

## الفصل السادس

### تطبيق طرق التداخل الضوئي المتعدد على الألياف

#### Multiple-Beam Interferometry Applied to Fibrous Materials

#### ١/٦- تكوين هدب التداخل الضوئي المتعدد وتطبيقاتها على الألياف :

Formation and application of multiple-beam interference fringes to fibres

طور « تولانسكي » سنة (١٩٤٤) طرق التداخل الضوئي المتعدد ، ونذكر فيما يلي طرق

التداخل المستخدمة لدراسة الألياف :

١- طريقة فيزو للتداخل الضوئي عند النفاذ .

٢- طريقة فيزو للتداخل الضوئي عند الانعكاس .

٣- هدب التداخل الضوئي المتعدد متساوي الرتبة اللونية عند النفاذ وعند الانعكاس .

ومن المفيد عند دراسة التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ وعند الانعكاس لفيزو أن

نشرح هدب التداخل الضوئي المتعدد المتكونة عن طريق مسطحين ضوئيين مفضضين

متوازيين تماما ، أى حالة مقياس التداخل لفابري وبيرو وذلك لوجود تشابه كبير بين خواص

النظامين . ويعتبر مقياس التداخل الضوئي لفابري وبيرو فى الحالتين ١ ، ٢ حالة مثالية

لطريقة فيزو للتداخل الضوئي ، وتوجد عدة تطبيقات لطرق التداخل الضوئي المتعدد عند

النفاذ وعند الانعكاس .

١/٦-١ نظام هدب التداخل الضوئي المتعدد المتكونة باستخدام

مسطحين مفضضين متوازيين يحصران بينهما وسطا رقيقا منتظما السمك

:

The case of multiple-beam interference fringe systems formed by a plane parallel silvered thin film of constant thickness :

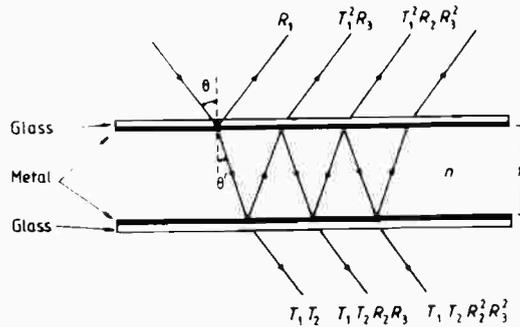
يبين الشكل رقم (١/٨) حزمة متوازية من ضوء أحادي طول الموجة سقطت على مسطحين ضوئيين متوازيين سطحهما الداخليان مفضضان ، وكان الشعاع الضوئي الساقط يميل بزاوية مقدارها  $\theta$  على العمودي على السطح العلوي .

وتعطي المعادلة رقم (٦-١) محصلة الأشعة النافذة والتي نتجت بالانعكاس المتعدد من شريحة سمكها ثابت ومقداره  $t$  ومعامل انكسار مادتها  $n$  ومغطاة بطبقة معدنية عاكسة :

$$R_T = T_1 T_2 \exp [ i ( \omega t + \gamma_1 + \gamma_2 ) ] + T_1 T_2 R_2 R_3 \exp \{ i [ ( \omega t + \gamma_1 + \gamma_2 ) + \Delta ] \} \\ + T_1 T_2 R_2^2 R_3^2 \exp \{ i [ ( \omega t + \gamma_1 + \gamma_2 ) + 2\Delta ] \} + \dots \quad (6.1)$$

وتعرف الخواص الطورية phase properties لطبقة الغطاء المعدنية كالآتي :

$\beta_1$  التغير في طور الأشعة عند الانعكاس زجاج / سطح الغطاء المعدني للشريحة العليا المواجهة للضوء الساقط ،  $\beta_2, \beta_3$  هما التغير في الطور عند الانعكاس وسط / سطح الطبقة المعدنية ، أي عند الحد الفاصل بين الوسط والغطاء المعدني وذلك للشريحتين العليا والسفلى على الترتيب ،  $\gamma_1, \gamma_2$  هما التغير في الطور عند النفاذ من الشريحتين العليا والسفلى على الترتيب ،  $R_1^2, R_2^2$  هما شدة الضوء المنعكس عند السطح الفاصل زجاج / سطح معدني ووسط / سطح معدني على الترتيب ،  $R_3^2$  هي شدة الضوء المنعكسة على السطح الفاصل وسط / سطح معدني للشريحة السفلى ،  $T_1^2, T_2^2$  هما شدتنا الضوء النافذة خلال الطبقة المعدنية للشريحتين العليا والسفلى على الترتيب  $\Delta$  ، هي فرق الطور الثابت بين كل شعاعين متتاليين ،  $\omega$  هي التردد .



شكل رقم (١/٨) : مسار الأشعة المكونة لهذب التداخل الضوئي المتعدد في شريحة رقيقة سمكها ثابت عند النفاذ وعند الانعكاس

وينتج من المعادلة رقم (٦-١) أن :

$$R_T = T_1 T_2 \left( \frac{1}{1 - R_2 R_3 \exp(i\Delta)} \right) \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)] \quad (6.2)$$

$$R_T = T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \exp(-i\Delta)}{[1 - R_2 R_3 \exp(i\Delta)] [1 - R_2 R_3 \exp(-i\Delta)]} \right) \times \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$= T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos \Delta + i R_2 R_3 \sin \Delta}{1 + R_2^2 R_3^2 - R_2 R_3 \exp(-i\Delta) - R_2 R_3 \exp(i\Delta)} \right) \times \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$R_T = T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos \Delta + i R_2 R_3 \sin \Delta}{1 + R_2^2 R_3^2 - R_2 R_3 [\exp(i\Delta) + \exp(-i\Delta)]} \right) \times \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$= T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos \Delta + i R_2 R_3 \sin \Delta}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \right) \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$R_T = A_T \exp [i (\omega t + \gamma_1 + \gamma_2 + \Delta_T)] \quad (6.3)$$

حيث  $A_T$  هي سعة المحصلة ،  $\Delta_T$  هي فرق طورها بالنسبة للشعاع الأول النافذ

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} (2nt \cos \theta) + \beta_3 + \beta_2$$

$$= \delta + \beta_3 + \beta_2$$

وتعطي المعادلة الآتية شدة الضوء  $I_T$  :

$$I_T = A_T^2$$

$$= T_1^2 T_2^2 \left( \frac{(1 - R_2 R_3 \cos \Delta + i R_2 R_3 \sin \Delta) (1 - R_2 R_3 \cos \Delta - i R_2 R_3 \sin \Delta)}{(1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2)^2} \right)$$

$$= T_1^2 T_2^2 \left( \frac{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}{(1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2)^2} \right) = \frac{T_1^2 T_2^2}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \quad (6.4)$$

$$\tan \Delta_T = \frac{R_2 R_3 \sin \Delta}{1 - R_2 R_3 \cos \Delta}$$

٢/١/٨ - توزيع الشدة الضوئية لهدب فابري ويبرو للتداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس

The intensity distribution of multiple-beam Fabry-Perot fringes at reflection:

تعطى المعادلة الآتية محصلة هدب فيزو للتداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس :

$$R_R = R_1 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] + T_1^2 R_3 \exp [ i ( \omega t + 2\gamma_1 + \beta_3 + \delta ) ] \\ + T_1^2 R_2 R_3^2 \exp [ i ( \omega t + 2\gamma_1 + \beta_2 + 2 \beta_3 + 2 \delta ) ] + \dots$$

Putting  $\Delta = \delta + \beta_2 + \beta_3$  and  $F = 2\gamma_1 - \beta_1 - \beta_2$  we get

$$R_R = R_1 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] + T_1^2 R_3 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] \exp [ i ( F + \Delta ) ] \\ + T_1^2 R_2 R_3^2 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] \exp [ i ( F + 2\Delta ) ] + \dots \\ = [ R_1 + T_1^2 R_3 \exp [ i ( F + \Delta ) ] [ 1 + R_2 R_3 \exp (i\Delta) + R_2^2 R_3^2 \exp (i2\Delta) + \dots ] ] \times \\ \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] \\ = \left[ R_1 + T_1^2 R_3 \exp [ i ( F + \Delta ) ] \left( \frac{1 - R_2 R_3 \exp (-i\Delta)}{[ 1 - R_2 R_3 \exp (i\Delta) ] [ 1 - R_2 R_3 \exp (-i\Delta) ]} \right) \right] \times \\ \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] \\ = \left[ R_1 + T_1^2 R_3 \left( \frac{\exp [ i ( F + \Delta ) ] - R_2 R_3 \exp (iF)}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \right) \right] \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ] \\ R_R = \left[ R_1 + T_1^2 R_3 \left( \frac{\cos ( F + \Delta ) - R_2 R_3 \cos F + i \sin ( F + \Delta ) - i R_2 R_3 \sin F}{( 1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2 )} \right) \right] \times \\ \exp [ i ( \omega t + \beta_1 ) ]$$

$$= \left[ R_1 + T_1^2 R_3 \left( \frac{\cos(F + \Delta) - R_2 R_3 \cos F + i [\sin(F + \Delta) - R_2 R_3 \sin F]}{(1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2)} \right) \right]_x \exp [i (\omega t + \beta_1)]$$

$$= \left( R_1 + \frac{T_1^2 R_3 [\cos(F + \Delta) - R_2 R_3 \cos F]}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} + i \frac{T_1^2 R_3 [\sin(F + \Delta) - R_2 R_3 \sin F]}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \right)_x \exp [i (\omega t + \beta_1)].$$

$$I_R = \left( R_1 + \frac{T_1^2 R_3 [\cos(F + \Delta) - R_2 R_3 \cos F]}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \right)^2 + T_1^4 R_3^2 \left( \frac{\sin(F + \Delta) - R_2 R_3 \sin F}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \right)^2$$

$$= R_1^2 \frac{T_1^4 R_3^2 + 2 T_1^2 R_1 R_3 \cos(F + \Delta) - 2 T_1^2 R_1 R_2 R_3^2 \cos F}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}$$

وتعطى المعادلة الأخيرة توزيع الشدة الضوئية  $I_R$  لهدب التداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس لأي قيمة للمقدار  $F$  وهناك حالتان خاصتان :

$$F = (2m)\pi \text{ عند } -1$$

$$I_R = R_1^2 + \frac{T_1^4 R_3^2 + 2 T_1^2 R_1 R_3 \cos \Delta - 2 T_1^2 R_1 R_2 R_3^2}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}$$

$$= R_1^2 - \frac{T_1^2 R_1}{R_2} + \frac{T_1^4 R_3^2 - T_1^2 R_1 R_2 R_3^2 + (T_1^2 R_1 / R_2)}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}$$

$$= A - B + \frac{C}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}$$

where

$$A = R_1^2$$

$$B = T_1^2 R_1 / R_2$$

and

$$C = T_1^4 R_3^2 - T_1^2 R_1 R_2 R_3^2 + T_1^2 R_1 / R_2$$

$$F = (2m + 1) \pi \quad \text{ب- وعند}$$

$$\begin{aligned} I_R &= R_1^2 + \frac{T_1^4 R_3^2 - 2 T_1^2 R_1 R_3 \cos \Delta + 2 T_1^2 R_1 R_2 R_3^2}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \\ &= R_1^2 + (T_1^2 R_1 / R_2) + \frac{T_1^4 R_3^2 - T_1^2 R_1 R_2 R_3^2 - (T_1^2 R_1 / R_2)}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \\ &= A + B - \frac{D}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2} \end{aligned}$$

where

$$D = (T_1^2 R_1 / R_2) - (T_1^4 T_3^2 + T_1^2 R_1 R_2 R_3^2)$$

٢/١/٦- تحليل العناصر المحددة لشكل منحني توزيع الشدة الضوئية :

Analysis of elements determining the shape of the intensity distribution

نذكر فيما يلي الأنظمة الثلاثة المتكونة بمقياس فابري وبيرول للتداخل الضوئي :

أ- نظام التداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس ، ويتميز بتكوين هدب حادة معتمة على خلفية مضيئة .

ب- نظام التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ ويتميز بتكوين هدب مضيئة على خلفية معتمة .

ج- هدب التداخل الضوئي عند الانعكاس المشابهة لهدب التداخل عند النفاذ في توزيع الشدة الضوئية Transmitted like fringes ذات شدة ضوئية قيمتها أعلى وكذلك خلفيتها بالمقارنة مع الحالة (ب) .

ويمكن إجراء التعميم الآتى على توزيع الشدة الضوئية لأى من الأنظمة الثلاثة المذكورة ، وذلك من الاعتبارات النظرية السابقة .

$$I = A + B + \frac{C}{1 - 2 R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2}$$

فبالنسبة للنظام (ب) عند النفاذ :

$$A = B = 0$$

$$C = T_1^2 T_2^2$$

وهى تمثل توزيع الشدة الضوئية الناتجة بتجميع أرى Airy summation ، حيث :

$$I_{\max} = \frac{T_1^2 T_2^2}{(1 - R_2 R_3)^2} \quad \text{for } \Delta = 2\pi S, S = 0, 1, 2, \dots$$

and

$$I_{\min} = \frac{T_1^2 T_2^2}{(1 + R_2 R_3)^2} \quad \text{for } \Delta = (2S + 1) \pi, S = 0, 1, \dots$$

وفى حالة النظام (أ) عند الانعكاس :

$$A = R_1^2$$

$$B = T_1^2 R_1 / R_2$$

$$C = - \left[ \mp (T_1^2 R_1 / R_2) - T_1^4 R_3^2 \pm T_1^2 R_1 R_2 R_3^2 \right]$$

ومن الواضح أن توزيع الشدة الضوئية تحدده قيم A, B, C، وأن إسهام A هو شدة ضوئية منتظمة لجميع قيم  $\Delta$  ، وهذا هو أيضا الحالة لإسهام B إذا كانت قيمتى A, B موجبتين ، وبالتالي تكون النتيجة النهائية هى ارتفاع فى الشدة الضوئية لجميع قيم  $\Delta$  التى سوف تساوى جميع الشدة الضوئية المقابلة لـ (A + B) . أما إذا كانت قيمة B سالبة فى حين أن |A| لازال أقل من A ، فإن النتيجة النهائية هى ارتفاع فى الشدة الضوئية لجميع قيم  $\Delta$  مساو لـ (A-B) . ويعطى الحد الأخير فى صيغة التعميم من الشدة الضوئية التى

تتغير بتغير  $\Delta$  . ومن الواضح أن توزيع الشدة الضوئية للهدب المكونة من مقياس فابري ويبرو يمثل تجميع ايرى ويعطى قيمة  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  ، عند  $\Delta = 2 S \pi$ ,  $\Delta = (2 S + 1) \pi$  على الترتيب . وفى حالة ما إذا كانت  $C$  موجبة فإن هدب التداخل المتكونة عند النفاذ والتي يعبر عنها الحد الأخير سوف تزاح إلى أعلى لجميع قيم  $\Delta$  بمقدار  $(A + B)$  كشدة ضوئية للخلفية . وعندما تكون قيمة  $B$  سالبة والفرق موجبا تنخفض الشدة الضوئية للخلفية إلى  $A - |B|$  . أما إذا كانت  $C$  سالبة القيمة فى حين أن كلا من  $A$ ,  $B$  موجبة وأن المرآة المستوية وضعت على محور  $\Delta$  عند  $I = (A+B)$  فإن النتيجة النهائية للحدود الثلاثة سوف تكون خطوطا حادة معتمدة على خلفية مضيئة ، التى هى صورة هدب التداخل عند النفاذ المكونة فى المرآة المستوية ويعبر عنها الحد الأخير . وفى هذه الحالة تكون قيمة  $I_{\max}$  الناتجة من إسهام الحد الأخير أقل من  $(A+B)$  ، إنها تساوى :

$$A + B - \left[ C / (1 - R_2 R_3)^2 \right]$$

التي تحدث عندما تكون  $\Delta$  تساوى  $(2 S + 1) \pi$  .

وكما سبق أن ذكرنا ، فإن إسهام  $(A + B)$  هو شدة ضوئية لجميع قيم  $\Delta$  لها قيمة ثابتة ، وأن الحد الأخير يعطى توزيع الشدة الضوئية  $\frac{C}{(1 - 2R_2 R_3 \cos \Delta + R_2^2 R_3^2)}$  ، وأن الهدب التداخل عند النفاذ التى هى فى هذه الحالة قد طرحت من  $(A + B)$  حيث :

$$I_{\max} = \frac{C}{(1 - R_2 R_3)^2} \quad \text{at } \Delta = (2S + 1) \pi$$

وكذلك :

$$I_{\min} = \frac{C}{(1 + R_2 R_3)^2} \quad \text{at } \Delta = 2S \pi$$

كما هو موضح فى الشكل رقم (٢/٦) والنتيجة النهائية هى :

$$I_{\max} = R_1^2 + (T_1^2 R_1 / R_2) - \frac{(T_1^2 R_1 / R_2) - (T_1^4 R_3^2 + T_1^2 R_1 R_2 R_3^2)}{(1 + R_2 R_3)^2}$$

$$= \left( R_1 + \frac{(T_1^2 R_3)}{(1 + R_2 R_3)} \right)^2 \quad \text{for } \Delta = (2S + 1) \pi$$

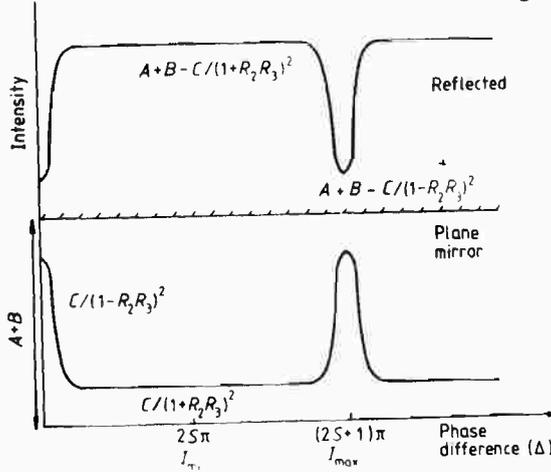
وكذلك :

$$I_{\min} = R_1^2 + (T_1^2 R_1 / R_2) - \frac{(T_1^2 R_1 / R_2) - (T_1^4 R_3^2 + T_1^2 R_1 R_2 R_3^2)}{(1 - R_2 R_3)^2}$$

$$= \left( R_1 - \frac{T_1^2 R_3}{(1 - R_2 R_3)} \right)^2 \quad \text{for } \Delta = 2S \pi$$

وفى حالة حجب الشعاع الأول فإن (A=B=0) وتصبح الحصيلة النهائية هي توزيع الشدة

الضوئية لهدب التداخل عند النفاذ .



شكل رقم (٢/٦) : توزيع الشدة الضوئية لهدب التداخل المتعدد عند الانعكاس بحالتيه

٤/١/٦ - هدب التداخل الضوئي المتعدد المتكونة من مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر أي المتكونة بالإسفين الضوئي :

Multiple-beam Fizeau fringes by a silvered wedge :

أجرى « تولانسكى Tolansky » عام (١٩٤٨) تحليلاً للمتطلبات اللازمة للحصول على هدب التداخل الضوئي لفيزو محددة الموقع المتكونة باستخدام مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر (إسفين ضوئي). وذكر أن تجميع إيرى Airy summation ينطبق فقط على الحالة التي يكون فيها الوسط المحصور منتظم السمك أما في حالة وسط متغير السمك كما في حالة الإسفين الضوئي الذي يحصر شريحة من الهواء فإنه يمكن الحصول على صيغة تقريبية لتجميع إيرى .

وأعطى تولانسكى الفروق الجوهرية للأشعة المكونة لهذب التداخل الضوئى المتعدد فى مالانهاية باستخدام مسطحين ضوئيين متوازيين ، والأشعة المكونة لهذب التداخل الضوئى المتعددة ومحددة الموقع . فالأشعة المتعاقبة والمنعكسة فى حالة الإسفين الهوائى لايتبع فرق الطور بين أى شعاعين متعاقبين متوالية حسابية ، بينما هذه هى الحالة الشريحة المنتظمة السمك وفيها يكون فرق الطور  $\Delta$  بين كل شعاعين متتاليين لايعتمد على رتبة الأشعة المنعكسة ويعطى من المعادلة :

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} ( 2nt \cos \theta ) + \beta_2 + \beta_3$$

ولكن فى حالة الإسفين الهوائى المفضض تكون قيم تخلف الطور للأشعة المتعاقبة المنعكسة من المجموعة لايتبع متوالية حسابية ، إنما يساوى :

$$\frac{4}{3} \pi S^3 \epsilon^2 N$$

حيث  $\epsilon$  هى زاوية الإسفين ،  $S$  هى رتبة الشعاع ،  $N$  هى رتبة التداخل الضوئى وتسقط الأشعة عمودية ، وبذلك يكون التخلف فى المسار path lag يساوى :

$$\frac{\lambda}{2\pi} \left( \frac{4}{3} \pi S^3 \epsilon^2 \frac{2t}{\lambda} \right) = \frac{4}{3} S^3 \epsilon^2 t$$

وتتطلب الحالة المثلى للحصول على هذب تداخل ضوئى - كما عينها « تولانسكى » - تتطلب استخدام مقياس تداخل ضوئى ذى فجوة صغيرة سمكها  $t$  وزاوية الإسفين صغيرة وتساوى  $\epsilon$  فتصبح قيمة تخلف الطور صغيرة وتقرب من انطباق شروط تجميع ايرى .

واعتبر « تولانسكى » أن التخلف  $\frac{4}{3} S^3 \epsilon^2 t$  retardation يساوى  $\frac{\lambda}{2}$  (حيث  $\lambda$  هى طول موجة الضوء) هو الحد المسموح به ليعطى الحد الأقصى لقيمة  $\epsilon, t$

واعتبر " Barakat and Mokhtar " (١٩٦٣) أن الحد المسموح به ليعطى أعلى شدة ضوئية هو  $\frac{\lambda}{8}$  وبذلك ينخفض الحد الأقصى لقيمة  $t$  .

والتحليل الذى قدمه « تولانسكى » - للظروف اللازمة - للحصول على هدب فيزيو للتداخل الضوئى محددة الموقع باستخدام إسفين ضوئى يمكن من توسيع مجال تطبيق هذه الهدب الحادة لقياس معاملات الانكسار والإنكسار المزوج للألياف .

وكما سيوضح لاحقا بالتفصيل ، فإن طريقة قياس معاملات الانكسار للألياف تقوم على وضع شعيرة بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر بزواوية صغيرة ويحصران بينهما سائلا غمرت فيه الشعيرة التى توضع فى اتجاه عمودى على حافة الإسفين الضوئى . وكما سبق أن ذكرنا ، أنه يلزم أن تكون كل من قيمة فجوة مقياس التداخل الضوئى  $interferometric\ gap$  nt وزواوية الإسفين صغيرة لتقلل تخلف الطور  $phase\ lag$  بين الأشعة المتعاقبة .

$0/1/6$  - هدب تساوى الرتبة اللونية : Fringes of equal chromatic order

تم شرح التداخل الضوئى الناتج من سقوط أشعة متوازية وأحادية طول الموجة على مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر بزواوية  $\alpha$  . وظهر أن الهدب تقع على مستوى محدد الموقع قريب من الإسفين الضوئى يسمى سطح فايزنر Feussner .

وقد اكتشف « بروسيل Brossel » عام (١٩٤٧) وجود عدد لانهاى من المستويات المحددة الموقع  $planes\ of\ localisation$  عند مسافة  $x$  من سطح فايزنر وتعطى المعادلة :

$$x = m\lambda / 2 \alpha^2$$

وذلك فى حالة سقوط حزمة الأشعة عمودية على سطح مقياس التداخل ، حيث :  $\lambda$  هى طول موجة الضوء المستخدم وتأخذ  $m$  القيم ١ ، ٢ ، ٣ ، ..... .

ويتضح اعتماد قيمة المسافة  $x$  على طول موجة الضوء . ويتغير قيمة  $\lambda$  بالمقدار  $d\lambda$  تنتج إزاحة فى موقع المستوى على امتداد المحور  $x$  وتساوى :  $d\lambda \left( \frac{x}{\lambda} \right)$

## تكوين هذب تساوى الرتبة اللونية :

The formation of fringes of equal chromatic order

يكون لكل نقطة على سطح فايزنر Feussner surface سمك معين  $t$  ، ويحدث التداخل الضوئى عند النفاذ عندما تكون :

$$N\lambda = 2 t \cos \theta$$

حيث  $\lambda$  هى طول موجة الضوء المستخدم ،  $N$  رتبة التداخل الضوئى وتطبق نفس الشروط على طول موجة آخر ( $\lambda_1$ ) عند الرتبة رقم  $(N + 1)$  .... ولوجة الضوء  $\lambda_m$  عند الرتبة  $(N + m)$  .

وينطبق هذا المفهوم فى حالة وجود الأطوال الموجية منفصلة عن بعضها أو فى حالة وجودها فى طيف مستمر continuous spectrum . وحيث إن سطح فايزنر لايعتمد على طول موجة الضوء فإن هذه الهذب النقطية point fringes التى تنتمى إلى أطوال موجية مختلفة تقع على بعضها البعض ، ولايمكن رؤيتها على سطح فايزنر إلا عند القيم الصغيرة جدا للرتبة  $N$  . فإذا تم إسقاط سطح فايزنر على فتحة مطياف باستخدام عدسة لالونية أو بوضع مقياس التداخل الضوئى قريبا من الفتحة ، فإن هذه الفتحة تختار خطأ من هذا السطح ، ويتغير السمك  $t$  عامة لنقط هذا الخط .

وباعتبار الخط مكونا من عدد لانهاى من هذه الهذب النقطية ، فإن قوة تفريق المطياف تفصل كل مجموعة لتظهر متفرقة فى المستوى الطيفى spectral plane . وباعتبار أى نقطتين على الخط الذى تم اختياره بواسطة فتحة المطياف يقابلان السمكين  $t$  ،  $t + dt$  ، فإنه ينتج لنفس رتبة التداخل الضوئى هذبتان تظهران فى المستوى الطيفى عند الطولين الموجيين  $\lambda$  ،  $\lambda + d\lambda$  حيث :

$$\frac{t}{\lambda} = (t + dt) / (\lambda + d\lambda) = \text{constant} \times N.$$

وإذا تغير السمك  $t$  بالتدرج في المدى  $dt$  ينتج منحني مستمر لكل رتبة من رتب التداخل الضوئي . وعند التغير الرأسى في قيمة  $t$  التى تحدث فى حالة درجات سلم ، تظهر تغيرات مفاجئة وغير مستمرة . وتظهر مجموعة هذب التداخل الضوئى اللونية فى مستوى الطيف ذى رتبة التداخل الواحدة لكل مكون للمجموعة - هذه هى هذب تساوى الرتب اللونية التى اكتشفها « تولانسكى » سنة (١٩٤٥) .

**شروط تكوين هذب تساوى الرتبة اللونية** The condition for formation :

تقع هذب التداخل الضوئى أحادية اللون محددة الموقع على أحد مستويات بروسيل الأساسية Principal Brossel planes ، وعند استخدام ضوء أبيض وإسقاط هذه الهذب على فتحة المطياف ، تظهر هذب تداخل لونية عند المستوى الطيفى ، وتكون واضحة ومحددة المعالم فى مساحة محدودة جدا تعتمد على امتداد الموقع فى الفراغ وكذلك على البعد البؤرى للعدسة اللالونية التى تستخدم فى إسقاط الضوء على فتحة المطياف .

وذكر « بركات Barakat » سنة (١٩٥٧) أن هذب تساوى الرتبة اللونية تتكون واضحة ومحددة المعالم فقط فى المستوى الطيفى إذا كان موقع المستوى الذى يتم تكوين الهذب عليه للنظام أحادى اللون لايعتمد على طول موجة الضوء المستخدمة ، أى لايتغير بتغير طول موجة الضوء . وبتطبيق هذه النتيجة على الهذب أحادية طول الموجة المحددة على سطح فايزنر ذات الرتبة الصفرية ( $m = 0$  صفر) تكون هذب تساوى الرتبة اللونية المتكونة فى المستوى الطيفى كلها واضحة ومحددة المعالم .

**شكل هذب تساوى الرتبة اللونية**

The shape of fringes of equal chromatic order

من الواضح الآن أن شكل الهذب الناتجة تعتمد أساسا على كيفية تغيير السمك  $t$  لنقط الخط المختار بواسطة فتحة المطياف . وإذا اعتبرنا أن هذا الخط يمثل المحور  $Y$  فتكون  $t$  هى دالة فى  $y$  ، أى أن :

$$t = f(y)$$

ويكون المستوى الطيفي spectral plane هو المستوى  $(\lambda, y)$  . وتنتج هدب تساوي الرتبة اللونية مباشرة من تحويل المعادلة  $t = f(y)$  من المستوى  $(t, y)$  إلى المستوى  $(\lambda, y)$  باستخدام :

$$N\lambda = 2 nt \cos \theta$$

وذلك في حالة نفاذ الأشعة مع إهمال التغير في الطور عند الانعكاس ، ويعتمد شكل الهدب الناتجة على علاقة التحويل ، وفي حالة الهدب المتكونة من الأشعة المنعكسة حيث المعادلة هي :

$$(N + \frac{1}{2}) \lambda = 2nt \cos \theta$$

وتكون الهدب المعتمة لها نفس الشكل كما في حالة نفاذ الأشعة .

ويدخل عاملان في هذا الشأن :

أ- قوة تكبير العدسة المستخدمة في إسقاط الهدب على فتحة المطياف وتكبير هذا المطياف .

ب- قوة تفرق المطياف .

ويكون تأثير تكبير العدسة على الهدب اللونية في اتجاه الفتحة وليس لها تأثير في الاتجاه العمودي أى محور  $\lambda$  حيث يكون التأثير لقوة تفرق الجهاز . ويمكن استخدام مطياف المنشور أو محزوز الحيود ، وفي الحالة الأولى تتبع قوة التفرق  $D$  صيغة هارتمان Hartman's formula :

$$\lambda = \lambda_0 + B / (D - D_0)$$

حيث  $D_0, B, \lambda_0$  مقادير ثابتة .

بينما محزوز الحيود يعطى تفرقا خطيا linear dispersion :

$$D = K\lambda$$

ويحدد تناول ومعالجة الصالة فى إطار التفرك الخطى وبالتعويز عن  $t, \lambda$  بمعلومية  $Y, D$  فى المعادلة الأساسية :

$$N \lambda = 2 n \cos \theta f \left( \frac{Y}{m} \right)$$

ينتج :

$$D = (2K / n) f \left( \frac{Y}{n} \right)$$

وذلك لآى هبة عند السقوط العمودى فى الهواء .

والمعادلة الأخيرة هى معادلة مجموعة من الهدب لها تكبير يتناقص عندما تأخذ  $N$  القيم ١، ٢، ٣، .. ويتضح من المعادلة السابقة أن أى هبة فى المستوى  $(D, Y)$  هى صورة مكبرة لقطاع من مقياس التداخل الضوئى تم اختياره وتحديداه بواسطة فتحة المطياف . وحيث إن تأثير التكبير غير موحد عبر المحورين  $Y, D$  فنتج صورة مشوهة لاختلاف التكبير فى أحد المحورين عنه فى المحور الآخر *distorted image* ، وكمثال على ذلك تنتج من مقطع دائرى هذب على هيئة قطع ناقص . وعند استخدام المطياف ذى المنشور ينشأ سبب آخر للتشويه وذلك نتيجة عدم انتظام التفرك *non-linearity* .

شكل هذب تساوى الرتبة اللونية المتكونة باستخدام إسفين

The shape of fringes of equal chromatic order formed by an air wedge :

إذا كانت  $\alpha$  هى زاوية الإسفين الهوائى أى الذى يحصر شريحة من الهواء *air wedge* والذى يوضع بحيث يكون أحد مكوناته موازياً لمستوى فتحة المطياف ،  $\epsilon$  هى البعد الضوئى *optical separation* للمسطحين الضوئيين عند نقطة لقائهما ، فتكون معادلة الجزء المختار من الإسفين بواسطة فتحة المطياف :

$$(t - \epsilon) / y = \tan \alpha$$

هى دالة خطية فى  $t$

وبالتعويز فى المعادلة الأساسية للتداخل الضوئى عند النفاذ حيث تسقط الأشعة عمودية :

$$N\lambda = 2t$$

$$N\lambda = 2 \tan \alpha y + 2 \varepsilon$$

$$Y = \cot \alpha \left( \frac{N\lambda}{2} - \varepsilon \right) \quad \text{وبذلك تكون :}$$

$$= \frac{N \cot \alpha}{2} \left( \lambda - \frac{2\varepsilon}{N} \right) \quad (6.5)$$

وتمثل المعادلة (٦-٥) مجموعة خطوط غير متوازية يميل كل منها بزاوية تساوي ،  $\frac{N \cot \alpha}{2}$  حيث  $N$  عدد صحيح . وللمجموعة الخطوط نقطة مشتركة عند  $(\theta, -\varepsilon \cot \alpha)$  وبزيادة رقم  $N$  تقترب الهدب من الاتجاه العمودي للمحور  $y$  .

حالة حلقات نيوتن : The case of Newton's rings

توضع عدسة على مسطح ضوئي مغطى بطبقة إصف شفافة من الفضة . وتكون معادلة الدوائر في المستوى  $(t,y)$  هي :

$$[t - (R + \varepsilon)]^2 + y^2 = R^2$$

حيث  $R$  هي نصف قطر التكور ،  $\varepsilon$  هي البعد بين العدسة والمسطح الضوئي عند نقطة الالتقاء .

ويتم اختيار نقطة الأصل بحيث يكون :

$$t = \varepsilon \quad \text{at} \quad y = 0$$

وبتحويل المعادلة السابقة إلى المستوى  $(\lambda, y)$  نجد أن :

$$\left( \lambda - \frac{2(R + \varepsilon)}{N} \right)^2 \left( \frac{4R^2}{N^2} \right)^{-1} + \frac{y^2}{R^2} = 1$$

وتمثل هذه المعادلة مجموعة قطع ناقصة مركزها هو  $(2(R + \varepsilon) / N, 0)$  ، ويكون نصف المحور الأكبر ونصف المحور الأصغر هما  $2R/N$  ،  $R$  عندما تأخذ  $N$  أرقام صحيحة وموجبة .

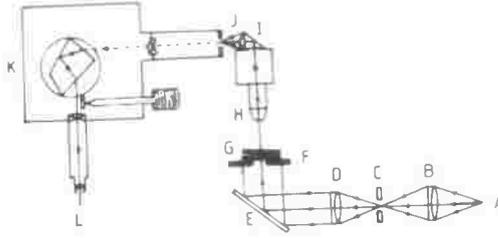
وحيث إن قيم  $t$  صغيرة بالمقارنة بقيم  $R$  ، فإنه يمكن إهمال قيمة  $t^2$  ، والمعادلة الناتجة تمثل مجموعة قطع مكافئة Parabolas ، كما توصل إلى ذلك « تولانسكى » وتكون هذه الهدب محدبة ناحية البنفسجى .

وباستخدام عدسة مستوية - محدبة مع مسطح ضوئى بحيث يكون سطحها المحدب مرتكز على هذا المسطح تكون معادلة الهدب هى :

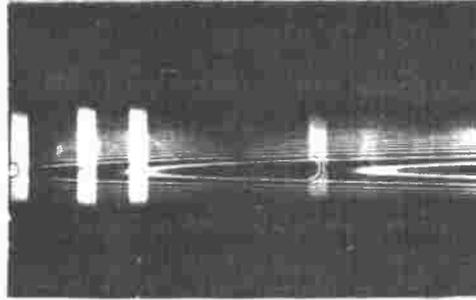
$$\left( \lambda + \frac{2(R - \epsilon)}{N} \right)^2 \left( \frac{4R^2}{N^2} \right)^{-1} + \frac{y^2}{R^2} = 1$$

حيث  $\epsilon$  هى ال sagitta للمسطح المنحنى (ذى نصف القطر  $R$ ) بالنسبة للمسطح الضوئى . وهذه هى معادلة مجموعة قطع ناقصة ellipses مراكزها هى  $(0, \frac{2(R-\epsilon)}{N})$  وهى تكون محدبة ناحية الأحمر . ولذلك فإنه فى حالة وجود هضبة أو ارتفاع على سطح أحد مكونات مقياس التداخل تكون هدب تساوى الرتبة اللونية محدبة تجاه البنفسجى وفى حالة وجود انخفاض أو وادى valley تكون الهدب محدبة ناحية الأحمر . والشكل رقم (٣/٦) يبين النظام البصرى المستخدم لتكوين هدب تساوى الرتبة اللونية .

والشكل رقم (٤/٦) يبين كيفية تكوين هدب تساوى الرتبة اللونية من هدب تساوى السمك fringes of equal thickness ، وتنتج هدب تساوى الرتبة اللونية على هيئة قطع ناقصة من مقياس تداخل ضوئى مكون من عدسة ومسطح ضوئى ، حيث تتكون مجموعة من نواتر متحدة المركز متساوية السمك . وذلك عند استخدام ضوء أحادى طول الموجة صادر من مصباح الزئبق .



شكل رقم (٢/٦) : النظام البصري المستخدم لتكوين هذب التداخل اللونية متساوية الرتبة عند النفاذ . A . مصدر ضوئي نقطي ، B عدسة ، C فتحة دائرية ، D عدسة ، E سطح عاكس ، F قاعدة ميكروسكوب ، G مقياس التداخل الضوئي - إسفين ، H شبيثة الميكروسكوب ، I منشور قائم الزاوية ، J عدسة إسقاط ، K مطياف ، L الكاميرا (من Barakat and El-Hennawi, 1971)



شكل رقم (٤/٦) : يوضح كيفية تكون هذب التداخل اللونية ذات الرتبة الواحدة من هذب تساوى السمك

## ٢/٦- تطبيق هذب التداخل الضوئي المتعدد لتعيين معاملات انكسار الألياف

Application of multiple-beam Fizeau fringes to the determination of refractive indices of fibres :

قدم القسم الأول من هذا الفصل نظرية تكوين وموقع وتوزيع الشدة الضوئية لهذب فيزو للتداخل الضوئي المتعدد وكذلك المتكونة بواسطة إسفين ضوئي Wedge وهذب تساوى الرتبة اللونية ، وسوف ندرس فى هذا القسم تطبيق هذه الهذب لدراسة الألياف ، ويتضمن نظرية استخدام التداخل الضوئي لتعيين معاملات انكسار الألياف .

## ١/٢/٨- نظرية هذب فيزو للتداخل الضوئي لدراسة الألياف ذات المقاطع العرضية المنتظمة

Theory of Fizeau fringes applied to fibres with regular transverse sections.

اشتق « بركات Barakat » (١٩٧١) معادلات رياضية لشكل هذب فيزو للتداخل الضوئي عندما تعبر شعيرة ذات مقطع عرضي دائري ومغموره في سائل محصور في إسفين ضوئي wedge ، واستنتج معادلات لتعيين معاملات الانكسار للألياف المتجانسة والتي تتكون من لب وقشرة ، وذلك من إزاحة الهدب داخل الشعيرة . واستنتج معادلة للألياف المتجانسة والمكونة من طبقة واحدة .

ونوضح فيما يلي المعادلات الرياضية الخاصة بمجموعة هذب فيزو للتداخل الضوئي عندما تعبر شعيرة ذات مقطع عرضي دائري ومكونة من لب وقشرة . وعند دراسة الألياف بالتداخل الضوئي توضع الشعيرة داخل الإسفين الضوئي wedge المكون من مسطحين ضوئيين مغمضين ، يميل أحدهما على الآخر ويحصران سائلا . ويكون محور الشعيرة عموديا على حافة الإسفين edge of the wedge ، ويفرض أن أحد المسطحين الضوئيين المغمضين يلامس سطح الشعيرة . ويبين الشكل رقم (٥/٦) مقطع عرضي لشعيرة إسطوانية الشكل نصف قطرها  $r_f$  ، وتتكون من لب معامل انكسار مادته  $n_c$  ونصف قطره  $r_c$  وقشرة معامل انكسار مادتها  $n_s$  ، وقد غمرت هذه الشعيرة في سائل معامل انكساره  $n_L$  يحصره إسفين ضوئي wedge ، وسقطت حزمة ضوئية ذات طول موجي  $\lambda$  في لاتجاه  $DC, BA$  عمودية على المسطح الضوئي السفلي وكانت زاوية الإسفين  $\epsilon$  صغيرة . وتمثل  $t$  سمك فجوة مقياس التداخل الضوئي ، وقد اختير محور الشعيرة ليكون المحور  $Z$  وحافة الإسفين تكون موازية للمحور  $X$  . وفي هذا الصدد نأخذ في الاعتبار منطقتين :

أ- عندما تكون :  $X^2 + Y^2 = r_c^2$

حيث :

$$0 \leq x \leq r_c$$

ب- عندما تكون :  $X^2 + Y^2 = r_f^2$

حيث :

$$r_c \leq x \leq r_f$$

وفيما يلي اشتقاق شكل الهدب في المستوى (z, x) وهو مستوى تكون صورة هدب التداخل الضوئي plane of the interferogram ، وتمطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئي (OPL) للشعاع  $\leftarrow$  BA الذي يعبر الشعيرة في المنطقة :  $0 \leq x \leq r_c$

$$OPL = (t - 2 Y_2) n_L + 2 (Y_2 - Y_1) n_s + 2 Y_1 n_c \quad (6.6)$$

والهدبة ذات الرتبة N

$$N\lambda = 2n_L t + 4 Y_2 (n_s - n_L) + 4 Y_1 (n_c - n_s) \quad (6.7)$$

حيث :

$$t = Z \tan \epsilon$$

و  $\epsilon$  هي زاوية الإسفين ، ويمثل مسقط حافة الإسفين نقطة الأصل للمحور Z .

ومن المعادلة رقم (٦-٧)

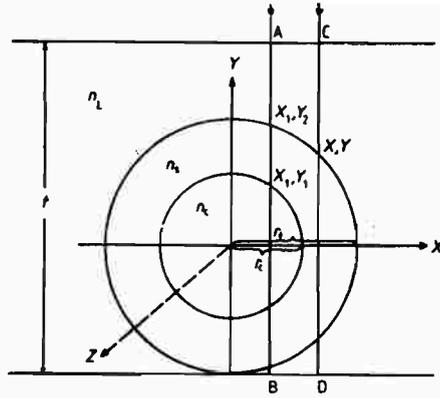
$$N\lambda - 2n_L t = 4 Y_2 (n_s - n_L) + 4 Y_1 (n_c - n_s)$$

$$2n_L \tan \epsilon \left( \frac{N\lambda}{2n_L \tan \epsilon} - Z \right) = 4 Y_2 (n_s - n_L) + 4 Y_1 (n_c - n_s) \quad (6.8)$$

وينقل نقطة الأصل إلى  $(N\lambda / 2n_L \tan \epsilon, 0)$  على المستوى (Z, X) ينتج :

$$\begin{aligned} 2n_L \tan \epsilon Z &= 4 Y_2 (n_s - n_L) + 4 Y_1 (n_c - n_s) \\ &= 4 (n_s - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2} + 4 (n_c - n_s) (r_f^2 - X^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (6.9)$$

وتقيس Z إزاحة الهدبة ، ذات الرتبة N ، في الشعيرة ، اعتبارا من موقع هذه الهدبة في منطقة السائل ، ويكون اتجاه Z نحو رأس الإسفين wedge apex .



شكل رقم (٥/١) : يوضح مقطعا عرضيا في شعيرة إسطوانية نصف قطرها  $r_f$  ، معامل انكسار لبيها  $n_L$  ونصف قطره  $r_c$  ومعامل انكسار قشرتها  $n_s$  غمرت في إسفين مفضض يحصر سائلا معامل انكساره  $n_L$  (من Barakat, 1971)

إذا عبرنا عن المسافة بين هديتين متتاليتين في منطقة السائل بالرمز  $\Delta Z$  ، فإن المعادلة الآتية تعطى الزاوية  $\varepsilon$  :

$$\tan \varepsilon = \lambda/2 n_L \Delta Z$$

$$\frac{Z}{\Delta Z} \frac{\lambda}{4} = (n_s - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2} + (n_c - n_s) (r_c^2 - X^2)^{1/2} \quad (6.10)$$

At  $X = 0$

$$\begin{aligned} \frac{Z}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2} &= (n_s - n_L) 2r_f + (n_c - n_s) 2r_c \\ &= (n_s - n_L) t_f + (n_c - n_s) t_c \end{aligned}$$

where  $t_f = 2r_f$  and  $t_c = 2r_c$  and

$$\frac{Z}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2} = n_s t_s + n_c t_c - n_L t_f \quad (6.11)$$

where  $t_s = (t_f - t_c)$ .

$$\frac{Z}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2} = (n_a - n_L) t_f \quad (6.12)$$

حيث :

$$n_a = n_c t_c / t_f + n_s t_s / t_f$$

وتطبيق هذه العلاقات عمليا تقاس  $Z / \Delta Z$  ، وبمعرفة  $t_f$  ، يمكن حساب  $n_L$  ،  
وبتعيين  $n_s$  باستخدام طريقة الحد الفاصل لبك Becke-line وحساب  $t_s / t_f$  باستخدام  
طريقة الفصل بالأصباغ differential staining يمكن حساب  $n_c$  .

وبتعيين قيمة إزاحة الهدبة  $Z^{\parallel}$  بالنسبة إلى المسافة بين هديتين متتاليتين في منطقة  
السائل  $\Delta Z$  يمكن تعيين  $n_a^{\parallel}$  من المعادلة الآتية - Barakat and Hindeleh, 1964a - :

$$n_a^{\parallel} = n_L + \frac{Z^{\parallel}}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2t_f} \quad (6.13)$$

ولتعيين قيمة  $n_a^{\perp}$  تطبق المعادلة :

$$n_a^{\perp} = n_L + \frac{Z^{\perp}}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2t_f} \quad (6.14)$$

وفي حالة الألياف المتجانسة التركيب يكون :

$$n_s = n_c = n$$

ويعطى العلاقة الآتية معامل الانكسار

$$\frac{Z}{\Delta Z} \frac{\lambda}{2} = (n - n_L) t_f \quad (6.15)$$

وفيما يلي نوضح طريقة استنتاج هذب فيزو للتداخل الضوئي عندما تعبر شعيرة  
إسطوانية نصف قطرها  $r_f$  ومغمورة في سائل معامل انكساره  $n_L$  ، وكانت الشعيرة مكونة  
من قشرة معامل انكسار مادتها  $n_s$  ولب معامل انكسار مادته  $n_c$  ونصف قطره  $r_c$  .

وسنبداً أولاً باشتقاق المعادلة الرياضية لشكل الهدبة في منطقة القشرة مع ملاحظة أنها  
لا تعتمد على خواص لب الشعيرة (شكل ٦/٦) وبإهمال انكسار الأشعة عبر قشرة الشعيرة  
ولها وبأخذ المنطقة  $r_c \leq x \leq r_f$  فقط في الاعتبار ينتج :

$$N\lambda = 2n_L t + 4 Y (n_s - n_L) \quad (6.16)$$

ويلاحظ أن الرتبة في منطقة السائل تحقق المعادلة :

$$N\lambda = 2 n_L t_1$$

وينتج عن ذلك أنه في حالة  $n_S > n_L$  تكون الفجوة الضوئية  $t_1$  في مقياس التداخل الضوئي في منطقة السائل - تكون أكبر منها في منطقة القشرة التي تعطيها المعادلة رقم (١٦-٦) . وتكون إزاحة الهدبة في منطقة القشرة في حالة  $n_S > n_L$  في اتجاه تناقص  $t$  وبذلك تأخذ المعادلة الصيغة الآتية :

$$N\lambda - 2 n_L Z \tan \varepsilon = 4 (n_S - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2}$$

$$-\left( Z - \frac{N\lambda}{2n_L \tan \varepsilon} \right) = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_S - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2}$$

بالتحويل إلى النقطة  $(N\lambda/2 n_L \tan \varepsilon, 0)$  على المستوى  $(Z, X)$

$$-Z = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_S - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2} \quad (6.17)$$

$Z$  هي إزاحة الهدبة مقاسة من نقطة على امتداد الهدبة الموجودة في منطقة السائل

حيث  $Z = N\Delta Z$  على المحور  $Z$  .

وتعطي المعادلة الآتية شكل الهدبة ذات الرتبة  $N$  في منطقة القشرة :

$$Z^2 \left[ \left( \frac{4\Delta Z}{\lambda} \right)^2 (n_S - n_L)^2 r_f^2 \right]^{-1} + X^2 / r_f^2 = 1 \quad (6.18)$$

وهي تمثل قطعاً ناقصاً نصف محوره الأكبر ونصف محوره الأصغر هما  $r_f$  ،  $(4\Delta Z/\lambda) (n_S - n_L) r_f$  في المستوى  $(z,x)$  . ويتحدد اتجاه إزاحة الهدبة  $Z$  بقيم معاملات الانكسار إما أن تكون  $n_S > n_L$  أو  $n_S < n_L$  . ففي حالة  $n_S > n_L$  تمثل الهدبة بنصف قطع ناقص في اتجاه رأس الإسفين ، بينما في حالة  $n_S < n_L$  تكون إزاحة الهدبة في ناحية الهدبة الموجودة في منطقة السائل وعكس اتجاه رأس الإسفين  $wedge$  apex . ويبين الشكل (١٦/أ، ب) هذب التداخل الضوئي التي تتبع معادلة قطع ناقص في حالتي  $(n_S - n_L) < 0$  ،  $(n_S - n_L) > 0$  على الترتيب . وعند زيادة قيمة  $(n_S - n_L)$  فإن شكل الهدب تظل نصف قطع ناقص تجاه رأس الإسفين مع اطراد زيادة  $(1 - \frac{1}{A^2})$  حيث :

$$A = \left( \frac{4\Delta Z}{\lambda} \right) (n_s - n_L)$$

وعند  $A = 1$  تأخذ الهدبة شكل نصف دائرة ، وعند استمرار نقصان قيمة  $(n_s - n_L)$  فإن نصف المحور الأكبر للقطع الناقص يصبح نصف محوره الأصغر .

وعندما تكون  $(n_s = n_L)$  تأخذ الهدبة شكل الخط المستقيم فى منطقة القشرة أى تكون على امتداد الهدبة الموجودة فى منطقة السائل . وعند استمرار زيادة قيمة  $n_L$  تصبح الهدبة على شكل قطع ناقص ولكن من الناحية الأخرى للهدبة الموجودة فى منطقة السائل أى فى عكس اتجاه رأس الأسفين الضوئى .

وفى حالة شعيرة إسطوانية تتكون من قشرة ولب مغمورة فى سائل معامل انكساره  $n_L$  يساوى معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة  $n_s$  ، وكان معامل انكسار مادة لب الشعيرة ثابتا ، فإن شكل هذب فيزى للتداخل الضوئى المتعدد خلال منطقة لب الشعيرة فى المستوى  $(z,x)$  تعطيه المعادلة :

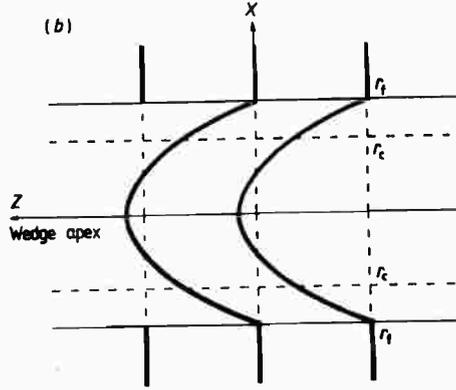
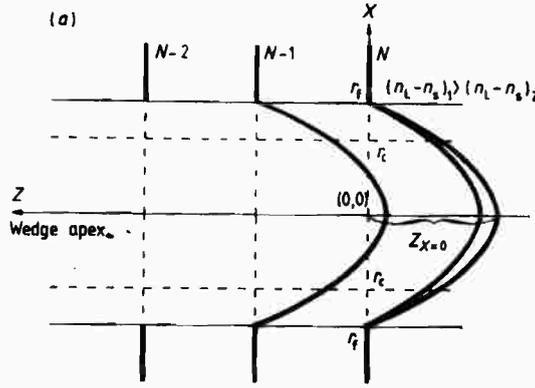
$$Z^2 \left[ \left( \frac{4\Delta Z}{\lambda} \right)^4 (n_c - n_L)^2 r_c^2 \right]^{-1} + X^2 / r_c^2 = 1 \quad (6.19)$$

ويكون نصف المحور الأكبر ونصف المحور الأصغر هما  $Br_c$  ،  $r_c$  على الترتيب .

$$B = \left( \frac{4\Delta Z}{\lambda} \right) (n_c - n_L) \quad \text{حيث :}$$

ولقد سبق دراسة تأثير قيمة  $(n_s - n_L)$  فى منطقة القشرة ، ويوجد تأثير مماثل للمقدار  $(n_c - n_L)$  فى المنطقة  $0 \leq x \leq r_c$  على شكل الهدب ، وذلك فى حالة شعيرة مغمورة فى سائل له نفس معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة .

ويمكن ملاحظة تأثير تغير زاوية الإسفين الضوئى  $\epsilon$  على شكل الهدب من قيم نصف المحور الأكبر ونصف المحور الأصغر وهما  $2(n_c - n_L)r_c / n_L \tan \epsilon$  ،  $r_c$  على الترتيب . وعندما تقل الزاوية  $\epsilon$  فإن نصف المحور الأكبر يزداد وكذلك تزيد قيمة  $\Delta Z$  ، ونحصل على تأثير مماثل عندما تقل قيمة  $n_L$  .



شكل رقم (٦/٦) : يوضح شكل هذب التداخل الضوئى عند (a)  $(n_S - n_L) > (n_S - n_L)_2$  صفرا ،  
(b)  $(n_S - n_L) < (n_S - n_L)_2$  صفرا .

دعنا نفترض أنه توجد مجموعة من هذب التداخل الضوئى ذات الرتب  $N+2, N+1, N$  كما فى الشكل رقم (٧/٦) وتقاس مواقع نقط الأصل للهدب :

$$O_N \equiv \left( \frac{N\lambda}{2n_L \tan \epsilon}, 0 \right)$$

$$O_{N+1} \equiv [(N+1) \Delta Z, 0]$$

$$O_{N+2} \equiv [(N+2) \Delta Z, 0]$$

من رأس الإسفين الضوئى .

ويبدل هذا على أن مجموعة الهدب وشكلها وموقعها تقدم طريقة مسح للكشف عن أى عيوب أو اختلافات فى المقطع العرضى على طول الشعيرة ، ويمكن إجراء مسح بين مواقع

هدبتين بتغيير زاوية الإسفين ، إذ يتم تحريك الهدبة لتغطي هذه المسافة وتوفر أية معلومات تظهرها عن اختلافات في مقطع الشعيرة ، وتتكون الهدبة النقطية عند الحد الفاصل بين السائل والقشرة نتيجة الشعاع المماس لسطح الشعيرة الإسطوانية في الحالة الأولى ، أما في حالة المضاهاة فالهدبة النقطية تكون نتيجة لشعاع المماس لسطح لب الشعيرة . فانعكاسة السطح الفاصل تكون عالية للغاية عند زوايا سقوط قريبة من  $\frac{\pi}{2}$  ، وبالتالي تكون الشدة الضوئية النافذة ضئيلة للغاية لجميع قيم  $(n_s - n_L)$  أو  $(n_c - n_L)$  عند المضاهاة .

وينتج عن ذلك نقصان حاد في الشدة الضوئية للهدبة يظهر لانقطاعه عند النقطة التي تحدد السطح الفاصل .

وتعطي المعادلة الآتية شكل هذب التداخل الضوئي المتعدد ذي الرتبة N خلال شعيرة مكونة من قشرة ولاب :

$$Z = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_s - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2} + \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_c - n_s) (r_c^2 - X^2)^{1/2} \quad (6.20)$$

وتقاس إزاحة الهدبة من النقطة  $(N Z, 0)$  تجاه رأس الإسفين الضوئي :

$$Z = f_1(X) + f_2(X)$$

والمعادلة التي تعطى شكل الدالة  $Z = f_1(X)$  هي :

$$(Z^2 / A^2 r_f^2) + (X^2 / r_f^2) = 1 \quad (6.21)$$

$$A = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_s - n_L) \quad \text{حيث :}$$

بينما شكل الدالة  $Z = f_2(X)$  فيعطى من المعادلة :

$$(Z^2 / B^2 r_c^2) + (X^2 / r_c^2) = 1 \quad (6.22)$$

$$B = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_c - n_s) \quad \text{حيث :}$$

ويمثل إسهام الدالتين  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$  في تكوين الهدبة عبر الشعيرة بيانياً ثم يتم جمع الإسهامين عندما تكون  $n_c > n_s > n_L$  ، ويكون نصف القطعتين الناقصين على جانب واحد من الهدبة في منطقة السائل وفي اتجاه رأس الإسفين .

أما في حالة  $n_L > n_S, n_C > n_S$  فإن :

$$Z = f_2(x) - f_1(x)$$

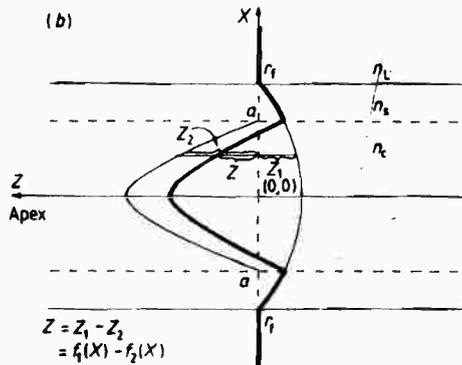
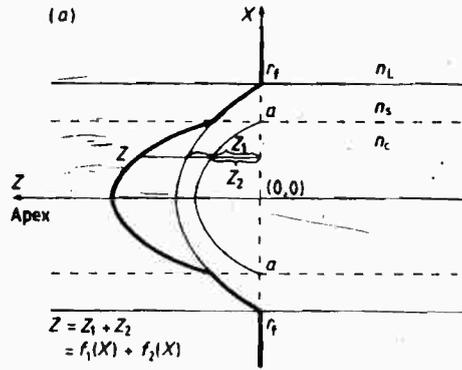
ويمثل الشكلان رقم (١/٧/١) ، (١/٧/٢) شكل الهدبة عبر لب وقشرة في الحالتين المذكورتين .

ومن الشكل رقم (١/٧/١) تعطى المعادلة الآتية قيمة الإزاحة  $Z$  عند  $x = 0$  :

$$Z_{x=0} = \frac{4 \Delta Z}{\lambda} [(n_S - n_L) r_f + (n_C - n_S) r_c] \quad (6.23)$$

ومن شكل (١/٧/٢)

$$Z_{x=0} = \frac{4 \Delta Z}{\lambda} [(n_C - n_S) r_c - (n_L - n_S) r_f] \quad (6.24)$$



شكل رقم (٧/١) : يوضح شكل هذب التداخل عبر لب وقشرة في حالة

$n_S > n_C, n_S > n_L$  (b),  $n_S < n_C, n_L < n_S$  (a)

## ٢/٢/٦ - الألياف منتظمة المقطع العرضي متعددة الطبقات

Multilayer fibres with regular transverse sections :

تم الحصول على المعادلة الرياضية لشكل هذب فيزيو للتداخل الضوئي المتعدد عندما تعبر شعيرة إسطوانية متعددة الطبقات ، وذلك بإضافة حدود مناسبة لمعادلة فرق المسار الضوئي (OPL) المعطاة بالمعادلة رقم (٦-٦) ، وتمثل هذه الحدود إسهامات كل طبقة من الطبقات المكونة للشعيرة ، وتنتج المعادلة الآتية :

$$\left(\frac{Z}{\Delta Z}\right)_x \frac{\lambda}{2} = 2 \left( \sum_{k=1}^m n_k r_k - \sum_{k=1}^{m-1} n_k r_{k+1} - n_L r_1 \right) \quad (6.25)$$

حيث  $n_k$  تمثل معامل انكسار الطبقة  $k$  ، وكذلك فإن :

$$K = 1, 2, \dots, m$$

و  $r_k$  هو نصف قطر هذه الطبقة ،  $n_L$  هو معامل انكسار سائل الغمر ،  $r_1$  هو نصف قطر الطبقة الخارجية للشعيرة . وقد حصل كل من "El-Nicklawy and Fouda" (١٩٨٠) و "Hamza and Kabeel" (١٩٨٦) على هذه المعادلة ، وعالج الأخيران مشكلة وجود عدم انتظام في المقطع العرضي للشعيرة .

واستنتج "El-Hennawi" (١٩٨٨ a,b,c) معادلة لشكل هذب فيزيو للتداخل الضوئي التي تعبر شعيرة إسطوانية مكونة من طبقة واحدة وطبقتين ومتعددة الطبقات ، أخذاً في الاعتبار انكسار الشعاع الضوئي داخل الشعيرة ، وتكون المعادلة في حالة الشعيرة متعددة الطبقات هي :

$$\left(\frac{Z}{\Delta Z}\right)_x \frac{\lambda}{2} = 2 \left( \sum_{k=1}^m (n_k^2 r_k^2 - n_L^2 X^2)^{1/2} - \sum_{k=1}^{m-1} (n_k^2 r_{k+1}^2 - n_L^2 X^2)^{1/2} - n_L (r_1^2 - X^2)^{1/2} \right) \quad (6.26)$$

حيث  $m$  هي عدد الطبقات المكونة للمقطع العرضي للشعيرة . وعند  $x = 0$  لا يوجد انكسار وتؤول المعادلة رقم (٦ - ٢٦) إلى المعادلة رقم (٦-٢٥) .

٢/٢/٨- تطبيق هذب فيزو للتداخل الضوئى على الألياف ذات المقاطع العرضية غير المنتظمة

Multiple-beam Fizeau fringes applied to fibres with irregular transverse-sections:

أولا : الألياف المتجانسة التركيب (Hamza et al., 1985a)  
Homogeneous fibres :

شرح "Simms" (١٩٥٨) طريقة باستخدام جهاز بابينيت Babinet compensator لتعيين معامل الانكسار المزوج للأجسام التى لها وزن ثابت بالنسبة لوحدة الأطوال ، ولكن لها مقطع عرضى غير منتظم الشكل . وتعيين معاملات الانكسار والانكسار المزوج للألياف ذات المقاطع العرضية غير المنتظمة قدم "Hamza" (١٩٨٠) طريقة باستخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى والميكروسكوب الالكترونى الماسح . وفيما يلى شرح لتطبيق هذب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد لدراسة الألياف المتجانسة التركيب والتى لها مقطع عرضى غير منتظم .

ويبين الشكل رقم (٨/٦) شعيرة غير منتظمة المقطع العرضى موضوعة فى إسفين ضوئى مكون من مسطحين ضوئيين مفضضين ، يميل أحدهما على الآخر ، ويحصران بينهما سائلا غمرت فيه الشعيرة ، وتعطى المعادلة الآتية مساحة مقطع الشعيرة A فى المستوى (X,Y) :

$$A = \int_k^L (Y_1 - Y_2) dX \quad (6.27)$$

حيث :  $Y_1, Y_2$  هما نقطتا تقاطع لخط الماسح scanning line ، والذى يوازى المحور Y مع محيط مقطع الشعيرة . ويقع هذا الخط بين النقطتين C, D اللتين تقابلان النقطتين K, L على المحور X .

وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئى OPL للشعاع  $BB'$   
→

$$OPL = [t - (Y_1 - Y_2)] n_L + (Y_1 - Y_2) n_a \quad (6.28)$$



ينتج :

$$n_a - n_L = \frac{F}{2A} \frac{\lambda}{\Delta Z} \quad (6.32)$$

وفى حالة ضوء مستقطب فى اتجاه عمودى على محور الشعيرة :

$$n_a^{\parallel} = n_L + \frac{F^{\parallel}}{2A} \frac{\lambda}{\Delta Z} \quad (6.33)$$

وفى حالة ضوء مستقطب فى اتجاه مواز لمحور الشعيرة :

$$n_a^{\perp} = n_L + \frac{F^{\perp}}{2A} \frac{\lambda}{\Delta Z}$$

وبذلك يمكن حساب معاملات الانكسار  $n_a^{\parallel}$ ,  $n_a^{\perp}$  من قياس قيم  $A$ ,  $F$

وبالنسبة لمعامل الانكسار المزوج  $\Delta n_a$  فيعطى بالمعادلة :

$$\Delta n_a = \frac{F^{\parallel} - F^{\perp}}{A} \frac{\lambda}{2\Delta Z} \quad (6.34)$$

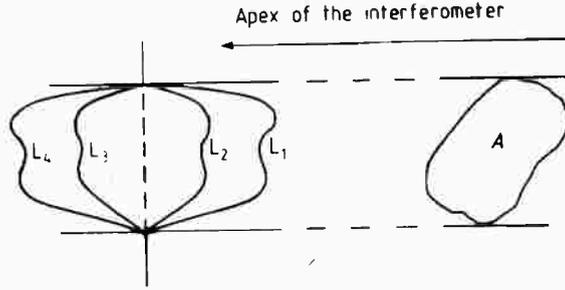
ويوضح الشكل رقم (١/٦) سلوك الهدبة عند استخدام سوائل غير لها معاملات انكسار مختلفة ويستخدم سائلا غير مختلفان ولهما معاملى انكسار  $n_{L2}$ ,  $n_{L1}$  ( عند نفس درجة الحرارة ) وذلك للاستغناء عن قياس مساحة مقطع الشعيرة (Hamza et al., ١٩٨٦) - ويمكن باستخدام المعادلتين الآتيتين تعيين معامل الانكسار المتوسط للشعيرة  $n_a$  :

$$\frac{F_1}{2A} \frac{\lambda}{\Delta Z_1} = n_a - n_{L1} \quad (6.35)$$

and

$$\frac{F_2}{2A} \frac{\lambda}{\Delta Z_2} = n_a - n_{L2} \quad (6.36)$$

حيث  $F_2$ ,  $F_1$  هما المساحتان المحصورتان تحت إزاحتى الهدبتين والمسافة بين كل هدبتين متتاليتين فى حالتى المعادلتين (٢٥-٦) ، (٢٦-٦) هما  $\Delta Z_2$ ,  $\Delta Z_1$  على الترتيب .



شكل رقم (١/٦) : يمثل سلوك هيب فيزو للتداخل الضوئي عند استخدام أربعة سوائل غير مختلفة لها معاملات انكسار  $n_{L_4}, n_{L_3}, n_{L_2}, n_{L_1}$  وقيم هذه المعاملات بالمقارنة بقيمة معامل انكسار مادة الشعيرة  $n_a$  هي  $n_{L_4} > n_{L_3} > n_a, n_a < n_{L_2} < n_{L_1}$  (من Hamza et al., 1985 a)

### الالياف غير المتجانسة التركيب والمكونة من قشرة ولب

(Hamza et al., 1985b)

Homogeneous fibres with skin/core structure :

يبين الشكل رقم (١٠/٦) مقطعا عرضيا لشعيرة ذات لب غير منتظم المقطع المرضى محاط بقشرة غير منتظمة المقطع المرضى أيضا . وتعطى المعادلة الآتية مساحة المقطع المرضى A للشعيرة فى المستوى (X, Y) :

$$A = \int_M^S (Y_1 - Y_2) dX \quad (6.37)$$

وتعطى مساحة المقطع المرضى لللب الشعيرة فى المستوى (X, Y) من المعادلة :

$$B = \int_P^Q (Y_3 - Y_4) dX$$

وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئي (OPL) للشعاع DD → :

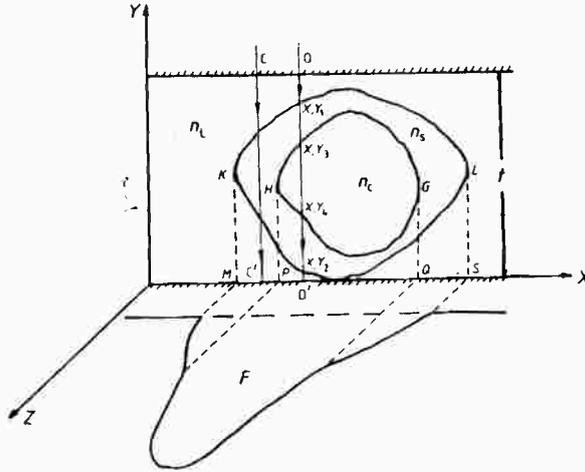
$$OPL = [t - (Y_1 - Y_2)] n_L + [(Y_1 - Y_2) - (Y_3 - Y_4)] n_s + (Y_3 - Y_4) n_c \quad (6.38)$$

وبالنسبة للهدبة ذات رتبة التداخل N يمكن كتابة المعادلة :

$$N\lambda = 2n_L t + 2(n_s - n_L)(Y_1 - Y_2) + 2(Y_3 - Y_4)(n_c - n_s) \quad (6.39)$$

وبتحويل نقطة الأصل إلى النقطة  $(N\lambda/2n_L \tan \epsilon, 0)$  على المستوى  $(Z, X)$  ينتج :

$$n_L \tan \epsilon Z = (n_s - n_L) (Y_1 - Y_2) + (n_c - n_s) (Y_3 - Y_4)$$



شكل رقم (١٠/١) : يمثل شعيرة غير منتظمة المقطع العرضي لها لب محاط بقشرة ومغمورة في إسفين مفضض يحدس سائلا. ويمثل F المساحة المحصورة تحت إزاحة الهدبة (من Hamza et al., 1985 a)

وبإجراء التكامل للمعادلة السابقة يشمل المنطقة  $M \geq X \geq S$  تنتج المساحة F المحصورة تحت إزاحة الهدبة :

$$n_L \tan \epsilon \int_M^S Z dX = (n_s - n_L) \int_M^S (Y_1 - Y_2) dX + (n_c - n_s) \int_P^Q (Y_3 - Y_4) dX \quad (6.40)$$

$$\int_M^S Z dX = F \quad \text{حيث :}$$

$$Fn_L \tan \epsilon = (n_s - n_L) A + (n_c - n_s) B$$

وتكون :

$$\frac{\lambda}{2 \Delta Z} F = (n_s - n_L) A + (n_c - n_s) B$$

ويعطى معامل انكسار مادة الشعيرة باستخدام ضوء مستقطب فى اتجاه محور الشعيرة

من المعادلة :

$$\frac{\lambda}{2 \Delta Z} F^{\parallel} = (n_s^{\parallel} - n_L) A + (n_c^{\parallel} - n_s^{\parallel}) B \quad (6.41)$$

وفى حالة استخدام ضوء مستقطب فى اتجاه عمودى على محور الشعيرة تصبح المعادلة

$$\frac{\lambda}{2 \Delta Z} F^{\perp} = (n_s^{\perp} - n_L) A + (n_c^{\perp} - n_s^{\perp}) B$$

وينتج معامل الانكسار المزوج  $\Delta n_c$  للبع الشعيرة من المعادلة :

$$\Delta n_c = B^{-1} \left( \frac{\lambda}{2 \Delta Z} (F^{\parallel} - F^{\perp}) - \Delta n_s (A - B) \right) \quad (6.42)$$

ويمكن استنتاج معامل الانكسار المتوسط لمادة الشعيرة  $n_a$  بوضع :

$$n_s = n_c = n_a$$

حالة الألياف متعددة الطبقات (Hamza and Kabeel, 1986)

Multi-layer fibres :

يوضح الشكل رقم (١١/٦) مقطعا عرضيا فى شعيرة إسطوانية متعددة الطبقات

موضوعة فى إسفين ضوئى وتحتوى الشعيرة على عدة طبقات عددها  $m$  ذات معاملات

انكسار  $n_m, \dots, n_3, n_2, n_1$

حيث  $n_1$  هو معامل انكسار الطبقة الخارجية ، وكذلك فإن  $n_m = n_c$

وتمثل أنصاف أقطار الطبقات المختلفة بالمعادلة :

$$r_Q = (X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}}, \quad Q = 1, 2, \dots, m$$

وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئى (OPL) للشعاع  $\vec{EE}$  :

$$OPL = (t - 2Y_1) n_L + 2 (Y_1 - Y_2) n_1$$

$$+ 2 (Y_2 - Y_3) n_2 + \dots + 2 (Y_{m-1} - Y_m) n_{m-1} + 2 Y_m n_m \quad (6.43)$$

ومن المعادلة الأساسية للتداخل نجد أن :

$$N\lambda - 2n_L Z \tan \varepsilon = 4 \sum_{Q=1}^m (n_Q - n_{Q-1}) Y_Q \quad (6.44)$$

ويتحويل نقطة الأصل إلى  $(N\lambda / 2n_L \tan \varepsilon, 0)$  على المستوى  $(Z, X)$  ينتج أن :

$$n_L \tan \varepsilon Z = 2 \sum_{Q=1}^m (n_Q - n_{Q-1}) Y_Q$$

وتمثل  $Z$  القيمة الجديدة لإزاحة الهدبة ، يكون اتجاهها نحو رأس الأسفين .

وتعطي المعادلة الآتية هدب فيزو للتداخل الضوئي على المستوى  $(Z, X)$  :

$$\frac{\lambda}{4\Delta Z} Z = \sum_{Q=1}^m (n_Q - n_{Q-1}) (r_Q^2 - X^2)^{1/2} \quad (6.45)$$

حيث تعرف قيمة  $X$  بعدد الطبقات .

واتلافى مشكلة وجود عدم الانتظام فى مقطع الشعيرة ، تمثل المساحة المحصورة تحت

إزاحة الهدبة ، وعندما تعبر الشعيرة عمودية على محورهما تمثل تكامل فرق المسار الضوئي

عبر هذه الشعيرة (Simmons, ١٩٥٨) ويرتبط جزء المساحة  $F_m$  المحصور تحت إزاحة

الهدبة فى المستوى  $(Z, X)$  فى حالة شعيرة متعددة الطبقات وفي المنطقة المحددة

بـ  $\alpha \leq X \leq \beta$  بالأجزاء  $A_{Q,m}$  من مساحات مقاطع الطبقات المختلفة بالمعادلة :

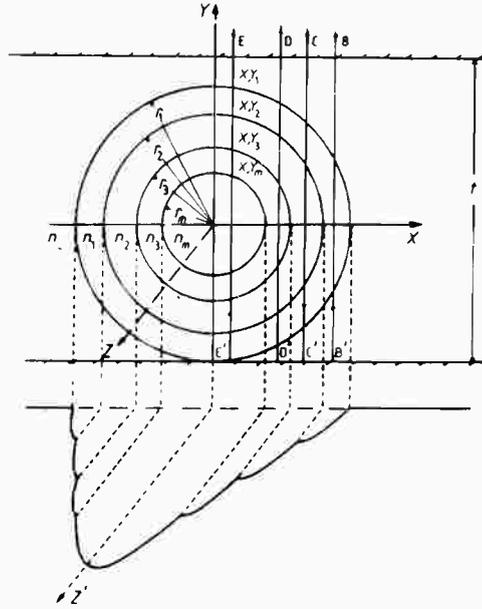
$$\frac{\lambda}{4\Delta Z} F_m = \sum_{Q=1}^m (n_Q - n_{Q-1}) A_{Q,m} \quad (6.46)$$

$$F_m = \int_{\alpha}^{\beta} Z dx \quad \text{حيث :}$$

$$A_{Q,m} = \int_{\alpha}^{\beta} (r_Q^2 - X^2)^{1/2} dX$$

$\beta, \alpha$  هما نقطتان يتم اختيارهما على المحور  $X$  لخريطة هدب التداخل

الضوئي interferogram .



شكل رقم (١١/٦) : مقطع عرضي لشعيرة إسطوانية متعددة الطبقات غمرت في إسفين مفضل يحصر سائلا . وموضح شكل هـب التداخل الضوئي عبر كل طبقة من طبقات الشعيرة (من Hamza and Kabeel 1986)

### ٣/٦- الألياف البصرية بنوعها GRIN, STEP

Optical fibres : Step-index and graded index :

### ١/٣/٦- تطبيق هـب التداخل الضوئي المتعدد على الألياف البصرية STEP لتعيين مواصفاتها وخصائصها

Multiple-beam interference fringes applied to step-index optical fibres to determine fibre characteristics:

تستخدم الألياف البصرية بنوعها GRIN, STEP-index كموجهات للموجات الضوئية في نظم التراسل الضوئي ، وهى ألياف إسطوانية الشكل نصف قطرها  $r_f$  تتكون من قشرة clad معامل انكسار مادتها  $n_{clad}$  وبمعامل انكسار مادته  $n_{core}$  ونصف قطره  $r_c = a$  ، ودائما تكون  $n_{core} > n_{clad}$  .

وفي حالة الألياف البصرية STEP-index يكون معاملا انكسار طبقتها  $n_{core}$  ،  $n_{clad}$

ثابتى القيمة . وهى إما أن تكون وحيدة المنوال monomode أو عديدة المنوال multimode ، والفرق بينهما يكون فى أبعاد لب وقشرة الشعيرة .

وفى حالة الألياف البصرية STEP-index وحيدة المنوال نجد أن  $2r_c \approx 10 \mu m$  أو أقل ، بينما  $2r_f = 125 \mu m$  . وفى الشعيرة من الألياف GRIN عديدة المنوال تكون  $2r_f = 125 \mu m$  ,  $2r_c \approx 80 \mu m$  .

وفى جميع أنواع الألياف البصرية المستخدمة كموجهات للموجات تكون قيمة معامل انكسار مادة قشرتها  $n_{clad}$  ثابتة ، بينما تكون قيمة معامل انكسار لبها  $n_{core}$  ثابتة فقط فى حالة الألياف من نوع STEP-index ؛ وفى حالة الألياف من نوع GRIN نجد أن معامل انكسار لبها يقل مع البعد عن مركز الشعيرة ويتبع قانون أسى power law .

وبتطبيق هذب فيزيو للتداخل الضوئى على شعيرة من نوع STEP-index المغمورة فى سائل موضوع بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر ، تكون المعادلة التى تعطى إزاحة الهدبة Z والمقاسة من النقطة  $(N\Delta Z, O)$  تجاه رأس الإسفين الضوئى هى المعادلة رقم (٦-٢٠) - كما تم استنتاجها سابقا :

$$Z = \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_{clad} - n_L) (r_f^2 - X^2)^{1/2} + \frac{4\Delta Z}{\lambda} (n_{core} - n_{clad}) (r_c^2 - X^2)^{1/2}$$

$$= f_1(X) + f_2(X)$$

ويعطى شكل الدالة  $Z = f_1(X)$  من المعادلة رقم (٦-٢١) التى تصف قطعاً ناقصاً نصف محوره الأكبر ونصف محوره الأصغر هما  $r_f$  ,  $A r_f$  حيث :

$$A = 4 \Delta Z (n_{clad} - n_L) / \lambda$$

بينما القطع الناقص الذى تمثله الدالة  $f_2(X)$  تكون أطوال نصف محوره الأكبر ونصف محوره الأصغر هى  $r_c$  ,  $B r_c$  حيث :

$$B = 4 \Delta Z (n_{core} - n_{clad}) / \lambda$$

وذلك يتفق مع المعادلة رقم (٦-٢٢) .

وقد سبق أن شرحنا طريقة إضافة إسهامات الدالتين - كما ظهر ذلك فى الشكل رقم (٧/٨) .

استنتاج بروفيل معامل انكسار شعيرة بصرية (STEP-index) من  
إزاحة هذب التداخل الضوئي :

Deduction of the index profile of a step - index optical fibre from the fringe  
shift :

نحصل من المعادلة (٦-٢١) على شكل هذب فيزي للتداخل الضوئي عندما تعبر شعيرة  
إسطوانية فى منطقة قشرتها  $r_c \leq X \leq r_f$  ، وتكون معادلة المماس للقطع الناقص عند أى  
نقطة  $(Z', X')$  هى :

$$\frac{ZZ'}{A^2 r_f^2} + \frac{XX'}{r_f^2} = 1$$

ويكون ميل الخط المستقيم هو :

$$\frac{dX}{dZ} = - \frac{Z'}{X'} \frac{1}{A^2}$$

وينتج عن ذلك :

$$\frac{dX}{dZ} \frac{X'}{Z'} = - \left[ \lambda^2 / 16 (\Delta Z)^2 (n_{clad} - n_L)^2 \right]$$

= constant for the fringe system.

وهذا هو البارامتر الذى يوضح ثبوت قيمة معامل الانكسار الذى يميز شعيرة ال-STEP  
. index

وباعتبار أن :

$$n_{clad} - n_L = \lambda / 4\Delta Z \left| \frac{dX}{dZ} \frac{X'}{Z'} \right|^{1/2} \quad r_c \leq X \leq r_f$$

ولمنطقة لب الشعيرة وباستخدام سائل له معامل انكسار  $n_L$  يساوى معامل انكسار مادة

قشرة الشعيرة  $n_{clad}$  يكون :

$$n_{core} - n_L = \lambda / 4\Delta Z \left| \frac{dX}{dZ} \frac{X'}{Z'} \right|^{1/2} \quad 0 \leq X \leq r_c$$

ويوضح الشكل رقم (٦/١٢) بروفيل معامل الانكسار  $(n_{clad} - n_L)$  فى المنطقة

$r_c \leq X \leq r_f$  و بروفيل معامل الانكسار  $(n_{core} - n_L)$  فى المنطقة  $0 \leq X \leq r_c$  وذلك فى

حالة  $n_L = n_{clad}$

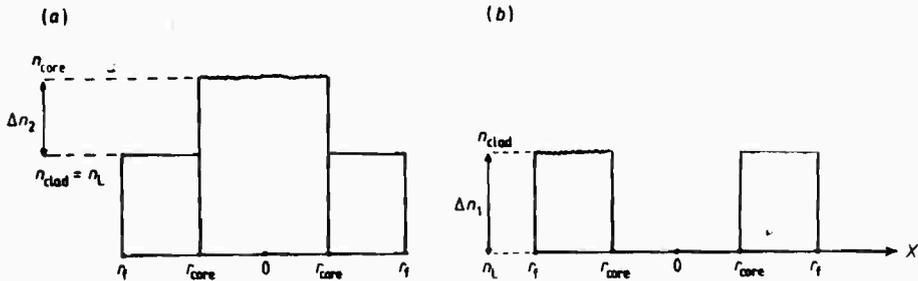
وفي الحالة العامة التي يغمر فيها شعيرة من نوع step-index في سائل يحصره إسفين مفضض سطحية وكانت  $n_{\text{clad}} \neq n_L$  أي حالة لامضاهاة ، فإنه يمكن استنتاج بروفيل معامل الانكسار في منطقة لب الشعيرة من شكل الهدب التي نحصل عليها وذلك بطرح الإسهام الرياضى لطبقة القشرة في منطقة اللب من قيم الإزاحة  $Z$  عند جميع النقط على الهدبة لجميع قيم  $X$  في حالة  $n_c \geq n_{\text{clad}} \geq n_L$  . وفي الحالة الثانية التي تكون فيها  $n_L > n_{\text{clad}}$  ، فإن قيم إضافة  $|Z_1|$  الى  $Z$  من منحنى الهدبة الذي نحصل عليه عمليا يعطى  $Z_2$  لجميع قيم  $X$  ... ونحصل على الإسهام الرياضى لمنطقة القشرة بإكمال القطع الناقص الذي يبدأ جزآه في منطقة القشرة ليغطى منطقة اللب .

وبتعيين  $r = r_c, -a \leq X \leq a$  :  $(dX/dZ) (X/Z)^{1/2}$  في منطقة اللب حيث :

فإننا نحصل على قيم  $(n_{\text{core}} - n_{\text{clad}})$  لجميع قيم  $X$  ومن ثم بروفيل معامل الانكسار .

وفي منطقة القشرة حيث :  $r_c \leq X \leq r_f$  فإن قيم  $Z$  مقاسة من  $Z = 0$  تعطى :

$$\left| \frac{dX}{dZ} \frac{X'}{Z'} \right|^{1/2} \frac{\lambda}{4\Delta Z} \quad \text{من العلاقة } (n_{\text{clad}} - n_L)$$



شكل رقم (١٢/٦) : بروفيل معامل الانكسار

أ- حالة سائل الغمر له معامل انكسار مساو لمعامل انكسار القشرة

ب- ثبات قيمة معامل انكسار القشرة  $n_{\text{clad}}$  على مدى سمكها

## ٢/٣/٨- نظرية هيب التداخل الضوئي المتعدد عند تطبيقها على الألياف البصرية متدرجة معامل انكسار لها GRIN

The theory of multiple-bam Fizeau fringes applied to graded-index optical fibres:

طبق "Marhic et al" (١٩٧٥) طريقة التداخل الضوئي الثنائي على الألياف البصرية بفهر الشعيرة في سائل معامل انكساره يساوى معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة وإضافتها بأشعة عمودية على محورها . وتم في هذه الدراسة الحصول على تعبير تحليلي مبسط لفرق المسار الضوئي للألياف ذات بروفييل معامل انكسار لها يزداد من بداية لب شعيرة حتى منتصفها مع مربع البعد عن المركز .

و طبق "Saunders & Gardner" (١٩٧٧) طريقة Marhic على الألياف البصرية متدرجة معامل الانكسار . وفي هذه الحالة تحسب قيمة  $\Delta n$  من القيمة العظمى لإزاحة الهدبة وحسب قيمة  $\alpha$  من أى نقطة على الهدبة باستخدام الحاسب العلمى .

وفيما يلي نوضح المعادلات الرياضية لمجموعة هيب فيزو التي تعبر شعيرة من الألياف البصرية متدرجة معامل الانكسار - Barakat et al, ١٩٨٥ - وافترض في هذه المعالجة أن الشعيرة ذات مقطع عرضي مستدير تماما وله لب محاط بقشرة وغمرت الشعيرة في سائل موضوع بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر ، بحيث يكون محورها عموديا على حافة الإسفين الضوئي .

واعتبر أن سطح الشعيرة يمس السطح المفضض للمسطح الضوئي السفلى ، والشكل رقم (١٢/٦) يمثل مقطعا عرضيا لشعيرة إسطوانية متدرجة معامل الانكسار GRIN ونصف قطرها  $r_f$  وتتكون من لب معامل انكسار مادته متدرج ويساوى  $n(r)$  ونصف قطره  $r_c$  وقشرة معامل انكسار مادتها ثابت ومقداره  $n_{clad}$

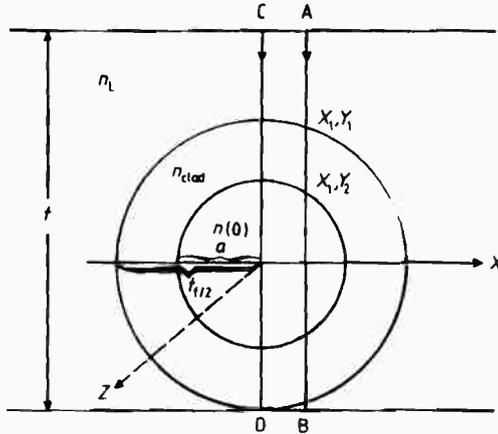
$$n(r) = n(0) [1 - 2\Delta (r/a)^\alpha]^{1/2} \quad 0 \leq r \leq a \quad (6.47)$$

حيث  $r$  هي المسافة مقاسة من مركز الشعيرة ،  $a$  هو نصف قطر لب الشعيرة  
: (١٩٧٣) Gloge and Marcetili

$$\Delta = (n^2(o) - n^2(a)) / (2 n^2(o))$$

$\alpha$  هو البارامتر الذى يحدد شكل البروفيل ، وتغير الشعيرة متدرجة معامل الانكسار فى السائل المحصور بين المسطحين الضوئيين المفضضين المكونين للإسفين الضوئى ودرجة استوائهما هي  $\pm \lambda/50$  ، وكانت قيمة معامل انكسار السائل  $n_L$  مقاربة لقيمة معامل انكسار قشرة الشعيرة  $n_{clad}$  . وسقطت حزمة متوازية  $\vec{AB}$  ;  $\vec{CD}$  من الأشعة ذات الطول الموجى  $\lambda$  عمودية على المسطح الضوئى الأسفل ، واختيرت زاوية الإسفين الضوئى  $\varepsilon$  بحيث تكون صغيرة وتفى بشروط تكوين هدب التداخل الضوئى المتعدد .

وكان محور الشعيرة فى اتجاه المحور  $Z$  وحافة الإسفين الضوئى توازى المحور  $X$  وكان سمك الفجوة الضوئية هو  $t$  .



شكل رقم (١٣/٦) : مقطع عرضى لمقياس التداخل الذى يحصر سائل الغمر وقد غمس فيه شعيرة متدرجة معامل انكسار ليها  $n(r)$

والمعادلة الآتية تعطى فرق المسار الضوئى (OPL) للشعاع  $\vec{AB}$  :

$$\begin{aligned} \text{OPL} = & (t - 2y_2) n_L + 2 (y_2 - y_1) n_{clad} \\ & + 2 \int_0^{y_1} n(r) \sqrt{a^2 - X_1^2} \frac{1}{2} dy \end{aligned} \quad (6.4\gamma)$$

وتعرف  $n(r)$  من المعادلة رقم (٤٧-٦) . وفى حالة  $\Delta \ll 1$  كما هو الحال فى الألياف البصرية متدرجة معامل الانكسار تكون :

$$n(r) = n(o) - \Delta n (r/a)^\alpha$$

حيث :

$$\Delta n = (n(o) - n(a))$$

وينتج أن :

$$\begin{aligned} \text{OPL} = & (t - 2y_2) n_L + 2 (y_2 - y_1) n_{\text{clad}} + 2n(o) (a^2 - X_1^2)^{1/2} \\ & - 2 \frac{\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \end{aligned} \quad (6.49)$$

وبالنسبة للهبة ذات رتبة التداخل N :

$$\begin{aligned} N\lambda = 2 (\text{OPL}) = & 2n_L t + 4y_2 (n_{\text{clad}} - n_L) + 4\Delta n y_1 \\ & - \frac{4\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \end{aligned} \quad (6.50)$$

Now  $t = z \tan \epsilon$  ( $z = 0$  at  $t = 0$ ) so

$$\begin{aligned} N\lambda - 2n_L z \tan \epsilon = & 4y_2 (n_{\text{clad}} - n_L) + 4\Delta n y_1 \\ & - \frac{4\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \end{aligned} \quad (6.51)$$

وبالتحويل إلى النقطة (O, N  $\lambda/2n_L \tan \epsilon$ ) ينتج :

$$z 2n_L \tan \epsilon = 4y_2 (n_{\text{clad}} - n_L) + 4\Delta n y_1 - 4 \frac{\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (x_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \quad (6.52)$$

و  $\Delta z$  هي المسافة بين كل هبتين متتاليتين في منطقة السائل وتساوي  $\lambda/2n_L \tan \epsilon$ .

فإذا كانت  $\Delta z$  كانت مقدار إزاحة الهبة ذات الرتبة N في الشعيرة عن موقعها في منطقة

السائل ، فإن :

$$\left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right)_{x_1} \frac{\lambda}{2} = 2 \left( y_2 (n_{\text{clad}} - n_L) + \Delta n y_1 - \frac{\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (x_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \right)$$

$$= 2 \left( (n_{\text{clad}} - n_L) \sqrt{r_f^2 - x_1^2} + \Delta n \sqrt{a^2 - x_1^2} - \frac{\Delta n}{a^\alpha} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (x_1^2 + y^2)^{\alpha/2} dy \right) \quad (6.53)$$

وتعطي هذه المعادلة قيم  $\delta Z / \Delta Z$  لأي قيم من قيم  $X_1$  حيث  $0 \leq x_1 \leq r_f$  ، وذلك بدلالة  $\alpha, \Delta n$  ، وبالتعويض عن  $x_1$  بالقيمة صفر تنتج المعادلة :

$$\left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right) \frac{\lambda}{2} = (n_{\text{clad}} - n_L) t_f + t_{\text{core}} \Delta n \frac{\alpha}{(\alpha + 1)} \quad (6.54)$$

حيث :

$$t_{\text{core}} = 2a$$

وكذلك :

$$t_f = 2 y_2$$

وقد توصل "Saunders and Gardner" (١٩٧٧) إلى معادلة مشابهة للمعادلة رقم (٦-٥٤) ، وذلك باستخدام مقياس التداخل الضوئي الثنائي في حالة  $n_{\text{clad}} = n_L$  أي حالة المضاهاة .

أما في حالة الألياف STEP - index حيث  $\alpha = \infty$  فلقد توصل " Barakat " (١٩٧٨) إلى المعادلة :

$$\left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right) \frac{\lambda}{2} = (n_{\text{clad}} - n_L) t_f + t_{\text{core}} (n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}) \quad (6.55)$$

وبالتعويض عن  $x_1$  في المعادلة رقم (٦-٥٣) بقيمتين يمكن استنتاج البارامتر  $\alpha$  بمعلومية قيم .

$$n_L, n_{\text{clad}}, \left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right)_{x_2}, \left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right)_{x_1}, x_2, x_1$$

وبالتعويض فى المعادلة رقم (٥٣-٦) بأى قيمة لـ  $X$  ، حيث  $0 \leq x \leq a$  يمكن تعيين  $\Delta n$  .  
 واتبعت طريقة عامة لحساب كل من  $\alpha$  ،  $\Delta n$  باستخدام أكثر من قيمتين للمقدار  $\delta Z/\Delta Z$   
 وهى طريقة أقل تباينا minimum variance technique .

حيث :

$$I_{\alpha}(x) = \int_0^{(a^2 - X_1^2)^{1/2}} (x^2 + y^2)^{\alpha/2} dy$$

تحسب عدليا .

ولاتكون قيم  $\Delta n$  ،  $\alpha$  معروفة مقدما فى المعادلة (٥٣-٦) ، والهدف هو مطابقة القيم  
 المقاسة عمليا لبروفيل الهدبة مع المعادلة السابقة لتعيين كل من  $\Delta n$  ،  $\alpha$  ، ويلزم لهذا الفرض  
 تطبيع البروفيل النظرى لبعض النقاط المقاسة عمليا ، ولندخل فى الاعتبار استجابة أجهزة  
 القياس (التكبير والعوامل الأخرى) . والنقطة المختارة هى التى تكون عندها  $F(x) = \delta Z$   
 لاتعتمد على قيم  $\Delta n$  ،  $\alpha$  .

ونفترض أن المعادلة الآتية تعبر عن دالة البروفيل عند  $x = a$  :

$$F(a) = \frac{4\Delta Z}{\lambda} [(n_{\text{clad}} - n_L) (r_f^2 - a^2)^{1/2}]$$

وأن دالة البروفيل بعد تطبيقها تعطىها العلاقة :

$$F^*(x) = \frac{F(x)}{F(a)} \delta Z_{\text{expt}} \Big|_{x=a}$$

وبإعطاء  $\alpha$  قيما مختلفة وحساب قيم  $\Delta n$  لكل قيمة للبارامتر  $\alpha$  يمكن الحصول على  
 قيم  $\Delta n$  ،  $\alpha$  التى تعطى أقرب تطابق مع البروفيل الذى تم الحصول عليه عمليا .

٦/٤- تطبيق نظرية هدب تساوى الرتبة اللونية FECO على الألياف

The theory of fringes of equal chromatic order (FECO)

من المعروف أن هدب التداخل المتعدد لفيوز ، التى نحصل عليها عند سقوط حزمة من  
 الأشعة وحيدة الطول الموجى على إسفين مفضض ، تتكون على سطح مستوى يقع بالقرب  
 من الإسفين وهو مستوى نر الرتبة الصفيرية الذى لايعتمد موقعه على طول موجة الضوء

المستخدم . فإذا تم إسقاط مستوى على فتحة مطياف وحل مصدر ضوء أبيض محل مصدر الضوء أحادي الطول الموجي ، فإن عائلة من هدب التداخل ذات الرتبة اللونية المتساوية التي اكتشفها العالم « تولانسكى Tolansky عام ١٩٦٠ » ترى على المستوى الطيفي .

ويعتمد شكل الهدب الناتجة أساسا على الطريقة التي تتغير بها قيم  $n_{\lambda} t$  على امتداد مقطع الإسفين الذي حددته فتحة المطياف ، حيث  $t$  هي البعد بين سطحي الإسفين أي بعد مقياس التداخل ،  $n_{\lambda}$  معامل انكسار الوسط المحصور بين سطحي مقياس التداخل . فإذا اخترنا اتجاه الفتحة ليمثل محور السينات  $x$  فإنه في هذه الحالة تمثل دالة تغير  $n_{\lambda} t$  بالمتغير  $f(x)$  أي  $n_{\lambda} t = f(x)$  . ويكون المستوى الطيفي هو  $(\lambda, x)$  . وعلى ذلك فإننا نحصل على شكل هدب التداخل بإجراء تحويل العلاقة  $n_{\lambda} t = f(x)$  من المستوى  $(t, x)$  إلى المستوى  $(\lambda, x)$  باستخدام علاقة التحويل  $N_{\lambda} = 2n_{\lambda} t$  ، وذلك في حالة الهدب المضيفة على خلفية مظلمة التي نحصل عليها عند النفاذ ، وكذلك في حالة الهدب المعتمة على خلفية مضيئة تلك التي نحصل عليها عند الانعكاس ، إذا ما أهملتها تغير الطور عند الانعكاس . وفي حالة إسفين مفضض يحصر سائلا وكانت حافته موازية لفتحة المطياف فإن  $n_{L,\lambda} t = k$  ، حيث  $K$  مقدار ثابت عند طول موجي  $\lambda$  محدد  $n_{L,\lambda}$  معامل انكسار السائل المحصور .

وتمثل عائلة هدب التداخل متساوية الرتبة اللونية على المستوى  $(\lambda, x)$  بالمعادلة :

$$\lambda_N = \frac{2k}{N}$$

حيث تأخذ  $N$  رتبة الهدبة القيم ١ ، ٢ ، ٣ ، . لهذا فإن هدب التداخل الناتجة في هذه الحالة هي خطوط مستقيمة وموازية لمحور  $x$  حيث الفرق في العدد الموجي  $\Delta v$  بين أي هدبتين متعاقبتين  $\frac{1}{2} n_{L,\lambda} t = (v_{N+1} - v_N)$  ، حيث  $n_{L,\lambda}$  هو متوسط قيمتي معامل الانكسار للسائل على المدى  $\lambda_N - \lambda_{(N+1)}$  .

دعنا نتناول المنطقة من مقياس التداخل التي تحتوى على الشعيرة . وتعطى المعادلة

(٦-٧) طول المسار الضوئي OPL لحزمة الأشعة المركزية عند تكون هدبة مضيئة تأخذ  $t$

قيمة ثابتة على المستوي  $(\lambda, x)$  لأن حافة الاسفين قد ضبطت موازية لفتحة المطياف .  
 وبترتيب المعادلة (٧-٦) ونقل نقطة الأصل إلى النقطة  $(2n_{L,\lambda} t/N, 0)$  نحصل  
 على المعادلة (٥٦-٦) :

$$\lambda^2 = (16/N^2) [(n_{s,\lambda} - n_{L,\lambda})^2 (r_f^2 - x^2) + (n_{c,\lambda} - n_{s,\lambda})^2 (r_c^2 - x^2) + 2(n_{s,\lambda} - n_{L,\lambda})(n_{c,\lambda} - n_{s,\lambda})(r_f^2 - x^2)^{1/2}(r_c^2 - x^2)^{1/2}] \quad (6.56)$$

هذه المعادلة المطلوبة التي تعطي مجموعة هدب التداخل الضوئي متساوية الرتبة  
 اللونية FECO التي تعبر الشعيرة في المنطقة  $-r_c \leq -x \leq 0, 0 \leq x \leq r_f$  حيث  
 $n_{L,\lambda}, n_{c,\lambda}, n_{s,\lambda}$  هي معاملات الانكسار للقشرة وبب الشعيرة والسائل المحصور  
 بالترتيب عند الطول الموجي المناظر لكل نقطة على الهدبة التي رتبته  $N$  .

عند  $x=0$

$$\begin{aligned} \lambda &= (4/N) (n_{s,\lambda} - n_{L,\lambda}) r_f + (n_{c,\lambda} - n_{s,\lambda}) r_c \\ &= (2/N) (n_{s,\lambda} t_s + n_{c,\lambda} t_c - n_{L,\lambda} t_f) \\ &= (2/N) (n_{a,\lambda} - n_{L,\lambda}) t_f \end{aligned}$$

حيث  $n_{a,\lambda}$  هي معامل الانكسار المتوسط الذي تعرفه المعادلة (١١-٦) للطول الموجي  
 المناظر للنقطة على الهدب ذات الرتبة  $N$  عند  $x=0$  . فمثلا الطول الموجي  $\lambda$  عند النقطة  $b$   
 على الهدبة التي رتبته  $(N+1)$  - انظر شكل (١٤-٦) - توضع رسما تخطيطيا للمعادلة  
 (٥٦-٦) .

والنقطة  $(2n_{L,\lambda} t/N, 0)$  هي نقطة تقاطع امتداد الجزء المستقيم من الهدبة التي  
 رتبته  $N$  في منطقة السائل مع محور الشعيرة ، كما هو موضح بالنقطة  $0$  في الشكل رقم  
 (١٤/٦) للهدبة التي رتبته  $(N+1)$  .

وفي حالة شعيرة تحوي وسطا واحدا تكون  $n_{s,\lambda} = n_{c,\lambda} = n_{\lambda}$  ، ونحصل على شكل  
 الهدب بالتعويض في المعادلة (٥٦-٦) ، فهي تماثل شكل الهدب عبر شعيرة في المنطقة  
 $r_c \leq x \leq r_f$  ، ويمثل شكل الهدب بالمعادلة :

$$\lambda^2 / (4/N) [(n_{\lambda} - n_{L,\lambda}) r_f]^2 + x^2 / r_f^2 = 1$$

وتمثل هذه المعادلة مجموعة من القطع الناقصة ذات المحور الأكبر والمحور الأصغر  $r_f/N, r_f$  ،  $(n_{L,\lambda} - n_{\lambda})$  4 على الترتيب القيم الصحيحة المتتامة للرتبة  $N$  .

وفي حالة شعيرة تحوى وسطا واحدا أى متجانسة التركيب ومعامل انكسار مادتها  $m_{\lambda}$  ، يتغير طول المحور الرئيسى لأى قطع ناقص مع  $(n_{\lambda} - n_{L,\lambda}) / N$  ،  $n_{\lambda}$  ،  $n_{L,\lambda}$  هما معامل انكسار الشعيرة والسائل المحصور على الترتيب لطول الموجة التى يعدها رأس القطع الناقص ، أى هدبة التداخل ذات الرتبة  $N$  عند  $x = 0$  . وفى الشكل (١٤/٦) هذا الطول الموجى يحدده النقطة  $a$  على المنحنى المتقطع لرتبة التداخل  $(N + 1)$  . ويوضح الشكل (١٤/٦) الحالات الثلاث التى سوف نتناولها وهى المبينة بالمنحنيات المتقطعة .

أ- عندما تكون  $n_{\lambda} > n_{L,\lambda}$  هذه هى حالة الهدب ذات الرتب  $N, (N + 1), (N + 2)$  .  
 ب- عندما تكون  $n_{\lambda 1} = n_{L,\lambda 1}$  أى حالة المضاهاة عند هذا الطول الموجى . وفى هذه الحالة لاتحدث إزاحة للهدبة أثناء عبورها من منطقة السائل إلى منطقة الشعيرة التى تحددها  $r_c \leq x \leq r_f$  . يحدث هذا عند الهدبة ذات الرتبة  $(N + 3)$  ، كما هو موضح فى الشكل (١٤/٦) ومنه يمكن تعيين  $\lambda_1$  .

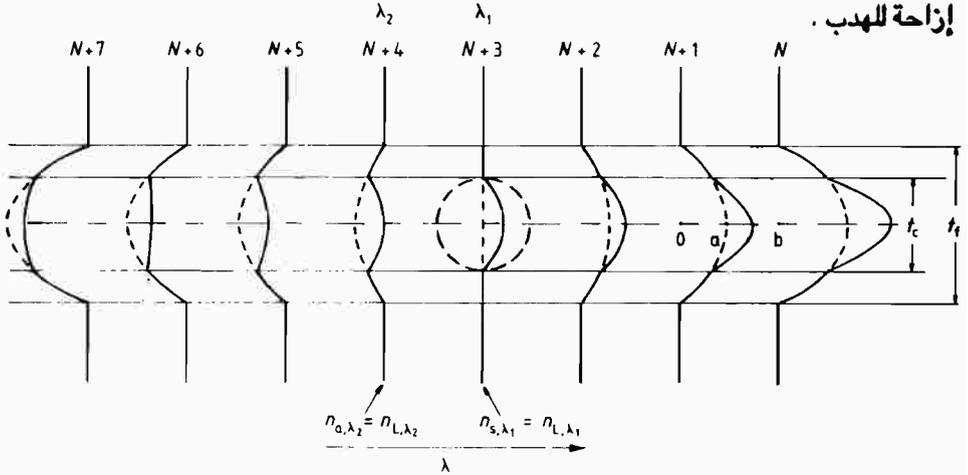
ج- عندما تكون  $n_{\lambda} < n_{L,\lambda}$  ، نحصل على هدب تداخل محدبة فى اتجاه الطول الموجى الأقصر . هذه هى حالة الهدب ذات الرتب  $(N + 4), (N + 5), (N + 6)$  .

وفى حالة شعيرة متكونة من قشرة ولب وفى المنطقة  $0 \leq x \leq r_c$  وكذلك لصورتها فى مرآة مستوية وضعت على محور الشعيرة يمثل الهدب الناتجة المنحنيات المتصلة الموضحة فى الشكل (١٤/٦) . وعندما تكون  $n_{L,\lambda 1} = n_{s,\lambda 1}$  فإن إزاحة الهدب عند  $x = 0$  بين الهدبة فى منطقة السائل والهدبة عبر الشعيرة تساوى  $4r_c/N (n_{c,\lambda 1} - n_{s,\lambda 1})$  وفى حالة  $n_{c,\lambda} > n_{s,\lambda}$  يمثل شكل هدب التداخل متساوية الرتبة اللونية فى هذه المنطقة بالمنحنيات المتصلة المناظرة للهدبة التى رتبته  $(N + 3)$  ، كما هو موضح فى الشكل (١٤/٦) . أما فى حالة تساوى  $n_{a,\lambda}$  مع  $n_{L,\lambda}$  حيث :

$$n_{a,\lambda} = (n_{c,\lambda} t_c + n_{s,\lambda} t_s) / t_f$$

فإنه لا يحدث إزاحة للهدبة عند  $x = 0$  عند انتقالها من منطقة السائل إلى الشعيرة . هذا ماتوضحه الهدبة التى رتبته  $(N + 4)$  فى الشكل (١٤/٦) وممثلة بالمنحنى المتصل .

ولقد استخدم "Faust" (١٩٥٤) هذب التداخل متساوية الرتبة اللونية في تعيين معامل الانكسار المتوسطة للألياف . ولقد اعتمدت طريقته على استخدام النقط التي لا يحدث عندها إزاحة للهدب .



شكل رقم (١٤/٦) : رسم تخطيطي لهذب التداخل الضوئي متساوية الرتبة اللونية FECO عبر شعيرة مغمورة في سائل يحصره مقياس التداخل . تعبر الخطوط المتقطعة عن الهدب في حالة شعيرة متجانسة التركيب في حين تعبر الخطوط المتصلة عن حالة شعيرة سمكها  $f_a$  ذات لب سمك  $f_c$  محاط بقشرة . والهدبة ذات الرتبة  $N + 3$  تكون  $n_{L,\lambda_1} = n_{s,\lambda_1}$  كما هو موضح في الشكل ، في حين أنه للهدبة ذات الرتبة  $N + 4$  تكون  $n_{L,\lambda_2} = n_{a,\lambda_2}$  (من Barakat, 1971)

## ٥/٦- تطبيق طرق التداخل الضوئي المتعدد لتعيين بعض الخصائص الفيزيائية للألياف

Applications of multiple-beam interferometric methods to the determination of some physical properties of fibres :

تقدم معاملات انكسار الألياف التركيبية والطبيعية - للضوء المستقطب في اتجاه محور الشعيرة وفي الاتجاه العمودي عليه - طريقة مناسبة لقياس مدى ترتيب الجزيئات بالنسبة لمحور الشعيرة . كما تعطى قياسات معاملات الانكسار المزدوج لقشرة ولب الشعيرة مقياسا لدرجة تشتت الجزيئات بالنسبة إلى اتجاه معين . وتساعد هذه المعلومات في التعرف على تركيب الألياف متباينة الخواص الضوئية . وتعتبر طرق التداخل الضوئي المتعدد أداة هامة

فى علم الألياف Fibre science ، فهى تقدم قياسات دقيقة لمعاملات انكسار لب وقشرة الألياف الطبيعية والتركيبية وكذلك الانكسار المزدوج birefringence لكل طبقة من طبقات الشعيرة . وتمكن طرق التداخل الضوئى المتعدد من تعيين قيم تغير معاملات انكسار الألياف مع :

أ- طول موجة الضوء المستخدم  $(dn/d\lambda)$  أى مقدار تفريقها للضوء .

ب- درجة الحرارة  $(dn/dT)$  أى الخصائص الضوئية - الحرارية opto-thermal .

ج- درجة الشد والاستطالة لوحدة الأطوال ، أى الخصائص الضوئية - الميكانيكية opto-mechanical .

وكذلك فإن هذب التداخل الضوئى المتعدد تعطى معلومات كمية عن الخصائص الضوئية لكل من قشرة ولب الشعيرة ومقدار تغير كل منهما على امتداد محور الشعيرة ، وذلك فى الألياف غير متجانسة التركيب Heterogeneous fibres ، ويمكن استخدام هذه الهدب فى حالة الألياف الطبيعية والتركيبية ذات المقاطع العرضية المنتظمة وغير المنتظمة والألياف المبرومة Twisted fibres .

وتسمح طرق التداخل الضوئى المتعدد بتعيين بروفيل معامل انكسار قشرة ولب الشعيرات ، وذلك فى الألياف البصرية ذات بروفيل معامل الانكسار من درجة واحدة STEP ، وكذلك متدرجة معامل الانكسار GRIN ، وهى تعطى معلومات عن تركيب هذه الألياف وكذلك عن الألياف متعددة الطبقات المتراكبة multi-layer structure للب الشعيرة ، والبارامتر  $\alpha$  الذى يحكم تغير معامل انكسار لب الشعيرة مع المسافة من مركز الشعيرة . وتساعد هذه المعلومات فى ضبط عملية تصنيع الألياف البصرية بالطريقة الكيميائية المعدلة لتحضير الألياف بترسيب الأبخرة MCVD .

وتتميز هذب التداخل الضوئى المتعدد بكونها حادة جدا ، وبذلك فإنها تعطى قياسات دقيقة لإزاحات هذه الهدب داخل الشعيرات ، وتتناسب قيمة إزاحة الهدبة مع ضعف فرق الطور الذى نشأ عن وجود الشعيرة . ولذلك فإن طريقة هذب التداخل الضوئى المتعدد أدق من طريقة التداخل الثانى - Tolansky, 1948 .

ولاستكمال الصورة بالنسبة لترتيب الجزيئات داخل الشعيرة فإن هذه الدراسات الضوئية تؤخذ في الاعتبار بجانب طرق الفحص الأخرى مثل استخدام حيود الأشعة السينية والميكروسكوب الإلكتروني والتحليل الطيفي بالامتصاص الجزيئي .

وسندرس في الفصل السابع طريقة فحص تضاريس سطح الألياف باستخدام طرق التداخل الضوئي .

## ١/٥/٨- النظام البصري المستخدم وطريقة تكوين هدب التداخل الضوئي المتعدد

Experimental arrangement and procedure for forming multiple-beam interference fringes :

استخدم « تولانسكي » الإسفين الضوئي في الحصول على هدب التداخل المتعدد (Tolansky, 1948,60) . وطبقت هذه الهدب لتعيين معاملات الانكسار والانكسار المزوج للألياف ، وذلك عن طريق قياس فرق المسار الضوئي عند غمر شعيرة في سائل محصور بين مسطحين ضوئيين مفضلين يميل أحدهما على الآخر بزواوية صغيرة .

وقدم « فاوست Faust » (١٩٥٢ ، ١٩٥٤) طريقة لتطبيق ميكروسكوب التداخل الضوئي لتعيين تغير معاملات الانكسار في عينات غير متجانسة ضوئياً- optically heterogeneous specimens وعين معامل الانكسار المتوسط للشعيرة باستخدام هدب تساوي الرتبة اللونية White light fringes of equal chromatic order .

وشرح « بركات والحناوي Barakat and El-Hennawi » (١٩٧١) النظام البصري المستخدم للحصول على هدب التداخل الضوئي المتعدد ، وفيه تسقط حزمة متوازية من الأشعة - أحادية طول الموجة والمستقطبة استوائياً - على الإسفين الضوئي الموضوع على قاعدة الميكروسكوب بحيث يكون السقوط عمودياً - ويبين الشكل رقم (١٥/٨) النظام البصري المستخدم للحصول على هدب تداخل ضوئي عند النفاذ وعند الانعكاس . ويتكون الإسفين الضوئي من مسطحين ضوئيين مستديرين ، قطر كل منهما ٢٥ ملليمتر وسماك كل منهما ٧ ملليمتر ، وكانت درجة الاستواء تساوي  $\pm 0.01$  ميكرومتر .

والحصول على هدب تداخل ضوئى عند النفاذ يغطى الوجه الداخلى لكل مسطح ضوئى بطبقة من الفضة ذات انعكاسية كبيرة ودرجة نفاذية قليلة نسبيا ، ويمكن الحصول على ذلك بالتبخير الحرارى للفضة عند ضغط اقل من  $10^{-6}$  تور (مليمتر زئبق) بحيث تكون انعكاسيتها للضوء أعلى من ٧٥٪ ونفاذيتها حوالى ٢٢٪ .

أما فى حالة هدب التداخل الضوئى عند الانعكاس فإن انعكاسية المسطح الضوئى الاسفل تكون أكثر من ٩٠٪ والمسطح العلوى تكون حوالى ٧٠٪ . ويوضع المسطحان الضوئيان فى حامل "Jig" وتوضع على المسطح الضوئى الأسفل نقطة من سائل معامل انكساره يقارب معامل انكسار مادة الشعيرة (مقاسا بطريقة الحد الفاصل لبيك مثلا) ، وتغمر الشعيرة فى السائل وتثبت نهايتها على حافتي المسطح الضوئى ، ويوضع المسطح الضوئى العلوى فى مكانه من الحامل لكى يتكون الإسفين الضوئى .

وفى الفحص بطريقة التداخل الضوئى وفى غير حالة تناول التفرق الضوئى فإنه يفضل عمل غطاء متعدد الطبقات multilayer coating من مادة عازلة معامل انكسارها صغير (L) ومادة عازلة أخرى معامل انكسارها كبير (H) ، وتستخدم الطبقات بالترتيب L ... LHLH بدلا من الفضة لتزيد الانعكاسية دون زيادة فى الامتصاص . وتؤدى هذه الطريقة إلى الحصول على هدب حادة ضئيلة العرض . ويوضع الإسفين الضوئى على قاعدة الميكروسكوب وتضبط الفجوة الضوئية والزاوية بين المسطحين الضوئيين المكونين لهذا الإسفين - يتم ذلك باستخدام ثلاثة مسامير محورية screws حفرت مواقعها على محيط حامل المسطحين الضوئيين - ويتم الحصول على هدب حادة تعبر الشعيرة عمودية على محورها . وينبغى التخلص من التخلف فى الطور بين الأشعة المنعكسة المتعاقبة الذى يمثل تباعدا عن قيمة ثابتة ويزداد مع زيادة رتبة الشعاع المنعكس .

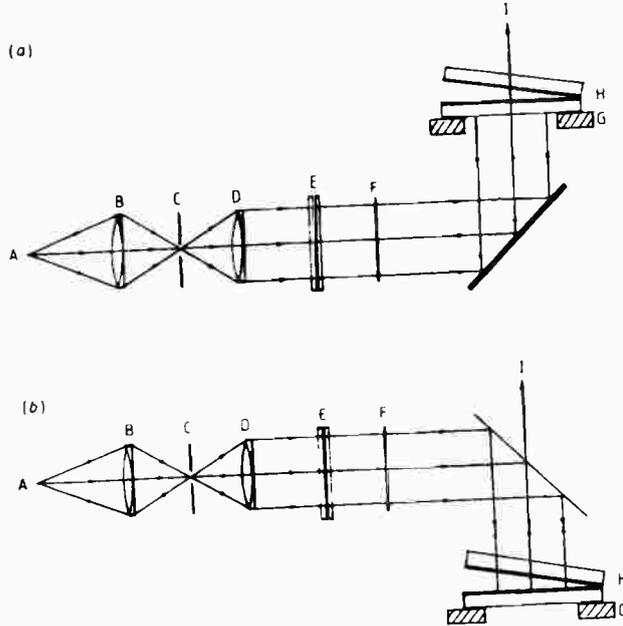
والتخلف الطورى  $\delta$  تعطيه المعادلة :

$$\delta = (2\pi/\lambda) \frac{4}{3} n_L t \varepsilon^2$$

وعندما يتم تقليص التخلف الطورى يسمح ذلك لعدد كبير من الأشعة المنعكسة بالمشاركة فى تكوين الهدب وبذلك تتكون هدب حادة ضئيلة العرض بالنسبة للمسافة بين هديتين

متتاليتين وفي حالة الألياف الطبيعية والتركيبية يكون سمك الشعيرة أقل من ١٠٠ ميكرومتر ،  
ولهذا يسهل الحصول على فجوة ضوئية صغيرة نسبيا ، كما أن زاوية الإسفين  $\epsilon$  ينبغي أن  
تكون صغيرة أيضا وذلك باستخدام مسطحين ضوئيين قطر كل منهما ٢٥ ملليمتر .

ولكن في حالة دراسة الألياف البصرية بنوعها GRIN, STEP يكون سمك الشعيرة  
١٢٥ ميكرومتر ولهذا يفضل استخدام إسفين ضوئي مكون من مسطحين قطر كل منهما  
١٠٠ ملليمتر . ويعطى النظام البصري مقطعا عرضيا كبيرا للشعاع الضوئي أحادي طول  
الموجة الذي يستخدم كمصدر ضوئي للإسفين . وتأخذ زاوية الإسفين الضوئي القيمة من  $10^{-3}$  إلى  $10^{-4}$  زاوية نصف قطرية وهي تحدد المسافة بين كل هديتين متتاليتين fringe spacing في منطقة السائل .

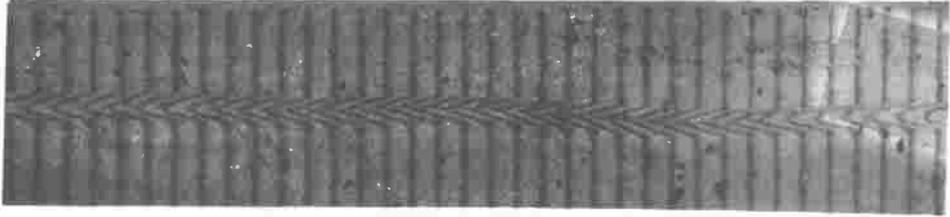


شكل رقم (١٥/٦) : النظام البصري المستخدم للحصول على هدب فيزيو للتداخل الضوئي المتعدد عند  
النفوذ (a) وعند الانعكاس (b) مصباح زئبق ، A ، عسة مجمة B ، فتحة دائرية C ، عسة مجمة D ، عسة مجمة  
E ، مستقطب F ، مرشح ضوئي ، G قاعدة الميكروسكوب ، H مقياس التداخل الضوئي ، I  
اتجاه الضوء إلى الكاميرا المركبة على الميكروسكوب .

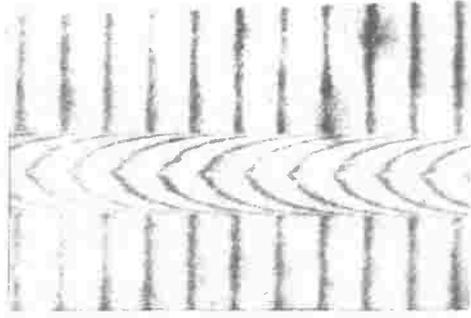
وتكون هدب التداخل الضوئي المتعدد في منطقة السائل على هيئة خطوط مستقيمة موازية لحافة الإسفين الضوئي ، والمسافة بين كل هدبتين متتاليتين  $\Delta Z$  تعطىها المعادلة :

$$\Delta Z = \lambda/2 n_L \tan \varepsilon$$

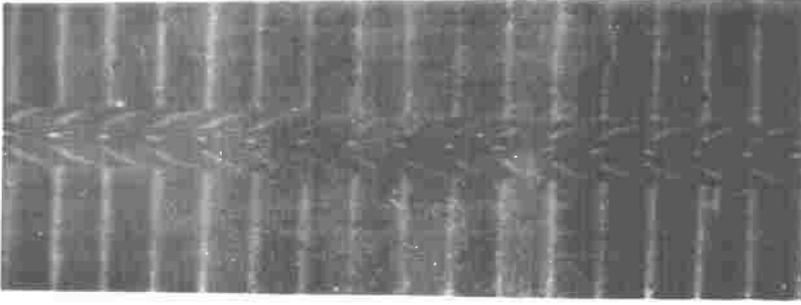
وعندما تعبر السطح الفاصل بين السائل وقشرة الشعيرة دائرية المقطع العرضي فإن هذه الهدبة تتبع مسارا على هيئة قطع ناقص تم استنتاجه رياضيا في هذا الفصل . وتوضح الأشكال (١٦/٦) ، (١٧/٦) ، (١٨/٦) أمثله لخرائط هدب التداخل الضوئي لبعض الألياف .



شكل رقم (١٦/٦) : هدب التداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس عبر شعيرة طبيعية (وير الجمل) ، سمكها ٤٠ ميكرون (من Barakat et al., 1975)



شكل رقم (١٧/٦) : هدب التداخل الضوئي المتعدد عند الانعكاس لشعيرة وحيدة المنوال ثابتة معامل انكسار ليها ذات سمك يساوى ٨ ميكرون



شكل رقم (١٨/٦) : هيب التداخل الضوئى المتعدد عند النفاذ لشعيرة عديدة المنوال متدرجة معامل انكسار لبها (سمك الشعيرة = ١٢٥ ميكرون وسمك لبها = ١ ± ٥٠ ميكرون)

### ٢/٥/٦- الخصائص الضوئية - الحرارية للألياف

Opto-thermal properties of fibres

يتم تعيين تغير معامل انكسار الألياف بتغير درجة حرارتها  $dn/dT$  بتكوين هيب فيزو للتداخل الضوئى لمنطقة من الشعيرة مغمورة فى سائل موضوع فى إسفين ضوئى وذلك عند درجات الحرارة  $T_1, T_2, \dots$  ، وتحسب قيمة  $(n_a)_{T_1}, (n_a)_{T_2}$  من تعيين قيم  $\delta Z / \Delta Z$  فى حالتى استخدام ضوء مستقطب فى مستوى مواز لمحور الشعيرة وفى المستوى العمودى عليه أو تحسب قيم معاملات انكسار الألياف عند درجات الحرارة المختلفة بقياس المساحة المحصورة تحت ازاحة الهدبة عندما تعبر الشعيرة - وذلك بمعرفة قيمتى  $n_{\perp}$  عند كل من درجتى الحرارة  $T_1, T_2$ . وكانت نتيجة قياس  $dn/dT$  لألياف الاكريلك تساوى  $2.3 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$  - Barakat and El-Hennawy، وقيست هذه القيم لألياف الدراون المشععة بأشعة جاما (٦، ٢٢ ميجاراد) تحت ضغط منخفض، - Hamza and Mabrouk، 1988 - وكانت النتيجة كالاتى فى مدى درجات الحرارة من ٢٦ إلى  $31^\circ\text{C}$  :

$$dn_a^{\parallel} / dT = -9 \times 10^{-4} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$dn_a^{\perp} / dT = 7.5 \times 10^{-4} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

## ٣/٥/٦- دراسة الخصائص الضوئية - الميكانيكية للألياف بطريقة التداخل الضوئي :

Interferometric investigations of opto-mechanical properties of fibres :

يكون للألياف التركيبية المشدودة أو في حالة شد drawn or extended state قيم متباينة من ناحية الخصائص الضوئية وكذلك الميكانيكية . وتعتمد قيمة هذا التباين degree of anisotropy في الألياف المشدودة على قيمة الشد الذي وقع على الشعيرة . وتقدم دراسة قيم الخواص الضوئية المتباينة optical anisotropy طريقة مناسبة لتعيين نظام ترتيب الجزيئات في شرائح من البلورات .

واقدم طور "Kuhn and Grün" (١٩٤٢) نظرية تعطي العلاقة بين التركيب الجزيئي للبلورات أحادية المحور uniaxially oriented polymer وخواصها الضوئية المتباينة optical anisotropy .

كما قدم "de Vries" (١٩٥٩) تحليلاً للعلاقة بين الانكسار المزدوج ونسبة السحب draw ratio في حالة الألياف التركيبية .

ودرس "Pinnock and Ward" (١٩٦٤) مجموعة كبيرة من ألياف البولي استر ، لها نسب سحب مختلفة ، كما درسوا الخواص الميكانيكية والضوئية لهذه الألياف على أساس نظري وبمعلومية تنظيم الجزيئات داخل مركباتها .

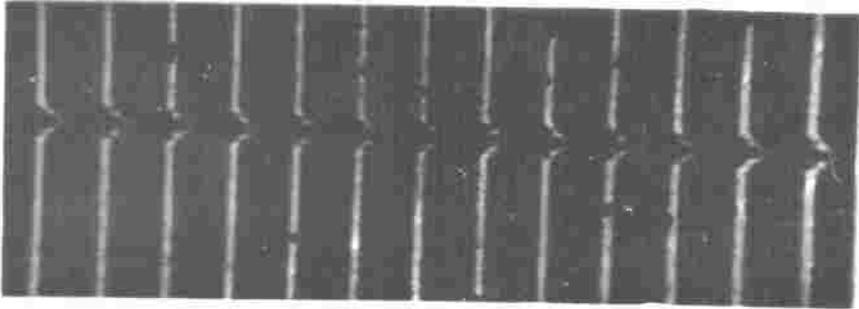
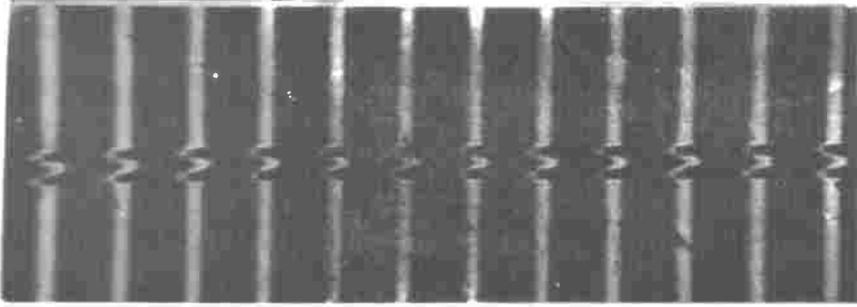
وتناول "Barakat and Hindeleh" (١٩٦٤b) تأثير الشد على معامل الانكسار والانكسار المزدوج لألياف فسكوز الرايون بالتداخل الضوئي .

كما درس "Hamza and Kabeel" (١٩٨٧) الخواص الضوئية المتباينة لألياف البولي بروبيلين وتغيرها بتغير نسبة سحب الشعيرات .

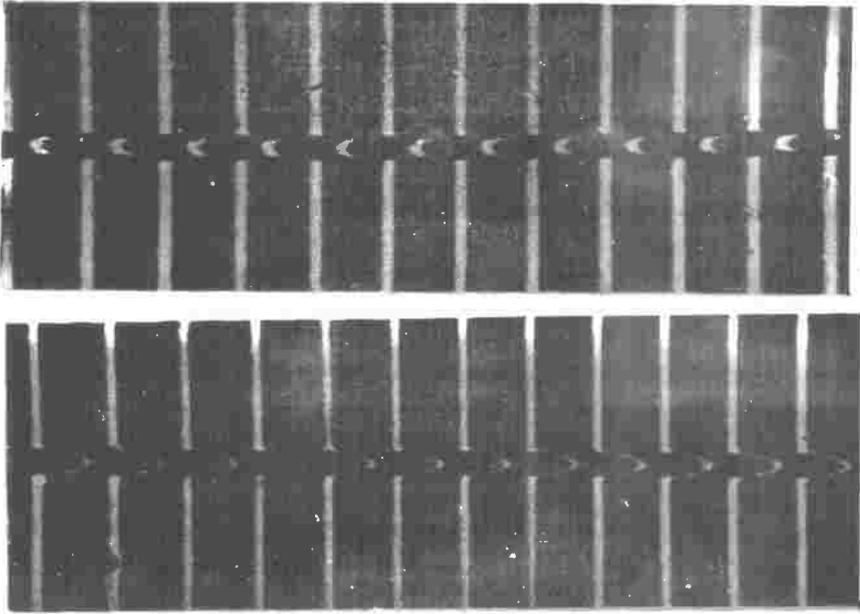
ويبين الشكلان (١٩/٦) ، (٢٠/٦) خرائط لهدب فيزوي للتداخل الضوئي المتعدد عند نفاذ الأشعة ، وذلك لألياف البولي بروبيلين المشدودة بنسبة سحب ٣ ، ٤ على الترتيب ، وكان الضوء مستقطباً واهتزازاته في اتجاه محور الشعيرة وكذلك في الاتجاه العمودي علي هذا

المحور . وتم تعيين قيم  $n_c^\perp, n_c^\parallel, n_a^\perp, n_a^\parallel$  ومقدار تغير الإنكسار المزدوج بتغير نسبة السحب .

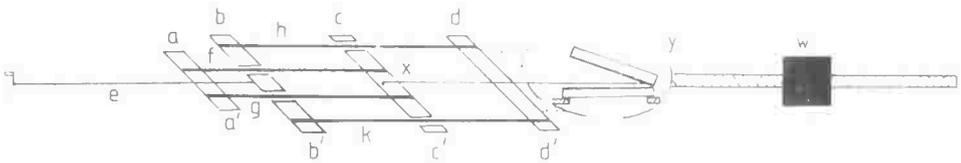
ويبين الشكل رقم (٢١/٦) تركيب جهاز دقيق لقياس الخواص الضوئية - الميكانيكية Opto-mechanical للألياف - (Hamza et al., ١٩٨٧) .



شكل رقم (١٩/٦) : هدب التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ لشعيرة من ألياف البولي بروبيلين ذات نسبة سحب للضوء المستقطب استوائيا : (أ) يتذبذب في اتجاه مواز لمحور الشعيرة ، (ب) يتذبذب في اتجاه عمودى على المحور (من Hamza and Kabeel, 1987)



شكل رقم (٢٠/٦) : هدب التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ لشعيرة من ألياف البولي بروبيلين ذات نسبة سحب ٤ للضوء المستقطب استوائيا : (أ) يتذبذب في اتجاه مواز لمحور الشعيرة ، (ب) يتذبذب في اتجاه عمودي على المحور (من Hamza and Kabeel, 1987)



شكل رقم (٢١/٦) : رسم تخطيطي لجهاز شد aa قضيب قابل للحركة ، c'c قضيب منزلق ، g, f قضيبان قابلان للانزلاق ، bb' dd إطار ثابت ، e قضيب مستخدم في شد الشعيرة ، x مثبت لأحد طرفي الشعيرة ، w كتلة قابلة للحركة لجعل الجهاز مستقرا ، y مقياس للتداخل الضوئي . (من Hamza et al., 1987)

## ٤/٥/٦ - تطبيق الألياف للضوء : Dispersion properties of fibres

يقاس معدل تغير معامل انكسار الألياف للضوء بالنسبة للتغير في طول موجة الضوء  $dn_d/d\lambda$  بطرق التداخل الضوئي ، وذلك بتطبيق هيب التداخل المتعدد لفيوز أو تطبيق هيب تساوي الرتبة اللونية على الألياف . وتؤدي كلتا الطريقتين إلى تعيين الثوابت B, A لمعادلة « كوشي » للتفرق الضوئي Cauchy's dispersion formula :

$$(n_d)_\lambda = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

وعند تطبيق هيب فيوز للتداخل الضوئي تستخدم أطوال موجية مختلفة كمصادر للضوء الذي يسقط على إسفين ضوئي يحتوى على سائل غمرت فيه شعيرة من الألياف ، وتتكون خريطة لهيب التداخل الضوئي لكل طول موجة . ويصدر عن مصباح الزئبق أو مصباح الزئبق - كادميوم عدد مناسب من الخطوط الطيفية التي تعطى الطول الموجي المطلوب باستخدام مرشح ضوئي مناسب .

ويمكن قياس قيمة  $(\frac{\delta Z}{\Delta Z})$  في كل حالة من حالات استقطاب الضوء واهتزازاته في الاتجاه الموازي لمحور الشعيرة والاتجاه العمودي عليه ، ونستنتج قيمة  $(n_a^\parallel)_\lambda$  ،  $(n_a^\perp)_\lambda$  ومدى تغير كل منها بالنسبة إلى  $1/\lambda^2$  .

ويمكن تعيين قيمتي الثابتين B, A لمعادلة « كوشي » للتفرق الضوئي في حالة التفرق العادي normal dispersion ، أى عندما تكون العلاقة بين  $n_a$  ،  $1/\lambda^2$  تمثل خطا مستقيما .

وطبق "Hamza and Mabrouk" (١٩٨٨) طريقة فيوز على ألياف الدوالون المشعة بأشعة جاما وبجرعة إشعاعية مقدارها ٢٢,٥٥٩ ميجاراد مستخدمين الأطوال الموجية الصادرة من مصباح الزئبق ، وكان الضوء مستقطبا واهتزازاته في الاتجاه الموازي على محور الشعيرة ، وتم حساب قيمتي ثابتي معادلة « كوشي » :

$$A = 1.5149 \quad \text{and} \quad B = 15.53 \times 10^2 \text{ (nm)}^2$$

## ٥/٥/٦ - هيب تساوي الرتبة اللونية : Fringes of equal chromatic order

بإسقاط هيب فيوز للتداخل الضوئي المتعدد التي تم الحصول عليها بالطريقة التي سبق

ذكرها على فتحة المطياف prism or grating spectrograph ، واستبدال المصدر الضوئي أحادي اللون بمصدر ضوئي أبيض (pointolite) ، وبضبط حافة الإسفين الضوئي لكي تكون موازية لفتحة المطياف - تتكون هدب تساوي الرتبة اللونية وتظهر على هيئة خطوط مستقيمة في منطقة السائل (Tolansky, 1960) . وعندما تعبر هذه الهدب الشعيرة تحدث إزاحات تختلف باختلاف طول موجة الضوء وباختلاف مستوى استقطاب اهتزازات الضوء (مواز أو عمودي على محور الشعيرة) .

ويوضح الشكل (٣/٦) - السابق - النظام البصري المستخدم للحصول على هدب تساوي الرتبة اللونية (FECO) ، وعندما لاتعاني الهدبة أية إزاحة عندما تعبر الشعيرة يدل ذلك على أن معامل انكسار مادة الشعيرة  $n_a$  يساوي معامل انكسار السائل  $n_L$  عند طول موجة الضوء  $\lambda_1$  أي حالة مضاهاة . وعند تغير درجة الحرارة قليلا فإن المضاهاة بين معاملي انكسار السائل والشعيرة تتم عند طول موجي آخر  $\lambda_2$  ، ويتم رسم منحنيات تفرق السائل للضوء في المدى المستخدم من الأطوال الموجية ودرجات الحرارة بين  $T_1$  ،  $T_2$  وذلك باستخدام مقياس معامل الانكسار ومنظم لدرجات الحرارة Thermostat ومصدر ضوئي أحادي طول الموجة . ويمكن تعيين معامل انكسار مادة الشعيرة  $n_a$  عند الطول الموجي المطلوب وذلك من هذه المنحنيات ، ويمكن كذلك تعيين ثابتي معادلة « كوشى » لتفرق الضوئي عندما يكون هذا التفرق عاديا normal dispersion . ولقد طبق Barakat and "Hindeleh" (١٩٦٤) هذه الطريقة على ألياف رايون الفسكوز وتم حساب ثابتي كوشى ، وكانت النتيجة كما يلي :

$$A = 1.5391 \quad \text{and} \quad B = 266.666 \text{ (nm)}^2$$

واستخدمت هدب تساوي الرتبة اللونية FECO لتعيين معامل الانكسار المزدوج لألياف الاكريلان Barakat and El-Hennawi, 1971 .

وقد نشر "Hamza" (١٩٨٦) ملخصا شاملا لتطبيقات هدب فيزيو للتداخل الضوئي وهدب تساوي الرتبة اللونية على الألياف - جدول رقم (١/٦) - ونوصي بالرجوع إلى المراجع الاصلية المذكورة في هذا الجدول للحصول على تفاصيل أكثر .

Table 6.1 Application of multiple-beam interferometry to the study of fibre properties.

Author	Method	Object of study and application	Results
Faust (1952, 1954)	Multiple-beam interferometry	Determination of refractive index variation within optically heterogeneous specimens	The skin effect in rayon fibres is discussed and values of $n^{\parallel}$ and $n^{\perp}$ for both skin and core are given
Barakat and Hindeleh (1964a)	Multiple-beam interferometry	To determine refractive indices and birefringence of mohair wool fibres	Variation of refractive indices and birefringence along the fibre axis is given. Thermal coefficient of refractive index of the mohair fibre is determined and found to be $7.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Barakat and Hindeleh (1964b)	Multiple-beam interferometry	To determine refractive indices, birefringence and tensile properties of viscose rayon fibres	The birefringence of viscose rayon fibres is increased by increasing the tenacity of these fibres
Barakat (1971)	Multiple-beam interferometry	Derivation of mathematical expression for the shape of multiple-beam Fizeau fringes and associated white light fringes of equal chromatic order crossing a fibre of circular cross section having a core surrounded by a skin	The refractive indices and birefringence can be calculated for both skin and core of such fibres. The optical power of a cylindrical fibre was calculated for a parallel beam of monochromatic light incident on the fibre
Barakat and El-Hennawi (1971) Barakat et al (1975)	Multiple-beam Fizeau fringes and the white fringes of equal chromatic order	Measurement of refractive indices and birefringence of acrylic and camel - hair fibres	For acrylic fibres, $n^{\perp} = 1.518$ , $n^{\parallel} = 1.519$ and $\Delta n = -0.001$ at $35^\circ\text{C}$ For camel-hair fibres, $n^{\perp} = 1.559$ , $n^{\parallel} = 1.546$ and $\Delta n = 0.013$ at $21.5^\circ\text{C}$
Hindeleh (1978), Hamza and Sokkar (1981)	Multiple-beam Fizeau fringes	Study of the optical anisotropy in cotton fibres	The values of the mean refractive indices $n_a$ and $n_b$ and birefringence of cotton fibres differ for different varieties
Krishna Iyer et al (1969)	White light fringes of equal chromatic order		
Hamza et al (1980 a,b)	Immersion and multiple-beam Fizeau methods	Investigation of the difference in mean orientation of skin and core, for polyethylene and polypropylene fibres.	The refractive indices of each layer of the fibre and their variations with wavelength of light were determined
El-Niklawy and Fouda (1980 a,b), Fouda and El-Niklawy (1981), Fouda et al (1981), Hamza et al (1982)	Fizeau method	Derivation of mathematical expressions for the shape of multiple-beam Fizeau fringes and their application to determine refractive indices of multiple-skin fibres	The optical properties of multiple-skin fibres of elliptical, rectangular, kidney and dog-bone cross sections are given
Barakat and El-Hennawi (1971), Hamza and Abd El-Kader (1983).	Fizeau method	Description of a method suitable for evaluating small birefringence in fibres and its application to acrylic and cuprammonium fibres	The results are in good agreement with those obtained from the double - beam microinterferometric method
Sokkar and Shahim (1985), Hamza et al (1984, 1985 a,b,c)	Double -beam and multiple-beam microinterferometry.	Determination of the optical anisotropy of fibres with irregular transverse sections.	Accurate results are obtained when considering the area under the interference fringe shift represented by the path difference integrated across the fibre. Values of refractive indices and birefringence for the skin and core of a fibre having irregular transverse sections are given

## References

- Barakat N 1957 Proc. Phys. Soc B IXX 220
- Barakat N 1971 Textile Res. J. **41** 167
- Barakat N and El-Hennawi H A 1971 Textile Res. J. **41** 391
- Barakat N, Hamza A A and Fouda 1975 Egypt. J. Phys. **6** 91
- Barakat N, Hamza A A and Goneid A S 1985 Appl. Opt. **24** 4383
- Barakat N, and Hindeleh A M 1964a Textile Res. J. **34** 357
- Barakat N, and Hindeleh A M 1964b Textile Res. J. **34** 581
- Barakat N, and Mokhtar S 1963 J. Opt. Soc. Am. **53** 159
- Brossel J 1947 Proc. Phys. Soc. **59** 224
- El- Hennawi H A 1988a Egypt. J. Phys. in press
- El- Hennawi H A 1988b Egypt. J. Phys. in press
- El- Hennawi H A 1988c Egypt. J. Phys. in press
- El- Nicklawy M M and Fouda I M 1980a J. Textile Inst. **71** 252
- El- Nicklawy M M and Fouda I M 1980b J. Textile Inst. **71** 257
- Faust R C 1952 Proc. Phys. Soc. B **65** 48
- Faust R C 1954 Proc. Phys. Soc. B **67** 138
- Feussner W 1927 Gehrckés Handbook der Physik Optik vol. 1
- Fouda I M and El-Nicklawy M M 1981 Acta Phys. Polon. A **59** 95
- Fouda I M, Hamza A A, El-Nicklawy M M and El-Farahaty K A 1981 Textile. Res. J. **51** 355
- Gloge D and Marcatili E A J 1973 Bell Syst. Tech. J. **52** 1563
- Hamza A A 1980 Textile Res. J. **50** 731
- Hamza A A 1986 J. Microsc. **142** 35
- Hamza A A and Abd El-Kader H I 1983 Textile Res. J. **53** 205
- Hamza A A, Fouda I M and El-Farahaty K 1982 Acta Phys. polon. A **61** 129
- Hamza A A, Fouda IM, El-Faeahaty K A and Badawy Y K M 1980a Textile Res. J. **50** 592
- Hamza A A, Fouda I M and El-Farahaty K A and Badawy Y K M 1980b Acta Phys. Polon. A **58** 651
- Hamza A A, Fouda I M, El-Farahaty K A and Helaly S A 1987 Polym. Test. **7** 329

- Hamza A A, Fouda I M, Hashish A H and El-Farahaty K A 1984 Textile Res. J. **54** 802
- Hamza A A and Kabeel M A 1986 J. Phys. D : Appl. Phys. **19** 1175
- Hamza A A and Kabeel M A 1987 J. Phys. D : Appl. Phys. **20** 963
- Hamza A A and Mabrouk M A 1988 Radiat. Phys. Chem, **32** 645
- Hamza A A and Sokkar T Z N 1981 Textile Res. J. **51** 485
- Hamza A A, Sokkar T Z N and Kabeel M A 1985a J. Phys. D : Appl. Phys. **18** 1773
- Hamza A A, Sokkar T Z N and Kabeel M A 1985b J. Phys. D : Appl. Phys. **18** 12321
- Hamza A A, Sokkar T Z N and Kabeel M A 1986 J. Phys. D : Appl. Phys. **19** L19
- Hamza A A, Sokkar T Z N and Shahin M M 1985c J. Microsc. **137** 85
- Hindeleh A M 1978 J. Phys. D : Appl. Phys. **11** 2335
- Krishna Iyer K R, Neeleakantan P and Radhakrishnan T 1969 J. Appl. Polym. Sci. **7** 983
- Kuhn W and Grün F 1942 Kolloid Z. **101** 248
- Marhic M E, Ho P S and Epstein M 1975 Appl. Phys. Lett. **26** 574
- Mokhtar S 1964 Ph D Thesis Ain Shams University, Egypt
- Saunders M J and Gardner W B 1977 Appl. Opt. **16** 2368
- Simmens S C 1958 Nature **18** 1260
- Sokkar T Z N and Shahin M M 1985 Textile Res. J **55** 139
- Pinnock P R and Ward I M 1964 Br. J. Appl. Phys. **15** 1559
- Tolansky S 1948 Multiple- Beam Interferometry (Oxford : Clarendon)
- Tolansky S 1960 Surface Microtopography (London : Longmans, Green)
- de vries H 1959 J. Polym. Sci. **34** 761