

تأثير نصف قطر الانحناء على قياس الانكسار

الثنائي النمطي لليف البصري أحادي النمط

ميامي عبد اللطيف محمد

الجامعة المستنصرية / كلية العلوم / قسم الفيزياء

الخلاصة

تمت دراسة تأثير نصف قطر الانحناء على قياس الانكسار الثنائي النمطي، إذ تم أخذ ليف بصري أحادي النمط نصف قطره الخارجي ($105\mu\text{m}$) لف على أسطوانة ذات أنصاف أقطار مختلفة مداها (29 ، 40 ، 70 mm) للحصول على انكسار ثنائي ضعيف بالليف وبعدد لفات مختلفة من الليف البصري . بينت نتائج البحث انه كلما زاد نصف قطر الانحناء قل مقدار الانكسار الثنائي بالليف وان العلاقة بين طول الانحناء والانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء خطية لا أنصاف الأقطار ذاتها، كما تم دراسة العلاقة بين معكوس مربع نصف قطر الانحناء والانكسار الثنائي النمطي الناتج عن الانحناء وكانت العلاقة خطية بالنسبة لأنصاف أقطار الانحناءات الكبيرة وانحراف بسيط عن الخطية لا أنصاف أقطار الانحناءات الصغيرة.

Abstract

The curvature of radius effect on modal birefringence for single- mode optical fiber has been stndeed and were taken outer radius ($105\mu\text{m}$) coiled on a former for different radii ranging (29 ,40,70 mm) to induced weakly birefringence in fiber with different turns number of optical fiber optic. Show The result has been obtained from research has showed that when the curvature of radius increased, the modal birefringence magnitude decreased. The relationship between the bend of length and the bending Birefringence was linear for the same radii .Also , the relationship between the reciprocal square of the bend radius and the bend of birefringence has been studied was linear for large bend radii and the slight deviation from linearity for the small bend radii.

المقدمة

إن الليف أحادي النمط يمتلك نمطين منتشرة باستقطابين خطيين متعامدين أحدهما باتجاه المحور السريع (X) والثانية باتجاه المحور البطئ (Y), ففي الألياف المثالية (ideal fibers) بتناظر دائري تام، النمطين تكون منحلة ومنتشرة بسرعة طور متماثلة $\beta_x = \beta_y$ وأنهما بنفس الطور [1] في الألياف العملية (Practical fibers) التي تمتلك تناظراً دائرياً غير تام ترفع من الانحلال لهذين النمطين إما بتأثيرات الإجهاد المتبقي الناتج عن عملية التصنيع [2]، حيث إن المواد المستخدمة في الليف البصري تمتلك معاملات تمدد حراري مختلفة لذا فإن أي تغير في درجة الحرارة يولد إجهاداً داخلياً. أو بتأثيرات الشكل حيث إن المقطع العرضي لليب يكون بيضوياً أكثر مما هو دائري فكلما التأثيرين ينتج عنه اختلاف لسرع الطور واختلاف بمعاملات الانكسار لهذين النمطين [3]، المحور الذي يملك أكبر سرعة طور (أقل معامل انكسار) يعرف بالمحور السريع والمحور الذي يملك أقل سرعة طور (أي أكبر معامل انكسار) يعرف بالمحور البطئ لذلك الليف البصري سيسلك سلوك وسط ذو انكسار ثنائي نمطي (model Birefringence) [4].

الدراسات السابقة

في عام (1980) قام كل من (R. Ulrich) و (S.C. Rashleigh) و (W. Eickhoff) بدراسة الانحناء المحدث انكسار ثنائي في ليف بصري أحادي النمط [5]، وفي العام نفسه قام (A.M. Smith) بدراسة تأثير الانحناء والالتواء المحدث انكسار ثنائي في الليف البصري أحادي النمط [6] وكذلك في العام نفسه قام كل من (S.C. Rashleigh) و (R. Ulrich) بدراسة الانكسار الثنائي العالي لليف البصري أحادي النمط ملفوف تحت تأثير الشد [7]، أما في عام (1981) قام كل من (B.Y. Kim) و (S.S. Choi) بقياس الاستطارة المرتدة للانكسار الثنائي النمطي المحدث انحناء في الليف البصري أحادي النمط

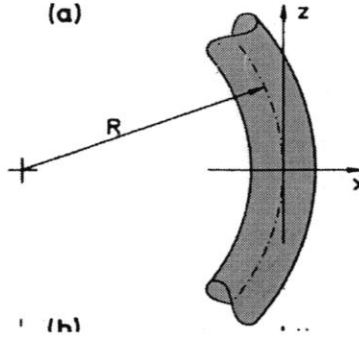
[8]. وفي عام (1982) قام (W. Eickhoff) بدراسة الإجهاد المحدث في الليف البصري أحادي النمط [9]. إما في عام (1983) قام كل (M. Barlow) بدراسة دوران مستوى الاستقطاب في الألياف البصرية ذات الانكسار النمطي الواطئ بتأثير الانحناء [11]. أما في عام (1986) قام كل من (A. Blake) و (J.N. Kim) بدراسة تقارن النمط البصري باستخدام الانحناءات الدقيقة [12]. وفي عام (1989) قام كل من (L. Faustini) و (G. Martini) بدراسة خصائص الانحناءات الدقيقة في الليف البصري أحادي النمط من العيوب المحدثه اصطناعيا [13]. إما في عام (1990) قام كل من (Bowron) و (P. A. Mohamed) باستخدام تقنية (Micromachining) لدراسة الانحناءات الصغيرة جدا في مجسات الليف البصري [14]. كذلك في العام نفسه قام كل من (C. Goyal) و (R.L. Gallawa) بدراسة طريقة جديدة للأنماط المختلفة في دليل المويحي الخطي للانحناء [15]. إما في عام (1997) قام كل من (F. El-Diasty) بدراسة خسارة الانحناء في الليف البصري أحادي النمط [16]. وفي عام (1999) قام (F. El-Diasty) باستخدام جهاز قياس التداخل لحساب الإجهاد الذي يحدث داخل الليف نتيجة الانحناء ومنه حساب الانكسار الثنائي النمطي [17]. أما في عام (2002) قام (M. Hummadi) بدراسة تجريبية لتأثير الانكسار الثنائي على انتقال الضوء المتشاككة خلال الليف البصري وكذلك دراسة انحناء الليف البصري لأقطار معينة [18]. وفي عام (2003) قامت (M. A. A L) و (lateef) بدراسة تأثير الانكسار الثنائي على الطول الموجي في الليف البصري وكذلك دراسة انحناء الليف البصري لقطر ثابت [19]. أما في عام (2004) قام كل من (N.P. Thomas) و (H. A. Hassan) بدراسة تأثير الانحناء في الليف البصري أحادي النمط .

الجزء النظري

يكون تأثير الانحناء في الألياف البصرية أساسه تأثيرات الإجهاد (A stress effects) هناك ثلاثة تأثيرات لمصادر الانحناء المحدث انكسار ثنائي

بالليف، الانحناء المحدث إجهاد (stress) ، الانحناء المحدث اهليجية القلب (core Elliptical) وتأثيرات هندسية دليل الموجه (waveguide geometry) effect) التأثيرين الأوليين يكون أساسهما ميكانيكياً ناتجاً عن إجهاد ضاغط جانبي (a lateral compressive stress) ينشأ عن انحناء الليف تحت حالة التشوه الكبير يعبر عنه بالعلاقة الآتية[5]:

$$stress = KEx = \frac{Ex}{R} \dots \dots \dots (1)$$



شكل (1) يبين هندسة انحناء الليف [7,6]

حيث إن

$$K=1/R$$

R : نصف قطر الانحناء للليف

E: معامل يونك للسيليكا

X: المسافة من مركز الليف مقاسه باتجاه نصف القطر

نلاحظ أن إجهاد الطبقة الخارجية للليف يكون إجهاد شد (a tensile stress) بين إجهاد الطبقة الداخلية للليف يكون إجهاداً ضاغطاً (a compressive stress) نتيجة لذلك الطبقة الخارجية تجهد بالضغط باتجاه نصف القطر R على الطبقة الداخلية .

يسبب هذا الضغط بقوة على محور الليف انكساراً ثنائياً يشبه الانكسار الثنائي بتأثير قوة جانبية خارجية (an external lateral force) شكل (1) [21,5]. نلاحظ من معادلة (1) طالما X/R صغير جداً فإن المطاوعة المرافقة تكون صغيرة أيضاً بسبب تماثل الليف عبر المقطع عندما يكون الليف المستقيم خاضعاً إلى إجهاد شد خالص (a pure tensile stress) والذي يسبب مطاوعة محورية (an axial strain) فلا يوجد أي تأثير للانكسار الثنائي المحدث وكذلك بسبب تماثل الليف أيضاً لا يوجد اعتماد للرتبة الأولى للانكسار الثنائي المنحني الناتج عن تشوه اهليجي لب الليف على K ، لأن في هذه الرتبة التشوه اللب يكون صغير جداً ومقارباً إلى تماثل رباعي . أما بالنسبة للمصدر الثالث للانكسار الثنائي النمطي المنحني الناتج عن اختلاف في تعديل (modification) ثوابت الانتشار للضوء المستقطب بزاوية مستقيمة إلى مستوى الانحناء بسبب تغير في هندسة دليل الموجه (waveguide geometry) ، إذ إن التغير بثوابت الانتشار للأنماط المستقطبة تعتمد على أساس نظرية الاضطراب الكهرومغناطيسية (electromagnetic perturbation theory) ينتج عنه انكسار ثنائي ، كذلك نتيجة للتماثل عبر المقطع لدليل الموجه [7] . التغير بثوابت الانتشار يتناسب مع $(1/R^2)$ طالما $(1/R)$ ينتهي إلى تماثل الليف ، لذلك الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء B_b هو رتبة ثانية لتأثير الإجهاد البصري المرن

$$\beta_b \propto k^2 r^2 \dots \dots \dots (2)$$

حيث $K=1/R$: انحناء لفة نصف قطرها R

r : نصف قطر الليف الخارجي

وبالنسبة لليف البصري الذي تكون مادته من السيليكا (silica)

فان الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يعطى بالعلاقة الآتية [5]:

$$\beta_b = \pi \frac{Ec}{\lambda} k^2 r^2 \dots \dots \dots (3)$$

إذا إن :

E: معامل يونك للسيليكا $E=7.75 \times 10^9 \text{ Kg / m}^2$

C: معامل المرونة البصرية $C=-3.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{Kg}$

$\lambda: 0.633 \mu\text{m}$

$$\beta_b = 7.7 \times 10^7 k^2 r^2 . \text{deg/m} \dots \dots \dots (4)$$

إن الإشارة السالبة في المعادلة أعلاه تعني أن المحور السريع للانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يكون متطابق مع نصف قطر الانحناء. أما المحور البطيء يكون عمودياً على مستوى الانحناء [6].

الجزء العملي

تم استخدام ليزر (هليوم - نيون He-Ne Laser) من صنع شركة (Phywe) يعمل بموجة مستمرة (CW) وبقدرة ضوئية (ImW) ويعمل بالنمط الأساسي (TEM₀₀) تتبعث منه حزمة أحادية الطول الموجي لونها احمر من الطيف الكهرومغناطيسي (632.8nm). حيث إن الطول الموجي المستخدم هو ضمن مديات تردد القطع لليف البصري المستخدم في دراسة الانكسار الثنائي النمطي لكي يحقق شرط القطع (Cut off condition) لليف أحادي النمط [22, 23]. وأيضاً تم استخدام في هذا البحث ليف بصري أحادي النمط يمتاز بمرونة عالية حيث قطر اللب له (5μm) وقطر الليف الخارجي له (210μm) وطول موجة القطع $\lambda_c = 630\text{nm}$ وبفتحة عددية $N.A.=0.098$ ، ثم استخدام مستقطب للتحكم باتجاه مستوى الاستقطاب عند دخول الضوء إلى الليف البصري وعند خروج الضوء في الليف البصري استخدم لوح ربع الموجه وذلك لتحويل الاستقطاب من بياضوي إلى خطي وتم وضع محلل خلف لوح ربع الموجه وذلك لتعيين اتجاه

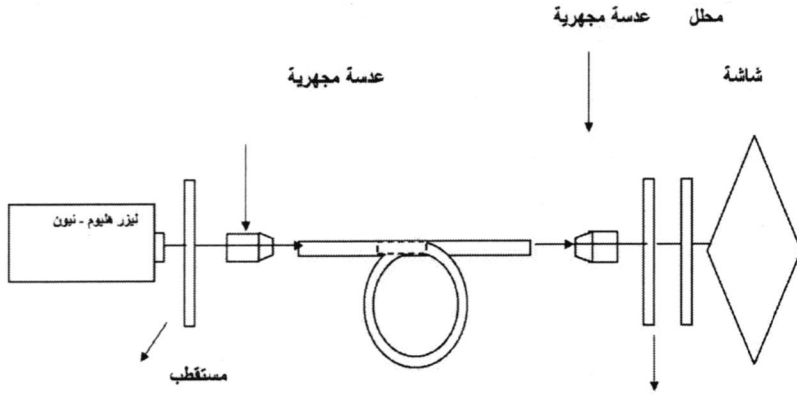
الاستقطاب ومنه يمكن معرفة قيمة الانكسار الثنائي [23,24] ، و تم استخدام بعض الأجهزة البصرية كالعَدسات المجهرية (Microscope objective)، حاملات دقيقة لليف البصري أحادي النمط لتسهيل عملية الترصيف (Micropositioner)، مسطرة بصرية (Optical bench)، حاجز Screen.

تم استخدام المنظومة المبينة في الشكل (2) لدراسة تأثير نصف قطر الانحناء على قياس الانكسار الثنائي النمطي وقمنا بلف الليف على اسطوانات ذات أنصاف أقطار مختلفة مداها (70, 40,29mm) وبعدد لفات مختلفة ونهتم بالتأكد من انعدام أي عملية التواء خلال عملية اللف ومن ثم تغير مستوى الاستقطاب للضوء الداخل إلى الليف البصري بواسطة المستقطب وتدوير المحلل إلى أن نحصل على اختفاء تام للضوء ثم نسجل زاوية المحلل (θ_A) وزاوية المستقطب (θ_P) حيث تمثل زاوية المستقطب لأحد المحورين الأساسيين اللذين إذا دخل الضوء المستقطب بموازاة أحدهما فإنه سوف يخرج بنفس مستوى الاستقطاب يضاف إليه (45°) على زاوية المستقطب (θ_P) فيكون الضوء الخارج مستقطباً ببيضويًا لذا نضع لوح ربع موجه الذي يحول الاستقطاب من بيضوي إلى خطي ثم يدور المحلل إلى أن نحصل على اختفاء تام لهذه الزاوية ب (θ'_A) وحساب الزاوية (α) يمكن إيجادها بالفرق بين زاويتي (θ'_A) و (θ_A) كما مبين في العلاقة الآتية :

$$\theta'_A - \alpha = \theta_A \quad (5)$$

علما أن الزاوية (α) تمثل نصف زاوية الإعاقاة الخطية Linear retardation

$$\alpha = 2\phi \quad (6)$$



لفة من الليف البصري أحادي النمط

لوح ربع موجة ($\lambda/4$)

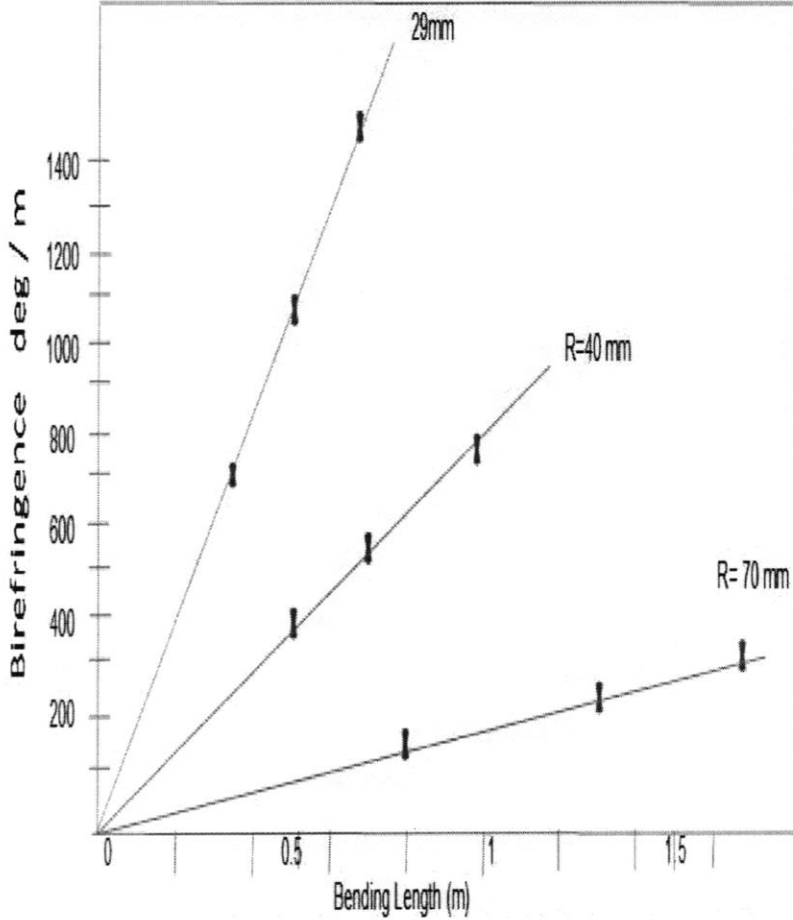
جدول (2) يبين قيم الانكسار الثاني لنصف قطر لفة (40 mm) عند الطول الموجي ($\lambda=632.8$ nm)

R (mm)	$1/R^2$ (m^{-2})	$L=ntu+r(m)$	θ_P (deg)	θ_A (deg)	θ_P (deg)	θ_A (deg)	α	$\langle \theta \rangle$	ϕ (deg)	$\Delta\phi$ (deg)	ΔL (m)	$\Delta\beta = \frac{\Delta\phi}{\Delta L}$ (deg/m)	$L_b = \frac{360}{\Delta\beta}$ (m)	$B = \left(\frac{\Delta\beta\lambda}{360} \right) \times 10^{-6}$	
40	625	$4\text{turn}+0.2=1.2$	35	165	80	390	225	22	450	164	0.25	656	0.54	1.15	
			125	140	170	365	225	5							
			215	56	260	280	224								
			309	29	345	255	226								
		$3\text{turn}+0.2=0.95$	50	227	95	370	143	14	286	140	0.25	560	0.64	0.98	
			140	187	185	330	143	3							
			230	122	275	265	143								
			320	77	322	220	143								
		$2\text{turn}+0.2=0.7$	60	270	179	345	75	73	146	100	0.25	400	0.9	0.70	
			129	235	244	310	75								
			244	180	325	252	75								
			270	133	360	203	74								
		$1\text{turn}+0.2=0.45$	80	310	125	332	22	23	46						
			170	268	215	290	22								
			260	222	305	246	24								
			315	186	360	210	24								

النتائج و المناقشة

تم في هذه الدراسة حني الليف البصري على اسطوانة ذات أنصاف أقطار مختلفة وبعدها لفات مختلفة من الليف وقمنا بإيجاد الانكسار الثنائي النمطي لكل نصف قطر ، إذ إن قيمة الانكسار الثنائي النمطي تزداد كلما قل نصف قطر اللفة وهذا ما تبينه الجداول (3 - 1) نلاحظ الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يتناسب عكسيا مع مربع نصف قطر الانحناء (R) وطرديا مع نصف قطر الليف الخارجي (r) و يلحظ كذلك من خلال الشكل (3) يبين لنا العلاقة بين الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء وطول الانحناء على أنها خطية ، وان مقدار الانكسار الثنائي عند أربع لفات اكبر من مقداره عند لفة واحدة دلالة على انه كلما كان طول الانحناء اكبر كلما كان مقدار الانكسار الثنائي عن الانحناء اكبر ولأنصاف أقطار مختلفة ، وقمنا بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها من القياسات العملية بالحسابات النظرية من العلاقة (4) نجد أن قيم الانكسار الثنائي مختلفة كما موضح في الجداول (3 - 1) فعند الطول الموجي ($\lambda=632.8\text{nm}$) لنصف قطر الانحناء (29 mm) القياسات العملية هي (1038.8deg/m) وان النتيجة النظرية التي حصلنا عليها من العلاقة (4) هي (1008.72deg/m) ونسبة الخطأ المئوية بين نتائج القيم النظرية والعملية هي (3.1%) لأن المحور السريع للانكسار الثنائي الذاتي لا يكون ضمن مستوى اللف وحيث أن سوف يؤثر في قيمة الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء، إما عند نصف قطر الانحناء (40mm) كانت القياسات العملية هي (538.66deg/m) وتمت مقارنتها بالحسابات النظرية من العلاقة (4) فكانت (530deg/m) وان نسبة الخطأ المئوية بين نتائج القيم النظرية والعملية والنظرية هي (1.55%) وهذه القيمة تكاد تكون قليلة مما يدل على شبه تطابق بين نتائج القياسات العملية والنظرية وعند نصف قطر الانحناء (70mm) كانت القياسات العملية هي (175.7deg/m) أما النتيجة النظرية حصلنا عليها من

العلاقة (4) فكانت (173.09deg/m) وان نسبة الخطأ بين نتائج القيم العملية والنظرية تكاد تكون قليلة.

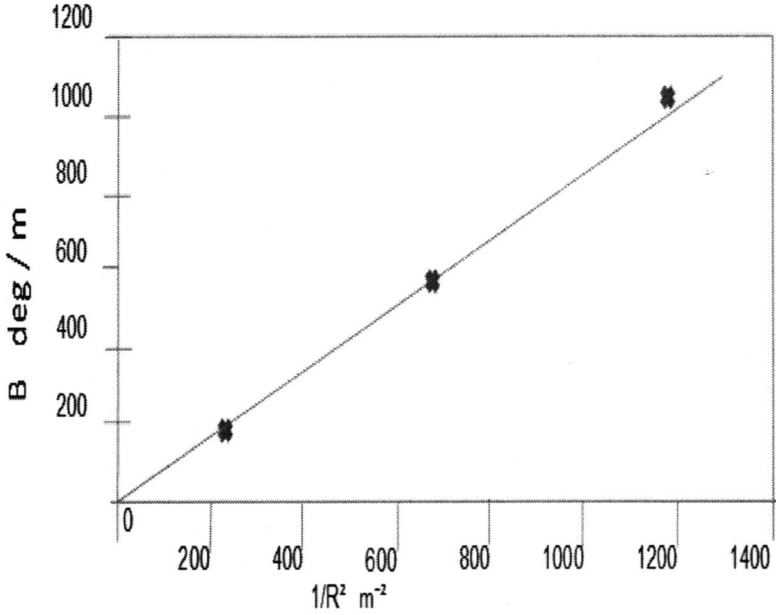


شكل (3) العلاقة بين طول الانحناء والانكسار الثنائي النمطي الناتج عن

الانحناء ولأنصاف أقطار مختلفة وعند الطول الموجي $\lambda=(632.8nm)$

كذلك تم دراسة العلاقة بين معكوس مربع نصف قطر الانحناء والانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء نلاحظ من الشكل (4) أن معكوس مربع نصف قطر الانحناء يتغير خطياً مع الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء ، إذ إن الانحراف البسيط عن الخطية لا نصاب أقطار الانحناءات الصغيرة يكون سببه صعوبة

حفظ الليف بتماس قريب مع الشكل الاسطواني . أما بالنسبة لأنصاف أقطار الانحناءات الكبيرة الانكسار الثنائي الذاتي في الليف لا يكون صغيراً نسبياً لهذا تكون هذه التأثيرات خطية [9,6] .



شكل (4) العلاقة بين الانكسار الثنائي النمطي الناتج عن الانحناء ومعكوس مربع نصف قطر الانحناء وعند الطول الموجي $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ الاستنتاجات

عندما يكون الليف البصري في وضع الانحناء يصبح محور الانكسار الثنائي بزاوية مستقيمة مع مستوى الانحناء ومقدار الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء بتغيير خطيا مع معكوس مربع نصف قطر الانحناء ومصدر هذا التأثير التغير في ثابت الانتشار للأنماط المستقطبة خطيا والمتعامدة في الليف الناتجة عن تغير في هندسة دليل الموجة وإن العلاقة بين الانكسار الثنائي النمطي وطول الانحناء هي علاقة خطية ، فكلما زاد عدد لفات الليف يزداد طول الانحناء وحينئذ يزداد الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء . فعند عدد اللفات الصغيرة لليف البصري

يصبح مقدار الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء مقارب إلى الانكسار الثنائي الذاتي بينما عند اللفات الكبيرة لليف مقدار الانكسار الثنائي بتأثير الانحناء يكون اكبر من مقدار الانكسار الثنائي الذاتي لذلك الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء هو رتبة ثابتة لتأثير الإجهاد البصري ويستفاد منه في مقياس التداخل البصري للليف (Fiber-optical interferometers).

REFERENCES

- 1- J.M. Senior, "optical fiber communications: Principles and practice", prentice-Hall International .Inc .,London,(1992).
- 2- M. Bron and E .Wolf, " principles of optics" , Edition ,Cambridge University Press ,U.K ., (1999).
- 3- G.P. Agrawal, " fiber-optic communication systems" , Wiley and Sons, Inc. Rochester, (2002).
- 4- D.R. Goff " Types of optical fiber", Contact [Webmaster @ www. Fiber-optics. Info](mailto:Webmaster@www.Fiber-optics.Info) ,(2004).
- 5- S.C. Rashleigh,R. Ulrich and W. Eickhoff, " Bending –induced birefringence in single –mode fiber ",Opt.Lett.,Vol.5,No.6,pp.(273-274),(1980).
- 6- A.M. Smith," Birefringence induced by bent and twist in single-mode fiber", Appl.Opt., Vol.19,No.15,PP.(2606-2611) ,(1980) .
- 7- R. Ulrich and S.C. Rashleigh, " High birefringence in tension-coiled single –mode fibers", Opt.Lett.,Vol.5,NO.8,PP.(354-356),(1980) .
- 8-S.S.Choi and B.Y. Kim, "Backscattering measurement of bending induced birefringence in single –model fibers ",Electron.Lett.Vol.17,No.1,PP.(193-194), (1981).
- 9-W.Eickhoff, "Stress-induced single-mode fiber ",Opt.Lett.,Vol.7,No.12, PP. (629-631) ,(1982).

- 10-D.Payne and A .Barlow, "The stress-optic effect in optical fiber ",IEEE J.Quant.Elect.,Vol.19, No.5,PP.(834-839) ,(1983)
- 11-J.N.Ross, "The rotation of the polarization in low birefringence mono-mode optical fibers to geometric effects ",Opt. & Quant. Elect. Vol.16, No.11,PP. (445-461), (1984).
- 12-J.N. Blake ,B. Y .Kim and H.J. Shaw, "Fiber –optic modal coupler using periodic microbending ",Opt .Lett.,Vol.11, No.3,PP.(177-179),(1986).
- 13-L.Faustini and G. Martini, "Microbending characterization of optical fiber from artificially induced deformation", Electron.Lett.Vol.25,No.23,PP.(1573-1574), (1989).
- 14-P.Bowron and A. Mohammed, , "Optical fiber microbends sensor micromachining techniques", , Electron.Lett.,Vol.20,No.8,PP.(513-515),(1990).
- 15-C.Goyal ,R.L .Gallawa and A.K. Ghatak, "Bent planar waveguide and whispering gallery modes :Anew method of analysis ",J. Light .tech. ,Vol.8,No.5,PP.(428-436), (1990) .
- 16-L.Faustini and G. Martini, "Bend loss in single-mode fiber" ,J. Light wave tech. Vol.5,No.4,PP.(671-679),(1997).
- 17-F.EL-Diasty , "Interference characterization of single-mode bent optical fiber" , Appl. Phys., Vol.7,No. 87,PP.(3254-3257),(1999).
- 18-M.K.Hummadi, "Birefringence effect on coherence light propagation in the single-mode optical fiber" ,M.S. Thesis ,college of Science ,AL-Mustansiriyah University, Iraq ,(2002).
- 19-M.A.AL-Lateef, "Wavelength effect on birefringence in the single-mode fiber optics " ,M.S. Thesis ,college of Science ,AL-Mustansiriyah University, Iraq ,(2003).
- 20-N.P.Thomas,H.A,Hassan andK.AL- Naimee, "Bending effect on the single mode optical fibers" ,Journal of laser (IJL),University of Baghdad, Iraq ,(2004).

21- L.C. Leo, "Bending Loss of polarization maintaining optical fiber ", Thesis of master of Engineering in Electrical Engineering and computer science at the Massachusetts Institute of Technology, (1996).

22- A.H. Cherin, " An Introduction to optical fibers", Mc Graw-Hill. Inc. London,(1983).

23- A. Hasegawa, " Theory of information transfer in optical fibers" optical fiber tech., Vol.10,No.10,PP.(150-120),(2004).

- "البصريات"، ترجمة د.احمد خيرى.جامعة القاهرة/ دار الفكر العربي للنشر والتوزيع (1998) ' 24

25- A.P. Arya, " Introduction to classical Mechanics", prentice Hall ,Inc .,Supper saddle River, New Jersey, (1998).