

المحاضرة الرابعة

الألياف البصرية

د عثمان محمد دفع الله
أستاذ مشارك جامعة كرري

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- إن ما يميز الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي هو أن معامل انكسار لب الليف البصري لا يكون ذا قيمة ثابتة
- وإنما (يتغير وبشكل تدريجي) بدءاً من مركز اللب ($n=n_1$) وحتى الحد الفاصل بين اللب والعاكس ($n=n_2$) حيث يأخذ هذا التدرج أشكالاً مختلفة مثل التدرج المثلي أو القطع المكافئ وغيرها، بينما يبقى معامل انكسار العاكس ثابتاً (n_2)

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

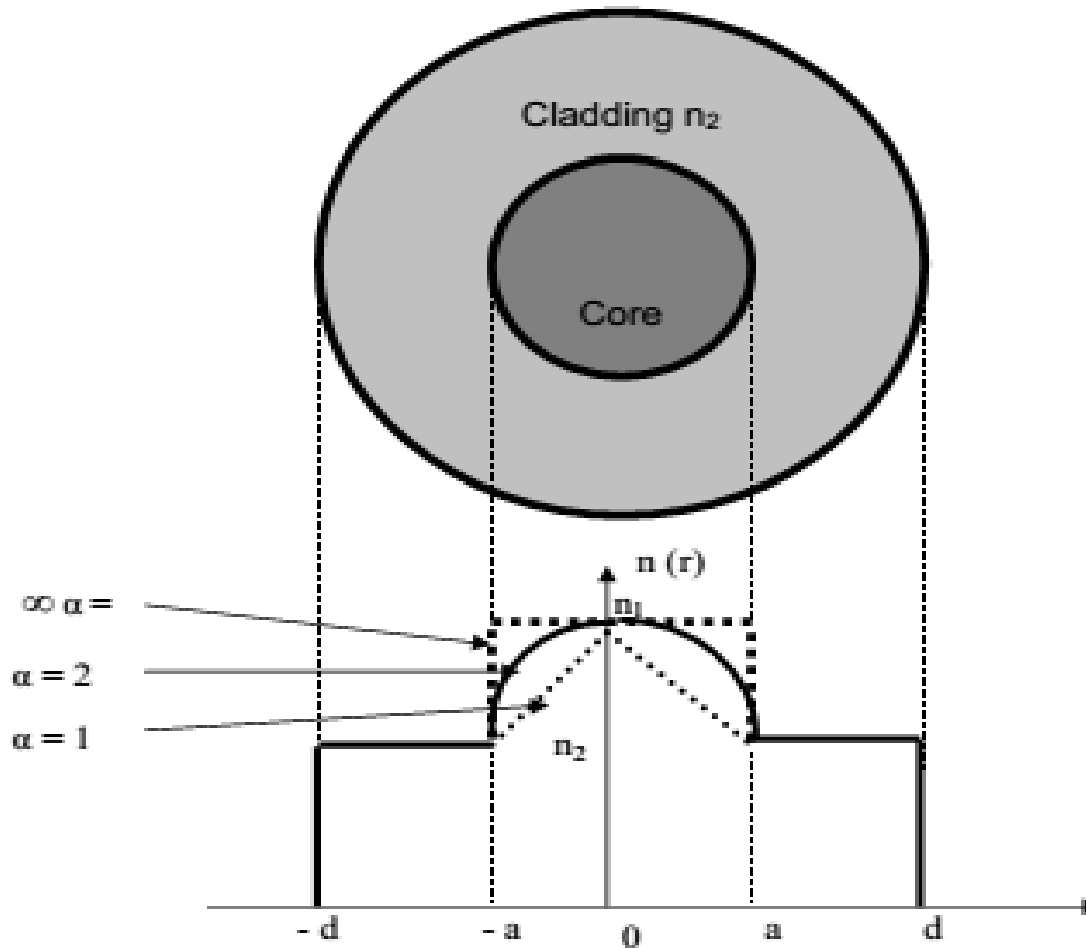
- يتضح مما سبق أن معامل انكسار لب الليف ذو قيمة متغيرة ويأخذ شكل دالة رياضية معينة حيث يرمز لمعامل الانكسار بالرمز $n(r)$ وهي التي تحدد شكل التدرج
- العلاقة الرياضية التالية توضح الدالة التي تعبر عن تغيير معامل الانكسار في لب الليف التدريجي

$$n(r) = \begin{cases} n_1 (1 - 2\Delta) \sqrt{\left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} & r < a \\ n_1 \sqrt{(1 - 2\Delta)} = n_2 & r \geq a \end{cases}$$

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- حيث: α تمثل معامل الدالة والذي يحدد الشكل العام (مثلثي أو قطع مكافئ) فعندما تكون:
 - $\alpha=1$ نحصل على الشكل المثلثي
 - $\alpha=2$ نحصل شكل القطع المكافئ
 - $\alpha=\infty$ نحصل شكل الليف العتبي

الشكل التالي يوضح شكل تغيير معامل الانكسار في لب الليف
التدرجي وشكل التدرج حسب قيمة معامل الدالة



د عثمان محمد دفع الله
أستاذ مشارك جامعة كرري

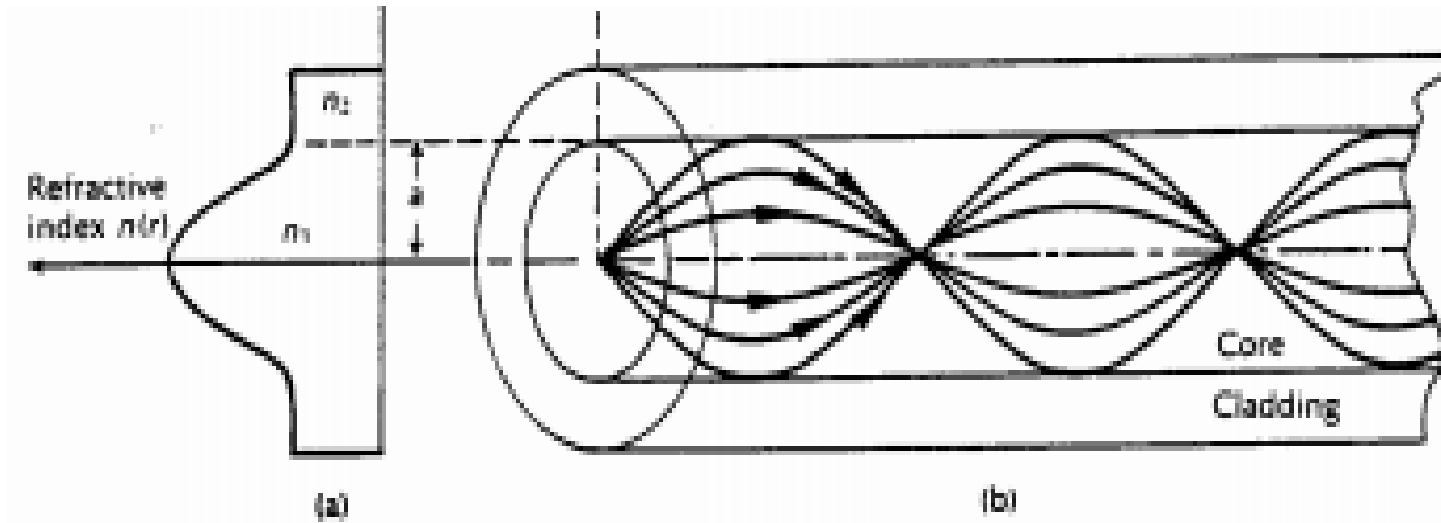
الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة Mg خلال لب الليف التدريجي بالعلاقة التالية:-

$$M_g = \left(\frac{\alpha}{\alpha + 2} \right) \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

- حيث يعتمد عدد الأنماط المنتشرة على معامل الدالة α .

■ الشكل أدناه يوضح كيفية انتشار الحزم الضوئية خلال لب الليف التدريجي ذو شكل القطع المكافئ



د عثمان محمد دفع الله
أستاذ مشارك جامعة كرري

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- هندسيا تنتشر الحزم الضوئية خلال منطقة لب الليف وتكون مساراتها على شكل خطوط منحنية وليست مستقيمة
- والسبب أن معامل الانكسار لمنطقة الانتشار (اللب) ذو قيمة متغيرة وبالتالي فإن سرعة انتشار الأنماط متغيرة حيث تكون السرعة أعلى ما يمكن عندما يكون n أصغر ما يمكن (عند طرفي اللب)
- وتكون السرعة أقل ما يمكن عندما يكون n أكبر ما يمكن (عند مركز اللب).

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- من الشكل أعلاه نجد أن الحزم القريبة من مركز اللب تكون بطيئة السرعة ولكنها تقطع مسافة قصيرة
- بينما الحزم الأبعد عن مركز اللب والأقرب للحد الفاصل مع العاكس تكون ذات سرعة عالية ولكنها في نفس الوقت تقطع مسافة أطول
- وبالتالي فإن جميع الحزم تصل في أوقات زمنية متقاربة جداً مما يقلل التأخير فيما بينها. وهذا هو السبب في إن التشتت في هذه الألياف قليل جداً (حوالي ١٠٠ مرة أقل منه في حالة الألياف العتبية)

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- للحصول على ليف بصري أحادي النمط من النوع التدريجي
تحتسب قيمة V_C بالعلاقة التالية:

$$V_C = 2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha}}$$

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- وإن أهم ما نحتاجه للحصول على الليف أحادي النمط هو كيفية إيجاد نصف قطر لب الليف (a).
- حتى يعمل الليف كأحادي النمط وبالرجوع للعلاقة:

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

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- وبتعويض قيمة $V=V_c=2.405$ يمكننا إيجاد نصف قطر الليف أحادي النمط من النوع العتبي بالعلاقة التالية:

$$a = \frac{2.405\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}}$$

الليف التدريجي: Graded Index Fiber

- أما في حالة الليف أحادي النمط من النوع ذو معامل الانكسار التدريجي فيجب تعويض قيمة V_c للنوع التدريجي وبذا نجد أن قيمة نصف القطر تعطى بالعلاقة التالية

$$a = \frac{\left(2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha}} \right) \times \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}}$$

أمثلة محلولة

مثال (١):

إذا كان لدينا ليف بصري زجاجي متعدد الأنماط له
 $n_1=1.5, n_2=1.47$ أوجد:

- الزاوية الحرجة في منطقة الحد الفاصل بين اللب والعاكس.
- فتحة النفوذ العددية للليف.
- زاوية القبول، علما بأن الضوء يدخل للليف عبر الهواء.
- الفرق النسبي بين n_1, n_2

أمثلة محلولة

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1.47}{1.5} \right) = 78.5^\circ \quad \text{الحل:-}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.5^2 - 1.47^2} = 0.3$$

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

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

أمثلة محلولة

مثال ٢

إذا كان لدينا ليف بصري عتبي متعدد الأنماط يعمل على الطول الموجي 850 nm وله معامل انكسار للـب يساوي 1.48 ونصف قطر للـب يساوي 40 m و $\Delta=1.5\%$ أوجد:

- i. التردد المقياس للـب V-number.
- ii. عدد الأنماط المنتشرة خلال لب الليف.
- iii. إذا أن $V=6$ أوجد جميع الأنماط التي يمكنها الانتشار عبر الليف.

أمثلة محلولة

الحل:-

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta} = \frac{2\pi \times 40 \times 1.48 \sqrt{2 \times 0.015}}{0.85 \times 10^{-6}} = 75.8$$

$$M_s = \frac{V^2}{2} = \frac{75.8^2}{2} = 2873$$

بالرجوع للشكل الذي يوضح أنماط الانتشار وبعد تحديد موقع $V=6$ على الرسم نجد أن الأنماط الموجية التالية سوف تنتشر عبر الليف:

$$HE_{11}, HE_{21}, TM_{01}, TE_{01}, HE_{12}, EH_{11}, HE_{31}$$

د عثمان محمد دفع الله
أستاذ مشارك جامعة كرري

أمثلة محلولة

مثال (٣):

إذا كان لدينا ليف بصري عتبي بالمعطيات التالية:

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

a. أقصى قيمة مسموح بها لقطر لب الليف حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط.

b. أعتبر أنه تم استبدال هذا الليف بأخر من النوع التدريجي ذي الشكل القطع المكافئ حيث يعمل على الطول الموجي $1.3\mu\text{m}$ ولديه $\Delta=1\%$ و $n_1=1.5$. أوجد: أقصى نصف قطر لللب الليف حتى يعمل كأحادي النمط.

c. طول الموجة القاطع λ_c لليف بصري عتبي حتى يعمل كأحادي النمط علماً بأن $\Delta=0.25\%$, $a=4.5\mu\text{m}$, $n_1=1.46$

أمثلة محلولة

الحل:-

$$a = \frac{2.405\lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} = \frac{2.405 \times 845 \times 10^9}{2\pi \times 1.48 \sqrt{0.03}} = 1.3 \mu m$$

من هنا فإن قطر اللب يساوي ضعف قيمة a يساوي $2.6 \mu m$

$$a = \frac{\left(2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{\alpha}}\right) \times \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} = \frac{\left(2.405 \sqrt{1 + \frac{2}{2}}\right) \times 1.3 \times 10^{-6}}{2\pi \times 1.5 \times \sqrt{0.02}} = 3.3 \mu m$$

$$\lambda_c = \frac{2\pi a n_1 \sqrt{2\Delta}}{2.405} = \frac{2\pi \times 4.5 \mu \times 1.46 \sqrt{2 \times 0.0025}}{2.405} = 1.214 \mu m$$