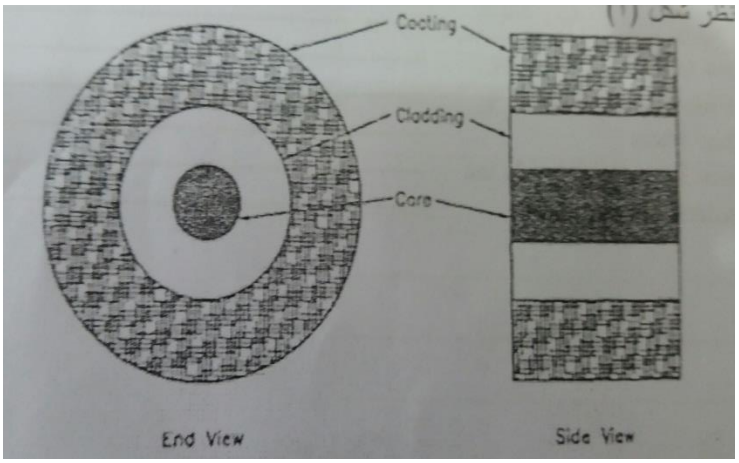
١.١ المقدمة

انتقال الالياف البصرية من نظام البسيط لأيصال الضوء الى اماكن معقده الوصول ان الالياف البصرية عدة مميزات منها قليلة الفقد خفيفة الوزن لكن لها ميزه مهمة هي سعة نطاقها العالية جدا تصل الى الآف البلايين

احتلت الالياف البصرية في مجال الاتصالات مكانا مميزا اذا حلت محل الاسلاك النحاسية في العديد من الاستعمالات كالربط بين المقاسم الهاتفية والخطوط بعيدة المدى وتطورات البصريات الليفية تطورا سريعا حيث صمم اليل الال ليقوم بنقل المعلومات بمعدل تتراوح 2,140MB واستعملت فيه منابع بصرية مصنوعة من زرنيخ جاليوم (Gad As) وكواشف السلكونية تستعمل في اطوال موجية تتراوح بين 900,810nm في جيل الثاني تطور المنابع والكواشف الضوئية تستخدم عند الطوال الموجي 1300nm حيث يقل الفقد في الليف الى 1dB\km في الجيل الثالث ادى استعمال الالياف البصرية احادية النمط الى الفضاء على التشتت في الالياف البصرية متعودة النمط في هذا الجيل تشغل وصلات البصريه تعمل الالياف الاحادية بطول الموجي 1300nm لتحصل على فقد قليل والمسافة بين المكررات في الجيل الرابع تم تشغيل هذا النظام عند طول الموجي 1550nm حيث الفقد قليل مما هو علية عند الطول الموجي 1300nm ادى تطوير العناصر المستعملة في هذا النظام كالمنابع والكواشف لبناء النظام تستعمل بمعدل نقل معلومات قدره 10B/sec ان الابحاث مستمرة في تطوير عناصر نظم اتصالات الالياف البصرية للحصول على أفضل الظروف التشغيلية مما مهد الى بروز وان الجيل الخامس الذي توفرت له عناصر عديدة في تحسن أجهزة الاستقبال حيث استخدم للكشف التحقيقي بدلا من كشف المباشر من وجود الوسائل ذات كفاءة الاختيار القنوات في نظام في تعدد الارسال بتقسيم الطول الموجي تمكن الباحثون من تطعيم الزجاجية بمادة الاربيوم Er للحصول على مضخمات الليف مطعم بالاربيوم وجدت استعمالات واسعة في خطوط النقل واستخدام نبضات طبيعية تمكنها من قطع مسافات طويله دون تشوة هذه تطورات ان الذي ادى الى شيوع استعمال نظام اتصالات الليفية بصرية في جميع حالات اتصالات هذه تطورات سريعة.

عبارة عن دليل للموجة الضوئية ويصنع من مادة عازلة للكهرباء **ويتكون** الليف البصري من اسطوانتين متحد المركز الاسطوانة المركزية تدعى اللب معامل الانكسار له يرمز n1 واعلى كثافة ضوئية للاسطوانة خارجية n2 تسمى الغلاف هذا شرط يجب ان يكون $(n_1>n_2)$ يستعمل على ان يكون انتقال الضوء في الليف وفق مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي يعطي الليف يتكون من طبقتين بغطاء سميك من بلاستيك لحماية من المؤثرات الخارجية تصنع الالياف عادتا من زجاج المشوب اللب _والغلاف نرمز له (scs) وبلاستيك نرمز له pcs وبلاستيك كليا pcp



شكل ١.١المقطع العرضي والجانبي لليف البصرية

١.٢مميزات الالياف البصرية

١. عرض نقاطها عالية جدا
٢. قطرها صغير ووزنها خفيف
٣. لا يوجد تداخل بينها مهما قربت المسافة بينها
٤. لا تتأثر بالبحث او تداخل الكهرو مغناطيسي
٥. انخفاض في سعر تكلفة مكالمات
٦. اكثر امانا وسلامة
٧. العمر الافتراضي لها طويل
٨. تستحمل درات حرارة عالية ولا تتأثر بالمواد الكيميائية
٩. سهلة الصيانة كما يمكن الاعتماد عليها

١.٣نظرية الاشعاع الضوئي

الضوء يسير بالاتجاه وسرعة معينة تعتمد قيمتها على نوع اي ان الوسط يعيق انتشار الضوء بنسب متفاوتة وان انتشار الضوء في وسط اقل في الفراغ وان هذه الخاصية للمواد تسمى معامل الانكسار يرمز له n يمكن حسابة من خلال علاقة $n=C/c_n$

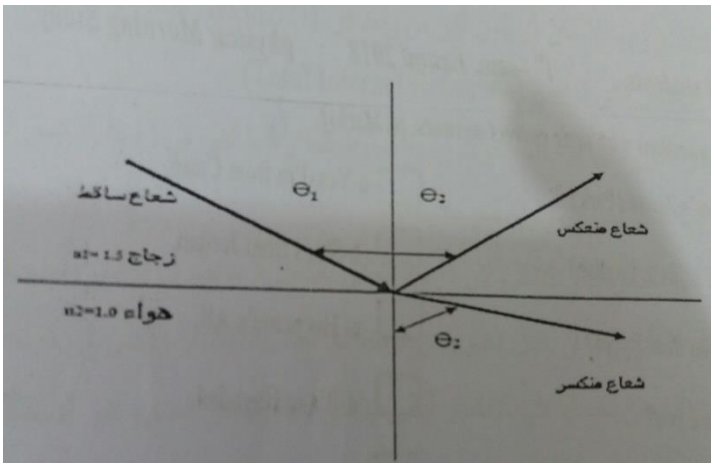
حيث cn سرعة انتشار الضوء عبر المواد C سرعة الضوء في الفراغ $c = 3 \times 10$

جدول ١.١معامل الانكسار لبعض المواد

المادة	معامل الانكسار
هواء	1
ماء	1.33
زجاج	1.5
سيليكون	3.5
جرمانيوم	4
كحول	1.36

١.٤قانون سنيل

يعتبر هذا قانون من قوانين المهمة في علم البصريات يعطي علاقة بين الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والزوايا.



شكل٢.١ الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر

يمكننا كتابة قانون ستيل على النحو التالي

$$n_1 \sin 0_1 = n_2 \sin 0_2$$

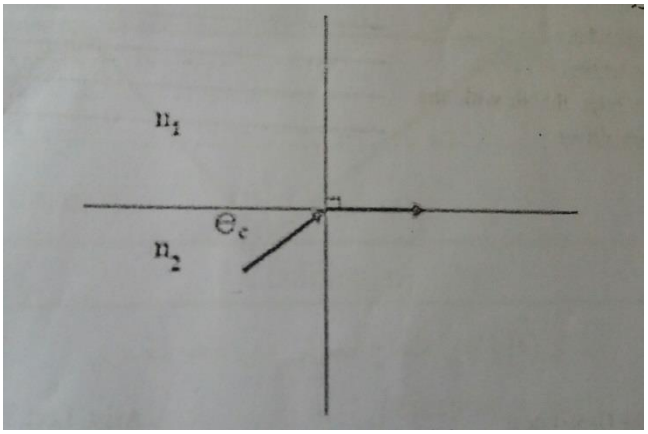
حيث ان n1 ترمز الى معامل الانكسار للزجاج n2 معامل الانكسار للهواء سنعيد كتابة القانون ستيل لتصبح كلاتي :

$$\frac{sin01}{sin02} = \frac{n1}{n2}$$

حيثما يكون ($n_2>n_1$) فان ($n_1<n_2$)

١.٥الزاوية الحرجة

يتحدد مفهوم الزاوية الحرجة على النحو التالي : هي عبارة عن الحالة الخاصة لقيمة زاوية السقوط الشعاع عندما تكون زاوية الانكسار له تساوي $90°$ الشكل (٣) في هذه الحاله ينتشر الشعاع المنكسر بشكل افقيا موازيا للحد بين الوسطين الاول والثاني .



شكل ١.٣حالة الزاوية الحرجة للسقوط

بالرجوع الى قانون ستيل يمكننا الحصول على العلاقة التالية الزاوية $0c$

$$n_1.Sin0_1 = n_2.Sin0_2$$

$$n_1.Sin0c = n_2.Sin90$$

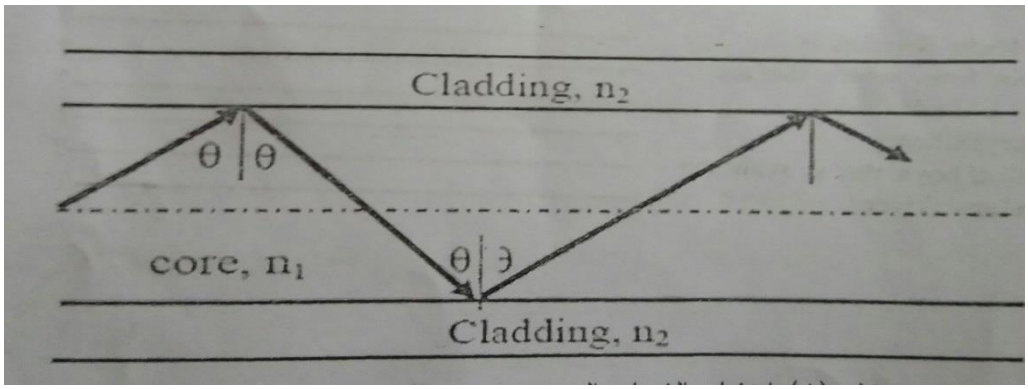
$$n_1.Sin0c = n_2$$

$$0c = \sin^{-1}(\frac{n2}{n1})$$

١.٦ الانعكاس الكلي الداخلي

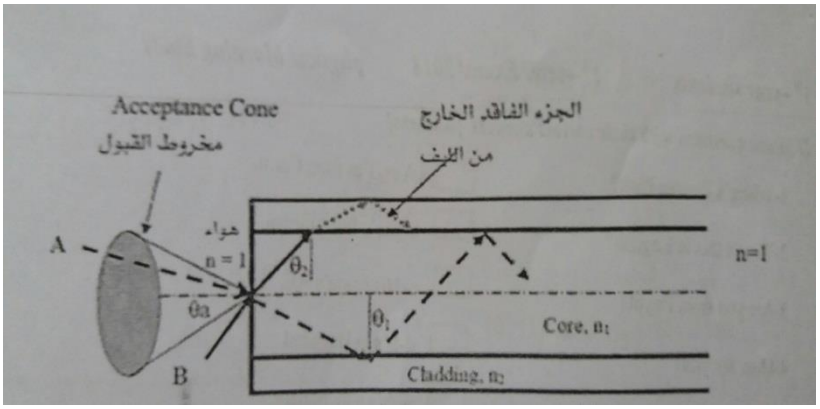
يوضح من خلال هذا قانون ستيل ان زاوية السقوط كلما تغيرت رافقها تفير في الزاويه الانكسار حيث تكون زاوية سقوط اكبر من زاوية الحرجة $0_1>0_c$ حصول على الانعكاس الكلي لأن الضوء ينعكس بالكامل وان الشرط مهم هو يجب ان ينتقل الضوء من الوسط ذي معامل الانكسار اعلى الى وسط معامل الانكسار حتى يمكن حصول على على انكسار الكلي الداخلي يعتمد على انتشار الضوء عبر الالياف لبصرية يمكن اعتبار الليف البصري انبوب زجاجي بقطر حوالي *(125nm)* مكون من طبقتين طبقه الداخلية تسمى اللب ولها معامل انكسار *n1* طبقة محيط تدعى (المحيط) وله معامل انكسار *n2* حيث تعطي الليف متانه درجه التحمل اللازمة يجب اضافة غلاف اولى بلاستيكية لتغطية محيط الليف

ان الضوء اذا سقط اقل من زاوية الحرجة فأن قليل من الضوء ينعكس داخل لب انعكاس جزئي داخلي وجزء اخر سوف ينكسر عبر محيط الليف حيث يؤدي الى خروجه من الليف بالتالي يؤدي الى كثرة الفقد لتوضيح عملة الانتشار عبر الليف البصري كما في شكل (٤) تمثل الانتقال الاشعاع الضوئي بزاوية *(0)* حيث يكون انتشار خلال لب الليف بالكامل وذلك طبقا لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي



شكل ١.٤ انتشار الشعاع الضوئي عبر الليف البصري

زاوية القبول :، يعتبر زاوية القبول $0a$ من القيم العددية يجب ان تعرف عن الليف البصري ويتضح المعنى ونستعين بها



شكل ١.٥ زاوية القبول عند ادخال الضوء الى الليف البصري

يدخل الشعاع الليف بزاوية اقل من الزاوية $0a$ ويصل الى الحد الفاصل بين اللب والمحيط بزاوية 01 اكبر من الزاوية الحرجة وبذلك يتتبع مساره عبر الليف بشكل صحيح يحقق الانعكاس الكلي الداخلي وكون الفقد في هذه الحالة اقل ما يمكن لكن يدخل الشعاع B يدخل الليف بزاوية اكبر من زاوية القبول $0a$ حيث يصل الى الحد الفاصل بين اللب والمحيط بزاوية اقل من $0c$ وبذلك فان جزءا منه ينكسر باتجاه المحيط ويخرج خارج الليف مما يتسبب في فقد جزء من الضوء المنتشر وبذلك لا يمكن له ان يحقق الانعكاس الكلي الداخلي من هنا يتضح معنى ومفهوم زاوية القبول بانها الزاوية التي يجب على الشعاع الداخل ان يدخل بزاوية تساويها او اقل منا حتى يتحقق الانعكاس الكلي وبتالي ينتشر عبر الليف بشكل صحيح وبأقل فقد ممكن وفي نفس الوقت فأن الشعاع الداخل لليف بزاوية اكبر من زاوية القبول فأن جزءا من ينكسر عبر محيط الليف وبالتالي سوف يفقد وما تبقى من ينعكس داخل الليف و نحصل على انعكاس جزئي وليس كليا لذلك حتى يتم ارسال الضوء لأطول مسافه ممكنة يجب مراعاة ادخال الضوء لليف بزاوية لا يتجاوز قيمة $0a$

فتحة النفوذ التعددية: هناك كثير من القيم العددية تكون اكثر شمولا من زاوية الشمول التي تعطي تعبيرا عن العلاقة ما بين ادخال الضوء الليف بالشكل صحيح ومعامل الانكسار لكل اللب $n1$ ومحيطه $n2$ تدعى هذه القيمة بفتحه النفوذ العددية NA يمكن ايجادها من العلاقة

$$NA=n_0 sin\, 0a = \sqrt{[n1^2 - n2^2]}$$

حيث ان n_o ترمز الى معامل الانكسار للوسط الفاصل عادتا ما يكون الهواء $n_o=1$ بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف يمكننا التعبير على NA بدلالة الفرق النسبي Δ

$$0a = \sin^{-1}(NA)$$

يمكننا التعبير على NA بدلالة الفرق النسبي Δ بين n_1 n_2

$$NA = n1\sqrt{2\Delta}$$

حيث ان تحسب وفق علاقة

$$\Delta = \frac{n1^2 n2^2}{2n1^2}$$

$0a$ تاخذ قيم بين صفر و90

NA بين الصفر والواحد

عادتا في الواقع العملي يستعمل العدسات بين مصدر الضوئي ومقدمة الليف للمساعدة في جميع وتركيزه وسهولة ادخال الى الليف واستخدام العدسات الايصال الضوء من مخرج الليف

١.٧ أنماط الانتشار في الليف البصري

انتشار الضوء عبر الليف البصري بشكل محدد من الحزم الضوئية واشعاعات والزوايا معينة تدعى هذه تدعى الاشعاعات او الحزم الانتشار وارتباط شعاع بنمط الانتشار معين استخدام الارقام الجانبية بجانب اسم النمط لتميزها عن بعضها البعض هناك انواع مهمة للانماط :،

١_انماط الكهربائية عرضية ويرمز لها *TE-modes*

٢_انماط مغناطيسية عرضية ويرمز لها *TM-mode*

٣_انماط هجيئة تحتوي على مجالين الكهربائي والمغناطيسي من نوع *HE*

٤_انماط هجيئة تحتوي على مجالين الكهربائي والمغناطيسي من نوع *EH*

مثال على طريقة التسمية انماط الانتشار

TM02, HE11 ,EH12 ,TE01

عند تكلم انماط الانتشار يجبب التعرف على قيم العددية لليف البصري تدعى التردد المقياس او قيمة العددية (*v_number*)حساب من خلال العلاقة :،

$$\boldsymbol{v = \frac{2\pi}{\lambda} aNA}$$

الطول الموجي

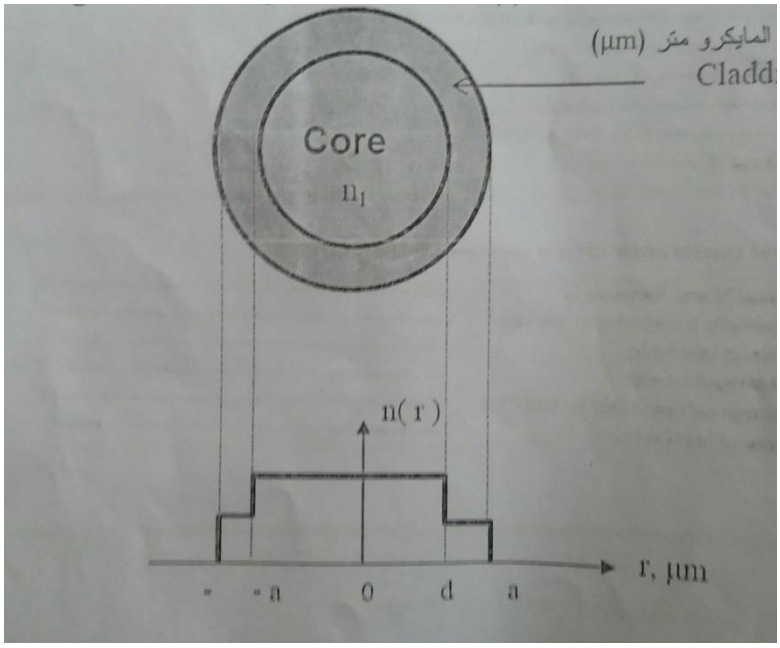
$$v=\frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{\sqrt{2\Delta}}$$

a :نصف القطر لب

١.٨أنواع الالياف البصرية

تنقسم الالياف البصرية بالاعتماد على المعيار المستعمل للعملية التقسيم تقسم الالياف كلآتي :،

١.٨.١ الالياف العتبية :- يكون معامل الانكسار قيمة ثابتة خلال الليف الالياف العتبة ظهور الالياف البصرية بدأت بهذا النوع تحيدا لسهولة التصميم التصنيع وان لب الليف يتم تصنيعة من الزجاج نقي له معامل الانكسار ثابت *n1* المحيط يصنع من الزجاج ايضا بمعامل الانكسار ثابت ذو قيمة اقل *n2* من خلال شكل ٧ بين كيفية التغير معامل الانكسار لليف البصرية *r* بالاعتماد على المسافة القطرية من المركز الليف حيث يمثل *d* نصف قطر المحيط والرمز *a* نصف قطر



اللب

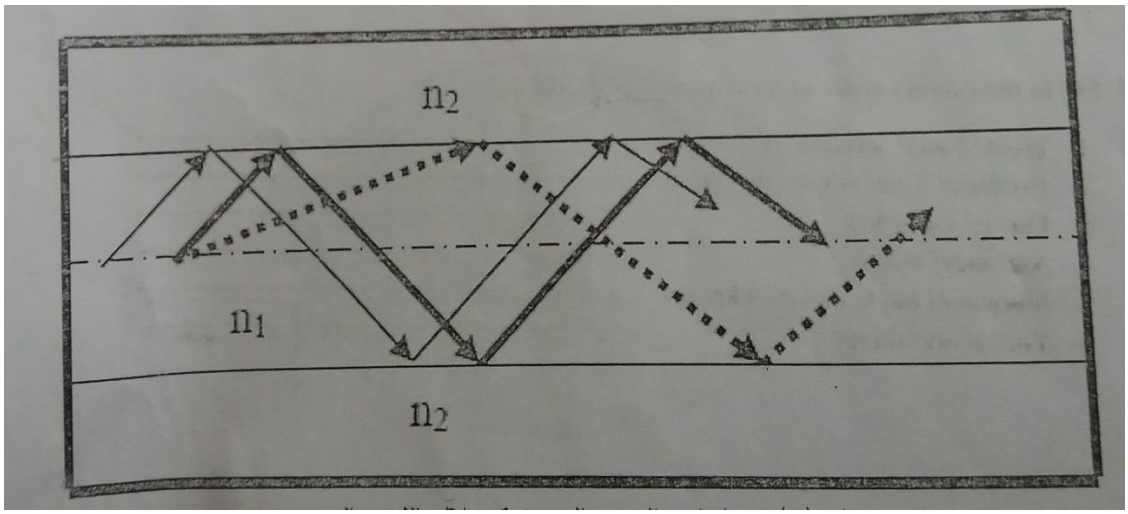
شكل ٦ . ١ تغير معامل الانكسار في الليف العتبي

ان شكل اعلاه ان التغير معامل الانكسار من قيمة *n2*الى قيمة *n1* وبالعكس له شكل الدرة او العتبة وجاءت تسمية من هنا (الليف العتبي)وان الانماط المنتشرة *Ms* خلال الليف العتبي

$$\boldsymbol{Ms = \frac{v2}{2}}$$

حيث سرعة الانتشار تكون ثابته $\boldsymbol{v = \frac{c}{n}}$

حيث ان n تدل الى معامل لانكسار للوسط الذي يتم فيه الانتشار هنا لب اليف تحدد $n=n1$ سبب ذلك ثبات سرعة يعود الى معامل الانكسار اللب ذو قيمة ثابتة وعلاقة اعلاه لا تتغير هندسيا وحزم الضوئية تنتشر او الاشعة ضمن منطقة الضوء حيث يكون بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس يكون معامل الانكسار ثابتت وهذه الحالة في الأليف العتبية مميزات الاليف العتبية تواطئ سعرها ولكنها متواضع خصائص والمميزات المشكلة الرئيسية في التشتت الباطني يكون عالي نسبيا يؤدي الى سلبيا وتؤثر عاليا وعلى مسافة الارسال يؤثر وعلى سرعات البث المسموح ايضا وسبب تحصل على تشتت الباطني الداخلي



شكل ٧ . ١ مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتبي

١.٨.٢الالياف التدريجية:- مميزات الالياف البصرية تكون ذات معامل التدريجي وهو معامل الانكسار الليف تتغير قيمة بشكل تدريجي من مركز اللب اقصى قيمة$n1 = n$ولغاية الفاصل بين اللب والمحيط اقل قيمة $n=n2$ ويأخذ اشكال المختلفة هذا تغير التدريجي والقطع المكافئ او اي شكل آخر وتق بينها معامل الانكسار ثابت المحيط الليف $n2$ ان منطقة لب الليف ذو قيمة متغيرة للمعامل الانكسار ويأخذ شكل دالة رياضية معينة $n\ (r)$ يمكن تعبير عن$n(r)$ رياضيا

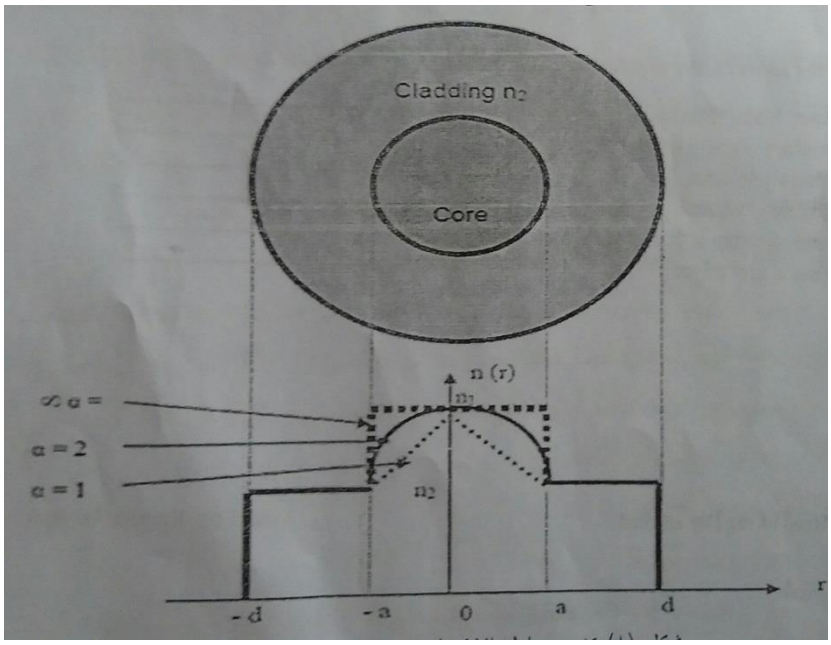
$$\boldsymbol{n(r) = n1 \sum_{n1\sqrt{1-2\Delta}=n2}^{(1-2\Delta)\sqrt{\frac{r}{a}}} \quad \begin{matrix} r<a \\ r>a \end{matrix}}$$

حيث تمثل قيمة α معامل الدالة يحدد شكل عامة لصورة (لمثلثي او القطع المكافئ)والشكل الثلث تدريجي $\alpha = 1$ فان العتبي $\alpha = \infty$ وشكل قطع مكافئ تدريجي $\alpha = 2$

حيث ان α تأخذ اكبر قيمة حقيقية لكن من ناحية العملية يتم اجراء عدة تجارب وان قيم الافضل هي $\alpha = 1.98$ وناتج يكون في حاله شبه القطع المكافئ وتحسب عدد الانماط المنتشرة mg لليف البصرية

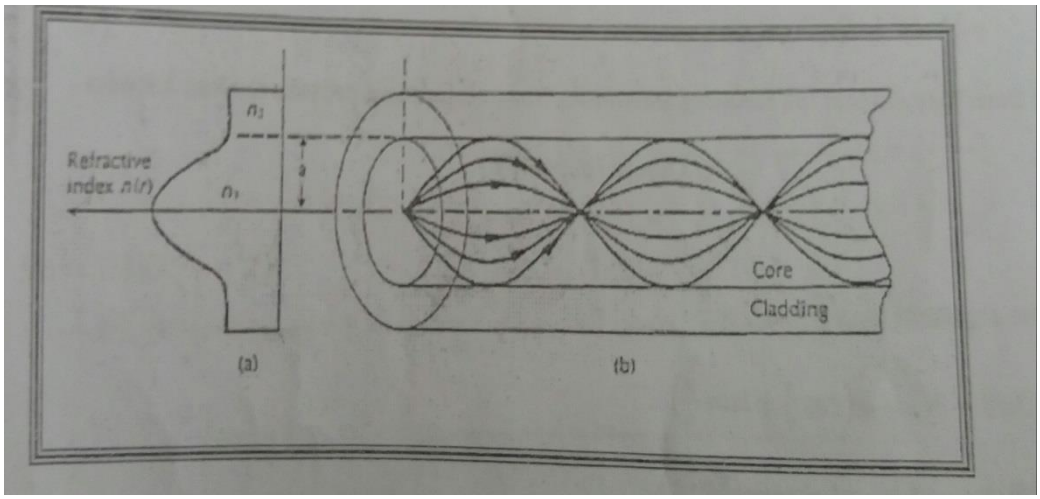
$$Mg = \left\{\frac{\alpha}{\alpha+2}\right\} \ [\frac{v^2}{2}]$$

والانماط تعتمد على معاملة دالة α



شكل ٨ . ١تغير معامل الانكسار في الليف التدريجي

ان ضمن منطقة اللب البصري تنتشر الحزم الضوئي او الاشعة وتكون مساراتها على شكل خطوط منحنية ومعامل الانكسار ذو قيمة صغيرة في منطقة اللب علاقة $v = \frac{c}{N}$ ان حاصل القسمة يمثل سرعة ليست ثابتة وتكون السرعة اكبر ما يمكن وn اصغر ما يمكن في الاطراف اللب والسرعة قليلة وتكون n اكبر ما يمكن في مركز وان هذا الاختلاف هو سبب رئيسي حيث يعطي الالياف البصرية معامل تدريجي الميزة الايجابية مع مقرنة الالياف العتبية



شكل ٩ . ١ انتشار الحزم الضوئية عبر الليف البصري التدريجي ذي شكل القطع المكافئ

ان مركز اللب تكون الحزم قريبة منها وسرعة بطيئة وتقطع مسافات قصيرة بينها الحزم البعيدة تكون سريعة وتقطع مسافات طويلة ومعامل الانكسار اكبر وتصل في اوقات زمنيه متقاربة جدا ويقلل تأخير فيها هو سبب في تشتت هذه الالياف حوالي ١٠٠ مرة قليلة يحدث في الليف العادي

١.٨.٣الليف الاحادي النمط :- تصنف الالياف حسب النمط المنتشرة وفي هذا نوع نمط فقط ($HE11$)يكون الليف احادي النمط من الانتشار($HE\ 1\ 1$)_يبدأ يظهر اول نمط وينتشر عبر الليف البصري ويسمى نمط الاساس في الوقت نفسة ونمط الاحادي ينتشر بحالتين من الاستقطاع ١ _الحالة الافقية ويرمز لها ب x ٢ _ الحالة العمودية يرمز لها ب y ويمكن ان نحصل في انتشار نمط واحد فقط وتكون قيمة V صغيرة وقليلة من (2.405) وتسمى قيمة الحديه $v=2.405$ ان ظهور يتضمن فقط قيمة القطع ويرمز لها Vc ان مميزه الاساسية لليف احادي النمط وعدم وجود تشتت باطني ونمط عدم وجود تأخيرات او فروقات زمنية بين النمط هو سبب الاظهار المباشر للتشتت وان الالياف احادية النمط وهي الافضل دائما من حيث خصائص والوف ورغم صعوبة تصنيع وارتفاع تكاليف لليف احادي النمط من نوع العتبي ويحقق يجب

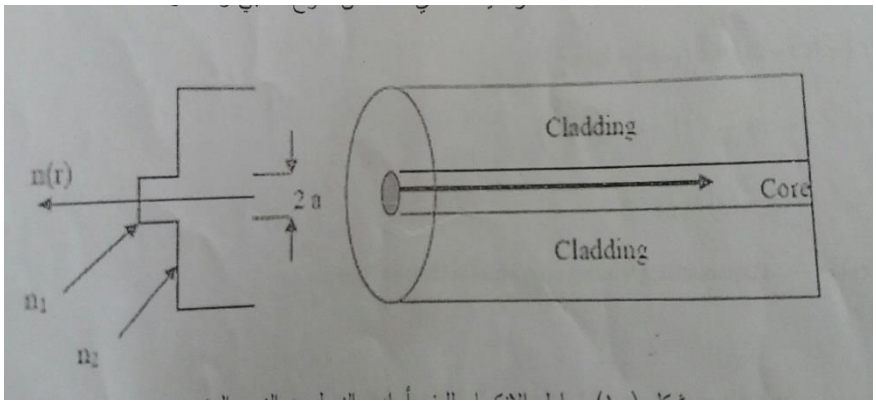
$$\mathbf{0 \leq v \leq 2.405}$$

يمكن تحقيق الشرط بطريقتين :-

- ☒ عن طريق تصغير قطر لب الليف (a)
- ☒ عن طريق تصغير الفرق النسبي للمعامل الانكسار (Δ) في احادي النمط من نوع التدريجي بحسب للعلاقة التاليه

$$VC = 2.405\sqrt{1 + 2/\alpha}$$

يبين الشكل كيفية معامل الانكسار الليف احادي النمط من نوع العتبي وانتشار داخل الليف .



شكل ١٠ . ١ معامل الانكسار لليف احادي النمط من نوع العتبي

١.٨.٤الليف البلاستيكي :- مميزات بلاستيكية يرمز لها (*pof*) حيث انها تصنع من بلاستيك بالكامل ورخيصة جدا والآن تصنع على شكل الالياف العتبية متعددة الانماط وتعمل على طول موجي *650nm*

اهم مميزات الايجابية :-

- سعر اقل ٢_حجم كبير نبيا حوالي *100Mm* لذلك تكون سهلة الاستخدام
- فتحة النفوذيه العددية *NA* عالية حوالي *0.5* ٤_ الباسطة والمرونة والعالية في التطبيق

السلبيات:-

- التوهين عالي كثيرا اي اكثر من *200Db/Km*
- عرض النطاق الترددي أقل حوالي (*5MHZ.km*)لذا يقتصر استعمال الالياف البلاستيكية للكيبلات الكهربائية في السيارات

١.٨.٥طول موجة القاطع

نرجع الى علاقة ١٥ ان لا يمكن الليف البصري ان يعمل كأحادي النمط حيث يكون طول الموجي يعمل علية اعلى من قيمة معينة تسمى طول موجه القطع ويرمز له

$$\lambda c = \frac{2\pi an1}{vc}\sqrt{2}\ \Delta$$

وتبسيط هذا العلاقة في حالتين التالين :

- احادي النمط العتبي في حالة الليف

$$\lambda c = V\lambda / 2.405$$

- وحال الليف احادي النمط التدريجي

$$Vc = 2.405\sqrt{1 + 2/\alpha}$$

في النهاية حتى يعمل الليف البصرية الاحادي النمط يجب ان يكون الطول الذي يعمل عليه اكبر من طول الموجي القاطع λc