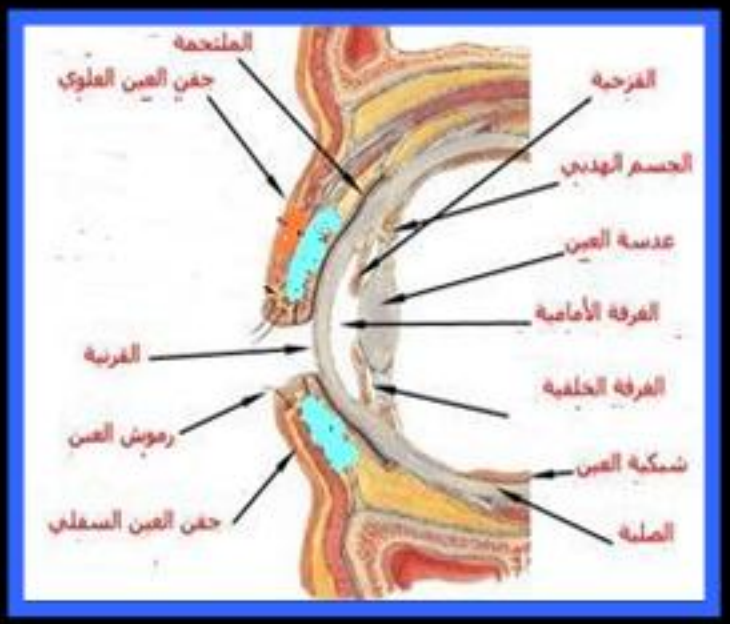
المفارقة الثانية

هل كان بإمكان ابن آدم رؤية الغراب ؟

2 الخواص الفيزيائية للعين



يُعرف معامل الانكسار الضوئي في الأجسام الشفافة بالعلاقة :

ن = سرعة الضوء في الهواء/ سرعة الضوء في الجسم

وتملأ العين عدة سوائل بالخواص التالية :

أ) الغرفة الأمامية بها خلط مائي معامل انكساره :

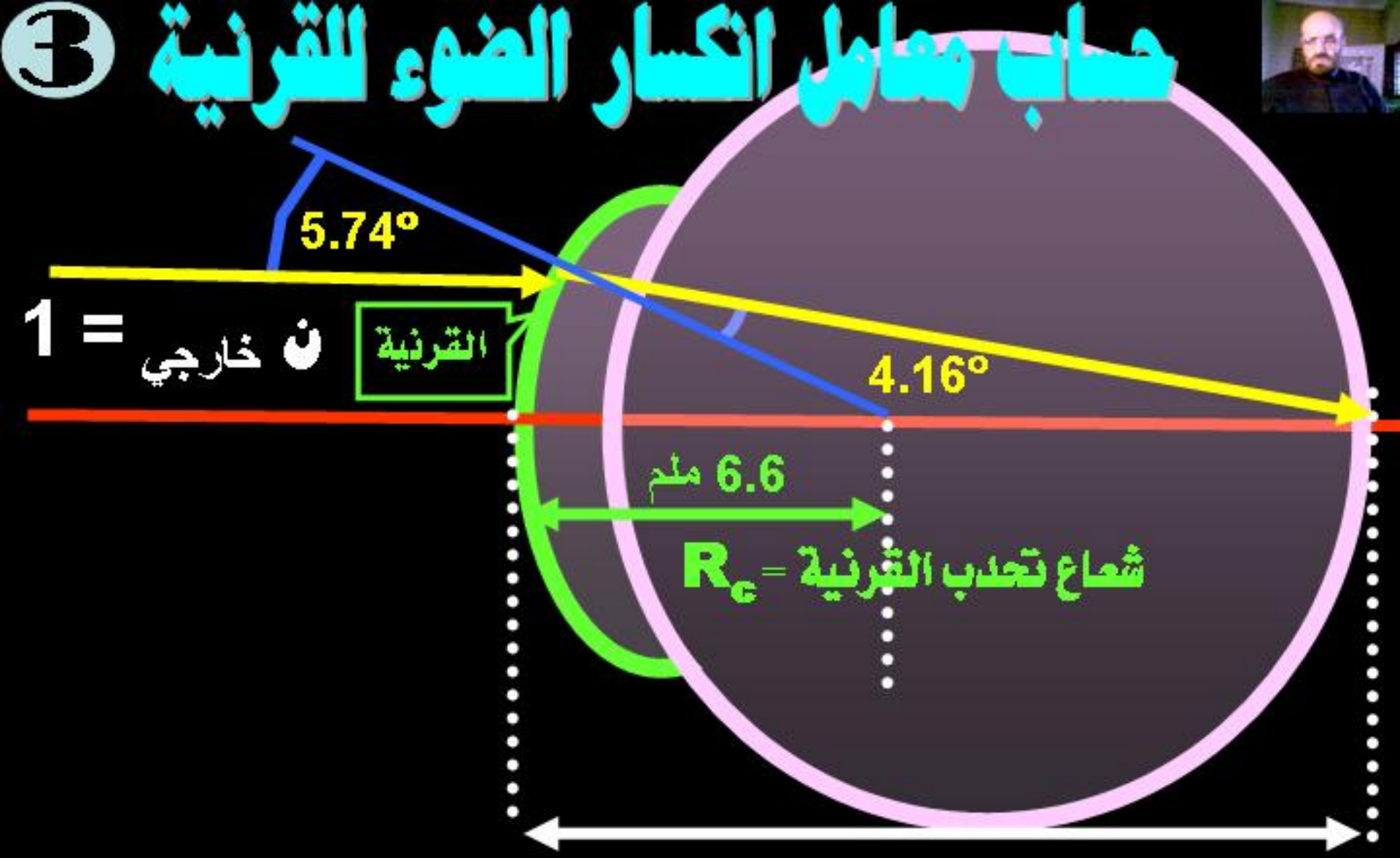
$$ن_{\text{أمامية}} = 1.33$$

ب) الغرفة الخلفية مكونة من الجسم الزجاجي ومعامل انكساره : $ن_{\text{خلفية}} = 1.33$ أيضاً،

ت) تعتبر القرنية (Cornea) عدسة أولى في نظام العين المكون من عدستين محدبتين. ولها نصف قطر تحدب أمامي : R ، ومعامل انكسار : $ن_{ق} = 1,37$ ، وهي مجمعة للضوء، مقارنة مع معامل انكسار الهواء خارج العين :

$$ن_{\text{هواء}} = 1$$

③ حساب معامل انكسار الضوء للقرنية



معامل الانكسار الضوئي للقرنية :

ن قرنية = جيب (4.16°) / جيب (5.74°) = 1.38

1) القوة الديوبترية لعدسة القرنية

4

وللقرنية تحدب بنصف قطر (نق) = 7.5 مليمتر، كما لها بعدان بؤريان؛ أمامي وخلفي.

والبعد البؤري الأمامي للقرنية : بؤ أمامي = (ن داخلي × نق) / (ن داخلي − ن خارج) ≈ 27 – 30 ملم

والبعد البؤري الخلفي للقرنية : بؤ خلفي = (ن خارجي × نق) / (ن داخلي − ن خارج) ≈ 20 – 22 ملم

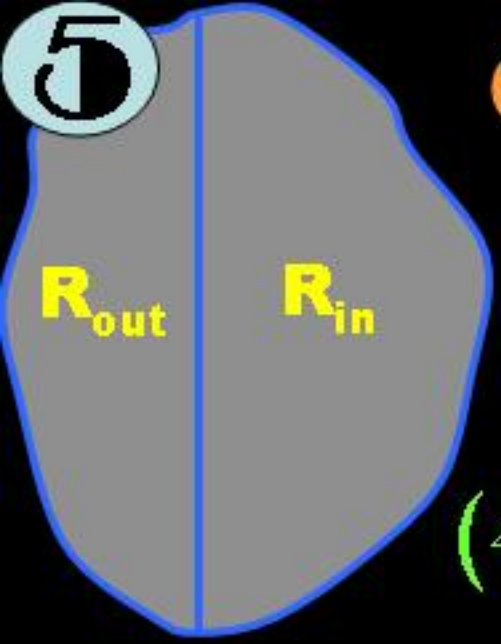
وتعرف قوة العدسات بالعلاقة التالية :

قوة العدسة (D) = (البعد البؤري / 1) (1/f) ديوبتر

وباتخاذ البعد البؤري للقرنية = بؤ قرنية = 27 ملم (027 . 0 متر)

نحصل على التالي : قوة القرنية (بؤ قرنية / 1) ≈ 37 ديوبتر (2)

2) القوة الديوبترية لعدسة العين



عدسة العين

بملاحظة أن نصف قطر عدسة العين متغير،
فقوتها الديوبترية هي كالتالي (الشكل) :

(4)

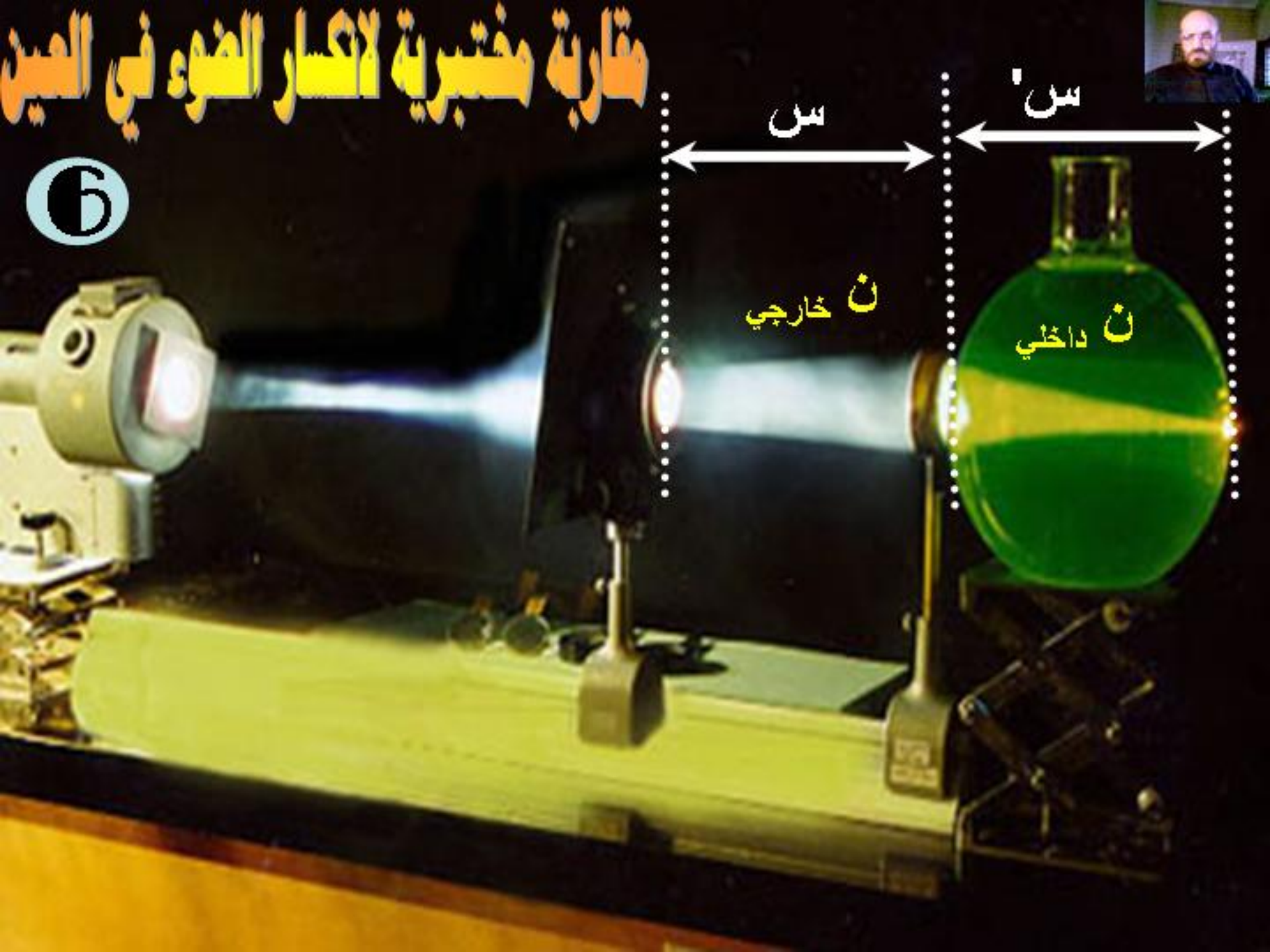
$$D_l = \frac{1}{f_l} = \left(\frac{n_l}{n_{ah}} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{R_{out}} - \frac{1}{R_{in}}\right)$$

حيث معامل انكسار العدسة $n_l = 1.4$
ومعامل انكسار الخلط المائي $n_{ah} = 1.33$.

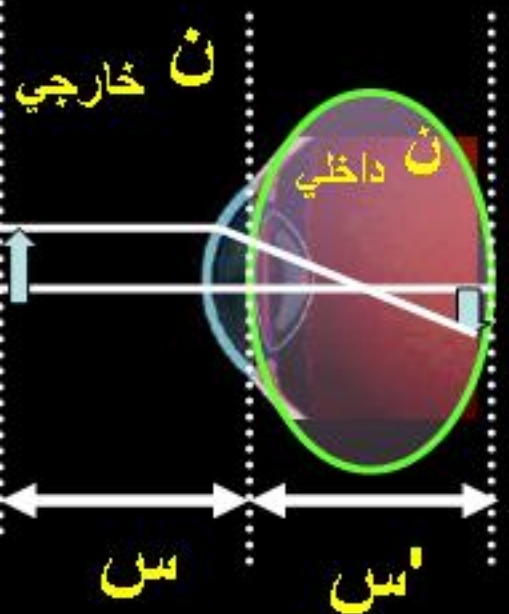
ونصف قطر التحدب الخارجي : R_{out} = 5 ملم (في حال تكيف العدسة للنظر القريب) ويصل إلى 10 ملم (في حال تكيف العدسة للنظر البعيد) ،
ونصف قطر التحدب الداخي : R_{in} = - 5 ملم (في حال تكيف العدسة للنظر القريب) ويصل إلى - 6 ملم (في حال تكيف العدسة للنظر البعيد) .

مقاربة مختبرية لانكسار الضوء في العين

6



العلاقة بين الأجسام المرئية وصورها في العين



وعادة ما تختزل العين إلى عدسة واحدة بمعامل انكسار داخلي: ن داخلي ، مع ملاحظة أن: {ن داخلي} أكبر من معامل انكسار الضوء في الهواء { ن خارجي}،

وتعطينا قوانين البصريات، بالنسبة لعدسة محدبة بمعاملي الانكسار في الوسطين: ن داخلي ، و ن خارجي، ومسافة: الجسم المنظور إليه (س)، ومسافة صورته المكونة في بؤرة العين (س') ونصف قطر تحدب عدسة العين (نق). العلاقة التالية:

$$\frac{\text{ن داخلي} - \text{ن خارجي}}{\text{نق}} = \frac{\text{ن داخلي}}{\text{س'}} + \frac{\text{ن خارجي}}{\text{س}} \quad (1)$$

قوة الإبصار في العين

وبما أن العين عبارة عن نظام بصري مكون من عدستين : القرنية والعدسة ، فالقوة الكلية للعين (أنظر الشكل) هي حاصل جمع القوتين :

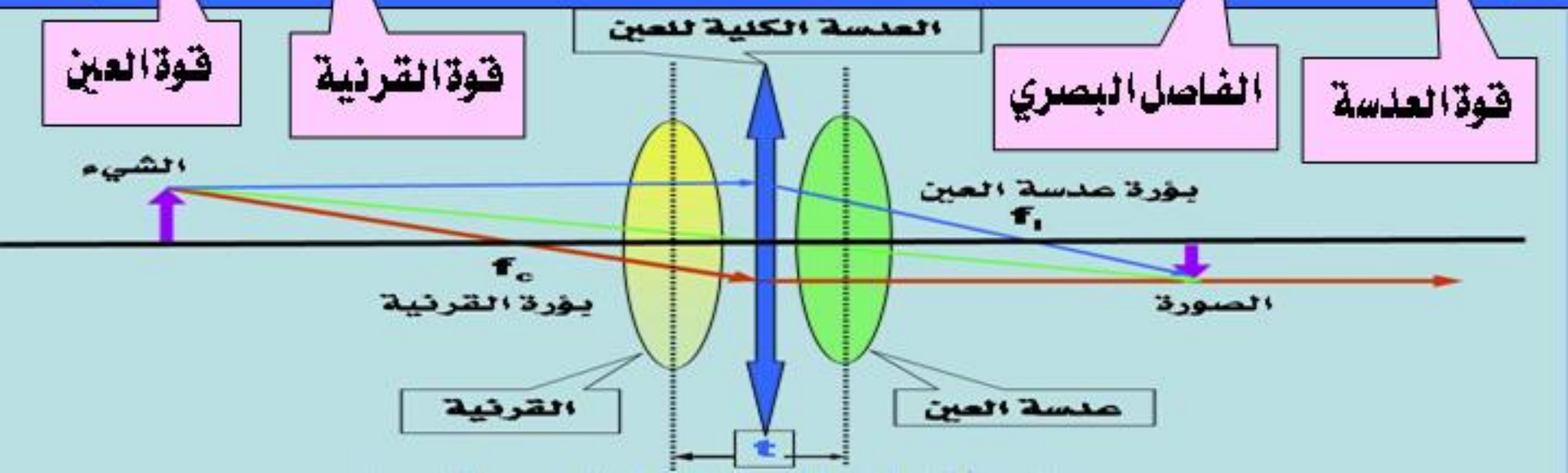
قوة العين الكلية (D_e) = قوة القرنية (D_c) + قوة العدسة (D_l)

$$(1/f_e) = (1/f_l) + (1/f_c) =$$

هذا في حال تلاصق العدستين. أما إن فصلت بينهما مسافة (t) (الشكل) فتكتب القوة الكلية كالتالي :

3

$$D_e = D_c + D_l - \frac{t}{f_c \cdot f_l} = D_c + Dl - t \cdot D_c \cdot D_l$$



المسافة البؤرية للعين

ويتبين من العلاقة (4) أن قوة العدسة تساوي: $D_1 = 14$ ديوبترياً في حال التكيف البعيد، وهو ما يعطينا بعداً بؤرياً للعدسة يساوي: $f_1 = 71.3$ ملم، بينما التكيف القريب، يعطينا عدسة بقوة 20 ديوبترياً، أي بعداً بؤرياً في حدود: 50.4 ملم.

فإذا كانت المسافة الفاصلة بين القرنية والعدسة هي $t = 5$ ملم، فإن القوة الديوبترية للعدسة الكلية للعين D_e (من خلال العلاقة رقم 2) ستتراوح ما بين 48 إلى 50 ديوبترياً. وهو ما يعني أن:

المسافة البؤرية للعين f_e تتراوح ما بين 20 إلى 21 مليمتر.

ويتبين من العلاقة (2) أن كل التجميع والتركيز للضوء يحصل بالقرنية، وعمل العدسة تدقيقي.

ما يحدُّ من التركيز البؤري للعين بالنسبة للأجسام القريبة منها

ويتبين مما سبق أن ما يحد من التركيز البؤري للضوء بالنسبة للأجسام القريبة من العين هو **تحدب القرنية وتغير نصف قطر العدسة**.

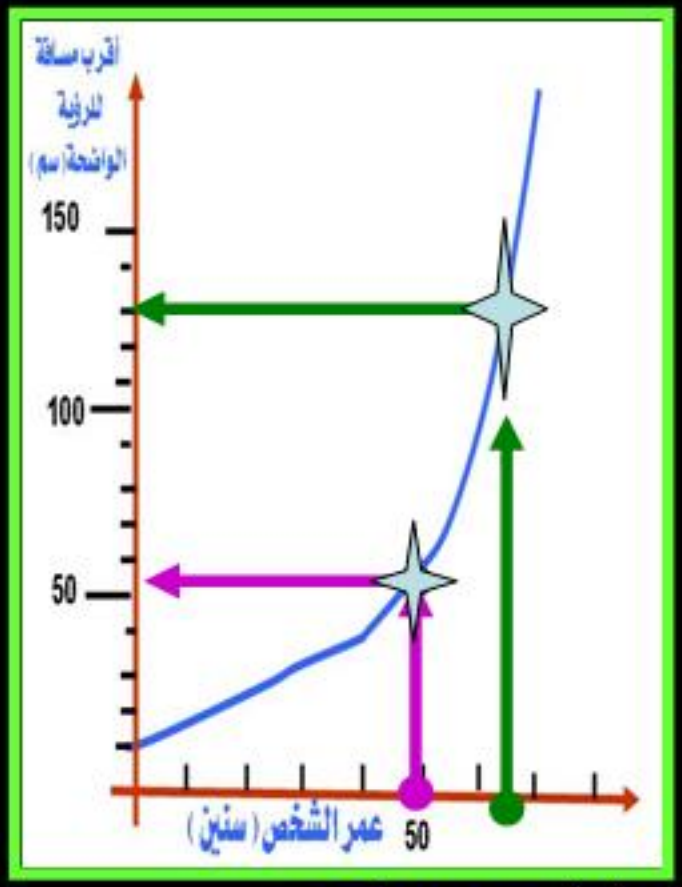
وفي حال اعتبار العين **مكونة من عدسة كلية واحدة**، أمكننا تبسيط واختزال قوتها الديوبترية بالعلاقة البسيطة التالية:

$$\frac{1}{س} + \frac{1}{س'} = D_e \quad (5)$$

حيث **س** مسافة الجسم المرئي من مركز العدسة،

و **س'** مسافة صورة الجسم من مركز العدسة ونجد من (5) المسافة **س**:

$$س = \frac{1}{\{ D_e - (1/س') \}} \quad (6)$$

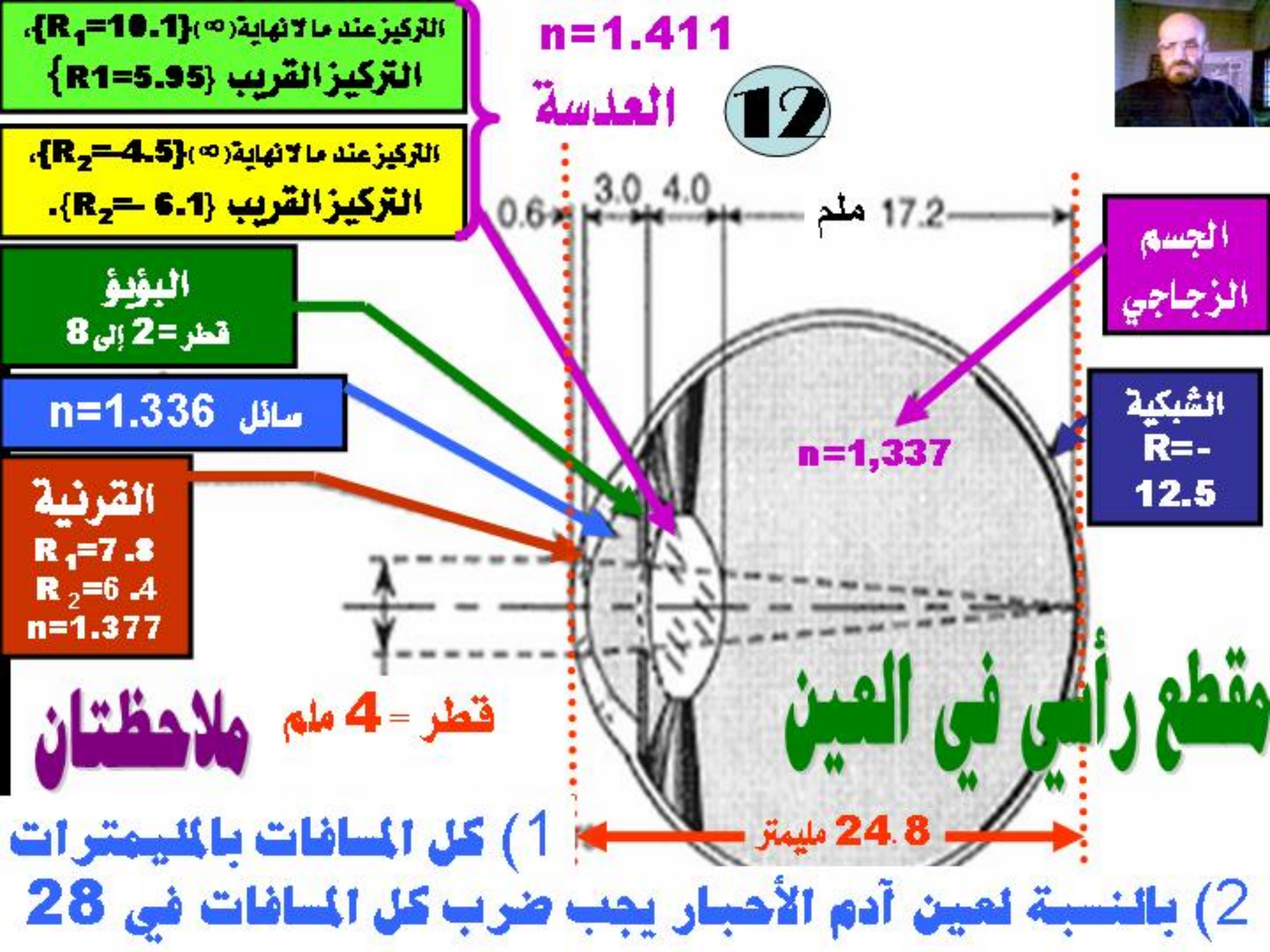


أثر الشيخوخة على الرؤية من قرب

11

لاحظ أن أقصر مسافة لجسم من العين،
بحيث يظل تركيز الأشعة في البؤرة ممكناً،
ستحددها أكبر قوة ديوبترية ممكنة للعين.
وهذا يحصل عندما تكون قوة عدسة العين:
$D_e \approx 53$ ديوبترياً، وبعد الجسم من العين:
$s' \approx 5.2$ مليمتر.

ومنه يتبين أن أقرب مسافة لجسم من العين ليرى بوضوح هي
حوالي: 8 سنتيمتر. إلا أن هذه المسافة القريبة لا تتحقق سوى في سن
الشباب، أما في المتوسط فأقرب مسافة للرؤية الواضحة ستتراوح ما بين
20 – 25 سم، وتزداد مع تقدم السن، كما يوضح المنحنى المصاحب..


التركيز عند ما لا نهاية (∞) {R1=10.1}،
التركيز القريب {R1=5.95}
التركيز عند ما لا نهاية (∞) {R2=-4.5}،
التركيز القريب {R2= -6.1}.
n=1.411
العدسة
12
البؤبؤ
قطر = 2 إلى 8
سائل n=1.336
القرنية
R1=7.8
R2=6.4
n=1.377
0.6
3.0
4.0
17.2 ملم
الجسم الزجاجي
n=1,337
الشبكية
R=-12.5
قطر = 4 ملم
مقطع رأسي في العين
24.8 مليمتر
ملاحظتان
1) كل المسافات بالمليمترات
2) بالنسبة لعين آدم الأحبار يجب ضرب كل المسافات في 28

الحدة البصرية التمييزية للعين (1)

13

يُراد بمفهوم "التمييز" هنا : التمييز الفضائي لنظامِ
عين، أي : القدرة على رُؤية التفاصيلِ الصغيرةِ للأجسم المرئية .

وهناك ثلاثة أنواعٍ من المقاييس لسبر الحدة البصرية :

أولاها، الحَدّة التمييزية الدنيا : ويُراد بها الزاوية
لاستكشافية الدنيا، التي نستطيع من خلالها تبين جسمٍ مغمور
ي خلفية موحّدة، كتبين خطّ كهرباء في سماء صافية مثلاً.

ويُقاس هذا "التمييز" **بالزاوية** التي يمكن أن نرى بها
مك **خط كهرباء بوضوح** على بعد أدنى مسافة ممكنة من العين.

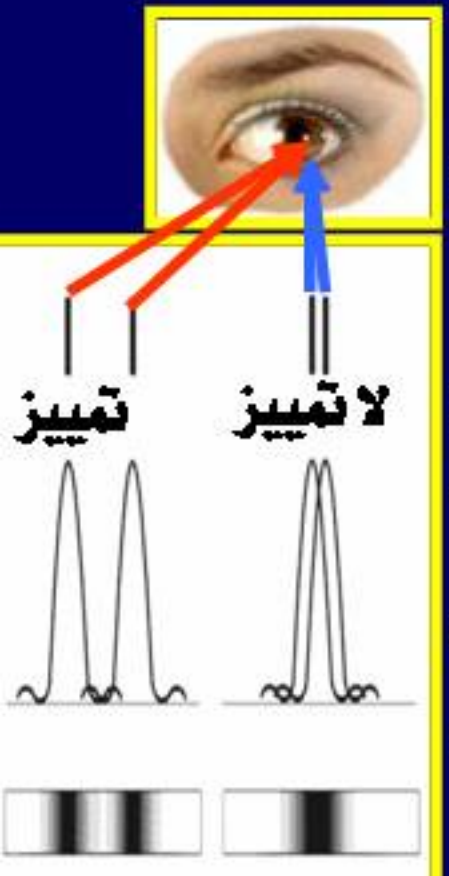
هذه القدرة التمييزية تصل عند الإنسان المعاصر إلى حوالي :
ثانية قوسية {وتكتب عادة (**1"**) والإشارة المزدوجة العلوية :
") تعني : ثانية مِنْ القوسِ - (**1 / 60**) من الدقيقة القوسية أو (
1 / 360) من الدرجة القوسية}. وهذه الحدة التمييزية
ستطيع تبين قلم رصاص من على مسافة حوالي كيلومترٍ من العين.

الحدة البصرية التمييزية للعين (2)

14

ثانيها: الزاوية الدنيا للتمييز: وهي مقياسُ الحدّةِ البصرية المعيارية، لتي على أساسها تُقوم الحالة البصرية للعين عند أطباء العيون.وهي تعتمد على تبين بعض المظاهر الميزة في الجسم المرئي.

والقدرة التمييزية لهذا النوع من التدقيق محدودة وتتراوح ما بين 30 ثانية إلى دقيقة واحدة قوسية (1')



ثالثها: الحد الأدنى للتمييز (*The minimum discriminable*) أَو "الحدة البصرية المفرطة" (hyperacuity): وهي مقياس تمييزي يُطلب فيه من شخص تبين الموقعِ النسبي لجسمين. وهذا الحد التمييزي عاليُ، ويتراوح ما بين ثانيتين قوسيتين (2") وعشرة ثوان (10")

معوقات الحد الأدنى للتمييز البصري لدى الإنسان

15

قبل إمكان التمييز بين الأشياء، يجب أولاً أن تتكون لها صور على شبكية العين.

وواضح أن هذه الصورةِ لَنْ تَكُونَ نسخةً طبق الأصل مِنْ الجسمِ، بل صورة مشوّهة بدرجات متفاوتة.

ولعل أوضح ما نمثل به لهذه التشوهات: تلك التي تظهر لدى المصابين بمعوقات: قصرِ النظر (myopia)، أو بعد النظر (hypermetropia)، أو حرج البصر اللانقطي (astigmatism)، حيث لا تستطيع العين في هذا العارض الأخير، تركيز الأشعة في أية نقطة، بسبب تغيرات موضعية في تحدب القرنية، وغيرها مِنْ التأثيراتِ الأخرى على تشكيلِ الصورةَ.

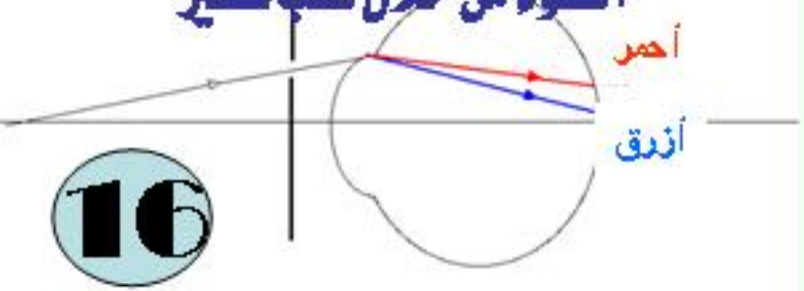
انحرافات الضوء المرئي

للعين معامل انكسار بالنسبة للأطوال المختلفة لموجات الضوء، كما هو الحال بالنسبة للموشورات والعدسات. وكما أن الموشورات تحرف الضوء الأزرق أكثر مما تحرف الضوء الأحمر، فالعين كذلك تفعل نفس الشيء (الصورة العلوية).

وهذا ما يجعل الضوء الأزرق يتجمع في بؤرة أقرب إلى جبهة العين من البؤرة التي يتجمع فيها الضوء الأحمر - فالعين أكثر قوة، لكن قصيرة النظر (myopic) بالنسبة للصور الزرقاء، وأقل قوة، لكن بعيدة النظر (hyperopic) بالنسبة للصور الحمراء. وهذا ما يسمى بالإنحراف اللوني الطولي للعين. (الصورة الوسطى)

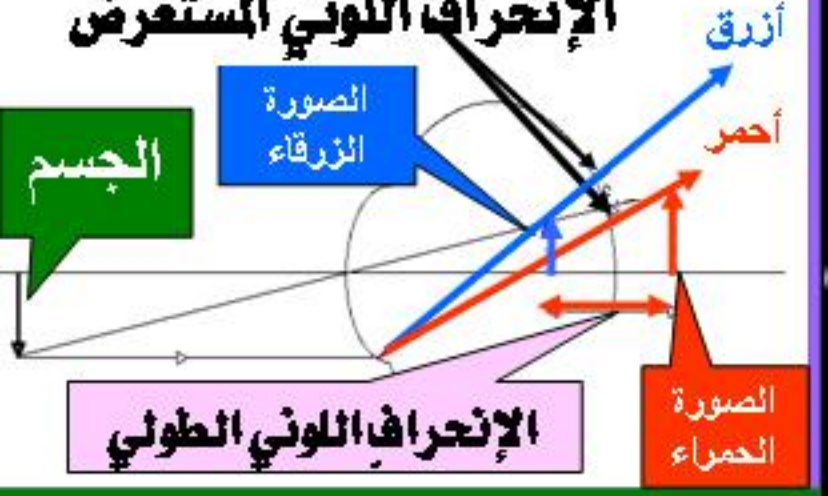
وتبين الصورة السفلية أثر القرب والبعد من العين على تكون الصور.

ظاهرة الانحراف اللوني عند استقبال الضوء من خلال ثقب صغير

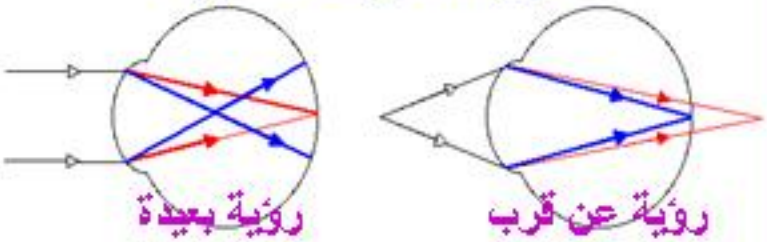


16

الإنحراف اللوني المستعرض



تغير في الموجات المتجمعة في البؤرة بحسب الرؤية البعيدة والقريبة



الجزء الثاني عشر من علم دراية **الوجه الأول**:

«خلق الله آدم على صورته طوله 60 ذراعاً»