

الباب الاول

المقدمة

(1.1) مقدمة :-

تعتبر الاليف البصرية تقنية مطورة لنقل البيانات المختلفة في صورة إشارات او نبضات ضوئية ويستخدم لذلك شعيرات او خيوط دقيقة مصنوعة من الزجاج عالي النقاء وانواع خاصة من البلاستيك ' تتميز كيبيلات الليف البصري بقدرتها على نقل كميات ضخمة من البيانات وسرعات عالية دون حدوث نسبة فقد عالية في قوة الاشارة الضوئية الحاملة للبيانات .

وكذلك تتميز كاييلات الليف البصري بعدم تأثرها بعمليات التشويش من المصادر الخارجيه المختلفة الأخرى مما يجعلها اكثر امانا ويساعد على الحفاظ على سرية البيانات المنقولة من خلالها ' يمكن لكابل الليف البصري الواحد والذي يقل سمكه عن بوصه واحدة حمل مآت الالوف من المحادثات الصوتية او الهاتفية ونقلها بسرعات تتراوح بين 2.5GB/S الى 10 GB/s ولمسافة لا تقل عن Km 60 دون أن يحتاج لتكبير الإشارة الضوئية بينما تحتاج الكاييلات النحاسية الى اعادة تكبير كل 1.5 km تقريبا [1] .

بما ان الضوء هو الذي يحمل المعلومات خلال الليف البصري يستخدم ضوء الليزر كنوع من انواع الضوء الذي يمر خلال الليف البصري .واشعه الليزر عبارة عن اشعة كهرومغناطيسية احادية الطول الموجي حيث يكون لها فوتونات متساويه في التردد ومتحدة في نفس الطور الموجي [2]. ونظرا لخصائصه التي يتميز بها يستخدم للانتقال عبر الاليف البصرية .

(1.2) الهدف :-

دراسة توهين الضوء عند انحناء الليف البصري والمرور عبره

(1.3) مشكلة البحث :-

تتلخص مشكلة البحث في ان الضوء خلال مروره عبر الليف البصري يحدث له توهين كلما كان هناك انحناءات .

(1.4) الحدود الزمانية والمكانية:-

الحدود المكانية:- جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

الحدود الزمانية:- 2016 .

(1.5) محتوى البحث:-

يحتوي البحث على اربعة ابواب يتناول الباب الاول المقدمة بينما الباب الثاني يتحدث عن الليزر مأخوذ كمثال لضوء يمر خلال الليف البصري ثم الباب الثالث يتحدث عن الليف البصري واخيرا الباب الرابع يتناول تجربه توضح توهين الضوء خلال الليف البصري .

الباب الثاني

اشعة الليزر LASER

(2.1) مقدمة :-

كلمة ليزر اتت من الاحرف الاولى لكلمات الجملة الانجليزية Light amplification by stimulated emission of radiation وتعني تضخيم الضوء بالانبعاث المستحث للاشعاع.

في عام (1960) تمكن العالم الامريكي "ميمان" من صناعة اول ليزر على الاطلاق بواسطة بلورة من الياقوت المطعم بالكروم حيث انبعثت ومضات من الاشعة الحمراء طولها الموجي 6943 انجستروم تتميز ببريق شديد في اتجاه الاشعة ولا تفقد شدتها مع زيادة بعدها عن المصدر الا ببطء شديد . [3]

(2.2) انواع الليزر من ناحية التكوين :-

1. الليزر الغازي
2. الليزر البلوري
3. ليزر اشباه الموصلات
4. ليزر السوائل

ومن ناحية طبيعة الانبعاث تنقسم اشعة الليزر الى نوعين:

1. اشعاع مستمر continuous wave

2. ومضات flashes laser

اشعة الليزر قد تكون في الطيف المنظور او تحت الحمراء بمناطقها الثلاث: القريبة والمتوسطة والبعيدة او في منطقة الاشعة فوق البنفسجية. هذا وقد امكن الحصول على اشعة الليزر في منطقة الموجات الميكرو مترية ويسمي في هذه الحالة ميزر maser وقد تم تحديثها للحصول على اشعة ليزر تقع في منطقة اشعة حسية ذات اطوال موجيه طولها 6, 20, 8, 20 نانو متر وذلك عند استخدام بلازما السيليونيوم كوسط ليزري وفيها نورد اهم الخصائص المشتركة لجميع انواع الليزر التي تتميز هذه الاشعة عن تلك التي تنبعث من المصادر التقليدية [3].

(2.3) اهم خصائص شعاع الليزر:-

(2.3.1) النقاء الطيفي:-

فشعاع الليزر حزمة ضوئية غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي او التردد فاشارة الضوء المنبعثة من المصادر الضوئية التقليدية كمصباح الصوديوم او الزئبق توصف بانها وحيدة الطول الموجي اذا ما نفذت خلال مرشح ضوئي مناسب . فمصباح الصوديوم ينبعث منه طيف الصوديوم وهو طيف خطي لانه طيف ذري ويحتوي خطوط طيف اكثرها شدة ضوئية في الطيف المنظور هما خطان في الاصفر طولهما الموجي 5890، 5896 انجستروم . في حالة مصباح الزئبق يحتوي طيف ذرة الزئبق المنبعث من المصباح على خطين من الاصفر وخط من الاصفر وخط من الازرق وخطين من البنفسجي . وباستخدام مرشح ضوئي نحصل على ضوء احادي الطول الموجي عند 5461 انجستروم و لونه اخضر وهذه الاشعة بالرغم من وصفها هنا بانها وحيدة الطول الموجي الا انها في الواقع تحتوي على اطوال موجية حول الطول الموجي الاساسي الذي يعطي اعلى شدة ضوئية . وتقل الشدة الضوئية للطوال الموجية الاخرى كلما ابتعدت عن الطول الموجي الاساسي لخط الطيف ومعنى هذا ان خط الطيف لاي عنصر هو غلاف الشدة الضوئية لما يحتوي من اطوال موجية او ترددات فنحن نعلم ان

الطول الموجي \times التردد = سرعة الضوء

$$\lambda \nu = c \quad (2.1)$$

والصيغة الرياضية لهذا الغلاف وهو ما نراه لخط طيف المنبسطة بين الشدة الضوئية والتردد هي صيغه قاوس او صيغه لورنت وسنكتفي فقط بصيغه جاوس وهي

$$I\nu = I\nu_0 e^{\alpha(v-v_0)^2} \quad (2.2)$$

حيث:-

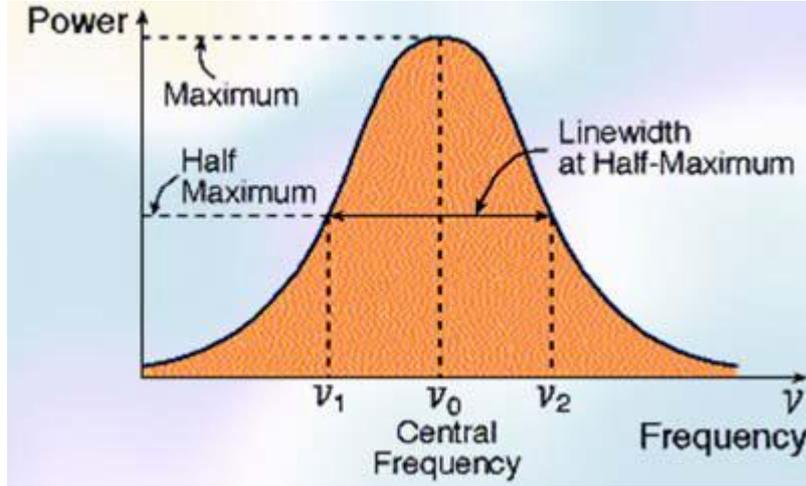
$\nu_0 \equiv$ التردد عند منتصف خط الطيف

$I\nu \equiv$ هي الشدة الضوئية عند تردد ν و α بارمتر يميز بروفيل خط الطيف .

وعندما نمثل المعادلة بيانيا نحصل على الشكل وفيه يظهر بوضوح الاتساع الطيفي لخط الطيف ويسمى الاتساع الطيفي عند

$$I\nu = I\nu_0 / 2 \quad (2.3)$$

بالإتساع الطيفي النصفى لخط الطيف وتتوقف قيمته على البارامتر وواضح ان كلما قل الاتساع الطيفي زادت وحدة خط الطيف اقترب من خط الطيف المثالي الذي يحوي طولاً موجياً واحداً وهو بطبيعة الحال لا يوجد في الطبيعة اذ لابد و لكي يُرى او يُسجل ان يكون له اتساع طيفي 'وفي حالة اشعة الليزر الاتساع الطيفي ضئيلاً جداً مقارنة بالمصادر التقليدية ولهذا فاننا نصفه بأنه غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي او التردد [3].



(2.1) شكل الاتساع الطيفي النصفى لخط الطيف [4]

(2.3.2) تركيز الأشعة:-

شعاع الليزر حزمة ضوئية مركزة تركيزاً شديداً أي زاوية انفرجها صغيرة للغاية لتسير الأشعة في خطوط مستقيمة أقرب ما تكون إلى التوازي وبهذا لا تخضع شدة استضاءة سطح يعترضها لقانون التربيع العكسي أي لا تقل شدة الاستضاءة عكسياً مع مربع المسافة عن مركز شعاع الليزر. ويعني هذا أن حزمة أشعة الليزر لا تفقد شدتها إلا ببطء شديد فإذا ما أرسلت أشعة الليزر في اتجاه القمر على بعد 400 ألف كيلو متر من سطح الأرض وكانت بالشدة الضوئية الكافية فإنها توضع على سطح بقعة مضاءة لا يزيد قطرها عن كيلومتر واحد في حين أنه إذا أرسلنا الضوء العادي ووصل قرص إلى سطح القمر فإن قطر البقعة المضاءة تصل إلى 3476 كيلو متر. ويصاحب عدم انفرج الأشعة بريقاً شديداً في اتجاه الأشعة ضاراً بالعين إذا ما استقبلته مباشرة وخاصة الأشعة تحت الحمراء [3].

(2.3.3) ترابط وتماسك فوتونات الأشعة:-

الخاصية الهامة الأخرى التي تميز أشعة الليزر هي خاصية الترابط أو التماسك بين الفوتونات المكونة للشعاع. فنحن نعلم أن الأشعة المرئية وغير المرئية تصدر عن إثارة العناصر وتتبعث منها في شكل كم ضوئي أو فوتونات كمية من الطاقة لها طول موجي يحدده منسوباً طاقة الذرة التي انتقلت

بينهما وملايين هذه الانتقالات التي تحدثها الذرات المثارة ينبعث عنها ملا بين الفوتونات التي تظهر للعين المجردة كاشعة متصلة وخطوط طيف. ويلاحظ هنا عدم وجود رابطة بين اي فوتونين من ناحية الفترة التي تنقضي بين بدء انبعاثها ولا صلتها بين اتجاهيهما . في حين ان اشعة الليزر فوتوناتها ومترابطه و متماسكة فهناك فرق طور ثابت اي فوتونين فيها او الجميع متحده الان هذا الاختلاف اساسي بين اشعة الليزر المترابطة فوتوناتها واشعه المصادر العاديه [3].

(2.4) اساس نظريه الفعل الليزري :-

الاصل في الاساس النظري لمولدات الكم او لليزر يرجع الى العالم "اينشتاين" "عام 1917" الذي قام بدراسة نظرية الحالة وسلوك مجموعة من الذرات في بناء ذري تحت تأثير مصدر طاقي خارجي وحدد العناصر التي يقوم عليها الاتزان بين الاشعة المؤثرة و الاشعاع المنبعث والممتص من الذرات واوضح وجود نوع جديد من الاشعاع بجانب الاشعاع التلقائي الذي يصدر من جميع المصادر الضوئية العادية والاشعاع الجديد هو الانبعاث المستحث وقد تمكن العالم "اينشتاين" من اشتقاق القوانين التي تحدد العلاقات بين الانبعاث والاشعاع التلقائي والمستحث والامتصاص . ان ذرات العناصر في الطبيعة تكون في حالة عدم اثاره نسبية اي ما يطلق عليها بالحالة الارضية وتتوازن شحنة الالكترونات الدوارة في مدارات مع شحنة النواة وتشغل تلك الالكترونات مدارات خاصة تحدها الطاقة الذاتية للذرة . واذا ما اثرت الذرة بمصدر خارجي غالبا ما تكون نتيجة تصادم هذه الذرة وذرة اخرى او بينهما وبين الكترون يسير بسرعة عالية فقد تقفز الالكترونات الى مدارات ابعد من النواة رافعة الطاقة الكلية للذرة الى منسوب اعلى . ولما كانت هذه الحادثة عارضة فان الذرة تميل الى الرجوع لحالتها الارضية بعد فترة زمنية قصيرة يتم هذا بان تفقد الذرة الطاقة المكتسبة باشعاع فوتون وكم ضوئي يحدد تردد الضوء المنبعث الفرق بين منسوبي طاقة الذرة طبقا لعلاقة "بوهر"

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (2.4)$$

حيث :

E_1 و E_2 ≡ طاقتي الذرة في المستويين الاعلى والمنخفض

≡ ثابت بلانك .

≡ التردد

وتقاس الطاقة بوحدة الالكترون فولت وهي وحدة ضئيلة القيمة مقارنة بوحدة الطاقة فالسعر هو الطاقة التي يكتسبها جرام واحد من الماء عند رفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة يساوي 30×10^{18}

الالكترون فولت في حين ان منسوب الطاقة الارضي للهيدروجين هو 10 الكترون فولت فقط وتحدث ملايين الانتقالات للذرات وتظهر كضوء منبعث له تردد واحد كما يحدث هذا الخمود التلقائي للذرات بدون تحكم اي بطريقه عشوائية والنتيجة هي انبعاث الضوء العادي غير المترابط فوتوناته من جميع المصادر التقليدية كمصباح الصوديوم او النيون او الزئبق . وقبل البدء في استنتاج علاقة "اينشتاين " تبقى الاشارة الى توزيع ذرات الوسط مناسب الطاقة . ففي اي مجموعه من الذرات في اتزان حراري يكون عدد الذرات لها منسوب طاقة معين " E_2 " اقل من الذرات التي لها منسوب طاقة اقل " E_1 " فاذا رمزنا الى عدد الذرات في منسوب الطاقة 1,2 بالحرفين (N_1) و (N_2) فان N_2 تكون اقل من N_1 اذا كانت E_2 اكبر من E_1 اي كلما زاد منسوب الطاقة قل عدد الذرات يحدد هذه العلاقة قانون اكتشفه العالم الالماني "بولتزمان" وهو :

$$\left(\frac{N_2}{N_1} \right) = e^{-\frac{(E_2 - E_1)}{kT}} \quad (2.5)$$

حيث :

$K \equiv$ ثابت بولتزمان $T \equiv$ درجة الحرارة المطلقة

N_1 و N_2 هما عدد الذرات في وحدة الحجم عند منسوبي E_1, E_2 [3] .

(2.5) علاقة انشتاين والتعكس الاسكاني للذرات :-

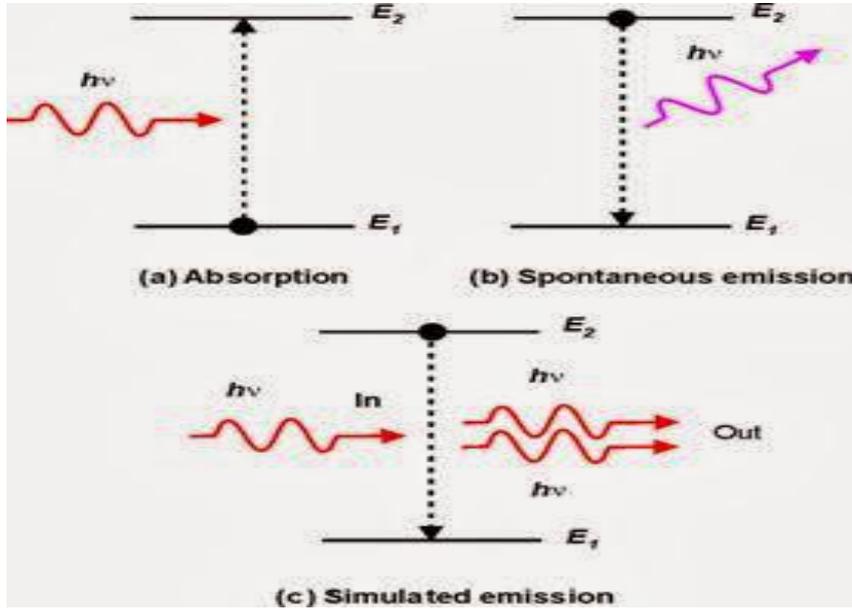
يتكون الشعاع المنبعث من مجموعة الذرات في وجود مصدر خارجي للاشعة من جزئين :

الاول : هو الانبعاث التلقائي وتتناسب شدته مع عدد الذرات التي تهبط من منسوب الطاقة E_2 الي E_1 ولا يرتبط بشدة المصدر الخارجي او بطور اشعته .

الثاني : هو الانبعاث المستحث وتتناسب شدته مع شدة المصدر الخارجي الذي حثه على الانبعاث ويكون للانبعاث المستحث نفس طور اشعة المصدر الخارجي الشكل "2" يمثل عمليات الامتصاص " a " والانبعاث التلقائي " b " والانبعاث المستحث " c " . حيث : A_{21} " يمثل احتمال الانتقال في وحدة الزمن للانبعاث التلقائي من منسوب رقم "1" الى منسوب رقم "2" اي ان عدد انتقالات الخمود التلقائي في الثانية = $N_2 A_{21}$ وباعتبار ان B_{21}, B_{12} ثوابت تتناسب مع احتمالية الانتقال المستحث والامتصاص على الترتيب . فاذا كانت كثافة الاشعاع عند تردد ν هي u_ν فان عدد

الانتقالات الى اسفل للانبعث المستحث في الثانية $N_2 B_{21} u_\nu =$ وعدد الانتقالات الى اعلى

"الامتصاص" في الثانية $N_1 B_{12} u_\nu =$



(2.2) شكل يوضح انواع الانتقالات [5]

تسمى المعاملات A_{21} , B_{12} , B_{21} بمعاملات انيشتاين . وفي حالة الاتزان يكون معدل انتقال الذرات من المنسوب الاقل الى اعلى مساويا لمعدله المنسوب الاعلى الى الاقل .

$$N_2 A_{21} + N_2 B_{21} u_\nu = N_1 B_{12} u_\nu \quad (2.6)$$

$$u_\nu = \frac{N_2 A_{21}}{N_1 B_{12} - N_2 B_{21}} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \left(\frac{1}{\frac{N_1}{N_2} \frac{B_{12}}{B_{21}} - 1} \right) \quad (2.7)$$

لكن من قانون بولتزمان :

$$N_1 = N_2 e^{\frac{h\nu}{KT}} \quad (2.8)$$

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad \text{حيث}$$

$$u_\nu = \frac{A_{21}}{B_{21}} \frac{1}{\left(\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{\frac{h\nu}{KT}} - 1 \right)} \quad (2.9)$$

وبالمقارنة مع صيغة قانون بلانك

لكثافة الاشعاع ذي تردد ν

$$u_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\left(e^{h\nu/kT} - 1\right)} \quad (2.10)$$

ونحصل على العلاقتين الاتئتين لمعاملات انشتاين :

$$A_{21} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{21} \quad (2.11)$$

$$B_{21} = B_{12}$$

على ذلك ولمجموعة ذرات في اتزان مع مصدر خارجي تكون النسبة بين معدل الانبعاث المستحث والانبعاث التلقائي هي :-

$$(2.12)$$

$$\frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{N_2 B_{21} \mu\nu}{N_1 A_{21}}$$

وبالتعويض في هذه العلاقة بقيمة درجة الحرارة $T = 10^3$ كلفن نجد ان النسبة ضئيلة للغاية . هذا هو الحال في مصادر الاضاءة العادية . ولما كان هذا الانتقال الغالب يحدث كما ذكرنا نتيجة انتقالات عشوائية فإن الانبعاث التلقائي الصادر يكون غير مترابط لكنه في أجهزة الليزر أمكن تكبير الانبعاث المستحث حتى أصبح هو الاشعاع الغالب . وما يصدر عن الليزر هو الفرق بين معدل الاشعاع المستحث يكون اكبر من معدل الامتصاص اذا ما كان عدد الذرات N_2 في منسوب الطاقة الاعلى E_2 أكبر من عدد الذرات N_1 في منسوب الطاقة الادنى E_1 هذا هو الشرط اللازم للحصول على كسب نهائي او الحصول على شعاع الليزر . اي ان شرط حدوث الفعل الليزري هو

$$E_2 > E_1 \text{ \& } N_2 > N_1$$

شرط الحصول على شعاع الليزر هو عكس ما هو موجود في الطبيعة اي يتطلب حدوث تعاكس في توزيع عدد الذرات بين مناسيب الطاقة فيزداد عدد الذرات في مناسيب الطاقة العالية عن عدد الذرات

في مناسبة الطاقة المنخفضة. من العلاقة الرياضية لقانون بولتزمان يمكننا ان نصنف هذا الوسط الذي فيه $N_1 < N_2$ ، في حين ان $E_1 < E_2$ بان حرارته سالبة اي ان قيمة درجة الحرارة T في المعادلة تصبح نظريا سالبة. وينمو الشعاع بإمراره في الوسط طبقا للعلاقة بين شدته I_ν وشدته الابتدائية $I_0\nu$ وطول المسار X في الوسط ومعامل الكسب α وهي $I_\nu = I_0 e^{\alpha x}$ وعند مرور الشعاع في وسط عادي فإن قيمة α تكون سالبة وتمثل هذه العلاقة إضمحلال شدة الشعاع بزيادة طول مساره نتيجة امتصاصه. اما في حالة الوسط الذي يتمتع بتعكس إسكاني للذرات فإن α تكون موجبة ولهذا فإن شدة الشعاع تنمو وتزيد كلما سار مسارا اطول في الوسط. لهذا يوضع الوسط بين مرآتين عاكستين يتضاعف المسار عشرات المرات وتصل شدة الأشعة الى قيمة ينطلق عندها شعاع الليزر الى قيمة يزيد فيها الكسب على الفاقد اثناء كل رحلة للشعاع بين المرآتين .

وللحصول على وسط يتمتع بالتعكس الاسكاني للذرات هناك عدة طرق منها:

1-الضخ الضوئي : وهو حادث في ليزر الياقوت المطعم بالكرميوم

2- الاثارة بالالكترونات : وهو حادث في ليزر الأرجون المتأين .

3-تصادم الذرات: وهو حادث في ليزر هليوم - نيون .

4- تفاعلات كيميائية : وهو حادث في ليزر فلوريد الايدروجين الكيميائي إذ تكون نتيجة التفاعل في النوع الرابع هي جُزئي او ذرة تركت في حالة إثارة ،في الليزر الكيميائي فلوريد الايدروجين ينتج عن تفاعل جزئيات فلوريد الايدروجين المثارة $H_2 + F_2 = 2HF$ ،وعند توفر الظروف المواتية يحدث التعاكس الاسكاني [3] .

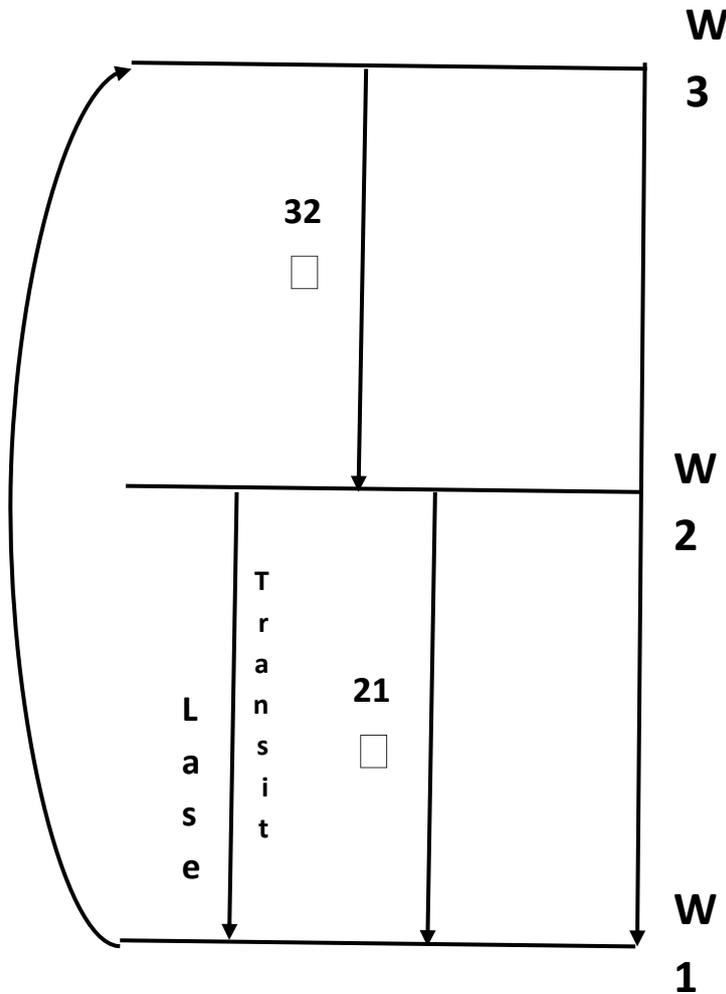
(2.6) التعاكس الاسكاني للذرات :-

لقد سبق ان ذكرنا عند تناول الاساس النظري للفعل الليزري قانون "بولتزمان " الذي يحدد توزيع الذرات في مناسبة الطاقة لوسط في اتزان حراري وتبعاً يكون عدد الذرات في منسوب الطاقة الأدنى أكبر من عدد الذرات في منسوب الطاقة الاعلى ويحدد القانون التسمية بين العددين. ولكي يحدث تعاكس في اسكان الذرات في مناسبة الطاقة فإن ذلك يتطلب اثاره الذرات عن طريق توفير طاقه تصب في الوسط بهدف تقليل عدد الذرات في المستوى الأدنى N_1 وزيادة عدد الذرات في المستوى الاعلى N_2 وهذا ما نعنيه بالتعاكس الاسكاني للذرات. نأخذ حاله نظام مكون من منسوبين فنجد ان عند اثاره الذرات بالتشعيع او بتصادمها مع الكتروونات يزداد عدد الذرات التي تسكن المنسوب الاعلى لكنه في نفس الوقت يزداد احتمال الخمود من المنسوب الاعلى الذي يرجع الذرات المثارة ثانية الي المنسوب الأدنى بزيادة الضوء الساقط او الالكترونات التي تتدخل في التصادم. والنتيجة هي انه مهما

كان شدة اثاره الذرات فانه لا يمكن الحصول علي تعاكس في اسكان الذرات لهذا يلزم استخدام نظام نظم تقوم علي ثلاثة او اربعة مناسب ذرية للحصول علي التعاكس الاسكاني لا يتطلب ذلك بالضرورة دائما ان تكون مناسب الطاقه مفردة او حادة انما يمكن استخدام مناسب شريطيه ولهذا فانه يمكن اعتبار ليزر الصبغة وليزر اشباه موصلات انها تقوم علي نظام المناسب الاربعه التي سوف نتناولها [3].

(2.6.1) التعاكس الاسكاني للذرات في ليزر المناسب الثلاثة:

يوجد عدد كبير من انواع الليزر الذي يتم فيه الفعل الليزري علي اساس المناسب الثلاثة مثل ليزر الياقوت وانواع ليزر الغازات . نرسم للطاقة ولعدد الذرات التي تسكن المناسب الثلاثة التي تدخل في الفعل الليزري كما يلي W_1, W_2, W_3 كما موضحة بالشكل N_3, N_2, N_1 فإن $W_1 < W_2 < W_3$ في نظام المناسب الثلاثة في حالة اتزان حراري $N_3 < N_2 < N_1$



(2.3) شكل يوضح نظام المناسب الثلاث في حالة اتزان حراري

ويجدر بالذكر ان المنسوب الادنى يرمز له بالرمز "1" هذا ليس هو بالضرورة لمنسوب الارضي للذرة ويتم اثاره الذرات من المنسوب رقم "1" الى المنسوب رقم "2" بواسطة التصادم مع فوتونات ,الكترونات او ذرات مثارة لها طاقة مناسبة. سنرمز الى احتمال انتقال الذرة من المنسوب "1" الى المنسوب "2" بالرمز " Γ " عن طريق الضخ. وعند ايقاف الضخ تعود الذرات المثارة تدريجيا الى حالة الاتزان الحراري وتعرف العملية بالاسترخاء وهي تحدث متزامنة مع اثاره الذرات الاخرى , وبالإضافة الى وجود عملية مشعة اي ينبعث عنها اشعاع حيث تنتقل الذرات المثارة الى الحالة الادنى بإنبعاث فوتون توجد عمليات غير مشعة كالتي تحدث نتيجة لتصادم الجزيئات الغازية او تفاعل الذرة مع الشبكة في الجوامد حيث تنتقل الذرات المثارة الى الحالة الادنى عن طريق الافراج عن طاقتها على هيئة طاقة حركة للجزيئات او طاقة اهتزاز للشبكة ولما كان الاسترخاء هو نتيجة هذه العمليات الاحصائية فإن معدل الاسترخاء او ثابت الاسترخاء يعرف بأنه المتوسط الاحصائي لاحتمالات استرخاء الذرات المثارة في وحدة الزمن وان مقلوب معدل الاسترخاء هو متوسط عمر الذرات المثارة. ترتبط الاحتمالية γ_{lu} اثيرت حراريا من الحالة الادنى W_l الى الحالة الاعلى W_u بالاحتمالية ϕ_{ul} للعملية العكسية من W_u الى W_l بالاسترخاء الحراري بالعلاقة الاتية في حالة الاتزان الحراري:

$$N_u \gamma_{ul} = N_l \gamma_{lu}$$

$$N_u = N_l e^{-\left(\frac{W_u - W_l}{KBT}\right)} \quad \text{حيث}$$

حيث T درجة حرارة الوسط.

$$\frac{\gamma_{lu}}{\gamma_{ul}} = e^{-\left(\frac{W_u - W_l}{KBT}\right)} \quad \text{وعلى ذلك فإن}$$

والعلاقة السابقة صحيحة حتى لو لم تكن N_l ، N_u تمثلان عدد الذرات التي تشغل مناسيب

الطاقة وهي في حالة عدم اتزان حراري اذا كانت قيم هذه الاحتمالات ثابتة للحالات السابق ذكرها فإن المعادلات التي تعبر عن معدل تغير عدد الذرات في كل منسوب من المناسيب الثلاث للنظام تحت تأثير الضخ هي كما يلي

$$\frac{dN_1}{dt} = -(\Gamma + \gamma_{12} + \gamma_{31})N_1 + \gamma_{21}N_2 + \gamma_{31}N_3 \quad (2.13)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \gamma_{12}N_1 - (\gamma_{21} + \gamma_{23})N_2 + \gamma_{32}N_3 \quad (2.14)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = (\Gamma + \gamma_{13})N_1 + \gamma_{23}N_2 - (\gamma_{31} + \gamma_{32})N_3 \quad (2.15)$$

حيث $N = N_3 + N_2 + N_1$ ثابت = العدد الكلي للذرات التي تسكن المناسيب الثلاثة في النظام . وللحالة المستقرة يمكن الحصول علي توزيع عدد الذرات تحت الضخ المستمر عن طريق مساوات معدلات التغير بالرغم من انه يمكن حل المعادلات لنحصل علي N_3, N_2, N_1 الا انه يمكن تبسيط الحسابات بافتراض ان التباعد اي المسافات بين المناسيب كبيرة بمقارنتها مع الطاقة الحرارية KBT وعند تطبيق المعادلة نجد ان

$$\gamma_{12} \ll \gamma_{21}$$

$$\gamma_{23} \ll \gamma_{32}$$

$$\gamma_{13} \ll \gamma_{31}$$

لهذا يمكن اهمال $\gamma_{23}, \gamma_{13}, \gamma_{12}$ نجد ان

$$\left(\begin{array}{l} -\Gamma N_1 + \gamma_{21}N_2 + \gamma_{31}N_3 = 0 \quad \Gamma N_1 = \gamma_{21}N_2 + \gamma_{31}N_3 \\ -\gamma_{21}N_2 + \gamma_{32}N_3 = 0 \quad \gamma_{21}N_2 = \gamma_{32}N_3 \\ \Gamma N_1 - (\gamma_{32} + \gamma_{31})N_3 = 0 \quad \Gamma N_1 = (\gamma_{32} + \gamma_{31})N_3 \end{array} \right) \quad (2.16)$$

$$\gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})(N_1 + N_2 + N_3) = \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})N_1 + \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})N_2 + \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})N_3 =$$

$$\begin{aligned} & \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})N_1 + \gamma_{32}N_3(\gamma_{31} + \gamma_{32}) + \gamma_{21}\Gamma N_1 = \\ & N_1 \{ \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32}) + (\gamma_{21} + \gamma_{32})\Gamma \} \end{aligned} \quad (2.17)$$

ونحصل على المعادلات التي تعطي قيم N_2, N_1 كنسبة من العدد الكلي N

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})}{\gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32}) + (\gamma_{21} + \gamma_{32})\Gamma} N \\ N_2 &= \frac{\gamma_{32}\Gamma}{\gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32}) + (\gamma_{21} + \gamma_{32})\Gamma} N \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\gamma_{32}\Gamma}{\gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})} = \frac{\Gamma}{\frac{\gamma_{21}}{\gamma_{32}}(\gamma_{31} + \gamma_{32})} = \frac{\Gamma}{\gamma_{21}\left(1 + \frac{\gamma_{31}}{\gamma_{32}}\right)} \quad (2.19)$$

إذا كانت الاثارة قوية الذي تكون فيه $\Gamma > \gamma_{21}\left(1 + \frac{\gamma_{31}}{\gamma_{32}}\right)$

لان N_2 تكون اكبر من N_1 وهو شرط حدوث التعاكس في اسكان الذرات.

(2.6.2) التعاكس الاسكاني للذرات في ليزر المناسب الاربعة :

لما كان المنسوب الادنى لانتقالات الليزرية هو ادنى المناسب في ليزر المناسب الثلاثة فإن غالبية الذرات في ادنى المنسوب عند الاتزان الحراري فتكون $N_1 \approx N$. لكن يتم التعاكس الاسكاني للذرات يلزم انقاص عدد الذرات التي تشغل المنسوب الادنى الى اقل من النصف بالضخ الشديد. ويقل الالتزام بهذا المطلب كثيرا في حالة المناسب الاربعة. الفعل الليزري في ليزر الهليوم نيون: قام " javan Bennett ,Herriott عام 1961 بناء اول جهاز ليزر وكان يتكون من انبوبة تفريغ طولها 100 سنتيمتر وقطرها الداخلي 1.5 سنتيمتر وقطرها الداخلي 1.5 سنتيمتر مملوءة بالهليوم عند ضغط 1 ملليمتر زئبق وبالنيون عند 5.1 ملليمتر زئبق واستخدمت من مستويتان متوازيتان [3].

(2.7) الترابط:-

يمكن وصف ترابط الموجات بمدى دقة تمثلها بمنحنى يتبع دالة جيب التمام وسنعرف هنا نوعين مختلفين من الترابط، يعبر النوع الاول عن علاقه المتوقعة بين موجة في لحظة ما والموجة بعد فترة زمنية لاحقة والنوع الاخر بين نقطه معلومة واخرى على مسافة معينة منها ويؤدي النوع الاول الي مفهوم الترابط الزمني بينما يؤدي النوع الثاني الي مفهوم الترابط الفراغي [3].

(2.7.1) الترابط الزمني:-

من المعلوم انى حسب النظرية الكهرومغناطيسه فإن ذرات المصدر الضوئي لا تصدر موجات متصله ويكون إنبعاث الضوء على هيئة قطارات من الموجات وتوجد علاقة بين طول هذا القطار والمدى الطيفي لاتساعه النصفى وكلما كان القطار طويلا كان المدى الطيفي لاتساعه النصفى قصيرا [3].

(2.7.2) الترابط الفراغي:-

إذا رجعنا الي تجربة الشق المزدوج لينج فإننا نجد انه يمكن ان يحدث تداخل من المصادر الضوئية التقليدية يوضح فتحة ضيقه جدا S_0 مباشرة امام المصدر الضوئي وهذه الظروف تؤكد ان قصارى الموجات اللذين يخرجان من الفتحة S_1 ، S_2 يكونان مترابطين بالنسبة لبعضهما و لو حدث تغير في طور الموجات المنبعثة من S_0 فإن هذا التغير ينتقل في نفس الوقت الى كل من S_1 ، S_2 ولذلك يوجد فرق ثابت عند اي نقطة عند الحائل بين الشعاعين المنبعثين من المصدرين ويتكون نموذج مستقر للتداخل الضوئي الكثافة الضوئية لشعاع الليزر:

التوزيع الفراغي لشعاع الليزر:

ينبع بروفيل الشدة الضوئية لشعاع TEM_{00} منحنى توزيع جاوس ويحكم بواسطة

تأثيرات الحيود التي تحدث عند الحواف والمعادلة الاتية تعبر عن توزيع الشدة الفراغية لهذا النمط

$$I(r) = I_0 \exp\left(\frac{-2r^2}{w^2}\right) \quad (2.20)$$

حيث r هي المسافة مقاسة من مركز الشعاع

w هي ثابت يعرف بمتوسط نصف قطر الشعاع ويسمى spot size حيث تقل الشدة الى $1/e^2$ من

قيمة اعلى شدة للشعاع عند مركز التوزيع . وعند النقطة $(1/e^2)$ تقل الشدة الى 47,86% ويعبر عن

انفراج الشعاع بوحدات الملي ريدينز $\phi = \frac{s}{r} rad$ والزاوية ϕ معبرا عنها بالوحدات القطرية تساوي

طول القوس S الذي يقابل المركز والمحدد بالشعاعين مقسوما على نصف القطر r .

زاوية نصف قطرية واحدة $= \frac{180}{\pi}$ ويعبر عن اقل انفراج للشعاع بالمعادلة:

$$\phi = \frac{4\lambda}{\pi D} \text{ حيث } D \text{ هي اقل عرض للشعاع [3].}$$

(2.8) شدة شعاع الليزر:-

تعتمد شدة شعاع الليزر على قدرة الشعاع ومساحة مقطعيه والطريقة التي ينتشر بها من نقطة الى اخرى وتعرف القدرة على انها المعدل الزمني لفعل الشغل وهي معدل استخدام او انتاج الطاقة .
والعلاقة بين القدرة والزمن تعطيها المعادلة:

$$\phi = \int_0^t P(t)dt \quad (2.21)$$

معبرا عن الكميات بوحدات الراديو متر كالاتي:

$$\phi \equiv \text{الطاقة بالجول}$$

$$P(t) \equiv \text{القدرة بالوات}$$

$$dt \equiv \text{الزمن بالثانية}$$

$$t \equiv \text{الزمن تكرار النبضة بالثانية}$$

والشدة I تساوي عدد الفوتونات السافطة على وحدة المساحة في الثانية [3].

الباب الثالث

الاليف البصرية

(3.1) مقدمة :-

بدأ استخدام الاليف البصرية كتطبيق في خطوط الاتصال مما مهد لحصول علي ثورة في عالم الاتصالات من حيث الكم الهائل للمعلومات والتي اصبح بالامكان نقلها عبر الخطوط لمسافات طويلة وبنوعية عالية الجودة . لقد كانت فكرة استخدام الضوء كوسيلة للاتصال قديمة جدا عندما (photo phone) وذلك من اجل ارسال الصوت عبر الضوء. بعد ذلك بدأت محاولات ارسال الضوء عبر الفراغ المحيط بنا منذ اختراع وتصنيع الليزر في عام 1958و التي كانت تتطلب عدم وجود عوائق ومدى رؤيا مستقيم . في عام 1970 كانت البدايات الفعلية لمحاولة ارسال الضوء عبر اليف الزجاجية بمعدل توهين اقل من 20/km وفي نطاق معامل التجارب بعد ذلك بدأت توالى الابحاث لتطوير انتاج اليف بصرية من الزجاج النقي وبمعدلات توهين اقل حيث تمكنت في اواسط السبعينات من القرن الماضي شركة Corning Inc من تصنيع كابيلات بصرية وطرحها في الاسواق التجارية .لقد جاء تطوير وتصنيع الاليف البصرية على مراحل حيث كانت في المرحلة الاولى تعمل على طول موجي 850 nm والتي سميت بالنافذة الاولى (first window) بمعدل توهين 3dB/Km والذي كان انجاز عظيم في وقته . انتقلت الشركات المصنعة الى النافذة التالية(second window) حيث تم تصنيع اليف بصرية تعمل على طول موجي 1300/nm بمعدل توهين الي حوالي 0.5dB/km في نهاية العام 1977 قامت شركة (NTT) بالانتقال الى النافذة الثالثة (Third window) وذلك باستخدام طول موجي 1550nm حيث امكن الحصول على اليف زجاجية بمعدل توهين حوالي 0.2dB/km والذي يعتبر نظريا اقل حد ممكن لقيمة الفقد في اليف الزجاجية . في السنوات الحالية جميع الاطوال الموجية السابقة الذكر تصنع وتعمل في معظم دول العالم ان لم يكن جميعها . لقد بدأ التطبيق الفعلي لانظمة الاتصالات البصرية في بداية السبعينات من القرن الماضي حيث تم تركيب كابل بصري لنقل المكالمات الهاتفية [6]. والاليف البصرية هي اليف مصنوعة من الزجاج النقي تكون طويلة ورفيعة ولا يتعدى سمكها سمك الشعرة . يجمع العديد من هذه الاليف في حزم داخل الكابيلات البصرية وتستخدم في نقل الاشارات الضوئية لمسافات بعيدة جدا [7].

(3.2) مكونات الليف البصري :-

الالياف البصرية تتكون من اسطوانتين متحدتي المركز تسمى الاولى بالقلب Core محاطة باسطوانة اخرى تسمى الغلاف Cladding ثم الغطاء الواقي Buffer Coating والغلاف الخارجي للكابل (Jacket).

القلب Core :-

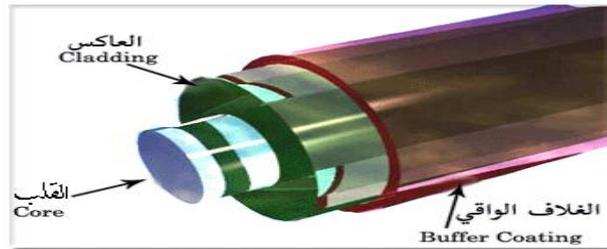
هو عبارة عن زجاج رفيع (اسطواني) ينتقل فيه الضوء ويصنع من السيلكا Silica المطعمة (بالجرمانيوم) .

-الغلاف Cladding :-

مادة تحيط باللب الزجاجي (اسطوانة أخرى محيطة) وتعمل على حفظ الضوء في مركز الليف البصري وهي مصنوعة من السيلكا وذلك لكي يكون معامل انكسار القلب اكبر من معامل انكسار الغلاف وهو الشرط المطلوب للحصول على ظاهرة الانعكاس التام او الانعكاس الكلي الداخلي الذي هو اساس توجيه الضوء في الالياف الضوئية اذ ينعكس الضوء كلياً ويتكرر الانعكاس ينتشر الضوء داخل قلب الليف الضوئي ويصل الى النهاية الاخرى للليف .

-الغطاء الواقي Buffer Coating :-

غلاف بلاستيكي يحمي الليف البصري من الرطوبة ويحميه من الضرر والكسر [7] .



(3.1) رسم يوضح مكونات الليف البصري [6]

(3.3) انواع الالياف البصرية تبعا لمعامل الانكسار :-

1. الياف ذات بروفييل معامل انكساره من درجة واحدة وهي عبارة عن اسطوانة ذات مادة عازلة وضعت في الهواء .
2. الياف بصرية عديدة المنوال mode ذات بروفييل معامل انكسار من درجة واحدة .
3. الياف بصرية وحيدة المنوال mode ذات بروفييل معامل الانكسار من درجة واحدة .
4. الياف بصرية يأخذ فيها البروفيل معامل الانكسار الشكل w ويحاط لب الشعيرة بقشرتين الداخلية معامل انكسارها n_1 والخارجية معامل انكسارها n_2 حيث ان $n_1 < n_2$.
5. الياف بصرية متدرجة معامل الانكسار وعديدة المنوال وفيها معامل الانكسار لب الشعيرة $n(r)$ يتغير بتغير r من الشعيرة طبقا للمعادلة

$$n^2(r) = n^2(0) \left[1 - \Delta_1 \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right] \quad (3.1)$$

$$\Delta_1 = \frac{\Delta^2}{n^2(0)} = \frac{n^2(0) - n_1^2}{n^2(0)} \quad (3.2)$$

$$1.5 < \alpha < 2.5$$

وتكون اعلى قيمة لمعامل الانكسار $n(r)$ عند محور الشعيرة .

6. الياف بصرية ذات لب متدرج معامل الانكسار ويأخذ فيها بروفييل معامل الانكسار الشكل w .
وتحدد البارمترات الآتية خصائص الالياف ذات بروفييل معامل الانكساره من درجة واحدة .
نصف قطر لب الشعيرة او الاتساع العددي (N_A) الذي يعرف بالمعادلة :

$$N_A = (n_0^2 - n_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

حيث ان :-

$$N_A \equiv \text{الاتساع العددي}$$

$$n_0 \equiv \text{معامل انكسار مادة لب الشعيرة}$$

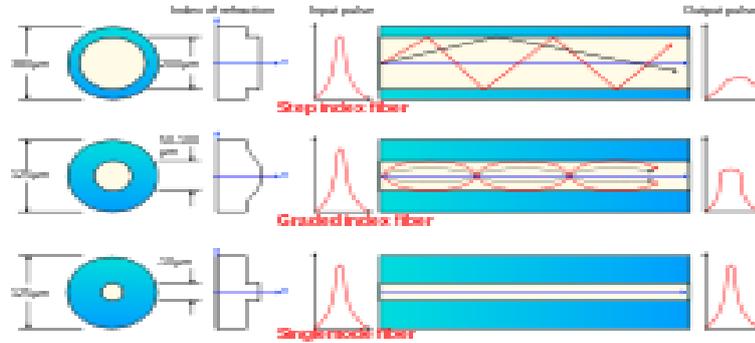
معامل انكسار مادة قشرة الشعيرة $\equiv n_1$

وترتبط قيمة الاتساع العددي باقصى زاوية قبول لاشعة الداخلية للشعيرة بالبارمترات V الذي تعطيه المعادلة

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_0^2 - n_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

$\lambda \equiv$ طولوجة الضوء

الالياف البصرية عديدة المنوال هي موجهاة للموجة التي تحتوي على عدة مناويل للانتشار وتكون لهذه المناويل او النهج مجالات لها توزيع دوري وعند تجمعها نحصل على توزيع اي مجال مسموح به داخل الشعيرة . وتوجد ثلاث مناطق تمثل اللب والقشرة والسترة البلاستيك على الترتيب [3].



(3.2) رسم يوضح المناطق الثلاثة لليف البصري اللب والقشرة والشعيرة [5].

(3.4) الخصائص التركيبية للياف البصرية :-

تكون الاليف البصرية المستخدمة في التراسل الضوئي من نوعين وحيدة المنوال والآخر متدرج معامل انكسار ليها ومتعددة النوال وفي النوع الاخير يتكون لب الشعيرة من السيلكا المشاب ببعض العناصر فيتغير معامل انكسار اكسيد السيلكون $n_0 = 1.450$ باشابته بمواد مثل اكسيدالجرمانيوم او الفسفور والبورون . الاشابة بالجرمانيوم او الفسفور تدفع قيمة معامل انكسار اكسيد السيلكون اما الاشابة بالبورون فتخفض هذه القيمة . وتوجه الاليف البصرية الموجات الضوئية اذاكانت مادة ليها ذات معامل انكسار اكبر من معامل انكسار قشرتها لذلك فان معظم الاليف البصرية يتكون من قشرة من اكسيد السيلكون النقي ولب ازداد معامل انكساره باشابته باكسيدالجرمانيوم او الفسفور وفي بعض الاليف تشاب مادة القشرة باكسيد البورون لتقلل من معامل انكسار مادتها بالنسبة لليها المشاب [3] .

(3.4.1) مواد الاشابة :-

تلعب مواد الاشابة دورا هاما حيث انه بزيادة تركيز هذه المواد تزيد زاوية القبول للشعيرة والانتساع العددي لها ومن ناحية اخرى فانها تزيد من التغيرات في تركيب المادة وينتج عن ذلك فقد عن طريق مسببات التثنت كما ينتج صعوبات تكنولوجية في عملية تكوين الشعيرة نتيجة اختلاف في الخواص الفيزيائية لللب الشعيرة عن الخواص الفيزيائية للقشرة وتقوم صناعة الاليف البصرية ذات بروفيل معامل الانكسار من درجة واحدة وكذلك متدرجة معامل الانكسار على استخدام الطريقة الكيميائية المعدلة وذلك بترسيب الابخرة .

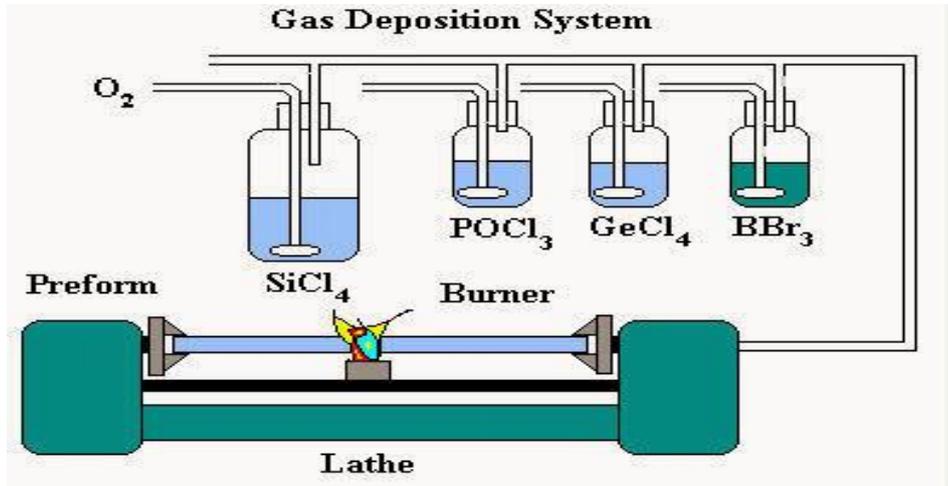
ثم الحصول على اليف يصل فيها الفقد الى 0.2 ديسبل فتضمن طريقة ال MCVD عمليتين :-

1- انتاج قوالب ذات تركيب معين ويتكون من لب وقشرة لها مواصفات الشعيرة باقطار تتراوح بين 0.5-3 سم ثم انتاج الشعيرة عن طريق سحبها من هذه القوالب باستخدام فرن كهربى ويكون قطر مقطع هذه القوالب حوالي 7 ملم بينما قطر الشعيرة 125 ميكرو متر

2- في الطريقة الكيميائية المعدلة لتحضير هذه الاليف بترسيب الابخرة في هذه الطريقة يتم تركيب انبوب من الكوارتز على مخلطة تدار ببطء بينما تتساب المواد المتفاعلة (كلوريد السليكون- مواد الاشابة) يحملها تيار الاكسجين ويستخدم لهب الاوكس هيدروجين

لترسيب وصهر طبقات المواد في نفس الوقت وذلك بتحريكه على امتداد الانبوبة الخارجية وتترسب حوالي 50 طبقة بتكرار امداد اللهب .

ولتحضير الياف بصرية ذات بروفيل معامل الانكسار من درجة واحدة يثبت تركيز مادة الاشابة لكل الطبقات المرسبة بينما في حالة الالياف البصرية متدرجة معامل الانكسار فيزداد تركيز مواد الاشابة مع زيادة عدد الطبقات وتؤدي الى انخفاض معامل الانكسار مع زيادة البعد عن المحور وترفع درجة حرارة اللهب فيحدث انصهار للانبوبة ونحصل على قوالب جامدة وتسحب الالياف من القوالب [3] .



(3.3) رسم يوضح طريقة تحضير الالياف البصرية بالطريقة الكيميائية [5]

رسم توضيحي لعملية التحضير بالطريقة الكيميائية المعدلة بترسيب الابخرة " MCVD " F انبوبة من الكوارتز المنصهر و D طبقة مرسبة من الزجاج و M مقاييس توضح انسياب الغازات B دورقان و T موقد و TR اتجاه حركة الموقد . ولاختيار تركيب الطبقات المكونة له نستخدم الميكروسكوب الالكتروني الماسح لفحص نهاية الشعيرة بعمل نحر لها واحتفظت هذه الشعيرة بنفس التركيب الطبقي لها وان سمك كل طبقة في حالة الالياف التي فحصت اقل من طول الموجة وبالإضافة الى ان قيمة معامل الانكسار غير ثابتة في كل طبقة من الطبقات .

ثم دراسة الخواص التركيبية للقوالب والالياف البصرية المحضرة بالطريقة الكيميائية وذلك بطريقة التداخل الضوئي باستخدام شريحة على شكل قرص من الشعيرة باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح . التركيب الناتج من عملية الترسيب يوجد في جميع العمليات المتتابعه ويظهر في الشعيرة بالإضافة الى وجود انخفاض في معامل الانكسار في الشعيرة المسحوبة من القالب بروفيل معامل الانكسار للقوالب وذلك نتيجة ان معامل الانكسار يزداد تبعا لدالة خطية مع تركيز مواد

الاشابة واطهرت هذب التداخل الثنائي شريحة قالب الشعيرة هذب الداخل الضوئي على هيئة خطوط مستقيمة ومتوازية في قشرة الشعيرة التي هي من مادة السيليكا النقية مما يؤكد تجانس مادتها يلي ذلك طبقة من البوروسليكات معامل انكسار مادتها اقل من معامل انكسار مادة القشرة وتمنع هذه الطبقة وصول اي مواد غريبة الى لب الشعيرة وانتشارها ويتم ترسيب مادة لب الشعيرة بزيادة معدل سريان كلوريد الجرمانيوم GCl_4 وينتج عنه ازدياد محتوى اكسيد الجرمانيوم GO_2 ومن ثم زيادة في معامل الانكسار طرديا مع زيادة سمك المادة المشابة . معامل انكسار لب الشعيرة يتبع مسار قطع مكافئ من القشرة وحتى مركز الشعيرة وقدرة ميكروسكوب التداخل الضوئي على فصل المعالم الدقيقة لم تكن كافية لتحديد طبقات لب الشعيرة كلا على حدة ولقد استخدمت ميكروسكوب الكتروني ماسح لتحديد هذه الطبقات . وجد ان الشعيرة تتركب من طبقات متعاقبة لها معاملات انكسار متزايدة بشكل تدريجي حيث $n(r)$ تظل قيمتها ثابتة لسمك الطبقة :

$$0 \leq r \leq a \quad n(r) = n_0 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

$a \equiv$ نصف قطر الشعيرة

$r \equiv$ المسافة من مركز لب الشعيرة

$\Delta \equiv$ الفرق النسبي لمعامل الانكسار

$$\Delta = \left(\frac{n^2(0) - n^2(a)}{2n^2(0)} \right) \quad (3.6)$$

$a \equiv$ بارمتر يعدد شكل بروفيل معامل الانكسار

وقد تم دراسة هذا البروفيل في الالياف المتدرجة معامل الانكسار GRIN نظرية أكدت النتائج تجريبيا من صور التداخل الضوئي . وقسم نصف قطر الشعيرة الى طبقات او مناطق عددها m وعرض كل منها Δr وتمثل r_m نصف قطر الطبقة m .

$$0 = r_0 < r_1 < r_2 \dots < r_{m-1} < r_m = a \quad (3.7)$$

وينتج معامل الانكسار العلاقة :-

$$n_0 = n_{r_0} > n_{r_1} > \dots > n_{r_m} = n_a = n_{cald}$$

وكذلك فان :

$$n(r) = f(r)$$

هي المعادلة الاساسية لللب الشعيرة في الالياف ال GRIN ويمكن استنتاج قيم r_m من معادلة (1-3) وقيمة ازاحة الهدبة الناتجة من عدة طبقات m المكونة لللب الشعيرة ، بالاضافة الي قشرة الشعيرة يعطي بالتجميع Summation وتشارك كل طبقة بنصف قطع ناقص الطول النصفي لمحورية الاساسيين Semi-principalaxix هما :

$$\left[r_f \frac{4\Delta z}{\lambda} (n_{cald} - n_r) r_f \right] \left[a; \frac{4\Delta z}{\lambda} (n_{r_{m-1}} - n_{cald}) a \right] \quad (3.8)$$

$$\left[r_{m-1}, \frac{4\Delta z}{\lambda} (n_{m-2} - n_{r_{m-1}}) r_{m-1} \right] \quad (3.9)$$

كما في المعادلة اعلاه. [3]

(3.5) طريقة فحص تركيب الالياف :-

1. الميكروسكوب الضوئي .
2. الميكروسكوب الالكتروني الماسح .
3. الميكروسكوب الالكتروني النافذ .

4. حيود الأشعة السينية .

5. أطيف الأشعة تحت الحمراء .

6. التداخل الضوئي الثنائي .

7. التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ والانعكاس .

يتميز الماسح الإلكتروني بقوة تحليل فراغية كبيرة وبعمق مجاله ولذلك فإنه يعطي معلومات تفصيلية عن المعالم التركيبية لللياف ويمكن الحصول على معلومات عن بروفيل معامل الانكسار بالنسبة لللياف البصرية بتعريض احدى نهايتي الشعيرة للتأكد باعتبار ان معدل يعتمد على مكونات الشعيرة في المواضع المختلفة . عند تزويد الميكروسكوب الماسح بمطيف الأشعة السينية القادرة على فصل مناسب الطاقة بمقارنة شدة الأشعة السينية الناتجة من فحص شعيرة لعينة عيارية يمكن تعيين مكونات الشعيرة من العناصر التي لا تزيد رقمها

الذري للبراليوم [1] . (3.6) تباين الخواص الضوئية لللياف :-

عندما يمر اشعاع ضوئي احادي الطول الموجي ومستقطبا استوائيا خلال نظام من الجزيئات المرتبة فإنه يعاني انكساراً نتيجة لتفاعل الضوء مع المادة ويختلف هذا التفاعل باختلاف المتجه الكهربائي للشعاع الضوئي الساقط والمستقطب استوائيا ولهذا المتجه الكهربائي اتجاهات :-

1. في اتجاه محور الشعيرة .

2. في اتجاه عمودي عليه .

وتعرف المادة في هذه الحالة بأنها متباينة الخواص الضوئية ويكون لها انكسار مزدوج اي قيمتان احدهما للضوء المستقطب في اتجاه مواز لمحور الشعيرة والاخر في الاتجاه العمودي عليه ويقاس الانكسار المزدوج بالفرق بين قيمتي معامل الانكسار وتتركب اللياف الطبيعية والتركيبية من جزيئات انتظمت في سلاسل طويلة تقع على امتداد محور الشعيرة وتكون السلاسل في بعض اللياف موازية تماما في اغلبها للمحور وتفقد هذه الصفة في الياف اخرى . وتختلف الخصائص الضوئية لللياف باختلاف اتجاه انتشار الأشعة بالنسبة لمحور الشعيرة ويصل الاختلاف في هذه القيم الى الحد الاقصى عند استخدام ضوء مستقطب في اتجاه مواز للمحور وفي الاتجاه العمودي عليه وتوجد علاقة مباشرة بين الخصائص لللياف والخصائص للجزيئات المكونة لهذه اللياف [3].

(3.7) آلية العمل :-

تصنع الاليف الضوئية عادة من مواد ذات معامل انكسار كبير وتكون رفيعة لدرجة انه لا يمكن للضوء ان يسقط على جدرانها بزواوية اقل من الزاوية الحرجة فتسقط الاشعة الضوئية بزواوية سقوط اكبر من الزاوية الحرجة فتنعكس انعكاس كلي داخلي في الانبوب حتى تنفذ من الطرف الآخر [7].

(3.8) مميزات الاليف البصرية :-

لقد احدثت الاليف الضوئية ثورة في عالم الاتصالات لتميزها على اسلاك التوصيل فهي :-

1. اكثر قدرة على حمل المعلومات لان الاليف الضوئية ارفع من الاسلاك العادية فانه
2. يمكن وضع عدد كبير منها داخل الحزمة الواحدة مما يزيد عدد خطوط الهاتف او عدد قنوات البث التلفزيوني في كبل واحد .
3. يكفي ان تعرف ان عرض النطاق للاليف الضوئية يصل الى 50 THz في حين ان اكبر عرض نطاق يحتاجه البث التلفزيوني لايتجاوز 6MHz .
4. اقل حجما حيث ان نصف قطرها اقل من نصف قطر الاسلاك النحاسية التقليدية فمثلا يمكن استبدال سلك نحاسي قطره 7.62 سم بأخر من الاليف الضوئية قطرها لا يتجاوز 0.635 سم وهذا يمثل اهمية خاصة عند مد الاسلاك تحت الارض .
5. اخف وزنا فيمكن استبدال اسلاك نحاسية وزنها 94.5 كجم باخرى من الاليف الضوئية تزن فقط 3.6 كجم .
6. فقد اقل للاشارات المرسله .
7. عدم امكانية تداخل الاشارات المرسله من خلال الاليف المتجاورة في الكبل الواحد مما يضمن وضوح الاشارة المرسله سواء اكانت محادثة تلفونية او بث تلفزيوني.
8. كما انها لا تتعرض للتداخلات الكهرومغناطيسية مما يجعل الاشارة تنتقل بسرية تامة مما له اهمية خاصة في الاغراض العسكرية .
9. غير قابلة للاشتعال مما يقلل من خطر الحرائق .
10. تحتاج الى طاقة اقل في المولدات لان الفقد خلال عملية التواصل قليل.

بسبب هذه المميزات فان الالياف الضوئية دخلت في الكثير من الصناعات و خصوصا الاتصالات وشبكات الكمبيوتر كما تستخدم في التصوير الطبي بانواعه وكذلك كمجسات عالية الجودة للتغير في درجة الحرارة والضغط بما له من تطبيقات في التنقيب في باطن الارض [7].

(3.9) استخدامات الليف البصري :-

1. في المجال الطبي :- اجراء العمليات الجراحية الدقيقة ويمكن رؤية اجزاء الجسم الداخلية مثل (تنظير المعدة) .
2. في مجال الاتصالات:- وهو المجال الاوسع الذي يهتم بعشرات من التطبيقات مثل تطبيقات الاتصالات التلفزيونات وغيرها .
3. في مجال الهندسة الوراثية حيث يمكن تفكيك الشفرة الوراثية ومنع الامراض الوراثية كالسكري ومتلازمة داون وفقر الدم
4. في المجال العسكري حيث يمكن انه من الصعب التجسس عليها وسحب الاشارة .
5. كما انها توجد في فراء الدب لان فرو الدب لا يوفر له عزلا حراريا فقط وانما شعيرات الفراء تعمل كمجموعة هائلة من الالياف البصرية التي تعكس الاشعه فوق البنفسجية .
6. في مجال التدريس :- اجراء العمليات الحسابية [7] .

(3.10) انواع الالياف البصرية من حيث التصنيع:-

(3.10.1) الالياف الزجاجية :-

او ال (fiber glass) وتدعى الزجاج الليفي هي ماده مصنوعة من الياف رفيعة جدا من الزجاج . وهذه الالياف قد تكون ادق من الشعر البشري بمرات كثيرة وهي ومظهرها كالحريير . والالياف الزجاجية المرنة اقوي من الصلبة لا تحترق او تتمدد او تصدأ او تبتهت . وهي ماده قوية للغاية وخفيفة الوزن.ظهرت تقنية تسخين وتشكيل الزجاج على مدى آلاف السنين فالمصريون في عصور ما قبل الميلاد استخدموه للزخرفة ومع ذلك استخدام هذه الالياف اصبح منتشرا مؤخرا . وعبر تجارب اجريت من عام 1931 م الى عام 1939 تمكنت شركتان امريكيتان هما شركة زجاج ايلينوي أوينز وشركة كورنج للاعمال الزجاجية من تطوير طرق عملية لصناعة الالياف الزجاجية بكميات تجارية . وتتم عملية تصنيع الالياف الزجاجية لتكون مناسبة تدعم باستخدام افران كبيرة لاذابتها تدريجيا مع رمل السيليكا والحجر

الجيري , طين الكولين , كوليمانيت والدولوميت والمعادن الاخرى حتى تتحول الى صورة سائل ثم يتم سحبها خلال المقابس والتي هي حزم من فتحات صغيره جدا (قطرها عادة بين 5-25 ميكرومتر ل<E> - زجاج , و9 ميكرومتر ل<S>- زجاج) هذه الخيوط من ثم تغلف بحجمها وتصبح (مغلقة) مع محلول كيميائي . يتم وضع الشعيرات الفردية معا في حزمة واحدة بأعداد كبيره لتسهيل نقلها . الالياف الزجاجية تتشكل عندما تتحول الى جدائل رقيقة من السيليكا (اي صيغة اخرى من الزجاج) الى العديد من الالياف باقطار صغيرة تجعلها مناسبة لعملية النسيج . عندما يبصبح الزجاج ليف يكون له تركيب بلوري [8] .

(3.10.2) الليف الضوئي البلاستيكي او البوليمري :-

Plastic optical fiber or polymer optical fiber

هو ليف ضوئي يصنع من البوليمر وهو يشبه الليف الزجاجي في نقل الضوء من خلال قلب الليف core وميزته المتانة في ظل الانحناء والتمدد . في الليف الضوئي البلاستيكي يوجد البوليمر الاساسي الفينيلدين كلوريد البنية اساسية الكسوة وهو موصوف بالبوليمر فينيلدين كلوريد مادة البوليمر البلاستيكية ووجود معامل انكسار اقل ويرد ايضا متدرج لا مفلورة اسطح الفينيلدين بوليمر كلوريد . الالياف البصرية معروفة في الفن لنقل الضوء على طول خيوط و انعكاسات داخلية متعددة من الضوء يؤخذ بعناية كبير لتقليل الخسائر في الضوء بسبب امتصاصه وتتأثر على طول الالياف بحيث ضوء تطبيقاتها على نهاية واحدة منها ينتقل بكفاءة الى الطرف الاخر قد تكون محاطة جزء الارسال او الاساسية من الالياف الضوئية ووجود مؤشر لانكسار الاقل من الجوهر وذلك لتحقيق جزء اكبر من الانعكاس الكلي الداخلي على طول الالياف يتم اختيار مواد الكسوة عادة ان تكون شفافة والكسوة مبهمة تميل الي الامتصاص او ضوء التشرزم . وقد تم انتاج الالياف البصرية من الزجاج و تستخدم الالياف علي نطاق واسع في الصناعة و في العلاج الطبي و في نقل المعلومات . و الياف الارسال الخفيفة المصنوعة من الزجاج غالية الثمن ثقيلة الوزن ومنخفضة نسبيا في المرونة . الالياف البرية التي تحتوي علي نواة الزجاج قد تكون محمية باستخدام طبقة البلاستيك للتدريع علي سبيل المثال البوليميرات الحرارية و تحت هذا الاحتماء يضيف انه غير مرغوب فيه الجزء الاكبر و الوزن . وعلاوة علي ذلك هذه الالياف لا تمكن دائما لاستخدامها في الحالات التي يكون فيها الانحناء لدائرة نصف قطرها صغير من انحناء غير مفيدة او المطلوبة نتيجة لذلك فقد اقترح ان الالياف الضوئية تكون مصنوعة من البوليميرات عالية الاصطناع . الياف الارسال الخفيفة من البوليميرات عالية الاصطناع هي خفيفة الوزن ولها مرونة اكبر من الالياف الزجاجية في حين ان هذه الالياف الزجاجية هي اقل عرضة للكسر بسبب الانحناء و تسمح بقوة اكبر مرور الضوء من خلالها لتحسين انتقال الضوء من خلال الالياف البلاستيكية غمد او الكسوة من البوليميرات الاصطناعية ووجود مؤشر اقل

من الانكسار وضع في جميع الانحاء الاساسية للبلاستيك . هيكل الالياف CLADDED وبالتالي الحصول بنقل اكبر كمية من الضوء الساقط بسبب تحسن انعكاس الضوء علي واجهة من الكسوة و الاساسية. و كلما زاد الفرق في معامل الانكسار بين البوليمر الاساسي و البوليمر الكسوة وانخفاض خسارة في الضوء تنتقل عن طريق الالياف .عالية الاصطناع التي اقترحت لاستخدامها كمادة اساسية للالياف البصرية هي البولسترين و بولي (ميثاكرليت الميثيل) وتفيد التقارير بان البولي(ميثاكرليت الميثيل) اكثر و افضل من البوليسترين و المواد الاساسية للالياف الارسال لانها متفوقة لنقل الضوء من طول موجة واسعة في القوة الميكانيكية والاستقرار الحراري والابعاد . و البولي (ميثاكرليت الميثيل) شفافة ولكن لديها مؤشر منخفض نسبيا من الانكسار 1.48 - 1.50 لذلك عند استخدام هذا البوليمر بوصفه عنصرا اساسيا وهنالك عدد محدود نوعا ما من راتجات مرغوب فيها معامل انكسارها اقل يمن استخدامها كعنصر الكسوة . يتم تجميع الاساسية و الكسوة بتكثف لتشكيل الالياف البصرية مركب بحيث ان الضوء الساقط قدم واحدة من نهاية الالياف البصرية وينتقل في الاتجاه الطولي خلالها البوليميرات الاصطناعية شفافة و معامل الانكسار لها اقل من 1.48-1.50 التي اقترحت للاستخدام في الكسوة او المواد لغمد البولي (ميثاكرليت الميثيل) وتشمل بولي(الفينيلدين فلوريد) t سداسي فلوريد بروبيلين بولي ميراثميثيل اكرليت بولي ميراث الميثيل التي تحتوي علي الفلور و السيلكون والايثلين فينيل اسيتات تحتوي علي الفلور عند استخدامها بشكل مستمر في درجة حرارة تصل الي 80 درجة مئوية قد تكون الالياف البصرية بلاستيكية عرضة للتدهور من الاكسدة . اكسدة الالياف البلاستيكية تقلل من خاصية الانتقال الخفيفة نظرا لتشكيل الرابطة الكيميائية التي تمتص الضوء . ولذلك اقترح لف او معطف الطبقة الخارجية من الالياف الضوئية البلاستيكية علي سبيل المثال و الغمد او الكسوة طبقة من الراتج الذي يمنع انتقال كثير من الأوكسجين وذلك لمنع اكسدة الالياف . واقترح ايضا الالياف البصرية هاليد CLQDDED و تستخدم لنقل الاشعة تحت الحمراء لتوسط ولزيادة فيلم البوليمر الداخلي من انخفاض انتقال الأوكسجين بين واجهة الكسوة بالاضافة الي النفاذ الالياف البصرية مع انخفاض بوليمر نقل الأوكسجين .وتشمل راتجات وجود انتقال الأوكسجين المنخفض البلاستيك والبولي ايثلين و ايثلين فينيل الكحول من بوليميرات السيلوفان كلوريد البولي فينيل كلوريد .في اعداد الالياف الضوئية البلاستيكية فمن المهم الحصول علي سعة باعتبار الفرق في معامل الانكسار وبين المكونات الاساسية و الكسوة ما هو ممكن معقول مع الاخذ في الاعتبار عوامل اخرى مثل الالتصاق بين المكونات الاساسية و الكسوة علي واجهة و الميكانيكية قوة المواد والاستقرار الحراري و التجهيز

[9].

الباب الرابع

الجانب العملي

(4.1) مقدمة :-

في هذا الباب تعرضنا بطريقة عملية لدراسة توهين الضوء عند مروره خلال الليف البصري وهو يأخذ انحناءات على شكل دوائر باقطار ومسافات مختلفة .

(4.2) الأجهزة والادوات :-

ليف بصري (بلاستيكي) - حامل - مصدر ليزر (مؤشر ليزر الهليوم نيون طوله الموجي 634 وطاقته لا تزيد عن 5 واط) - مقاوم ضوئي - ملليمتر - مسطرة مترية .

(4.3) الطريقة :-

أخذت الخلفية الإشعاعية سلط ضوء الليزر على ليف بصري واستقبل الضوء الخارج من الليف البصري على الخلية الضوئية التي وصلت الخلية الضوئية مع الملليمتر و تمت قراءة الجهد في كل حالة من الحالات الآتية:

في حالة المسافة بين الخلية الضوئية والليف البصري ثابتة $X=1\text{cm}$ والقطر متغير .

في حالة المسافة بين الخلية الضوئية والليف البصري متغيرة والقطر $R=10\text{cm}$.

في حالة المسافة بين الخلية الضوئية والليف البصري متغيرة والقطر ثابت $R=0$.

وسجلت النتائج في الجدول أدناه :-

(4.4) النتائج :-

بعد اجراء التجربة ودراسة أثر انحناء الليف ادرجت النتائج التالية :

جدول (4.1) يوضح العلاقة بين قطر الليف وشدة الاستضاءة عند المسافة $X=1\text{cm}$

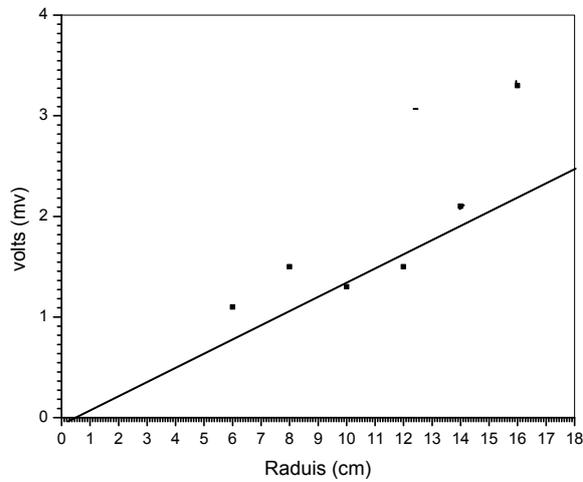
R/cm	6	8	10	12	14	16
V/m v	1.1	1.5	1.3	1.5	2.1	3.3

جدول (4.2) يوضح العلاقة بين المسافة وشدة الاستضاءة عند القطر $R=10\text{cm}$

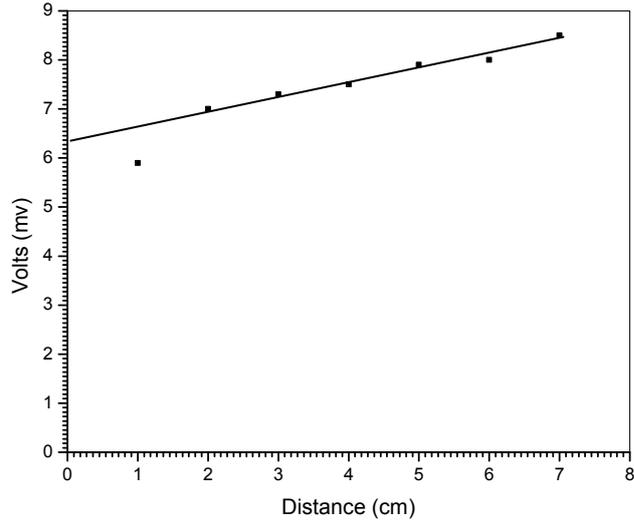
X/cm	1	2	3	4	5	6	7
V/ m v	5.9	7	7.3	7.5	7.9	8	8.5

جدول (4.3) يوضح العلاقة بين المسافة وشدة الاستضاءة عند الليف في شكل مستقيم اي $R=\infty$

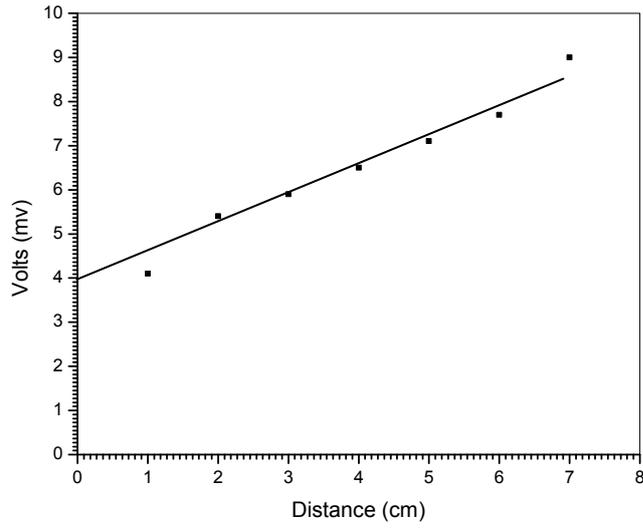
X/cm	1	2	3	4	5	6	7
V/ m v	4.1	5.4	5.9	6.5	7.1	7.7	9



شكل رقم (4.1) يوضح العلاقة بين قطر الليف البصري وشدة الاستضاءة



شكل رقم (4.2) يوضح العلاقة بين المسافة من الليف البصري وشدة الاستضاءة عند القطر 10 cm



شكل رقم (4.3) يوضح العلاقة بين المسافة من الليف البصري وشدة الاستضاءة عند القطر ∞

(4.5) المناقشة :-

يعرض الجدول (4.1) نتائج العلاقة بين القطر وشدة الاستضاءة عند ثبوت المسافة والذي يوضح الرسم البياني (4.1) , والتي تبين ان العلاقة طردية مارة بنقطة الاصل اي كلما زاد القطر زاد التوهين .

اما الجدول (4.2) يعرض نتائج العلاقة بين المسافة وشد الاستضاءة عند ثبوت القطر والذي يوضح بالرسم البياني (4.2) ان علاقته ايضا طردية يقطع جزء من المحور الصادي .

والجدول (4.3) يعرض نتائج العلاقة ايضا المسافة وشدة الاستضاءة في حالة الليف في خط مستقيم موضح بالرسم البياني (4.3) والعلاقة طردية وتقطع جزء من المحور الصادي .

(4.6) الخلاصة :-

تمت دراسة توهين الضوء عند إنحناء الليف البصري والمرور عبره ووجد ان هنالك فقد في الطاقة بمعنى انه كلما اذداد كل من القطر والمسافة اذدادت شدة الاستضاءة .

التوصيات:-

نوصي لمن يدرس هذا البحث :

- 1- استخدام انواع مختلفة من الليزر .
- 2- استخدام انواع مختلفة من الالياف البصرية.

- 1- مقدمة عن تقنية الالياف البصرية-[etisalat at 4 arab.blogspot.com](http://etisalat.com.arab.blogspot.com)>blog-post-23 تاريخ النشر 2009/7/23 .
- 2- هيثم عمارة آخر تحديث 19/أكتوبر 2014 ماهي اشعة الليزر- موضوع .
mawdoo3.com
- 3- دكتور نايل بركات -القاهرة في يونيو 1992- التداخل الضوئي -- مطابع الوفاء -
المنصورة
- 4- Dr-Hazem Flah Laser physics
- 5- بسيط الياف ضوئية (جامعة العلوم والتكنولوجيا الاردنية) تاريخ النشر 3-1-2014
- 6- اتصالات الياف بصريه www.kutub.info
- 7- ويكيبيدي ليف بصري " The Rise and Rise of optical fibers", IEEE Journal on selected Topics in Quantum Electronics vol.6 No .6,pp. 1084-1093 ,Nov/Dec 2000. Mirabito, Michale M .A and Morgenstern Barbara L. ,The New communications Technologies :Applications, policy and Impact 5th Edition focal press 2004
- 8- Nawy Edward G(2001) and Jon wiley (2) concrete ISBN 978-0-38555-471-3صفحة رقم 310
- 9- البيانات مقدمة بواسطة google-EJ sare-US patent 4,807,946,1989 patent تاريخ النشر 28-فبراير 1989-المخترعون Edward j . Sare