

## الفصل العاشر

### التشتت الخلفى لموجات الضوء بواسطة الألياف

#### Back-scattering of Light Waves from Fibres

#### ١٠/١- حالة سقوط الضوء عموديا على محور الشعيرة

The case of a beam of light incident perpendicular to the fibre axis

تستخدم الألياف البصرية كوسط حامل للمعلومات ينفذ من خلاله الضوء فى أنظمة التراسل الضوئى ، وتتكون الشعيرة من إسطوانتين متحدتين فى المركز ومن مادتين عازلتين وطولها كبير جدا (كيلومترات) وذات قطر خارجى  $\approx 125$  ميكرومتر . وتتكون الإسطوانة الداخلية (لب الشعيرة) من مادة معامل انكسارها  $n_{core}$  يزيد قليلا عن معامل انكسار مادة الاسطوانة الخارجية (قشرة الشعيرة)  $n_{clad}$  ومعاملا انكسار لب الشعيرة وقشرتها وقطر لب الشعيرة هى ثلاث بارامترات تحدد خصائص الشعيرات من حيث نفاذيتها للضوء . ومن المفيد وجود طريقة لا إتلافية non-destructive technique لقياس قيم معاملات انكسار وأقطار طبقتى هذه الألياف يمكن استخدامها لقياس وضبط هذه القيم فى أثناء تصنيع وسحب هذه الألياف .

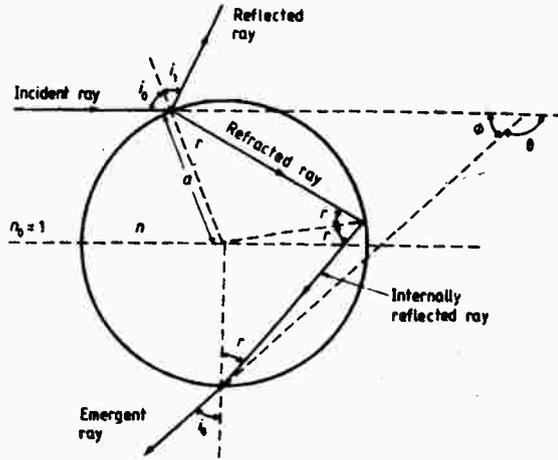
وكخطوة أولى نحو هذا الهدف سنشرح طريقة تعيين معامل انكسار وقطر الشعيرات التى ليس لها قشرة uncladded optical fibres التى اقترحها "Presby" (١٩٧٤) وتعتمد هذه الطريقة على تحليل الضوء المشتت خلفيا back-scattered light عندما يسقط شعاع ليزر مستمر cw laser عموديا على محورها . وبإجراء تحليل باستخدام طرق البصريات الهندسية ، نجد أنه فى النموذج المكون من هدب متعاقبة يكون موقع الانقطاع الحاد sharp cut-off يمكن أن يحدد معامل انكسار مادة الشعيرة المتكونة من طبقة واحدة ، بينما يمكن تعيين قطر هذه الشعيرة من المسافة بين نهايتين صغيرتين للضوء المتكون على هذا النموذج .

وسنقدم هنا طريقة Presby وتطبيقها على ألياف زجاج الصودا soda glass والسيليكا Silica والبيركس Pyrex والتى ليس لها قشرة ، وتتراوح أقطار هذه الألياف من

١٠٠ إلى ٢٠٠ ميكرومتر . وكما هو الحال في طريقه Presby ، فإنه سيؤخذ في الاعتبار انعكاس داخلي واحد .

### ١/١/١٠ - تحليل التشتت الخلفي : Back-scattering analysis :

افترض أن حزمة متجمعة من الضوء أحادي اللون وطول موجته  $\lambda$  سقطت على شعيرة من الزجاج ليس لها قشرة مع استخدام ضوء مستقطب في اتجاه يوازي محور الشعيرة في هذه القياسات ، حيث توضع حسابات معاملات فرنل Fresnel coefficients أن الضوء المستقطب في اتجاه عمودي على محور الشعيرة يكون له حد أدنى من الشدة الضوئية minimum irradiance عندما يخرج من الشعيرة عند زوايا قريبة جدا من  $\Phi_m$  ، كما هو موضح في الشكل رقم (١/١٠) .



شكل رقم (١/١٠) : الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر

وباستخدام طرق البصريات الهندسية نجد أنه عندما يسقط شعاع على الشعيرة ينتج شعاعا منعكسا وشعاعا منكسرا داخليا في الشعيرة ، كما في شكل رقم (١/١٠) . وفي الوسط المتجانس والمتماثل ضوئيا تكون هذه الأشعة عبارة عن خطوط مستقيمة وعند السطح الفاصل بين الشعيرة والوسط المحيط بها ، يتغير اتجاه هذه الأشعة حسب قانون الانعكاس وقانون سنيل Snell's law للانكسار ويمكن باستخدام هذين القانونين تتبع مسار الأشعة في الشعيرة حتى نصل إلى الشعاع الخارجى الذى يكون نموذج التشتت

الخلفى . وبالإضافة فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار تأثيرات التداخل التى تحدد الشدة الضوئية irradiance فى هذا النموذج ، وذلك من خلال معاملات فرنل Fresnel coefficients .

وإذا كانت  $i$  هى زاوية سقوط شعاع ضوئى عند نقطة معينة ،  $r$  هى زاوية الانكسار فإن الشعاع ينحرف بزواوية مقدارها  $(i-r)$  عندما ينفذ إلى الشعيرة . وعند انعكاس هذا الشعاع عند السطح الخلفى للشعيرة فإنه يعانى انحرافا آخر مقداره  $(\pi-2r)$  . وأخيرا فإن هذا الشعاع يعانى انحرافا ثالثا مقداره  $(i-r)$  عند خروجه من الشعيرة . وبذلك نحصل على الانحراف الكلى  $\theta$  لهذا الشعاع من المعادلة :

$$\theta = \pi + 2i - 4r$$

ولحساب الحد الأدنى للانحراف الزاوى minimum angular deviation  $d\theta/di$  نسارى هذا المعامل التفاضلى الأول بالصفر . وتعطى النتيجة - فى حالة وضع  $n_0 = 1$  - تعطى زاوية السقوط المقابلة لزاوية الانحراف الصغرى minimum deviation

$$\theta = \pi + 2i - 4 \sin^{-1} \left( \frac{\sin i}{n} \right) \quad (10.1)$$

$$\frac{d\theta}{di} = 2 - \frac{4 \cos i}{(n^2 - \sin^2 i)^{1/2}} \quad (10.2)$$

when  $d\theta/di \rightarrow 0$ , hence  $i = i_m$ , and

$$\cos i_m = \left( \frac{n^2 - 1}{3} \right)^{1/2} \quad (10.3)$$

وهذه هى قيمة  $i$  المقابلة لأقل انحراف مستقر stationary minimum ، ويمكن ملاحظة ذلك بأخذ المعامل التفاضلى الثانى  $d^2\theta/di^2$  وملاحظة أنه موجب .

ومن المعادلة رقم (١٠-٢) يعرف نصف العرض الزاوى لنموذج التشتت The angular half width of the scattered pattern ( $\Phi_m$ ) ، وعلاقته بالبارامترات المقاسة وهى  $L_m$  ،  $h$  ، ونحصل من الشكل رقم (١٠/٢) على المعادلة الآتية :

$$L_m = h \tan \varnothing_m \quad (10.4)$$

وحيث إن :

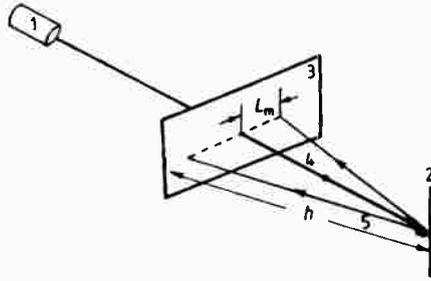
$$\varnothing = \pi - \theta$$

$$\varnothing_m = 4 \sin^{-1} \left( \frac{\sin i_m}{n} \right) - 2i_m \quad (10.5)$$

ونحصل فى النهاية على :

$$\varnothing_m = 4 \sin^{-1} \left[ \frac{2}{n\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{n^2}{4} \right)^{1/2} \right] - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{2}{\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{n^2}{4} \right)^{1/2} \right] \quad (10.6)$$

وتوضح المعادلة رقم (١٠-٦) أن موقع الانقطاع الحاد sharp cut-off فى نموذج التشتت الخلفى لشعاع الليزر عندما يسقط على شعيرة من الزجاج يسمح بتعيين معامل انكسار مادة الشعيرة .



شكل رقم (٢/١٠) : النظام البصرى المستخدم للحصول على نموذج التشتت الخلفى

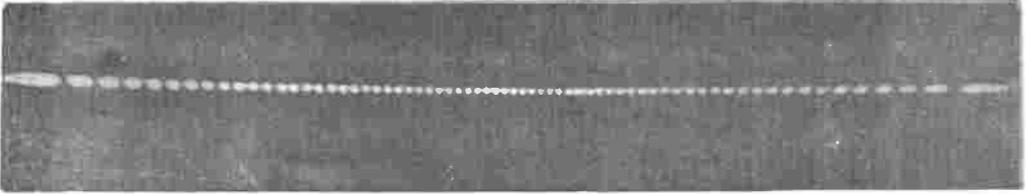
- 1- حزمة أشعة ليزر هيليوم - نيون بطول موجى ٦٣٢,٨ نانومتر ،
- 2- شعيرة بدون قشرة
- 3- حائل أبيض
- 4- الأشعة الساقطة على الشعيرة
- 5- الأشعة المشتتة خلفيا .

٢/١/١٠- الطريقة المعملية لتعيين معامل انكسار مادة الشعيرة

Determination of refractive index of the fibre material, experimental procedure

يوضح الشكل رقم (٢/١٠) النظام البصرى المستخدم للحصول على التشتت الخلفى من

الآلياف ، وفيه يمر شعاع ليزر هيليوم - نيون خلال فتحة في حائل أبيض ثم يسقط على الشعيرة . ويسقط الضوء المشتت خلفيا back-scattered light على نفس الحائل ويسجل فوتوغرافيا . ويحجب الضوء المشتت في الاتجاهات الأخرى من الوصول إلى الكاميرا . ويقع الضوء المشتت خلفيا كله في مدى انحراف زاوى  $\theta \approx \pm 20^\circ$  مقاسا من اتجاه الشعاع الساقط . ويكون النموذج الكامل للتشتت متماثلا حول  $\theta = 0$  . وطول موجة الضوء المستخدم  $\lambda = 6328$  أنجستروم . ويبين الشكل رقم (٢/١٠) نموذج التشتت الخلفى لشعيرة من زجاج الصودا soda glass ذات قطر حوالى ٢٠٠ ميكرومتر .



شكل رقم (٢/١٠) : نموذج التشتت الخلفى لحزمة من الأشعة سقطت على شعيرة من زجاج الصودا قطرها حوالى ٢٠٠ ميكرون

## ٢/١٠/١- التشتت الخلفى لشعاع الليزر بواسطة شعيرة مكونة من لب وقشرة

Back-scattering of laser radiation from a cladded fibre :

يمكن تعيين الخصائص الفيزيائية للآلياف البصرية المستخدمة في أنظمة التراسل الضوئى مثل الآلياف ذات اللب والقشرة cladded fibres ، وذلك من التشتت الخلفى لشعاع ليزر يسقط عموديا على محور الشعيرة .

فقد درس هو ومعاونوه "Ho et al" عام (١٩٧٥) موضوع التشتت الخلفى فى حالة الآلياف البصرية ، حيث  $n_{core} > n_{clad}$  ، وهو شرط أساسى لحدوث الانعكاس الكلى الداخلى داخل لب الشعيرة وعند سطح الانفصال مع القشرة .

ويتميز التشتت الخلفى من الآلياف البصرية ذات اللب والقشرة بوجود موقعين للانقطاع الحاد two sharp cut-offs .

التشتت الخلفي في حالة شعيرة معامل انكسار طبقتها  $n_{core} > n_{clad}$  وباعتبار حدوث انعكاس داخلي واحد :

The case of an optical fibre with  $n_{core} > n_{clad}$  , considering single reflection :

يمكن دراسة نموذج التشتت الخلفي في هذه الحالة باستخدام التقريب في طرق البصريات الهندسية وبين الشكل رقم (٤/١٠) مسار الشعاع الساقط بعد انكساره ، ويوضح الزوايا المناظرة للانكسار والانعكاس ، وتبين المعادلة الآتية العلاقة بين هذه الزوايا :

$$\theta = \pi - 4\gamma' + 2i + 2i' - 2\gamma = \pi - \varnothing$$

ويوضع :

$$\frac{d\varnothing}{di} \Big|_{i=i_m} = 0$$

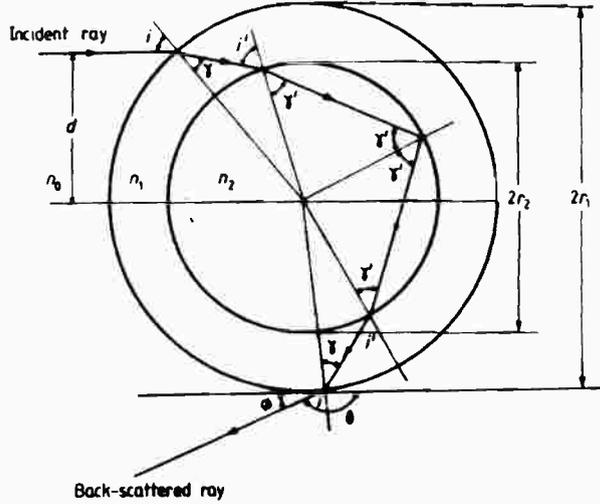
يمكن أن نصل إلى المعادلة الآتية في  $i_m$  :

$$\frac{2 \cos i_m}{[(n_2 r_2 / r_1)^2 - \sin^2 i_m]^{1/2}} + \frac{\cos i_m}{(n_1'^2 - \sin^2 i_m)^{1/2}} - \frac{\cos i_m}{[(n_1 r_2 / r_1)^2 - \sin^2 i_m]^{1/2}} = 1 \quad (10.7)$$

حيث :

$$n_2' = \frac{n_2}{n_0} = n_{core} \text{ and } n_1' = \frac{n_1}{n_0} = n_{clad}$$

$n_0$  هو معامل انكسار الوسط المحيط بالشعيرة (هواء)



شكل رقم (٤/١٠) : يوضح مسار الشعاع المشتت خلفيا باعتبار حدوث انعكاس واحد داخل لب الشعيرة التي لها البارامترات التالية : معامل انكسار القشرة ،  $n_2$  معامل انكسار لب الشعيرة ،  $r_1$  نصف قطر الشعيرة ،  $r_2$  نصف قطر لب الشعيرة

ويمكن أن تحل المعادلة رقم (٧/١٠) تحليليا بصعوبة بالنسبة الى  $\phi_m$  ولكن يمكن الحصول على تقريب مناسب بوضع  $r_1 \approx r_2$  ، وفي هذه الحالة نحصل على المعادلة الآتية لأكبر زاوية تشتت خلفي  $\Phi$  :

$$\phi_m = 1 = 4 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_c} \left[ \frac{4}{3} n_c^2 - \frac{4}{3} \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} - 2 \cos \left\{ \left[ \frac{1}{\sqrt{3}} \left( n_i \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\}$$

$$\left| - 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_s} \left[ n_s^2 + \frac{1}{4} n_c^2 - \frac{4}{3} \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} + 2 \cos^{-1} \left[ \frac{1}{n_s} \left\{ n_s^2 + \frac{4}{3} \left[ \frac{1}{4} n_c^2 \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{1/2} \right] \right|$$

حيث :

$$n_c = n_{\text{core}} \text{ and } n_s = n_{\text{clad}}$$

وفي حالة الشعيرة المتكونة من لب فقط unclad fibre يوضع :

$$r_1 = r_2, n_c = n_s = n \quad \text{and } n_o = 1$$

وتؤول المعادلة الأخيرة إلى المعادلة التي توصل إليها "Presby (١٩٧٤) .

التشتت الخلفي في حالة ألياف بصرية باعتبار حدوث انعكاسين داخليين :

The case of optical fibres, considering two internal reflections :

توضح المعادلات الآتية تحليلا للتشتت الخلفي لشعاع الليزر عندما يسقط عموديا على شعيرة ويحدث انعكاسين داخليين عند سطح الانفصال بين لب الشعيرة وقشرتها . ويبين الشكل رقم (٥/١٠) مسار الشعاع الساقط الذي يعاني انكسارات وانعكاسات حيث توضح الزوايا في كل حالة . وتعطى المعادلة الآتية العلاقة بين هذه الزوايا :

$$\theta = 2\pi - 6\gamma' + 2i + 2i' - 2\gamma = 2\pi - \varnothing$$

وبوضع :

$$\frac{d\varnothing}{di} \Big|_{i=i_m} = 0$$

يمكن أن نصل إلى المعادلة الآتية في  $i_m$

$$\frac{3 \cos i_m}{[(n_c r_2 / r_1)^2 - \sin^2 i_m]^{1/2}} + \frac{\cos i_m}{(n_s^2 - \sin^2 i_m)^{1/2}} - \frac{\cos i_m}{[(n_s r_2 / r_1)^2 - \sin^2 i_m]^{1/2}} = 1$$

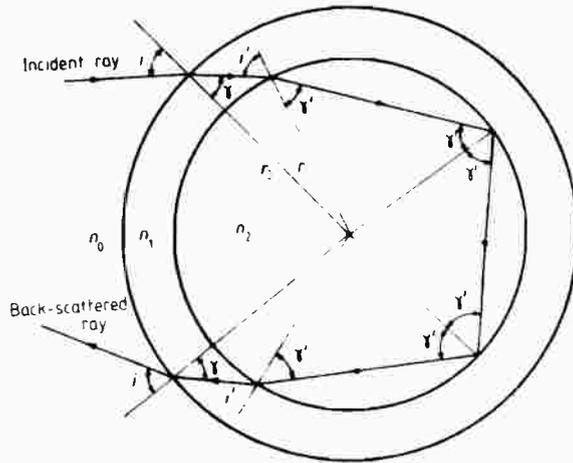
وبفرض أن  $r_1 \approx r_2$  فإن المعادلة الآتية تعطى قيمة أقصى زاوية تشتت خلفي  $\Phi_m$  :

$$\varnothing_m = 2 = 6 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_c} \left[ \frac{9}{8} n_c^2 - \frac{9}{8} \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} - 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{2}} \left[ \left( n_c \frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} \\ - 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_s} \left[ n_s^2 + \frac{1}{8} n_c^2 - \frac{9}{8} \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} + 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_s} \left[ n_s^2 + \frac{1}{8} \left( n_c \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \frac{1}{9} - \frac{8}{9} \right) \right]^{1/2} \right\}$$

ويمكن الحصول على المعادل الآتية التي تعطى قيمة  $\Phi_m$  لأي عدد من الانعكاسات

الداخلية  $m$  داخل لب الشعيرة :

$$\begin{aligned} \Phi_m = & 2(m+1) \cos^{-1} \left[ \frac{1}{n_c} \left\{ \frac{(m+1)^2}{m(m+2)} \left[ n_c^2 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \right] - 2 \cos^{-1} \left[ \left( \frac{n_c r_2 / r_1}{m(m+2)} \right)^{1/2} \right] \\ & - 2 \cos^{-1} \left[ \left[ \frac{1}{n_s} \left\{ n_s^2 + \frac{(m+1)^2}{m(m+2)} \left[ \frac{n_c^2}{(m+1)^2} - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \right] \right] \\ & + 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{n_s} \left[ n_s^2 + \frac{(m+1)^2}{m(m+2)} \left( \frac{n_c r_2 / r_1}{(m+1)^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \right\} \end{aligned}$$



شكل رقم (٥/١٠) : يوضح مسار الشعاع المشتت خلفيا باعتبار حدوث انعكاسين اثنين داخل لب الشعيرة التي لها البارامترات الآتية :  $n_1$  معامل انكسار قشرة الشعيرة ،  $n_2$  معامل انكسار لب الشعيرة ،  $r_1$  نصف قطر لب الشعيرة ،  $r_2$  نصف قطر الشعيرة .

ويمكن الآن حساب قيمة  $n_c$  بمعرفة :

$$\Phi_m = \tan^{-1} (L_m/h)$$

حيث  $2L_m$  هو الطول الحقيقي بين النقط التي تعطى الانقطاع الحاد ،  $h$  هي المسافة بين الشعيرة ومركز نموذج التشتت الخلفي على الحائل .

ويتم تعيين قيمة  $n_s$  باستخدام طريقة العد الفاصل لبيك Becke-line method - انظر

. Hartshorne and Stuart, 1970 :

وبتعيين قيمة  $\Phi_m$  عندما تكون  $m = 1$  ،  $m = 2$  يمكن حساب  $n_s$  ،  $n_c$  عندما تكون  $\frac{r_1}{r_2}$  معلومة .

ويستخدم الحاسب الآلي لإجراء هذه الحسابات .

١٠/١-٤- تشتت شعاع من الضوء يمر داخل الشعيرة في اتجاه محورها

Light scattering of a beam incident through the fibre along its axis :

يحدث تشتت الضوء في الألياف البصرية نتيجة إلى العاملين الآتيين :

١- تشتت رالي Rayleigh Scattering وهو العامل الأساسي لفقد في الشعيرة .

٢- عدم التجانس نتيجة لوجود فقائيع صغيرة micro-bubbles وبلورات صغيرة micro-crystals ومشقوق دقيقة micro fractures والتي تعتبر بالتقريب تشتتاً متماثلاً isotropic scattering وتحدث قدراً كبيراً من التشتت في طول معين من الشعيرة نتيجة للتشوهات الهندسية والبصرية الصغيرة للألياف مثل الانحناءات الدقيقة micro-bending وأي تغيير في قطر لب الشعيرة أو من الاتساع العددي numerical aperture  $\Delta$  أو من بروفيل معامل انكسار الشعيرة .

١٠/٢- التشتت الخلفي في اتجاه محور الشعيرة

Back-scattering along the optical fibre axis:

يقدم التشتت الخلفي الناتج من الشعيرة طريقة لا إتلافية تتطلب طرفاً واحداً للشعيرة

ونطلق عليها طريقة "Optical time domain reflectometry (OTDR)". وقد تم تطويرها بواسطة « بارنوسكى وينسين Baronski and Jense » (١٩٧٦) كما شارك في ذلك مؤلفون آخرون مثل « كوستا وسوردو Costa and Sordo » (١٩٧٧ a,b) ، « وبيروزنيك Personick » ، و« ديانوسيت » (١٩٧٧) .

وتقوم هذه الطريقة على إرسال نبضة خلال الشعيرة ، فيتشتت جزء من الطاقة بواسطة الشعيرة ويوجه إلى الخلف ويتولد صدى النبضات مكونا نبضة مغلقة يتم استقبالها وتحليلها عند نفس طرف الشعيرة التي دخل منها الضوء .

١٠/٢- النظرية :

يعانى الضوء الذى ينتشر فى الشعيرة من تشتت يتبع الطاقة تشتت رايلي المتماثل isotropic Rayleigh scattering . وإذا اعتبرنا فقط هذا النوع من التشتت فإن الطاقة المشتتة - ونرمز لها  $p_s(z)$  - عند بعد  $z$  من طرف الشعيرة الذى يدخل منه الضوء وفى مقطع طوله  $dz$  يكون :

$$P_s(z) = \gamma_s P(z) dz$$

حيث  $\gamma_s$  هى معامل الفقد الناتج من تشتت رايلي لوحدة متر<sup>-١</sup> ، وذلك باعتبار ثبات قيمته وإن كان عادة قد يتغير مع البعد نتيجة عدم التجانس فى تركيب مادة الشعيرة والطول موجى  $\lambda$  تكون الشدة الضوئية عند بعد  $z$  على امتداد الشعيرة تعطيه المعادلة :

$$P(z, \lambda) = P(0, \lambda) \exp\left(-\int_0^z \gamma(\lambda, z) dz\right)$$

حيث  $P(0, \lambda)$  تمثل الطاقة الضوئية التى دخلت الشعيرة ،  $\gamma(\lambda, z)$  تمثل معامل الفقد فى وحدة الطول التى قد تعتمد على الموقع أى بعد المقطع من طرف الشعيرة . ويمكن

$$\bar{\gamma}(\lambda) = \frac{1}{z} \int_0^z \gamma(\lambda, z) dz \quad \text{تعريف معامل الفقد المتوسط كالاتى :}$$

$$P(z, \lambda) = P(0, \lambda) \exp(-z\bar{\gamma}(\lambda)) \quad \text{على ذلك :}$$

وبافتراض تماثل في التوزيع الزاوي للطاقة المشتتة تقريبا ، يكون جزء الطاقة الذي دخل الشعيرة والذي يرمز له S تعطيه النسبة بين زاوية القبول المجسمة للشعيرة إلى الزاوية المجسمة الكلية . ينطبق ذلك في حالة شعيرة معامل انكسار لها ثابت القيمة STEP ، لكنه يكون صحيحا بالتقريب في حالة شعيرة متدرجة معامل انكسار لها :

$$S = \frac{\pi \Delta^2}{4\pi n_0^2} = \frac{\Delta^2}{4n_0^2}$$

حيث  $\Delta$  هي قيمة الفتحة العددية للشعيرة ، وتساوي  $\frac{1}{2}(n_0^2 - n_1^2)$  ، حيث  $n_0$  هي معامل انكسار لب الشعيرة  $n_1$  معامل انكسار القشرة .  
إذ الطاقة المشتتة خلفيا بين  $z$  ،  $z + dz$  هي :

$$P_{bs}(z) = \gamma_s SP(z) dz$$

وهي جزء من الطاقة الضوئية الكلية المشتتة عند البعد  $z$  من طرف الشعيرة التي دخل منها الضوء من مقطع طوله  $dz$  . ويكون اتجاهها إلى الخلف نحو مدخل الشعيرة ويحكمها زاوية القبول للشعيرة . وفي رحلتها إلى الخلف تعاني أيضا فقدا .

وتعطي المعادلة الآتية الطاقة المشتتة من  $z$  ،  $z + dz$  التي تصل إلى الكاشف على افتراض أن كفاءة التزاوج هي  $\eta$  :

$$P_{bsd}(z) = \eta P_{bs}(z) \exp\left(-\int_0^z \gamma'(z) dz\right)$$

حيث  $\gamma'$  ترمز إلى معامل الفقد للضوء المشتت خلفيا .

وبالتعويض بقيمة  $P_{bs}(z)$  التي تعطىها المعادلة :

$$P_{bs}(z) = \gamma_s SP(z) dz = \gamma_s SP(0) \exp\left(-\int_0^z \gamma(z) dz\right)$$

$$P_{bsd}(z) = \eta \gamma_s SP(0) \exp\left(-\int_0^z (\gamma(z) + \gamma'(z) dz)\right) dz$$

نحصل على :

ويمكن اعتبار معاملي الفقد إلى الأمام وإلى الخلف متساويين ، ومن ثم :

$$P_{bsd}(z) = \eta\gamma_s SP(0) \exp(-2\bar{\gamma}z) dz$$

وتم تسجيل الطاقة المتولدة عند بعد  $z$  بعد فترة زمنية  $t = 2z / v_g$  ، حيث  $v_g$  هي سرعة مجموعة الأشعة الضوئية في الشعيرة group velocity . وإذا كان اتساع النبضة المرسلة هو  $\Delta T$  ، فإن الطاقة الكلية  $p(t)$  الساقطة على الكاشف عند زمن  $t$  نحصل عليها بتجميع المعادلة السابقة في الفترة الزمنية  $\Delta T = \frac{2\Delta z}{v_g}$  .

وباعتبار ثبات قيمة  $\exp(-\bar{\gamma}z)$  على امتداد هذا الطول وبالتعويض بقيمة  $z = v_g T/2$

ينتج أن :

$$\begin{aligned} P(t) &= \int_0^{v_g T/2} P_{bsd}(z) dz \\ &= \eta\gamma_s SP(0) \exp(-2\bar{\gamma}v_g t/2) (v_g \Delta T/2) \\ &= \eta\gamma_s \frac{c}{2n} \Delta T SP(0) \exp(-2\bar{\gamma}v_g t/2) \end{aligned}$$

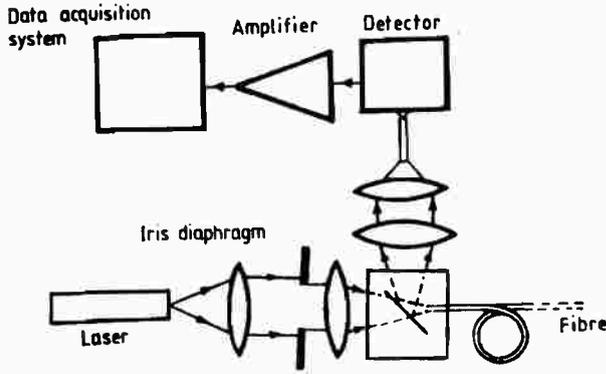
وذلك على أساس ثبات قيمة  $P(0)$  في الفترة الزمنية  $\Delta T$  ، وإذا لم يكن كذلك فتؤخذ قيمة متوسطة . على ذلك فيكون شكل الموجة العائدة على هيئة دالة أسية يمكن منها حساب معاملي الفقد الكلي :

$$\frac{P(t_1)}{P(t_2)} = \exp\left(-\bar{\gamma} \frac{c}{n} (t_2 - t_1)\right) \rightarrow \bar{\gamma} = -\frac{n [\ln P(t_1) - \ln P(t_2)]}{c (t_2 - t_1)}$$

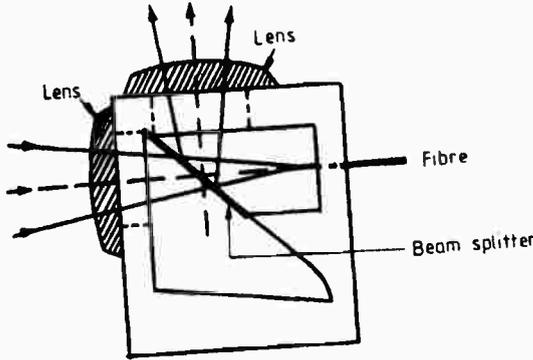
ويبين الشكل رقم (٦/١٠) (رسما توضيحيا) للنظام البصري الذي استخدمه Costa and Sordo (1977 - b) لقياس التشتت الخلفي .

واستخدم "Costa and Sordo" (١٩٧٧ b) خلية خاصة موضحة في الشكل رقم (٧/١٠) لتقليل الانعكاس من سطح الشعيرة الذي يدخل منه الضوء . وتملأ هذه الخلية بسائل معامل انكساره يساوي معامل انكسار لب الشعيرة ( $n_L = n_{core}$ ) ، وتحتوي هذه

الخلية على مجزئ لعزمة الأشعة beam splitter ، وتوضع الشعيرة في الخلية من خلال فتحة ضيقة بواسطة micromanipulators .



شكل رقم (٧/١٠) : النظام البصري المستخدم في قياس التشتت الخلفي (من Costa and Sordo, 1977-b)



شكل رقم (٧/١٠) : خلية يملؤها سائل له معامل انكسار مساو لمعامل انكسار لب الشعيرة يتم بواسطته تقليل الانعكاس للضوء الساقط على طرف الشعيرة (من Costa and Sordo, 1977-b)

## **References**

**Barnoski M K and Jensen S M 1976 *Appl. Opt.* 15 2112**

**Costa B and Sordo B 1977a *CSELT Rep. Tec.* 5 75**

**——— 1977b *Third European Conf. on Optical Communication, Munich, September 1977***

**Daino B and Sette D 1977 *Eurocon, Venice, May 1977***

**Hartshorne N H and Stuart A 1970 *Crystals and the Polarising Microscope*  
(London : Edward Arnold) pp 559-63**

**Ho P S, Mahric M E and Epstein M 1975 *Appl. Opt.* 14 2598**

**Personick S D 1977 *Bell Syst. Tech. J.* 50 355**

**Presby H M 1974 *J. Opt. Soc. Am.* 64 280**