

تأثير طول الليف على قياس الانكسار الثنائي النمطي داخل الليف البصري أحادي النمط

ميامي عبد اللطيف محمد

قسم الفيزياء – كلية العلوم- الجامعة المستنصرية

الخلاصة

في هذا البحث تم قياس الانكسار الثنائي النمطي الذاتي لليف البصري أحادي النمط وبدون أي تأثير خارجي، إذا تم اخذ ليف بصري أحادي النمط ذو قطر لمادة اللب (5 μm) وقطر كلي (210 μm) ولعدة أطوال مختلفة من هذا الليف. بينت نتائج الدراسة التي حصلنا عليها من البحث بان مقدار الانكسار الثنائي النمطي لهذا الليف هو ($B=5.74 \times 10^{-7}$) وطول الضربة له ($L_b=1.09\text{m}$) والفرق بين ثابتي الانتشار للمحور السريع والبطيء هو ($\Delta \beta = 328 \text{ deg.m}^{-1}$).

ABSTRACT

In this research the intrinsic modal birefringence has been measured for single-mode optical fiber without any extrinsic effect. It was taken a single-mode optical fiber, the diameter of core material was (5 μm) and the total diameter was (210 μm) for different lengths of this fiber. Show the result has been obtained from research which the magnitude of modal birefringence of this fiber ($B=5.74 \times 10^{-7} \text{ deg.m}^{-1}$), beat length ($L_b=1.09\text{m}$) and the value of the difference in the propagation constants between the two axis the fast and the slow ($\Delta \beta=328 \text{ deg.m}^{-1}$).

INTRODUCTION

عند تقدم الضوء داخل الليف البصري أحادي النمط بتناظر دائري غير تام، فان النمط الأساسي HE_{11} سوف ينحل إلى مركبتين منفصلتين هما HE_{11y} و HE_{11x} باستقطابات متعامدة وعدم التماثل لمقطع الليف يسبب اخلافا كبيرا في معاملات الانكسار وسرع الطور لهذين النمطين الذين يمتلكان أستقطابين متعامدين (1) حيث المحور السريع (Fast axis) الذي يمتلك أكبر سرعة طور (أي أقل معامل انكسار) والمحور البطيء (Slow axis) الذي يمتلك أقل سرعة طور (أكبر معامل انكسار) ونتيجة لاختلاف الطور بين هذين النمطين يؤدي إلى اختلاف كبير في ثوابت الانتشار β_x و β_y لهذين النمطين لذا يسلك الليف سلوك وسط ذو انكسار ثنائي يسمى بالانكسار الثنائي النمطي (Modal Birefringence) (3,2)

الدراسات السابقة

Review of Literature
في عام (1978) قام كل من (Ramasway V) و (French W.G.) و (Standley R.D.) بدراسة تأثير التناظر اللادائري لليب الليف البصري على خصائص الاستقطاب فيه حيث استخدموا ليف بصري ذو مقطع عرضي قريب للشكل البيضاوي (4) وفي العام نفسه قامت هذه المجموعة أيضا بدراسة تأثير الاستقطاب في أطوال قصيرة من الليف البصري أحادي النمط (5). وفي عام (1982) قام (Rashleigh S.C.) بدراسة العلاقة بين الانكسار الثنائي النمطي والطول الموجي في الألياف ذات الانكسار النمطي العالي (6). وفي العام نفسه قام كل من (Payne D.N.) و (Barlow A.J.) و (Hansen.J.J.R.) بدراسة الانكسار الثنائي العالي والواطي في الألياف البصرية (7). وفي عام (1985) قام كل من (Ren.Z.B.) و (Robert.Ph.) و (Paratte.P.A.) بقياس الانكسار الثنائي الخطي في الليف البصري أحادي النمط للضوء المستقطب دائريا (8). أما في عام (1998) قام كل من (Huttner B.) و (Reeht J.) و (Gisin N.) و (Passy R.) و (Vonderweid J.P.) بقياس الانكسار الثنائي في الألياف البصرية للتردد المتشاكه بقياس دومان (9). وفي عام (1999) قام كل من (Escamilla BI.) و (Ku Zin E) و (Ayala)

(JmE) و (Laguna RR.) بطريقة جديدة لقياس الانكسار الثنائي الواطئ في الليف البصري (10). أما في عام (2000) قام كل من (Galtarossa A.) و (Palmieri L.) و (Schiano M.) و (Tambosso T.) لقياس طول الضربة وطول الاضطراب في الالياف البصرية أحادية النمط القصيرة (11). وفي العام نفسه قام كل من (Marshalla W.K.) و (Eyal A.) و (Li y.) بحساب الطول المعتمد على نمط الاستقطاب للرتبة العالية. وفي عام (2001) قام كل من (Galtarossa A.) و (Palmieri L.) و (Tambosso T.) بقياس طول الارتباط للانكسار الثنائي في ألياف أحادية النمط القصيرة (12). أما في عام (2002) قام محمد خضير بدراسة تأثير الانكسار الثنائي على انتقال الضوء المتشاكه خلال الليف البصري أحادي النمط (13).

الجزء النظري Theoretical Part

1- الانكسار الثنائي النمطي Modal Birefringence

أن الضوء المستقطب خطياً إذا دخل وسط ذو انكسار ثنائي فإنه سوف يخرج مستقطباً بيضوياً. ويعتمد هذا على اتجاه مستوى الاستقطاب الداخل إلى الوسط نسبة إلى المحور السريع أو المحور البطئ وكذلك على مقدار الانكسار الثنائي لهذا الوسط حيث إن قيمة الانكسار الثنائي هي كالاتي [15،14]:

$$B = \frac{(\beta_x - \beta_y)\lambda}{2\pi} \dots\dots\dots(1)$$

أن الفرق في سرعة الطور تؤدي بالليف إلى أن يظهر إعاقة خطية (Linear retardation) $\Phi(Z)$ والتي تعتمد على طول الليف البصري وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\Phi(Z) = (\beta_x - \beta_y) \cdot L \dots\dots\dots(2)$$

أن الضوء الداخل للليف البصري يصنع فيه مستوي الاستقطاب زاوية (45) مع احد المحورين الأساسيين وليكن (x) فإن الضوء المستقطب خطياً سوف يتحول فيه الاستقطاب من خطي إلى استقطاب دائري $(\phi = \pi/2)$. وبعدها سوف يتحول إلى استقطاب خطي عندما $(\phi = \pi)$ لكن بمستوى استقطاب متعامد مع المستوى الأصلي لاستقطاب الضوء الداخل. وهكذا تستمر الدورة إلى أن يعود مستوى الاستقطاب خطياً كما كان في البداية $(\phi = 2\pi)$. وان طول الليف البصري الذي تحصل فيه هذه الدورة الكاملة يدعى بطول الضربة (beat length) L_b كما مبين في الشكل (1).

$$L_b = \lambda / B \dots\dots\dots(3)$$

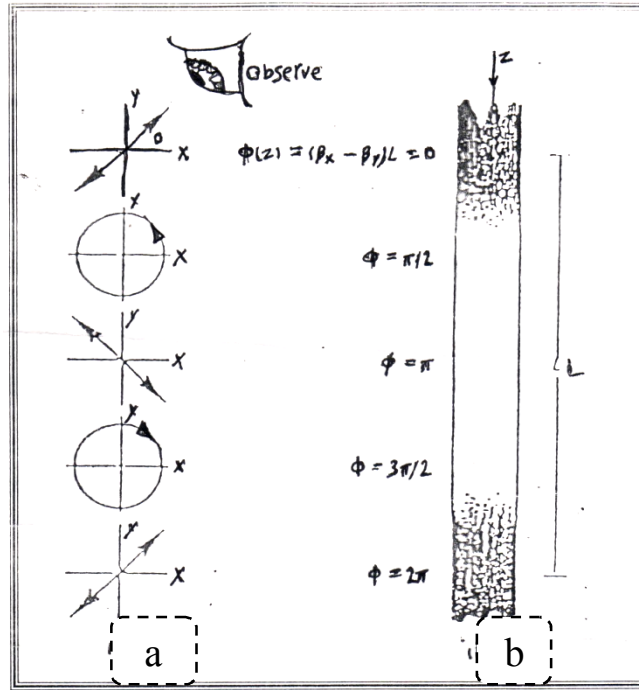
وبالتعويض عن قيمة B في المعادلة (1) نحصل على :

$$L_b = \frac{2\pi}{(\beta_x - \beta_y)} \dots\dots\dots(4)$$

وبتعويض المعادلة (4) في المعادلة (2) نحصل على Φ كدالة لطول الضربة (L_b) .

$$\Phi(L_b) = (\beta_x - \beta_y)L_b = 2\pi \dots\dots\dots(5)$$

أن طول الضربة يعرف بأنه طول الليف البصري الذي يحصل فيه تأخير في المحور البطئ عن المحور السريع بمقدار طول موجي واحد (15،14)



شكل 1- يبين طول الضربة لليف البصري احادي النمط (14).

(a) يمثل مستوى الاستقطاب بالنسبة للزاوية ϕ
 (b) يمثل توزيع الشدة لطول ضربة واحدة في ليف بصري.

2- العوامل الذاتية المسببة للانكسار الثنائي داخل الليف البصري هي:

أ- تأثير الشكل (Shape effect)

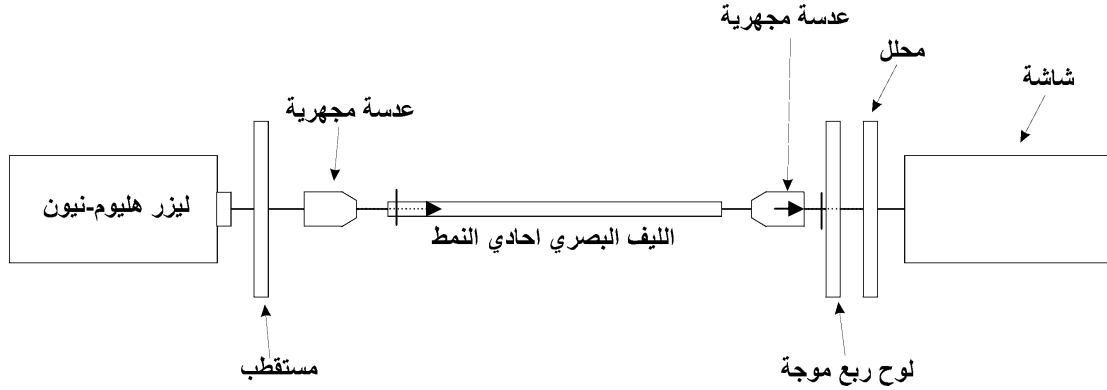
أن تأثير الشكل على الانكسار الثنائي هو أن يكون المقطع العرضي لليب بيضويًا أكثر مما هو دائري . حيث كلما زاد الشكل البيضوي كلما زاد الانكسار داخل الليف البصري وجعل الانكسار الثنائي النمطي بسبب تأثير المحور السريع والمحور البطيء ، حيث ان الشكل البيضوي لمقطع الليف يمتلك محورين أحدهما يدعى المحور الكبير (Major axis) والآخر يدعى المحور الصغير (Minor axis) ، لذا فإن المحور الصغير سيكون ثابت التقدم (β) له يختلف عن ثابت التقدم للمحور الكبير وهذا سوف يؤدي الى ظهور تأثير الانكسار الثنائي النمطي (16،17).

ب- تأثير الشوائب (Dopant effect)

أن المواد المستخدمة في صناعة الليف البصري تمتلك معاملات تمدد حراري مختلفة لذا فان إي تغيير في درجة الحرارة سوف يولد أجهاداً داخلياً وهذا بدوره سوف يؤثر على الانكسار الثنائي النمطي (18).

MATERIAL AND METHODS

تم استخدام المنظومة المبينة في الشكل (2) لدراسة الانكسار الثنائي النمطي الذاتي والتي تتكون من عدة أجهزة:



شكل-2: يمثل منظومة قياس الانكسار الثنائي النمطي الذاتي بدون إي تأثير خارجي (19)

• المصدر الضوئي Light source

في هذه الدراسة تم استخدام ليزر هليوم نيون (He – Ne Laser) يعمل بموجة مستمرة (CW) وبطول موجي مقداره (632.8 nm) وله قدرة ضوئية خارجية (ImW) ويعمل بالنمط الأساسي (TEM₀₀) حيث أن الطول الموجي لليزر المستخدم ضمن تردد القطع للليف البصري المستخدم في دراسة الانكسار الثنائي النمطي لكي يحقق شرط القطع (Cut off condition) لليف البصري أحادي النمط (20) .

• الليف البصري Optical Fiber

أستخدم في هذا البحث ليف بصري أحادي النمط يمتاز بمرونة عالية وخصائصه مبينة في جدول (1) .

جدول رقم -1: يبين المعلمات الرئيسية لليف البصري المستخدم (20).

المعلمة parameters	الليف البصري المستخدم
الفتحة العددية N.A.	0.098
قطر اللب (μm)	5
طول موجة القطع λc(nm)	630
قطر الليف (μm)	210

• المستقطب والمحل ولوح ربع الموجة

Polarizer and Analyzer and quartered Wave plate

ثم استخدام مستقطب للتحكم باتجاه مستوى الاستقطاب عند دخول الضوء إلى الليف البصري وعند خروج الضوء من الليف البصري استخدم لوح ربع الموجة وذلك لتحويل الاستقطاب من بيضوي إلى خطي و ثم وضع محلل خلف لوح ربع الموجة وذلك لتعيين اتجاه الاستقطاب ومنه يمكن معرفة قيمة الانكسار الثنائي النمطي (21)

- عدسات مجهرية (Microscope Objective) وبفتحة عددية أقل من الفتحة العددية للليف البصري .

- حاملات دقيقة لليف البصري لتسهيل عملية الترصيف (Micropositioner)

- مسطرة بصرية (Optical bench)

- حاجز Screen

في هذه المنظومة تم استخدام الليف البصري بأطوال مختلفة وضعه بشكل مستقيم ومن ثم تم تغيير 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 بمستوى الاستقطاب نفسه وبعدها نضيف زاوية (45°) على زاوية المستقطب (θ_p) فيكون الضوء الخارج مستقطباً ببيضويةً لذا نضع لوح ربع موجه الذي يحول الاستقطاب من بيضوي إلى خطي ثم ندور المحلل إلى إن نحصل على اختفاء تام فنرمز لهذه الزاوية ب (θ'_A) ثم نقوم بعدها بحساب الزاوية (α) والتي تمثل الفرق بين (θ'_A) و (θ_A) كما مبين في العلاقة الآتية :

$$\alpha = \theta'_A - \theta_A \dots\dots\dots (6)$$

علماً أن الزاوية (α) تمثل نصف زاوية الإعاقة الخطية (ϕ Linear retardation) وكما مبين في العلاقة الآتية :

$$\phi = 2\alpha \dots\dots\dots (7)$$

جدول 2- تأثير طول الليف على قياس الانكسار الثنائي النمطي الذاتي من دون أي تأثير خارجي عند الطول الموجي ($\lambda=632.8\text{nm}$)

L (m)	θ_p	θ_A	θ'_p	θ'_A	α	$\langle \alpha \rangle$	ϕ deg	$\Delta\beta = \frac{\phi}{L}$ (deg/m)	$L_b = \frac{360}{\Delta\beta}$ (m)	$B = \left(\frac{\Delta\beta \cdot \lambda}{360} \right)$ $\times 10^{-7}$
1.3	40 140 235 335	70 155 240 340	95 185 280 380	129 205 285 25	50 45 45 45	46.25	92.5 4360= 452.5	348	1.03	6.11
1.1	35 130 210 305	65 152 240 335	80 175 255 350	70 155 245 340	185 183 185 185	184.5	369	335	1.07	5.89
0.92	25 118 205 295	60 150 239 333	70 163 250 340	30 120 211 305	150 150 152 152	151	302	328	1.09	5.77
0.77	15 105 190 285	72 152 235 315	60 150 235 330	195 275 360 80	123 123 125 125	124	248	322	1.11	5.66
0.62	10 100 205 295	81 175 262 353	55 145 250 340	180 273 360 90	99 98 98 97	98	196	316	1.13	5.55
0.45	5 95 178 310	109 164 249 328	45 140 223 355	175 230 315 50	66 66 66 82	70	140	311	1.15	5.46

حيث إن:

L : طول الليف

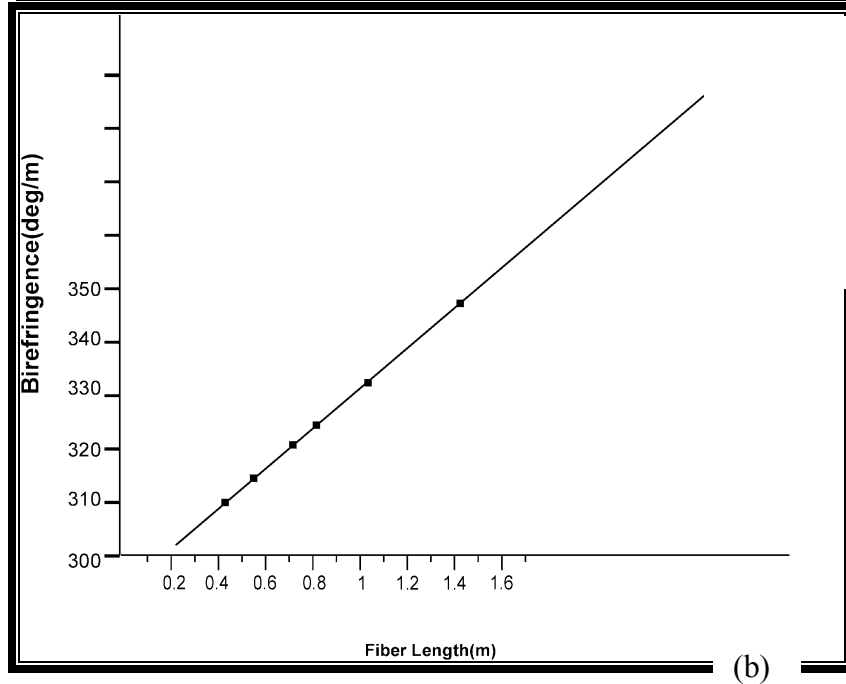
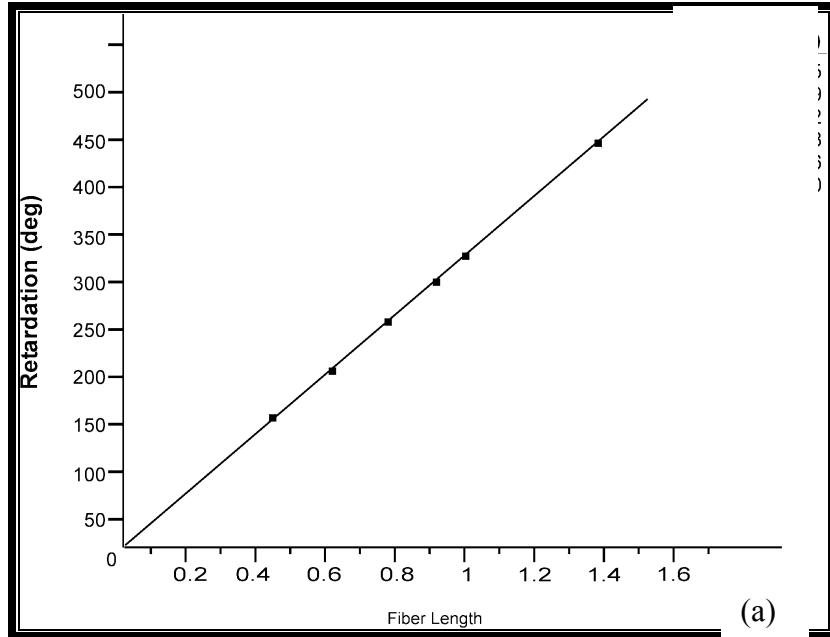
θ_p° : زاوية المستقطب الموازية لأحد المحورين الأساسيين لليف البصري

θ_A° : زاوية المحلل

$$\left[\theta_p'^\circ = \theta_p^\circ + 45 \right]$$

$\theta_p'^\circ$: زاوية المستقطب مضاف إليها 45

α : نصف زاوية الإعاقة الخطية



مع الانكسار الثنائي النمطي عند الطول (b) مع الإعاقة (a):3 يبين تغير طول الليف شكل بدون إي تأثير خارجي ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) الموجي

RESULTS AND DISCUSSION

تم وضع الليف بشكل مستقيم ولعدة أطوال مختلفة في الليف البصري وقمنا بدراسة العلاقة بين طول الليف والإعاقة وكذلك بين طول الليف والانكسار الثنائي النمطي الذاتي عند الطول الموجي ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$).

فكانت العلاقة خطية وهذا ما يبينه الشكل ((3 a, b))، إذ كلما كان طول الليف أكبر كلما كان مقدار الإعاقة أكبر وبالتالي مقدار الانكسار الثنائي النمطي أكبر وهذا ما حصلنا عليه من النتائج المدونة في الجدول (2) وظهر لنا من خلال الحسابات أن مقدار الانكسار الثنائي النمطي لليف البصري الذي استخدمناه في هذه الدراسة وكمعدل يبلغ ($B=5.74 \times 10^{-7}$) وطول الضربة له ($L_b = 1.09 \text{ m}$).

وهذا يبين لنا بأن الليف البصري المستخدم في هذه الدراسة يمتلك انكسار ثنائي نمطي ذاتي ويعزى هذا الانكسار الثنائي النمطي إلى عوامل ذاتية داخلية خلال تصنيع الليف أما بتأثير الشكل (Shape effect) الذي يكون فيه شكل اللب غير دائري (بيضوي أو أهليجي) لبعض مناطق الليف البصري وهو الذي يسبب الانكسار الثنائي النمطي. أو بتأثير الإجهاد الداخلي الناتج عن اختلاف معاملات التمدد الحراري ما بين منطقة اللب والإحاطة الذي يكون سببه تأثير الشوائب (Dopant effect) التي تدخل في صناعة الليف البصري وهذا بدوره سيولد انكسار ثنائي نمطي (6، 22، 23).

1- أن الليف البصري يمتلك انكسار نمطي ذاتي يعزى ذلك إلى تأثير الشكل أو الإجهاد الداخلي على لب الليف البصري

2- أن العلاقة بين طول الليف والانكسار الثنائي النمطي هي علاقة خطية، فكلما زاد طول الليف تزداد الإعاقة بالليف وبالتالي يؤدي إلى زيادة الانكسار الثنائي النمطي والعكس صحيح

3- أن الليف البصري بانكسار ثنائي نمطي واطى يتطلب تقليل كل من الأهليجية للمقطع العرضي لليب الليف البصري وكذلك تقليل الإجهاد على لب الليف إذ أن اختلال التوازن بين مركبات الإجهاد والمستعرض على طول محوري اللب الأهليجي أو الإحاطة يضعف ويقلل من مستوى إجهاد اللب ككل، فيقلل من الإعاقة بالليف ومن ثم يقلل من مقدار الانكسار الثنائي النمطي.

REFERNCES

- 1-Senior J. M. "Optical Fiber Communications Principles and Practice", Prentice-Hall International Inc. London. (1992)
- 2-Kang Liu M. M. "Principles and Application of Optical Communication", John Wiley and Sons, New York (1998).
- 3- الأستاذ الدكتور محمد عبد الرحمن الحيدر "اتصالات الألياف البصرية" مكتبة العبيكان، فهرست مكتبة الملك فهد الوطنية السعودية (1995).
- 4- Ramaswamy V., French W.G. and Standley R.D. "Polarization Characteristics of Noncircular Core Single-Mode Fibers", Appl.Opt. 17 (18):3014-3017 (1978).
- 5- Ramaswamy V., French W.G., Standley R.D. and Szeand D. "Polarization Effects in Short Length Single - Mode Fibers", B.S.T.J.,57(3):635-651(1978).
- 6- Rashleigh S.C. "Wavelength Dependence of Birefringence in High Birefringence Fiber", Opt. lett.,7(6):249-296(1982).
- 7-Payne D.N., Barlow A.j. and Hansen J.J.R. "Development of Low and High Birefringence Optical Fibers", IEEE.J.Quant.Elect.18,(4):477-487.(1972).

- 8- Ren Z. B., Robert ph .and paratte P.A. “ Linear Birefringence Measurement in Single-Mode Optical Fiber With Circularly Polarized Input Light ”,J .phys .E . 18,(1):859-862(1985).
- 9-Huttner B. ,Reecht J. ,Gisin N. ,pass R. and Vonderweid J.P. “ Local BirefringenceMeasurements in Single Mode Fiber With Coherent Optical Frequency Domain Reflectometry”, Photon . Techno .lett ., 10,(10):1458-1460(1998) .
- 10-Escamilla BI .,Kuzin E .,Ayala Jme. and Lagunarr R. “ Anew Method for Measurement o Low Birefringence in Optical Fibers ”, Rev .Mex .fis. ,45 (2):144-149(1999).
- 11-Galtarossa A .,Palmieri L. ,Schiano M. and Tambossa T.,“ Measurement of beat length and perturbation Length in long sigle – mode fiber”, opt.Lett., 25(6):384-386 (2000).
- 12-GaltarossoA.,palmieri L.,schiano M.and Tambosso T.,“ Measurement of Birefringence Correlation Length in Long Single- Mode Fibers”,Opt.lett.26(13):962-964(2001).
- 13- محمد خضير حمادي " تأثير الانكسار الثنائي على الانتقال الضوئي المتشاكه خلال الليف البصري أحادي النمط " أطروحة ماجستير مقدمة إلى كلية العلوم / الجامعة المستنصرية (2002).
- 14-KamiowI.P.“ Polarization in Optical Fiber”, IEEEI. Quant.Elect, 17 (1):15-22 (1998).
- 15-Rashleigh S.C.,“ Origins and Control of Polarization Effect in Single- Mode Fibers”,Light Ware Tech.,LT-1,(2):312-331 ,New York.(1993).
- 16-Eickhof W .,yen y., and Ulrich R. “ Wavelength Dependence of Birefringence in Single-Mode Fiber”,Appl.Opt.,20,(19):3428-3435 .(1981).
- 17-Hasegawa A."Theory of Information Transfer in Optical Fibers" Optical Fiber Tech.,10,(10):150-170(2004).
- 18-Eickhoff W. “Stress-Induced Single-Mode Fiber” Opt.lett. 7(12): 629-631 (1982).
- 19-Smith A.M. “ Automated Birefringence Measurement System ”,J. phys. E12,12:927-930(1979).
- 20-Agrawal G.P. “ Fiber-Optic Communication Systems ”,John Wiley and Sons ,Inc. Rochester.(2002).
- 21-Hetch E. and Zajac A.,“ Optics” ,Addison-Wesley Publishing Co .Inc .,Canada(1987).
- 22-Ulrich R.,Rashleigh S.C.&Eickhoff W.“Bending-Induced Birefrin - gence in Single-Mode Fiber”Opt.lett.5,(6) :273-275) (1980) .
- 23-Huang W. “Fiber Birefringence Modeling for Polarization Mode Dispersion”, Thesis of Doctor of Philosophy in Physics, University of Waterloo, Canada(2007).