

# خطوط النقل والألياف البصرية

## الألياف البصرية



## الوحدة الثانية : الألياف البصرية

**الجدارة:** القدرة على التعرف على مبدأ عمل وأنواع وأساسيات الألياف البصرية ومواصفاتها العملية...

**الأهداف:** عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف مبدأ عمل الألياف البصرية.
- يعرف الخصائص الأساسية للألياف البصرية.
- يتعرف على أنواع الألياف البصرية.
- يتعرف على الشروط اللازمة للحصول على الليف أحادي النمط.
- يتعرف على مجموعات وتصنيف الألياف البصرية ومواصفاتها العملية.

**مستوى الاداء المطلوب:** أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

**الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:** ٧ ساعات.

**الوسائل المساعدة:**

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض المحاضرات عن الألياف البصرية.

**متطلبات الجدارة:-** أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الأولى ومقرر أساسيات الاتصالات.



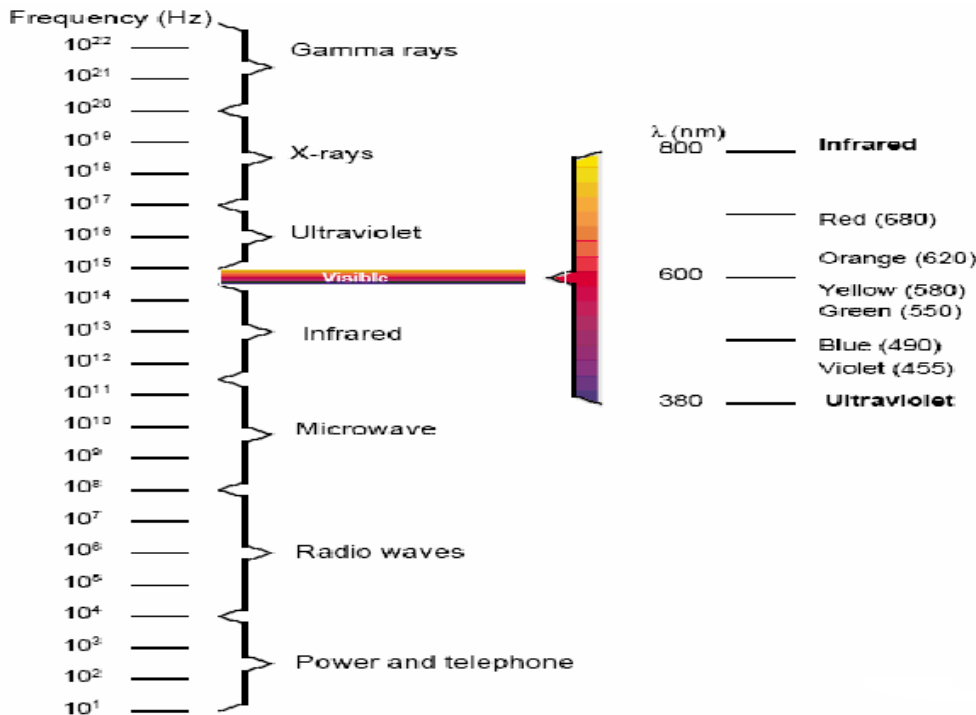
## الألياف البصرية

### Optical Fibers

#### مقدمة

تعمل أنظمة الاتصالات البصرية والتي تستخدم الليف البصري كخطوط نقل على ترددات عالية جداً في مدى الترددات الضوئية (انظر الشكل ٢ - ١). بعبارة أخرى تعمل هذه الأنظمة على أطوال موجات قصيرة جداً (في مجال قيم النانومتر nm). يبدأ نطاق الترددات الضوئية عند حوالي ( $10^{12}$  Hz) ولغاية ( $10^{16}$  Hz) ونظراً لكبر قيم هذه الترددات يتم استخدام قيم الطول الموجي بدلا من قيم التردد للتعبير عن الإشارات الضوئية المستخدمة في نظم الاتصالات البصرية. من الشكل (٢ - ١) نجد أن الترددات الضوئية تنقسم إلى:-

- الضوء المرئي ( Visible Light ) ( من 380 nm إلى 800 nm ).
- الأشعة تحت الحمراء ( Infrared ) بأطول موجية أعلى من (800 nm).
- الأشعة فوق البنفسجية ( Ultraviolet ) بأطول موجية أقل من (380 nm).



الشكل (٢ - ١) توزيع النطاقات الترددية للضوء



ويتكون الضوء المرئي من مجموعة ألوان رئيسة تسمى ألوان الطيف. جدول (٢ - ١) يوضح الألوان الرئيسية المكونة للضوء المرئي والتردد والطول الموجي المقابل لكل منها.

جدول (٢- ١) الألوان الرئيسية للضوء

اللون	الطول الموجي [nm]	التردد [ Hz]
الاشعة فوق البنفسجية	380	$7.9 \times 10^{14}$
بنفسجي	455	$6.59 \times 10^{14}$
أزرق	490	$6.12 \times 10^{14}$
أخضر	550	$5.45 \times 10^{14}$
أصفر	580	$5.17 \times 10^{14}$
برتقالي	620	$4.83 \times 10^{14}$
أحمر	750	$4 \times 10^{14}$
الأشعة تحت الحمراء	800	$3.75 \times 10^{14}$

ملحوظة: يمكن الحصول على أي لون باستخدام ثلاثة ألوان فقط هي "الأحمر - الأخضر - الأزرق" وذلك بخلطهم معاً بنسب مختلفة.

## ٢- ١ مميزات الألياف البصرية Advantages of Optical Fibers

الألياف البصرية لها مميزات عديدة جعلتها أحد نظم الاتصالات الحديثة الرئيسية وهذه المميزات تعود في الأساس إلى عاملين أساسيين الأول أن الألياف البصرية تصنع من مواد عازلة (الزجاج أو البلاستيك) والثاني أن الإشارة المنقولة عبر الليف البصري إشارة ضوئية، وأهم مميزات الألياف البصرية هي:-



## ٢ - ١ - ١ سعة الإرسال العالية Large Transmission Capacity

تتميز أنظمة الاتصالات المستخدمة للألياف البصرية بأكثر سرعة إرسال للمعلومات ويعود ذلك لكون الترددات التي تعمل عليها عالية جداً ( حوالي  $10^{14}$  Hz ) مما ينتج عنه عرض نطاق ترددي عالٍ جداً وهذا يعني كما هائلاً من المعلومات بمختلف أشكالها يمكن إرساله عبر هذه الألياف وبالمقارنة، فإن سعة الإرسال في أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية أكبر بآلاف المرات منها في أي نظام اتصال آخر

## ٢ - ١ - ٢ المناعة ضد التداخل الكهرومغناطيسي Immunity to interference

كما هو معلوم، تصنع الألياف البصرية من مواد عازلة ( الزجاج أو البلاستيك ) مما يجعلها لا تتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية المحيطة بها، إن هذه الميزة تجعل من الألياف البصرية مناسبة للتطبيقات في المناطق ذات المجالات الكهرومغناطيسية العالية والقريبة من خطوط الضغط العالي.

## ٢ - ١ - ٣ الفقد القليل Low Loss

لقد تم تطوير الألياف البصرية في السنوات الأخيرة حيث تصنع الآن بمعامل فقد صغيرة جداً تصل إلى أقل من ( 0.2 dB/km ) على الطول الموجي (  $\lambda = 1550$  nm ) حيث تعتبر هذه الأرقام متميزة ولا يوجد منافس لها في أي نوع من أنواع خطوط النقل، وتعتبر هذه الميزة من أهم مميزات الألياف البصرية لكونها تؤدي إلى بناء أنظمة اتصال بعيدة المدى بأقصى مسافة ممكنة بين محطات التقوية وإعادة البث (المعيدات Repeaters) (تصل إلى أكثر من 100 km أحياناً ) مما يعني خفض التكاليف بنسبة عالية جداً.

## ٢ - ١ - ٤ صغر الحجم والوزن Small Size and Weight

تصنع الألياف البصرية بمقاسات صغيرة جداً (القطر حوالي  $125 \mu\text{m}$ ) وهو ما يكافئ سماكة شعرة الانسان (بالرغم من الطبقات الإضافية البلاستيكية التي تغلف الليف البصري فإن سماكتها ووزنها يبقى أقل بكثير من الكيبلات المحورية) إن هذه الميزة أعطت الألياف البصرية إمكانية الاستخدام في الطائرات والسفن والأقمار الاصطناعية كبديل للكيبلات النحاسية الكبيرة الحجم و الثقيلة الوزن.



## ٢- ١- ٥ السرية العالية Greater Security

يعتمد مبدأ عمل الألياف البصرية على الانعكاس الكلي الداخلي والذي سنشرحه لاحقاً، مما يتيح للضوء الانتشار شبه الكامل داخل الليف وبالتالي ليس من الممكن أن يتم التقاط أو استقبال أي جزء من الضوء المنتشر والذي يحمل المعلومات المرسله من ناحية أخرى، ولأن الليف البصري لا يعتبر خطأً كهربائياً فلا يمكن الدخول عليه على التوازي كما هو الحال في الخطوط الكهربائية الاعتيادية (الخطوط الثنائية والكيبلات المحورية). إن هذه الميزة تجعل من الألياف البصرية الأفضل في التطبيقات العسكرية وتراسل البيانات ما بين البنوك والمراكز المهمة.

## ٢- ١- ٦ المرونة العالية Flexibility

تقوم المصانع بإنتاج ألياف بصرية متينة وصلبة تتمتع بقوة تحمل عالية وذات نصف قطر انحناء صغير جداً مما يجعلها سهلة ومناسبة في النواحي التالية: التخزين، والنقل، والحمل، والتركيب.

## ٢- ١- ٧ درجة عالية من الأمان Greater Safety

كما أشرنا سابقاً، فإن الألياف البصرية ليست خطوطاً كهربائية والذي ينتشر خلالها هو الضوء وليس التيار الكهربائي فلا يوجد خطورة من حدوث صدمات كهربائية في حالات الأعطال أو قطع الكيبل البصري. أما الخطورة الوحيدة فبسببها الليزر المستخدم في جهة الإرسال لذلك يجب أخذ الحيطة والحذر وخاصة عندما تكون قدرة الليزر عالية نسبياً.

## ٢- ١- ٨ عمر افتراضي أطول Longer Life Span

تتراوح مدة تشغيل الألياف البصرية من 20 إلى 30 سنة في حين مدة تشغيل الكيبلات النحاسية تتراوح ما بين 12 إلى 15 سنة ويعود ذلك إلى أن الألياف البصرية تصنع من الزجاج أو البلاستيك وهذه المواد غير قابلة للصدأ مما يجعلها تخدم لفترات طويلة.

## ٢- ١- ٩ السهولة في توسعة إمكانيات النظام Ease of Expansion System Capability

يمكننا وببساطة زيادة الطاقة الاستيعابية ورفع كفاءة النظام عن طريق استبدال بعض المكونات الأساسية ( مثل استبدال مصدر الضوء أو الكاشف الضوئي أو استخدام تجميع القنوات عن طريق التقسيم الموجي WDM ) دون حاجة لاستبدال الكيبل الموجود أو إضافة خطوط جديدة.



## High Quality Transmission ١٠ - ١ - ٢

نظراً لقلة الفقد ولما تتمتع به الألياف البصرية من مناعة عالية ضد التأثيرات الكهرومغناطيسية المختلفة وتدني مستوى التداخل بين الخطوط المتجاورة فإن نوعية الاتصال عالية جداً مقارنة مع مثيلاتها من خطوط النقل الأخرى السلكية واللاسلكية.

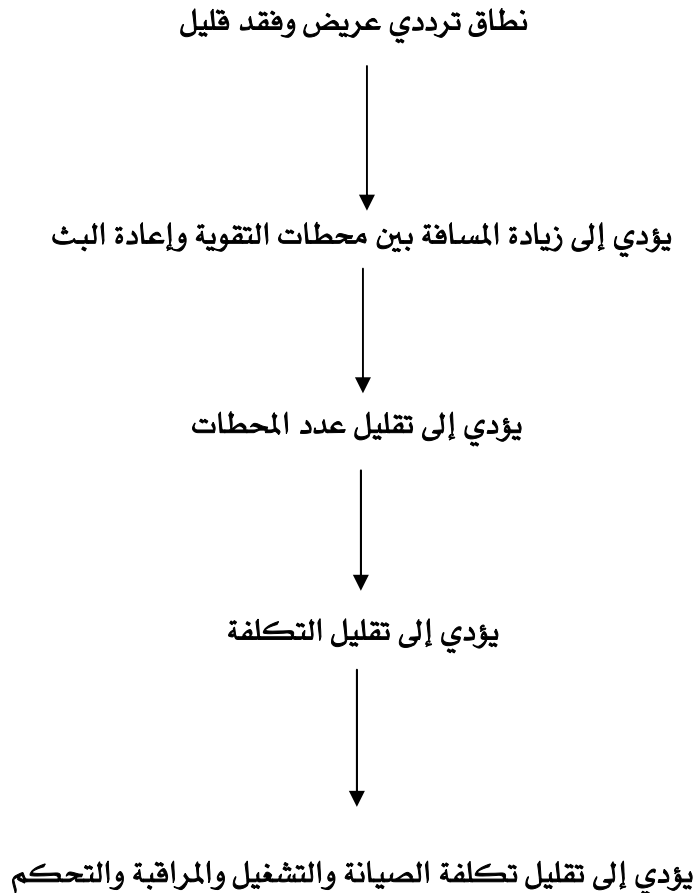
للمقارنة نقدم معدل الخطأ في البيانات (BER) في كل من نظام الميكروويف والاتصالات البصرية:

في أنظمة الاتصالات باستخدام الميكروويف والكيبلات المحورية  $BER = 10^{-6}$

في أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية  $BER \leq 10^{-9}$

## Low Installation and Operation Cost ١١ - ٢ - ١

يمكننا توضيح هذه الخاصية المهمة على المخطط التالي:





## ٢- ٢ عيوب الألياف البصرية Optical Fiber Disadvantages

هنالك بعض السلبيات والعيوب للألياف البصرية أهمها:

١. ارتفاع أسعار مكونات النظام مقارنة بأنظمة الاتصالات الكهربائية.

٢. ارتفاع تكاليف أجهزة الإرسال والاستقبال.

٣. ارتفاع تكاليف عملية التوصيل واللحام لأنها تحتاج أجهزة خاصة وفنيين ذو مهارة عالية.

٤. الألياف البصرية لا تستطيع نقل الكهرباء لتغذية محطات التقوية وإعادة البث.

لكن هذه العيوب نسبية إذا ما قورنت بالميزات الهائلة للألياف البصرية، وكذلك مع تطور التقنيات في هذا المجال فإنها تتلاشى تدريجياً.

## ٢- ٣ تطبيقات الألياف البصرية Fiber Optic Applications

لقد بدأ تطبيق واستخدام الألياف البصرية منذ الثمانينات حيث اقتصر استخدامها آنذاك على بعض الخطوط وفي أماكن محددة، لكن وخلال السنوات الأخيرة انتشر استخدام الألياف البصرية بشكل واسع جداً وفي جميع دول العالم حيث تم تركيب ملايين الكيلومترات من خطوط الألياف البصرية.

إن أهم مجالات تطبيق الألياف البصرية في الوقت الحالي هي:

- الاتصالات بعيدة المدى Long Distance Telecommunications.

- شبكات الهاتف المحلية Local Telephone Networks.

- البث التلفزيوني عبر الكيبل CTVD.

- الإنترنت ونقل البيانات Internet and data communications.

- الاتصالات العسكرية Military Communications.





## ٢- ٤ أساسيات الاليف البصرية Fundamentals of Optical Fiber

تعتبر الألياف البصرية المكوّن الأساسي لأنظمة الاتصالات البصرية، حيث يستخدم الضوء كناقل للمعلومات ( Carrier ). ولتوضيح وفهم آلية عمل الضوء هنالك ثلاثة مداخل واعتبارات لتفسير ذلك:

- اعتبار أن الضوء موجة كهرومغناطيسية وذلك باستخدام نظرية الموجة ( Wave Theory ).
- اعتبار أن الضوء كخط أو شعاع وذلك باستخدام علم البصريات ( Geometric Optics ).
- اعتبار أن الضوء كحزمة من الفوتونات ( Photons ) وذلك باستخدام نظرية الكم ( Quantum Theory ).

وحتى نفهم مبدأ وآلية عمل الليف البصري، سوف نستخدم الاعتبار الثاني ونقوم بدراسة الضوء كشعاع يتحرك باتجاه وزاوية معينة وبذلك سينطبق عليه القوانين الأساسية في علم البصريات الضوئية (قوانين سنل، والانعكاس، والانكسار، ... إلخ).

### ٢- ٤- ١ نظرية الشعاع الضوئي Light Ray Theory

كما هو معلوم، فإن الضوء ينتشر كشعاع باتجاه وسرعة معينة تعتمد قيمتها على نوع الوسط الذي يتم فيه الانتشار، بمعنى آخر فإن كل وسط يعيق انتشار الضوء خلاله بنسب متفاوتة تبعاً لكثافته مما يعني أن سرعة انتشار الضوء عبر أي وسط أقل منها في الفراغ. إن هذه الخاصية للمواد والوسائط المختلفة تسمى معامل الانكسار للمادة أو الوسط ويرمز له ( n ). ويمكننا إيجاد سرعة انتشار الضوء في أي وسط آخر ( c<sub>n</sub> ) ذي معامل انكسار ( n ) باستخدام العلاقة التالية:

$$c_n = c/n \quad (2.1)$$

حيث إن

c ترمز إلى سرعة انتشار الضوء في الفراغ ( c = 3 × 10<sup>8</sup> m/s ).

يقدم الجدول (٢- ٢) أمثلة لمعامل الانكسار لبعض المواد.



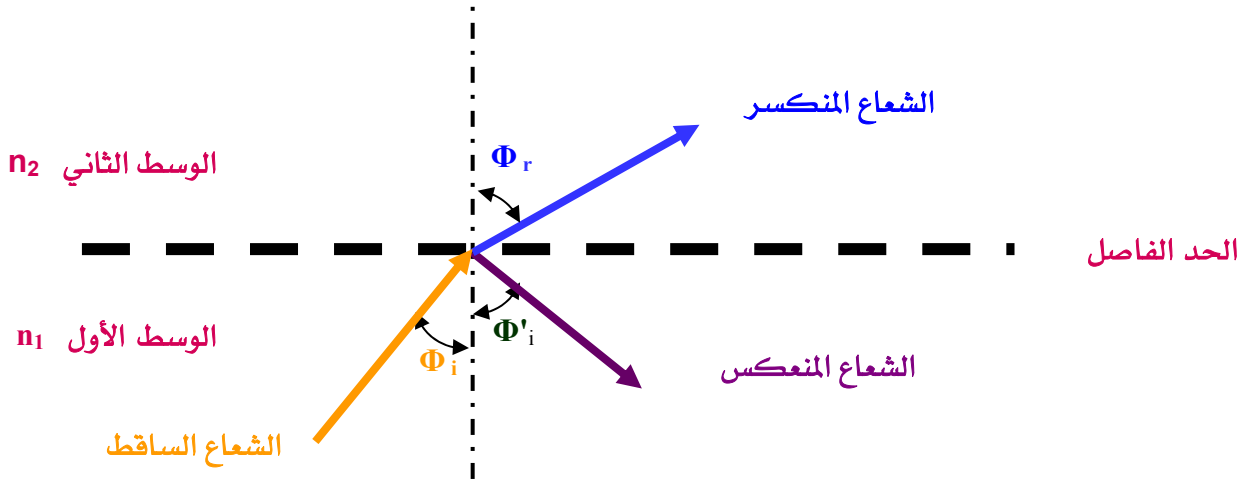
جدول (٢ - ٢) معامل الانكسار لبعض المواد

معامل الانكسار	المادة
1	هواء
1.33	ماء
1.5	زجاج
3.5	سيليكون
4	جرمانيوم
1.59	بوليسترين

أ - قانون سنل Snell's Law

يعتبر قانون سنل من القوانين الأساسية في علم البصريات والذي يعطي العلاقة ما بين الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والزوايا المصاحبة لذلك. يوضح الشكل (٢ - ٢) الرسم التوضيحي لفكرة قانون سنل حيث إن المصطلحات والرموز المستخدمة هي:

- الشعاع الساقط ( Incident Ray )
- الشعاع المنعكس ( Reflected Ray )
- الشعاع المنكسر ( Refracted Ray )
- $\Phi_i$  زاوية السقوط ( Incident Angle )
- $\Phi_r$  زاوية الانكسار ( Refracted Angle )
- $\Phi'_i$  زاوية الانعكاس ( Reflected Angle )



الشكل (٢ - ٢) الشعاع الساقط، والمنعكس والمنكسر

يمكننا كتابة قانون سنل على الشكل التالي:

$$n_1 \sin \Phi_i = n_2 \sin \Phi_r \quad (2.2)$$

حيث إن  $(n_1)$  ترمز إلى معامل الانكسار لوسط السقوط "الوسط الأول" و  $(n_2)$  ترمز إلى معامل الانكسار لوسط الانكسار "الوسط الثاني".

قانون سنل الأول: من العلاقة (٢,٢) وبما أن الانعكاس يكون في نفس وسط السقوط نجد أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس  $(\Phi_i = \Phi'_i)$ .

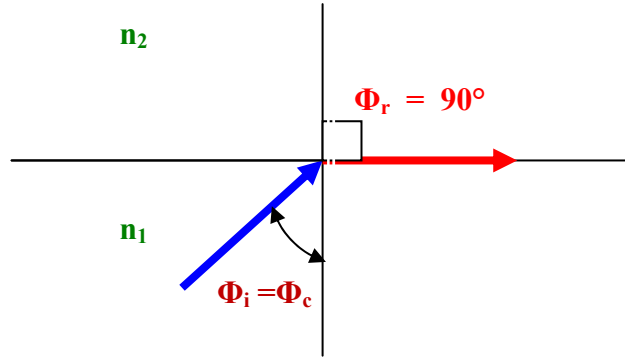
قانون سنل الثاني: سنعيد كتابة قانون سنل (العلاقة 2.2) لتصبح على الشكل التالي:

$$\frac{\sin \Phi_i}{\sin \Phi_r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

وبالتالي عندما يكون  $(n_1 > n_2)$  فإن  $(\Phi_i < \Phi_r)$  والانعكاس صحيح أي أن الشعاع ينكسر ناحية الوسط الأعلى كثافة

ب- الزاوية الحرجة "  $\theta_c$  " Critical Angle

تعرف الزاوية الحرجة بأنها الحالة الخاصة لقيمة زاوية سقوط الشعاع التي تجعل زاوية الانكسار تساوي  $(90^\circ)$  وذلك عندما تكون كثافة وسط السقوط أعلى من كثافة وسط الانكسار  $(n_1 > n_2)$ ، انظر الشكل (٢ - ٣). في هذه الحالة ينتشر الشعاع المنكسر بشكل موازياً للحد الفاصل بين الوسيطين الأول والثاني.



الشكل (٢-٣) حالة الزاوية الحرجة للسقوط

بالرجوع إلى قانون سنل، يمكننا الحصول على العلاقة التالية لحساب الزاوية الحرجة ( $\Phi_c$ ):

$$n_1 \sin \Phi_i = n_2 \sin \Phi_r$$

$$n_1 \sin \Phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$n_1 \sin \Phi_c = n_2$$

$$\sin \Phi_c = n_2/n_1$$

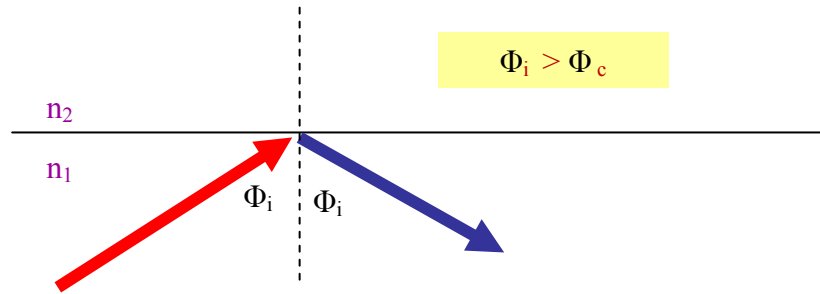
$$\Phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.4)$$

و لأن جيب أي زاوية لا يمكن أن يكون أكبر من "1" فبالتالي دائماً ( $n_2 / n_1 \leq 1$ )

وبالتالي فإن ( $n_2$ ) يجب أن تكون أصغر من ( $n_1$ ) لنحصل على زاوية انكسار تساوي ( $90^\circ$ )

### ج- الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

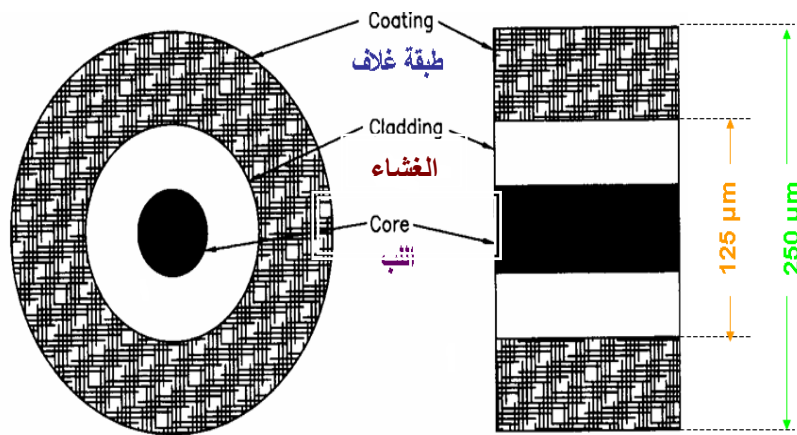
كما يتضح لنا من قانون سنل، فإنه كلما تغيرت زاوية السقوط كلما رافقها تغيير في زاوية الانكسار. وفي حالة كون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة ( $\Phi_i > \Phi_c$ ) فإن الضوء ينعكس بالكامل (لا يحدث انكسار)، حيث تسمى هذه الظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي. ويجب التأكيد هنا على الشرط التالي: يجب أن يسقط الضوء من الوسط ذي معامل الانكسار الأعلى ( $n_1$ ) إلى الوسط ذي معامل الانكسار الأقل ( $n_2$ ) حتى نحصل على الانعكاس الكلي الداخلي كما بالشكل (٢-٤).



الشكل (٢- ٤) الانعكاس الكلي الداخلي

## د - تركيب الليف البصري :-

يعتمد انتشار الضوء عبر الألياف البصرية على مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي، حيث يمكننا اعتبار الليف البصري كأنبوب زجاجي مكون من طبقتين: الطبقة الداخلية وتسمى اللب (Core) ولها معامل انكسار ( $n_1$ ) وطبقة محيطة بها تسمى الغشاء (Cladding) ولها معامل انكسار ( $n_2$ ) وحتى نعطي الليف المتانة ودرجة التحمل اللازمة يجب إضافة طبقة غلاف أولي (Coating) بلاستيكية لتغطية محيط الليف. إذا سقط الضوء بزاوية أقل من الزاوية الحرجة ( $\Phi_c$ ) فإن جزءاً من الضوء ينعكس داخل لب الليف (انعكاس داخلي جزئي) وجزء آخر سوف ينكسر عبر غشاء الليف مما يؤدي إلى خروجه من الليف وبالتالي يؤدي إلى وجود فقد. لذا يجب أن تكون زاوية السقوط أعلى من الزاوية الحرجة حتى يحدث "انعكاس داخلي كلي". ويوضح الشكل (٢- ٥) المقطع العرضي والجانبى للليف البصري مع تبيان الطبقات الرئيسية المكونة له.



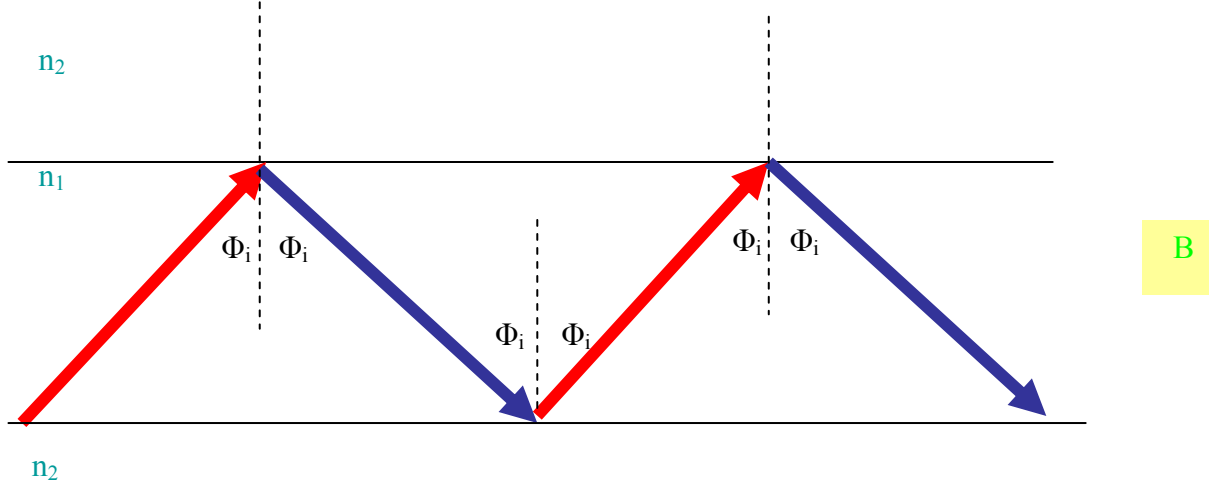
مقطع عرضي

مقطع جانبي

الشكل (٢- ٥) المقطع العرضي والجانبى للليف البصري

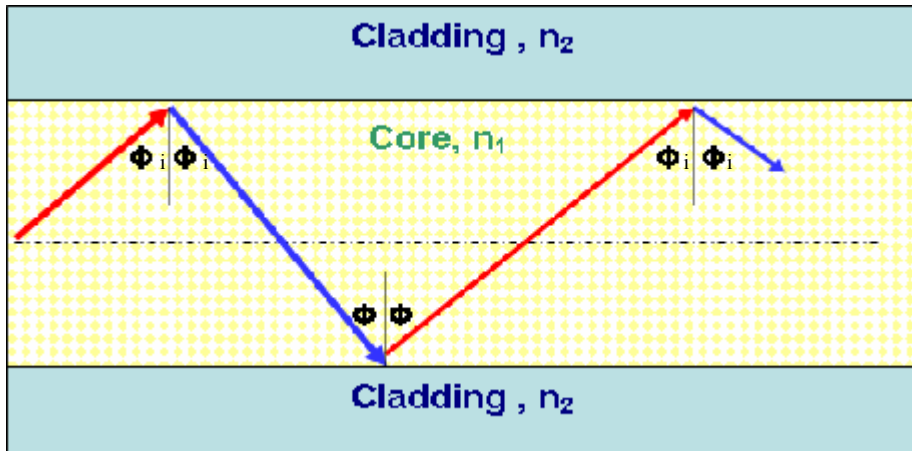


لتوضيح عملية انتشار الضوء عبر الليف البصري يمثل الشكل (٢- ٦) انتقال الشعاع الضوئي من النقطة (A) إلى النقطة (B) بزاوية سقوط ( $\Phi_i$ ) حيث يكون الانتشار خلال لب الليف بالكامل وذلك طبقاً لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي، مع ملاحظة أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.



الشكل (٢- ٦) انتشار الشعاع الضوئي تبعاً لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي

بناءً على التوضيح السابق يكون انتشار الضوء عبر الليف البصري داخل منطقة اللب (Core) حيث ينعكس بالكامل من السطح الفاصل بين اللب والغشاء (Cladding) كما هو موضح في الشكل (٢- ٧).

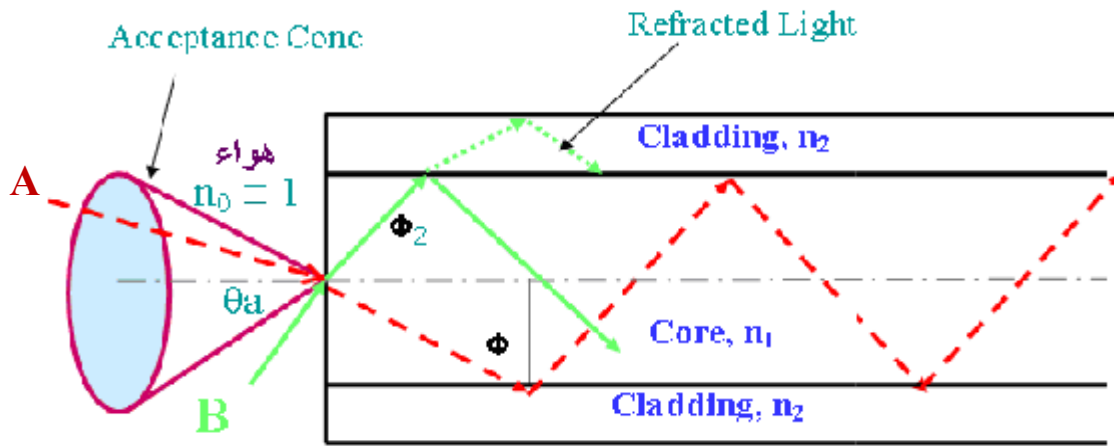


الشكل (٢- ٧) انتشار الضوء عبر الليف البصري



### هـ- زاوية القبول " $\theta_a$ " Acceptance Angle

تعتبر زاوية القبول ( $\theta_a$ ) من القيم العددية التي يتوجب معرفتها عن الليف البصري. وتعرف زاوية القبول بأنها الزاوية التي يجب أن يدخل الشعاع بزواوية تساويها أو أقل منها حتى يحقق الانعكاس الكلي الداخلي وبالتالي ينتشر عبر الليف بشكل صحيح وبأقل فقد ممكن وحتى يتضح المعنى المقصود بها نستعين بالرسم المبين بالشكل ( ٢ - ٨ ).



الشكل ( ٢ - ٨ ) زاوية القبول عند إدخال الضوء إلى الليف البصري

يتضح من الشكل أن الشعاع (A) يدخل إلى الليف بزواوية أقل من الزاوية ( $\theta_a$ ) ويصل إلى الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزواوية ( $\Phi_i$ ) تكون أكبر من الزاوية الحرجة ( $\Phi_c$ ) وبذلك يتابع مساره عبر الليف بشكل صحيح (يحقق الانعكاس الكلي الداخلي). يدخل الشعاع (B) إلى الليف البصري بزواوية أكبر من زاوية القبول ( $\theta_a$ ) حيث يصل إلى الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزواوية أقل من ( $\Phi_c$ ) وبذلك فإن جزء منه ينكسر باتجاه الغشاء ويخرج خارج الليف مما يتسبب في فقد جزء من الضوء المنتشر وبذلك لا يمكن له أن يحقق شرط الانعكاس الكلي الداخلي.

لذلك حتى يتم إرسال الضوء لأطول مسافة ممكنة يجب مراعاة إدخال الضوء للليف بزواوية لا تتجاوز قيمة ( $\theta_a$ ). فراغياً وحسب قيمة ( $\theta_a$ ) فإنه يتشكل ما يشبه المخروط عند مقدمة الليف والذي يسمى مخروط القبول (Acceptance Cone)، وسوف نتعرف في الجزء اللاحق على كيفية حساب زاوية القبول للليف البصري.



## و- فتحة النفوذ العددية "NA" Numerical Aperture

هنالك قيمة عددية أكثر شمولاً من زاوية القبول ( $\theta_a$ ) والتي تمثل أو تعبر عن العلاقة ما بين إمكانية إدخال الضوء لليف بشكل صحيح ومعامل الانكسار لكل من لب الليف ( $n_1$ ) والغشاء ( $n_2$ ). تسمى هذه القيمة أو العلاقة فتحة النفوذ العددية (NA) والتي يمكن إيجادها من خلال العلاقة التالية:

$$NA = n_o \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.5)$$

حيث إن ( $n_o$ ) ترمز إلى معامل الانكسار للوسط الفاصل بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف (عادةً ما يكون الهواء  $n_o = 1$ ) ومنها:

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA) \quad (2.6)$$

يمكننا أيضاً التعبير عن (NA) بدلالة الفرق النسبي ( $\Delta$ ) بين ( $n_1$ ) و ( $n_2$ ):

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.7)$$

حيث إن ( $\Delta$ ) تحسب وفقاً للعلاقة التالية:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (2.8)$$

للتذكير فإن:

-  $\theta_a$  تأخذ قيم بين الصفر و  $90^\circ$

- NA بين الصفر والواحد

-  $\Delta$  تكون عادة أقل بكثير من الواحد ( $\Delta \ll 1$ )





في الواقع العملي عادةً ما تستخدم العدسات بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف للمساعدة في تجميع الضوء وتركيزه بحيث يسهل إدخاله إلى الليف، وبنفس الطريقة تستخدم العدسات لإيصال الضوء من مخرج الليف إلى الكاشف الضوئي.

يمكننا تلخيص شروط الانعكاس الكلي الداخلي عبر الليف البصري على النحو التالي:

١. أن يكون معامل الانكسار للـ  $(n_1)$  أكبر منه للغشاء المحيط به  $(n_2)$

٢. أن تكون زاوية الانعكاس للضوء على الخط الفاصل بين اللب والغشاء  $(\Phi_i)$  أكبر من الزاوية الحرجة  $(\Phi_c)$

٣. أن تكون زاوية دخول الضوء لليف البصري  $(\theta)$  أقل من أو تساوي زاوية القبول  $(\theta_a)$

## ٢ - ٥ أنماط الانتشار في الليف البصري Fiber Modes

ينتشر الضوء عبر الليف البصري على شكل عدد محدد من الحزم الضوئية (Beams) أو الأشعة (Rays) وبزوايا معينة ذات قيم محددة. تسمى هذه الأشعة أو الحزم الضوئية المختلفة بأنماط الانتشار (Propagation Modes)، حيث يرتبط كل شعاع بنمط انتشار معين. لذلك تستخدم الأرقام الجانبية بجانب اسم النمط (Mode Index) لتمييزها عن بعضها البعض.

حتى تتمكن من الحصول على هذه الأنماط المنتشرة في الألياف البصرية يجب استخدام النظرية الكهرومغناطيسية وتطبيق معادلات ماكسويل على حالة الليف البصري وإيجاد الحلول لها، حيث يتطلب ذلك مستوى عالٍ من الرياضيات ونظريات الانتشار الكهرومغناطيسي، لذلك سنتعرف وبشكل مبسط وسريع على الأنواع الأساسية للأنماط المنتشرة عبر الليف البصري وهي:

- أنماط كهربائية عرضية ( Transverse Electric Modes ) ويرمز لها TE - modes
- أنماط مغناطيسية عرضية ( Transverse Magnetic Modes ) ويرمز لها TM - modes
- أنماط هجينة ( Hybrid Modes ) تحتوي المجالين المغناطيسي والكهربائي من نوع HE
- أنماط هجينة ( Hybrid Modes ) تحتوي المجالين الكهربائي والمغناطيسي من نوع EH

وكمثال على طريقة تسمية أنماط الانتشار:  $HE_{11}, EH_{12}, TE_{01}, TM_{02}, \dots$



## ٢- ٥- ١ التردد المعياري "V" Normalized Frequency

عند الحديث عن أنماط الانتشار عبر الليف البصري يجب التعرف على قيمة عددية تسمى التردد المعياري أو القيمة العددية V- ( V-Number ) لليف البصري والتي يمكننا حسابها حسب العلاقة التالية:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a NA \quad (2.9)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.10)$$

حيث إن  $\lambda$  - الطول الموجي للضوء المنتشر داخل الليف

- a إلى نصف قطر لب الليف.

## ٢- ٦ أنواع الألياف البصرية Optical Fiber Types

تنقسم الألياف البصرية إلى أكثر من نوع وذلك بالاعتماد على المعيار المستخدم لعملية التقسيم، وهذه المعايير هي تبعاً لتغير معامل الانكسار خلال اللب، و تبعاً لعدد الأنماط المنتشرة خلال الليف البصري، و تبعاً للمادة المصنوع منها الليف البصري.

▪ أولاً: أنواع الألياف البصرية تبعاً لتغير معامل الانكسار خلال لب الليف :-

- ألياف عتبية ( Step-Index Fibers ) حيث يكون معامل الانكسار ذا قيمة ثابتة خلال لب الليف.

- ألياف تدرجية ( Graded-Index Fibers ) حيث يتغير معامل الانكسار بشكل تدريجي ضمن

منطقة لب الليف.

▪ ثانياً: أنواع الألياف البصرية تبعاً لعدد الأنماط المنتشرة خلال الليف البصري:

- ألياف متعددة الأنماط ( Multimode Fibers ) حيث ينتشر أكثر من نمط.

- ألياف أحادية النمط ( Single Mode Fibers ) حيث ينتشر نمط واحد فقط  $HE_{11}$ .



▪ ثالثاً: أنواع الألياف البصرية تبعاً للمادة المصنوعة منها إلى:

- الألياف الزجاجية ( Glass Optical Fibers ) وتصنع من الزجاج النقي.

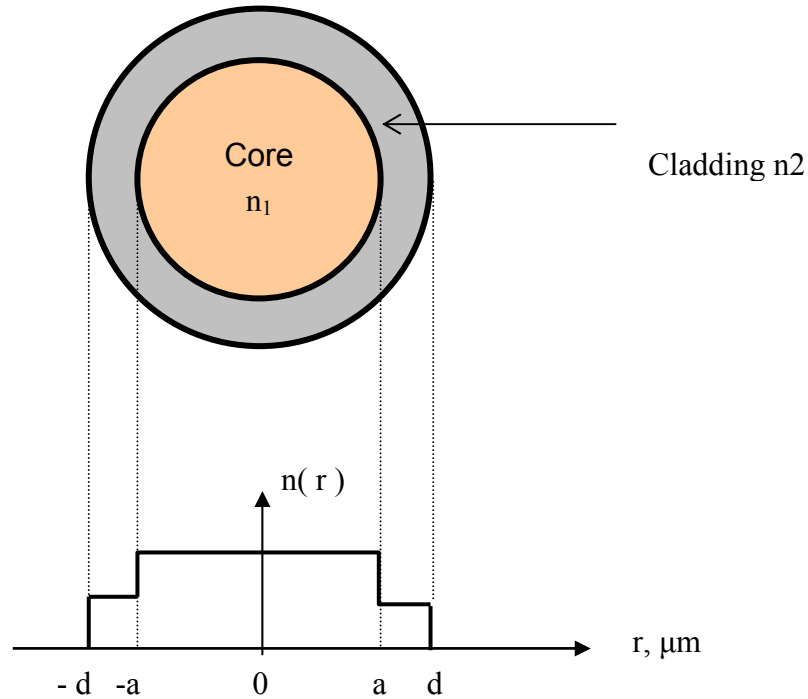
- الألياف البلاستيكية ( Plastic Optical Fibers ) وتصنع بالكامل من البلاستيك.

- ألياف بصرية يكون اللب فيها مصنوعاً من الزجاج بينما الغشاء من البلاستيك.

سنبدأ بدراسة الألياف متعددة النمط بنوعيتها (العتبي والتدريجي) وبعدها ننتقل إلى الألياف أحادية النمط.

٢-٦-١ الليف العتبي Step-Index Fiber

لقد بدأ ظهور الألياف البصرية بهذا النوع تحديداً وذلك لسهولة التصميم والتصنيع، حيث يتم تصنيع لب الليف من الزجاج النقي بمعامل انكسار ثابت ( $n_1$ ) بينما يصنع الغشاء من الزجاج أيضاً بمعامل انكسار ثابت ولكن ذو قيمة أقل ( $n_2$ )، وكما هو مبين بالشكل (٢-٩) والذي يمثل كيفية تغير معامل الانكسار للليف البصري ( $n(r)$ ) بالاعتماد على المسافة القطرية من مركز الليف ( $r$ ).



الشكل (٢-٩) تغير معامل الانكسار في الليف العتبي



يمثل الرمز (d) نصف قطر الغشاء والرمز (a) نصف قطر اللب كما أشرنا سابقاً حيث تعطى هذه القيم بوحدة الميكرومتر [  $\mu\text{m}$  ]. إذا ما نظرنا إلى الشكل أعلاه فإننا نجد أن تغيير معامل الانكسار من القيمة (n<sub>2</sub>) إلى (n<sub>1</sub>) أو العكس له شكل درجة السلم أو العتبة ومن هنا جاءت التسمية "الليف العتبي".

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة (M<sub>s</sub>) خلال الليف العتبي بالعلاقة التالية:

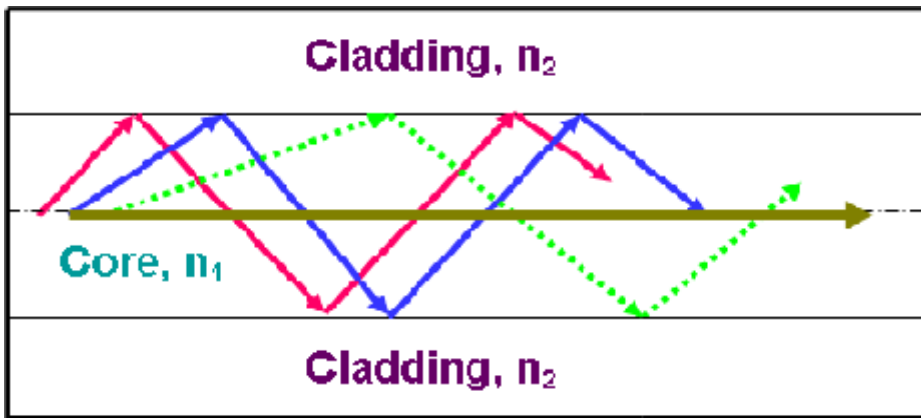
$$M_s = \frac{V^2}{2} \quad (2.11)$$

و سرعة انتشار جميع الأنماط ثابتة ويمكن حسابها من العلاقة (2.1) وتساوي:

$$c_{n_1} = \frac{c}{n_1} \quad (2.12)$$

حيث (n<sub>1</sub>) معامل انكسار لب الليف.

إن سبب ثبات السرعة يعود إلى أن معامل الانكسار لللب الليف ذو قيمة ثابتة وبالتالي فإن العلاقة (٢ - ١٢) ثابتة. وهندسياً تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة في الألياف العتبية ضمن منطقة لب الليف وتكون مساراتها على شكل خطوط مستقيمة (الشكل ٢ - ١٠)، ويعود ذلك إلى أن الضوء يسير بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس ( ذو معامل انكسار ثابت).



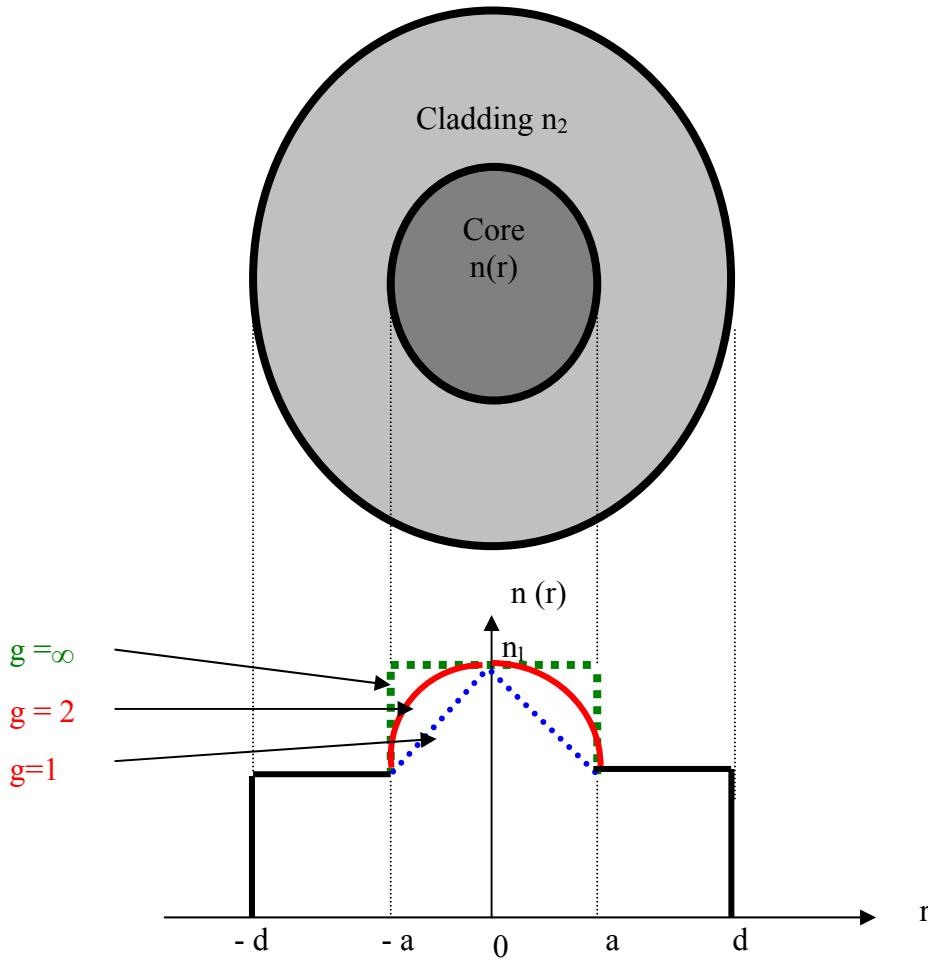
الشكل ( ٢ - ١٠ ) مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتبي



## ٢ - ٦ - ٢ الليف ذو المعامل التدريجي Graded Index Fiber

إن أهم ما يميز الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي هو أن معامل الانكسار للليف البصري لا يكون ذا قيمة ثابتة وإنما يتغير وبشكل تدريجي بدءاً من مركز الليف (أقصى قيمة  $n=n_1$ ) ولغاية الحد الفاصل بين الليف والغشاء (أدنى قيمة  $n=n_2$ )، حيث يأخذ هذا التغير التدريجي أشكالاً مختلفة: المثلثي (Triangular) أو القطع المكافئ (Parabolic) أو أية أشكال أخرى تقع فيما بينهما. بينما يبقى معامل الانكسار ثابتاً للغشاء ( $n_2$ ).

يتضح مما سبق أن معامل الانكسار لمنطقة لب الليف ذو قيمة متغيرة ويأخذ شكل دالة رياضية هي التي تحدد الأشكال سالفة الذكر. حيث إن ( $g$ ) تمثل معامل هذه الدالة والتي تحدد تشكيل معامل الانكسار ضمن منطقة اللب (المثلثي، أو القطع المكافئ، أو ....) انظر الشكل (٢-١١)



شكل (٢-١١) تغير معامل الانكسار لليف ذو المعامل التدريجي



حيث يمكن أن تأخذ (g) أي قيمة حقيقية أكبر من واحد، لكن ومن ناحية عملية وبعد إجراء العديد من التجارب، فقد وجد أن أفضل القيم هي (g= 1.98) ويسمى الشكل الناتج في هذه الحالة شبه القطع المكافئ ( Near Parabolic Profile )، فعندما:-

g = 1 نحصل على الشكل المثلثي.

g = 2 نحصل على شكل القطع المكافئ.

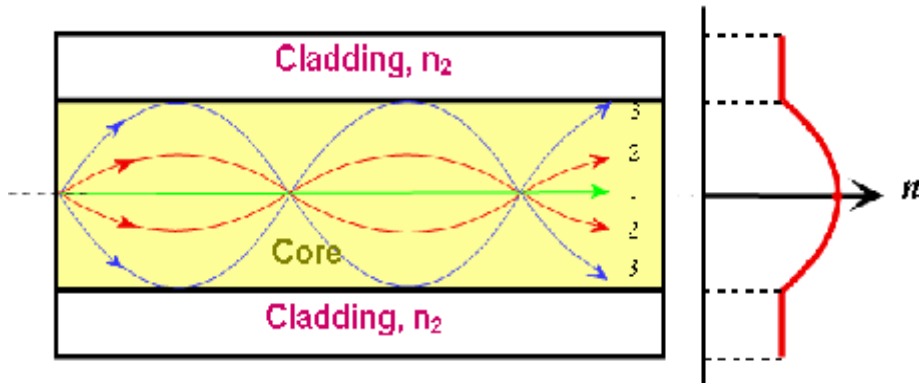
g = ∞ نحصل على شكل الليف العتبي.

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة (  $M_g$  ) خلال الليف التدريجي بالعلاقة التالية:

$$M_g = \left( \frac{g}{g+2} \right) \left( \frac{V^2}{2} \right) \quad (2.13)$$

حيث يعتمد عدد الأنماط المنتشرة على معامل الدالة (g)، والقيمة العددية (V).

هندسياً تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة ضمن منطقة لب الليف البصري وتكون مساراتها على شكل خطوط منحنية وليست مستقيمة ( الشكل ٢ - ١٢ )، والسبب في ذلك أن معامل الانكسار لمنطقة الانتشار ( لب الليف ) ذو قيمة متغيرة، بالتالي وبالرجوع للعلاقة (٢ - ١) فإن حاصل القسمة والذي يمثل السرعة ليس ثابتاً حيث تكون السرعة أعلى ما يمكن عندما يكون (n) أصغر ما يمكن (منطقة أطراف اللب) والسرعة أقل ما يمكن عندما تكون (n) أكبر ما يمكن (منطقة مركز اللب).



الشكل (٢ - ١٢) انتشار الحزم الضوئية عبر الليف البصري التدريجي ذي شكل القطع المكافئ



إن هذا الاختلاف في السرعة هو السبب الرئيس الذي يعطي الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي الميزة الإيجابية الهامة مقارنة مع الألياف العتبية.

## ٢-٦-٣ الليف أحادي النمط Single Mode Fiber

في حالة الليف أحادي النمط، هنالك نمط واحد من الانتشار (Single Mode) وهو  $HE_{11}$  (هندسياً هنالك شعاع واحد فقط) وهو أول نمط يبدأ بالظهور والانتشار عبر الليف البصري وبالتالي يسمى النمط الأساسي (Fundamental Mode) أو الأول، ولا يمكن الحصول على انتشار نمط واحد فقط إلا إذا كانت قيمة التردد المعياري ( $V$ ) صغيرة للغاية عادة ما تسمى القيمة الحدية والتي تضمن ظهور نمط واحد فقط بقيمة القطع (Cutoff V-Number) وسوف نرمز لها ( $V_c$ )، أي يجب أن يتحقق الشرط ( $V \leq V_c$ ) لانتشار نمط واحد فقط. ويمكننا تحقيق هذا الشرط بإحدى الطرق التالية والمستنتج من العلاقة (2.10):-

- الطريقة الأولى عن طريق تصغير نصف قطر لب الليف ( $a$ ).
- الطريقة الثانية عن طريق تصغير الفرق النسبي لمعامل الانكسار ( $\Delta$ ).
- الطريقة الثالثة عن طريق زيادة قيمة الطول الموجي المستخدم ( $\lambda$ ).

وقيمة ( $V_c$ ) تختلف باختلاف نوع الليف (عتبي أم تدريجي) كالتالي:

- في حالة الليف أحادي النمط العتبي :-

$$V_c = 2.405 \quad (2.14)$$

- أما في حالة الليف التدريجي:-

$$V_c = 2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{g}} \quad (2.15)$$

▪ نصف قطر لب الليف الأقصى " $a_{max}$ "

نصف قطر لب الليف الأقصى ( $a_{max}$ ) هو نصف قطر اللب الذي عنده التردد المعياري يساوي القيمة الحدية، من العلاقة (٢,١٠) يمكن الحصول على نصف قطر لب الليف الأقصى ( $a_{max}$ ) بالشكل التالي:



$$a_{\max} = \frac{\lambda V_c}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \quad (2.16)$$

ويمكننا استنتاج أنه إذا كان نصف قطر لب الليف البصري أقل من أو يساوي نصف قطر لب الليف الأقصى ( $a_{\max}$ ) فإنه سوف ينتشر نمط واحد فقط عبر الليف البصري.

ونحصل علي قيمة ( $a_{\max}$ ) لليف العتبي والتدريجي بالتعويض عن ( $V_c$ ) كالتالي

- في حالة الليف أحادي النمط العتبي من العلاقة (٢,١٤):

$$a_{\max} = \frac{2.405 \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \quad (2.17)$$

- أما في حالة الليف التدريجي من العلاقة (٢,١٥):

$$a_{\max} = \frac{\left(2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{g}}\right) \times \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \quad (2.18)$$

#### ▪ طول الموجة القاطع " $\lambda_c$ " Cutoff Wavelength

طول الموجة القاطع ( $\lambda_c$ ) هو الطول الموجي الذي عنده التردد المعياري يساوي القيمة الحدية، من العلاقة (٢,١٠) يمكن الحصول طول الموجة القاطع بالشكل التالي:

$$\lambda_c = \frac{2\pi a n_1}{V_c} \sqrt{2\Delta} \quad (2.19)$$

ونحصل علي قيمة ( $\lambda_c$ ) لليف العتبي والتدريجي بالتعويض عن ( $V_c$ ) كالتالي

- حالة الليف أحادي النمط العتبي من العلاقة (٢,١٤):

$$\lambda_c = \frac{V \lambda}{2.405} \quad (2.20)$$





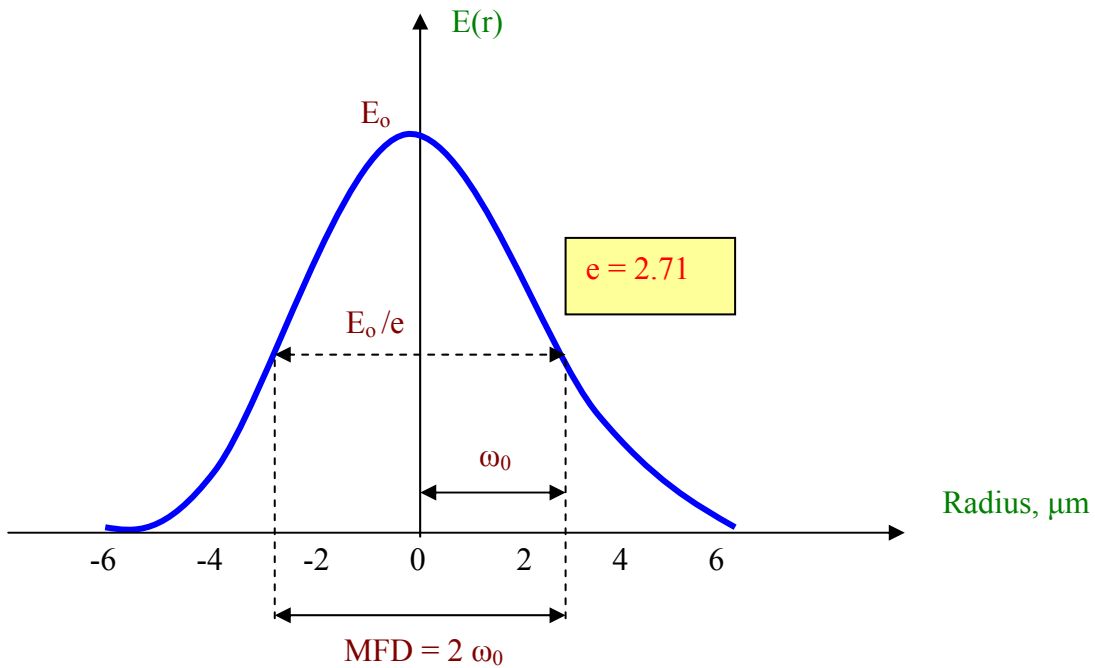
- حالة الليف أحادي النمط التدريجي من العلاقة (٢,١٥):

$$\lambda_c = \frac{V \lambda}{2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{g}}} \quad (2.21)$$

ويمكننا استنتاج انه إذا كان الطول الموجي الذي يعمل عليه الليف البصري أعلى من قيمة طول الموجة القاطع ( $\lambda_c$ ) فإنه سوف ينتشر نمط واحد فقط عبر الليف البصري.

أ- قطر مجال النمط (MFD) Mode Field Diameter

نظراً لصغر قطر لب الليف الأحادي النمط فإنه لا يمكن للمجال الكهرومغناطيسي للنمط أن ينتشر كلياً ضمن منطقة لب الليف، وبذلك فإن جزءاً منه سوف ينتشر في منطقة محيط اللب. لذلك غالباً ما تعطى قيمة تعبر عن قطر المجال للنمط الوحيد المنتشر وتسمى قطر مجال النمط ( Mode Field Diameter ) ويرمز لها ( MFD ). عادة، فإن أفضل توزيع يعبر عن انتشار المجال عبر الليف أحادي النمط هو توزيع جاوس ( Gaussian Distribution ) كما هو موضح في الشكل (٢-١٣): حيث إن ( $\omega_0$ ) ترمز إلى نصف قطر مجال النمط ( Mode Field Radius ) وتسمى أحياناً مقياس البقعة المضيق ( Spot Size ).



الشكل (٢- ١٣) توزيع المجال  $E(r)$  للنمط الرئيسي المنتشر في الليف أحادي النمط



في المواصفات العملية لليف البصري، عادة ما يعطى قطر اللب لليف متعدد الأنماط، بينما يعطى قطر مجال النمط لليف الأحادي النمط، وعادة ما يكون أكبر بقليل من قطر لب الليف. كمثال على ذلك، لو كان قطر اللب لليف البصري الأحادي (10  $\mu\text{m}$ ) فإن قطر المجال للنمط حوالي (12  $\mu\text{m}$ ).

## ٢-٦-٤ الليف البلاستيكي (POF) Plastic Optical Fiber

تتميز الألياف البصرية البلاستيكية والتي سنرمز لها اختصاراً (POF) بأنها مصنوعة بالكامل من البلاستيك مما يجعلها رخيصة جداً، حيث تصنع الآن على شكل ألياف عتبية متعددة الأنماط وتعمل على الطول الموجي (650 nm).

### مميزات الليف البلاستيكي:

- سعرها منخفض.
- الحجم الكبير نسبياً (بقطر حوالي 1000  $\mu\text{m}$ ) مما يجعلها سهلة في الاستخدام.
- فتحة النفوذ العددية (NA) عالية (حوالي 0.5).
- البساطة والمرونة العالية في التطبيق.

### عيوب الليف البلاستيكي:

- التوهين (Attenuation) العالي جداً (أكبر من 200 dB/km).
  - عرض النطاق الترددي (Bandwidth) القليل (حوالي 5 MHz.km).
- يقتصر استخدام الألياف البلاستيكية على المسافات القصيرة جداً (داخل المكاتب والمعامل)، وكذلك أصبحت تستخدم كبديل للكابلات الكهربائية في السيارات.

سوف نقدم الآن مجموعة من الأمثلة المحلولة لتغطية المواضيع الأساسية التي قمنا بدراستها.

مثال ٢-١ :-

(أ) لديك ليف بصري زجاجي له معامل انكسار اللب يساوي (1.48) ومعامل انكسار الغشاء يساوي (1.46). تحت أي شرط ينتشر الضوء عبر هذا الليف بشكل صحيح.



(ب) أوجد نفس الشرط في حالة استخدام ليف بلاستيكي له  $n_1 = 1.495$  و  $n_2 = 1.404$ .

### الحل

(أ) كما ذكرنا سابقاً فإن هذا الشرط هو الانعكاس الكلي الداخلي ، وحتى يحصل ذلك لا بُد من ضمان أن يسقط الشعاع الضوئي على الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة  $(\Phi_c)$ . لذلك لا بُد من حساب  $(\Phi_c)$  لمعرفة بالتحديد

$$= \sin^{-1} (0.986) \left( \frac{1.46}{1.48} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \theta_c = \sin^{-1} \quad \Phi_i > \Phi_c$$

$$\theta_c = 80.57^\circ.$$

(ب) نفس الحسابات نعيدها لليف البلاستيكي

$$= \sin^{-1} (0.938) = 69.68^\circ \cdot \left( \frac{1.404}{1.495} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \Phi_c = \sin^{-1}$$

يمكننا في الحالتين إيجاد زاوية دخول الضوء لليف البصري والتي يجب أن تكون أصغر من أو تساوي زاوية القبول  $(\theta_a)$ .

مثال ٢ - ٢ :-

لديك ليف بصري زجاجي متعدد الأنماط له  $n_1 = 1.5$  و  $n_2 = 1.47$ . أوجد :

(أ) الزاوية الحرجة  $(\Phi_c)$  في منطقة الحد الفاصل بين اللب والغشاء

(ب) فتحة النفوذ العددية لليف

(ت) زاوية القبول  $(\theta_a)$ ، علماً بأن الضوء يدخل لليف عبر الهواء

(ث) الفرق النسبي  $(\Delta)$  بين  $n_1$  و  $n_2$



الحل:

$$\Phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{1.47}{1.5} \right) = 78.5^\circ. \quad (\text{أ})$$

(ب)

$$= 0.3 \quad \sqrt{1.5^2 - 1.47^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ NA} = \quad (\text{ت})$$

$$\theta_a = \sin^{-1} (\text{NA}) = \sin^{-1} (0.3) = 17.4^\circ.$$

(ث)

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{1.5^2 - 1.47^2}{2 \times 1.5^2} = 0.02$$

مثال ٢ - ٣ :-

لديك ليف بصري عتبي متعدد الأنماط يعمل على الطول الموجي (850 nm) ومعامل انكسار اللب يساوي 1.48 و  $\Delta = 1.5\%$  ونصف قطر اللب  $40\mu\text{m}$  أوجد:

(أ) التردد المعياري ( V - Number ) لليف.

(ب) عدد الأنماط المنتشرة عبر الليف.

الحل

(أ) للحصول على التردد المعياري لليف نستخدم العلاقة

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta}$$

$$V = \frac{2\pi \times 40 \times 10^{-6} \times 1.48}{0.85 \times 10^{-6}} \sqrt{2 \times 0.015}$$

$$V = 75.8$$



(ب) للحصول على عدد الأنماط المنتشرة عبر هذا الليف، نستخدم العلاقة:

$$M_s = \frac{V^2}{2} = \frac{5745.6}{2} = 2873$$

مثال ٢- ٤ :-

لديك ليف بصري عتبي بالمعطيات التالية:

$$\Delta = 1.5 \%, \quad n_1 = 1.48, \quad \lambda = 850 \text{ nm}$$

أوجد:

(أ) أقصى قيمة مسموح بها لقطر لب الليف حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط

(ب) اعتبر أنه تم استبدال هذا الليف بآخر من النوع التدريجي ذي شكل القطع المكافئ حيث يعمل على الطول الموجي (1.3 μm) ولديه (Δ = 1%, n<sub>1</sub> = 1.5). أوجد أقصى نصف قطر للليف يسمح به حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط.

(ت) طول الموجة القاطع (λ<sub>c</sub>) لليف بصري عتبي حتى يعمل كأحادي النمط علماً بأن

$$\Delta = 0.25 \%, \quad a = 4.5 \mu\text{m}, \quad n_1 = 1.46$$

### الحل

(أ) أقصى نصف قطر لب الليف ذي معامل الانكسار العتبي حتى يعمل كأحادي النمط هي

$$a_{\max} = \frac{V_c \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} = \frac{2.405 \times 845 \times 10^{-9}}{2\pi \times 1.48 \sqrt{0.03}} = 1.3 \mu\text{m}$$

من هنا، فإن قطر اللب يساوي 2 × a<sub>max</sub>، وبعد التعويض:

$$= 2 \times 1.3 = 2.6 \mu\text{m}$$

(ب) لأن الليف قد تغير إلى النوع ذي معامل الانكسار التدريجي، فسوف نستخدم العلاقة

$$(g = 2) V_c = 2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{g}} = 2.405 \sqrt{2} = 3.4$$



$$a_{\max} = \frac{3.4 \times 1.3 \times 10^{-6}}{2\pi \times 1.5 \sqrt{0.02}} = 3.3 \mu\text{m}$$

(ت) حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط، يجب أن يكون الطول الموجي المستخدم أعلى من قيمة الطول الموجي القاطع ( $\lambda_c$ ) والذي يحسب تبعاً للعلاقة :

$$\lambda_c = \frac{2\pi a n_1 \sqrt{2\Delta}}{2.405} = \frac{2 \times 3.14 \times 4.5 \mu\text{m} \times 1.46 \sqrt{2 \times 0.0025}}{2.405}$$

$$= 1.214 \mu\text{m} = 1214 \text{ nm.}$$

## ٢- ٧ المواصفات العملية للألياف البصرية Practical Characteristics Of Optical Fiber

عادة ما تقسم الألياف البصرية إلى مجموعات وذلك حسب قطر لب الليف (انظر الجدول ٢- ٣)، كذلك يغطي الليف طبقة أولية من البلاستيك تسمى الغلاف (Coating) وفي الكثير من الحالات هنالك طبقة أخرى إضافية من مواد بلاستيكية تسمى الطبقة الواقية (Buffer)، وقد يستعاض عنها بأنبوب بلاستيكي مفرغ (Tube) توضع الألياف داخله وتكون وظيفته حماية الألياف من أي تأثيرات خارجية. نقدم في الجدول أدناه المجموعات الخمسة الأساسية والمقاسات المقابلة لها.

جدول (٢- ٣) المجموعات الأساسية للألياف البصرية والمقاسات المقابلة لها

Group Number	Core Diameter [μm]	Cladding Diameter [μm]	Coating Diameter [μm]	Buffer or tube Diameter [μm]
I	8 to 10	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
II	50	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
III	62.5	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
IV	85	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
V	100	140	250 or 500	900 or 2000 -3000



وسوف نقدم الآن المواصفات والخصائص الأساسية لهذه المجموعات، وللفادة نقدمها باللغة الإنجليزية:

### ***I. Core: 8 to 10 / 125***

Single – mode fiber with:

NA: smallest ( $< 0.1$ )

Loss: lowest ( $\approx 0.2$  dB / km) at  $\lambda = 1550$  nm

BW: highest, tens GHz  $\times$  km.

Wavelength: 1310 or 1550 nm

2 km  $\approx$  Cable length:

### ***II. Core: 50 / 125***

Multimode fiber with:

NA: smaller ( $\approx 0.2$ )

Loss : lower ( $\approx 3$  to 4 dB / km)

BW: higher (few GHz  $\times$  km)

Wavelength : 850 or 1310 nm

Cable length: ( $\sim 0.2$  to 0.3 km)

### ***III. Core: 62.5 / 125***

Multimode fiber with:

NA : medium ( $\approx 0.3$ )

Loss : low ( $\approx 4$  dB / km)

BW: medium (hundred MHz  $\times$  km)

Wavelength: 850 or 1310 nm

Cable length:  $\approx 1.5$  km



#### **IV. Core: 85 / 125 { European Fiber Size }**

Multimode fiber with:

NA: large (  $\approx 0.3$  )

Loss : high (  $\approx 5$  dB / km )

BW: low ( tens MHz  $\times$  km )

Wavelength: 850 or 1310 nm

Cable length : (  $\approx 1.5$  km )

#### **V. Core: 100 / 140**

Multimode fiber with:

NA: largest (  $\approx 0.4$  )

Loss: higher (  $\approx 5$  dB / km )

BW: lowest (  $\approx$  MHz  $\times$  km )

Wave length: 850 or 1310 nm

Cable length: ( 1.5 or 1.8 km )





وفي النهاية، سوف نقدم مثلاً على مواصفات ليف بصري معين في الجدول أدناه:

جدول (٢ - ٤) مثال عملي لمواصفات ليف بصري

Specifications المواصفات	value القيمة	Explanation التوضيح
Core diameter	62.5 $\mu\text{m}$	Multi mode fiber
Cladding diameter	125 $\mu\text{m}$	Doesn't included Coating
Coating diameter	250 $\mu\text{m}$	Plastic-colored coating
Mode-field diameter	-----	This value is used only for single mode fibers
Attenuation:		
at $\lambda = 850 \text{ nm}$	3.5 dB / km	Maximum loss
at $\lambda = 1310 \text{ nm}$	1 dB/ km	
Fiber-optic bandwidth:		
At $\lambda = 850 \text{ nm}$	160 MHz $\times$ km	
At $\lambda = 1310 \text{ nm}$	500 MHz $\times$ km	
Chromatic dispersion	0.1 nS / nm $\times$ km	
Cutoff wavelength	-----	For single mode fibers only
Fiber manufactures	company name	



## تدريبات على الوحدة الثانية

تمرين ١: أوجد سرعة الضوء في الأوساط التالية:

- السيليكا (  $n = 1.5$  )

- الماء (  $n = 1.33$  )

- كلوريد الصوديوم (  $n = 1.54$  )

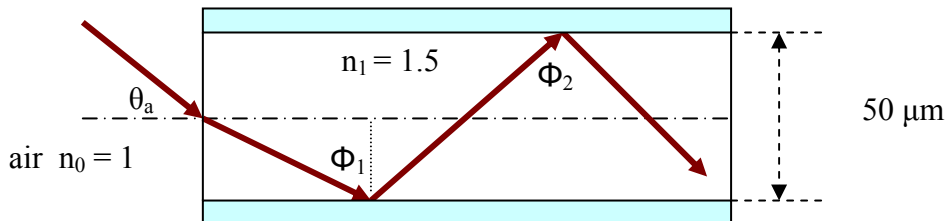
- الجرمانيوم (  $n = 4$  )

تمرين ٢: (أ) احسب الزمن اللازم لوصول الضوء إلى نهاية ليف بصري مصنوع من الزجاج (  $n = 1.5$  ) وبطول يصل إلى 2 km.

(ب) احسب الزمن اللازم لوصول الضوء إلى نهاية ليف بصري بلاستيكي (  $n = 3$  ) وبطول يصل إلى 20m

تمرين ٣: احسب المسافة عن الأرض التي يقع عليها قمر اصطناعي إذا علمت أن الزمن الذي قطعه الضوء ذهاباً وإياباً إليه يساوي (  $1\mu s$  ).

تمرين ٤: أوجد قيم الزوايا (  $\theta_a$  ,  $\Phi_c$  ,  $\Phi_2$  ,  $\Phi_1$  ) لليف متعدد النمط من النوع العتبي حسب الشكل المبين أدناه إذا علمت أن (  $\lambda = 1310$  ،  $\Delta = 0.01$  ,  $n_2 = 1.48$  ).



تمرين ٥: لديك ليف بصري بالمواصفات التالية:

قطر اللب يساوي  $62.5 \mu m$        $n_2 = 1.47$ ;       $\lambda = 1300 \text{ nm}$ ;       $\theta_a = 30^\circ$



(أ) اذكر نوع الليف بناء على المعطيات السابقة

(ب) أوجد التردد المعياري ( V-number )

(ت) أوجد عدد الأنماط التي ستتتشر عبر هذا الليف

تمرين ٦: اعتبر أنه تم استبدال الليف السابق ( تمرين ٥ ) إلى النوع ذي معامل الانكسار التدريجي ( $g=2$ ) وأن عدد الأنماط المنتشرة يساوي (100). أوجد نصف قطر لب هذا الليف إذا علمت أن

$$\Delta = 1 \%, \quad \lambda = 1550 \text{ nm}, \quad n_1 = 1.5$$

تمرين ٧: لديك ليف بصري متعدد النمط من النوع العتبي وله المعطيات التالية:

$$\lambda = 1310 \text{ nm}; \quad n_1 = 1.5; \quad n_2 = 1.47; \quad 62 \mu\text{m} \text{ قطر اللب يساوي}$$

أوجد: (أ) فتحة النفوذ العددية ( NA ).

(ب) قيمة أقصى نصف قطر اللب المسموح بها حتى يتحول هذا الليف إلى أحادي النمط.

تمرين ٨: لديك ليف بصري أحادي النمط من النوع التدريجي وله المعطيات التالية:

$$\lambda = 1300 \text{ nm}; \quad n_1 = 1.5; \quad \Delta = 0.1 \%; \quad 22.66 \mu\text{m} \text{ قطر اللب يساوي}$$

أوجد قيمة  $g$  التي تحدد شكل معامل الانكسار.

تمرين ٩: أوجد قيمة نصف قطر اللب المسموح بها حتى يتحول الليف في تمرين ٧ إلى أحادي النمط من

النوع التدريجي ذي الشكل المثلثي (  $g = 1$  ).

تمرين ١٠: أوجد طول الموجة القاطعة (  $\lambda_c$  ) لليف أحادي النمط من النوع التدريجي ذي قطع مكافئ (  $g = 2$  )

$$= 2 \text{ ) إذا علمت أن قطر اللب يساوي } (8 \mu\text{m}), \quad (n_1 = 1.5), \quad (\Delta = 0.1 \%).$$

تمرين ١١: أوجد فتحة النفوذ العددية لمقطع ليف عتبي ذي القيم التالية:

$$n_1 = 1.48; \quad n_2 = 1.46; \quad a = 25 \mu\text{m}$$

تمرين ١٢: أجب عن الاسئلة التالية



- أ - ما النظريات المستخدمة لتفسير الضوء؟
- ب - ما الفرق بين الانعكاس والانكسار؟
- ج - وضّح المقصود بأنماط الانتشار؟
- د - قارن بين الليف العتبي و الليف التدريجي؟
- هـ - ما وظيفة كل من اللب والغشاء في الليف البصري؟