

# تأثير الانحناء على قياس الانكسار الثنائي النمطي لليف البصري احادي النمط وبشكل ملف

د. عبدالله احمد الدليمي

د. حسن احمد حسن

ميامي عبد اللطيف محمد

قسم الفيزياء - كلية العلوم - الجامعة المستنصرية

## الخلاصة

في هذا البحث تم قياس الانكسار الثنائي النمطي عندما يكون الليف البصري احادي النمط في وضع الانحناء حيث يصبح محور الانكسار بزواوية مستقيمة مع مستوى الانحناء، مقدار الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يتغير مع مربع معكوس نصف قطر الانحناء. مصدر هذا التأثير هو الاجهاد الداخلي على الليف البصري. كلما زاد طول الانحناء (عدد اللفات) كلما زاد تأثير الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء ولنصف قطر  $(R=10\text{mm})$ ، وكان مقدار الانكسار الثنائي النمطي عند اربع لفات اكبر من مقداره عند لفة واحدة فعند في الطول الموجي  $(\lambda=0.652\mu\text{m})$  كانت النتائج التي حصلنا عليها من القياسات العملية  $(\Delta\beta=8874.6\text{deg.m}^{-1})$  وان نسبة الخطأ بين القيمة العملية والنظرية هي  $(2.7\%)$ .

## المقدمة

إن النمط الوحيد الذي يكون موجوداً داخل الليف البصري أحادي النمط هو النمط الأساسي  $(HE_{11})$ ، وإن هذا النمط يتكون من نمطين منحلين باستقطابات متعامدة هما  $HE_{11x}$  و  $HE_{11y}$  ولذا فإن استقطاب أحد هذين النمطين يكون عمودياً والآخر أفقياً و  $y, x$  هما المحوران الأساسيان للانتشار حسب مقطع الليف. ولكل من هذين النمطين ثابت انتشار ملازمة له  $\beta_x, \beta_y$  على التوالي. ففي الألياف المثالية (Ideal fibers) بتناظر دائري تام، هذان النمطان ينحلان بصورة متساوية  $\beta_y = \beta_x$  ويسيران بالسرعة نفسها وان فرق الطور بينهما يساوي صفراً [1]. أما في الألياف العملية (Practical fibers) التي تمتلك تناظر دائري غير تام لأسباب عدة منها الإجهاد الجانبي اللامتناظر المسلط على الليف وكذلك المقطع العرضي اللا دائري لللب في بعض مناطق الليف البصري وأيضاً التباين في معامل إنكسار مادة اللب. إن كل هذه العيوب تؤثر على التناظر الدائري (Circular symmetry) لليف،

البصري المثالي وترفع من الانحلال لهذين النمطين. لذلك فإن الليف البصري لذا سينتج اختلاف بسرع الطور واختلاف لمعاملات الانكسار لهذين النمطين اذ ان المحور الذي يملك اكبر سرعة طور (أي اقل معامل انكسار) يعرف بالمحور السريع (Fast axis) والمحور الذي يملك اقل سرعة طور (أي اكبر معامل انكسار) يعرف بالمحور البطيء (Slow axis)، لذلك الليف البصري في هذه الحالة سيسلك سلوك وسط ذو انكسار ثنائي ولكن انكسار ثنائي نمطي (Model Birefringence) [2].

### الدراسات السابقة **Review of Literature**

في عام (1980) قام كل من (Uirich R.) و (Rashleigh S. C.) و (Eickhoff W.) بدراسة الانحناء المحدث انكسار ثنائي في ليف بصري احادي النمط [3]، وفي العام نفسه قام (Smith A.M.) بدراسة تأثير الانحناء والالتواء المحدث انكسار ثنائي في الليف البصري [4]. وكذلك في العام نفسه قام كل من (Rashleigh S.C.) و (Ulrich R.) بدراسة الانكسار الثنائي العالي لليف احادي النمط ملفوف تحت تأثير الشد [5]. اما في عام (1981) قام كل من (Eickhoff W.) و (Yen Y.) و (Uirich R.) بدراسة تأثير الطول الموجي على الانكسار الثنائي في الليف البصري احادي النمط [6]. وفي عام (1982) قام (Eickhoff W.) بدراسة الاجهاد المحدث في الليف البصري احادي النمط [7]. اما في عام (1984) قام (Ross J.N.) بدراسة دوران مستوى الاستقطاب في الالياف البصرية ذات الانكسار الثنائي الواطيء بتأثير الانحناء [8]. وفي عام (1990) قام كل من (Bowron P.) و (Mohamed A.) باستخدام تقنية (Micromachning) لدراسة الانحناءات الصغيرة جداً في مجسات الليف البصري [9].

اما في عام (1999) قام (El-Diasty F.) باستخدام جهاز قياس التداخل لحساب الاجهاد الذي يحدث داخل الليف نتيجة الانحناء ومنه حساب الانكسار الثنائي النمطي [10]. وفي عام (2002) قام محمد خضير بدراسة تجريبية لتأثير الانكسار الثنائي على انتقال الضوء المتشاكه خلال الليف البصري احادي النمط ودراسة انحناء الليف عند اقطار مختلفة [11].

## الجزء النظري Theoretical Part

### 1. الانكسار الثنائي النمطي في الألياف Modal Birefringence in Fibers

إنَّ الانكسار الثنائي هو ظاهرة تكون فيها سرعة الطور للضوء المستقطب خطياً ضمن وسط ما تعتمد على اتجاه مستوى الاستقطاب بالنسبة للمحورين الأساسيين المتعامدين ضمن ذلك الوسط. والضوء المستقطب خطياً إذا كان موازياً لأحد المحورين الأساسيين فإنه سوف يبقى مستقطباً خطياً وبمستوى الاستقطاب نفسه وعلى طول ذلك المحور داخل الوسط. أما إذا كان غير موازياً لكلا المحورين فإنَّ الضوء الخارج سوف لن يكون مستقطباً خطياً بل سيكون مستقطباً أما دائرياً أو بيضوياً ويعتمد على لزواوية التي يصنعها مستوى الاستقطاب مع أحد المحورين الأساسيين.

وعلى العموم فإنَّ الضوء المستقطب خطياً إذا دخل وسط ذو الانكسار الثنائي فإنه سوف يخرج مستقطباً بيضوياً. ويعتمد هذا على اتجاه مستوى الاستقطاب الداخل إلى الوسط نسبة إلى المحور السريع أو المحور البطيء وكذلك على مقدار الانكسار الثنائي لذلك الوسط حيث ان قيمة الانكسار الثنائي النمطي هي كالآتي [12]:

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

إنَّ الفرق في سرع انطور تؤدي بالليف إلى أن يظهر إعاقة خطية (Linear retardation)  $\Phi(Z)$  والتي تعتمد على طول الليف البصري وتعطى بالعلاقة الآتية: [13، 14]

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

وعلى أية حال فإذا افترضنا أنَّ الضوء الداخل إلى الليف البصري يصنع فيه مستوى الاستقطاب زاوية مقدارها  $(45^\circ)$  مع أحد المحورين الأساسيين وليكن  $(x)$  فإنَّ الضوء المستقطب خطياً سوف يتحول فيه الاستقطاب من خطي إلى استقطاب دائري عندما  $(\phi = \pi/2)$ . وبعدها سوف يتحول إلى استقطاب خطي عندما  $(\phi = \pi)$ . ولكن بمستوى استقطاب متعامد مع المستوى الأصلي لاستقطاب الضوء الداخل. وهكذا تستمر الدورة إلى أن يعود مستوى الاستقطاب خطياً كما كان في البداية عندما تكون  $(\phi = 2\pi)$ . وإنَّ طول الليف البصري الذي تحصل فيه هذه الدورة الكاملة يدعى بطول الضربة  $(L_b)$  (Beat length) كما مبين في الشكل (1).

$$L_b = \frac{\lambda}{B}$$

$$\dots (3)$$

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

## 2. الانحناء المحوري السريع للانكسار الثنائي Bend-induced Birefringence

الانحناء في الليف البصري يكون سببه تأثير الاجهاد (A stress effect) اذ ان ثني الليف البصري يولد إجهاد داخل الليف البصري وهذا بدوره يحفز الليف البصري على الانكسار الثنائي النمطي إذ يكون المحور السريع ضمن مستوى الانحناء، ويعتمد هذا التأثير على النسبة بين نصف قطر الليف (r) ونصف قطر الانحناء (R). وبالنسبة لليف البصري الذي تكون مادته من السيليكا (Silica) فإن الفرق في المحورين السريع والبطيء يعطى بالعلاقة الآتية [3, 16]:

$$(\beta_x - \beta_y) = \pi \cdot \frac{Ec}{\lambda} \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad \dots(6)$$

إذ أن:

$$E: \text{معامل يونك للسيليكا } E = 7.75 \times 10^9 \text{ Kgm}^{-2}$$

$$C: \text{معامل المرونة البصرية } C = -3.5 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{Kg}^{-1}$$

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

$$(\beta_x - \beta_y) = -\frac{0.85}{\lambda} \left(\frac{r}{R}\right)^2 \text{ rad.m}^{-1} \quad \dots(7)$$

ان الاشارة السالبة في المعادلة اعلاه تعني ان المحور السريع للانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يكون متطابق مع مستوى الانحناء. اما المحورة البطيء يكون عمودي على مستوى الانحناء

## الجزء العملي Experimental parts

### 1. الأجهزة والمواد المستخدمة Apparatus and Materials

#### المصدر الضوئية Light source

في هذه الدراسة تم استخدام ليزر هيليوم - نيون He-Ne Laser من صنع شركة (Phywe) يعمل بموجة مستمرة (cw) وبقدرة ضوئية مقدارها (1mw) ويعمل بالنمط الأساسي (TEM<sub>00</sub>) تنبعث منه حزمة أحادية الطول الموجي عند المنطقة الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي بطول موجي مقداره (632.8nm). حيث أن الطول الموجي المستخدم هو ضمن مديات تردد القطع لليف البصري المستخدم في دراسة الانكسار الثنائي النمطي لكي يحقق شرط القطع (cut off condition) لليف البصري أحادي النمط [31].

#### الليف البصري Optical fiber

استخدم في هذا البحث ليف بصري احادي النمط يمتاز بمرونة عالية وخصائصه

مبينة في جدول (1)

## جدول رقم (1)

يبين المعلمات الرئيسية للليف البصري المستخدم [13]

المعلمة Parameters	الليف البصري المستخدم
الفتحة العددية N.A.	0.098
قطر اللب ( $\mu\text{m}$ )	5
طول موجة القطع ( $\lambda_c(\text{nm})$ )	630
قطر الليف ( $\mu\text{m}$ )	210

### • المستقطب والمحلل ولوح ربع الموجة

#### Polarizer and Analyzer and quarter wave plate

تم 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 بياضوي إلى خطي وتم وضع محلل خلف لوح ربع الموجة وذلك لتعيين اتجاه الاستقطاب ومنه يمكن معرفة قيمة الانكسار الثنائي [17].

### • الاجهزة البصرية الاخرى

- عدسات مجهرية (Microscope objective) وبفتحات عددية اقل من الفتحة العددية للليف البصري.

- حاملات دقيقة لليف البصري لتسهيل عملية الترصيف (Micropositioner).

- مسطرة بصرية (Optical bench).

- حاجز Screen.

## 2. طرائق العمل Procedure

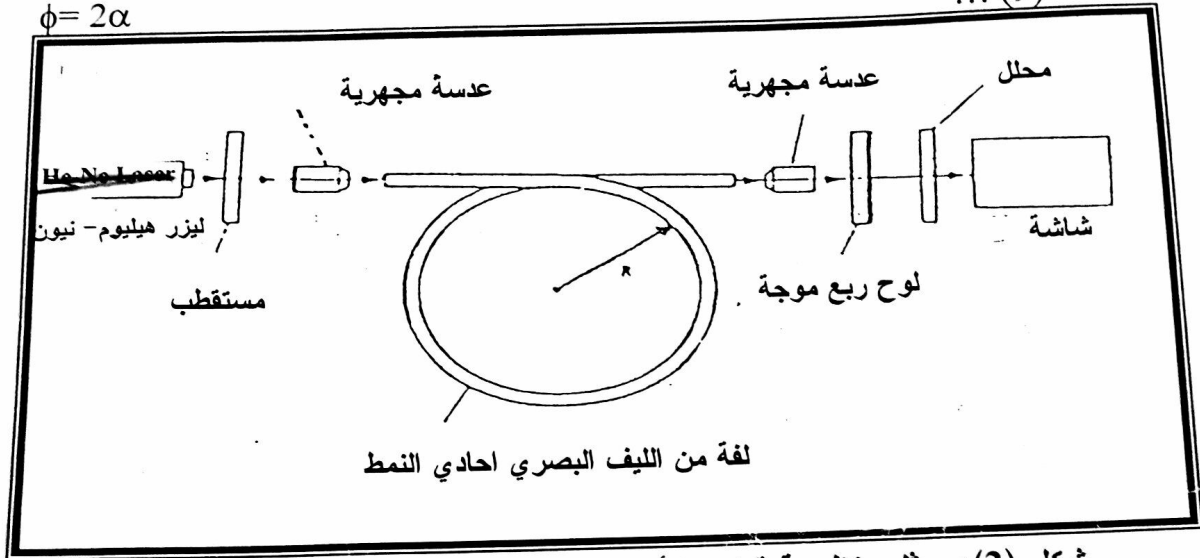
تم استخدام المنظومة المبينة في الشكل (2) لدراسة تأثير الانحناء على الانكسار الثنائي النمطي، إذ استخدم ليف بصري نصف قطره ( $r=105\text{mm}$ ) وقمنا بتثبيت نصف قطر الانحناء ( $R=10\text{mm}$ ) وتغير بعدد اللفات ومن ثم تغيير مستوى الاستقطاب للضوء الداخل إلى الليف البصري بواسطة المستقطب وتدوير المحلل إلى أن نحصل على اختفاء تام للضوء ثم نسجل زاوية المحلل ( $\theta_A$ ) وزاوية المستقطب ( $\theta_P$ ) حيث تمثل زاوية المستقطب لأحد المحورين الأساسيين اللذين إذا دخل الضوء المستقطب بموازية أحدهما فإنه سوف يخرج بمستوى الاستقطاب نفسه وبعدها نضيف ( $45^\circ$ ) على زاوية المستقطب ( $\theta_P$ ) فيكون الضوء الخارج مستقطب بياضوياً لذا نضع لوح ربع موجة الذي يحول الاستقطاب من بياضوي إلى

خطي ثم تدور المحلل إلى أن نحصل على اختفاء تام فنرمز لهذه الزاوية بـ  $(\theta'_A)$  ثم نقوم بعدها بحساب الزاوية  $(\alpha)$  والتي تمثل الفرق بين  $(\theta'_A)$  و  $(\theta_A)$  كما مبين في العلاقة (3-5):

$$\alpha = \theta'_A - \theta_A \quad \dots (8)$$

علما ان الزاوية  $(\alpha)$  تمثل زاوية نصف الإعاقة الخطية Linear retardation وكما مبين في العلاقة الآتية:

$$\phi = 2\alpha \quad \dots (9)$$

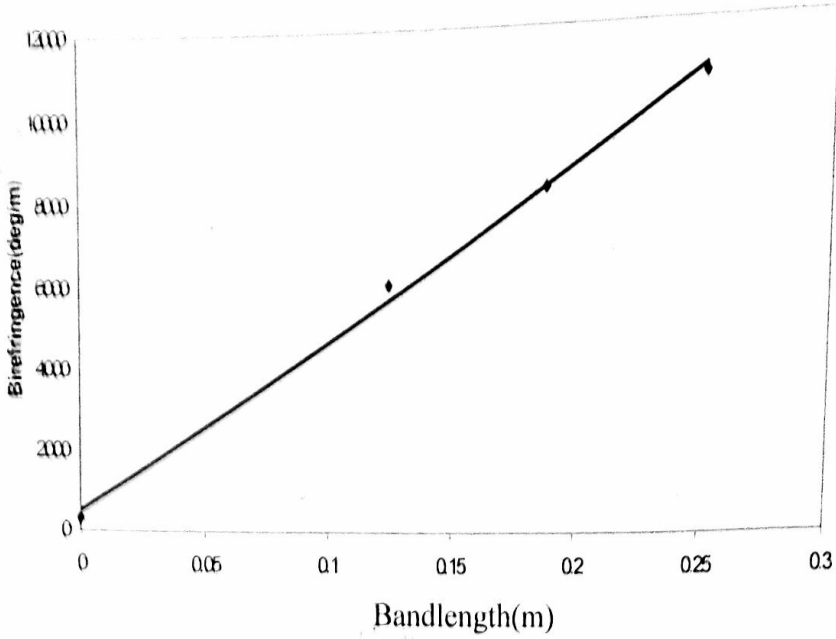


شكل (2): يمثل منظومة قياس الانكسار الثنائي انمطي بتأثير الانحناء [4].

## النتائج والمناقشة Results and Discussion

تم دراسة الانحناء في الألياف البصرية الذي يكون سببه تأثير الإجهاد الداخلي على الليف البصري فينتج عنه إنكسار ثنائي بسبب الانحناء  $(\beta_b)$  والذي يحدث عندما ينحني الليف بحرية تامة [3,5]. يمد الليف على شكل لفة دائرية واحدة أو عدة لفات دائرية على إسطوانة نصف قطرها صغير  $(R=10\text{mm})$  والاهتمام الكبير بالتأكد من عدم وجود أي التواء خلال عملية اللف. وقد قمنا بدراسة العلاقة بين طول الانحناء  $(L)$  والانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء عند الطول الموجي  $(\lambda=632.8\text{nm})$  فكانت العلاقة خطية وهذا ما يبينه الشكل (3)، إذ كلما كان طول الانحناء أكبر (عدد اللفات أكبر)، كلما كان مقدار الانكسار الثنائي النمطي عند الانحناء أكبر وهذا واضح في جدول (2) أي ان مقدار الانكسار الثنائي عند أربع لفات  $(10800\text{deg.m}^{-1})$  أكبر من مقداره عند لفة واحدة  $(5366\text{deg.m}^{-1})$  وقمنا بمقارنة النتائج العملية التي حصلنا عليها في الجدول (2) بالمعادلة رقم (7) والتي تمثل قيمة الفرق بين ثابتي التقدم للمحورين السريع والبطيء  $(\Delta\beta)$  نظرياً. فعند الطول الموجي  $(\lambda=632.8\text{nm})$  كانت القيمة العملية  $(\Delta\beta=86\ 34\text{deg.m}^{-1})$  اما القيمة النظرية فهي  $(\Delta\beta=8486.6\ \text{deg.m}^{-1})$

وبعد إضافة الفرق بين ثابتي التقدم للمحورين السريع والبطيء للانكسار الثنائي الذاتي للليف أصبحت النتيجة النهائية هي ( $\Delta\beta=338\text{deg.m}^{-1}$ ) وإن نسبة الخطأ بين القيم النظرية والعملية هي (2.7%) وذلك لأن المحور السريع للانكسار الثنائي الذاتي للليف البصري لا يكون ضمن مستوى اللف وبالتالي سوف يؤثر على قيمة الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء الكبير.



شكل (3): يوضح العلاقة الطردية بين طول والأنتكسار الثنائي لنصف قطر لفة

( $R=10\text{mm}$ ) وعند الطول الموجي ( $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ )

جدول (2)

يمثل قيم الانكسار الثنائي النمطي لنصف قطر لفة ( $R=10\text{mm}$ ) عند طول موجي  $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$

R mm	L= nturn+l(m)	$\theta_p^\circ$	$\theta_\Lambda^\circ$	$\theta_p^{\prime\circ}$	$\theta_\Lambda^{\prime\circ}$	$\alpha^\circ$	$\langle\alpha^\circ\rangle$	$\phi^\circ$	$\Delta\phi^\circ$ (deg)	$\Delta L$ (m)	$\Delta\beta$ (deg/ m)	$L_b$ (m)	B $\times 10^{-6}$
10	4turn+0.31= 0.5612	35	188	80	93	265	264	528	648	0.06	10800	0.333	18.99
		125	40	170	305	265							
		215	188	260	91	263							
		309	43	354	302	263							
	3turn+0.31= 0.5	80	332	125	93	121	120	240	530	0.06	8834	0.040	15.53
		170	59	215	180	121							
		260	332	305	91	119							
	2turn+0.31= 0.44	115	326	160	362	36	35	70	376	0.06	6266	0.057	11.01
		205	149	250	185	36							
		295	327	340	363	36							
	1turn+0.31= 0.380	30	277	75	304	27	27	54					
		120	58	165	85	27							
210		276	255	303	27								
300		58	345	84	26								

## الاستنتاجات

- 1- عند حني ليف البصري يصبح المحور السريع للانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يكون متطابق مع مستوى الانحناء، والمحور البطيء عامودي على مستوى الانحناء.
- 2- الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء يتناسب عكسياً مع مربع نصف قطر الانحناء (R) وطردياً مع مربع نصف قطر الليف الخارجي (r). أي كلما زاد نصف قطر الانحناء كلما قل الانكسار الثنائي بالليف البصري.
- 3- ان قيمة الانكسار الثنائي بتأثير الانحناء اكبر بكثير من قيمة الانكسار الثنائي الذاتي وهذا ما توضحه النتائج، اما عند اللفات الصغيرة في الليف البصري يصبح مقدار الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء مقارب للانكسار الثنائي الذاتي الذي يكون موجود تموجياً باللياف احادي النمط.
- 3- إن العلاقة بين الانكسار الثنائي النمطي وطول الانحناء هي علاقة خطية، فكلما زاد عدد لفات الليف البصري يزداد طول الانحناء وبالتالي يؤدي الى زيادة الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء.
- 4- إن الانكسار الثنائي الناتج عن الانحناء والذي سببه تأثير الاجهاد الداخلي يستفاد منه في تصميم مقياس التداخل البصري للليف Fiber-optical interferometers. ويستخدم ايضاً في بناء ملفات من الألياف الحافظة للاستقطاب ( polarization holding fiber coils) مثل الجيروسكوب البصري ومجسات الضغط.
- 5- للحصول على انكسار ثنائي عالي جداً وطول ضربة قصير جداً (بالمليمتر) لا بد من استخدام الأطوال الموجية القصيرة وبالعكس وهذا يتطلب أن يكون عمل الليف البصري احادي النمط في الأطوال الموجية القصيرة مثل (u.v.) أو المقطع العرضي للليف يكون ذا أهليجية عالية أو بتوليد إجهاد عالي على لب الليف.

## References:

- 1- Keiser G. (2000) "Optical fiber communications", McGraw-Hill. Inc. singapore.
- 2- Rashleigh S. C. (1993), "Origins and Control of Polarization effect in single-mode fibers", light wave tech., Vol. LT-1, No.2, pp. (312-331), New York.
- 3- Uirich R., Rashleigh S. C. and Eickhoff W. (1980) "Bending- induced birefringence in single- mode fibers", opt. Lett., Vol.5, No.6, pp. (273-274).



- 4- Smith A. M. (1980), "Birefringence induced by bend and twist in single-mode optical fiber", Appl.opt., Vol.19, No.15, pp.(2606-2611).
- 5- Ulrich R. and Rashleigh S. C. (1980) "High birefringence in tension-coiled single- mode fibers", opt.Lett., Vol.5, No.8, pp. (354-356), (1980).
6. Eickhoff W., Yen Y. and Ulrich R. (1981) "Wavelength dependence of birefringence in single- mode fiber", Appl. Opt., Vol.20, No.19, pp. (3428-3435).
7. Eickhoff W. (1982) "Stress- induced single- mode fiber", Opt. & Lett., Vol.7, No.12, pp. (629-631).
8. - Ross J. N. (1984) "The rotation of the polarization in low birefringence mono-mode optical fibers to geometric effects", Opt. And Quant. Elect., Vol.16, No. 11, pp.(445-461).
- 9- Bowron P. and Mohamed A. (1990) "Optical Fiber Microbending sensors by Micromachining Techniques", Elect. Lett., Vol. 20, No.8, pp. (513-515).
- 10- El- Diasty F. (1999) "Interferometric characterization of single- mode bent optical fibers", Appl. Phys., Vol.7, No.87, pp.(3254-3257).
- 11 محمد خضير حمادي (2002) "تأثير الانكسار الثنائي على الانتقال الضوئي المتشاكه خلال الليف البصري أحادي النمط" أطروحة ماجستير مقدمة إلى كلية العلوم/الجامعة المستنصرية
- 12- Smith A. M. (1979) "Automated Birefringence Measurement System), J. Phys. E12, Vol.12, pp. (927-930).
- 13- Senior J. M. (1989) "Optical fiber communications, Principles and Practice", Prentice- Hall International Inc., London.
- 14- Ming M. and Liu K. (1998) "Principles and Application of optical communication", John Wiley and Sons, New York.
- 16- Payne D. N., Barlow A. J. and J. J. R. Hansen (1982) "Development of low and high birefringence optical fibers", IEEEJ. Quant. Elect. Vol.18, No.4, pp. (477-487).
- 17- اساسيات البصريات (1998)، ترجمة د. عبد الفتاح أحمد الشاذلي ود. سعيد بسيوني  
الجزائري، جامعة القاهرة، الدار الدولية للنشر والتوزيع.

# Bending effect on Modal birefringence in the single-mode fiber with a wide former

## Summary

In this investigation the modal Birefringence has been measured when a single-mode fiber is subjected to bending it becomes birefringence with axes in and at right angles to the plane of bending. The magnitude of the bend induced birefringence varies as the reciprocal square of the bend radius. The source of the effect is an internal stress on optical fiber with the increasing of the bend of length (turns number), the modal birefringence effect increases and for radius ( $R=10\text{mm}$ ). The magnitude of modal birefringence for four turns are large than one turn at the wavelength ( $\lambda=623.8\text{nm}$ ), the result has been obtained from the experiment measurement is ( $\Delta\beta=86.34 \text{ deg.m}^{-1}$ ) compare between the experiment and theory value is (2.7%).