساسية للأنتراسين و مواقع الجزيئات فيها..... 23

الشكل(1-2): تأثير التواتر على طيف  $FFT$  للأنتراسين..... 26

الشكل(2-2): تغير فعالية نمط رايلي في الانتراسين بدلالة التواتر..... 26

الشكل(3-2): تأثير الكثافة على طيف  $FFT$  للأنتراسين..... 28

الشكل(4-2): تغير فعالية نمط رايلي في الانتراسين بدلالة الكثافة..... 28

الشكل(5-2): تأثير كثافة سائل الربط على طيف  $FFT$  للأنتراسين..... 31

الشكل(6-2): تغير فعالية نمط رايلي في الانتراسين بدلالة  
كثافة سائل الربط..... 31

الشكل(7-2): تأثير سرعة سائل الربط على طيف  $FFT$  للأنتراسين ..... 32

الشكل(8-2): العلاقة بين سرعة سائل الربط و فعالية نمط رايلي  
في الانتراسين..... 33

الشكل(2-9): تأثير نصف فتحة العدسة على طيف  $FFT$  للانتراسين..... 34

الشكل(2-10): العلاقة بين نصف فتحة العدسة و فعالية نمط رايلي في الانتراسين..... 35

الشكل(3-1): طيف  $FFT$  المميزة للمواد المستعملة في دراسة فصل الانماط..... 40-41

الشكل(4-1): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاه [010] في حالة الاستقطاب [100] للبنية انتراسين\  $SiO_2$  ..... 46

الشكل(4-2): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاه [010] في حالة الاستقطاب [001] للبنية انتراسين\  $SiO_2$  ..... 47

الشكل(4-3): تبدد النمط الطولي في الاتجاه [010] للبنية انتراسين\  $SiO_2$  ..... 47

الشكل(4-4): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين\  $SiO_2$  ..... 48

الشكل(4-5): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين\  $Cu$  ..... 50

الشكل (4-6): منحنيات تبدد نمط رايلي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين  $SiO_2$  ..... 55

الشكل (4-7): منحنيات تبدد نمط رايلي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين  $PE$  ..... 57

الشكل (5-1): منحنيات تبدد نمط رايلي في حالة عدم وجود التغيرات غير العادية ..... 62

الشكل (5-2): تبدد نمط رايلي للبنية انتراسين  $PE$  الناتج عن موجة طولية في الاتجاه  $[110]$  و موجة عرضية في الاتجاه  $[1\bar{1}0]$  ..... 64

الشكل (5-3): العلاقة بين القيمة العظمى لسرعة رايلي و ثابت المرونة  $\delta$  في البنية انتراسين  $PE$  ..... 65

الشكل (5-4): أنواع التغيرات غير العادية الظاهرة في نمط رايلي ..... 68

الشكل (5-5): تأثير السمك المنظم للطبقة و معامل المرونة  $\delta$  على تغيرات سرعة رايلي القصوى ..... 69



## قائمة الجداول

- الجدول (1-3): المميزات الصوتية للمواد المستعملة في دراسة فصل الانماط ..... 39
- الجدول (2-3): الزوايا المحرصة للنمط الطولي في الانتراسين باستخدام الغليسرين ..... 42
- الجدول (1-4): قيم السمك المنظم المقابلة لبداية مرحلة استقرار السرعة الطولية في البنية انتراسين  $SiO_2$  ..... 49
- الجدول (2-4): قيم السمك المنظم المقابلة لبداية مرحلة استقرار السرعة الطولية في البنية انتراسين  $Cu$  ..... 51
- الجدول (3-4): النسبة بين ممانعة النحاس و الممانعات الطولية للانتراسين وفق الاتجاهات البلورية المختلفة ..... 52
- الجدول (4-4): المميزات الصوتية للانتراسين وفق الاتجاهات البلورية المختلفة ..... 54

الجدول (5-1): المميزات المرورية للمواد المستعملة في دراسة  
التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي  
للبنية طبقة\مسند ..... 72

الجدول (5-2): التراكيب المستعملة في دراسة التغيرات غير العادية  
في منحنيات تبدد نمط رايلي للبنية طبقة\مسند ..... 73

## جدول المواد

i	المُلخَص
ii	Résumé
iii	Abstract
iv	قائمة الرموز
ix	قائمة الأشكال
xiii	قائمة الجداول
xv	جدول المواد
01	المقدمة العامة
04	الفصل الأول: مدخل إلى المجهرية الصوتية
05	1.1 مقدمة
07	2.1 المجهر الصوتي
07	1.2.1 تعريف المجهر الصوتي
10	2.2.1 طرق استخدام المجهر الصوتي
11	1.2.2.1 التصوير الصوتي
11	2.2.2.1 الامضاء الصوتي
11	1.2.2.2.1 النظرية الموجية للإمضاء الصوتي
12	2.2.2.2.1 النظرية الشعاعية للإمضاء الصوتي

17	.....	3.1	برنامج المحاكاة النظرية SAM
17	.....	1.3.1	كيفية حساب معامل الانعكاس $R(\theta)$
19	.....	2.3.1	كيفية حساب $V(z)$
20	.....	3.3.1	كيفية معالجة $V(z)$
22	.....	4.1	التعريف بالأنتراسين

## الفصل الثاني: دراسة العلاقات التحليلية لفعالية نمط رايلي

24	.....		في الأنتراسين
25	.....	1.2	دراسة العلاقة بين التواتر و فعالية نمط رايلي
27	.....	2.2	دراسة العلاقة بين كثافة المادة و فعالية نمط رايلي
29	.....	3.2	دراسة العلاقة بين مميزات سائل الربط و فعالية نمط رايلي
29	.....	1.3.2	دراسة العلاقة بين كثافة سائل الربط و فعالية نمط رايلي
32	.....	2.3.2	دراسة العلاقة بين سرعة سائل الربط و فعالية نمط رايلي
33	.....	4.2	دراسة العلاقة بين فتحة العدسة و فعالية نمط رايلي
35	.....	5.2	الاستنتاجات

## الفصل الثالث: دراسة فصل الأنماط في المجهرية الصوتية

37	.....	1.3	مقدمة
37	.....	2.3	مبدأ تقنية فصل الأنماط

39	شروط المحاكاة و المواد المستعملة	3.3
42	التطبيقات	4.3
43	الاستنتاجات	5.3

### الفصل الرابع: دراسة تأثير الاتجاهات البلورية للانتراسين

44	على تبدد مختلف الانماط في البنية انتراسين\مسند	
45	تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد النمط الطولي	1.4
45	البنية أنتراسين \ $SiO_2$	1.1.4
49	البنية انتراسين \ $Cu$	2.1.4
52	تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد النمط العرضي	2.4
53	تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد نمط رايلي	3.4
53	تعيين سرعة رايلي	1.3.4
54	التبدد السالب لنمط رايلي	2.3.4
54	البنية أنتراسين \ $SiO_2$	1.2.3.4
56	التبدد الموجب لنمط رايلي	3.3.4
56	البنية أنتراسين \ $PE$	1.3.3.4
58	الاستنتاجات	4.4

### الفصل الخامس: دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات

60	تبدد نمط رايلي في البنية انتراسين\مسند	
----	--	--

61	.....	مقدمة	1.5
62	.....	دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية انتراسين\ PE	2.5
63	.....	الدراسة الكيفية للظاهرة	1.2.5
64	.....	الدراسة الكمية للظاهرة	2.2.5
66	.....	دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة\مسند	3.5
70	.....	الاستنتاجات	4.5
74	.....	الاستنتاجات العامة	
77	.....	المراجع	

## المقدمة العامة

خلال السنوات الأخيرة، اهتمت مجموعات بحث عديدة بدراسة انصاف النواقل العضوية المرتكزة على الانتراسين<sup>[1]</sup>، فهو مرشح واعد لاستخدامه في تطوير أجهزة أشباه الموصلات العضوية<sup>[2]</sup>. فالانتراسين<sup>[3]</sup>، و مشتقات الانتراسين<sup>[4]</sup>، هي من المواد المرشحة بامتياز للصفامات الثنائية العضوية الباعثة للون الازرق (OLEDs)<sup>[5]</sup>. وقد تم استخدام الانتراسين في صناعة ترانزستورات التأثير المجالي العضوية (OFET)<sup>[7,6,2]</sup>.

الأنتراسين، هو واحدة من المواد الصلبة العضوية، ذات البنية البلورية الجزيئية، يملك خصائص بصرية والكترونية مميزة<sup>[8]</sup>. فالانتراسين وحيد البلورة يملك أعلى فعالية تألق ضوئي بين المواد العضوية المتألقة المعروفة، لهذا السبب يستخدم كمرجع تقارن به فعالية تألق باقي المواد الاخرى<sup>[9]</sup>، و هو يملك استقرار تأكسدي عالٍ مقارنة بما وجد بالنسبة للبنتاسين<sup>[1]</sup>.

الأنتراسين هو واحدة من المواد الصلبة العضوية التي تم دراسة خصائصها البصرية والكهربائية على نطاق واسع<sup>[10]</sup>، في حين ان خواصها المرورية لم تحظى بهذا القدر من الدراسة، و هو ما دفعنا الى دراستها، من خلال جعلها موضوع بحثنا في هذه الاطروحة.

الخواص المرورية المتمثلة في: ثوابت المرورية  $C_{ij}$ ، معاملات المرورية (معامل يونغ، معامل القص، معامل الانضغاط الحجمي...)، و سرعات انتشار مختلف الانماط الصوتية (النمط طولي، النمط عرضي، نمط رايلي، نمط لامب...)، يمكن ان تدرس بطرق ستاتيكية هدامة أو بطرق ديناميكية غير هدامة<sup>[11,13,20]</sup>. هذه الاخيرة تعتمد على انتشار الامواج فوق الصوتية في المواد المعتمدة ضوئياً، على شكل انماط صوتية

مختلفة تتميز بسرعات انتشار مرتبطة بطبيعة و نوعية العينة التي تنتشر فيها [14-15]، وهكذا، فإن هذه الأنماط الصوتية تحمل معلومات قيمة عن الخصائص المرونية للمواد.

قسمنا هذه الاطروحة الى خمسة فصول؛ الفصل الاول، يشمل الحديث عن التقنية المستخدمة. فهو عبارة عن مدخل الى المجهرية الصوتية، بعد التعريف بالمجهر الصوتي، ذكرنا طرق استخدامه، ثم تكلمنا عن البرنامج النظري المستخدم في هذه الدراسة، الخاص بمخبر انصاف النواقل، بجامعة باجي مختار بعنابة، و المتمثل في برنامج نظري يحاكي المجهر الصوتي الماسح SAM، العامل بنظام الانعكاس. نهاية هذا الفصل، خصصناها للتعريف بمادة الانتراسين، المستخدمة في هذا البحث كنموذج عن انصاف النواقل العضوية.

الفصل الثاني، حُصِّصَ لدراسة العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي. فسوف ندرس تأثير كل من: التواتر  $f$ ، كثافة المادة  $\rho$ ، كثافة سائل الربط  $\rho_{liq}$ ، و تأثير فتحة العدسة  $\theta_m$ ، على فعالية نمط رايلي في مادة الانتراسين، و نحاول إيجاد العلاقات التحليلية التي تصف تأثير كل واحد من هذه العوامل.

الفصل الثالث، فهو مُخصَّص لدراسة كيفية فصل الأنماط الصوتية؛ نمط رايلي، النمط العرضي و النمط الطولي في المجهرية الصوتية. ان طريقة فصل الأنماط هذه، سوف تطبق في الفصل الرابع، عند دراسة تبدد النمط الطولي.

الفصل الرابع، يُعنى بدراسة تأثير الاتجاهات البلورية للأنتراسين على تبدد مختلف الأنماط الصوتية في البنية انتراسين\مسند. سوف ندرس تأثير الاتجاهات البلورية للأنتراسين على تبدد النمط الطولي في البنيتين: انتراسين\  $SiO_2$ ، انتراسين\  $Cu$ ، كما ندرس تأثيرها على تبدد نمط رايلي في البنيتين: انتراسين\  $SiO_2$ ، انتراسين\  $PE$ .

الفصل الخامس، يُخصص لدراسة التغيرات غير العادية، الظاهرة في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية؛ انتراسين\  $PE$ ، المدروسة في الفصل الرابع، دراسة كيفية و كمية، ثم تعميم هذه الدراسة على مختلف



البنى؛ طبقة\مسند، حيث تشمل جميع انواع، التغيرات غير العادية، التي يمكن ان تظهر في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة\مسند، من خلال البحث عن شروط حدوث هذه الظاهرة، ثم البحث عن معامل المرونة الذي يتحكم في نوع التغير غير العادي الحادث، و في الاخير محاولة تكميم هذه الظاهرة.

في النهاية نختم هذه الأطروحة، بتلخيص النتائج المتحصل عليها في فقرة، الاستنتاجات العامة.

الفصل الاول

مدخل الى المجهرية الصوتية

## 1.1 مقدمة

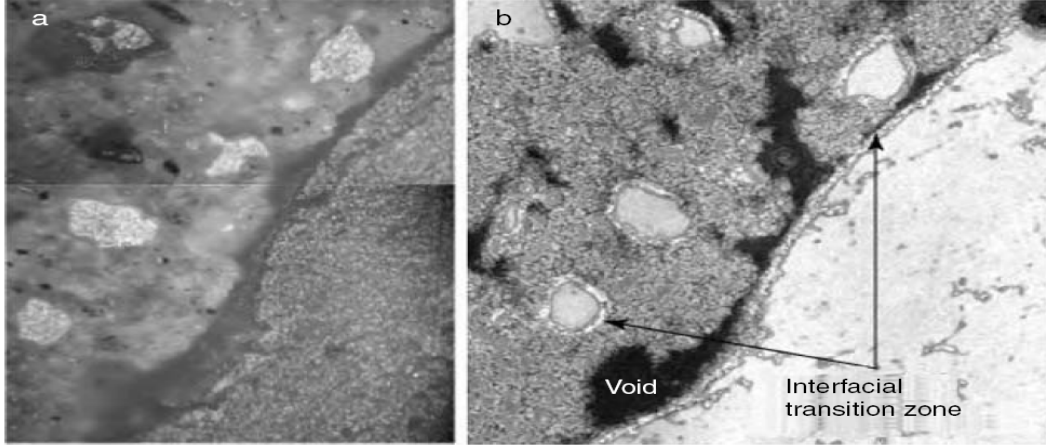
تعتمد المجهرية الصوتية على تفاعل (استجابة) الخواص المرورية للمواد مع الموجات الصوتية، وبالتالي فهي توفر معلومات عن التغيرات المحلية في الخصائص المرورية. فهي تسمح بتصوير التفاعل بين الامواج الصوتية و الخواص المرورية بمقدرة فصل عالية، من رتبة الميكرون، و قد تصل الى رتبة الأنجستروم من أجل درجات الحرارة الجد منخفضة. نذكر على سبيل المثال لا الحصر، بأن المجهرية الصوتية حساسة بشكل خاص للشقوق الدقيقة التي قد لا تكون ملحوظة من قبل التقنيات الأخرى. و قد سبق أن طُبقت على طائفة واسعة من المواد، بما في ذلك العينات البيولوجية، المعادن، انصاف النواقل، المواد المركبة والسيراميك، وما إلى ذلك<sup>[16]</sup>.

كما هو الحال بالنسبة لجميع التقنيات الأخرى، فمن الضروري أن يكون هناك فهم واضح لآليات تباين السطوع في الصور المتحصل عليها، حتى يمكن تفسير المشاهدات بكل ثقة.

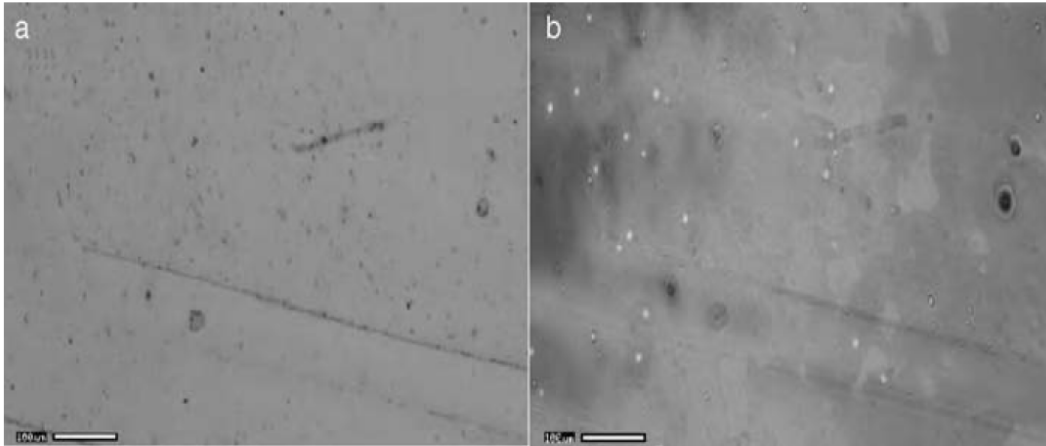
يعتمد اختيار نوع المجهر المستعمل لمهمة معينة، على الاختلاف في الآليات الكامنة وراء التباين، التي تكشف عن الخصائص الفيزيائية المختلفة، فالصور الضوئية تعكس اختلاف الخصائص البصرية لسطح العينة مثل معامل الانكسار، بينما يتم تحديد التباين في الصور الصوتية من الاختلاف في الممانعة الصوتية<sup>[17]</sup>. الشكل (1-1)، يوضح الفرق بين الصورة الضوئية و الصورة الصوتية لنفس العينة.

واحدة من السمات الرئيسية للمجهر الصوتي هي إمكانية تصوير البنية تحت السطحية للجسم، لأنه لا توجد مواد معتمة تماما للأمواج الصوتية. فمثلا الشكل (1-2) يبين صورة سطحية لطبقة من الايبوكسي (Epoxy) سمكها  $20 \mu\text{m}$  فوق مسند من الالمنيوم، و صورة تحت سطحية على عمق  $Z = 20 \mu\text{m}$  تحت السطح، أي عند السطح الفاصل بين الطبقة و المسند، تبين بوضوح عدد وحجم الفجوات (النقاط اللامعة) الموجودة عند السطح الفاصل<sup>[18]</sup>.

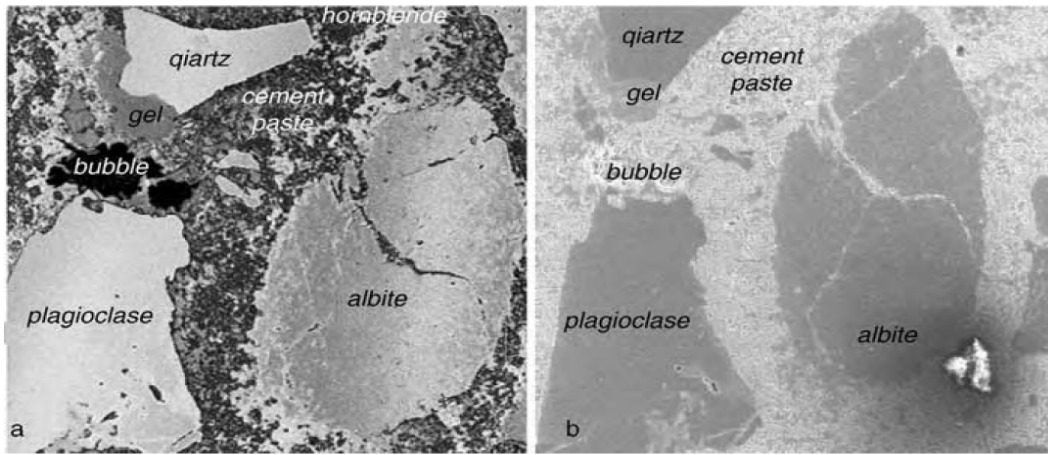
كما انه بالنسبة لبعض المواد فان المجهر الصوتي الماسح يقدم معلومات غير مرئية حتى في المجهر الإلكتروني الماسح، وذلك ما توضحه الصورة المبينة في الشكل (3-1).



الشكل (1-1): a- صورة صوتية لعينة من الخرسانة، مصنوعة من حبيبات الجير  
b- صور صوتية لنفس العينة، من اجل مسافة بؤرية  $Z = 0$   
و تواتر  $f = 400MHz$  [17].



الشكل (2-1): صور صوتية لطبقة من الايوكسي على الألومنيوم [17]،  
من اجل تواتر  $f = 300 MHz$  ، a- مسافة بؤرية  $Z = 0$   
b- مسافة بؤرية  $Z = -20 \mu m$



الشكل (3-1): a- الصور الصوتية لعينة من الخرسانة، مصنوعة من حبيبات الجرانيت، من اجل مسافة بؤرية  $Z = 0$  و تواتر  $f = 400MHz$  .  
 b- صور المجهر الإلكتروني الماسح لنفس العينة<sup>[17]</sup>.

## 2.1 المجهر الصوتي

يلعب المجهر الصوتي الماسح دوراً مهماً جداً، ليس فقط في الدراسات النوعية، لكن في القياسات الكمية كذلك<sup>[22-18]</sup>. يوجد نوعان من المجاهر الصوتية؛ المجهر الصوتي الماسح العامل بنظام النفاذ، و هو أول الأنواع ظهوراً، و المجهر الصوتي الماسح العامل بنظام الانعكاس، و هو الأكثر استعمالاً، سواءً في الدراسات المخبرية أو في الصناعة، كما هو الحال في دراستنا هذه. لذلك سوف نتحدث فيما يلي عن هذا الأخير، من ناحية التركيب، و طرق الاستعمال.

### 1.2.1 مكونات المجهر الصوتي

يتكون المجهر الصوتي العامل بنظام الانعكاس من عدة أجزاء، يلعب كلٌ منها دوراً محددًا، كما هو موضح في الشكل (4-1)<sup>[23]</sup>، حيث يمثل: 10، 11: قطبين كهربائيين، 20: محول الضغطية الكهربائية، 40: خط التأخير الصوتي (وسط الانتشار)، 41: النهاية المستوية لوسط الانتشار التي يثبت عليها محول الضغطية الكهربائية، 42: العدسة الصوتية، 50:

سائل الربط، 60: العينة، 70: حامل العينة، 80: موجة صوتية مستوية، 100: مولد الاشارة الراديوية الداخلة الى محول الضغطية الكهربائية، 110: مستقبل الاشارة الخارجة من محول الضغطية الكهربائية، 120: تجهيز المسح الميكانيكي، 130: جهاز الكمبيوتر (الشاشة)، لكن أهم هذه الاجزاء هو المجموعة عدسة- محول.

- **محول الضغطية الكهربائية:** يعمل على تحويل الإشارة الكهربائية عالية التردد ( ذات تردد راديوي)، الى موجة فوق صوتية لها نفس التردد، كما يحول الموجة فوق صوتية الى اشارة كهربائية. يتكون من طبقة رقيقة مصنوعة، عادةً، من أكسيد الزنك  $ZnO$ ، او  $LiNbO_3$  سمكها عدة ميكرونات، مترسبة على النهاية المستوية لقضيب الصفيح الذي يمثل خط التأخير الصوتي.

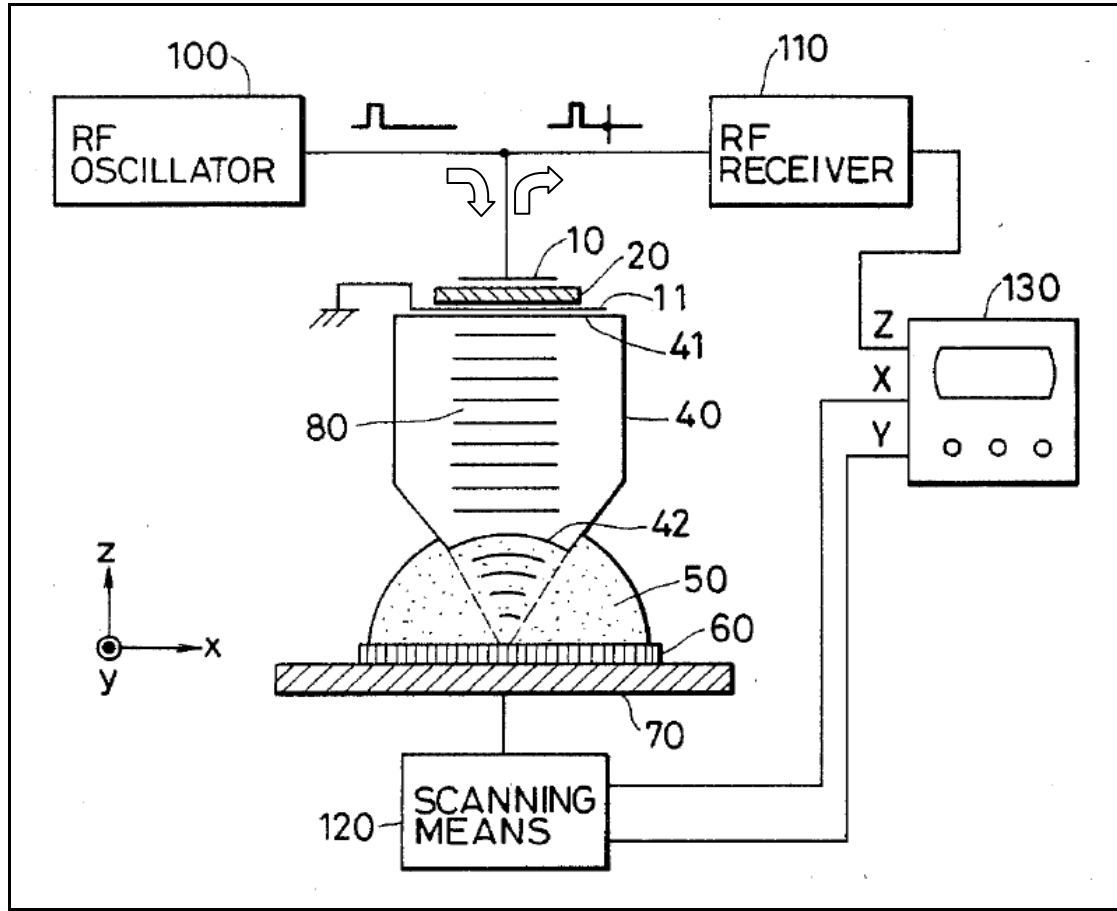
- **خط التأخير الصوتي:** يمثل الوسط الذي تنتشر فيه الموجة الصوتية الناتجة عن محول الضغطية الكهربائية، لذلك يسمى بوسط الانتشار؛ هو عبارة عن قضيب صغير، من الصفيح (الياقوت  $Al_2O_3$ ) احادي البلورة، محوره منطبق تماماً على المحور البلوري- C للصفيح، نهايته العليا مستوية و ملساء تماماً أما النهاية السفلى فتحفر فيها العدسة الصوتية، طوله محدود بتفرق او تباعد الحزمة الصوتية، الذي يعبر عنه بطول فرينل  $L_0$  الذي يعطى بالعلاقة  $L_0 = a_T^2 / \lambda$ ، حيث  $a_T$  يمثل نصف قطر محول الضغطية الكهربائية،  $\lambda$  طول الموجة الصوتية في القضيب<sup>[24]</sup>. سبب اختيار الصفيح هو تميزه بسرعة صوتية عالية  $11100 \text{ m/s}$ ، اضافة الى معامل اضمحلال ضعيف  $0,5 \text{ dB cm}^{-1} \cdot \text{GHz}^{-2}$ .

- **العدسة الصوتية:** هي عبارة عن تجويف كروي او اسطواني أملس محفور في نهاية قضيب الصفيح (الياقوت  $Al_2O_3$ ). لزيادة نفاذ الطاقة او التقليل من الانعكاس عند السطح الفاصل بين العدسة و سائل الربط تغطى العدسة بطبقة سمكها ربع طول الموجة، من مادة ممانعتها  $Z = \sqrt{Z_1 Z_2}$ ، محصورة بين ممانعتي

كل من الصفيير ( $Z_1$ ) و سائل الربط ( $Z_2$ )، أهم المواد المستعملة لهذا الغرض هي: Borosilicate<sup>[16]</sup>،  $SiO_2$ <sup>[25]</sup>، Chalcogenide<sup>[26]</sup>.

- **سائل الربط:** من اجل ضمان وصول الامواج الصوتية، الناتجة عن محول الضغطية الكهربائية، الى العينة، نستعمل سائل للربط بين العدسة و العينة، لأن الأمواج الصوتية لا تنتشر في الفراغ، وفي نفس الوقت فان السائل، يسمح للعدسة بحرية الحركة الافقية و الشاقولية، عند مسح العينة. بالنسبة لدرجات الحرارة العادية فإنه لا يوجد أفضل من الماء، حتى من أجل الأعمال ذات مقدرة الفصل العالية فإن الماء الساخن هو تقريبا السائل الوحيد المستعمل<sup>[16]</sup>، ذلك لأنه يتوافق مع معظم المواد، كما ان معامل انكسار الأمواج الصوتية المنتقلة من الصفيير (الياقوت) الى الماء يكون كبير جدا، و هذا له فائدتان؛ الاولى، باستخدام سطح كاسر واحد فإن الزيوغ ( aberrations ) تكون صغيرة جدا، من ناحية ثانية و في نفس الوقت، فإن الفتحة العددية للعدسة ( $N.A. = \sin \theta_m$ ) يمكن ان تكون كبيرة مما يؤدي الى زيادة مقدرة الفصل، التي تعطى بالعلاقة  $w = 0,51\lambda_0 / N.A.$ <sup>[16]</sup>، حيث  $\lambda_0 = v_0 / f$ ، التواتر و  $v_0$  سرعة الامواج الصوتية في السائل. أما بالنسبة لدرجات الحرارة المنخفضة فإن سائل الربط المثالي فهو الهيليوم السائل<sup>[35]</sup>.

نظرا للطبيعة البؤرية للمجهر الصوتي الماسح، و بما ان الامواج الصوتية في المجهر الصوتي العامل بنظام الانعكاس، تجمع بواسطة نفس العدسة، في حالة انتقال الامواج الصوتية نحو العينة، و في حالة انعكاسها منها، فإننا نحصل فقط على احسن تجميع للإشارة عندما يكون السطح العاكس واقع في المستوى المحرق للعدسة<sup>[27]</sup>. و بما اننا نستخدم نفس محول الضغطية الكهربائية، لإصدار و استقبال هذه الامواج الصوتية، فيجب ان يكون واقع في مستوي يناظر تماماً المستوى البؤري للعدسة<sup>[17]</sup>.



الشكل (1-4): مخطط لمجهر صوتي ماسح يعمل بنظام الانعكاس [23].

## 2.2.1 طرق استخدام المجهر الصوتي

ان الحصول على اشارة خروج كهربائية، بالنسبة لنقطة محددة من العينة، بواسطة مجهر صوتي ماسح يعمل بنظام الانعكاس يتطلب مجموعة من العمليات المتتابعة؛ تبدأ بإصدار محول الضغطية الكهربائية لحزمة من الموجات فوق الصوتية بتواتر معين، تنتشر في وسط الانتشار، بعد ذلك يتم تجميعها بواسطة العدسة الصوتية، لتنتشر من خلال سائل الربط إلى العينة، ثم تنعكس من العينة إلى سائل الربط، فالعدسة، وصولاً إلى محول الضغطية الكهربائية عبر وسط الانتشار، حيث تنتج اشارة الخروج للجهد الكهربائي، التي يتم تسجيلها (تخزينها) في ذاكرة جهاز الكمبيوتر. تكرر



هذه العملية من اجل كل نقطة، حيث يمكن مسح العينة افقيا او شاقوليا، و هو ما يحدد طريقة الاستعمال للمجهر الصوتي.

### 1.2.2.1 التصوير الصوتي

في حالة التصوير الصوتي، يتم الحصول على البيانات، من اجل مسافة بؤرية ثابتة، أي؛ المسافة الشاقولية بين العدسة و العينة تكون ثابتة، و بما ان الامواج الصوتية تكون مركزة على محور العدسة، فان العدسة يجب ان تمسح العينة افقيا من اجل تشكيل صورة لهذه العينة، حيث يتم تفحصها او مسحها بطريقة ميكانيكية، نقطة بنقطة ثم سطرًا بسطر، حيث تسجل في كل مرة قيمة اشارة جهد الخروج الكهربائي لكل نقطة يتم تفحصها، ثم تجمع هذه القيم المسجلة لجهد الخروج الكهربائي، و تركيب معاً لنحصل على صورة ذات تدرج رمادي (صورة باللونين الأبيض و الاسود) للعينة على شاشة الكمبيوتر.

### 2.2.2.1 الامضاء الصوتي

أما في حالة البحث عن الإمضاء الصوتي للعينة، فيتم الحصول على البيانات، من اجل قيم مختلفة للمسافة البؤرية  $z$ ، فنغير المسافة الشاقولية بين العدسة و العينة في كل مرة نقيس فيها اشارة الخروج لمحور الضغطية الكهربائية؛ أي نقيس جهد الخروج الكهربائي للنقاط الواقعة على محور العدسة، ثم بتجميع النتائج المتحصل عليها يظهر على شاشة الكمبيوتر، منحنى دوري يعبر عن تغيرات جهد الخروج الكهربائي بدلالة المسافة البؤرية  $z$ ، و الذي يمثل الامضاء الصوتي،  $V(z)$ ، او الاستجابة الصوتية.

### 1.2.2.2.1 النظرية الموجية للإمضاء الصوتي

تعتمد هذه الطريقة على استخدام تحليل فورييه، لتفسير الإمضاء الصوتي، و قد اقترحت عدة نماذج لتمثيل  $V(z)$  [32-28]، لكن أبسطها

هو نموذج الطيف الزاوي لشيبارد - ويلسون<sup>[30]</sup>. بالنسبة لهذا الأخير، فقد تم اشتقاق عبارة  $V(z)$  المعبر عنها بالعلاقة (1-1):

$$(1-1) \quad V(z) = \int_0^{\theta_m} P^2(\theta) R(\theta) \exp(2ik_0 Z \cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\theta$$

حيث،  $P(\theta)$  تمثل دالة العدسة،  $R(\theta)$  معامل الانعكاس،  $k_0 = 2\pi f / v_0$  يمثل العدد الموجي،  $f$  يمثل التواتر،  $\theta$  زاوية الورود، أما  $\theta_m$  فهي نصف فتحة العدسة،  $z$  المسافة البؤرية؛ البعد بين المستوي المحرق (البؤري) للعدسة و سطح العينة.

ميزة هذه الطريقة انها تأخذ في الحسبان جميع الانماط الصوتية الموجودة، و التي يمكن ان يكون لها تأثير على  $V(z)$ ، فلا نحتاج الى معرفة سرعة رايلي  $v_R$ ، و لا الى حساب الزاوية الحدية  $\theta_R$  المولدة لهذا النمط، فجميع زوايا الورود تؤخذ في الحسبان عند اجراء التكامل السابق.

بما ان حساب التكامل في نموذج الطيف الزاوي، يتم بطريقة عددية، فليس من السهولة رؤية كيفية تأثير المتغيرات الهندسية و المعاملات الصوتية للعدسة و العينة في الامضاء الصوتي  $V(z)$ ، بالنسبة لهذا النموذج.

#### 2.2.2.2.1 النظرية الشعاعية للإمضاء الصوتي

يقدم نموذج الشعاع الضوئي لبرتون<sup>[30، 33]</sup>، في المجهر الصوتي العاكس، تفسيراً فيزيائياً للإمضاء الصوتي، فهو ناتج عن التداخل البناء و الهدام لأموج رايلي المتسربة، مع الأمواج المركزية المنعكسة من سطح العينة بشكل متناظر هندسياً (الاشعة المركزية القريبة من محور العدسة؛ أي الواردة بزوايا ورود صغيرة)<sup>[18، 24]</sup>، كما يوضح كيفية تأثير المتغيرات

الهندسية و المعاملات الصوتية للعدسة و العينة في  $V(z)$ ، ذلك ما نعبر عنه بالعلاقة (2-1).

$$(2-1) \quad V(z) = V_G(z) + V_R(z)$$

حيث  $V_G(z)$  تمثل اشارة الخروج الناتجة عن الأمواج المنعكسة من سطح العينة بشكل متناظر هندسيا، و تعطى بالعلاقة (3-1).

$$(3-1) \quad V_G(z) = V_0 A R_0(0) \left( \frac{-2z_0 F_T}{\pi z} \right) (\sin X_R) \exp \{ 2(ik_0 - \alpha_0)z + iX_R \}$$

$$(4-1) \quad A = -\exp [ i 2k_0 (D/n + q) - 2\alpha_0 q ]$$

$$(5-1) \quad X_R = \frac{\pi}{2F_T} \times \begin{cases} \frac{z}{z - z_0}, & z \leq z_{\min} \text{ or } z \geq z_{\max} \\ \left( \frac{a_0}{a_T} \right)^2 \frac{z(z - z_0)}{z_0^2}, & z_{\min} < z \leq 0 \\ \left( \frac{a_0}{a_T} \right)^2 \frac{z(z - z_0)}{z_0^2 (1 + 2z/q)^2}, & 0 < z < z_{\max} \end{cases}$$

$$(6-1) \quad z_{\min} = -q^2 \left[ \frac{(a_T/a_0) - 1}{2n(D - q/n)} \right] \approx -z_0 \left[ \frac{a_T}{a_0} - 1 \right]$$

$$(7-1) \quad z_0 = \frac{q^2}{2n(D - q/n)} \approx \left( \frac{q}{a_T} \right)^2 \frac{\lambda_0}{2F_T}$$

$$(8-1) \quad z_{\max} = \frac{q^2 (1 + a_T/a_0)}{2n [ D - (1 + a_T/a_0)q/n ]} \approx z_0 \left[ \frac{a_T}{a_0} + 1 \right]$$

$$(9-1) \quad F_T = n(D - q/n) \lambda_0 / a_T^2$$

$$(10-1) \quad q = \frac{nr}{n-1}$$

يوضح الشكل (5-1)، المقادير الهندسية المذكورة أعلاه، و هي؛  $a_T$ : نصف قطر محول الضغطية الكهربائية،  $a_0$  نصف قطر فتحة العدسة،  $D$  البعد بين محول الضغطية الكهربائية و سطح العدسة عند محورها،  $z$  المسافة البؤرية؛ هي البعد بين المستوي المحرق للعدسة ( $z=0$ ) و سطح العينة،  $q$  البعد المحرق للعدسة،  $r$  نصف قطر انحناء (تجويف) العدسة الكروية المستعملة، أما  $n$  فيمثل معامل انكسار العدسة؛ و هو النسبة بين سرعة الامواج الطولية في مادة العدسة و سرعة الامواج الصوتية (الطولية) في السائل. أما  $R_0(0)$  فيمثل معامل الانعكاس العمودي، حيث  $R_0(k_x)$  يعطى بالعلاقة (11-1). بينما  $Z_{\min}$ ،  $Z_{\max}$  فيمثلان القيم الحدية للمسافة البؤرية التي من اجلها الأشعة المنعكسة تغطي كل مساحة محول الضغطية الكهربائية؛ اذن من اجل  $Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$  كل الاشعة المنعكسة داخل العدسة تقع على محول الضغطية الكهربائية، في حين انه بالنسبة لقيم المسافة البؤرية الواقعة خارج هذا المجال فإن بعض الاشعة سوف لن يسقط على محول الضغطية الكهربائية نهائياً،  $Z_0$ : المسافة البؤرية التي من اجلها تتجمع الاشعة المنعكسة هندسياً على محول الضغطية الكهربائية [15].

$$(11-1) \quad R_0(k_x) = R(k_x) - \left( \frac{k_p^2 - k_0^2}{k_x^2 - k_p^2} \right)$$

$R(k_x)$  هو معامل الانعكاس عند السطح الفاصل بين السائل و الجسم الصلب المتماثل المناحي، الذي يعطى بالعلاقة (12-1).

$$(12-1) \quad R(k_x) = \frac{\left[ (2k_x^2 - k_s^2)^2 - 4k_x^2 \sqrt{(k_x^2 - k_l^2)(k_x^2 - k_s^2)} \right] - ik_s^4 (\rho_0 / \rho_l) \sqrt{(k_x^2 - k_l^2) / (k_0^2 - k_x^2)}}{\left[ (2k_x^2 - k_s^2)^2 - 4k_x^2 \sqrt{(k_x^2 - k_l^2)(k_x^2 - k_s^2)} \right] + ik_s^4 (\rho_0 / \rho_l) \sqrt{(k_x^2 - k_l^2) / (k_0^2 - k_x^2)}}$$

$$(13-1) \quad k_x = k_0 \sin \theta$$

حيث،  $\theta$  تمثل زاوية الورود؛ الزاوية المحصورة بين الشعاع الوارد الى العينة (داخل السائل) و محور العدسة، الذي يكون عموديا على سطح العينة.  $\rho_0$  كثافة السائل،  $\rho_1$  كثافة الجسم الصلب (العينة)،  $k_0 = 2\pi / \lambda_0$  الشعاع الموجي في السائل،  $\lambda_0$  الطول الموجي للأمواج الصوتية في السائل. بينما  $k_x$  يمثل المركبة المماسية للشعاع لموجي. أما  $k_{l,s,R}$  فهو الشعاع الموجي لأمواج رايلي، الأمواج العرضية، و الأمواج الطولية، الذي يرتبط بالطول الموجي  $\lambda_{l,s,R}$  للأمواج رايلي، الأمواج العرضية، و الأمواج الطولية في الجسم الصلب وفق العلاقة (14-1).

$$(14-1) \quad k_{l,s,R} = \frac{2\pi}{\lambda_{l,s,R}}$$

$$(14-1) \quad k_p \equiv k_R + i\alpha_R$$

يعطى معامل تخامد أمواج رايلي، الناتج عن التسرب في السائل  $\alpha_R$  بالعلاقة (15-1) [30،25].

$$(15-1) \quad \alpha_R \lambda_0 \approx \frac{\rho_0 v_0^2}{\rho_1 v_R^2} = \frac{\rho_0}{\rho_1} \sin^2 \theta_R$$

أما  $V_R(z)$  فهي اشارة الخروج الناتجة عن أمواج رايلي المتسربة التي تعطى بالعلاقة (16-1). ان التعاكس في الطور بين  $V_R(z)$  و  $V_G(z)$  يؤدي الى ظهور القيم الدنيا، بينما تظهر القيم العظمى عندما يحدث توافق في الطور بين  $V_R(z)$  و  $V_G(z)$ .

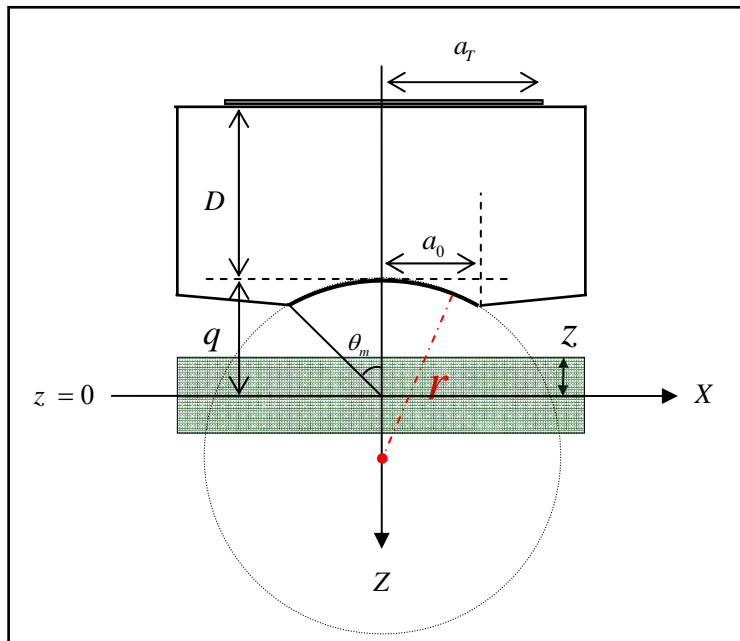
$$(16-1) \quad V_R(z) = V_0 AK \left\{ \frac{2\alpha_R \lambda_0 (\sqrt{\pi q^3 \sin \theta_R})^{1/2}}{(n\lambda_0 D)^{3/4}} \right\} e^{i\pi} \cdot \exp\{2k_0 z \cos \theta_R\} \cdot \exp\{2z (\alpha_T \tan \theta_R - \alpha_0 \sec \theta_R)\}$$

$$(17-1) \quad K = e^{-i\pi/4} \frac{2}{\eta_T^2} \int_0^{\eta_T} \left\{ \exp\left[i(\eta - \eta_R)^2\right] + e^{-i\pi/2} \exp\left[i(\eta + \eta_R)^2\right] \right\} \sqrt{\eta} d\eta$$

$$(18-1) \quad \eta_T = a_T \sqrt{\frac{k_0}{2nD}} \approx \sqrt{\frac{\pi}{F_T}}$$

$$(19-1) \quad \eta_R = a_R \sqrt{\frac{k_0}{2nD}} \approx \sqrt{\frac{\pi}{F_T}} \left( \frac{a_R}{a_T} \right)$$

$\alpha_0$ : معامل التخماد في السائل،  $\alpha_T$ : معامل التخماد الكلي لأمواج رايلي لكل وحدة مسافة، و هو قد يشمل مساهمة كل من التشتت المرن، التبدد غير المرن، و التسرب في سائل الربط<sup>[14]</sup>،  $V_0$  يمثل استجابة محول الضغطية الكهربائية لحقل منتظم سعته تساوي الوحدة، أما  $\theta_R$  فهي زاوية الورود الحدية التي تتولد عندها أمواج رايلي السطحية.



الشكل(5-1): هندسة و إحدائيات الجملة المستخدمة في أنموذج الشعاع الضوئي.

### 3.1 برنامج المحاكاة النظرية SAM

برنامج التمثيل النظري SAM، هو نموذجاً نظرياً يحاكي المجهر الصوتي الماسح العامل بنظام الانعكاس، يتضمن عدة اختيارات للبنية المراد دراستها؛ بنية حجمية أو طبقية، و هو يسمح بحساب سرعات الانماط الصوتية المختلفة، فلحساب هذه السرعات أو إحداها، يكفي تغذية البرنامج بالبيانات الآتية:

- **مميزات المجموعة عدسة - محول:** تواتر العمل  $f$ ، فتحة العدسة  $\theta_m$ .
- **مميزات سائل الربط:** كثافة السائل  $\rho_0$ ، سرعة انتشار الامواج الطولية في السائل  $v_0$ .
- **مميزات المسند:** سرعة الامواج العرضية  $v_{Ts}$ ، سرعة الامواج الطولية  $v_{Ls}$ ، و كثافة المسند  $\rho_s$ .
- **مميزات الطبقة:** سرعة الامواج العرضية  $v_{Tc}$ ، السرعة الطولية  $v_{Lc}$ ، و كثافة الطبقة  $\rho_c$ ، بالإضافة إلى سمك هذه الطبقة  $h$ .

#### 1.3.1 كيفية حساب معامل الانعكاس $R(\theta)$

معامل الانعكاس  $R(\theta)$  هو دالة مركبة للخواص المرونية، للعينة المدروسة، يعتمد على الممانعات الصوتية لكل من سائل الربط  $Z_{liq}$ ، الطبقة  $Z_c$ ، و المسند  $Z_s$ . ففي الحالة الحجمية أي البنية سائل\صلب، يحسب معامل الانعكاس من العلاقة (20-1)<sup>[34]</sup>.

$$(20-1) \quad R(\theta) = \frac{Z_{sol} - Z_{liq}}{Z_{sol} + Z_{liq}}$$

حيث الممانعات الصوتية:

$$(21-1) \quad \begin{cases} Z_{liq} = \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta \\ Z_{sol} = Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T \\ Z_L = \rho_{sol} V_L / \cos \theta_L \\ Z_T = \rho_{sol} V_T / \cos \theta_T \end{cases}$$

$\rho$  |<sub>liq,Sol</sub>: كثافة الجسم الصلب، كثافة السائل.

$V$  |<sub>liq,L,T</sub>: سرعة الامواج العرضية و الامواج الطولية في الجسم الصلب، وسرعة الامواج في السائل.

$Z$  |<sub>liq,Sol,L,T</sub>: الممانعة العرضية، الطولية، الكلية للصلب و ممانعة السائل.

بالتعويض من العلاقة (21-1)، في العلاقة (20-1) نحصل على:

$$(22-1) \quad R(\theta) = \frac{Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T - \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta}{Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T + \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta}$$

أما في الحالة الطباقية أي البنية طبقة\مسند، فإذا كان سمك الطبقة  $h$ ، فإن معامل الانعكاس يحسب من العلاقة (23-1)<sup>[36]</sup>.

$$(23-1) \quad R(\theta) = \frac{Z_{in} - Z_{liq}}{Z_{in} + Z_{liq}}$$

$$(24-1) \quad Z_{in} = Z_C \frac{Z_S - iZ_C \tan \varphi}{Z_C - iZ_S \tan \varphi}$$

$$(25-1) \quad Z |_{i=liq,C,S} = \frac{\rho_i V_i}{\cos \theta_i}$$



$$(26-1) \quad \varphi = k_c h \cos \theta_c$$

$$(27-1) \quad R(\theta) = \frac{(Z_s + Z_c)(Z_c - Z_{liq}) \exp(-2i\varphi) + (Z_s - Z_c)(Z_c + Z_{liq})}{(Z_s + Z_c)(Z_c + Z_{liq}) \exp(-2i\varphi) + (Z_s - Z_c)(Z_c - Z_{liq})}$$

من الواضح انه عندما  $h \rightarrow 0$ ، أو  $h \neq 0$  و  $Z_c \rightarrow Z_s$ ، فان :

$$(28-1) \quad R(\theta) = \frac{Z_s - Z_{liq}}{Z_s + Z_{liq}}$$

### 2.3.1 كيفية حساب $V(z)$

إن حساب الاستجابة الصوتية  $V(z)$ ، في برنامج المحاكاة *SAM*، يعتمد على نموذج الطيف الزاوي لشيبارد - ويلسون، المذكور أعلاه، والذي يعطى العلاقة (29-1).

$$(29-1) \quad V(z) = \int_0^{\theta_m} P^2(\theta) R(\theta) \exp(2ik_0 Z \cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\theta$$

بالنسبة لدالة العدسة المستخدمة في المحاكاة العددية هناك العديد من النماذج الممكنة، لكن ابسطها هو النموذج الأولي الذي يستخدم في حالة العدسة المثالية، و هو يعطى بالعلاقة (30-1)<sup>[37]</sup>. كما يمكن استخدام نموذج اكثر واقعية لدالة العدسة، يعطى بالعلاقة (31-1)<sup>[38]</sup>. كما انه في حالة عدسة نصف زاويتها العظمى  $50^\circ$ ، فإن دالة العدسة تعطى بالعلاقة (32-1)<sup>[39]</sup>. اضافة الى النموذج الغوسي (*Gaussian*) لدالة العدسة المعرف بالعلاقة (33-1)<sup>[48]</sup>.

$$(30-1) \quad P(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta \leq \theta_m \\ 0 & \theta > \theta_m \end{cases}$$

$$(31-1) \quad P(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \pi \frac{\cos \theta - 1}{\cos \theta_m - 1} \right) \right], & \theta \leq \theta_m \\ 0 & \theta > \theta_m \end{cases}$$

$$(32-1) \quad P^2(\theta) = \exp \left( -3.5 \times (50)^2 \left( \frac{\theta}{\theta_m} \right)^2 \right)$$

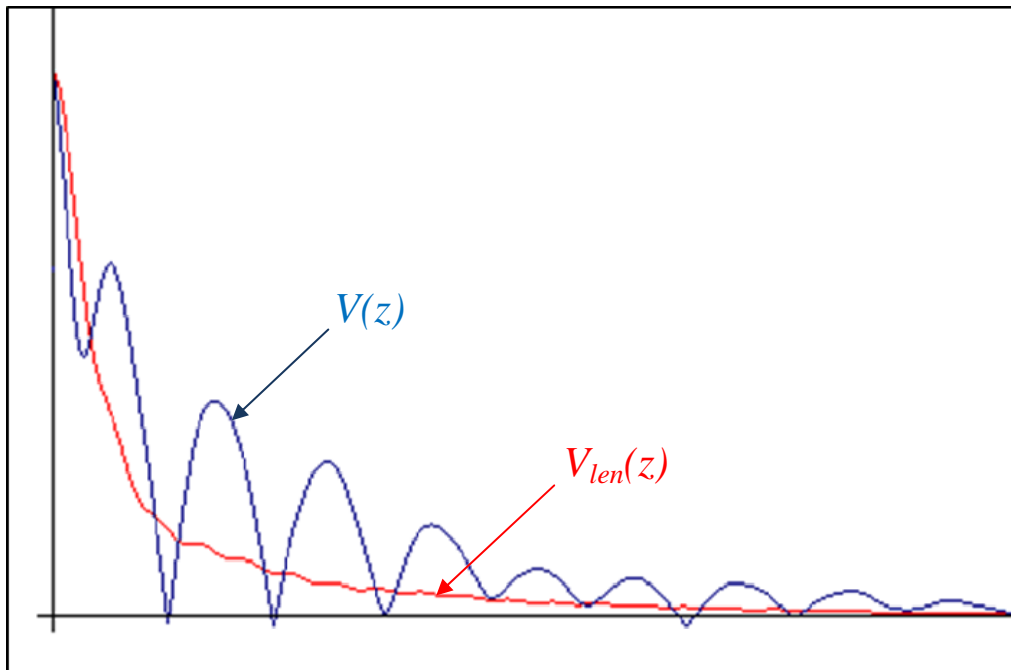
$$(33-1) \quad P^2(\theta) = \exp(\log(0.005)(1 - \cos \theta)^2 / (1 - \cos \theta_m)^2)$$

### 3.3.1 كيفية معالجة $V(z)$

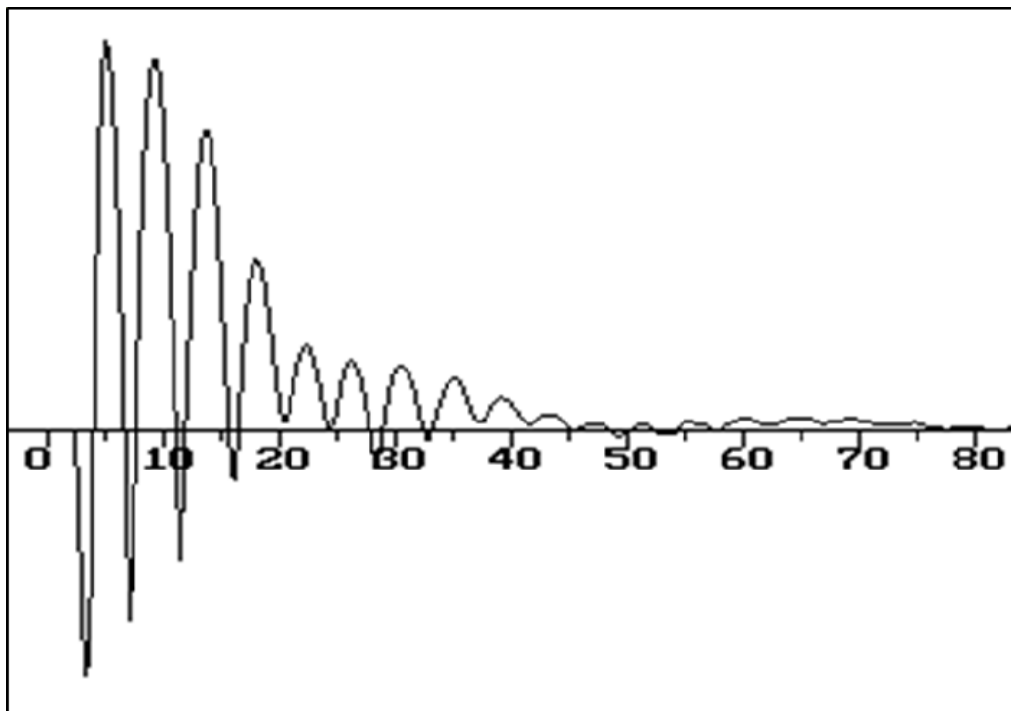
تجدر الإشارة إلى أن منحنيات  $V(z)$  الناتجة، تمثل استجابة العدسة  $V_{len}(z)$ ، و استجابة العينة المدروسة  $V_s(z)$  معاً. لذلك، حتى نتمكن من تحليل استجابة العينة المدروسة يجب معالجة  $V(z)$ ، باتباع الخطوات الآتية.

أولاً، يجب اختزال استجابة العدسة  $V_{len}(z)$  (التي تعتبر مكافئة للإمضاء الصوتي لمادة عاكسة تماماً مثل الذهب)، للحصول على استجابة العينة  $V_s(z) = V(z) - V_{len}(z)$ ، التي تعبر عن الإشارة الصوتية الحقيقية للمادة المدروسة، و التي تظهر على شكل دوري، جيبي، متخامد.

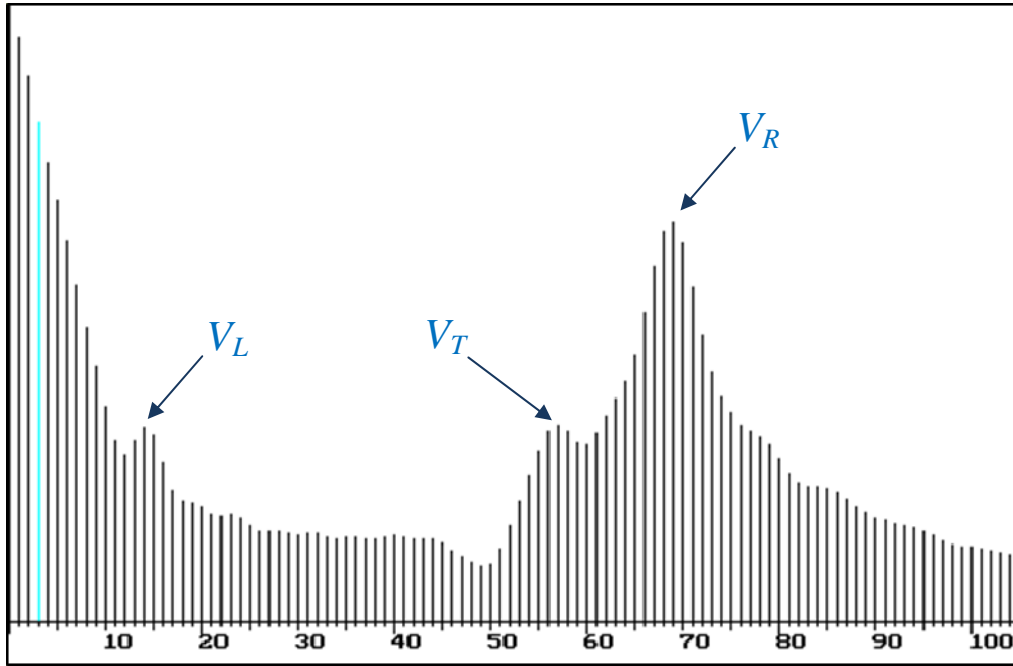
ثانياً، المعالجة الطيفية لمنحنى استجابة العينة المدروسة  $V_s(z)$ ، باستخدام تحويل فورييه السريع  $FFT$ ، حيث يعبر كل خط طيف واضح فيه، عن وجود نمط صوتي معين، الذي يمكن حساب سرعة انتشاره، بإدخال رقم الخط المقابل لهذا النمط في برنامج  $SAM$ .



الشكل(6-1): استجابة العدسة  $V_{len}(z)$  و استجابة الجملة (عدسة + عينة)  $V(z)$



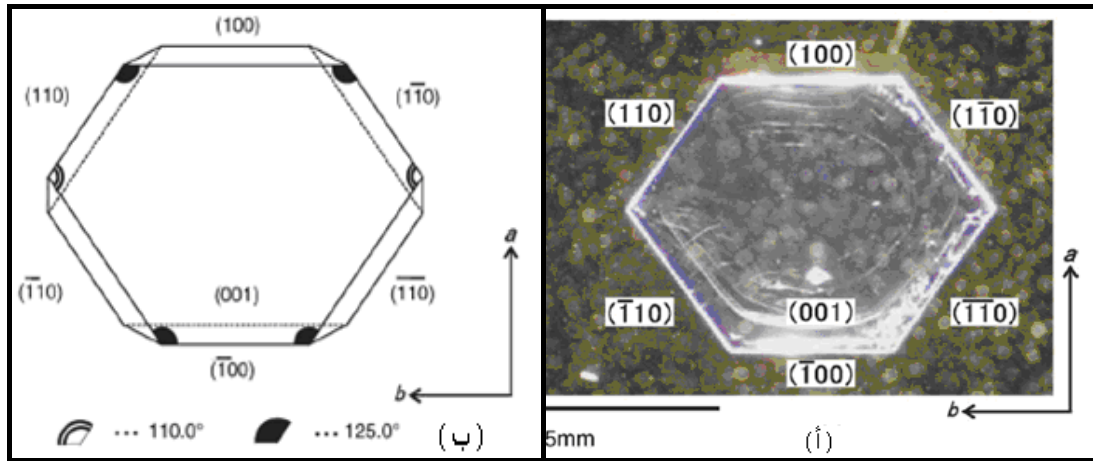
الشكل(7-1): استجابة العينة  $V_s(z)$



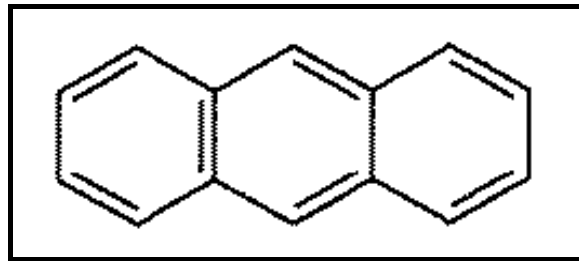
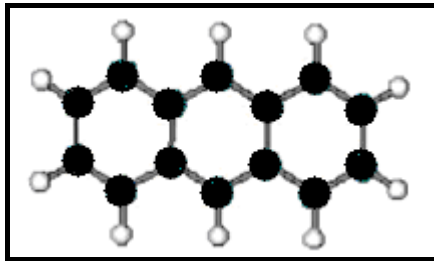
الشكل(8-1): طيف تحويل فورييه السريع FFT

## 4.1 التعريف بالأنتراسين

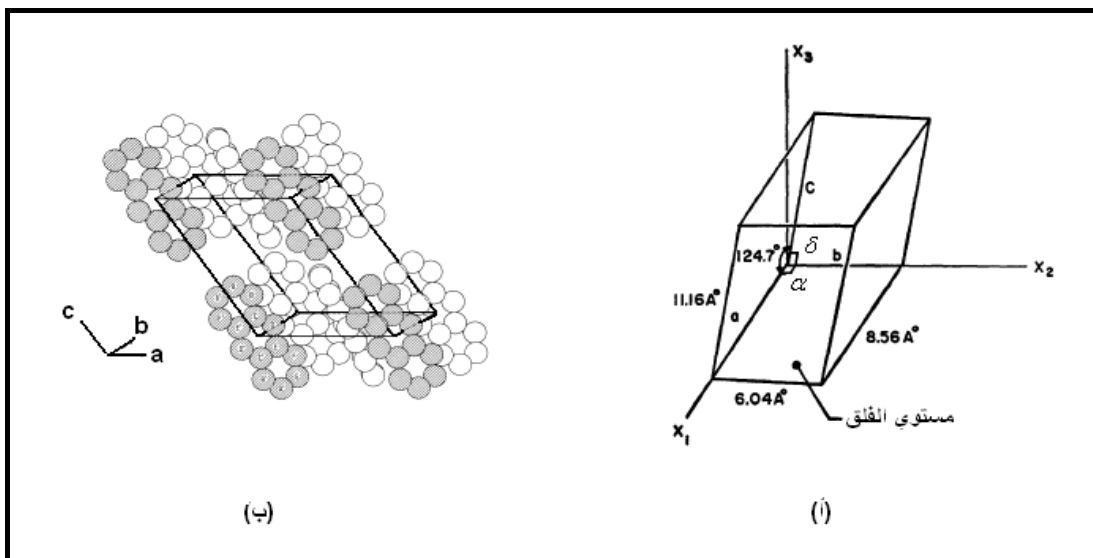
يعتبر الأنتراسين نموذجاً لأنصاف النواقل العضوية؛ فهو مركب عضوي صلب شفاف، كما هو مبين في الشكل (9-1)، له استجابات ضوئية مختلفة؛ مثل الناقلية الضوئية، الكهروضوئية، التآلق، وخواص أخرى. صيغته الكيميائية  $C_{14}H_{10}$ ، له بنية كيميائية جزيئية مكونة من ثلاث حلقات بنزينية كما هو موضح في الشكل (10-1). الأنتراسين ذو بنية بلورية جزيئية أحادية الميل<sup>[41-40]</sup>، له خلية وحدة تحتوي على جزيئي أنتراسين، عدد الإلكترونات فيها هو 188 إلكترون، أبعادها البلورية  $a = 8.56 \text{ \AA}$ ،  $b = 6.04 \text{ \AA}$ ،  $c = 11.16 \text{ \AA}$ ،  $\alpha = 90^\circ$ ،  $\beta = 124.7^\circ$ ،  $\delta = 90^\circ$ ، لها مستوي فلق محدد تماماً هو المستوي  $ab$ ، كما هو موضح في الشكل (11-1)، درجة حرارة انصهاره هي  $218^\circ\text{C}$ <sup>[42]</sup>، كثافته  $\rho = 1250 \text{ kg/m}^3$ . للأنتراسين قابلية ذوبان في الماء ضعيفة جداً، فهي تقدر بـ  $0,0438 \text{ g/m}^3$  عند درجة حرارة الغرفة<sup>[43]</sup>.



الشكل (9-1): بلورة أنتراسين قطرها  $10\text{ mm}$  [44]



الشكل (10-1): جزيء الأنتراسين



الشكل (11-1) [45]: أ- أبعاد الخلية الأساسية للأنتراسين  
ب- مواقع جزيئات الأنتراسين في الخلية الأساسية

الفصل الثاني

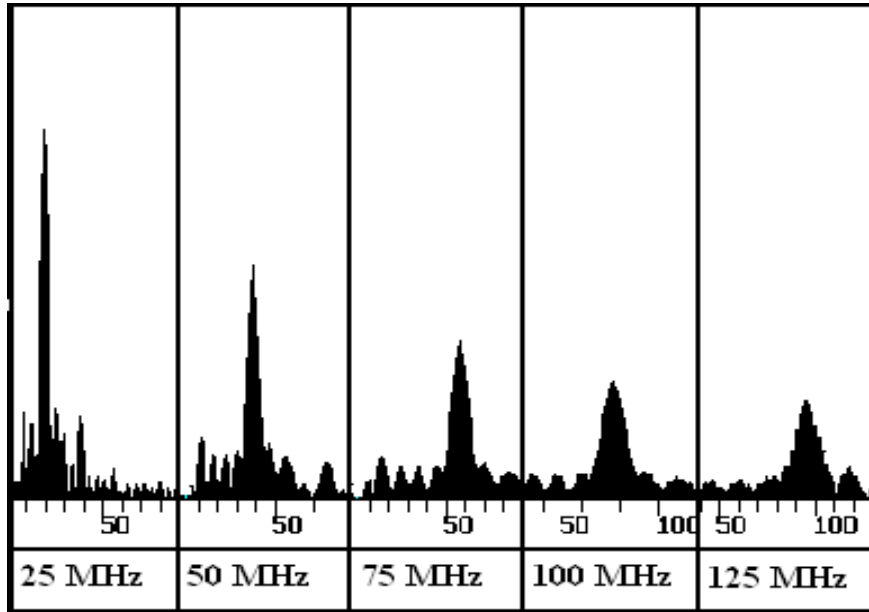
دراسة العلاقات التحليلية لفعالية  
نمط رايلي في الأنتراسين

تعد سرعة الانماط الصوتية من المقادير المرورية المميزة لكل مادة، و التي يمكن حسابها من طيف تحويل فورييه السريع  $FFT$ ، إذ ان رقم الخط الرئيس المميز لنمط معين يستعمل في ايجاد قيمة سرعة هذا النمط بمساعدة برنامج المحاكاة النظرية  $SAM$ ، المستخدم في هذه الدراسة.

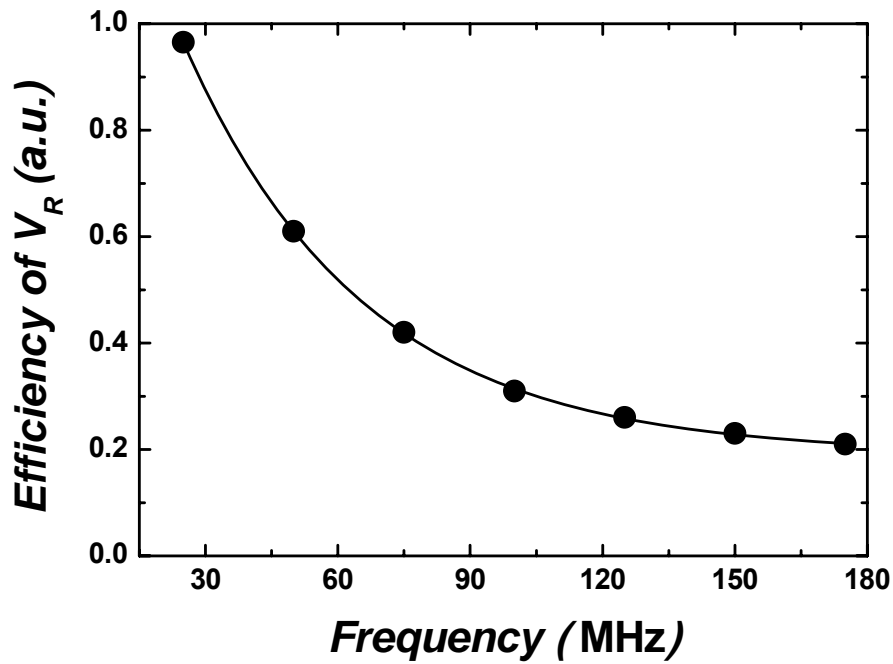
دعنا نذكر بأن فعالية النمط الصوتي ( طولي، عرضي، رايلي ...) تُعرّف بأنها طول خط الطيف الرئيس المميز لهذا النمط في طيف تحويل فورييه السريع  $FFT$  [21]. نظرا لأن نمط رايلي هو أهم الانماط في المجهرية الصوتية فقد ارتأينا ان ندرس تأثير اهم عوامل المجهرية الصوتية على فعالية نمط رايلي، هذه العوامل تكمن في مميزات مختلف الاجزاء المكونة للمجهر الصوتي و العينة؛ تواتر العمل، كثافة العينة، كثافة و سرعة سائل الربط اضافة الى فتحة العدسة الصوتية. ثم محاولة ايجاد العلاقة التي تربط فعالية نمط رايلي بكل عامل من هذه العوامل.

## 1.2 دراسة العلاقة بين التواتر و فعالية نمط رايلي

ان قيمة سرعة رايلي هي معامل مرونة مميز لكل مادة، فهي عمليا مستقلة عن التواتر، في حين أن فعاليته تعتمد على تواتر العمل المستخدم. و هو ما تؤكدته نتائج هذه الدراسة المخصصة لبحث تأثير تواتر العمل على فعالية نمط رايلي في الأنتراسين في حالته الحجمية، ضمن مجال التواترات المحصورة بين  $25MHz$  و  $175MHz$ ، و الممثلة في الشكل (2-1)، الذي يبين طيف  $FFT$  المقابل لبعض قيم التواتر ضمن مجال الدراسة. هذا الطيف يبين ان طول الخط الرئيس الذي يعبر عن فعالية نمط رايلي يتناقص كلما زادت قيمة التواتر. هذا السلوك الناتج قد تم تمثيله بيانيا في الشكل (2-2)، حيث تم تمثيل فعالية نمط رايلي كدالة في تواتر العمل.



الشكل (1-2): تأثير التواتر على طيف *FFT* للأنتراسين



الشكل (2-2): تغير فعالية نمط رايلي في الأنتراسين بدلالة التواتر

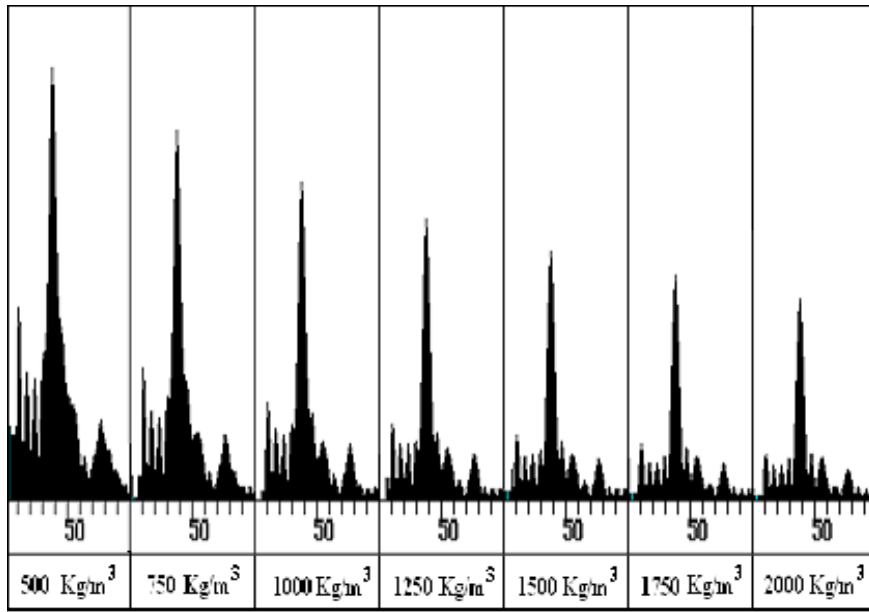


الدراسة التحليلية للبيان السابق، المعبر عن تغير فعالية نمط رايلي بدلالة التواتر ضمن مجال التواترات  $175MHz \geq f \geq 25MHz$ ، و بعد مطابقة (fitting) النتائج المتحصل عليها مع العبارات التحليلية النظرية، مكنتنا من الحصول على العلاقة التحليلية التي تُعطي فعالية نمط رايلي بدلالة تواتر العمل، و هي العلاقة (1-2)؛ حيث التواتر مقدر بالميغا هرتز (MHz)، و فعالية نمط رايلي مقدره بوحدة اعتباطية (arbitrary unit).

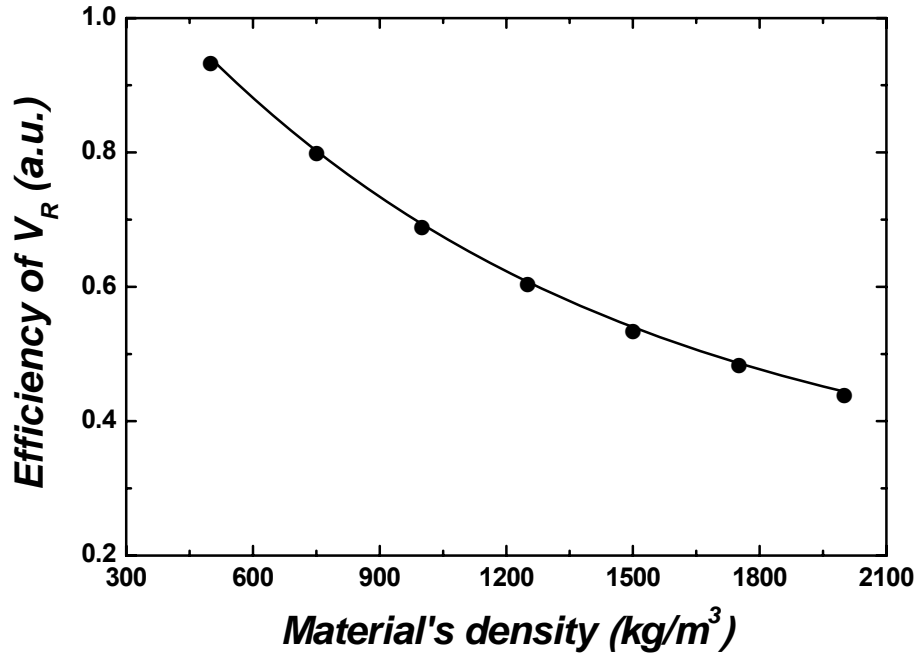
$$(1-2) \quad Eff . = 0.19 + 1.42 \exp(-f / 40)$$

## 2.2 دراسة العلاقة بين كثافة المادة و فعالية نمط رايلي

تعتبر مميزات العينة المدروسة من العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي، أحد أهم هذه العوامل يتمثل في كثافة العينة. ضمن هذه الفقرة سوف نعنى بدراسة تأثير تغير كثافة العينة على فعالية نمط رايلي ضمن المجال  $2000 \text{ Kg.m}^{-3} \geq \rho \geq 500 \text{ Kg.m}^{-3}$ . حيث، قمنا بتغيير قيمة الكثافة ضمن المجال المذكور، مع الاحتفاظ بجميع المميزات الأخرى ( $V_L=3730m/s$ ،  $V_T=1470m/s$ ) مماثلةً لمميزات الأنتراسين. لقد قمنا بتمثيل النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة في الشكل (2-3)، الذي يبين طيف FFT المقابل لبعض قيم الكثافة المدروسة، هذا الطيف يوضح تموضع خط الطيف الرئيس في نفس المكان (الرقم)، مما يدل على أن سرعة رايلي لا تتعلق بكثافة العينة. كما يوضح كذلك ان طول الخط الرئيس، الذي يُعبر عن فعالية نمط رايلي، يتناقص مع تزايد قيمة الكثافة. هذا السلوك مشابهة لتغير فعالية نمط رايلي بدلالة التواتر، و بهدف التمثيل الأفضل لهذه المشاهدات فقد قمنا بتمثيل الفعالية بيانياً كدالة في كثافة العينة، كما هو مبين في الشكل (2-4).



الشكل (3-2): تأثير كثافة المادة على طيف  $FFT$  للأنتراسين.



الشكل (4-2): تغير فعالية نمط رايلي في الأنتراسين بدلالة كثافة المادة؛ النقاط تمثل نتائج الحسابات أما الخط المستمر فيمثل منحنى المطابقة.

بعد مطابقة (*fitting*) النتائج المتحصل عليها مع العبارات التحليلية، استطعنا الحصول على العلاقة النظرية التحليلية التي تُعطي فعالية نمط رايلي بدلالة كثافة العينة المستعملة، و هي العلاقة (2-2)؛ حيث الكثافة مقدره بـ ( $Kg / m^3$ )، اما الفعالية فمقدرة بوحدة اعتباطية ( $a. u.$ ).

$$(2-2) \quad Eff . = 0.288 + 1.045 \exp(-\rho / 1060)$$

### 3.2 دراسة العلاقة بين مميزات السائل و فعالية نمط رايلي

يُعد استعمال سائل يربط بين العدسة و العينة في المجهر الصوتي، ذا أهمية بالغة؛ لأن الأمواج فوق الصوتية، المستعملة في المجهرية الصوتية، لا تنتشر في الهواء (فهي تُعاني تخامداً كبيراً في الهواء)، كما ان السائل يسمح بتحريك العينة شاقولياً و افقياً. الاكثر اهمية هو اختيار السائل المناسب كيميائياً و فيزيائياً؛ فمن الناحية الكيميائية يجب أن لا يؤثر على العينة، أما من الناحية الفيزيائية فيجب ان يكون تخامد الأمواج الصوتية فيه ضعيف بقدر الامكان، كما يجب ان تكون سرعة الأمواج الصوتية في السائل أقل من سرعة النمط المدروس في العينة حتى نتمكن من مشاهدة هذا النمط بفعالية. نظرا لكون نمط رايلي هو أهم الأنماط المستعملة في المجهرية الصوتية، فقد خصصنا هذه الفقرة لدراسة تأثير مميزات سائل الربط (الكثافة  $\rho_{liq}$ ، سرعة الامواج الطولية  $V_{liq}$ ) على فعالية نمط رايلي في الانتراسين في حالته الحجمية.

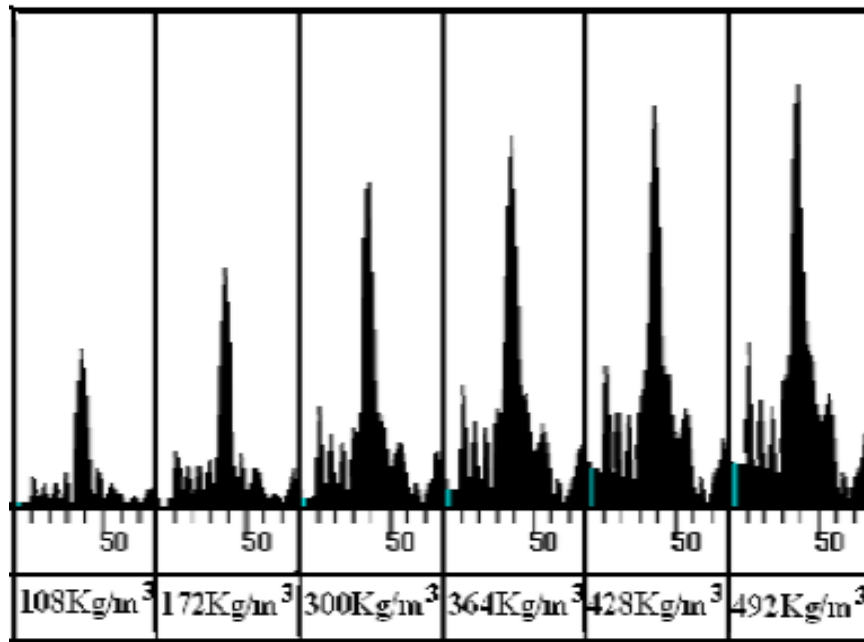
#### 1.3.2 دراسة العلاقة بين كثافة سائل الربط و فعالية نمط رايلي

لإبراز تأثير كثافة سائل الربط على فعالية نمط رايلي في الانتراسين، فقد قمنا بدراسة تأثير الزينون ( $Xe(T = 293k, P = 4MPa)$ ) و مجموعة

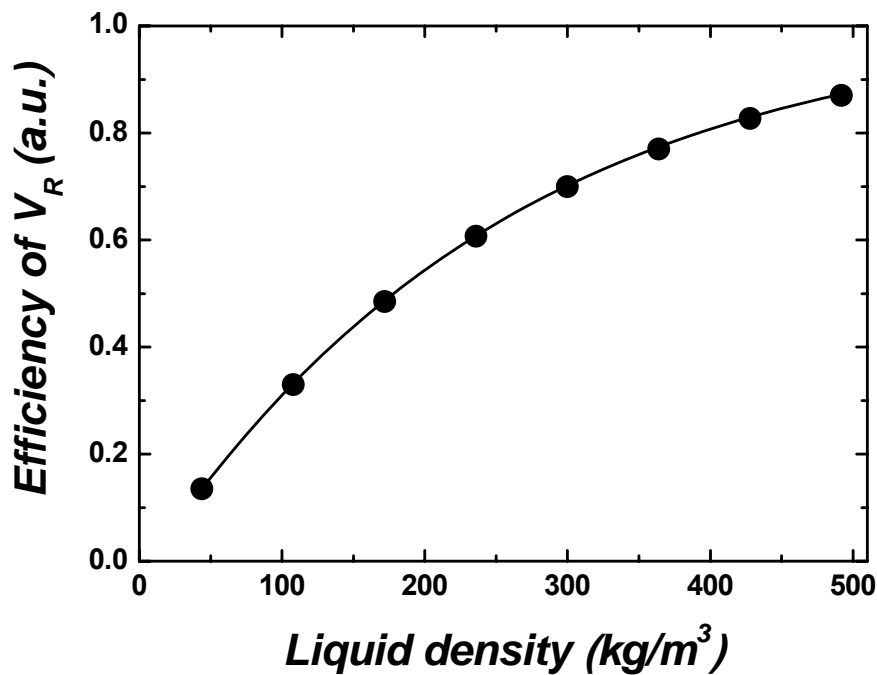
من السوائل الافتراضية التي لها نفس السرعة الطولية للزيتون لكن كثافتها تتغير من  $44 \text{ Kg} / \text{m}^3$  الى  $492 \text{ Kg} / \text{m}^3$ . النتائج المتحصل عليها مبينة في الشكل (2-5) الذي يمثل طيف  $FFT$  المقابل لبعض قيم كثافة السائل المدروسة، هذا الطيف يوضح بقاء الخط الرئيس عند نفس الموضع، مما يدل على أن سرعة النمط لا تتعلق بكثافة سائل الربط المستعمل. غير أن طول الخط الرئيس، الذي يعبر عن فعالية نمط رايلي، يتغير بصورة جلية مع زيادة قيمة كثافة السائل. هذا التغير موضح في الشكل (2-6)، حيث قمنا بتمثيل فعالية نمط رايلي كدالة في كثافة السائل.

مكنتنا الدراسة التحليلية للبيان المعبر عن تغير فعالية سرعة رايلي بدلالة كثافة سائل الربط المستعمل، ضمن المجال  $44 \text{ Kg.m}^{-3} \leq \rho_{liq} \leq 492 \text{ Kg.m}^{-3}$ ، بعد مطابقة (fitting) النتائج المتحصل عليها مع العبارات التحليلية النظرية، من الحصول على العلاقة (2-3)، التي هي عبارة عن علاقة تحليلية؛ حيث الكثافة مقدره بـ ( $\text{Kg} / \text{m}^3$ )، أما الفعالية فمقدرة بوحدته اعتباطية ( $a. u.$ ).

$$(3-2) \quad Eff = 1 - \frac{7}{1 + \exp\left(\frac{(\rho_{liq} - 400)}{222}\right)}$$



الشكل(5-2): تأثير كثافة سائل الربط على طيف *FFT* للأنتراسين.

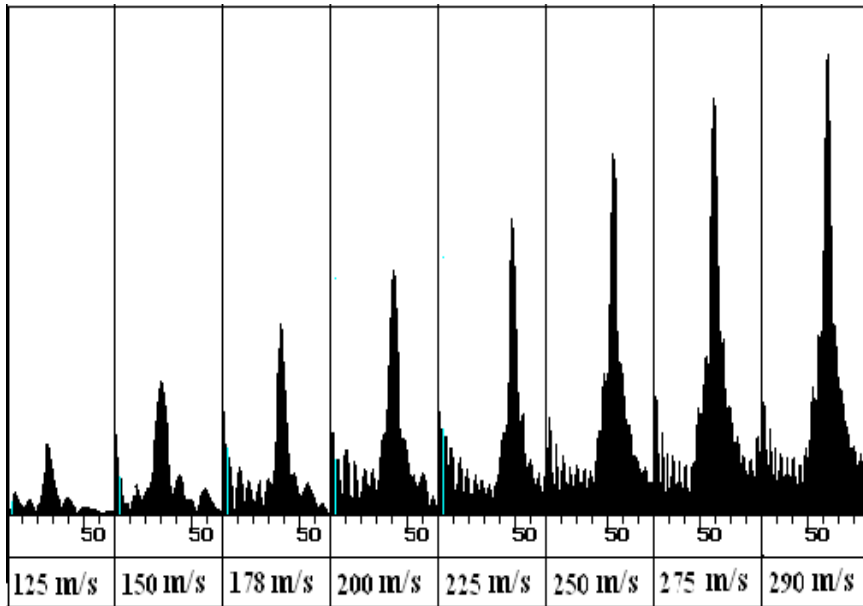


الشكل(6-2): تغير فعالية نمط رايلي في الأنتراسين بدلالة كثافة سائل الربط؛ النقاط تمثل نتائج الحسابات أما الخط المستمر فيمثل منحنى المطابقة.

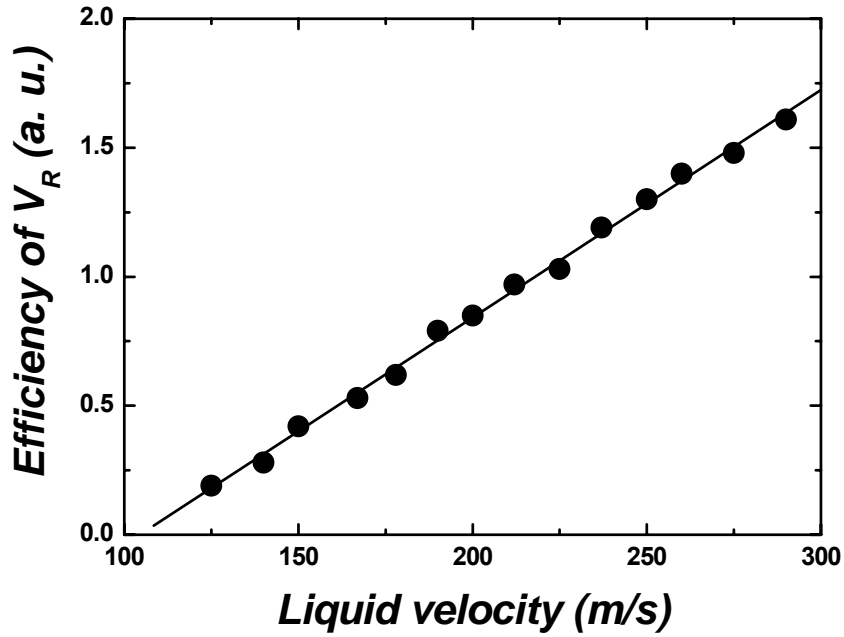
### 2.3.2 دراسة العلاقة بين سرعة سائل الربط و فعالية نمط رايلي

من ناحية ثانية لإظهار تأثير سرعة السائل ( سرعة الامواج الطولية في سائل الربط) على فعالية نمط رايلي في الأنتراسين، فقد قمنا بدراسة تأثير الزينون  $Xe(T = 293k, P = 4MPa)$  ، و مجموعة من السوائل الافتراضية التي لها نفس كثافة الزينون، أما سرعاتها الطولية فتتغير من  $125m/s$  الى  $290m/s$ . الشكل (2-7) يمثل طيف  $FFT$  المقابل لسرعات الامواج الطولية للسوائل المدروسة، التي نلاحظ فيها تغير طول الخط الرئيس، مما يدل على تغير فعالية توليد نمط رايلي. هذه التغيرات الناتجة عن اختلاف سرعة الامواج الطولية في السائل، موضحة جيداً في الشكل (2-8)، الذي يمثل فعالية نمط رايلي كدالة في سرعة السائل. بمطابقة النتائج المتحصل عليها مع العبارات التحليلية، وجدنا ان فعالية نمط رايلي تتغير خطياً بدلالة سرعة السائل وفق العلاقة (2-4).

$$Eff = 0.009V_{liq} - 0.92 \quad (4-2)$$



الشكل (2-7): تأثير سرعة سائل الربط على طيف  $FFT$  للأنتراسين.



الشكل (2-8): تغير فعالية نمط رايلي في الانتراسين بدلالة سرعة سائل الربط؛ النقاط تمثل نتائج الحسابات أما الخط المستمر فيمثل منحنى المطابقة.

## 4.2 دراسة العلاقة بين فتحة العدسة و فعالية نمط رايلي

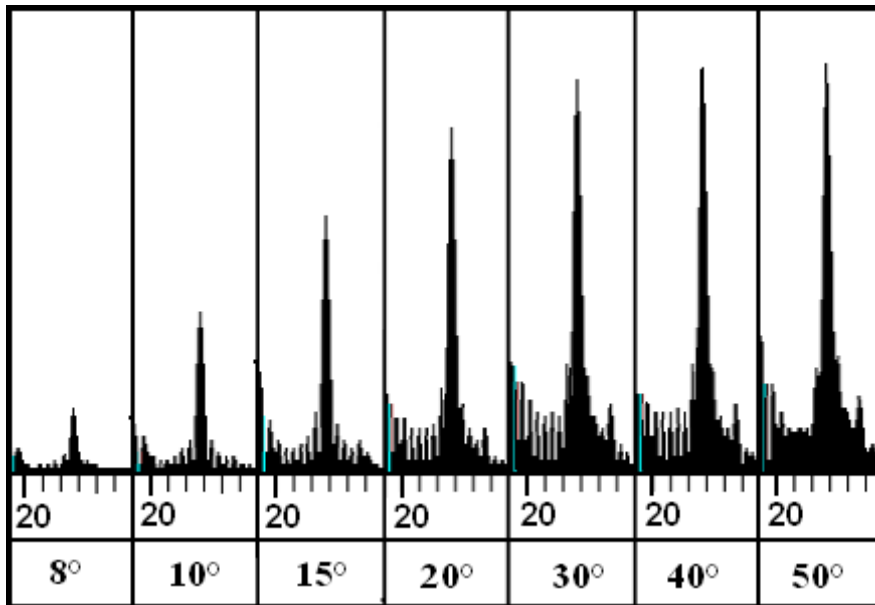
بالإضافة الى تواتر العمل، كثافة العينة، و كثافة السائل، فإن فتحة عدسة المجهر الصوتي هي من أهم العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي، في المجهرية الصوتية. ذلك ما تؤكدته نتائج هذه الدراسة، الموجهة الى دراسة هذه الظاهرة؛ أي تأثير فتحة العدسة على فعالية نمط رايلي في الانتراسين في حالته الحجمية، حيث أنجزت هذه الدراسة باستخدام الشروط الآتية:

- تواتر العمل  $f = 30 \text{ MHz}$
- سائل الربط هو الزينون ( $V_{liq} = 178 \text{ m/s}$ ,  $\rho_{liq} = 236 \text{ Kg/m}^3$ )
- الانتراسين ( $V_L = 3730 \text{ m/s}$ ,  $V_T = 1470 \text{ m/s}$ ,  $\rho = 1250 \text{ Kg/m}^3$ )

• نصف فتحة العدسة تتغير ضمن المجال  $50^\circ \geq \theta_m \geq 8^\circ$

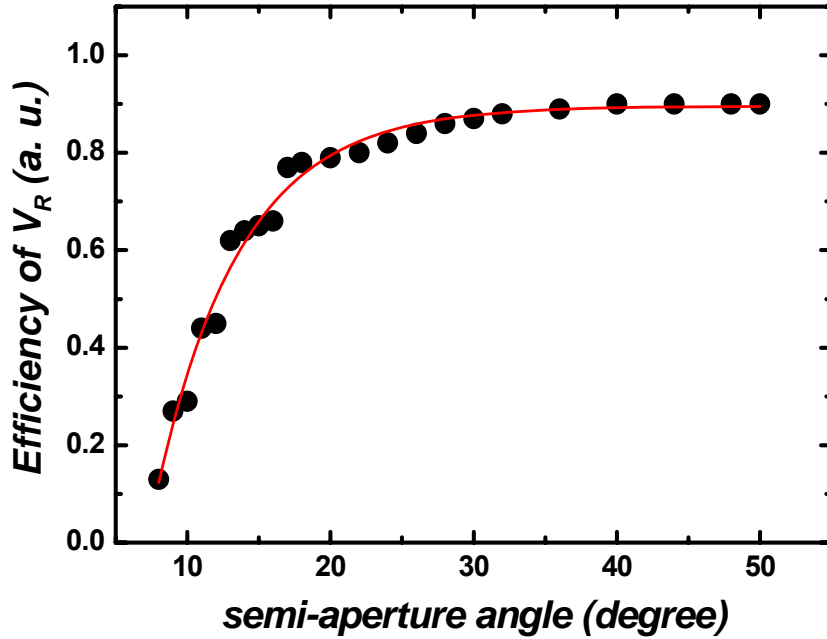
باستخدام هذه الشروط، تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (2-9)، الذي يبين طيف  $FFT$  المقابل لبعض قيم نصف فتحة العدسة الصوتية، ضمن مجال الدراسة. حيث نلاحظ ان خط الطيف الرئيس المميز لنمط رايلي مستقر في نفس الموضع؛ مما يدل على ان قيمة سرعة رايلي لا تتعلق بفتحة العدسة. في حين ان طول الخط الرئيس، الذي يُعبّر عن فعالية نمط رايلي، يزداد كلما اتسعت فتحة العدسة. هذه التغيرات موضحة جيداً في الشكل (2-10)، الذي يمثل فعالية نمط رايلي كدالة في نصف فتحة العدسة، و الذي يبين ان الفعالية تتغير بزيادة فتحة العدسة تغيراً أسياً، وهذا ما تؤكدُه العلاقة التحليلية (2-5)، المتحصل عليها من مطابقة ( $fitting$ ) النتائج مع العبارات التحليلية النظرية.

$$(5-2) \quad Eff . = 0.89 - 3 \exp (- \theta_m / 5.9)$$



الشكل (2-9): تأثير نصف فتحة العدسة على طيف  $FFT$  للأنتراسين.





الشكل (2-10): العلاقة بين فتحة العدسة وفعالية نمط رايلي في الأنتراسين؛ النقاط تمثل نتائج الحسابات أما الخط المستمر فيمثل منحنى المطابقة.

## 5.2 الاستنتاجات

- تتناقص فعالية نمط رايلي مع زيادة كل من التواتر  $f$ ، و كثافة المادة  $\rho$ .
- تزداد فعالية نمط رايلي مع زيادة كل من سرعة الامواج الطولية في السائل  $V_{liq}$ ، و كثافة السائل  $\rho_{liq}$ .
- تزداد فعالية نمط رايلي مع زيادة نصف فتحة العدسة  $\theta_m$ ، فمن أجل القيم الصغيرة لفتحة العدسة يكون التغير معتبرا، ثم يصبح التغير طفيفا عندما تصبح  $\theta_m > 40^\circ$ ، حيث تقترب قيمة الفعالية من التشبع. و نحصل على افضل نتيجة للفعالية من أجل  $\theta_m = 50^\circ$ .

الفصل الثالث

دراسة فصل الأنماط في المجهرية  
الصوتية

### 1.3 مقدمة

شهدت المجهرية الصوتية تطورا سريعا خلال السنوات الماضية، و اهتماما كبيرا من طرف العديد من فرق البحث العلمي، لكونها تقنية غير هدامة، تستعمل في دراسة الخصائص المرونية للمواد المختلفة، و المتمثلة في سرعات انتشار الأنماط الصوتية ( نمط رايلي، النمط العرضي و النمط الطولي). يعد الفصل بين هذه الأنماط ضرورة ملحة، من أجل دراسة كل نمط على حدى. لكنه من الصعوبة بما كان، خاصة الفصل بين نمط رايلي و النمط العرضي، الذي لم يسبق له أن نفذ، و هنا تأتي ضرورة البحث عن طريقة تمكننا من تحقيق ذلك. هذا هو موضوع بحثنا، فقد توصلنا إلى طريقة تمكننا من فصل و دراسة كل نمط لأكثر من خمس و ثلاثون مادة، نذكر منها: ( *Inconel* ، *Crown*، *Pyrex* ، *Invar* ، *Zinc Oxide* ، *Molybdenium* ) ، *Titanium* ، *Heavy flint* ). كما تسمح لنا هذه الطريقة بالاختيار المسبق لسائل الربط المناسب، دون الاعتماد على أسلوب المحاولة و الخطأ.

يمكن حساب سرعة الانماط الصوتية لكل مادة، من منحنيات تحويل فورييه السريع *FFT* ، إذ أن رقم الخط الرئيس المميز لنمط معين يدل على قيمة سرعة هذا النمط، فإذا تغير رقم الخط تغيرت معه قيمة السرعة.

### 2.3 مبدأ تقنية فصل الانماط

تعتمد هذه الطريقة على الفكرة الآتية: لا يمكن توليد أو تحريض أي نمط من الأنماط الصوتية باستخدام المجهر الصوتي إلا إذا كانت نصف فتحة عدسته الصوتية  $\theta_m$  أكبر أو تساوي قيمة الزاوية الحرجة (الحدية)  $\theta_i$  لتوليد هذا النمط، حيث  $i = R, T, L$  ( رايلي، عرضي، طولي ). نعبّر عن هذا المبدأ بالعلاقة :

$$(1-3) \quad \theta_i < \theta_m$$

بالاعتماد على كون، كل نمط من الأنماط الصوتية ( نمط رايلي  $V_R$ ، النمط العرضي  $V_T$ ، و النمط الطولي  $V_L$  ) له زاوية حرجة (حدية) لتوليده، مرتبطة بسرعة الأمواج الصوتية في سائل الربط  $V_{liq}$  و سرعة النمط المدروس  $V_i$ ، حيث  $i = R, T, L$ . تحسب هذه الزاوية الحرجة المولدة لمختلف الأنماط الصوتية من العلاقة (2-3)<sup>[1]</sup>:

$$(2-3) \quad \theta_i = \arcsin \frac{V_{liq}}{V_i}$$

فباستخدام العلاقتين (1-3) و (2-3) نستطيع تحديد سائل الربط المناسب لدراسة أي نمط، حيث يجب أن تكون قيمة سرعة النمط المدروس أكبر من سرعة الامواج الصوتية في سائل الربط<sup>[2]</sup>:

$$(3-3) \quad V_{liq} < V_i$$

يتعرض نمط رايلي عند الزاوية  $\theta_R$ ، و النمط العرضي عند الزاوية  $\theta_T$ ، أما النمط الطولي فيتعرض عند الزاوية  $\theta_L$  حيث  $\theta_L < \theta_T < \theta_R$  لأن  $V_L > V_T > V_R$ . فمن أجل إظهار النمط الطولي دون باقي الأنماط، يجب أن نختار فتحة العدسة التي تحقق الشرط:

$$(4-3) \quad \theta_L \leq \theta_m < \theta_T$$

من أجل إظهار النمط العرضي، يجب أن نختار فتحة العدسة التي تحقق الشرط:

$$(5-3) \quad \theta_T \leq \theta_m < \theta_R$$

أما من أجل إظهار نمط رايلي، فنختار فتحة العدسة التي تحقق الشرط :

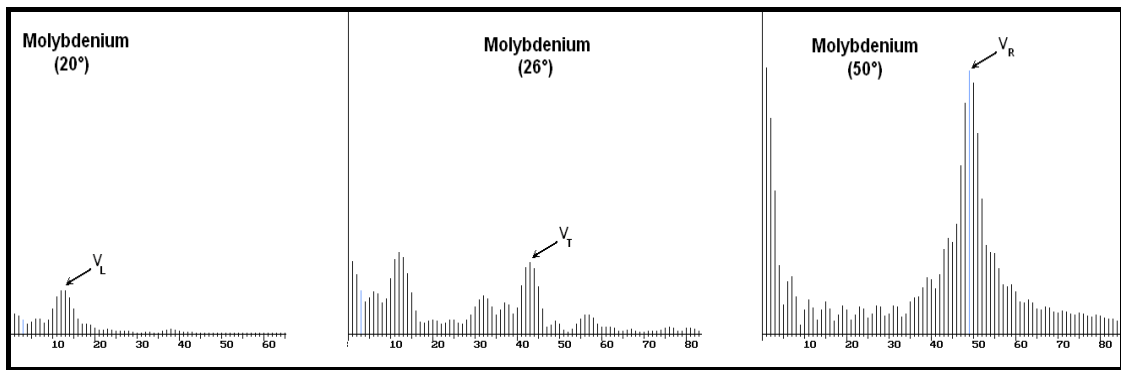
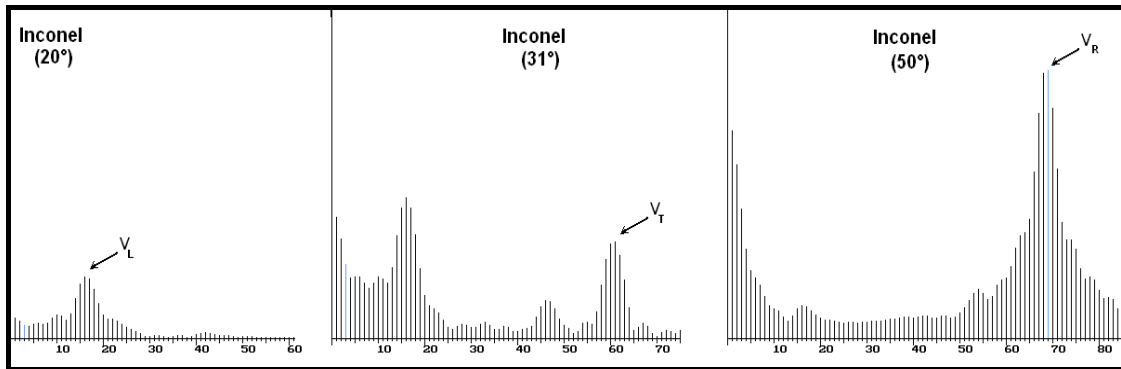
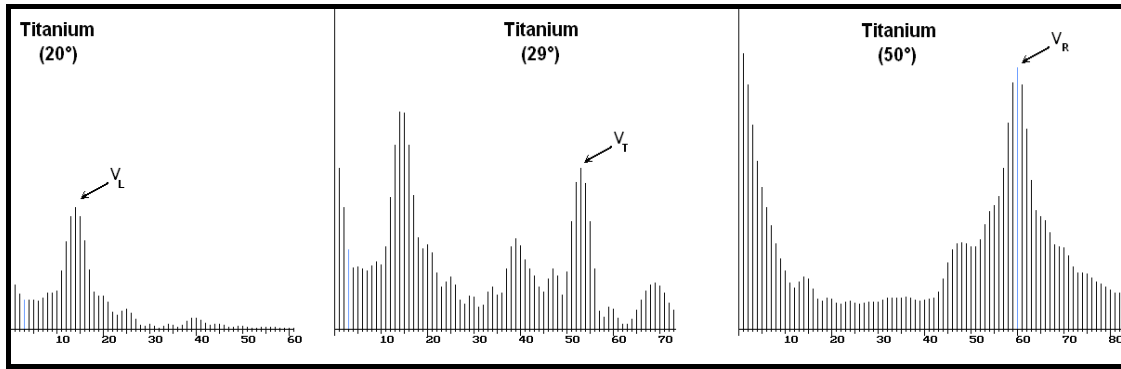
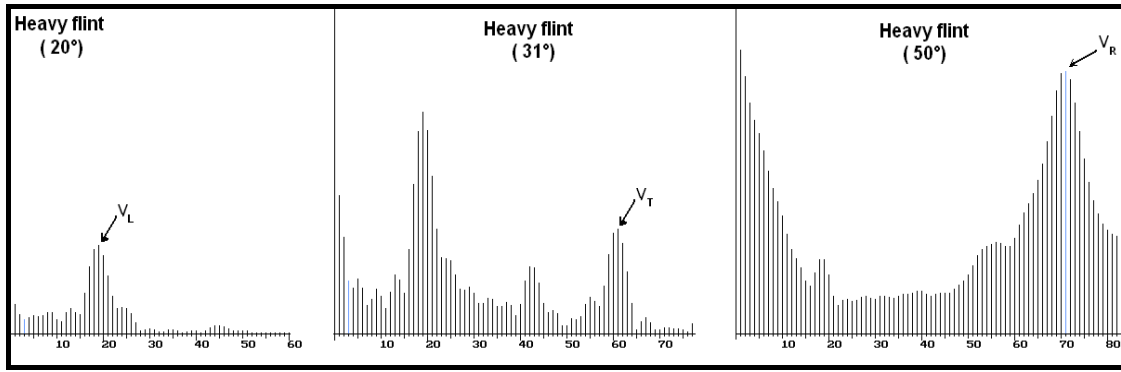
$$(6-3) \quad \theta_R \leq \theta_m$$

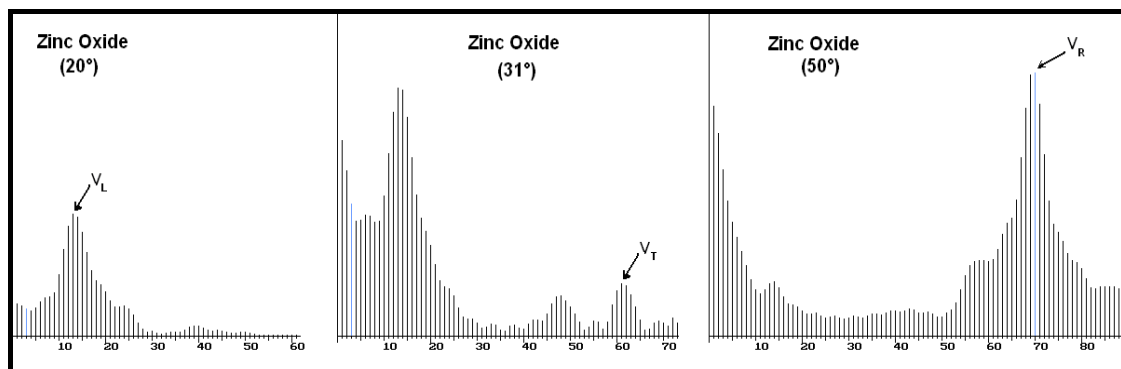
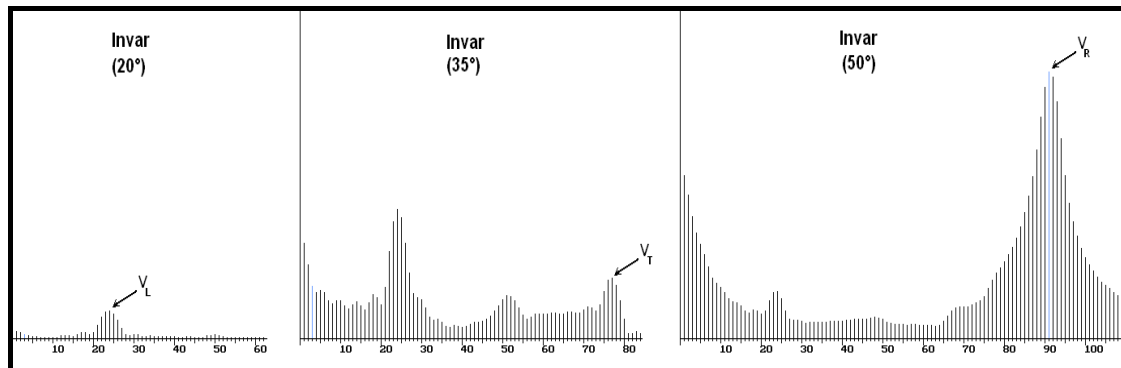
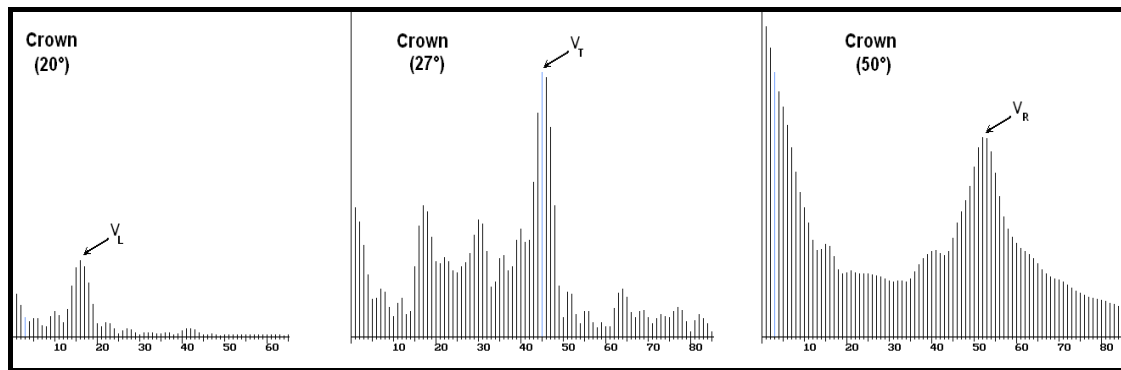
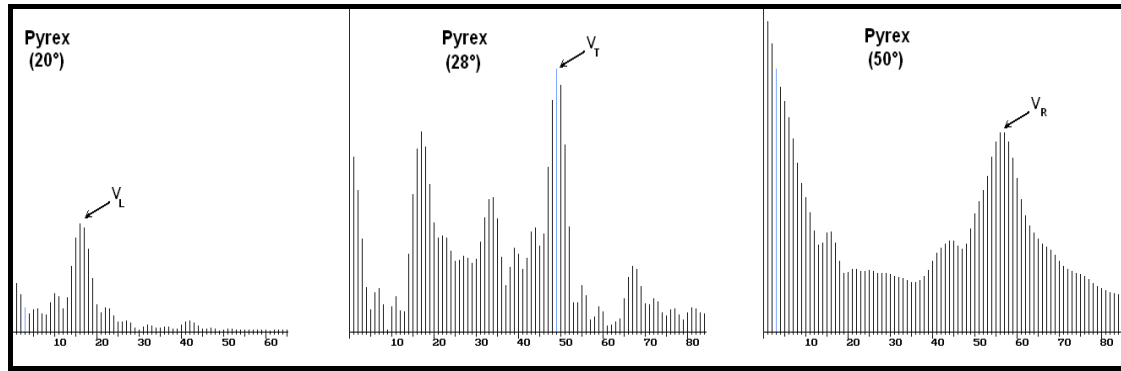
### 3.3 شروط المحاكاة و المواد المستعملة

استخدمنا في هذه الدراسة برنامج المحاكاة النظرية *SAM* الذي يحاكي المجهر الصوتي الماسح، الذي يهمل بنظام الانعكاس، فبعد تغذيته بالمعطيات اللازمة، المتمثلة في قيمة تواتر العمل  $f = 40MHz$  ، مميزات سائل الربط المستعمل المتمثل في الماء ( $\rho = 1000Kg / m^3$  ،  $V_{liq} = 1500m / s$ ) ، أما نصف زاوية فتحة العدسة فكانت  $10^\circ \leq \theta_m \leq 50^\circ$  تبعا لكل مادة مدروسة. بعض المواد المستعملة في هذه الدراسة موضحة في الجدول (1-3).

المواد المستعملة	$V_L (m/s)^{[3]}$	$V_T (m/s)^{[3]}$	$V_R (m/s)^{[3]}$	$\rho (Kg/m^3)^{[3]}$	$\theta_L (^\circ)$	$\theta_T (^\circ)$	$\theta_R (^\circ)$
<i>Titanium</i>	6130	3182	2958	4508	14.2	28.1	30.5
<i>Heavy flint</i>	5260	2960	2731	3600	16.6	30.4	33.3
<i>Inconel</i>	5700	3000	2786	8390	15.3	30.0	32.6
<i>Molybdenium</i>	6475	3505	3247	10222	13.4	25.3	27.5
<i>Pyrex</i>	5640	3280	3013	2230	15.4	27.2	29.9
<i>Crown</i>	5660	3420	3127	2240	15.4	26.0	28.7
<i>Invar</i>	4657	2650	2447	8000	18.8	34.5	37.8
<i>Zinc Oxide</i>	6400	2950	2765	5606	13.6	30.6	32.9

الجدول (1-3): المميزات الصوتية للمواد المستعملة في دراسة فصل الأنماط





الشكل (1-3): منحنيات FFT المميزة للمواد المستعملة في دراسة فصل الأنماط

توضح المنحنيات المتحصل عليها لطيف تحويل فورييه السريع  $FFT$  لمختلف المواد المستعملة رقم خط الطيف الرئيس المقابل لكل نمط، و قيمة فتحة العدسة  $\theta_m$  المستعملة بالنسبة لكل مادة، و من أجل كل نمط.

المنحنيات الواقعة على اليمين تبين وضوح خط الطيف الرئيس المميز لنمط رايلي دون الأنماط الأخرى، أما المنحنيات الواقعة في الوسط فتبين وضوح خط الطيف الرئيس المميز للنمط العرضي، حيث تم التخلص من نمط رايلي، الذي يكون عادة متداخل معه، أما المنحنيات الواقعة على اليسار فتبين وضوح خط الطيف الرئيس المميز للنمط الطولي فقط دون الأنماط الأخرى.

### 4.3 التطبيقات

يمكن استعمال هذه الطريقة لفصل الأنماط، خاصة في دراسة تبعد النمط الطولي، فمثلا، دراسة تبعد النمط الطولي في البنية انتراسين/نحاس (انظر الفصل الرابع)، باستخدام الغليسرين كسائل ربط، حيث الزوايا الحدية المحرزة للنمط الطولي، النمط العرضي، و نمط رايلي في النحاس هي على الترتيب:  $\theta_L = 23.8^\circ$  ،  $\theta_T = 55.7^\circ$  ،  $\theta_R = 62.2^\circ$  ، و في الانتراسين، فإن الزوايا الحدية المحرزة للنمط الطولي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة، باستخدام الغليسرين كسائل ربط، فهي موضحة في الجدول (3-2). ان استخدام هذه الشروط بالإضافة الى الشرط (3-3)، هو ما جعلنا نختار زاوية نصف فتحة العدسة  $\theta_m = 50^\circ$ ، فنتخلص من كلا النمطين: نمط رايلي و النمط العرضي، لكل من الانتراسين (الطبقة) و النحاس (المسند) في أن واحد، و لا يتبقى الا النمط الطولي. فنتحصل على منحنيات تبعد النمط الطولي للبنية انتراسين/نحاس المبينة الشكل (4-5) من الفصل الرابع.

جهد لانتشار	[100]	[010]	[001]	[011]	[110]	[10 $\bar{1}$ ]
$\theta_L$ (°)	45.11	39.01	30.98	38.12	37.98	36.87

الجدول (3-2): الزوايا المحرزة للنمط الطولي في الانتراسين باستخدام الغليسرين.



### 5.3 الاستنتاجات

تلعب فتحة العدسة الصوتية، دورا مهما في تحديد النمط الصوتي، الذي يمكن تحريضه، إذ يمكن أن نختار بدقة نصف زاوية فتحة العدسة الصوتية  $\theta_m$ ، التي تسمح بإظهار نمط بعينه، دون باقي الأنماط، و بالتالي فصل الأنماط الصوتية ( نمط رايلي، النمط العرضي و النمط الطولي) أصبح ممكنا. بالإضافة إلى إمكانية الاختيار أو التحديد المسبق لسائل الربط المناسب لدراسة كل نمط، بالنسبة لجميع المواد و باستخدام أي مجهر صوتي ماسح. كما أن دراسة تبدد النمط الطولي للبنية طبقة\مسند، أصبحت ممكنة، باختيار مناسب للبنية المدروسة و سائل الربط المستعمل.

## الفصل الرابع

# دراسة تأثير الاتجاهات البلورية للانتراسين على تبدد مختلف الأنماط في البنية انتراسين|مسند

## 1.4 تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد النمط الطولي

### 1.1.4 البنية انتراسين $SiO_2$

لدراسة تبدد النمط الطولي للبنية انتراسين  $SiO_2$ ، في الاتجاهات البلورية المختلفة استعملنا شروط العمل التي تسمح بإظهار النمط الطولي بصورة واضحة، و هي الشروط الآتي ذكرها:

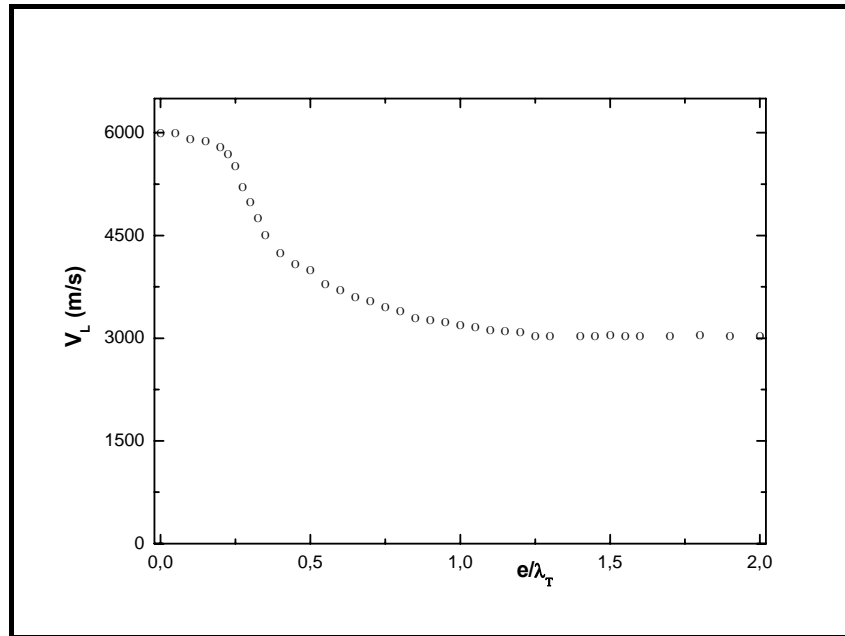
- تواتر الاهتزاز  $f = 50 \text{ MHz}$
- نصف فتحة العدسة  $\theta_{\max} = 50^\circ$
- سائل الربط هو الكحول  $C_4H_9OCH_2OH$  ( $\rho_{liq} = 1135 \text{ Kg} / m^3$ ) ،  
( $V_{liq} = 1450 \text{ m} / s$ )
- المسند هو السيليكا ( $V_{TS} = 3764 \text{ m} / s$  ،  $V_{LS} = 5968 \text{ m} / s$ ) ،  
( $\rho_s = 2150 \text{ Kg} / m^3$ )
- أما مميزات الطبقة (الانتراسين)، فهي تختلف من اتجاه بلوري إلى آخر.

من المعلوم أن، مقابل كل جهة انتشار للأمواج الطولية وفق اتجاه بلوري معين، توجد موجتان عرضيتان مستقطبتان وفق اتجاهين بلوريين مختلفين، واقعين في المستوي البلوري العمودي على جهة الانتشار، كما هو موضح في الجدول (1-4).

بعد تغذية برنامج المحاكاة بالمعطيات اللازمة؛ المتمثلة في شروط العمل المذكورة أعلاه، بالإضافة إلى قيم سرعة الأمواج الطولية الموافقة لكل اتجاه بلوري محدد، و سرعة كل موجة عرضية مقابلة لها في طبقة الانتراسين، من أجل دراسة تبدد سرعة الأمواج الطولية في البنية انتراسين/سيليكا، بدلالة السمك المنظم ( $e / \lambda_T$ ) لطبقة الانتراسين، حيث  $e$  يمثل سمك الطبقة،  $\lambda_T$  هو طول الموجة العرضية المنتشرة فيها،

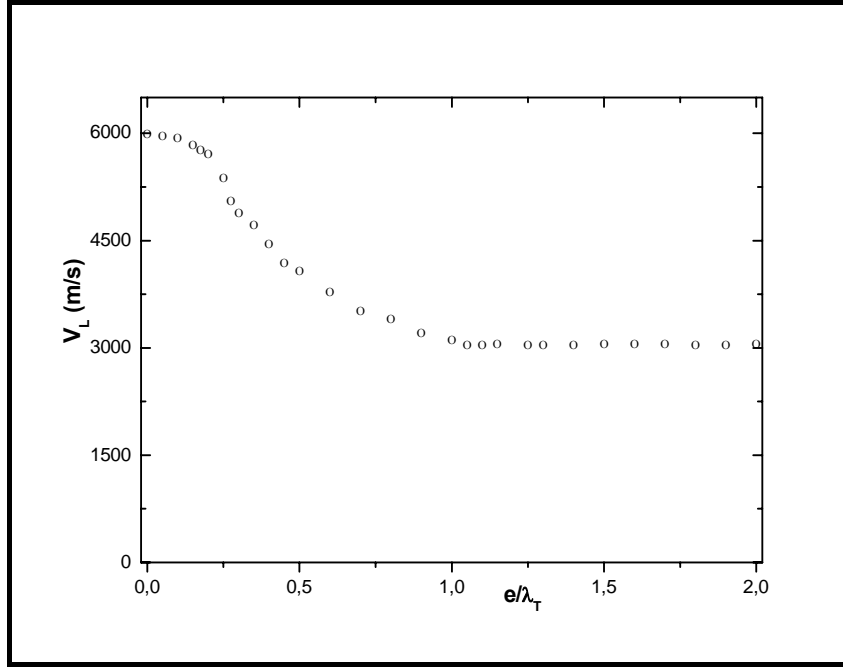
و باتباع الخطوات المعتمدة في المجهرية الصوتية قمنا بحساب سرعة الأمواج الطولية  $V_L$  المقابلة لقيم السمك المنظم لطبقة الانتراسين المرسبة فوق مسند من السيليكا، من أجل مختلف اتجاهات الانتشار.

فمثلا انتشار الأمواج الطولية في الاتجاه البلوري [010]، يتم بسرعة قيمتها  $V_L = 3050m/s$ ، يقابلها موجتان عرضيتان؛ الاولى مستقطبة وفق الاتجاه البلوري [001]، و قيمتها  $V_T = 1280m/s$ ، أما الثانية فمستقطبة وفق الاتجاه البلوري [100]، و قيمتها  $V_T = 2010m/s$ . باستخدام هذه القيم، قمنا بتمثيل تغيرات سرعة الأمواج الطولية  $V_L$  في الاتجاه البلوري [010]، بدلالة السمك المنظم  $(e/\lambda_T)$ ، من أجل جهتي الاستقطاب [100] و [001]، فتحصلنا على المنحنيين المبينين في الشكلين: (1-4)، (2-4).



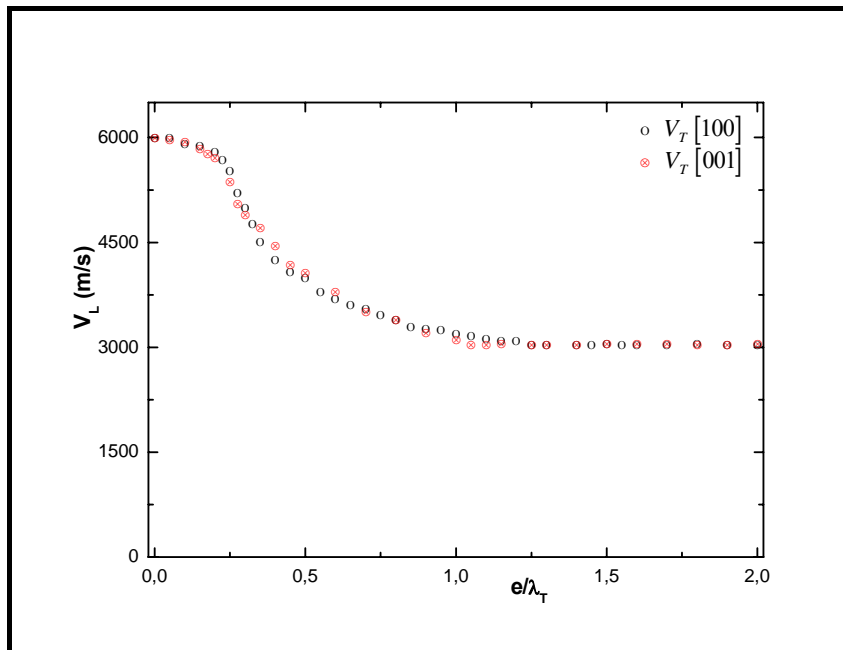
الشكل(1-4): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاه [010] في حالة

الاستقطاب [100] للبنية انتراسين  $SiO_2$



الشكل(2-4): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاه [010] في حالة الاستقطاب [001] للبنية انتراسين  $SiO_2$

بعد ذلك، و من أجل مقارنة النتائج المتحصل عليها بالنسبة لكلا جهتي الاستقطاب، جمعنا النتائج معاً، فتحصلنا على البيان الممثل في الشكل(3-4).

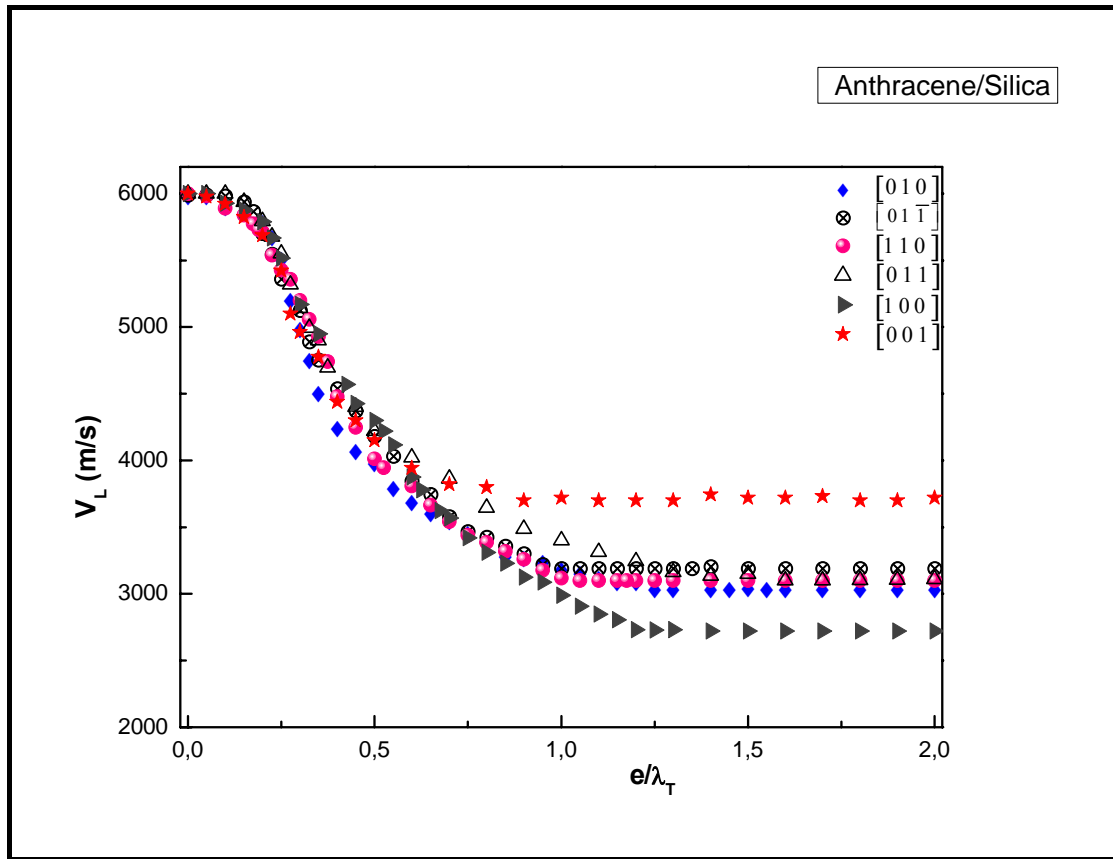


الشكل(3-4): تبدد النمط الطولي في الاتجاه [010] للبنية انتراسين  $SiO_2$

نلاحظ، كما كان متوقعا، تطابق منحنىي تبدد النمط الطولي بالنسبة لنفس جهة الانتشار، بالرغم من اختلاف قيمة وجهة استقطاب الموجة العرضية المقابلة، فكما ذكرنا سابقا فإن مقابل كل جهة انتشار للأمواج الطولية، يوجد موجتان عرضيتان، مستقطبتان وفق اتجاهين بلوريين، واقعين في المستوي البلوري العمودي على جهة الانتشار، ذلك لأنه في كل جهة انتشار، تنتشر موجة طولية واحدة.

اذن فلدراسة تبدد النمط الطولي وفق اتجاه بلوري محدد، يكفي لذلك استخدام قيمة احدى سرعتين العرضيتين المقابلتين لهذا الاتجاه.

باتباع نفس الخطوات المذكورة اعلاه، قمنا بدراسة و تمثيل منحنيات تبدد سرعة انتشار الأمواج الطولية وفق الاتجاهات البلورية المختلفة لمادة الانتراسين، بدلالة السمك المنظم لطبقة الانتراسين المرسبة فوق مسند من السيليكا، فتحصلنا على المنحنيات الممثلة في الشكل (4-4).



الشكل (4-4): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين  $SiO_2$

نلاحظ بالنسبة لمنحنيات تبدد الأمواج الطولية في البنية انتراسين\سيليكيا وفق مختلف الاتجاهات البلورية، انه من أجل القيم الصغيرة للسك المنظم للطبقة ( $e / \lambda_T$ ) فإن قيمة السرعة تكون قريبة من سرعة الأمواج الطولية في المسند؛ ذلك راجع الى كون معظم طاقة هذه الأمواج كامن داخل المسند، ثم تتوزع تدريجيا هذه الطاقة بين الطبقة و المسند كلما زاد سمك الطبقة، مما يؤدي الى تناقص قيمة السرعة في البنية انتراسين\سيليكيا، مبتعدةً عن قيمة سرعة الأمواج الطولية للمسند، و مقتربة أكثر فأكثر من قيمة سرعة الأمواج الطولية للطبقة، حتى يصبح سمك الطبقة كافٍ لتتوزع فيها معظم طاقة هذه الأمواج، فتبلغ عندها سرعة الأمواج الطولية للبنية المدروسة قيمة سرعة الأمواج الطولية للطبقة، حيث تستقر عند هذه القيمة.

كما نلاحظ في هذه الحالة أن قيمة السمك المنظم المقابل لبداية مرحلة استقرار (ثبات) السرعة تختلف من اتجاه بلوري الى آخر، كما هو موضح في الجدول (1-4).

جهة الانتشار	[100]	[010]	[001]	[011]	[110]	[10 $\bar{1}$ ]
$(e / \lambda_T)_{sat}$	1.20	1.10	0.70	1.25	1.00	0.95

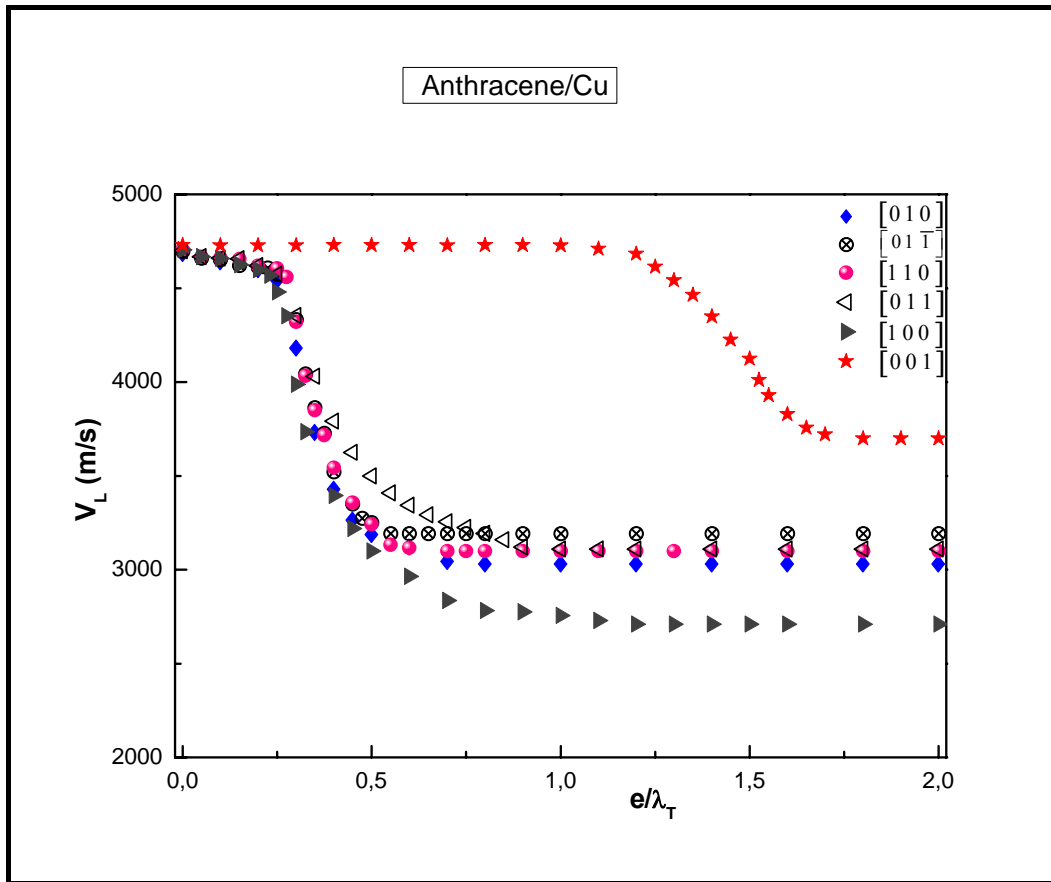
الجدول (1-4): قيم السمك المنظم المقابلة لبداية مرحلة استقرار السرعة الطولية في البنية انتراسين\  $SiO_2$

## 2.1.4 البنية انتراسين\ $Cu$

لدراسة تبدد النمط الطولي للبنية انتراسين\  $Cu$ ، وفق الاتجاهات البلورية المختلفة، استخدمنا شروط العمل الآتي ذكرها:

- تواتر الاهتزاز  $f = 50 \text{ MHz}$
- نصف فتحة العدسة  $\theta_{\max} = 50^\circ$
- سائل الربط هو الغليسرين ( $\rho_{liq} = 1260 \text{ Kg / m}^3$ )  
(  $V_{liq} = 1920 \text{ m / s}$
- المسند هو النحاس ( $V_{TS} = 2325 \text{ m / s}$  ،  $V_{LS} = 4759 \text{ m / s}$ )  
(  $\rho_s = 8933 \text{ Kg / m}^3$
- أما مميزات الطبقة (الانتراسين)، فهي تختلف من اتجاه بلوري الى آخر.

باتباع نفس الخطوات والمراحل المتبعة في دراسة البنية انتراسين\سيليك، درسنا الانتشار وفق مختلف الاتجاهات البلورية للبنية انتراسين\نحاس، فتحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (4-5).



الشكل (4-5): تبدد النمط الطولي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين\Cu



نلاحظ بالنسبة لمنحنيات تبديد الأمواج الطولية للبنية انتراسين\نحاس، في مختلف الاتجاهات البلورية، انه من أجل القيم الصغيرة للسلك المنظم للطبقة ( $e/\lambda_T \leq 0.25$ ) فإن قيمة سرعة الأمواج الطولية للبنية انتراسين\نحاس، تكون قريبة جدا من سرعة الأمواج الطولية في المسند؛ ذلك راجع الى كون معظم طاقة هذه الأمواج يكمن داخل المسند، ثم تتوزع هذه الطاقة بين الطبقة و المسند كلما زاد سمك الطبقة، مما يؤدي الى تناقص قيمة السرعة في هذه البنية، مبتعدة عن قيمة سرعة الأمواج الطولية للمسند، و مقتربة أكثر فأكثر من قيمة سرعة الأمواج الطولية للطبقة، حتى يصبح سمك الطبقة كافٍ لتتوزع فيه معظم طاقة هذه الأمواج، فتبلغ عندها سرعة الأمواج الطولية للبنية المدروسة، قيمة سرعة الأمواج الطولية للطبقة، ثم تستقر عندها.

إن قيمة السلك المنظم، المقابلة لبداية مرحلة استقرار السرعة، تختلف من اتجاه بلوري الى آخر، كما هو موضح في الجدول (2-4).

جهد الانتشار	[100]	[010]	[001]	[011]	[110]	[101]
$(e/\lambda_T)_{sat}$	1.20	0.70	1.70	0.90	0.55	0.55

الجدول (2-4): قيم السلك المنظم المقابلة لبداية مرحلة استقرار السرعة الطولية في البنية انتراسين\Cu

كما نلاحظ بداية حدوث تناقص حاد في قيمة السرعة مباشرة بعد تجاوز السلك المنظم القيمة ( $e/\lambda_T = 0.25$ ) بالنسبة للانتشار وفق جميع الاتجاهات البلورية، ما عدا الاتجاه البلوري [001]، فإن بداية التناقص الحاد في قيمة السرعة الطولية في هذا الاتجاه تحدث من أجل القيمة ( $e/\lambda_T > 1.2$ ) للسلك المنظم. هذا الاختلاف قد يكون راجع الى اختلاف النسبة بين ممانعتي الطبقة و المسند، فالنسبة بين الممانعة الطولية للانتراسين

وممانعة النحاس، تكون تقريبا متساوية بالنسبة لجميع الاتجاهات البلورية للانتراسين، باستثناء الاتجاه البلوري [001]، الذي تبلغ من أجله قيمة عظمى، كما هو مبين في الجدول (3-4). كما ان السرعة الطولية للانتراسين في هذا الاتجاه هي الاقرب الى السرعة الطولية للنحاس.

جبهة الانتشار	[100]	[010]	[001]	[011]	[110]	[10 $\bar{1}$ ]
$Z_L / Z_{Cu}$	0,080	0,090	<b>0,110</b>	0,091	0,092	0,094

الجدول (3-4): النسبة بين ممانعة النحاس و الممانعات الطولية للانتراسين وفق الاتجاهات البلورية المختلفة.

## 2.4 تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد النمط العرضي

ان دراسة تبدد النمط العرضي من الصعوبة بما كان، اذ يصعب الفصل بينه و بين نمط رايلي، ذلك لأن قيمة سرعة امواج رايلي قريبة جدًا من قيمة سرعة الأمواج العرضية، فهي بالنسبة لجميع المواد، محصورة في المجال  $0.87 V_T \leq V_R \leq 0.96 V_T$  [47]. حتى باستخدام طريقة فصل الانماط التي تعتمد على نصف فتحة العدسة الصوتية  $\theta_m$ ، المذكورة في الفصل الثالث، فإنه من أجل إظهار النمط العرضي، يجب أن تحقق فتحة العدسة الشرط:  $\theta_t \leq \theta_m < \theta_r$  بالنسبة لكل من الطبقة و المسند في نفس الوقت، هذا الشرط يصعب تحقيقه بالنسبة للانتراسين، اذ لم يكن ممكنا ايجاد مسند مناسب لدراسة تبدد النمط العرضي في جميع الاتجاهات البلورية للانتراسين، فقد نجد مسند مناسب لاتجاه بلوري معين، لكنه لا يناسب باقي الاتجاهات البلورية، ذلك راجع الى تغير قيم الزوايا المحرصة لكل نمط  $\theta|_{L,T,R}$ ، بتغير الاتجاهات البلورية المختلفة، كما هو مبين في الجدول (4-4).

### 3.4 تأثير الاتجاهات البلورية على تبدد نمط رايلي

#### 1.3.4 تعيين سرعة رايلي $V_R$

من أجل الحصول على سرعة رايلي للانتراسين في حالته الحجمية وفق الاتجاهات البلورية المختلفة، استعملنا برنامج يحاكي المجهر الصوتي الماسح  $SAM$ ، الأمر الذي تطلب تغذيته بالمعطيات اللازمة، المتمثلة في شروط العمل، أو شروط المحاكاة النظرية، وذلك لتعيين كل من معامل الانعكاس  $R(\theta)$ ، و الاستجابة الصوتية  $V(z)$ .

استعملنا في هذه الدراسة، الشروط العادية المستعملة عادة في المجهر الصوتي الماسح التي نُلخِّصُها فيما يلي:

- نصف فتحة العدسة:  $\theta_{\max} = 50^\circ$
- تواتر الاهتزاز:  $f = 50MHz$
- سائل الربط: تم اختيار سائل الربط المثالي؛ الهليوم السائل  $(V_{liq} = 183m/s, \rho_{liq} = 126Kg/m^3)$  [21]، فهو عمليا لا يمتص الطاقة الصوتية، بالإضافة إلى كون سرعة الصوت فيه أقل بكثير من سرعة أمواج رايلي في الانتراسين، و هو الشرط الواجب تحقيقه للحصول على هذا النمط.

بعد تغذية برنامج المحاكاة بهذه المعطيات، و من أجل تعيين سرعة رايلي للانتراسين وفق مختلف الاتجاهات البلورية، اتبعنا الخطوات المحددة بتقنية المجهرية الصوتية، التي أثبتت فعاليتها في تحديد سرعة انتشار مثل هذا النمط؛ في البداية نعين  $R(\theta)$ ، ثم نعين  $V(z)$ ، و في الأخير نقوم بتعيين  $FFT$  الذي يسمح لنا بحساب  $V_R$ ، فتحصلنا على قيم سرعة رايلي، الموافقة للاتجاهات البلورية المختلفة لمادة الانتراسين، و دونًا النتائج في الجدول (4-4).

$\theta_R(^{\circ})$	سرعة رايلي $V_R(m/s)$	$\theta_L(^{\circ})$	$V_L(m/s)$	جهة الاستقطاب	$\theta_L(^{\circ})$	$V_L(m/s)$	جهة الانتشار
26,13	<b>1096</b>	22,90	1160	[001]	15,32	2710	[100]
40,83	<b>1636</b>	38,11	1840	[010]	15,32	2710	[100]
36,49	<b>1204</b>	34,01	1280	[001]	13,58	3050	[010]
23,63	<b>1786</b>	20,87	2010	[100]	13,58	3050	[010]
31,03	<b>1390</b>	29,15	1470	[010]	11,07	3730	[001]
27,59	<b>1549</b>	25,72	1650	[100]	11,07	3730	[001]
23,58	<b>1268</b>	20,98	1350	[01 $\bar{1}$ ]	13,31	3110	[011]
34,38	<b>1790</b>	32,03	2000	[100]	13,31	3110	[011]
34,72	<b>1257</b>	32,30	1340	[010]	12,93	3200	[10 $\bar{1}$ ]
43,51	<b>1040</b>	40,61	1100	[101]	12,93	3200	[10 $\bar{1}$ ]
33,19	<b>1308</b>	31,00	1390	[001]	13,27	3120	[110]
38,59	<b>1148</b>	36,28	1210	[1 $\bar{1}$ 0]	13,27	3120	[110]

الجدول (4-4): المميزات الصوتية للانتراسين وفق الاتجاهات البلورية المختلفة (الزوايا  $\theta_{L,T,R} = \sin^{-1}(V_{liq}/V_{L,T,R})$ ، محسوبة باستخدام الفريون كسائل ربط  $(V_{liq} = 716 m/s)$ )

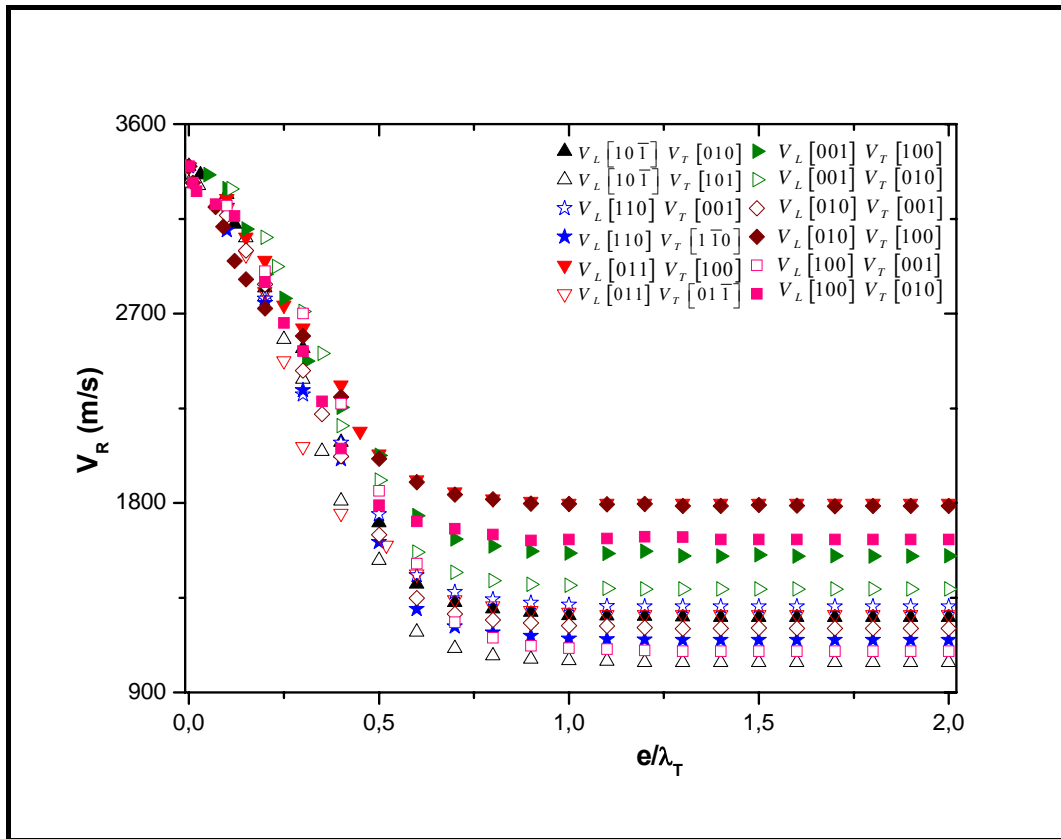
### 2.3.4 التبدد السالب لنمط رايلي

التبدد السالب لنمط رايلي، هو الظاهرة التي تحدث عندما تكون سرعة رايلي للمسند أعلى من سرعة رايلي للطبقة، وهو الشرط الذي جعلنا نختار لدراسة هذه الظاهرة بالنسبة للانتراسين، مسند من مادة السيليكا.

### 1.2.3.4 البنية انتراسين $SiO_2$

درسنا البنية انتراسين  $SiO_2$  باستخدام قيم السرعات الصوتية الطولية و العرضية الموافقة للاتجاهات البلورية المختلفة لمادة الانتراسين، المعطاة في الجدول (4-4)، بالإضافة الى كثافة مادة

الانتراسين  $\rho_C = 1250 \text{Kg} / \text{m}^3$  ، و بعد تغذية برنامج المحاكاة بشروط العمل المتمثلة في مميزات المسند الذي هو من مادة السيليكا  $(\rho_S = 2150 \text{Kg} / \text{m}^3 , V_{LS} = 5968 \text{m} / \text{s} , V_{TS} = 3764 \text{m} / \text{s} , V_{RS} = 3409 \text{m} / \text{s})$  [19]، سائل الربط المستعمل فهو الهليوم السائل، وتواتر العمل  $f = 50 \text{MHz}$  و نصف فتحة العدسة  $\theta_m = 50^\circ$  ، بالإضافة الى مميزات الطبقة. فمن أجل دراسة تغير سرعة رايلي وفق مختلف الاتجاهات البلورية بدلالة السمك المنظم  $(e / \lambda_T)$  لطبقة الانتراسين المرسبة فوق مسند من السيليكا، حيث  $e$  و  $\lambda_T$  يمثلان على الترتيب سمك الطبقة و طول الموجة العرضية المنتشرة فيها. قمنا بحساب سرعة رايلي  $V_R$  المقابلة للقيم المختلفة للسمك المنظم لطبقة الانتراسين المرسبة فوق مسند من السيليكا، بالنسبة لكل الاتجاهات البلورية الممكنة، ثم قمنا برسم تغيرات هذه السرعة بدلالة السمك المنظم، فتحصلنا على منحنيات التبدد لسرعة رايلي وفق اتجاهات الانتشار و الاستقطابات المختلفة، فتحصلنا على المنحنيات المبينة في الشكل (6-4).



الشكل (6-4): منحنيات تبدد نمط رايلي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين  $SiO_2$  ( $V_L$  توافق جهة الانتشار،  $V_T$  توافق جهة الاستقطاب)

نلاحظ بالنسبة لمنحنيات تبدد أمواج رايلي في البنية انتراسين\سيليكيا في مختلف الاتجاهات البلورية، انه من أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم للطبقة  $(e/\lambda_T)$  فإن قيمة سرعة رايلي في البنية انتراسين\سيليكيا، تكون قريبة من سرعة رايلي في المسند؛ ذلك راجع الى كون معظم طاقة هذه الأمواج يكمن داخل المسند، ثم تتوزع تدريجيا هذه الطاقة بين المسند و الطبقة كلما زاد سمك الطبقة، مما يؤدي الى تناقص قيمة السرعة في البنية انتراسين\سيليكيا، مبتعدةً عن قيمة سرعة رايلي للمسند، و مقتربة رويدا رويدا من قيمة سرعة رايلي للطبقة، حتى تصبح قيمة السمك المنظم  $(e/\lambda_T)_{sat} = 1$  بالنسبة لجميع الاتجاهات البلورية، حيث يصبح سمك الطبقة كافٍ لتتوزع فيها معظم طاقة هذه الأمواج، عندها تبلغ سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة قيمة سرعة رايلي للطبقة، فنصل الى مرحلة استقرار أو ثبات السرعة أو مرحلة التشبع.

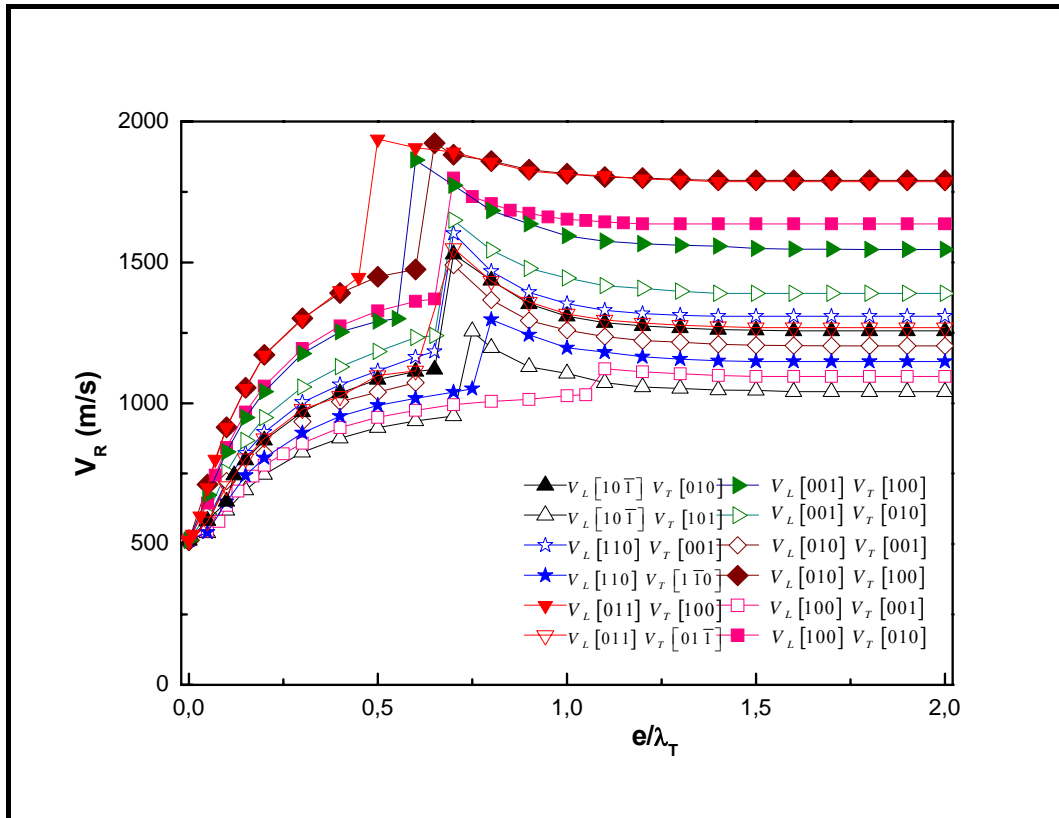
### 3.3.4 التبدد الموجب لنمط رايلي

التبدد الموجب لنمط رايلي، هو الظاهرة التي تحدث عندما تكون سرعة أمواج رايلي في المسند أصغر من سرعة أمواج رايلي في الطبقة، هذا الشرط جعلنا نختار لدراسة هذه الظاهرة بالنسبة للانتراسين، مسند من مادة البولي ايثيلين.

#### 1.3.3.4 البنية انتراسين\ PE

اخترنا لدراسة التبدد الموجب لنمط رايلي البنية؛ انتراسين\ PE  $(\rho_S = 920 \text{Kg} / \text{m}^3, V_{LS} = 1950 \text{m} / \text{s}, V_{TS} = 540 \text{m} / \text{s}, V_{RS} = 513 \text{m} / \text{s})$  [19]، أما سائل الربط المستعمل فهو الهيليوم السائل، وتواتر العمل  $f = 50 \text{MHz}$ ، و نصف فتحة العدسة  $\theta_m = 50^\circ$ ، بالإضافة الى مميزات الطبقة  $(\rho_C = 1250 \text{Kg} / \text{m}^3, V_{TC}, V_{LC})$ ، حيث قيم  $V_{TC}, V_{LC}$  تتغير بتغير الاتجاه البلوري، كما هو موضح في الجدول (4-4). تُعبر هذه المقادير عن شروط العمل المستعملة في برنامج المحاكاة المستخدم في هذه الدراسة،

والذي يحاكي مجهر صوتي ماسح. باتباع خطوات العمل المعتمدة في المجهرية الصوتية، قمنا بحساب قيم سرعة أمواج رايلي المقابلة لمختلف قيم السمك المنظم لطبقة الانتراسين في البنية انتراسين ابولي ايثيلين، من أجل الاتجاهات البلورية المختلفة لمادة الانتراسين، ثم بعد ذلك مثلنا النتائج بيانياً، فتحصلنا على المنحنيات المبينة في الشكل (7-4).



الشكل (7-4): منحنيات تبديد نمط رايلي وفق الاتجاهات البلورية المختلفة للبنية انتراسين \ PE (  $V_L$  توافق جهة الانتشار،  $V_T$  توافق جهة الاستقطاب )

نلاحظ بالنسبة لمنحنيات تبديد أمواج رايلي في البنية انتراسين \ PE في مختلف الاتجاهات البلورية، انه من أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم للطبقة ( $e / \lambda_T$ ) فإن قيمة سرعة رايلي تكون قريبة من سرعة أمواج رايلي في المسند؛ ذلك راجع الى كون معظم طاقة هذه الأمواج يكمن داخل

المسند، ثم تتوزع تدريجياً هذه الطاقة بين الطبقة و المسند كلما زاد سمك الطبقة<sup>[12]</sup>، مما يؤدي الى تزايد قيمة سرعة رايلي في البنية انتراسين  $PE$ ، مبتعداً عن قيمة سرعة رايلي للمسند، و مقتربة رويدا رويدا من قيمة سرعة رايلي للطبقة، حتى تصبح قيمة السمك المنظم  $(e/\lambda_T)_{sat} = 1.2$  بالنسبة لجميع الاتجاهات البلورية، حيث يصبح سمك الطبقة كافٍ لاحتواء معظم طاقة هذه الأمواج، عندها تبلغ سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة قيمة سرعة رايلي للطبقة، فنصل الى مرحلة استقرار السرعة أو مرحلة التشبع.

كما نلاحظ، ظهور تغيرات غير عادية، في المجال  $0 < e/\lambda_T < 1.2$  من هذه المنحنيات؛ إذ قبل بلوغ مرحلة استقرار السرعة عند قيمة سرعة رايلي للطبقة، تقفز قيمة سرعة رايلي للبنية انتراسين\بولي-ايثيلين الى قيمة عظمى أعلى من سرعة رايلي للطبقة  $V_{RC} < (V_R)_{Max}$ ، ثم تتناقص من جديد تدريجياً الى ان تبلغ قيمة سرعة رايلي لهذه الطبقة  $V_{RC}$ . هذه الظاهرة سوف ندرسها بالتفصيل في الفصل الخامس.

#### 4.4 الاستنتاجات

- بالنسبة لتبدد النمط الطولي في البنيتين؛ انتراسين  $SiO_2$ ، انتراسين  $Cu$ ، فإن سرعة الامواج الطولية للبنية المدروسة تتغير تدريجياً مع زيادة سمك طبقة الانتراسين، انطلاقاً من قيمة سرعة الامواج الطولية في المسند، ثم تتناقص باستمرار الى ان تبلغ قيمة سرعة الامواج الطولية في الانتراسين وفق الاتجاه البلوري المدروس. كما ان قيمة السمك المنظم للطبقة  $(e/\lambda_T)$ ، المقابلة لبدائية مرحلة استقرار السرعة، تختلف من اتجاه بلوري الى آخر.



● بالنسبة للتبدد السالب لنمط رايلي في البنية انتراسين  $SiO_2$ ، فإنه:

- من أجل  $e/\lambda_T = 0$  تكون سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تساوي سرعة رايلي للمسند  $V_R = V_{RS}$

- من أجل  $0 < e/\lambda_T < 1$  فإن سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تكون محصورة بين سرعة رايلي للمسند و سرعة رايلي للطبقة.  $V_{RC} > V_R > V_{RS}$ .

- من أجل  $e/\lambda_T \geq 1$  تكون سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تساوي سرعة رايلي للطبقة  $V_R = V_{RC}$

● بالنسبة للتبدد الموجب لنمط رايلي في البنية انتراسين  $PE$ ، فإنه:

- من أجل  $e/\lambda_T = 0$  تكون سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تساوي سرعة رايلي للمسند  $V_R = V_{RS}$

- من أجل  $0 < e/\lambda_T < 1.2$  فإن سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تكون محصورة بين سرعة رايلي للمسند و سرعة رايلي للطبقة  $V_{RC} > V_R > V_{RS}$ ، مع ظهور تغير غير عادي في منحنى التبدد، حيث تقفز السرعة الى قيمة عظمى أعلى من سرعة الطبقة  $(V_R)_{Max} > V_{RC}$

- من أجل  $e/\lambda_T \geq 1.2$  تكون سرعة أمواج رايلي للبنية المدروسة تساوي سرعة رايلي للطبقة  $V_R = V_{RC}$

## الفصل الخامس

# دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية انتراسين|مسند

## 1.5 مقدمة

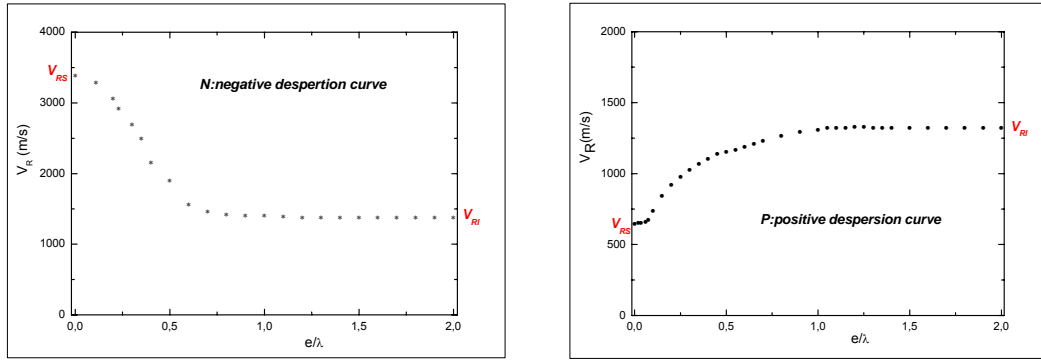
يوجد نوعان من منحنيات التبدد لنمط رايلي؛ منحنيات التبدد الموجب المميزة للبنية طبقة\مسند التي تكون فيها سرعة أمواج رايلي في الطبقة أعلى من سرعة أمواج رايلي في المسند، و منحنيات التبدد السالب المميزة للبنية طبقة\مسند التي تكون فيها سرعة أمواج رايلي في الطبقة أدنى من سرعة أمواج رايلي في المسند.

أثناء دراستنا لظاهرة تبدد نمط رايلي في البنية أنتراسين\مسند ظهرت بعض التغيرات غير العادية في منحنيات التبدد، فمثلاً خلال دراستنا للتبدد الموجب باستخدام البنية انتراسين\بولي-ايثيلين، وفق الاتجاهات البلورية المختلفة، لاحظنا ظهور تغيرات غير عادية في منحنيات تبدد سرعة رايلي لهذه البنية. فقررنا دراسة ظاهرة التغير غير العادي هذه، بالنسبة للبنية انتراسين\بولي-ايثيلين وفق الاتجاهات البلورية المختلفة. كما درسنا هذه الظاهرة بالنسبة للتبدد الموجب و التبدد السالب، في عدد كبير من البنى طبقة\مسند.

بدايةً، قبل دراسة هذه الظاهرة ( التغيرات غير العادية في منحنيات التبدد)، لابد من الحديث عن الحالة العادية لمنحنيات التبدد، الخالية من التغيرات غير العادية. في هذه الحالة فإن قيمة سرعة رايلي للبنية طبقة\مسند، و كما هو موضح في الشكل (5-1)، تبدأ من قيمة سرعة رايلي للمسند، ثم تتزايد في حالة التبدد الموجب أو تتناقص في حالة التبدد السالب، الى أن تبلغ قيمة سرعة رايلي للطبقة، أي؛ في حالة عدم وجود تغير غير عادي في منحنى تبدد سرعة رايلي، مهما يكن سمك الطبقة، فإن سرعة

رايلي للبنية طبقة\مسند  $V_R$ ، تكون محصورة بين سرعة رايلي للمسند  $V_{RS}$  و سرعة رايلي للطبقة  $V_{RC}$ ، ونعبر عن ذلك بالعلاقة (1-5).

$$(1-5) \quad V_{RS} \leq V_R \leq V_{RC}$$



الشكل (1-5): منحنيات تبدد نمط رايلي في الحالة العادية (حالة عدم وجود تغير غير عادي)

$P$ : منحنى التبدد الموجب       $N$ : منحنى التبدد السالب

## 2.5 دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية انتراسين\ $PE$

لاحظنا ظهور تغيرات غير عادية في منحنيات تبدد السرعة لنمط رايلي، أثناء دراستنا للتبدد الموجب باستخدام البنية انتراسين\ابولي-ايتيلين، وفق الاتجاهات البلورية المختلفة، فبدلاً من ان تتزايد سرعة رايلي للبنية المدروسة، بدءاً من قيمة سرعة رايلي للمسند من أجل القيم الصغيرة للسمك

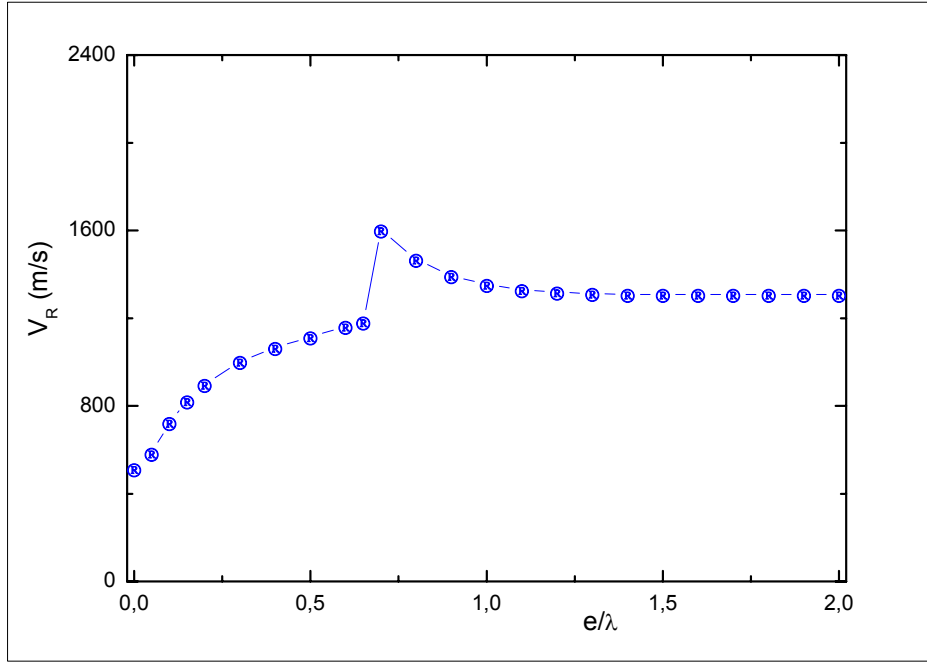
المنظم (حيث تكون معظم طاقة أمواج رايلي كامنة في المسند، مقتربة تدريجيا من سرعة رايلي للطبقة بزيادة السمك)، الى أن تبلغ قيمة سرعة رايلي للطبقة (عندما يصبح سمك الطبقة كافيا لكي تكون كل طاقة أمواج رايلي محصورة فيه)، فإن سرعة امواج رايلي تقفز الى قيمة عظمى  $(V_R)_{\max}$  أعلى من قيمة سرعة رايلي للطبقة، من أجل قيمة محددة للسمك المنظم  $(e/\lambda_T)_{\max}$  مرتبطة بالاتجاه البلوري، ثم تتناقص تدريجيا الى غاية بلوغ السرعة الحدية، المتمثلة في قيمة سرعة رايلي للطبقة وفق الاتجاه البلوري المدروس، فمثلاً الشكل (5-2) يوضح التغير غير العادي الحادث في منحنى تدد نمط رايلي الناتج عن انتشار موجة طولية في الاتجاه البلوري [110] و موجة عرضية في الاتجاه  $[1\bar{1}0]$  للبنية أنتراسين  $PE$ .

### 1.2.5 الدراسة الكيفية للظاهرة

درسنا هذه الظاهرة من خلال البحث عن ثابت المرونة المؤثر في هذه الظاهرة، فوجدناه متمثلاً في النسبة بين حاصل قسمة كثافة الطبقة على كثافة المسند و حاصل قسمة سرعة رايلي للطبقة على سرعة رايلي للمسند، الذي نرسم له بالرمز  $\delta$ ، المعطى بالعلاقة (5-2).

$$(2-5) \quad \delta = \frac{\rho_C / \rho_S}{V_{RC} / V_{RS}}$$

حيث  $\rho_s$  ،  $\rho_c$  تمثلان كثافة الطبقة و كثافة المسند على الترتيب، أما  $V_{RS}$  ،  $V_{RC}$  فتمثلان سرعة رايلي للطبقة و سرعة رايلي للمسند على الترتيب.



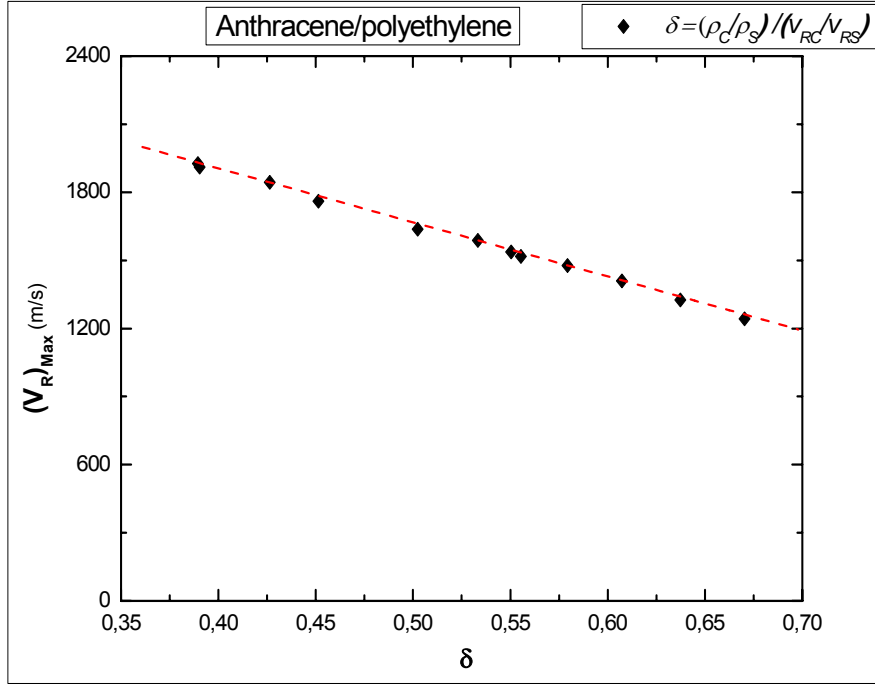
الشكل (5-2): تبدد نمط رايلي الناتج عن موجة طولية في الاتجاه  $[110]$

و موجة عرضية في الاتجاه  $[1\bar{1}0]$  للبنية انتراسين  $PE$

## 2.2.5 الدراسة الكمية للظاهرة

من الناحية الكمية لهذه الظاهرة فقد وجدنا ان جداء القيمة العظمى لسرعة امواج رايلي  $(V_R)_{max}$  و السمك المنظم المقابل لها  $(e/\lambda_T)_{max}$  ، حيث

$e$  سمك الطبقة مقدر بالميكرون،  $\lambda_T$  طول الموجة العرضية في الطبقة، يتغير خطيا بدلالة  $\delta$ ، حيث تتناقص قيمة الجداء بزيادة قيمة  $\delta$ ، كما يوضح ذلك الشكل (3-5).



الشكل (3-5): العلاقة بين القيمة العظمى لسرعة رايلي و ثابت المرونة  $\delta$

في البنية انتراسين | PE

سمحت لنا هذه الدراسة بالحصول على العبارة التحليلية التي تصف هذا التغير، المعبر عنها بالعلاقة (3-5).

$$(3-5) \quad (V_R)_{Max} = 2385 - 2860 \delta$$

### 3.5 دراسة التغيرات غير العادية في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة\مسند

أثناء دراسة ظاهرة تبدد نمط رايلي في البنية أنتراسين\مسند، ظهرت بعض التغيرات غير العادية في منحنيات التبدد، فقررنا دراسة هذه الظاهرة. لإثراء هذه الدراسة، فقد استعملنا عددا كبيرا من البنى طبقة\مسند (أكثر من ثلاثين بنية)، كما هو مبين في الجدول (5-2)، ذلك باستخدام المواد المبينة في الجدول (5-1)، فلاحظنا ظهور أربعة أنواع من التغيرات غير العادية؛ اثنان منها:  $(P_{Max})$  ،  $(P_{Min})$  في منحنيات التبدد الموجب<sup>[46]</sup>، و اثنان:  $(N_{Min})$  ،  $(N_{Max})$  في منحنيات التبدد السالب كما هو موضح في الشكل (5-4).

■ **تغير غير عادي من النوع  $(P_{Max})$  :** في التبدد الموجب؛ قبل بلوغ سرعة رايلي للبنية طبقة\مسند، قيمة سرعة رايلي للطبقة  $V_{RC}$ ، فإنها تقفز الى قيمة عظمى أعلى من قيمة سرعة رايلي للطبقة  $(V_R)_{Ext} > V_{RC}$ ، ثم تتناقص من جديد الى ان تستقر عند القيمة  $V_R = V_{RC}$ .

■ **تغير غير عادي من النوع  $(N_{Min})$  :** في التبدد السالب؛ قبل بلوغ سرعة رايلي للبنية طبقة\مسند، قيمة سرعة رايلي للطبقة  $V_{RC}$ ، فإنها تتناقص الى قيم أقل من سرعة رايلي للطبقة، حتى تبلغ قيمة دنيا  $(V_R)_{Ext} < V_{RC}$ ، ثم تتزايد من جديد الى ان تستقر عند القيمة  $V_R = V_{RC}$ .



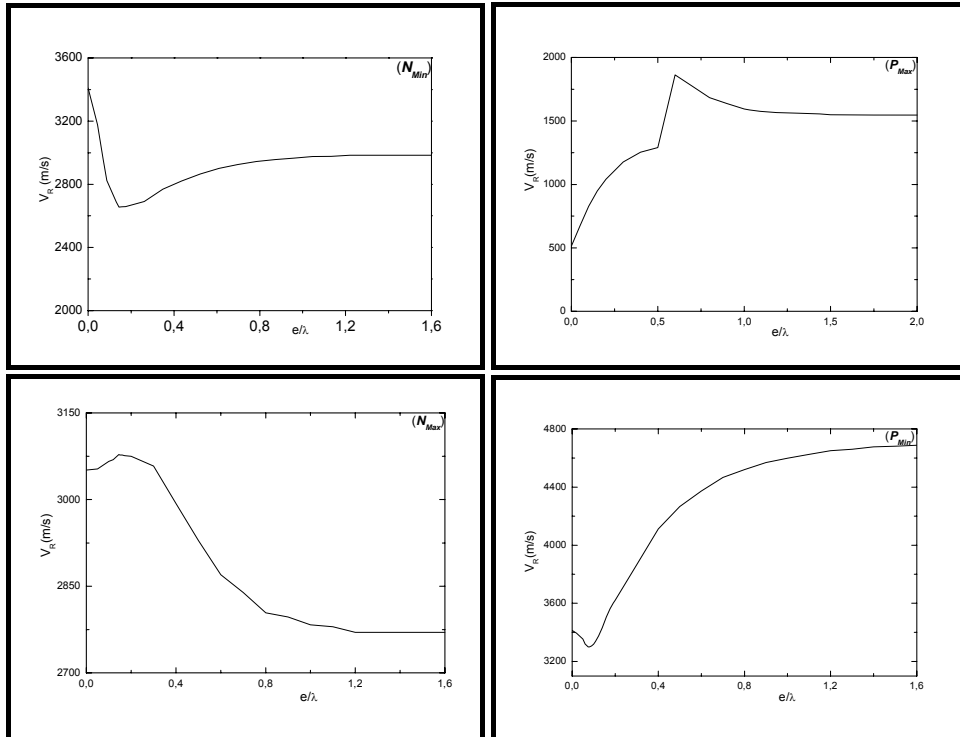
- **تغير غير عادي من النوع (P<sub>Min</sub>):** في التبدد الموجب؛ من أجل القيم الصغيرة للسلك المنظم، فإن سرعة رايلي  $V_R$  للبنية طبقة\مسند، بدلا من أن تتزايد قيمتها فإنها تأخذ قيمة أقل من سرعة رايلي للمسند، حتى تبلغ قيمة دنيا  $(V_R)_{Ext} < V_{RS}$ ، ثم تتزايد من جديد الى ان تستقر عند القيمة  $V_R = V_{RC}$ .
- **تغير غير عادي من النوع (N<sub>Max</sub>):** في التبدد السالب؛ من أجل القيم الصغيرة للسلك المنظم، فإن سرعة رايلي  $V_R$  للبنية طبقة\مسند، بدلا من أن تتناقص قيمتها فإنها تأخذ قيمة أكبر من سرعة رايلي للمسند، حتى تبلغ قيمة عظمى  $(V_R)_{Ext} > V_{RS}$ ، ثم تتناقص من جديد الى ان تستقر عند القيمة  $V_R = V_{RC}$ .

لاحظنا أيضا، أن النسبة بين سرعتي انتشار النمط العرضي في كل من الطبقة و المسند هي التي تتحكم في ظهور أو اختفاء التغير غير العادي، إذ لا يظهر أي نوع من التغيرات غير العادية المذكورة أعلاه في أي بنية طبقة\مسند، لا يتحقق فيها الشرط (4-5).

$$(4-5) \quad \frac{V_{TC}}{V_{TS}} > \frac{1}{\sqrt{2}}$$

تمكنا من تحديد معامل المرونة الذي يتحكم في نوع التغير غير العادي الظاهر، فوجدنا أن معامل المرونة  $\delta$  الذي يعطى بالعلاقة (2-5)، هو الذي يحدد نوع التغير غير العادي الظاهر، فمن خلال دراستنا لمجموعة التراكيب طبقة/مسند الواقعة في المجال  $0 < \delta \leq 4$ ، المبينة في الجدول (2-5)، وجدنا أنه إذا كان:

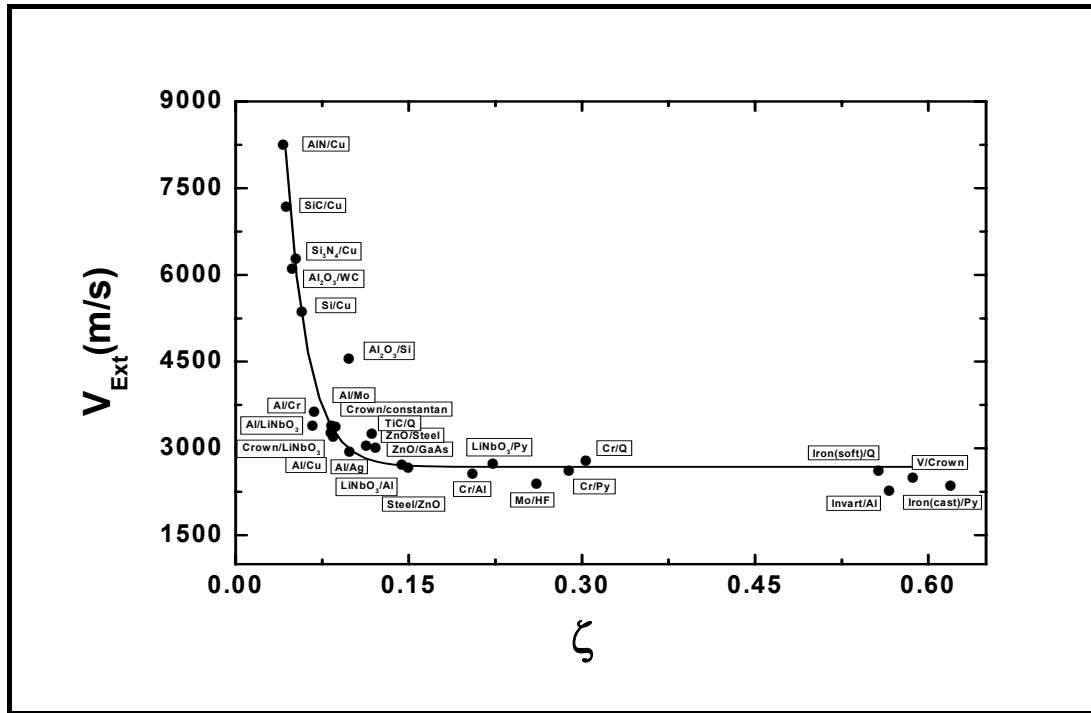
- $\delta < 0,3$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $P_{Max}$ )
- $0,3 < \delta < 1,2$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $N_{Max}$ )
- $1,2 < \delta < 3,1$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $P_{Min}$ )
- $3,1 < \delta$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $N_{Min}$ )



الشكل (4-5): أنواع التغيرات غير العادية الظاهرة في نمط رايلي

لاحظنا أن سرعة رايلي في منطقة التغير غير العادي تبلغ قيمة قصوى  $V_{Ext}$  (عظمى أو دنيا حسب نوع التغير غير العادي الحادث) من أجل قيمة محددة للسلك المنظم  $(e/\lambda_T)$ ، حيث  $e$  سمك الطبقة،  $\lambda_T = V_T / f$  طول الموجة العرضية في الطبقة،  $V_T$  سرعة الامواج العرضية في الطبقة،  $f$  التواتر المستعمل.

لمقارنة النتائج المتحصل عليها بالنسبة لمختلف التراكيب طبقة\مسند قيد الدراسة، مثلنا بيانياً في الشكل (5-5)، تغيرات السرعة القصوى  $(V_{Ext})$  التي تمثل كلا السرعتين العظمى  $V_{Max}$  و الدنيا  $V_{Min}$  الناتجة بدلالة معامل المرونة، عديم الابعاد،  $\zeta = \delta \times (e / \lambda_T)_{Ext}$ ، حيث  $(e/\lambda_T)_{Ext}$  هو السمك المنظم المقابل لقيمة السرعة القصوى، في جميع انواع التغيرات غير العادية. النتائج تبين أن السرعة القصوى تتناقص أسياً مع  $\zeta$ .



الشكل (5-5): تأثير السمك المنظم للطبقة و معامل المرونة  $\delta$  على تغيرات سرعة رايلي القصوى؛ النقاط تمثل نتائج الحسابات أما الخط المستمر فيمثل منحنى المطابقة.

سمحت لنا الدراسة التحليلية للبيان الممثل في الشكل (5-5)، بعد مطابقة (*fitting*) النتائج المتحصل عليها مع العبارات التحليلية، بالحصول على العبارة النظرية (4-5)، التي تصف تغيرات السرعة القصوى بدلالة معامل المرونة  $\zeta$ .

$$(4-5) \quad V_{Ext} = 52000 \exp[-\zeta / 0.019] + 2700$$

## 4.5 الاستنتاجات

لا تحدث تغيرات غير عادية، من أي نوع، في البنية طبقة\مسند، التي لا تحقق الشرط:  $V_{TC} / V_{TS} > 1 / \sqrt{2}$ . حيث:  $V_{TC}$ ،  $V_{TS}$  هما سرعتي انتشار النمط العرضي في كل من الطبقة و المسند على الترتيب.

يتحكم معامل المرونة  $\delta = (\rho_C / \rho_S) / (V_{RC} / V_{RS})$  (حيث:  $\rho_C$ ،  $\rho_S$ ،  $V_{RC}$ ،  $V_{RS}$  تمثل كثافة و سرعة رايلي للطبقة و المسند على الترتيب) في نوع التغير غير العادي، الحادث في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة\مسند، التي تحقق الشرط السابق، فإذا كان:

- $\delta < 0,3$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $P_{Max}$ )
- $0,3 < \delta < 1,2$  يظهر التغير غير العادي من النوع ( $N_{Max}$ )

•  $1,2 < \delta < 3,1$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(P_{Min})$

•  $3,1 < \delta$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(N_{Min})$

كما ترتبط السرعة القصوى  $V_{Ext}$  (عظمى أو دنيا) ، بقيمة معامل المرونة  $\zeta$  في التغير غير العادي، مهما كان نوعه، بواسطة العلاقة التحليلية الآتية:

$$V_{Ext} = 52000 \exp[-\zeta / 0.019] + 2700$$

	المواد	$V_L (m/s)$	$V_T (m/s)$	$V_R (m/s)$	$\rho (Kg/m^3)$
1	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	10607	6204	5694	3185
2	AlN	10012	7647	6418	3260
3	Si	9160	5085	4712	2300
4	ZnO	6400	2950	2765	5605
5	Ag	3704	1698	1592	10500
6	Cr	6608	4005	3655	7194
7	pyrex	5640	3280	3013	2230
8	Crown	5660	3420	3127	2240
9	Constantan	5177	2625	2445	8900
10	GaAs	4730	3350	2936	5317
11	LiNbO <sub>3</sub>	6960	3660	3390	4700
12	V	6023	2774	2600	6090
13	TC	8270	5160	4684	5150
14	Mo	6475	3505	3247	10222
15	HF	5260	2960	2731	3600
16	Iron(soft)	5957	3234	2986	7690
17	Iron(cast)	4994	2809	2591	7220
18	Q	5970	3765	3410	2200
19	Cu	4759	2325	2171	8933
20	SiC	12099	7485	6806	3210
21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10822	6163	5676	3970
22	WC	6655	3984	3643	15000
23	Al	6420	3040	2844	2700
24	Steel	5980	3297	3048	7800
25	Anthracene	3720	1470	1384	1250
26	PTFE	1390	700	652	2140
27	Invar	4657	2658	2447	8000

الجدول(5-1): المميزات المرورية للمواد المستعملة في دراسة التغيرات غير العادية

في منحنيات تبدد نمط رايلي للبنية طبقة\مسند

	البنية (طبقة\مسند)	$\delta$	$V_{Ext}$	$(e/\lambda_T)_{Ext}$	$(V_R)_{Ext} \times (e/\lambda_T)_{Ext}$	$V_{TC} / V_{TS}$
1	SiC/Cu	0.1146	7216	0.4	2886.4	<b>3.219</b>
2	Si/Cu	0.1186	5404	0.5	2702	<b>2.187</b>
3	AlN/Cu	0.1235	8288	0.35	2900.8	<b>3.289</b>
4	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Cu	0.1359	6318	0.4	2527.2	<b>2.668</b>
5	Al/Ag	0.1439	2987	0.7	2090.9	<b>1.790</b>
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /WC	0.1699	6137	0.3	1841.1	<b>1.547</b>
7	Crown/Constantan	0.1968	3416	0.45	1537.2	<b>1.303</b>
8	Al/Cu	0.2307	3235	0.375	1213.13	<b>1.308</b>
9	An/PTFE	0.2752	1440	0.7	1008	<b>2.100</b>
10	Al/Mo	0.3016	3304	0.28	925.12	<b>0.867</b>
11	Al/Cr	0.4823	3667	0.145	531.72	<b>0.759</b>
12	Crown/LiNbO <sub>3</sub>	0.5167	3429	0.165	565.79	<b>0.934</b>
13	Al/LiNbO <sub>3</sub>	0.6848	3428	0.1	342.8	<b>0.831</b>
14	ZnO/Steel	0.7923	3078	0.145	446.31	<b>0.895</b>
15	ZnO/GaAs	1.1194	3050	0.11	335.5	<b>0.881</b>
16	Steel/ZnO	1.2622	2710	0.12	325.2	<b>1.118</b>
17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Si	1.4329	4590	0.085	390.15	<b>1.212</b>
18	LiNbO <sub>3</sub> /Al	1.4604	2759	0.1	275.9	<b>1.204</b>
19	TiC/Q	1.7042	3300	0.08	264	<b>1.371</b>
20	LiNbO <sub>3</sub> /Pyrex	1.8732	2778	0.12	333.36	<b>1.116</b>
21	Cr/Al	2.0732	2603	0.1	260.3	<b>1.317</b>
22	Mo/H.F.	2.3882	2430	0.11	267.3	<b>1.184</b>
23	Cr/Pyrex	2.642	2650	0.11	291.72	<b>1.064</b>
24	Cr/Q	3.0508	2897	0.1	289.7	<b>1.064</b>
25	V/Crown	3.2698	2529	0.18	455.22	<b>0.811</b>
26	Invar/Al	3.4437	2232	0.165	368.28	<b>0.874</b>
27	Iron(cast)/Pyrex	3.765	2349	0.165	387.59	<b>0.856</b>
28	Iron(soft)/Q	3.9918	2655	0.14	371.7	<b>0.859</b>

الجدول (5-2): التراكيب المستعملة في دراسة التغيرات غير العادية

في منحنيات تبديد نمط رايلي للبنية طبقة\مسند

## الاستنتاجات العامة

في دراستنا هاته للوسائط المرنة لأنصاف النواقل العضوية، تطبيقا على مادة الانتراسين، باستخدام المجهرية الصوتية، و هي تقنية غير متلفة، فقد قمنا بدراسة العوامل المؤثرة على فعالية نمط رايلي، و تحديد العلاقة التحليلية الخاصة بكل عامل من هذه العوامل. فوجدنا أن فعالية نمط رايلي تتناقص تناقصاً أسياً، مع زيادة كل من التواتر  $f$  و كثافة المادة  $\rho$ ، في حين أنها تتزايد تزايداً خطياً مع زيادة كثافة سائل الربط  $\rho_{liq}$ . كما تتزايد فعالية نمط رايلي بزيادة فتحة العدسة، حيث نحصل على افضل قيمة للفعالية من أجل زاوية نصف فتحة العدسة  $\theta_m = 50^\circ$ .

$$Eff . = 0.13 + 0.99 \exp(-f / 37.2)$$

$$Eff . = 0.17 + 0.98 \exp(-\rho / 1136.9)$$

$$Eff . = 4.31 \times 10^{-3} + 6.79 \times 10^{-3} \rho_{liq}$$

$$Eff . = 0.443 - 1.18 \exp(-\theta_m / 7.2)$$

دراسة فصل الأنماط في المجهرية الصوتية، سمحت لنا بتحديد الشروط المناسبة لتحريض و دراسة كل نمط من الأنماط الصوتية (نمط رايلي، النمط العرضي و النمط الطولي)، بالنسبة لجميع المواد و باستخدام أي مجهر صوتي ماسح. فدراسة تبدد النمط الطولي، و نمط رايلي للبنية انتراسين\مسند، قد تم انجازها باستخدام عدة مساند.



◀ فمنا بدراسة تأثير الاتجاهات البلورية للانتراسين، على تبدد النمط الطولي في البنيتين؛ انتراسين  $SiO_2$ ، انتراسين  $Cu$ ، كما درسنا تأثير الاتجاهات البلورية للانتراسين، على تبدد نمط رايلي، في حالة التبدد السالب، باستخدام البنية؛ انتراسين  $SiO_2$ ، و في حالة التبدد الموجب لنمط رايلي باستخدام البنية؛ انتراسين  $PE$ .

فقد وجدنا بالنسبة لتبدد النمط الطولي و نمط رايلي في البنية؛ انتراسين\مسند، في مختلف الاتجاهات البلورية؛ من أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم للطبقة  $(e/\lambda_T)$  أن قيمة سرعة النمط المدروس في البنية انتراسين\مسند، تبدأ من قيمة سرعة النمط في المسند، إذ تكون تقريباً مساوية لها من أجل القيم الصغيرة لسمك الطبقة، ثم بزيادة السمك، تتغير تدريجياً (تتزايد في حالة التبدد الموجب أو تتناقص في حالة التبدد السالب) مبتعدةً عن قيمة سرعة المسند، و مقتربة رويدا رويدا من قيمة سرعة هذا النمط للطبقة، حتى تصبح مساوية لها (بالنسبة لجميع الاتجاهات البلورية)، فتصل الى مرحلة استقرار السرعة. حيث يلاحظ ان كل اتجاه بلوري له قيمة مميزة للسمك المنظم للطبقة  $(e/\lambda_T)$  التي تُحدد بداية مرحلة استقرار السرعة الطولية (او بداية مرحلة التشبع)، اما بالنسبة لنمط رايلي فإن جميع الاتجاهات البلورية لها نفس قيمة سمك الاستقرار (او التشبع)، و ذلك من أجل نفس البنية انتراسين\مسند.

◀ كما درسنا التغيرات غير العادية الظاهرة في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية؛ انتراسين  $PE$ ، فقد وجدنا ان جداء القيمة العظمى لسرعة أمواج رايلي،  $(V_R)_{max}$ ، و السمك المنظم المقابل لها،  $(e/\lambda_T)_{max}$ ، يتغير خطياً بدلالة  $\delta$ ، وفق المعادلة الآتية:

$$(V_R)_{Max} = 2860 \delta - 2385$$

ثم قمنا بتعميم هذه دراسة على مختلف البنى؛ طبقة\مسند، فدرسنا التغيرات غير العادية الظاهرة في منحنيات تبدد نمط رايلي، لأكثر من ثلاثين بنية طبقة\مسند، دراسة نوعية و كمية. فحددنا أنواع

هذه التغيرات غير العادية، و شرط ظهورها، فلاحظنا انه لا تحدث تغيرات غير عادية، من أي نوع، في البنية طبقة\مسند التي لا تحقق الشرط:  $V_{TC} / V_{TS} > 1 / \sqrt{2}$  ، حيث:  $V_{TC}$  ،  $V_{TS}$  هما سرعتي انتشار النمط العرضي في كل من الطبقة و المسند على الترتيب. كما حددنا معامل المرونة الذي يتحكم في نوع التغير غير العادي الحادث في منحنيات تبدد نمط رايلي في البنية طبقة\مسند التي تحقق الشرط السابق هو:  $\delta = (\rho_C / \rho_S) / (V_{RC} / V_{RS})$  ، حيث:  $\rho_S$  ،  $\rho_C$  ،  $V_{RS}$  ،  $V_{RC}$  تمثل كثافة و سرعة رايلي للطبقة و للمسند على الترتيب.

- $\delta < 0,3$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(P_{Max})$  ، أي؛ تبدد موجب مصحوب بقيمة عظمى للسرعة.
- $0,3 < \delta < 1,2$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(N_{Max})$  ، أي؛ تبدد سالب مصحوب بقيمة عظمى للسرعة.
- $1,2 < \delta < 3,1$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(P_{Min})$  ، أي؛ تبدد موجب مصحوب بقيمة دُنيا للسرعة.
- $3,1 < \delta$  يظهر التغير غير العادي من النوع  $(N_{Min})$  ، أي؛ تبدد سالب مصحوب بقيمة دُنيا للسرعة.

كما توصلنا الى تحديد العلاقة التحليلية التي تكتم هذه الظاهرة، و التي تعطي السرعة القصوى  $V_{Ext}$  (عظمى أو دنيا) للتغير غير العادي، بدلالة معامل المرونة  $\zeta$ .

$$V_{Ext} = 52000 \exp[-\zeta / 0.019] + 2700$$

حيث،  $\zeta = \delta \times (e / \lambda_T)_{Ext}$  ، هو السمك المنظم المقابل لسرعة رايلي القصوى،  $e$  سمك الطبقة،  $\lambda_T$  طول الموجة العرضية في الطبقة.

المراجع

- [1] D. S. Chung et al., "High mobility organic single crystal transistors based on soluble triisopropylsilylethynyl anthracene derivatives", *J. Mater. Chem.*, **2010**, 2, 524–530.
- [2] A. N. Aleshin, J. Y. Lee, S. W. Chu, J. S. Kim, Y. W. Park, *Appl. Phys. Lett.* **2004**, 84, 5383–5385.
- [3] C.A. Landis, S.R. Parkin, J.E. Anthony, *Japanese Journal of Applied Physics* 44 (2005) 3921.
- [4] S.-K. Kwon, J. Heo, J.-W. Park, Y.-H. Kim, H.-Y. Oh, S.-T. Kim, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, vol. 36, **2005**, 835, <http://link.aip.org/link/?SYM/36/835/1>
- [5] N. M. Buckanie, F.-J. M. Heringdorf, *Surface Science* 601 (**2007**) 1701–1704
- [6] LI Dong-cang et al., *Organic field-effect transistors based on anthracene*, *Journal of Functional Materials and Devices*, **2006-02**.
- [7] Aurélien A. L. Nicolet et al., *Single Dibenzoterrylene Molecules in an Anthracene Crystal: Spectroscopy and Photophysics*, *ChemPhysChem*, **2007**, 8, 1215 – 1220.
- [8] G. Madhुरambal\*1 and P. Anbu Srinivasan, *Growth of high quality anthracene crystals by a simple solution technique*, *Cryst. Res. Technol.* **41**, No. 3, 231 – 235 (**2006**).
- [9] N. Balamurugan, A. Arulchakkaravarthi, and P. Ramasamy, *Luminescence properties and growth of pure and anthracene-doped naphthalene crystals*, *phys. stat. sol. (a)* **204**, No. 10, 3502–3508 (**2007**).
- [10] Mikio Fukuhara, Atsuo H. Matsui, Masumi Takeshima, *Low-temperature elastic anomalies in an anthracene single*, *Chemical Physics* **258**, 97-106, (2000).
- [11] J. D. Achenbach, *Ultrasonics* **40**, 1 (**2002**).

- [12] P. V. Zinin, in Handbook of Elastic Properties of Solids, Liquids and Gases, eds. Levy, Bass and Stern, Academic Press, New York, 187, **2001**.
- [13] J. Kushibiki, N. Chubachi, IEEE Trans. Sonics **SU-32**, 189-212, (1985).
- [14] W. Li, D. Achenbach, J. Acoust. Soc. Am. **100**, 1529 , (1996).
- [15] A. Briggs. “ Acoustic Microscopy ” , Clarendon Press, 2<sup>ed</sup> Ed., Oxford (2010).
- [16] Hirsekorn, S., Pangraz, S., Weides, G., and Arnold, W., Measurement of elastic impedance with high-spatial-resolution using acoustic microscopy, *Appl. Phys.Lett.*, **67**, 745–747, 1995.
- [17] P. Zinin, Ultrasonic Nondestructive Evaluation, Edited by Tribikram Kundu, CRC Press LLC, **2004**, PP. 657 ,658.
- [18] A. Doghmane and Z Hadjoub, Theoretical and experimental investigations of acoustic signatures of materials using scanning microscopes with variable lens illumination, J. Phys. D, Appl. Phys. **30**, 2777–2782, 1997
- [19] Briggs A., 1992, *Acoustic Microscopy* (Oxford: Clarendon).
- [20] A. Briggs, 1995, *Advances in Acoustic Microscopy* vol 1(New York: Plenum).
- [21] Doghmane A., Hadjoub Z, Alami K, Saurel J M and Attal J 1992 *J. Acoust. Soc. Am.* **92** 1545–50
- [22] Ermert H and Harjes H-P (eds) 1992 *Acoustical Imaging* vol 19 (New York: Plenum).
- [23] Kanda et al., acoustic microscope, United States Patent, No 4 577 504, 1986 . <http://www.freepatentsonline.com>
- [24] G. Despau, et al., journal de physique IV, colloque C5, Vol. 4, pp. 1213, 1994.
- [25] Kushibiki, J., Sannomiya, T., and Chubachi, N. (1980). Performance of sputtered SiO<sub>2</sub> film as an acoustic antireflection coating at sapphire/water interface. *Electron. Lett.* **16**, 737-8.
- [26] Kushibiki, J., Maehara, H., and Chubachi, N. (1981a). acoustic properties of evaporated chalcogenide glass films. *Electron. Lett.* **17**, 322-3.
- [27] S. Amelinckx, D. van Dyck, J. van Landuyt, G. van Tendeloo, “ *Handbook of Microscopy , Part III Acoustic Microscopy* ” , VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1997.

- [28] A. Atalar, "A physical model for acoustic signature," *J. Appl. Phys.*, vol. 50, 8237- 8239, 1979.
- [29] H. K. Wickramasinghe, "Contrast and imaging performance in the scanning acoustic microscope", *J. Appl. Phys.*, vol. 50, pp ; 644-668, Feb. 1979.
- [30] C. J. R. Sheppard , and T. Wilson, « Effects of high angles of convergence on  $V(z)$  in the scanning acoustic microscope » *Appl. Phys. Lett. Vol. 38, No 11, P. 858, 1981.*
- [31] Bertoni H. L. 1984 *IEEE Trans. Son. Ultrason. Vol. Su-31, No. 2, 105–16.*
- [32] R. D. Weglein, (1979), "A model for predicting acoustic materials signatures", *Appl.Phys. Lett.* 34,179-181,
- [33] W. Parmon and H. L. Bertoni, "Ray interpretation of the material signature in the acoustic microscope," *Elect. Lett.*, vol. 11, pp.684-686 , 1979.
- [34] Dransfeld, K. and Salzmann, E. (1970). Excitation, detection and attenuation of highfrequency elastic surface waves. In *Physical acoustics VII* (ed. W. P. Mason and R. N. Thurston), pp. 260-83. Academic Press, New York.
- [35] Haddad A. "Thèse de Magister", Univ. Guelma , (2006).
- [36] L. M. Breekhovskikh, O. A. Godin, *Acoustics of Layered Media I*, (Springer-Verlag Berlin, 1990).
- [37] Kenneth K. Liang, et al., Material Characterization by the Inversion of  $V(z)$ , *IEEE Trans. on Sonics And Ultrasonics*, Vol. SU-32, No. 2, March 1985.
- [38] Sasaki, Y., Endo, T., Yamagishi, T., and Sakai, M., Thickness measurement of a thin-film layer on an anisotropic substrate by phase-sensitive acoustic microscope, *IEEE Trans. Ultrasonic Ferroelectric Frequency Control*, 39, 638–642, 1992.
- [39] A. Ramdani et al. Étude de l'efficacité des modes de Lamb dans la signature acoustique  $V(z)$  d'une couche mince par la théorie de la résonance, *J. Phys. III France* 6, 571-595,1996.
- [40] H.B. Huntington, S.G. Gangoll, J.L. Mills, *J. Chem. Phys.*50, (1969) 3844.
- [41] J. Monteath Robertson , *Rev. Mod. Phys.* 30, (1958) 155.
- [42] G. Madhurambal and P. Anbu Srinivasan , *Cryst. Res. Technol.* 41, No. 3, 231-235 (2006).
- [43] P. Dohányosová, V. Dohnal, D. Fenclová, *Fluid Phase Equilibria* 214 (2003) 151–167

- [44] Sadaharu Jo, H. Yoshikawa, A. Fujii, M. Takenaga, *Applied Surface Science*, 252 (2006)
- [45] Haddad A. et al., "Ultrasonic calculation of mechanical parameters of anthracene single crystals and thin films", *JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS - SYMPOSIA*, Vol. 1, No. 3, 2009, p. 285 – 288
- [46] Z. Hadjoub, I. Beldi, A. Doghmane, Origin and quantification of anomalous behaviour in velocity dispersion curves of stiffening layer/substrate configurations, *C. R. Physique 8 (2007) 948–954*.
- [47] A. Viktorov, "Rayleigh and Lamb Waves: Physical theory and applications", Plenum Press, N.Y., (1967).
- [48] P. Zinin et al., "Anomalous behaviour of leaky surface waves for stiffening layer near cutoff", *J. Appl. Phys.* **82** (3), (1997).