# الفصــل السادس

# تطبيق طرق التداخل الضوئى المتعدد على الألياف

Multiple-Beam Interferometry Applied to Fibrous Materials

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

Formation and application of multiple-beam interference fringes to fibres

طور « تولانسكى » سنة (١٩٤٤) طرق التداخل الضوئى المتعدد ، ونذكر فيما يلى طرق التداخل المستخدمة لدراسة الألياف :

١- طريقة فيزو للتداخل الضوئى عند النفاذ .

٢- طريقة فيزو للتداخل الضوئى عند الانعكاس .

٣- هدب التداخل الضوئى المتعدد متساوى الرتبة اللونية عند النفاذ وعند الانعكاس .

ومن المفيد عند دراسة التداخل الضوئى المتعدد عند النفاذ وعند الانعكاس لفيزو أن نشرح هدب التداخل الضوئى المتعدد المتكونة عن طريق مسطحين ضوئيين مفضضين متوازيين تماما ، أى حالة مقياس التداخل لفابرى وبيرو وذلك لوجود تشابه كبير بين خواص النظامين . ويعتبر مقياس التداخل الضوئى لفابرى وبيرو فى الحالتين ١ ، ٢ حالة مثالية لطريقة فيزو للتداخل الضوئى ، وتوجد عدة تطبيقات لطرق التداخل الضوئى المتعدد عند النفاذ وعند الانعكاس .

### ٦/١/١- نظام هدب التداخل الضوئى المتعدد المتكونة باستخدام مسطحين مفضضين متوازيين يحصران بينهما وسطا رقيقا منتظم السمك :

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

يبين الشكل رقم (٦/١) حـزمـة مـتـوازية من ضـوء أحـادي طول الموجـة سـقطت على مسطحين ضوئيين متوازيين سطحاهما الداخليان مفضضان ، وكان الشعاع الضوئى الساقط يميل بزاوية مقدارها $\theta$ على العمودى على السطح العلوى .

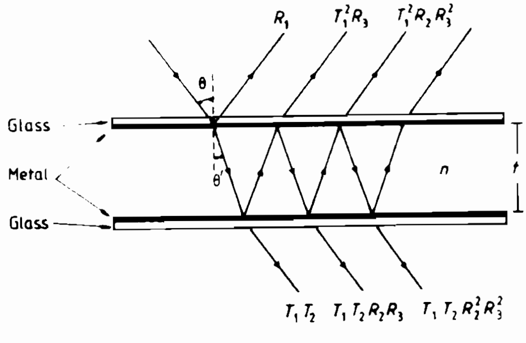
وتعطى المعادلة رقم (٦-١) محصلة الأشعة النافذة والتى نتجت بالانعكاس المتعدد من شريحة سمكها ثابت ومقداره $t$ ومعامل انكسار مادتها $n$ ومغطاة بطبقة معدنية عاكسة :

$$R_T = T_1 T_2 \exp[\, i(\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)] + T_1 T_2 R_2 R_3 \exp\{\, i[(\omega t + \gamma_1 + \gamma_2) + \Delta]\}$$

$$+ T_1 T_2 R_2^2 R_3^2 \exp\{\, i[(\omega t + \gamma_1 + \gamma_2) + 2\Delta]\} + \ldots \qquad (6.1)$$

وتعرف الخواص الطورية phase properties لطبقة الغطاء المعدنية كالآتى :

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




شكل رقم (٦/١) : مسار الأشعة المكونة لهدب التداخل الضوئى المتعدد فى شريحة رقيقة سمكها ثابت عند النفاذ وعند الانعكاس

وينتج من المعادلة رقم (٦-١) أن :

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

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

$$= T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos\Delta + iR_2 R_3 \sin\Delta}{1 + R_2^2 R_3^2 - R_2 R_3 \exp(-i\Delta) - R_2 R_3 \exp(i\Delta)} \right) x$$
$$\exp[i\,(\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$R_T = T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos\Delta + iR_2 R_3 \sin\Delta}{1 + R_2^2 R_3^2 - R_2 R_3 [\,\exp(i\Delta) + \exp(-i\Delta)]} \right) x$$
$$\exp[i\,(\omega t + \gamma_1 + \gamma_2)]$$

$$= T_1 T_2 \left( \frac{1 - R_2 R_3 \cos\Delta + iR_2 R_3 \sin\Delta}{1 - 2 R_2 R_3 \cos\Delta + R_2^2 R_3^2} \right) \exp[\, i\, (\, \omega t + \gamma_1 + \gamma_2\, )]$$

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

حيث $A_T$ هى سعةالمحصلة ، $\Delta_T$ هى فرق طورها بالنسبة للشعاع الأول النافذ

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

وتعطى المعادلة الآتية شدة الضوء $I_T$ :

$$I_T = A_T^2$$

$$= T_1^2 T_2^2 \left( \frac{(\,1 - R_2 R_3 \cos\Delta + iR_2 R_3 \sin\Delta\,)\,(\,1 - R_2 R_3 \cos\Delta - iR_2 R_3 \sin\Delta\,)}{(\,1 - 2\, R_2 R_3 \cos\Delta + R_2^2 R_3^2)^2} \right)$$

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

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

## ٢/١/٦- توزيع الشدة الضوئية لهدب فابرى وبيرو للتداخل الضوئى المتعدد عند الانعكاس

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

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

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

$$+ T_1^2 R_2 R_3^2 \exp [ i ( \omega t + 2\gamma_1 + \beta_2 + 2 \beta_3 + 2 \delta )] + \ldots$$

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

$$R_R = R_1 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 )] + T_1^2 R_3 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 )] \exp [ i ( F + \Delta)]$$

$$+ T_1^2 R_2 R_3^2 \exp [ i ( \omega t + \beta_1 )] \exp [ i ( F + 2\Delta )] + \ldots.$$

$$= \{ R_1 + T_1^2 R_3 \exp [ i ( F + \Delta )] [ 1 + R_2 R_3 \exp (i\Delta) + R_2^2 R_3^2 \exp (i2\Delta) + \ldots ]\} \times \exp [ i (\omega t + \beta_1 )]$$

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

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

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

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

$$\exp[\, i\,(\omega t + \beta_1)]$$

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

$$\exp[\, i\,(\omega t + \beta_1)].$$

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

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

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

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

أ- عند $F = (2\,m)\,\pi$

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

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

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

where

$$A = R_1^2$$

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

and

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

ب- وعند $F = (2m + 1)\pi$

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

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

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

where

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

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

Analysis of elements determining the shape of the intensity distribution

نذكر فيما يلى الأنظمة الثلاثة المتكونة بمقياس فابرى وبيرو للتداخل الضوئى :

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

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

جـ- هدب التداخل الضوئي عند الانعكاس المشابهة لهدب التداخل عند النفاذ فى 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 .

$$I = A + B + \frac{C}{1 - 2R_2R_3\cos\Delta + R_2^2R_3^2}$$

فبالنسبة للنظام (ب) عند النفاذ :

$$A = B = O$$
$$C = T_1^2T_2^2$$

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

$$I_{max} = \frac{T_1^2T_2^2}{(1 - R_2R_3)^2} \qquad \text{for } \Delta = 2\pi S,\ S = 0,1,2,...$$

and

$$I_{min} = \frac{T_1^2T_2^2}{(1 + R_2R_3)^2} \qquad \text{for } \Delta = (2S + 1)\pi,\ S = 0,1,...$$

وفى حالة النظام (أ) عند الانعكاس :

$$A = R_1^2$$
$$B = T_1^2R_1/R_2$$
$$C = -\left[\mp(T_1^2R_1/R_2) - T_1^4R_3^2 \pm T_1^2R_1R_2R_3^2\right]$$

ومن الواضح أن توزيع الشدة الضوئية تحدده قيم C, B, A وأن إسهام A هو شدة ضوئية منتظمة لجميع قيم $\Delta$ ، وهذا هو أيضا الحالة لإسهام B إذا كانت قيمتى A, B موجبتين ، وبالتالى تكون النتيجة النهائية هى ارتفاع فى الشدة الضوئية لجميع قيم $\Delta$ التى سوف تساوى تجميع الشدة الضوئية المقابلة لـ (A + B) . أما إذا كانت قيمة B سالبة فى حين أن |B| 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 فابرى وبيرو يمثله تجميع ايرى ويعطى قيمة $I_{max}, I_{min}$ ، عند $\Delta = 2S\pi, \Delta = (2S+1)\pi$ على الترتيب . وفى حالة ما إذا كانت C موجبة فإن هدب التداخل المتكونة عند النفاذ والتى 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 الخلفية إلى $A - |B|$ . أما إذا كانت C سالبة القيمة فى حين أن كلا من B, A موجبة وأن المرآة المستوية وضعت على محور $\Delta$ عند $I = (A+B)$ فإن النتيجة النهائية للحدود الثلاثة سوف تكون خطوطا حادة معتمة 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 :

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

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

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

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

وكذلك :

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

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

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

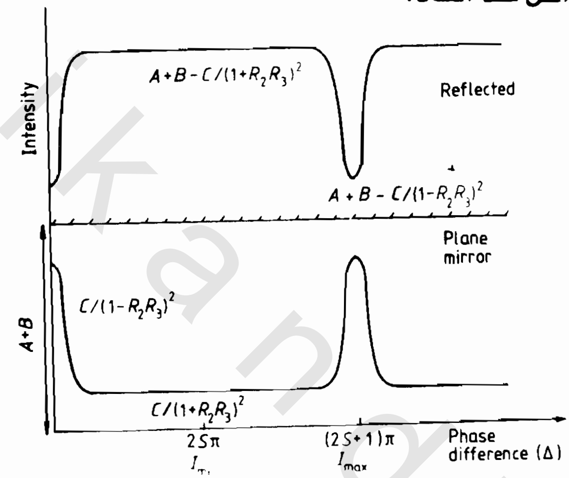
$$= \left( R_1 + \frac{(T_1^2 R_3)}{(1 + R_2 R_3)} \right)^2 \qquad \text{for } \Delta = (2S + 1)\pi$$

وكذلك :

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

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

وفى حالة حجب الشعاع الأول فإن (A-B=o) وتصبح الحصيلة النهائية هى توزيع الشدة الضوئية لهدب التداخل عند النفاذ.




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

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

Multiple-beam Fizeau fringes by a silvered wedge :

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

وأعطى تولانسكى الفروق الجوهرية للأشعة المكونة لهدب التداخل الضوئى المتعدد فى مالانهاية باستخدام مسطحين ضوئيين متوازيين ، والأشعة المكونة لهدب 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 :

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

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

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

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

واعتبر « تولانسكى » أن التخلف $\frac{4}{3} S^3 \varepsilon^2$ retardation يساوى $\frac{\lambda}{2}$ (حيث : $\lambda$ هى طول موجة الضوء) هو الحد المسموح به ليعطى الحد الأقصى لقيمة $\varepsilon$, 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 فيزو للتداخل الضوئى محددة الموقع باستخدام إسفين ضوئى يمكن من توسيع مجال تطبيق هذه الهدب الحادة لقياس معاملات الانكسار والإنكسار المزدوج للألياف .

وكما سيوضح لاحقا بالتفصيل ، فإن طريقة قياس معاملات الانكسار للألياف تقوم على وضع شعيرة بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر بزاوية 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 وزاوية الإسفين صغيرة لتقلل تخلف الطور phase lag بين الأشعة المتعاقبة .

**٦/١/٥- 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 بزاوية $\alpha$ . وظهر أن الهدب تقع على مستوى محدد الموقع قريب من الإسفين الضوئى يسمى سطح فايزنر Feussner .

وقد اكتشف « بروسيل Brossel » عام (١٩٤٧) وجود عدد لانهائى من المستويات المحددة الموقعplanes 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 . وبتغيير قيمة $\lambda$ بالمقدار $d\lambda$ تنتج إزاحة فى موقع المستوى على امتداد المحور x وتساوى : $d\lambda \; (\frac{x}{\lambda})$

## تكوين هدب 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 وتنطبق نفس الشروط على طول موجة آخر ($\lambda_1$) عند الرتبة رقم (N + 1) .... ولموجة 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 الهدب النقطيةpoint 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 خطا من هذا السطح ، ويتغير السمك t عامة لنقط هذا الخط .

وباعتبار الخط مكونا من عدد لانهائى من هذه الهدب 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 + dt, t ، فإنه ينتج لنفس رتبة التداخل الضوئى هدبتان تظهران فى المستوى الطيفى عند الطولين الموجيين $\lambda$ ، $\lambda + d\lambda$ حيث :

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

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

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

تقع هدب التداخل الضوئى أحادية اللون محددة الموقع على أحد مستويات بروسيل الأساسية Principal Brossel planes ، وعند استخدام ضوء أبيض وإسقاط هذه الهدب على فتحة المطياف ، تظهر هدب 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 هدب تساوى الرتبة اللونية تتكون واضحة ومحددة المعالم فقط فى المستوى الطيفى إذا كان موقع المستوى الذى يتم تكوين الهدب عليه للنظام أحادى اللون لايعتمد على طول موجة الضوء المستخدمة ، أى لايتغير بتغير طول موجة الضوء . وبتطبيق هذه النتيجة على الهدب أحادية طول الموجة المحددة على سطح فايزنر ذات الرتبة الصفرية ($m$ = صفر) تكون هدب تساوى الرتبة اللونية المتكونة فى المستوى الطيفى كلها واضحة ومحددة المعالم .

**شكل هدب تساوى الرتبة اللونية**

**The shape of fringes of equal chromatic order**

من الواضح الآن أن شكل الهدب 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 الطيفى spectral plane هو المستوى $(\lambda, y)$ . وتنتج هدب تساوى 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 فى حالة نفاذ الأشعة مع إهمال التغير فى الطور عند الانعكاس ، ويعتمد شكل الهدب الناتجة على علاقة التحويل ، وفى حالة الهدب المتكونة من الأشعة المنعكسة حيث المعادلة هى :

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

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

ويدخل عاملان فى هذا الشأن :

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

ب- قوة تفرق المطياف .

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

$$\lambda = \lambda_o + B / (D - D_o)$$

حيث $D_o, B, \lambda_o$ مقادير ثابتة .

بينما محزوز الحيود يعطى تفرقا خطيا linear dispersion :

$$D = K\lambda$$

وبتحديد تناول ومعالجة الحالة فى إطار التفرق الخطى وبالتعويض 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 لأى هدبة 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 هدبة فى المستوى (D, Y) هى صورة مكبرة لقطاع من مقياس التداخل الضوئى تم اختياره وتحديده بواسطة فتحة المطياف . وحيث إن تأثير التكبير غير موحد عبر المحورين Y, D فتنتج صورة مشوهة لاختلاف التكبير فى أحد المحورين عنه فى المحور الآخر distorted image ، وكمثال على ذلك تنتج من مقطع دائرى هدب على هيئة قطع ناقص . وعند استخدام المطياف ذى المنشور ينشأ سبب آخر للتشويه وذلك نتيجة عدم انتظام التفرق non-linearity .

## شكل هدب 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 موازيا لمستوى فتحة المطياف ، $\varepsilon$ هى البعد الضوئى optical separation للمسطحين الضوئيين عند نقطة لقائهما ، فتكون معادلة الجزء المختار من الإسفين بواسطة فتحة المطياف :

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

هى دالة خطية فى t

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

$$N\lambda = 2t$$

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

وبذلك تكون :

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

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

وتمثل المعادلة (٦–٥) مجموعة خطوط غير متوازية يميل كل منها بزاوية تساوى ، $\frac{N \cot \alpha}{2}$ حيث N عدد صحيح . ولمجموعة 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 ضوئى مغطى بطبقة نصف شفافة من الفضة . وتكون معادلة الدوائر فى المستوى (t,y) هى :

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

حيث R هى نصف قطر التكور ، ε هى البعد بين العدسة والمسطح الضوئى عند نقطة الالتقاء .

ويتم اختيار نقطة الأصل بحيث يكون :

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

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 البنفسجي .

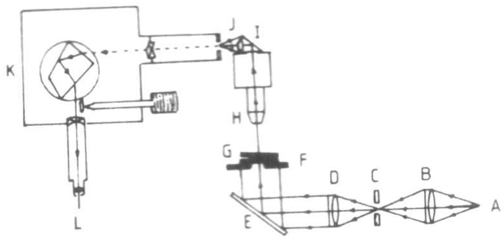
وباستخدام عدسة مستوية – محدبة مع مسطح ضوئى بحيث يكون سطحها المحدب مرتكز على هذا المسطح تكون معادلة الهدب هى :

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

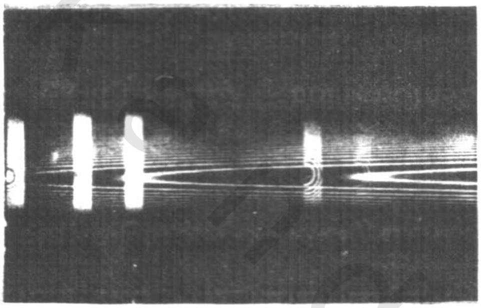
حيث ε هى الـ sagitta للسطح المنحنى (ذى نصف القطر R) بالنسبة للمسطح الضوئى .

وهذه هى معادلة مجموعة قطع ناقصة ellipses مراكزها هى $(\frac{2(R-\varepsilon)}{N}, o)$ 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 البنفسجي وفى حالة وجود انخفاض أو وادى valley تكون الهدب محدبة ناحية الأحمر . والشكل رقم (٦/٣) يبين النظام البصرى المستخدم لتكوين هدب تساوى الرتبة اللونية .

والشكل رقم (٦/٤) 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 دوائر متحدة المركز متساوية السمك . وذلك عند استخدام ضوء أحادى طول الموجة صادر من مصباح الزئبق .




شكل رقم (٦/٣) : النظام البصرى المستخدم لتكوين هدب التداخل اللونية متساوية الرتبة عند النفاذ . A مصدر ضوئى نقطى ، B عدسة ، C فتحة دائرية ، D عدسة ، E سطح عاكس ، F قاعدة ميكروسكوب ، G مقياس التداخل الضوئى – إسفين ، H شيئية الميكروسكوب ، I منشور قائم الزاوية ، J عدسة إسقاط ، K مطياف ، L الكاميرا (من Barakat and El-Hennawi, 1971)



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

## ٦/٢- تطبيق هدب التداخل الضوئى 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 لهدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد وكذلك المتكونة بواسطة إسفين ضوئى Wedge وهدب تساوى الرتبة اللونية ، وسوف ندرس فى هذا القسم تطبيق هذه الهدب لدراسة الألياف ، ويتضمن نظرية استخدام التداخل الضوئى لتعيين معاملات انكسار الألياف .

## ٦/٢/١- نظرية هدب فيزو للتداخل الضوئى لدراسة الألياف ذات المقاطع العرضية المنتظمة

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

اشتق « بركات Barakat » (١٩٧١) معادلات رياضية لشكل هدب فيزو للتداخل الضوئى عندما تعبر شعيرة ذات مقطع عرضى دائرى ومغموره فى سائل محصور فى إسفين ضوئى wedge ، واستنتج معادلات لتعيين معاملات الانكسار للألياف المتجانسة والتى تتكون من لب وقشرة ، وذلك من إزاحة الهدب داخل الشعيرة . واستنتج معادلة للألياف المتجانسة والمتكونة من طبقة واحدة .

ونوضح فيما يلى المعادلات الرياضية الخاصة بمجموعة هدب فيزو للتداخل الضوئى عندما تعبر شعيرة ذات مقطع عرضى دائرى ومتكونة من لب وقشرة . وعند دراسة الألياف بالتداخل الضوئى توضع الشعيرة داخل الإسفين الضوئى wedge المكون من مسطحين ضوئيين مفضضين ، يميل أحدهما على الآخر ويحصران سائلا . ويكون محور الشعيرة عموديا على حافة الإسفين edge of the wedge ، وبفرض أن أحد المسطحين الضوئيين المفضضين يلامس سطح الشعيرة . ويبين الشكل رقم (٦/٥) مقطع عرضى لشعيرة إسطوانية الشكل نصف قطرها $r_f$ ، وتتكون من لب معامل انكسار مادته ونصف قطره $r_c$ وقشرة معامل انكسار مادتها $n_s$ ، وقد غمرت هذه الشعيرة فى سائل معامل انكساره $n_L$ يحصره إسفين ضوئى wedge ، وسقطت حزمة ضوئية ذات طول موجى $\lambda$ فى لاتجاه $\overleftarrow{DC}, \overleftarrow{BA}$ عمودية على المسطح الضوئى السفلى وكانت زاوية الإسفين $\varepsilon$ صغيرة . وتمثل t سمك فجوة مقياس التداخل الضوئى ، وقد اختير محور الشعيرة ليكون المحور Z وحافة الإسفين تكون موازية للمحور X . وفى هذا الصدد نأخذ فى الاعتبار منطقتين :

أ- عندما تكون :

$$X^2 + Y^2 = r_c^2$$

حيث :

$$O \le x \le r_c$$

ب- عندما تكون :

$$X^2 + Y^2 = r_f^2$$

حيث :

$$r_c \le x \le r_f$$

وفيما يلى اشتقاق شكل الهدب فى المستوى (z, x) وهو مستوى تكون صورة هدب التداخل الضوئى plane of the interferogram ، وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئى (OPL) للشعاع $\overleftarrow{BA}$ الذى يعبر الشعيرة فى المنطقة : $o \le x \le r_c$

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

وللهدبة ذات الرتبة N

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

حيث :

$$t = Z \tan \varepsilon$$

و ε هى زاوية الإسفين ، ويمثل مسقط حافة الإسفين نقطة الأصل للمحور Z .

ومن المعادلة رقم (٦-٧)

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

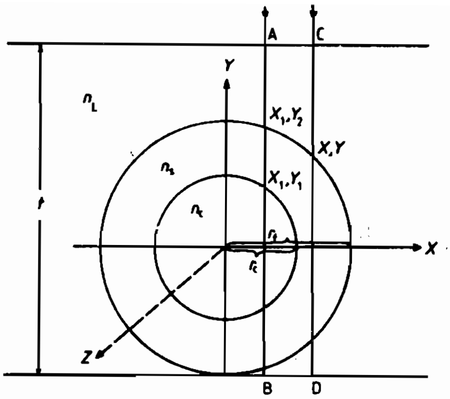
$$2n_L \tan\varepsilon \left( \frac{N\lambda}{2n_L \tan\varepsilon} - Z \right) = 4Y_2 (n_s - n_L) + 4Y_1 (n_c - n_s) \qquad (6.8)$$

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

$$2n_L \tan\varepsilon \;\; Z = 4Y_2 (n_s - n_L) + 4Y_1 (n_c - n_s)$$

$$= 4(n_s - n_L)(r_f^2 - X^2)^{1/2} + 4(n_c - n_s)(r_f^2 - X^2)^{1/2} \qquad (6.9)$$

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




شكل رقم (٦/٥) : يوضح مقطعا عرضيا فى شعيرة إسطوانية نصف قطرها $r_f$ ، معامل انكسار لبها $n_c$ ونصف قطره $r_c$ ومعامل انكسار قشرتها $n_S$ غمرت فى إسفين مفضض يحصر سائلا معامل انكساره $n_L$ ( من Barakat, 1971 )

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

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

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

At $X = 0$

$$\frac{Z}{\Delta Z}\frac{\lambda}{2} = (n_s - n_L)\, 2r_f + (n_c - n_s)\, 2r_c$$

$$= (n_s - n_L)\, t_f + (n_c - n_s)\, t_c$$

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

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

where $t_s = (t_f - t_c)$.

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

حيث :

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

ولتطبيق هذه العلاقات عمليا تقاس $Z / \Delta Z$ ، وبمعرفة $t_f$ ، $n_L$ يمكن حساب $n_a$ ، وبتعيين $n_s$ باستخدام طريقة الحد الفاصل لبيك 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 هدبتين متتاليتين في منطقة السائل $\Delta Z$ يمكن تعيين $n_a^{\parallel}$ من المعادلة الآتية – Barakat and Hindeleh, 1964a – :

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

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

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

وفي حالة الألياف المتجانسة التركيب يكون :

$$n_s = n_c = n$$

ويعطي العلاقة الآتية معامل الانكسار

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

وفيما يلي نوضح طريقة استنتاج هدب 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 $r_c$ .

وسنبدأ أولا باشتقاق المعادلة الرياضية لشكل الهدبة في منطقة القشرة مع ملاحظة أنها لاتعتمد على خواص لب الشعيرة (شكل ٦/٦) وبإهمال انكسار الأشعة عبر قشرة الشعيرة ولبها وبأخذ المنطقة $r_c \le x \le r_f$ فقط في الاعتبار ينتج :

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

ويلاحظ أن الرتبة فى منطقة السائل تحقق المعادلة :

$$N\lambda = 2\ n_L t_1$$

وينتج عن ذلك أنه فى حالة $n_s > n_L$ تكون الفجوة الضوئية $t_1$ فى مقياس التداخل الضوئى فى منطقة السائل – تكون أكبر منها فى منطقة القشرة التى تعطيها المعادلة رقم (٦-١٦) . وتكون إزاحة الهدبة فى منطقة القشرة فى حالة $n_s > n_L$ فى 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 $(N\lambda/2\ n_L \tan \varepsilon, o)$ على المستوى $(Z, X)$

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

Z هى إزاحة الهدبة مقاسة من نقطة على امتداد الهدبة الموجودة فى منطقة السائل حيث: $Z = N\Delta Z$ على المحور Z .

وتعطى المعادلة الآتية شكل الهدبة ذات الرتبة N فى منطقة القشرة :

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

وهى تمثل قطعا ناقصا نصف محورة الأكبر ونصف محوره الأصغر هما $r_f,\ (4\Delta Z/\lambda)\,(n_s - n_L)\,r_f$ فى المستوى (z,x). ويتحدد اتجاه إزاحة الهدبة Z بقيم معاملات الانكسار إما أن تكون $n_s > n_L$ أو $n_s > n_L$ . ففى حالة $n_s > n_L$ تمثل الهدبة بنصف قطع ناقص فى اتجاه رأس الإسفين ، بينما فى حالة $n_s < n_L$ تكون إزاحة الهدبة فى ناحية الهدبة الموجودة فى منطقة السائل وعكس اتجاه رأس الإسفين wedge apex. ويبين الشكل (٦/٦/أ، ب) هدب التداخل الضوئى التى تتبع معادلة قطع ناقص فى حالتى $(n_s - n_L) > o,\ (n_s - n_L) < o$ 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 هدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد خلال منطقة لب الشعيرة فى المستوى$(z,x)$ تعطيه المعادلة :

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

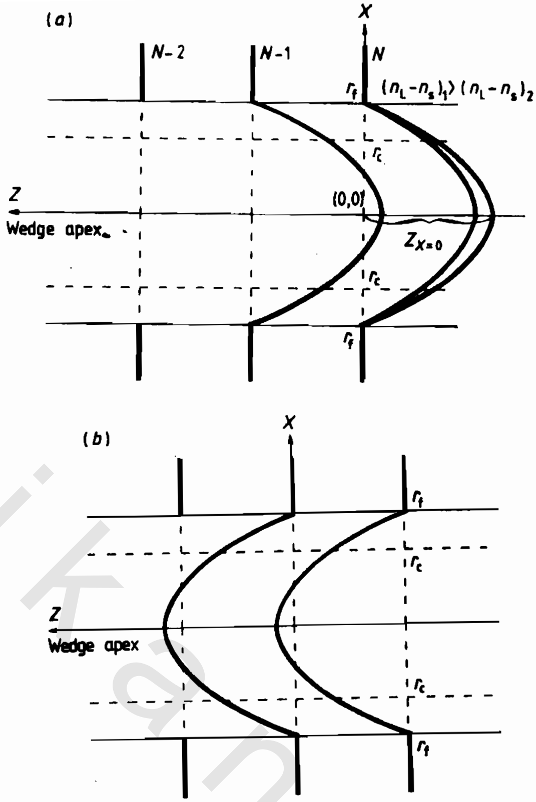
ويكون نصف المحور الأكبر ونصف المحور الأصغر هما $r_C, Br_C$ على الترتيب .

حيث :

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

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

ويمكن ملاحظة تأثير تغير زاوية الإسفين الضوئى $\varepsilon$ على شكل الهدب من قيم نصف المحور الأكبر ونصف المحور الأصغر وهما $r_C, 2\,(n_C - n_L)\, r_C / n_L \tan\varepsilon$ على الترتيب . وعندما تقل الزاوية $\varepsilon$ 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 هدب التداخل الضوئى عند (a) $(n_S - n_L) <$ صفرا ، (b) $(n_S - n_L) >$ صفرا .

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

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

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

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

من رأس الإسفين الضوئى .

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

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

وتعطى المعادلة الآتية شكل هدب التداخل الضوئى المتعدد ذى الرتبة N خلال شعيرة مكونة من قشرة ولب :

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

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

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

والمعادلة التى تعطى شكل الدالة $Z = f_1(X)$ هى :

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

حيث :

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

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

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

حيث :

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

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

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

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

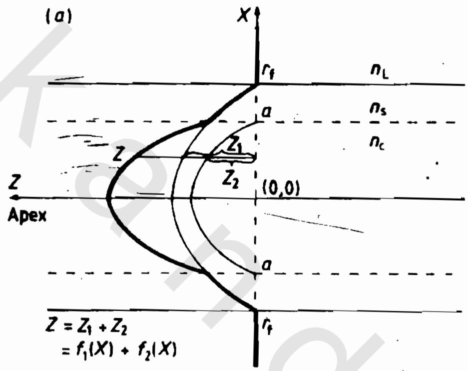
ويمثل الشكلان رقم (٦/٧/أ) ، (٦/٧/ب) شكل الهدبة عبر لب وقشرة فى الحالتين المذكورتين .

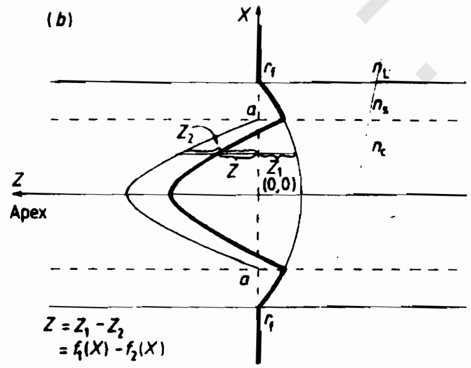
ومن الشكل رقم (٦/٧/أ) تعطى المعادلة الآتية قيمة الإزاحة Z عند $x = o$ :

$$Z_{x=0} = \frac{4\,\Delta Z}{\lambda}\left[(n_s - n_L)\,r_f + (n_c - n_s)\,r_c\right] \qquad (6.23)$$

ومن شكل(٦/٧/ب)

$$Z_{x=0} = \frac{4\,\Delta Z}{\lambda}\left[(n_c - n_s)\,r_c - (n_L - n_s)\,r_f\right] \qquad (6.24)$$




شكل رقم (٦/٧) : يوضح شكل هدب التداخل عبر لب وقشرة فى 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 العرضى متعددة الطبقات

Multilayer fibres with regular transverse sections :

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

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

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

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

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 فى المقطع العرضى للشعيرة .

واستنتج "El-Hennawi" (١٩٨٨ a,b,c) معادلة لشكل هدب فيزو للتداخل الضوئى التى تعبر شعيرة إسطوانية متكونة من طبقة واحدة وطبقتين ومتعددة الطبقات ، آخذا فى الاعتبار انكسار الشعاع الضوئى داخل الشعيرة ، وتكون المعادلة فى حالة الشعيرة متعددة الطبقات هى :

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

حيث m هى عدد الطبقات المكونة للمقطع العرضى للشعيرة . وعند x = o لايوجد انكسار وتؤول المعادلة رقم (٦ - ٢٦) إلى المعادلة رقم (٦-٢٥) .

### ٣/٢/٦- تطبيق هدب 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 "Simmens" (١٩٥٨) طريقة باستخدام جهاز بابينيت Babinet compensator لتعيين معامل الانكسار المزدوج للأجسام التى لها وزن ثابت بالنسبة لوحدة الأطوال ، ولكن لها مقطع عرضى غير منتظم الشكل . ولتعيين معاملات الانكسار والانكسار المزدوج للألياف ذات المقاطع العرضية غير المنتظمة قدم "Hamza" (١٩٨٠) طريقة باستخدام ميكروسكوب التداخل الضوئى والميكروسكوب الالكترونى الماسح . وفيما يلى شرح لتطبيق هدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد لدراسة الألياف المتجانسة التركيب والتى لها مقطع عرضى غير منتظم .

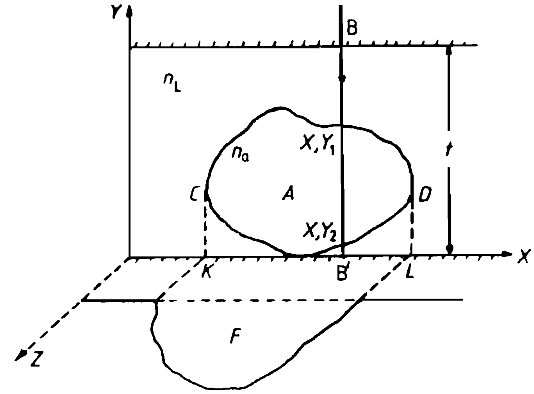
ويبين الشكل رقم (٦/٨) شعيرة غير منتظمة المقطع العرضى موضوعة فى إسفين ضوئى مكون من مسطحين ضوئيين مفضضين ، يميل أحدهما على الآخر ، ويحصران بينهما سائلا غمرت فيه الشعيرة ، وتعطى المعادلة الآتية مساحة مقطع الشعيرة A فى المستوى (X,Y) :

$$A = \int_{k}^{L} ( Y_1 - Y_2 ) \, dX \qquad (6.27)$$

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

وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئى OPL للشعاع $\overrightarrow{BB'}$

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




شكل رقم (٨/٦) : يوضح شعيرة غير منتظمة المقطع العرضى غمرت فى إسفين ضوئى مفضض يحصر سائلا تمثل A مساحة مقطع الشعيرة ، $n_L$ معامل انكسار سائل الغمر (من Hamza et al., 1985 a)

وبالنسبة للهدبة ذات رتبة التداخل N يمكن كتابة المعادلة :

$$N\lambda = 2n_L t + 2\,(n_a - n_L)\,(Y_1 - Y_2) \qquad (6.29)$$

وبالتعويض عن t بالمقدار :

$$t = Z \tan \varepsilon$$

وبتحويل نقطة الأصل للنقطة $(N\lambda/2\, n_L \tan \varepsilon, o)$ على المستوى (Z,X) نحصل على :

$$n_L \tan \varepsilon\, Z = (n_a - n_L)\,(Y_1 - Y_2) \qquad (6.30)$$

حيث Z هى القيمة الجديدة بعد نقل الأصل ، وهى تقيس إزاحة الهدبة ذات الرتبة رقمN فى منطقة الشعيرة عنها فى منطقة السائل .

وبإجراء التكامل ليشمل المنطقة $L \geq X \geq K$ تنتج المساحة F المحصورة تحت إزاحة هدب الشعيرة :

$$\int_K^L (Y_1 - Y_2)\,dx = \frac{n_L \tan \varepsilon}{n_a - n_L} \int_K^L Z\,dX \qquad (6.31)$$

وبفرض أن :

$$\int_K^L Z\,dX = F \text{ and } A = \frac{n_L \tan \varepsilon}{n_a - n_L} F$$

ينتج :

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

وفى حالة ضوء مستقطب فى اتجاه عمودى على محور الشعيرة :

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

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 المزدوج $\Delta n_a$ فيعطى بالمعادلة :

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

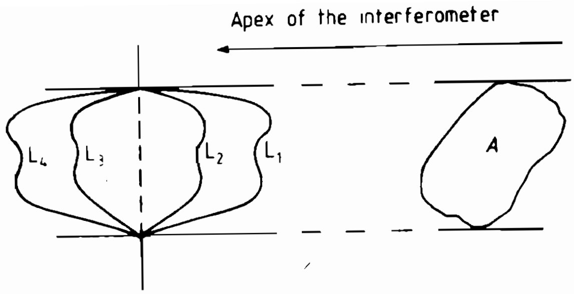
ويوضح الشكل رقم (٩/٦) سلوك الهدبة عند استخدام سوائل غمر لها معاملات انكسار مختلفة ويستخدم سائلا غمر مختلفان ولهما معاملى انكسار $n_{L1}, n_{L2}$ ( عند نفس درجة الحرارة ) وذلك للاستغناء عن قياس مساحة مقطع الشعيرة (Hamza et al., ١٩٨٦) – ويمكن باستخدام المعادلتين الآتيتين تعيين معامل الانكسار المتوسط للشعيرة $n_a$ :

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

and

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

حيث $F_1, F_2$ هما المساحتان المحصورتان تحت إزاحتى الهدبتين والمسافة بين كل هدبتين متتاليتين فى حالتى المعادلتين (٦–٣٥) ، (٦–٣٦) هما $\Delta Z_1$ , $\Delta Z_2$ على الترتيب .




شكل رقم (٦/٩) : يمثل سلوك هدب فيزو للتداخل الضوئى عند استخدام أربعة سوائل غمر مختلفة لها معاملات انكسار $n_{L_1}, n_{L_2}, n_{L_3}, n_{L_4}$ وقيم هذه المعاملات بالمقارنة بقيمة معامل انكسار مادة الشعيرة $n_a$ هى $n_{L_4} > n_{L_3} > n_a$ , $n_a < n_{L_2} < n_{L_1}$
(من Hamza et al., 1985 a)

## الألياف غير المتجانسة التركيب والمكونة من قشرة ولب

(Hamza et al., 1985b)

Homogeneous fibres with skin/core structure :

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

$$A = \int_{M}^{S} (Y_1 - Y_2)\, dX \qquad (6.37)$$

وتعطى مساحة المقطع العرضى للب الشعيرة فى المستوى (X, Y) من المعادلة :

$$B = \int_{P}^{Q} (Y_3 - Y_4)\, dX$$

وتعطى المعادلة الآتية طول المسار الضوئى (OPL) للشعاع $\xrightarrow{DD}$ :

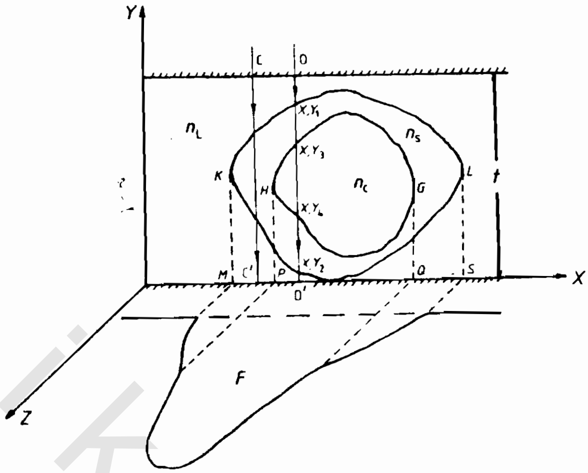
$$OPL = [t - (Y_1 - Y_2)]\, n_L + [(Y_1 - Y_2) - (Y_3 - Y_4)]\, n_s + (Y_3 - Y_4)\, n_c \qquad (6.38)$$

وبالنسبة للهدبة ذات رتبة التداخل N يمكن كتابة المعادلة :

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

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

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




شكل رقم (٦/١٠) : يمثل شعيرة غير منتظمة المقطع العرضى لها لب محاط بقشرة ومغمورة فى إسفين مفضض يحصر سائلا . ويمثل F المساحة المحصورة تحت إزاحة الهدبة
(من Hamza et al., 1985 a)

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

$$n_L \tan \varepsilon \int_M^S Z\, dX = ( n_s - n_L ) \int_M^S ( Y_1 - Y_2 )\, dX$$

$$+ ( n_c - n_s ) \int_P^Q ( Y_3 - Y_4 )\, dX \quad (6.40)$$

حيث :

$$\int_M^S Z\, dX = F$$

وتكون :

$$F n_L \tan \varepsilon = ( n_s - n_L ) A + ( n_c - n_s ) B$$

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

ويعطى معامل انكسار مادة الشعيرة باستخدام ضوء مستقطب فى اتجاه محور الشعيرة من المعادلة :

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

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 المزدوج $\Delta n_c$ للب الشعيرة من المعادلة :

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

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 (٦/١١) مقطعا عرضيا فى شعيرة إسطوانية متعددة الطبقات موضوعة فى إسفين ضوئى وتحتوى الشعيرة على عدة طبقات عددها m ذات معاملات انكسار $n_1, n_2, n_3, \ldots, n_m$

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

وتمثل أنصاف أقطار الطبقات المختلفة بالمعادلة :

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

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

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

$$+ 2 ( Y_2 - Y_3 ) n_2 + \ldots . 2 ( Y_{m-1} - Y_m ) n_{m-1} + 2 Y_m n_m \qquad (6.43)$$

ومن المعادلة الأساسية للتداخل نجد أن :

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

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

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

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

وتعطى المعادلة الآتية هدب فيزو للتداخل الضوئى على المستوى (Z,X) :

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

حيث تعرف قيمة X بعدد الطبقات .

ولتلافى مشكلة وجود عدم الانتظام فى مقطع الشعيرة ، تمثل المساحة المحصورة تحت إزاحة الهدبة ، وعندما تعبر الشعيرة عمودية على محورها تمثل تكامل فرق المسار الضوئى عبر هذه الشعيرة (Simmens, 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 :

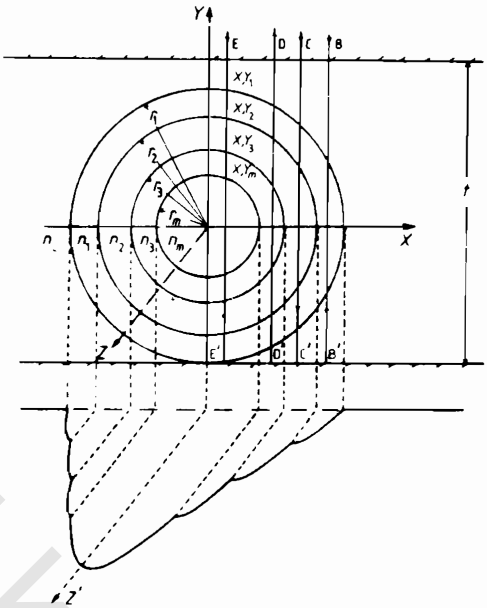
$$\frac{\lambda}{4\Delta Z} F_m = \sum_{Q=1}^{m} ( n_Q - n_{Q-1} ) A_{Q,m} \qquad (6.46)$$

حيث :

$$F_m = \int_{\alpha}^{\beta} Z \, dx$$

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

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




شكل رقم (٦/١١) : مقطع عرضى لشعيرة إسطوانية متعددة الطبقات غمرت فى إسفين مفضض يحصر سائلا . وموضح شكل هدب التداخل الضوئى عبر كل طبقة من طبقات الشعيرة (من Hamza and Kabeel, 1986)

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

Optical fibres : Step-index and graded index :

### ٦/٣/١- تطبيق هدب التداخل الضوئى المتعدد على الألياف البصرية STEP لتعين مواصفاتها وخصائصها

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

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

وفى حالة الألياف البصرية STEP-index يكون معاملا انكسار طبقتيها $n_{core}, n_{clad}$

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 $2\ r_f = 125\ \ \mu m$ . وفى الشعيرة من الألياف GRIN عديدة المنوال تكون $2\ r_f = 125\ \mu m,\ 2\ r_c \approx 80\ \mu m$ .

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 هدب فيزو 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 المنقطة (NΔZ, O) تجاه رأس الإسفين الضوئى هى المعادلة رقم (٦-٢٠) - كما تم استنتاجها سابقا :

$$Z = \frac{4\Delta Z}{\lambda}(n_{clad} - n_L)(r_f^2 - X^2)^{½} + \frac{4\Delta Z}{\lambda}(n_{core} - n_{clad})(r_c^2 - X^2)^{½}$$
$$= f_1(X) + f_2(X)$$

ويعطى شكل الدالة $Z = f_1\ (X)$ من المعادلة رقم (٦-٢١) التى تصف قطعا ناقصا نصف محورة الاكبر ونصف محوره الأصغر هما $r_f, Ar_f$ 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 $r_c, Br_c$ 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 (٦/٧).

## استنتاج بروفيل معامل انكسار شعيرة بصرية (STEP-index) من إزاحة هدب التداخل الضوئى :

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

نحصل من المعادلة (٦-٢١) على شكل هدب فيزو للتداخل الضوئى عندما تعبر شعيرة إسطوانية فى منطقة قشرتها $r_c \le X \le r_f$ ، 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 :

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

= constant for the fringe system.

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

وباعتبار أن :

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

ولمنطقة لب الشعيرة وباستخدام سائل له معامل انكسار $n_L$ يساوى معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة $n_{clad}$ يكون :

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

ويوضح الشكل رقم (٦/١٢) بروفيل معامل الانكسار $(n_{clad} - n_L)$ فى المنطقة $r_c \le X \le r_f$ وبروفيل معامل الانكسار $(n_{core} - n_L)$ فى المنطقة $0 \le X \le r_c$ وذلك فى حالة $n_L = n_{clad}$

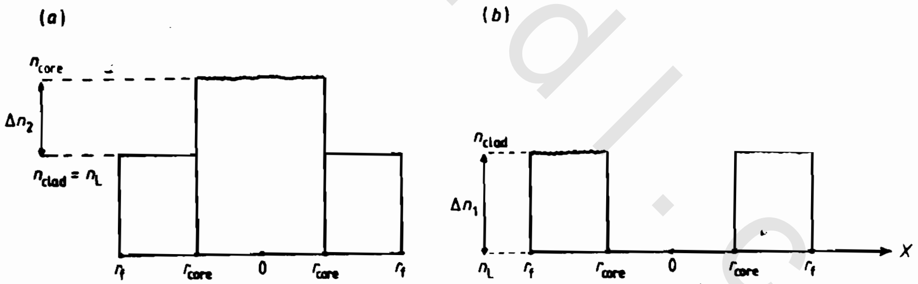
وفى الحالة العامة التى يغمر فيها شعيرة من نوع step-index فى سائل يحصره إسفين مفضض سطحية وكانت $n_{cald} \neq n_L$ أى حالة لامضاهاة ، فإنه يمكن استنتاج بروفيل معامل الانكسار فى منطقة لب الشعيرة من شكل الهدب التى نحصل عليها عمليا وذلك بطرح الإسهام الرياضى لطبقة القشرة فى منطقة اللب من قيم الإزاحة Z عند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

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

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

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

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




شكل رقم (٦/١٢) : بروفيل معامل الانكسار
أ- حالة سائل الغمر له معامل انكسار مساو لمعامل انكسار القشرة
ب- ثبات قيمة معامل انكسار القشرة $n_{clad}$ على مدى سمكها

**٦/٣/٢- نظرية هدب التداخل الضوئى المتعدد عند تطبيقها على الألياف البصرية متدرجة معامل انكسار لبها GRIN**

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

طبق "Marhic et al" (١٩٧٥) طريقة التداخل الضوئى الثنائى على الألياف البصرية بغمر الشعيرة فى سائل معامل انكساره يساوى معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة وإضاءتها بأشعة عمودية على محورها . وتم فى هذه الدراسة الحصول على تعبير تحليلى مبسط لفرق المسار الضوئى للألياف ذات بروفيل معامل انكسار لبها يزداد من بداية لب شعيرة حتى منتصفها مع مربع البعد عن المركز .

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

وفيما يلى نوضح المعادلات الرياضية لمجموعة هدب فيزو التى تعبر شعيرة من الألياف البصرية متدرجة معامل الانكسار – Barakat et al, ١٩٨٥ – وافترض فى هذه المعالجة أن الشعيرة ذات مقطع عرضى مستدير تماما وله لب محاط بقشرة وغمرت الشعيرة فى سائل موضوع بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر ، بحيث يكون محورها عموديا على حافة الإسفين الضوئى .

واعتبر أن سطح الشعيرة يمس السطح المفضض للمسطح الضوئى السفلى ، والشكل رقم (٦/١٣) 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 $n_{clad}$

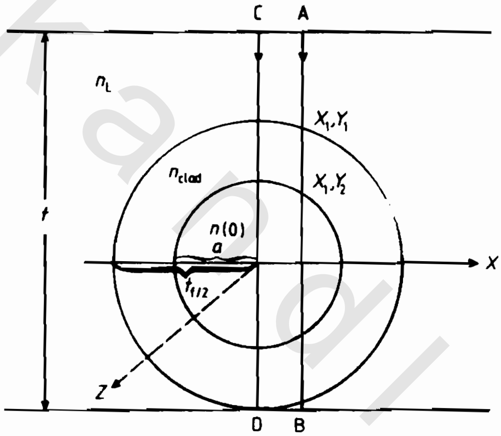
$$n(r) = n(0)\,[\,1 - 2\Delta\,(r/a)^{\alpha}\,]^{1/2} \qquad o \leq r \leq \alpha \qquad (6.47)$$

حيث r هى المسافة مقاسة من مركز الشعيرة ، a هو نصف قطر لب الشعيرة Gloge and Marcatili (١٩٧٣) :

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

و $\alpha$ هو البارامتر الذى يحدد شكل البروفيل ، وتغمر الشعيرة متدرجة معامل الانكسار فى السائل المحصور بين المسطحين الضوئيين المفضضين المكونين للإسفين الضوئى ودرجة استوائهما هى $\lambda/50 \pm$ ، وكانت قيمة معامل انكسار السائل $n_L$ مقاربة لقيمة معامل انكسار قشرة الشعيرة $n_{clad}$ . وسقطت حزمة متوازية $\overrightarrow{AB}$ , $\overrightarrow{CD}$ 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 (٦/١٣) : مقطع عرضى لمقياس التداخل الذى يحصر سائل الغمر وقد غمس فيه شعيرة متدرجة معامل انكسار لبها n(r)

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

$$OPL = (t - 2y_2)\, n_L + 2\,(y_2 - y_1)\, n_{clad}$$

$$+ 2 \int_0^{y_1 (a^2 - X_1^2)^{\frac{1}{2}}} n(r)\, dy \qquad (6.4٨)$$

وتعرف n (r) من المعادلة رقم (٦–٤٧) . وفى حالة $\Delta << 1$ 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 :

$$OPL = (t - 2y_2)\,n_L + 2\,(y_2 - y_1)\,n_{clad} + 2n(0)\,(a^2 - X_1^2)^{1/2}$$

$$- 2\frac{\Delta n}{a^{\alpha}}\int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2}\,dy \qquad (6.49)$$

وبالنسبة للهدبة ذات رتبة التداخل N :

$$N\lambda = 2\,(OPL) = 2n_L t + 4y_2\,(n_{clad} - n_L) + 4\Delta n y_1$$

$$- \frac{4\Delta n}{a^{\alpha}}\int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2}\,dy \qquad (6.50)$$

Now $t = z \tan \varepsilon$ ($z = o$ at $t = o$) so

$$N\lambda - 2n_L Z \tan \varepsilon = 4y_2\,(n_{cald} - n_L)\; 4\Delta n y_1$$

$$- \frac{4\Delta n}{a^{\alpha}}\int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (X_1^2 + y^2)^{\alpha/2}\,dy \qquad (6.51)$$

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

$$Z2n_L \tan \varepsilon = 4y_2\,(n_{clad} - n_L) + 4\Delta n y_1 - 4\frac{\Delta n}{a^{\alpha}}\int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} (x_1^2 + y^2)^{\alpha/2}\,dy \qquad (6.52)$$

و $\Delta Z$ هى المسافة بين كل هدبتين متتاليتين فى منطقة السائل وتساوى $\lambda/2n_L \tan\ \varepsilon$،
فإذا كانت $\delta Z$ هى مقدار إزاحة الهدبة ذات الرتبة N فى الشعيرة عن موقعها فى منطقة السائل ، فإن :

$$\left(\frac{\delta Z}{\Delta Z}\right)_{x1}\frac{\lambda}{2} = 2\left( y_2 ( n_{clad} - n_L ) + \Delta n y_1 - \frac{\Delta n}{a^{\alpha}} \int_0^{(a^2 - x_1^2)^{1/2}} ( x_1^2 + y^2 )^{\alpha/2} dy \right)$$

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

وتعطى هذه المعادلة قيم $\delta Z/\Delta Z$ لأى قيم من قيم $X_1$ حيث $o \leq x_1 \leq a$ ، وذلك بدلالة $\alpha, \Delta n$ ، وبالتعويض عن $x_1$ بالقيمة صفر تنتج المعادلة :

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

حيث :

$$t_{core} = 2a$$

وكذلك :

$$t_f = 2 y_2$$

وقد توصل "Saunders and Gardner" (١٩٧٧) إلى معادلة مشابهة للمعادلة رقم (٦-٥٤) ، وذلك باستخدام مقياس التداخل الضوئى الثنائى فى حالة $n_{clad} = n_L$ أى حالة المضاهاة .

أما فى حالة الألياف STEP - index حيث $\alpha = \infty$ فلقد توصل " بركات Barakat " (١٩٧١) إلي المعادلة :

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

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

$$n_L, n_{clad}, ( \delta Z / \Delta Z )_{x2}, ( \delta Z / \Delta Z )_{x1}, x_2, x_1$$

وبالتعويض فى المعادلة رقم (٦-٥٢) بأى قيمة لـ X ، حيث $o \leq x \leq a$ يمكن تعيين $\Delta n$ .

واتبعت طريقة عامة لحساب كل من $\Delta n$ , $\alpha$ 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 عدديا .

ولاتكون قيم $\alpha, \Delta n$ معروفة مقدما فى المعادلة (٦-٥٢) ، والهدف هو مطابقة القيم المقاسة عمليا لبروفيل الهدبة مع المعادلة السابقة لتعيين كل من $\alpha, \Delta n$ ، ويلزم لهذا الغرض 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 $\alpha, \Delta n$ .

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

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

وأن دالة البروفيل بعد تطبيقها تعطيها العلاقة :

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

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 لفيزو ، التى نحصل عليها عند سقوط حزمة من الأشعة وحيدة الطول الموجى على إسفين مفضض ، تتكون على سطح مستوى يقع بالقرب من الإسفين وهو مستوى ذو الرتبة الصفرية الذى لايعتمد موقعه على طول موجة الضوء

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

ويعتمد شكل الهدب الناتجة أساسا على الطريقة التى تتغير بها قيم $n_\lambda t$ على امتداد مقطع الإسفين الذى حددته فتحة المطياف ، حيث t هى البعد بين سطحى الإسفين أي بعد مقياس التداخل ، $n_\lambda$ معامل انكسار الوسط المحصور بين سطحى مقياس التداخل . فإذا اخترنا اتجاه الفتحة ليمثل محور السينات x فإنه فى هذه الحالة تمثل دالة تغير $n_\lambda t$ بالمتغير $f(x)$ أى $n_\lambda t = f(x)$ . ويكون المستوى الطيفى 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 فى حالة الهدب المضيئة على خلفية مظلمة التى نحصل عليها عند النفاذ ، وكذلك فى حالة الهدب المعتمة على خلفية مضيئة تلك التى نحصل عليها عند الانعكاس ، إذا ما أهملتها تغير الطور عند الانعكاس . وفى حالة إسفين مفضض يحصر سائلا وكانت حافته موازية لفتحة المطياف فإن $n_{L,\lambda} t = k$ ، حيث K مقدار ثابت عند طول موجى $\lambda$ 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 النتجة فى هذه الحالة هى خطوط مستقيمة وموازية لمحور x حيث الفرق فى العدد الموجى $\Delta\upsilon$ بين أى هدبتين متعاقبتين $\frac{1}{2} n_{L,\lambda} t = (\upsilon_{N+1} - \upsilon_N)$ ، حيث $n_{L,\lambda}$ هو متوسط قيمتى معامل الانكسار للسائل على المدى $\lambda_{(N+1)} - \lambda_N$ .

دعنا نتناول المنطقة من مقياس التداخل التى تحتوى علي الشعيرة . وتعطى المعادلة (٦-٧) طول المسار الضوئى OPL لحزمة الأشعة المركزية عند تكون هدبة مضيئة تأخذ t

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

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

هذه هى المعادلة المطلوبة التى تعطى مجموعة هدب التداخل الضوئى متساوية الرتبة اللونية FECO التى تعبر الشعيرة فى المنطقة $-r_c \le -x \le o,\ o \le x \le r_c$ حيث $n_{L,\lambda}, n_{c,\lambda}$ ، $n_{s,\lambda}$ هى معاملات الانكسار للقشرة ولب الشعيرة والسائل المحصور بالترتيب عند الطول الموجى المناظر لكل نقطة على الهدبة التى رتبتها N .

عند $x = o$

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

حيث $n_{a,\lambda}$ هى معامل الانكسار المتوسط الذى تعرفه المعادلة (٦-١١) للطول الموجى المناظر للنقطة على الهدب ذات الرتبة N عند $x = o$ . فمثلا الطول الموجى $\lambda$ عند النقطة b على الهدبة التى رتبتها $(N + 1)$ - انظر شكل (٦-١٤) - توضح رسما تخطيطيا للمعادلة (٦-٥٦).

والنطقة $(2n_{L,\lambda} t/N, o)$ هى نقطة تقاطع امتداد الجزء المستقيم من الهدبة التى رتبتها N فى منطقة السائل مع محور الشعيرة ، كما هو موضح بالنقطة o فى الشكل رقم (١٤/٦) للهدبة التى رتبتها $(N + 1)$ .

وفى حالة شعيرة تحوى وسطا واحدا تكون $n_{s,\lambda} = n_{c,\lambda} = n_\lambda$ ، ونحصل على شكل الهدب بالتعويض فى المعادلة (٦-٥٦) ، فهى تماثل شكل الهدب عبر شعيرة فى المنطقة $r_c \le x \le r_f$ . 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 $4\,(n_{\lambda} - n_{L,\lambda})\, r_f/N$ , $r_f$ على الترتيب للقيم الصحيحة المتتابعة للرتبة N .

وفى حالة شعيرة تحوى وسطا واحدا أى متجانسة التركيب ومعامل انكسار مادتها $m_{\lambda}$ ، يتغير طول المحور الرئيسى لأى قطع ناقص مع $(n_{\lambda} - n_{L,\lambda}) / N$ . $n_{L,\lambda}$, $n_{\lambda}$ هما معامل انكسار الشعيرة والسائل المحصور على الترتيب لطول الموجة التى يحددها رأس القطع الناقص ، أى هدبة التداخل ذات الرتبة N عند $x = o$ . 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 $r_c \le x \le r_f$ . يحدث هذا عند الهدبة ذات الرتبة (N + 3) ، كما هو موضح فى شكل (١٤/٦) ومنه يمكن تعيين $\lambda_1$ .

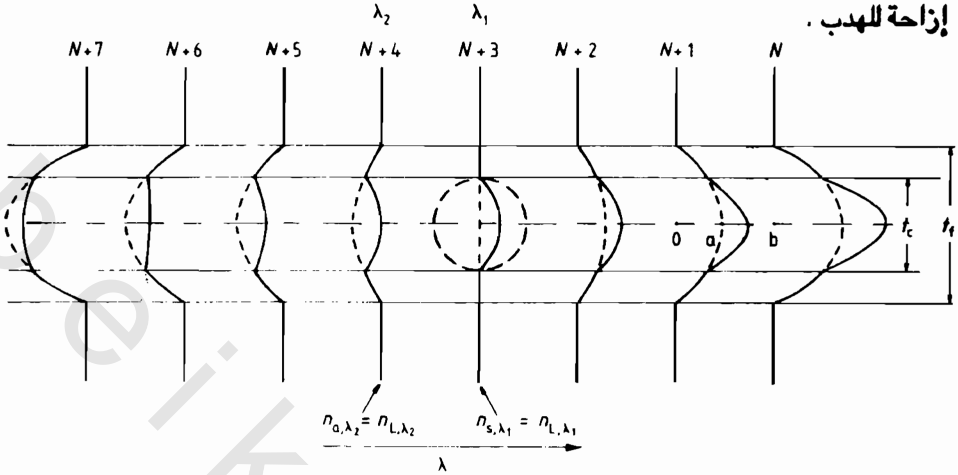
جـ- عندما تكون $n_{\lambda} < n_{L,\lambda}$ ، نحصل على هدب تداخل محدبة فى اتجاه الطول الموجى الأقصر . هذه هى حالة الهدب ذات الرتب (N + 4), (N + 5), (N + 6) .

وفى حالة شعيرة متكونة من قشرة ولب وفى المنطقة $o \le x \le r_c$ 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 $x = o$ بين الهدبة فى منطقة السائل والهدبة عبر الشعيرة تساوى $(n_{c,\lambda 1} - n_{s,\lambda 1})\, 4r_c/N$ وفى حالة $n_{c,\lambda} > n_{s,\lambda}$ يمثل شكل هدب التداخل متساوية الرتبة اللونية فى هذه المنطقة بالمنحنيات المتصلة المناظرة للهدبة التى رتبتها (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 لايحدث إزاحة للهدبة عند $x = o$ عند انتقالها من منطقة السائل إلى الشعيرة . هذا ماتوضحه الهدبة التى رتبتها (N + 4) فى الشكل (١٤/٦) وممثلة بالمنحنى المتصل .

ولقد استخدم "Faust" (١٩٥٤) هدب التداخل متساوية الرتبة اللونية فى تعيين معامل الانكسار المتوسطة للألياف . ولقد اعتمدت طريقته على استخدام النقط التى لايحدث عندها إزاحة للهدب .




شكل رقم (١٤/٦) : رسم تخطيطى لهدب التداخل الضوئى متساوية الرتبة اللونية FECO عبر شعيرة مغمورة فى سائل يحصره مقياس التداخل . تعبر الخطوط المتقطعة عن الهدب فى حالة شعيرة متجانسة التركيب فى حين تعبر الخطوط المتصلة عن حالة شعيرة سمكها $t_f$ ذات لب سمكه $t_c$ محاط بقشرة . وللهدبة ذات الرتبة $N + 3$ تكون $n_{L,\lambda 1} = n_{s,\lambda 1}$ كما هو موضح فى الشكل ، فى حين أنه للهدبة ذات الرتبة $N + 4$ تكون $n_{L,\lambda 2} = n_{a,\lambda 2}$ (من Barakat, 1971 )

## ٥/٦- تطبيق طرق التداخل الضوئى المتعدد لتعيين بعض الخصائص الفيزيقية للألياف

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

تقدم معاملات انكسار الألياف التركيبية والطبيعية – للضوء المستقطب فى اتجاه محور الشعيرة وفي الاتجاه العمودى عليه – طريقة مناسبة لقياس مدى ترتيب الجزيئات بالنسبة لمحور الشعيرة . كما تعطى قياسات معاملات الانكسار المزودج لقشرة ولب الشعيرة مقياسا لدرجة تشتت الجزيئات بالنسبة إلى اتجاه معين . وتساعد هذه المعلومات فى التعرف على تركيب الألياف متباينة الخواص الضوئية . وتعتبر طرق التداخل الضوئى 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/dλ) أى مقدار تفريقها للضوء .

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

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

وكذلك فإن هدب 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 الضوئي 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 α 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 هدب 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 هدب التداخل الضوئي المتعدد أدق من طريقة التداخل الثنائى - Tolansky, 1948 .

ولاستكمال الصورة بالنسبة لترتيب الجزيئات داخل الشعيرة فإن هذه الدراسات الضوئية تؤخذ فى الاعتبار بجانب طرق الفحص الأخرى مثل استخدام حيود الأشعة السينية والميكروسكوب الألكترونى والتحليل الطيفى بالامتصاص الجزيئى .

وسندرس فى الفصل السابع طريقة فحص تضاريس سطح الألياف باستخدام طرق التداخل الضوئى .

## ٦/٥/١- النظام البصرى المستخدم وطريقة تكوين هدب التداخل الضوئى المتعدد

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

استخدم « تولانسكى » الإسفين الضوئى فى الحصول على هدب التداخل المتعدد (Tolansky, 1948,60) . وطبقت هذه الهدب لتعيين معاملات الانكسار والانكسار المزدوج للألياف ، وذلك عن طريق قياس فرق المسار الضوئى عند غمر شعيرة فى سائل محصور بين مسطحين ضوئيين مفضضين يميل أحدهما على الآخر بزاوية صغيرة .

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

وشرح « بركات والحناوى Barakat and El-Hennawi » (١٩٧١) النظام البصرى المستخدم للحصول على هدب التداخل الضوئى المتعدد ، وفيه تسقط حزمة متوازية من الأشعة - أحادية طول الموجة والمستقطبة استوائيا - على الإسفين الضوئى الموضوع على قاعدة الميكروسكوب بحيث يكون السقوط عموديا - ويبين الشكل رقم (٦/١٥) النظام البصرى المستخدم للحصول على هدب تداخل ضوئى عند النفاذ وعند الانعكاس . ويتكون الإسفين الضوئى من مسطحين ضوئيين مستديرين ، قطر كل منهما ٣٥ ملليمتر وسمك كل منهما ٧ ملليمتر ،وكانت درجة الاستواء تساوى ± ٠,٠١ 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 ١٠$^{-5}$ تور (مليمتر زئبق) بحيث تكون انعكاسيتها للضوء أعلى من ٧٥٪ ونفاذيتها حوالي ٢٢٪ .

أما فى حالة هدب التداخل الضوئى عند الانعكاس فإن انعكاسية المسطح الضوئى الاسفل تكون أكثر من ٩٠٪ والمسطح العلوي 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 نهايتاها علي حافتى 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 LHLH ... L 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 .

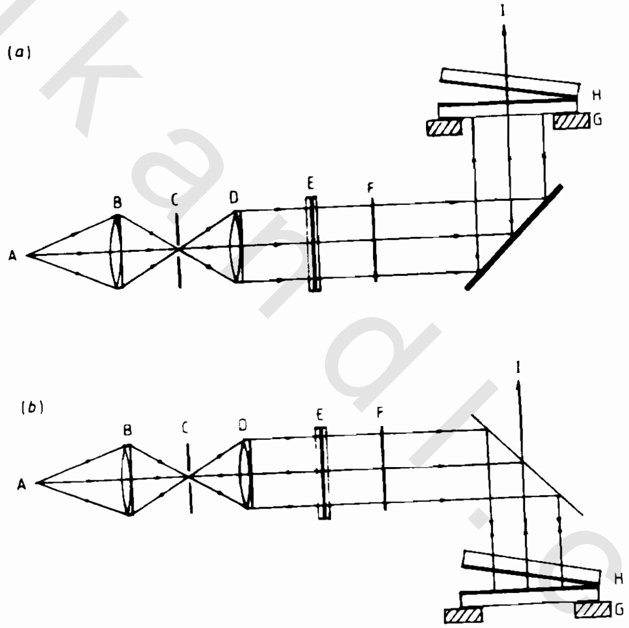
والتخلف الطورى $\delta$ تعطيه المعادلة :

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

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

متتاليتين وفى حالة الألياف الطبيعية والتركيبية يكون سمك الشعيرة أقل من ١٠٠ ميكرومتر ، ولهذا يسهل الحصول على فجوة ضوئية صغيرة نسبيا ، كما أن زاوية الإسفين ε ينبغى أن تكون صغيرة أيضا وذلك باستخدام مسطحين ضوئيين قطر كل منهما ٣٥ ملليمتر .

ولكن فى حالة دراسة الألياف البصرية بنوعيها GRIN, STEP يكون سمك الشعيرة ١٢٥ ميكرومتر ولهذا يفضل استخدام إسفين ضوئى مكون من مسطحين قطر كل منهما ١٠٠ ملليمتر . ويعطى النظام البصرى مقطعا عرضيا كبيرا للشعاع الضوئى أحادى طول الموجة الذى يستخدم كمصدر ضوئى للإسفين . وتأخذ زاوية الإسفين الضوئى القيمة من ٥ × ١٠$^{-٣}$ الى ١٠$^{-٤}$ زاوية نصف قطرية وهى تحدد المسافة بين كل هدبتين متتاليتين fringe spacing فى منطقة السائل .

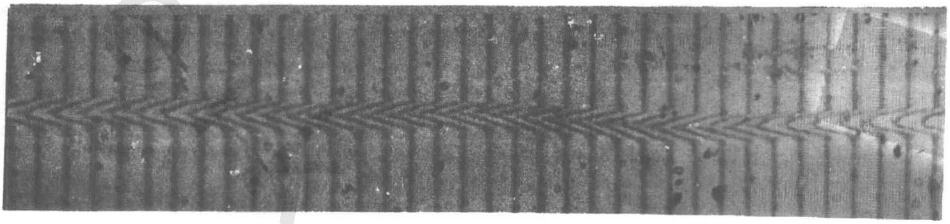



شكل رقم (١٥/٦) : النظام البصرى المستخدم للحصول على هدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد عند النفاذ (a) وعند الانعكاس (b) A مصباح زئبق ، B عدسة مجمعة ، C فتحة دائرية ، D عدسة مجمعة ، E مستقطب ، F مرشح ضوئى ، G قاعدة الميكروسكوب ، H مقياس التداخل الضوئى ، I اتجاه الضوء إلى الكاميرا المركبة على الميكروسكوب .

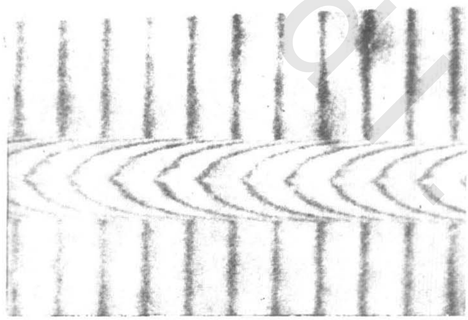
وتكون هدب التداخل الضوئى المتعدد فى منطقة السائل على هيئة خطوط مستقيمة موازية لحافة الإسفين الضوئى ، والمسافة بين كل هدبتين متتاليتين $\Delta Z$ تعطيها المعادلة :

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

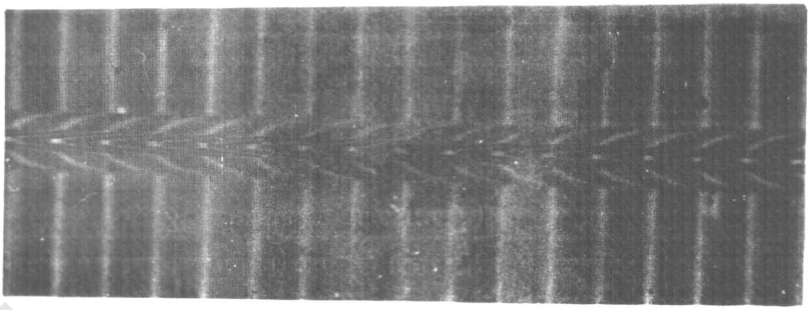
وعندما تعبر السطح الفاصل بين السائل وقشرة الشعيرة دائرية المقطع العرضى فإن هذه الهدبة تتبع مسارا على هيئة قطع ناقص تم استنتاجه رياضيا فى هذا الفصل . وتوضح الأشكال (١٦/٦) ، (١٧/٦) ، (١٨/٦) أمثله لخرائط هدب التداخل الضوئى لبعض الألياف .



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



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



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

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

Opto-thermal properties of fibres

يتم تعيين تغير معامل انكسار الألياف بتغير درجة حرارتها $dn/dT$ بتكوين هدب فيزو للتداخل الضوئى لمنطقة من الشعيرة مغمورة فى سائل موضوع فى إسفين ضوئى وذلك عند درجات الحرارة .... $T_1, T_2$ ، 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 $n_L$ عند كل من درجتى الحرارة $T_2, T_1$. وكانت نتيجة قياس $dn / dT$ لألياف الاكريلك تساوى ٣,٣ × ١٠^-٤ / درجة مئوية – Barakat and El-Hennawy,– وقيست هذه القيم لألياف الدرالون المشععة بأشعة جاما (٢٢,٦ ميجاراد) تحت ضغط منخفض Hamza and Mabrouk,– 1988 – وكانت النتيجة كالآتى فى مدى درجات الحرارة من ٢٦ إلى ٣١ ١/٢°م :

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

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

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

Interferometric investigations of opto-mechanical properties of fibres :

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

ولقد طور "Kuhn and Grün" (١٩٤٢) نظرية تعطى العلاقة بين التركيب الجزيئى للبلمرات أحادية المحور uniaxially oriented polymer وخواصها الضوئية المتباينة optical anisotropy .

كما قدم "de Vries" (١٩٥٩) تحليلا للعلاقة بين الانكسار المزودج ونسبة السحب draw ratio فى حالة الألياف التركيبية .

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

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

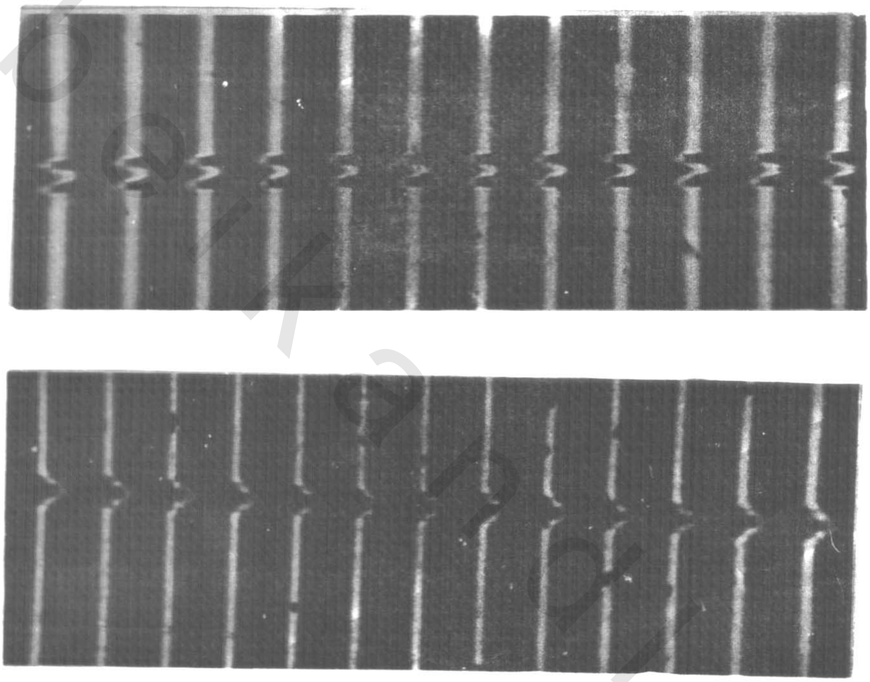
كما درس "Hamza and Kabeel" (١٩٨٧) الخواص الضوئية المتباينة لألياف البولى بروبيلين وتغيرها بتغير نسبة سحب الشعيرات .

ويبين الشكلان (٦/١٩) ، (٦/٢٠) خرائط لهدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد عند نفاذ الأشعة ، وذلك لألياف البولى بروبيلين المشدودة بنسبة سحب ٣ ، ٤ على الترتيب ، وكان الضوء مستقطبا واهتزازاته فى اتجاه محور الشعيرة وكذلك فى الاتجاه العمودى علي هذا

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

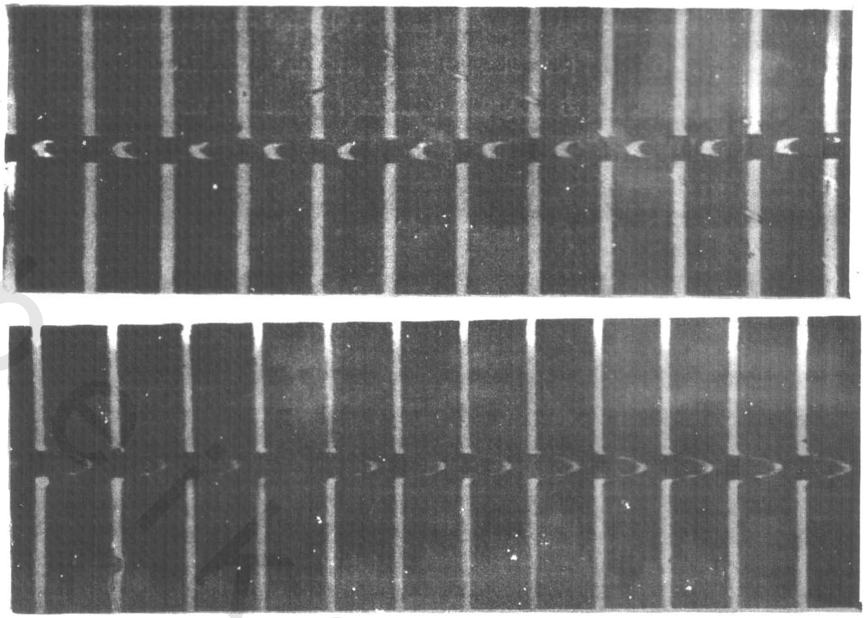
ويبين الشكل رقم (٦/٢١) تركيب جهاز دقيق لقياس الخواص الضوئية - الميكانيكية Opto-mechanical للألياف - (Hamza et al., ١٩٨٧) .

أ

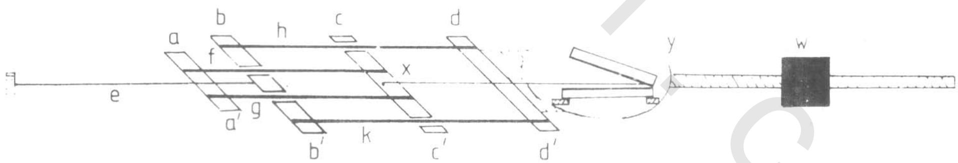


ب

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



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




شكل رقم (٦/٢١) : رسم تخطيطى لجهاز شد aá 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 طرفى الشعيرة ، w كتلة قابلة للحركة لجعل الجهاز مستقرا ، y مقياس للتداخل الضوئى . (من Hamza et al., 1987)

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

يقاس معدل تغير معامل انكسار الألياف للضوء بالنسبة للتغير فى طول موجة الضوء $dn_a/d\lambda$ بطرق التداخل الضوئى ، وذلك بتطبيق هدب التداخل المتعدد لفيزو أو تطبيق هدب تساوى الرتبة اللونية على الألياف . وتؤدى كلتا الطريقتين إلى تعيين الثوابت B, A لمعادلة « كوشى » للتفرق الضوئى Cauchy's dispersion formula :

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

وعند تطبق هدب فيزو للتداخل الضوئى تستخدم أطوال موجية مختلفة كمصادر للضوء الذى يسقط على إسفين ضوئى يحتوى على سائل غمرت فيه شعيرة من الألياف ، وتتكون خريطة لهدب التداخل الضوئى لكل طول موجة . ويصدر عن مصباح الزئبق أو مصباح الزئبق - كادميوم عدد مناسب من الخطوط الطيفية التى تعطى الطول الموجى المطلوب باستخدام مرشح ضوئى مناسب .

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

ويمكن تعيين قيمتى الثابتين B, A لمعادلة « كوشى » للتفرق الضوئى فى حالة التفرق العادى normal dispersion ، أى عندما تكون العلاقة بين $n_a$ ,$^1/_{\lambda^2}$ تمثل خطا مستقيما .

وطبق "Hamza and Mabrouk" (١٩٨٨) طريقة فيزو على ألياف الدرالون المشععة بأشعة جاما وبجرعة إشعاعية مقدارها ٢٢,٥٥٩ ميجاراد مستخدمين الأطوال الموجية الصادرة من مصباح الزئبق ، وكان الضوء مستقطبا واهتزازاته فى الاتجاه الموازى على محور الشعيرة ، وتم حساب قيمتى ثابتى معادلة « كوشى » :

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

## ٦/٥/٥- هدب تساوى الرتبة اللونية : Fringes of equal chromatic order

بإسقاط هدب فيزو للتداخل الضوئى المتعدد التى تم الحصول عليها بالطريقة التى سبق

ذكرها على فتحة المطياف prism or grating spectrograph ، واستبدال المصدر الضوئى أحادى اللون بمصدر ضوئى أبيض (pointolite) ، وبضبط حافة الإسفين الضوئى لكى تكون موازية لفتحة المطياف – تتكون هدب تساوى الرتبة اللونية وتظهر على هيئة خطوط مستقيمة فى منطقة السائل (Tolansky, 1960) . وعندما تعبر هذه الهدب الشعيرة تحدث إزاحات تختلف باختلاف طول موجة الضوء وباختلاف مستوى استقطاب اهتزازات الضوء (مواز أو عمودى على محور الشعيرة) .

ويوضح الشكل (٣/٦) – السابق – النظام البصرى المستخدم للحصول على هدب تساوي الرتبة اللونية (FECO) ، وعندما لاتعانى الهدبة أية إزاحة عندما تعبر الشعيرة يدل ذلك على أن معامل انكسار مادة الشعيرة $n_a$ يساوى معامل انكسار السائل $n_L$ عند طول موجة الضوء $\lambda_1$ أى حالة مضاهاة . وعند تغيير درجة الحرارة قليلا فإن المضاهاة بين معاملى انكسار السائل والشعيرة تتم عند طول موجى آخر $\lambda_2$ ، ويتم رسم منحنيات تفرق السائل للضوء فى المدى المستخدم من الأطوال الموجية ودرجات الحرارة بين $T_2, T_1$ وذلك باستخدام مقياس معامل الانكسار ومنظم لدرجات الحرارة Thermostat ومصدر ضوئى أحادى طول الموجة . ويمكن تعيين معامل انكسار مادة الشعيرة $n_a$ عند الطول الموجى المطلوب وذلك من هذه المنحنيات ، ويمكن كذلك تعيين ثابتى معادلة « كوشى » للتفرق الضوئى عندما يكون هذا التفرق عاديا normal dispersion . ولقد طبق "Barakat and Hindeleh" (١٩٦٤) هذه الطريقة على ألياف رايون الفسكوز وتم حساب ثابتى كوشى ، وكانت النتيجة كما يلى :

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

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

وقد نشر "Hamza" (١٩٨٦) ملخصا شاملا لتطبيقات هدب فيزو للتداخل الضوئى وهدب تساوى الرتبة اللونية على الألياف – جدول رقم (١/٦) – ونوصى بالرجوع إلى المراجع الاصلية المذكورة فى 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 $7.5 \times 10^{-5}$ $°C^{-1}$ |
| 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, $n^{\parallel} = 1.518$, $n^{\perp} = 1.519$ and $\Delta n = -0.001$ at 35°C For camel-hair fibres, $n^{\parallel} = 1.559$, $n^{\perp} = 1.546$ and $\Delta n = 0.013$ at 21.5°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 $n_a^{\parallel}$ and $n_a^{\perp}$ 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 Muliple- Beam Interferometry (Oxford : Clarendon)
Tolansky S 1960 Surface Microtopography (London : Longmans, Green)
de vries H 1959 J. Polym. Sci. **34** 761