



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

عنوان:

## دراسة فيزيائية للعدسات وتطبيقاتها المتنوعة

بحث تخرج

مُقدَّم إلى

كلية التربية للعلوم الصرفة – قسم الفيزياء

وهو جزء من متطلبات نيل

درجة البكالوريوس في الفيزياء

إعداد الطالب

سيف حسن كامل

إشراف

أ.م.د. مصعب خضر محمد

السنة الدراسية

2025 – 2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{ اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ }

صدق الله العظيم

سورة النور – الآية (35)

## فهرس المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	الرقم
1	المقدمة	1.1
3	طبيعة الضوء وانعكاسه وانكساره	1.2
5	قوانين الانعكاس	2.2.1
7	اهمية قوانين انعكاس الضوء	3.2.1
7	الانعكاس الكلي الداخلي	3.2.1
8	انكسار الضوء	4.2.1
10	قوانين الانكسار (قانون سنيل)	5.2.1
14	معامل الانكسار	3.1
14	تعريف معامل الانكسار	1.3.1
14	معامل الانكسار المطلق	2.3.1
17	السطوح الكروية	4.1
17	مفهوم السطح الكروي	1.4.1
18	هندسة السطوح الكروية	2.4.1
20	تكوين الصورة بالسطوح الكروية	3.4.1
20	العلاقة الرياضية للسطح الكروي	4.4.1
21	جدول الخصائص الكروية	5.4.1
21	اهمية السطوح الكروية	6.4.1
23	الفصل الثاني: العدسات	2
24	المقدمة	1.2
24	مفهوم العدسات وأنواعها	2.2
24	تعريف العدسات	1.2.2
26	العدسات الرقيقة	2.2.2
26	العدسات السمكية	3.2.2
26	العدسات اللامة والعدسات المفرفة	4.2.2
29	هندسة العدسات وتكوين الصورة	2.3
29	العناصر الهندسية للعدسات	1.3.2
31	تكوين الصورة في العدسات	2.3.2
31	الطريقة البيانية لتكوين الصورة	3.3.2
32	الصيغة الرياضية للعدسات (معادلة كاوس)	4.3.2
33	التكبير الخطي للعدسات	5.3.2
34	الفصل الثالث: استخدامات العدسات	3
35	المقدمة	1.3
35	التطبيقات الطبية للعدسات	2.3
36	التطبيقات العلمية للعدسات	3.3
37	التطبيقات التكنولوجية للعدسات	4.3
39	جدول يوضح اهم تطبيقات العدسات	5.3
39	اهمية العدسات	6.3
40	الاستنتاجات	
41	المصادر	

## الخلاصة:

يتناول هذا البحث دراسة العدسات من منظور فيزيائي علمي، مع التركيز على المبادئ الأساسية للبصريات التي تحكم سلوك الضوء، ولا سيما ظاهرتي الانعكاس والانكسار، ودورهما في تكوين الصور. تم في هذا البحث استعراض طبيعة الضوء والطيف الكهرومغناطيسي، وبيان خصائص الضوء الفيزيائية التي تُعد الأساس النظري لفهم عمل العدسات وتطبيقاتها المختلفة.

كما تطرق البحث إلى دراسة معامل الانكسار والسطوح الكروية، لما لهما من أهمية كبيرة في تفسير كيفية انكسار الأشعة الضوئية عند انتقالها بين الأوساط المختلفة، وتأثير ذلك في تجميع الضوء أو تفريقه. وتم توضيح مفهوم العدسات وأنواعها المختلفة، بما في ذلك العدسات اللامة والعدسات المفرقة، مع بيان خصائص كل نوع ودوره في تكوين الصور.

وشمل البحث أيضًا دراسة هندسة العدسات وآليات تكوين الصورة باستخدام الطرق البيانية والرياضية، مع توضيح الصيغة العامة للعدسات وقدرتها البصرية، لما لذلك من أهمية في التطبيقات العملية. كما تم تسليط الضوء على الاستخدامات المتعددة للعدسات في المجالات الطبية، مثل تصحيح عيوب الإبصار باستخدام النظارات الطبية والعدسات اللاصقة، إضافة إلى دور العدسات في الأجهزة البصرية كالمجاهر والتلسكوبات وآلات التصوير.

ويُظهر هذا البحث أن العدسات تُعد من الأدوات البصرية الأساسية التي لا غنى عنها في مختلف مجالات العلوم والتكنولوجيا الحديثة، إذ أسهم تطورها المستمر في تحسين دقة الرؤية، وتطوير وسائل البحث العلمي، وتعزيز التطبيقات التكنولوجية المتقدمة. ويؤكد البحث على أهمية دراسة العدسات من الناحية النظرية والتطبيقية لما لها من دور محوري في تطور علم البصريات وتطبيقاته المستقبلية.

## 1.1 المقدمة:

يُعد علم البصريات أحد الفروع الأساسية في علم الفيزياء، إذ يهتم بدراسة طبيعة الضوء وسلوكه وخصائصه المختلفة، وكذلك الظواهر الناتجة عن تفاعله مع المواد. وقد حظي الضوء باهتمام كبير منذ العصور القديمة لما له من دور محوري في تفسير ظاهرة الرؤية وتكوين الصور، إضافة إلى أهميته في العديد من التطبيقات العلمية والتكنولوجية. ويُعد فهم خصائص الضوء، مثل الانعكاس والانكسار والطيف الكهرومغناطيسي، أساسًا ضروريًا لدراسة الأجهزة البصرية المختلفة.

تُعد العدسات من أهم العناصر البصرية التي تعتمد في عملها على ظاهرة انكسار الضوء، إذ تُستخدم للتحكم في مسار الأشعة الضوئية من خلال تجميعها أو تفريقها، مما يؤدي إلى تكوين الصور بمواصفات مختلفة. وقد أسهم تطور العدسات عبر الزمن في إحداث نقلة نوعية في مجالات متعددة، مثل تصحيح عيوب الإبصار، والتصوير الفوتوغرافي، والبحث العلمي، والتكنولوجيا الحديثة. وتختلف العدسات في أشكالها وأنواعها وخصائصها البصرية تبعًا لطبيعة استخدامها والهدف من تصميمها.

يهدف هذا البحث إلى دراسة العدسات دراسة فيزيائية منهجية، تبدأ بتوضيح طبيعة الضوء والطيف الكهرومغناطيسي، ثم الانتقال إلى شرح ظاهرتي الانعكاس والانكسار ومعامل الانكسار والسطوح الكروية، باعتبارها الأساس النظري لفهم كيفية عمل العدسات. كما يتناول البحث تعريف العدسات وأنواعها المختلفة، وهندستها البصرية، وطرق تكوين الصور باستخدامها، سواء بالطرق البيانية أو الرياضية.

كما يسعى هذا البحث إلى تسليط الضوء على الاستخدامات العملية للعدسات في المجالات الطبية والتكنولوجية، مثل النظارات الطبية، والعدسات اللاصقة، والمجاهر، وآلات التصوير، والتلسكوبات الفلكية، لما لهذه التطبيقات من أهمية كبيرة في الحياة العلمية والعملية. ويأتي هذا البحث ليؤكد الدور الحيوي للعدسات في تطور علم البصريات، وأهميتها في دعم التقدم العلمي والتكنولوجي في العصر الحديث.

## الفصل الأول

# طبيعة الضوء والطيف الكهرومغناطيسي

## 2.1 طبيعة الضوء وانعكاسه وانكساره

يُعد الضوء من الظواهر الفيزيائية الأساسية التي حظيت باهتمام واسع في علم الفيزياء، لما له من دور محوري في تفسير ظاهرة الرؤية وتكوين الصور، إضافة إلى تطبيقاته المتعددة في المجالات العلمية والتكنولوجية. فالضوء هو شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، يمتلك خواص موجية وجسيمية في آن واحد، ويخضع لقوانين فيزيائية دقيقة تحكم سلوكه عند انتقاله في الأوساط المختلفة.

إن دراسة طبيعة الضوء تُعد الأساس النظري لفهم علم البصريات، إذ تعتمد معظم الأجهزة البصرية، ومنها العدسات، على سلوك الأشعة الضوئية عند تفاعلها مع الأسطح الفاصلة بين الأوساط المختلفة. ومن أهم هذه التفاعلات ظاهرتا الانعكاس والانكسار، اللتان تشكلان القاعدة الأساسية لتفسير كيفية توجيه الضوء والتحكم في مساره داخل الأنظمة البصرية المختلفة.

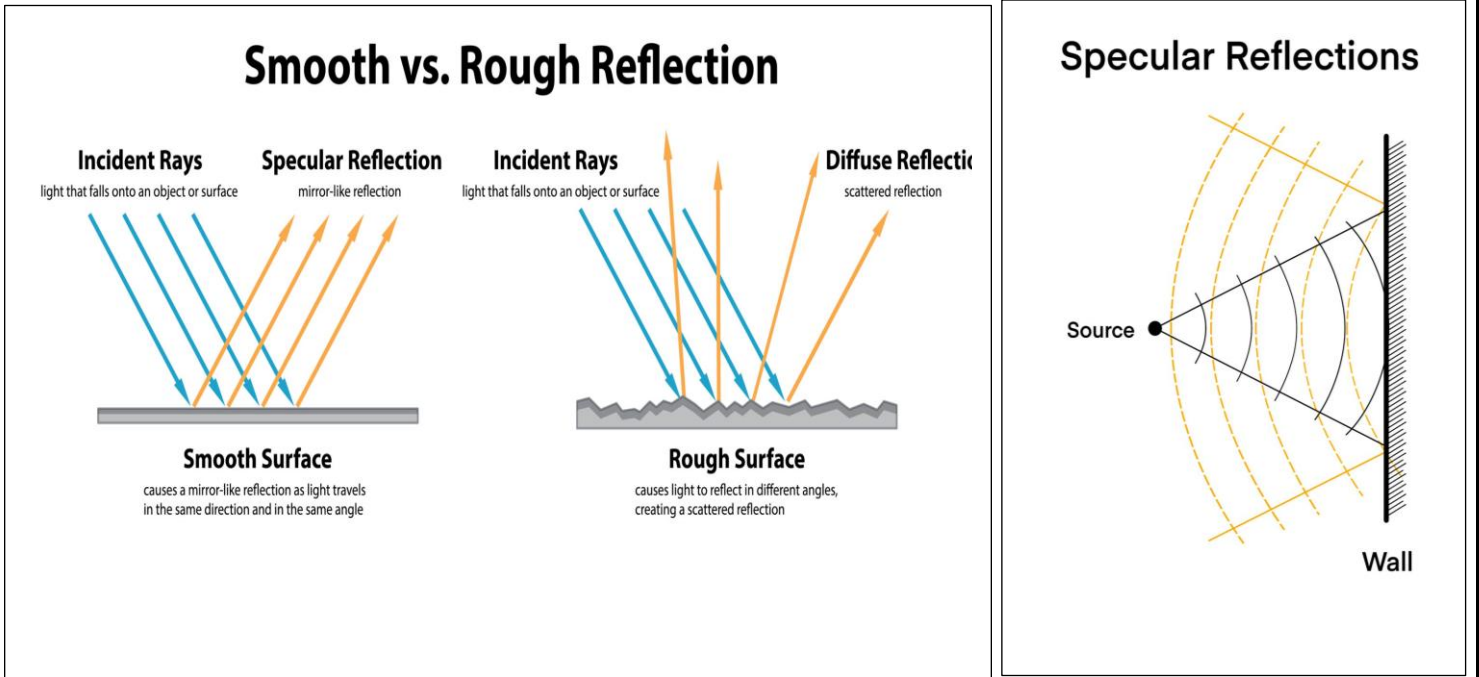
يهدف هذا الفصل إلى تسليط الضوء على طبيعة الضوء والطيف الكهرومغناطيسي، مع التركيز على الظواهر الفيزيائية المرتبطة به، مثل الانعكاس والانكسار ومعامل الانكسار والسطوح الكروية، تمهيداً لفهم مبدأ عمل العدسات في الفصول اللاحقة [1] [2].

يُعرّف انعكاس الضوء بأنه الظاهرة التي يرتد فيها الشعاع الضوئي إلى الوسط نفسه عند سقوطه على سطح فاصل بين وسطين مختلفين، دون أن ينفذ إلى الوسط الآخر. يحدث الانعكاس نتيجة تفاعل الموجة الضوئية مع السطح العاكس، ويعتمد شكل الانعكاس على طبيعة السطح من حيث النعومة أو الخشونة.

ينقسم انعكاس الضوء إلى نوعين رئيسيين:

1. **الانعكاس المنتظم (Specular Reflection):** يحدث عندما يسقط الضوء على سطح أملس ومستوي، مثل المرايا المصقولة، حيث تنعكس الأشعة الضوئية بشكل منتظم ومتوازٍ، مما يؤدي إلى تكوين صورة واضحة للجسم.

2. **الانعكاس غير المنتظم (Diffuse Reflection):** يحدث عندما يسقط الضوء على سطح خشن، فتنعكس الأشعة في اتجاهات متعددة نتيجة عدم انتظام السطح، مما يؤدي إلى عدم تكون صورة واضحة، رغم إمكانية رؤية الجسم [3].



الشكل (1-1): يوضح الانعكاس المنتظم على سطح أملس والانعكاس غير المنتظم على سطح خشن [3].

## 2.2.1 قوانين انعكاس الضوء

يخضع انعكاس الضوء لقانونين أساسيين، هما:

1. زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
2. الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

وتُعد هذه القوانين من المبادئ الأساسية في علم البصريات الهندسية، وتُستخدم في تفسير عمل المرايا والعديد من الأجهزة البصرية [4].

جدول (1-1): أنواع انعكاس الضوء

نوع الانعكاس	طبيعة السطح	اتجاه الأشعة المنعكسة	وضوح الصورة
انعكاس منتظم	أملس	متوازية	واضحة
انعكاس غير منتظم	خشن	غير منتظمة	غير واضحة

يخضع انعكاس الضوء إلى قوانين فيزيائية دقيقة تُعد من الركائز الأساسية في علم البصريات الهندسية، إذ تُستخدم هذه القوانين في تفسير سلوك الأشعة الضوئية عند سقوطها على الأسطح العاكسة، كما تُعد أساساً في تصميم المرايا والأجهزة البصرية المختلفة. وقد تم التوصل إلى هذه القوانين من خلال الدراسات التجريبية التي أظهرت أن سلوك الضوء عند الانعكاس يتبع نمطاً ثابتاً لا يعتمد على طبيعة الضوء نفسه، بل على طبيعة السطح العاكس وزاوية السقوط [5]

يعتمد انعكاس الضوء على قانونين أساسيين، هما:

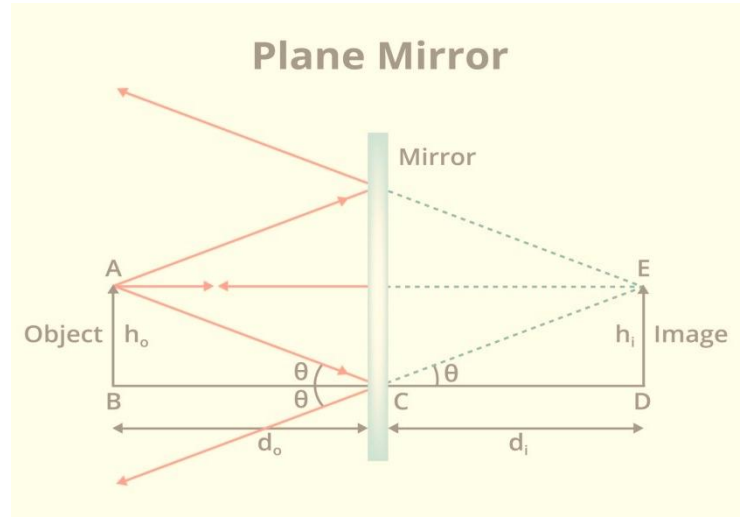
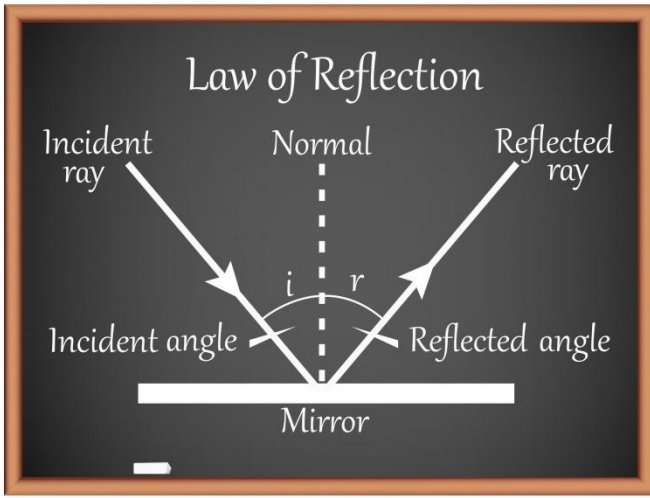
### 1. القانون الأول :

ينص على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس، على أن تُقاس كلتا الزاويتين بالنسبة إلى العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط.

### 2. القانون الثاني:

ينص على أن الشعاع الساقط، والشعاع المنعكس، والعمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط، تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

وتُطبَّق هذان القانونان على جميع أنواع الأسطح العاكسة، سواء كانت أسطحًا مستوية أو منحنية، كما يسريان على الانعكاس المنتظم وغير المنتظم، مع اختلاف توزيع الأشعة المنعكسة تبعًا لنعومة أو خشونة السطح [6]



الشكل (1-2): يوضح قانوني انعكاس الضوء على سطح مرآة مستوية، حيث تمثل  $i$  زاوية السقوط و  $r$  زاوية الانعكاس.

### 3.2.1 أهمية قوانين انعكاس الضوء:

تُعد قوانين انعكاس الضوء ذات أهمية كبيرة في التطبيقات العلمية والعملية، إذ تُستخدم في تفسير تكون الصور في المرايا المستوية والكروية، وتحليل مسارات الأشعة الضوئية في الأجهزة البصرية، وتصميم الأنظمة البصرية مثل التلسكوبات والمناظير، وأيضًا في تطبيقات الليزر وأجهزة القياس الضوئي الحديثة.

جدول (1-2): خصائص انعكاس الضوء

الوصف	الخاصية
الزاوية بين الشعاع الساقط والعمود المقام	زاوية السقوط
الزاوية بين الشعاع المنعكس والعمود المقام	زاوية الانعكاس
زاوية السقوط = زاوية الانعكاس	العلاقة بين الزاويتين
المرايا والأجهزة البصرية	مجال التطبيق

### 3.2.1 الانعكاس الكلي الداخلي

يُعرّف **الانعكاس الكلي الداخلي** بأنه الظاهرة التي ينعكس فيها الشعاع الضوئي انعكاسًا كاملاً إلى داخل الوسط نفسه عند سقوطه على السطح الفاصل بين وسطين شفافين، وذلك عندما ينتقل الضوء من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط ذي معامل انكسار أصغر، وتكون زاوية السقوط أكبر من قيمة معيّنة تُسمى **الزاوية الحرجة**. في هذه الحالة لا يحدث انكسار للضوء إلى الوسط الثاني، بل ينعكس الضوء كليًا داخل الوسط الأول [7].

تُعد هذه الظاهرة من الظواهر البصرية المهمة، إذ تمثل أساسًا نظريًا وتطبيقيًا لعدد كبير من التقنيات الحديثة، ولا سيما في مجال الاتصالات الضوئية. لكي يحدث **الانعكاس الكلي الداخلي**، يجب توفر شرطين أساسيين:

1. أن ينتقل الضوء من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط ذي معامل انكسار أصغر مثل انتقاله من الزجاج إلى الهواء.

2. أن تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة لذلك السطح الفاصل.

وعند تحقق هذين الشرطين، ينعكس الشعاع الضوئي انعكاسًا تامًا دون أن ينفذ إلى الوسط الثاني [8].

### الزاوية الحرجة:

تُعرّف الزاوية الحرجة بأنها زاوية السقوط في الوسط الذي يمتلك معامل انكسار أكبر، حيث تكون

زاوية الانكسار عندها مساوية لـ  $90^\circ$ .

يمكن حساب الزاوية الحرجة باستخدام العلاقة التالية

$$\frac{2n}{1n} = \sin(\theta_c) \dots\dots\dots(1.1)$$

حيث:

•  $\theta$  : الزاوية الحرجة.

•  $1n$  : معامل انكسار الوسط الأكبر.

### 4.2.1 انكسار الضوء

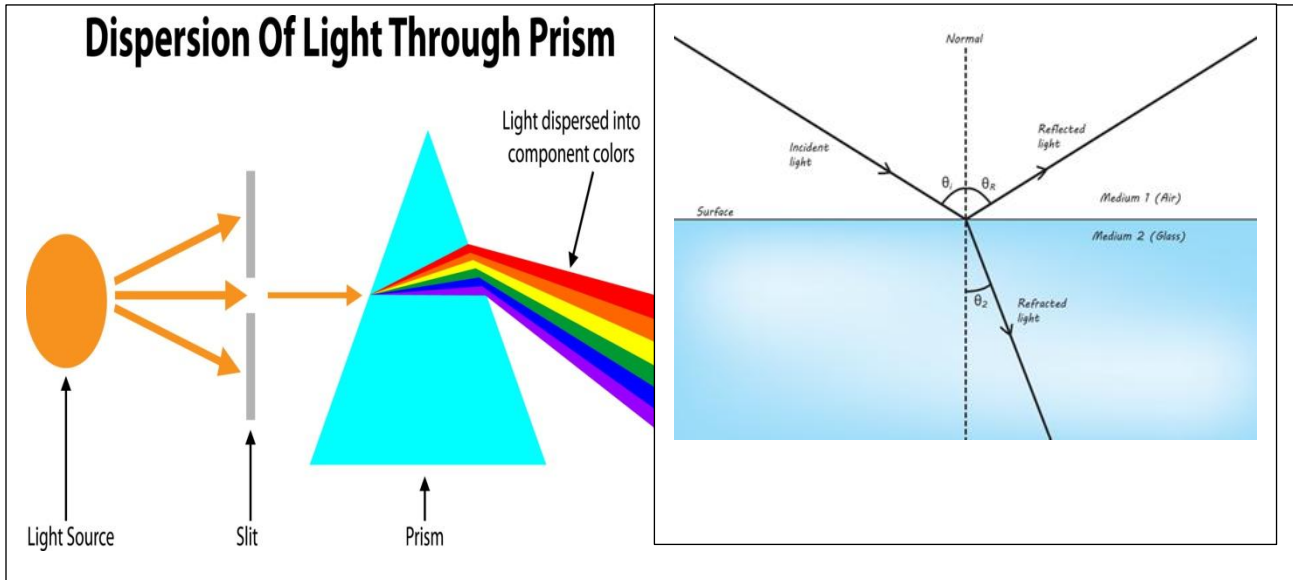
يُعرّف انكسار الضوء بأنه الظاهرة الفيزيائية التي يحدث فيها تغيير في اتجاه مسار الشعاع الضوئي عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر يختلف عنه في معامل الانكسار. ويعود هذا التغيير في الاتجاه إلى اختلاف سرعة انتشار الضوء في الأوساط المختلفة، إذ إن سرعة الضوء لا تكون ثابتة إلا في الفراغ، بينما تتغير عند مروره في المواد الشفافة المختلفة [9].

فعندما ينتقل الضوء من وسط ذي معامل انكسار أقل، مثل الهواء، إلى وسط ذي معامل انكسار أكبر، مثل الزجاج أو الماء، تقل سرعته وينكسر مقتربًا من العمود المقام على السطح الفاصل. أما إذا انتقل

الضوء من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط أقل، فإن سرعته تزداد وينكسر مبتعدًا عن العمود المقام. ويعتمد مقدار هذا الانحراف على زاوية السقوط وعلى طبيعة الوسطين الشفافين [10].

وتُعد ظاهرة انكسار الضوء من الظواهر الأساسية في علم البصريات الهندسية، إذ تقوم عليها معظم التطبيقات البصرية، ولا سيما العدسات والمنشورات الزجاجية. فالعدسات تعتمد اعتمادًا مباشرًا على انكسار الأشعة الضوئية عند السطوح الفاصلة بين الهواء ومادة العدسة، مما يؤدي إلى تجميع الأشعة أو تفريقها وتكوين الصور بمواصفات مختلفة [9]

ويجدر بالذكر أن معامل الانكسار لا يعتمد فقط على طبيعة الوسطين، بل يتأثر أيضًا بالطول الموجي للضوء الساقط، إذ تختلف قيمته باختلاف لون الضوء. ويؤدي ذلك إلى اختلاف زاوية انكسار الألوان المختلفة، وهي الظاهرة المعروفة باسم **التشتت الضوئي**، والتي تُفسّر تحلل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف عند مروره عبر المنشورات الزجاجية [10-11].



الشكل (4-1) يوضح انكسار الضوء عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، مع الإشارة إلى ظاهرة التشتت الضوئي عند اختلاف الطول الموجي [11]

يتأثر انكسار الضوء بعدة عوامل رئيسية، من أهمها:

1. معامل انكسار الوسيطين.
2. زاوية السقوط.
3. طبيعة الوسيطين الشفافين.
4. الطول الموجي للضوء الساقط.

جدول (4-1): سلوك الضوء عند الانتقال بين الأوساط

الوسط الأول	الوسط الثاني	سلوك الشعاع الضوئي
الهواء	الزجاج	ينكسر مقترباً من العمود
الهواء	الماء	ينكسر مقترباً من العمود
الزجاج	الهواء	ينكسر مبتعداً عن العمود
الماء	الهواء	ينكسر مبتعداً عن العمود

### 5.2.1 قوانين انكسار الضوء (قانون سنيل)

يخضع انكسار الضوء إلى مجموعة من القوانين الفيزيائية الدقيقة التي تُعرف باسم **قوانين انكسار الضوء** أو **قانون سنيل**، والتي تُعد من القوانين الأساسية في علم البصريات الهندسية. وتُستخدم هذه القوانين لتحديد العلاقة بين زاويتي السقوط والانكسار عند انتقال الضوء بين وسطين شفافين مختلفين في معامل الانكسار، كما تُشكّل الأساس النظري لتحليل عمل العدسات والمنشورات والأجهزة البصرية المختلفة [12].

## قانونا انكسار الضوء:

### 1. القانون الأول:

ينص هذا القانون على أن الشعاع الساقط، الشعاع المنكسر، و العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين عند نقطة السقوط، جميعها تقع في مستوى واحد. هذا يعني أنه إذا رسمنا شعاع الضوء الذي يسقط على سطح من وسط لآخر، والشعاع المنكسر الذي ينكسر عند السطح، والعمود المقام على السطح عند نقطة السقوط، فإن هذه العناصر الثلاثة ستكون في نفس المستوى.

## 2. القانون الثاني (قانون سنيل)

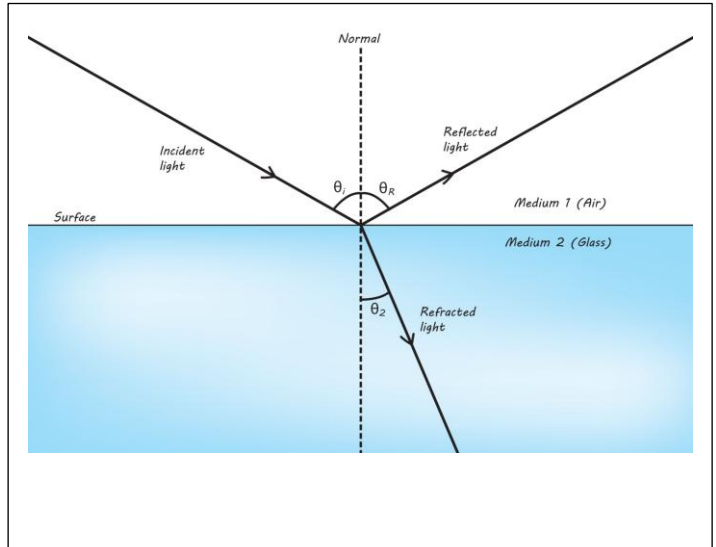
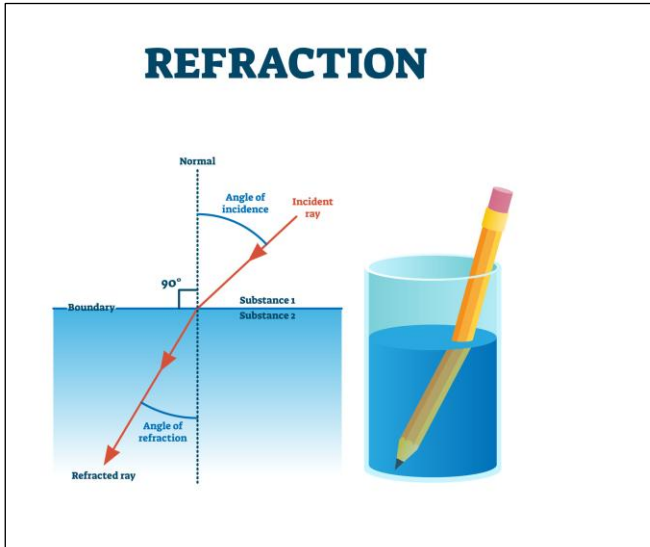
ينص هذا القانون على أن النسبة بين جيب زاوية السقوط إلى جيب زاوية الانكسار ثابتة وتعتمد على طبيعة الوسطين، وتُعرف هذه النسبة بـ معامل الانكسار النسبي بين الوسطين.

يُعبّر عن قانون سنيل رياضياً بالعلاقة التالية...

$$n_2 \sin(\theta_2) = n_1 \sin(\theta_1) \dots\dots\dots(1.2)$$

حيث:

- $n_1$  هو معامل انكسار الوسط الأول.
- $n_2$  هو معامل انكسار الوسط الثاني.
- $\theta_1$  هي زاوية السقوط.
- $\theta_2$  هي زاوية الانكسار.



الشكل 1-5: يوضح العلاقة بين زاويتي السقوط والانكسار عند السطح الفاصل بين وسطين شفافين وفق قانون سنيل. [12]

يُعرّف معامل الانكسار النسبي بين وسطين شفافين بأنه نسبة سرعة الضوء في الوسط الأول إلى سرعته في الوسط الثاني. ويُعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$1.3 \dots\dots\dots \frac{1v}{2v} = n_2$$

حيث:

- $n_2$  هو معامل الانكسار النسبي بين الوسطين.
- $1v$  هو سرعة الضوء في الوسط الأول.
- $2v$  هو سرعة الضوء في الوسط الثاني.

كما يمكن التعبير عن معامل الانكسار النسبي باستخدام زوايا السقوط والانكسار وفق قانون سنيل، على النحو التالي:

$$1.4 \dots\dots\dots n_2 \sin(\theta_2) = n_1 \sin(\theta_1)$$

ويُعد معامل الانكسار من الكميات الفيزيائية المهمة التي تحدد مقدار انحراف الشعاع الضوئي عند انتقاله بين الأوساط المختلفة [13].

أهمية قوانين انكسار الضوء تُستخدم قوانين انكسار الضوء في العديد من التطبيقات العلمية والعملية، مثل تحليل مسار الأشعة داخل العدسات الرقيقة والسميكة، وتصميم الأنظمة البصرية مثل المجاهر والتلسكوبات، بالإضافة إلى تفسير ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي، وكذلك في التطبيقات الطبية والتكنولوجية المعتمدة على الضوء. بدون عنوان اكتبها بشكل انشائي

#### جدول (5-1): قيم تقريبية لمعامل الانكسار لبعض المواد الشفافة

المادة	الهواء	الماء	الزجاج	الكوارتز	الماس
معامل الانكسار	1.0003	1.33	1.5 – 1.7	1.46	2.42

تعتمد العدسات في عملها بصورة مباشرة على قانون سنيل، إذ يحدث انكسار الأشعة الضوئية عند السطحين الفاصلين بين الهواء ومادة العدسة. ويؤدي هذا الانكسار المتكرر إلى تغيير مسار الأشعة الضوئية بطريقة منتظمة، مما يسمح بتجميع الضوء في نقطة بؤرية واحدة أو تفريقه، وبالتالي تكوين الصور. ويُعد فهم قوانين انكسار الضوء خطوة أساسية لفهم هندسة العدسات وخواصها البصرية، وهو ما سيتم تناوله تفصيليًا في الفصل الثاني [12].

### 3.1 معامل الانكسار

#### 1.3.1. تعريف معامل الانكسار

يُعرّف معامل الانكسار لمادة شفافة بأنه مقياس لمدى إبطاء المادة لانتشار الضوء مقارنةً بسرعة انتشاره في الفراغ. ويُعبّر عنه رياضياً بنسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط المادي. ويُعد معامل الانكسار من أهم الثوابت البصرية للمواد، إذ يحدد مقدار انحراف الشعاع الضوئي عند انتقاله بين الأوساط المختلفة، كما يدخل مباشرةً في تفسير ظواهر الانكسار، والانعكاس الكلي الداخلي، وتكوين الصور في العدسات [14].

ويُلاحظ أن قيمة معامل الانكسار تعتمد على طبيعة المادة، والطول الموجي للضوء، ودرجة الحرارة، الأمر الذي يجعلها كمية أساسية في تصميم الأنظمة البصرية وتحليل أدائها.

#### 2.3.1. معامل الانكسار المطلق

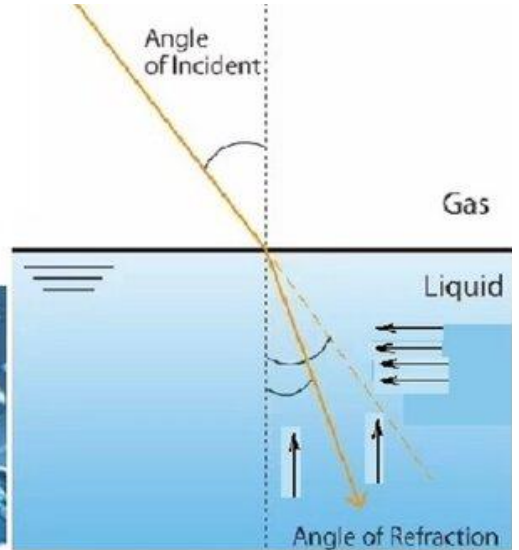
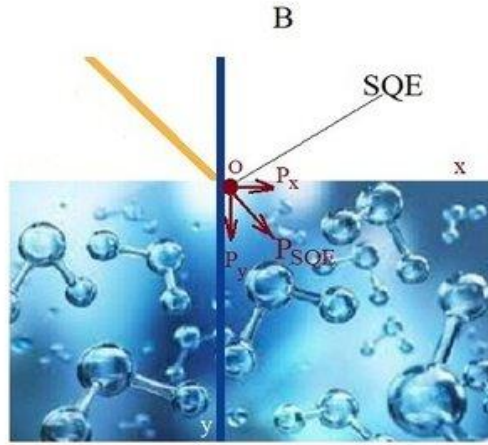
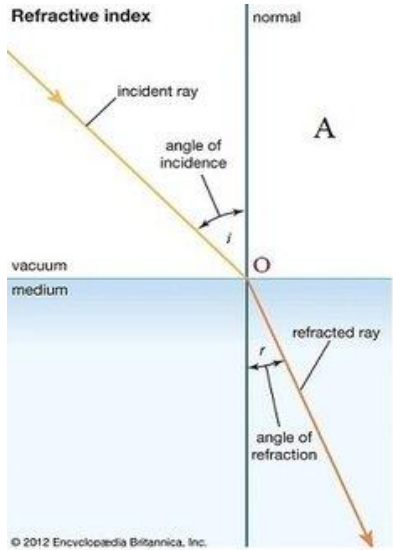
C : سرعة معامل الانكسار المطلق هو مقياس يعبر عن مدى تأثير المادة على سرعة انتشار الضوء فيها مقارنةً بسرعه في الفراغ. يُعرّف معامل الانكسار المطلق لمادة شفافة بالعلاقة التالية :

$$\frac{c}{v} = r \dots\dots\dots (1.5)$$

حيث:

- c هو سرعة الضوء في الفراغ.
- v هو سرعة الضوء في المادة.

وبما أن سرعة الضوء في المواد الشفافة أقل من سرعته في الفراغ، فإن معامل الانكسار المطلق يكون دائماً أكبر من الواحد الصحيح. تزداد قيمة معامل الانكسار بازدياد الكثافة الضوئية للمادة، مما يؤدي إلى زيادة انحراف الشعاع الضوئي عند دخول الضوء إلى هذه المادة. يعتبر معامل الانكسار المطلق ذا دور كبير في العديد من التطبيقات العلمية والتكنولوجية، مثل تصميم العدسات و الألياف الضوئية، حيث يساعد في تحديد كيفية انكسار الضوء داخل الأوساط المختلفة [15].



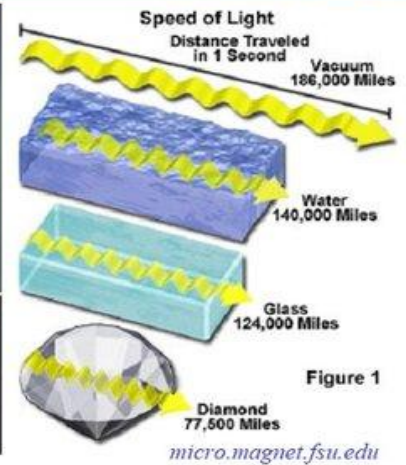
Speed of light in a medium,  $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$

Speed of light in a vacuum,  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$

Refractive index,  $n = \frac{\sqrt{\mu\epsilon}}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \sqrt{\mu_r\epsilon_r}$

Quora

medium	speed of wave through medium (m/s)	
	sound	light
vacuum	n/a	300,000,000
air	340	300,000,000
glass	4,500	200,000,000
water	1,500	225,000,000
steel	5,100	n/a



Learning by Questions

الشكل (1-2): مقارنة سرعة الضوء في الفراغ وبعض الأوساط الشفافة، موضحة مفهوم معامل الانكسار المطلق [15].

### 3.3.1. معامل الانكسار النسبي

يُعرّف معامل الانكسار النسبي بين وسطين شفافين بأنه نسبة سرعة الضوء في الوسط الأول إلى سرعته في الوسط الثاني، ويُعطى بالعلاقة :

$$\frac{2n}{1n} = \frac{1v}{2v} = 21n \dots\dots\dots (1.6)$$

كما يمكن إيجاده مباشرةً من قانون سنيل باستخدام العلاقة:

$$\frac{1\sin \theta}{2\sin \theta} = 21n \dots\dots\dots (1.7)$$

ويُستخدم معامل الانكسار النسبي على نطاق واسع في دراسة انتقال الضوء بين الأوساط المختلفة، مثل الهواء والزجاج أو الماء، وكذلك في تحليل مسارات الأشعة داخل العدسات والمنشورات [16].

### 4.3.1 العوامل المؤثرة في معامل الانكسار

يتأثر معامل الانكسار بعدة عوامل رئيسية، من أهمها:

1. طبيعة المادة: تختلف قيمة معامل الانكسار من مادة إلى أخرى.
2. الطول الموجي للضوء: يتغير معامل الانكسار بتغير لون الضوء (التشتت).
3. درجة الحرارة: تؤدي زيادة درجة الحرارة غالباً إلى نقصان طفيف في معامل الانكسار.
4. الضغط في الغازات: (يزداد معامل الانكسار بازدياد الضغط) .

### 5.3.1 أهمية معامل الانكسار في التطبيقات البصرية

معامل الانكسار يُعد من الكميات الفيزيائية الجوهرية التي تُستخدم في مجموعة واسعة من التطبيقات العلمية والتكنولوجية. من أبرز استخداماته:

1. تصميم العدسات وتحديد أبعادها البؤرية بدقة، حيث يسهم في التحكم في مسار الضوء وتوجيهه داخل الأنظمة البصرية.
2. حساب الزاوية الحرجة وتفسير ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي، وهي من الظواهر الأساسية في نقل الضوء عبر الأوساط المختلفة.
3. اختيار المواد المناسبة لصناعة العدسات والمنشورات، مما يعزز قدرة العدسات على التحكم في انكسار الضوء، وبالتالي تحسين أداء الأجهزة البصرية.
4. تحسين أداء الأجهزة البصرية مثل المجاهر والتلسكوبات، التي تعتمد على معامل الانكسار لضمان وضوح الصور ودقتها.
5. التطبيقات الطبية والتكنولوجية المعتمدة على الضوء، مثل تقنيات التصوير الطبي والأدوات الجراحية البصرية، حيث يسهم معامل الانكسار في تحسين فعالية العلاج والتشخيص.

إن الفهم العميق والدقيق لمعامل الانكسار يُعد أمرًا حيويًا لفهم سلوك الضوء في المواد المختلفة. هذا الفهم يتيح الانتقال إلى دراسة هندسة العدسات و تكوين الصور، حيث تُبنى معادلات العدسات وتعتمد على أساسيات المعاملات البصرية المترابطة. وبالتالي، يشكل هذا الموضوع نقطة انطلاق أساسية في فهم ديناميكيات الأنظمة البصرية التي تُستخدم في الأبحاث والتطبيقات المتقدمة [14] [15].

### 4.1 السطوح الكروية

#### 1.4.1 مفهوم السطوح الكروية

يُقصد بـ السطوح الكروية الأسطح التي تكون جزءًا من سطح كرة، وتُعد من أكثر الأسطح استخدامًا في علم البصريات، ولا سيما في تصنيع العدسات والمرايا الكروية. ويُعزى ذلك إلى سهولة

تشكيل هذه الأسطح عملياً مقارنةً بالأسطح الأخرى، إضافةً إلى خصائصها البصرية التي تسمح بالتحكم في مسار الأشعة الضوئية وتكوين الصور [17].

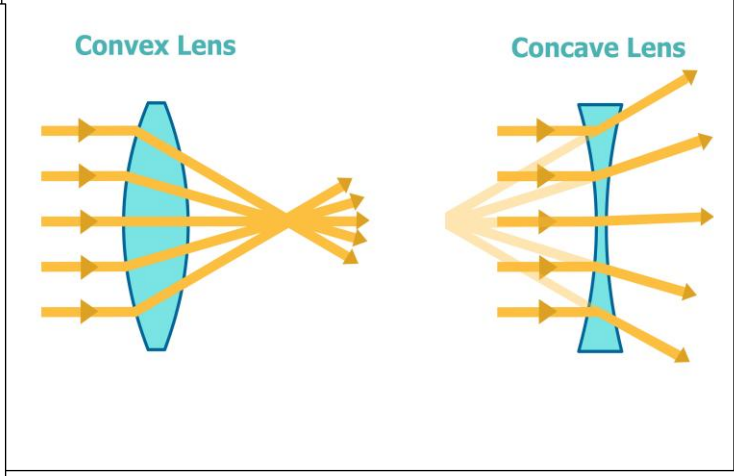
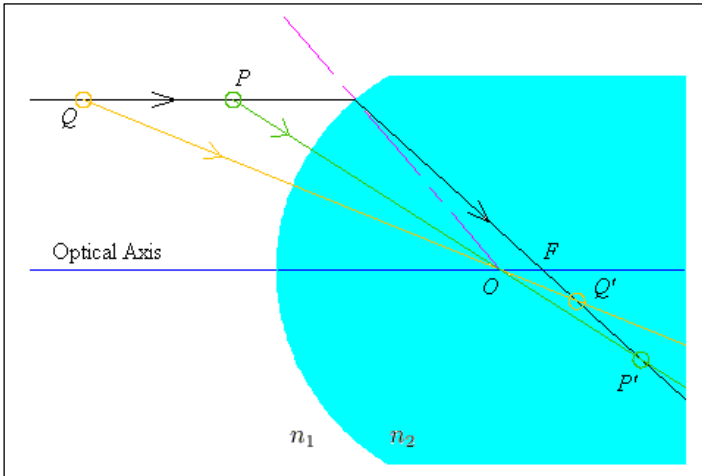
وتنقسم السطوح الكروية من حيث الشكل إلى نوعين رئيسيين:

- **سطح كروي محدب:** يكون مركز تكوره خارج الوسط الذي ينتشر فيه الضوء.
- **سطح كروي مقعر:** يكون مركز تكوره داخل الوسط الذي ينتشر فيه الضوء.

#### 2.4.1 العناصر الهندسية للسطح الكروي

لكل سطح كروي مجموعة من العناصر الهندسية الأساسية التي تُستخدم في التحليل البصري، ومن أهمها:

1. **مركز التكور: (C)**  
هو مركز الكرة التي يُعد السطح الكروي جزءاً منها.
2. **نصف قطر التكور: (R)**  
هو المسافة بين مركز التكور وأي نقطة على السطح الكروي.
3. **القطب: (P)**  
هو النقطة التي يقطع عندها المحور البصري السطح الكروي.
4. **المحور البصري الرئيسي:**  
هو الخط المستقيم المار بالقطب ومركز التكور، ويُعد مرجعاً لقياس المسافات والزوايا.



الشكل (1-3): يوضح العناصر الهندسية للسطح الكروي، بما في ذلك القطب، مركز التكور، ونصف قطر التكور [17].

### 3.4.1 تكوين الصورة بالسطوح الكروية

عند سقوط الأشعة الضوئية على سطح كروي فاصل بين وسطين شفافين مختلفين في معامل الانكسار، فإن هذه الأشعة تنكسر وفقاً لقانون سنيل، مما يؤدي إلى انحرافها عن مسارها الأصلي وتجمعها أو تفرقتها تبعاً لشكل السطح الكروي.

يعتمد تكوين الصورة بالسطوح الكروية على:

- شكل السطح (محدب أو مقعر).
- معامل انكسار الوسيطين.
- موضع الجسم بالنسبة إلى السطح الكروي.
- نصف قطر التكور.

وقد تكون الصورة المتكوّنة:

- حقيقية إذا التقت الأشعة فعلياً.
- خيالية إذا بدا امتداد الأشعة وكأنه يلتقي في نقطة معينة [18].

### 4.4.1 العلاقة الرياضية للسطح الكروي

يُعطى الارتباط بين بعد الجسم وبعد الصورة ونصف قطر التكور في السطح الكروي بالعلاقة التقريبية الآتية:

$$\frac{n_2 - n}{R} = \frac{n}{u} - \frac{n}{v} \dots\dots\dots (1.7)$$

حيث:

- $n_1$  : معامل انكسار الوسط الأول
- $n_2$  : معامل انكسار الوسط الثاني
- $u$  : بعد الجسم عن القطب
- $v$  : بعد الصورة عن القطب
- $R$  : نصف قطر التكور

وتُعد هذه العلاقة أساسًا مهمًا في اشتقاق معادلات العدسات الرقيقة لاحقًا [19]

#### 5.4.1 جدول يوضح خصائص السطوح الكروية

جدول (3-1): مقارنة بين السطح الكروي المحدب والمقعّر

الخاصية	سطح كروي محدب	سطح كروي مقعّر
شكل السطح	بارز للخارج	غائر للداخل
تأثيره على الأشعة	يفرق الأشعة	يجمع الأشعة
نوع الصورة	غالبًا خيالية	قد تكون حقيقية أو خيالية
الاستخدام	عدسات مفرقة	عدسات لامة

#### 6.4.1 أهمية السطوح الكروية في البصريات

تُعد السطوح الكروية عنصرًا أساسيًا في تصميم الأنظمة البصرية، حيث تُستخدم بشكل رئيسي في العديد من التطبيقات البصرية المتقدمة. تُعتبر السطوح الكروية المكون الأساسي في صناعة العدسات الرقيقة والسميكة، وذلك بفضل قدرتها على التحكم في انكسار الضوء بشكل دقيق وفقًا للمعايير الهندسية المحددة. كما أن السطوح الكروية تُستخدم في تكوين الصور في الأجهزة البصرية المختلفة مثل المجاهر والتلسكوبات، حيث تساعد في توجيه الأشعة الضوئية بشكل محوري لتحقيق تكبير دقيق.

علاوة على ذلك، تُعد السطوح الكروية أداة حيوية في اشتقاق المعادلات الأساسية للعدسات التي تُستخدم في البصريات الهندسية، وهو ما يُسهم بشكل كبير في تحسين تصميم العدسات وتحقيق أداء عالي في التطبيقات المختلفة. كما تجد السطوح الكروية أيضاً تطبيقات عملية في المجالات الطبية والتكنولوجية، مثل تصنيع العدسات الطبية المستخدمة في تصحيح عيوب الإبصار، وكذلك في الأجهزة البصرية المستخدمة في التقنيات الحديثة مثل التصوير الطبي وأجهزة الليزر.

يمثل هذا المبحث حلقة وصل هامة بين المبادئ الأساسية لانكسار الضوء ودراسة العدسات في الفصل الثاني، حيث تُبنى معظم معادلات العدسات على تحليل السطوح الكروية. وبالتالي، تشكل هذه السطوح قاعدة أساسية لفهم كيفية انكسار الضوء داخل العدسات، مما يسهم في تحقيق أفضل النتائج البصرية في مختلف الأنظمة البصرية [17][18].

## الفصل الثاني

### العدسات

## 1.2 المقدمة

تُعد العدسات من أهم العناصر البصرية في علم الفيزياء، إذ تعتمد في عملها على ظاهرة انكسار الضوء عند السطوح الفاصلة بين الأوساط المختلفة. وقد أسهم تطور العدسات عبر الزمن في إحداث نقلة نوعية في مجالات متعددة، مثل تصحيح عيوب الإبصار، والتصوير الفوتوغرافي، والبحث العلمي، والتكنولوجيا الحديثة. ويعتمد فهم مبدأ عمل العدسات بصورة مباشرة على المبادئ التي تم تناولها في الفصل الأول، ولا سيما قوانين انكسار الضوء ومعامل الانكسار والسطوح الكروية.

يهدف هذا الفصل إلى دراسة العدسات من حيث مفهومها وأنواعها، ثم الانتقال إلى تحليل هندستها البصرية وطرق تكوين الصور باستخدامها، تمهيداً لفهم تطبيقاتها العملية في المجالات المختلفة [20].

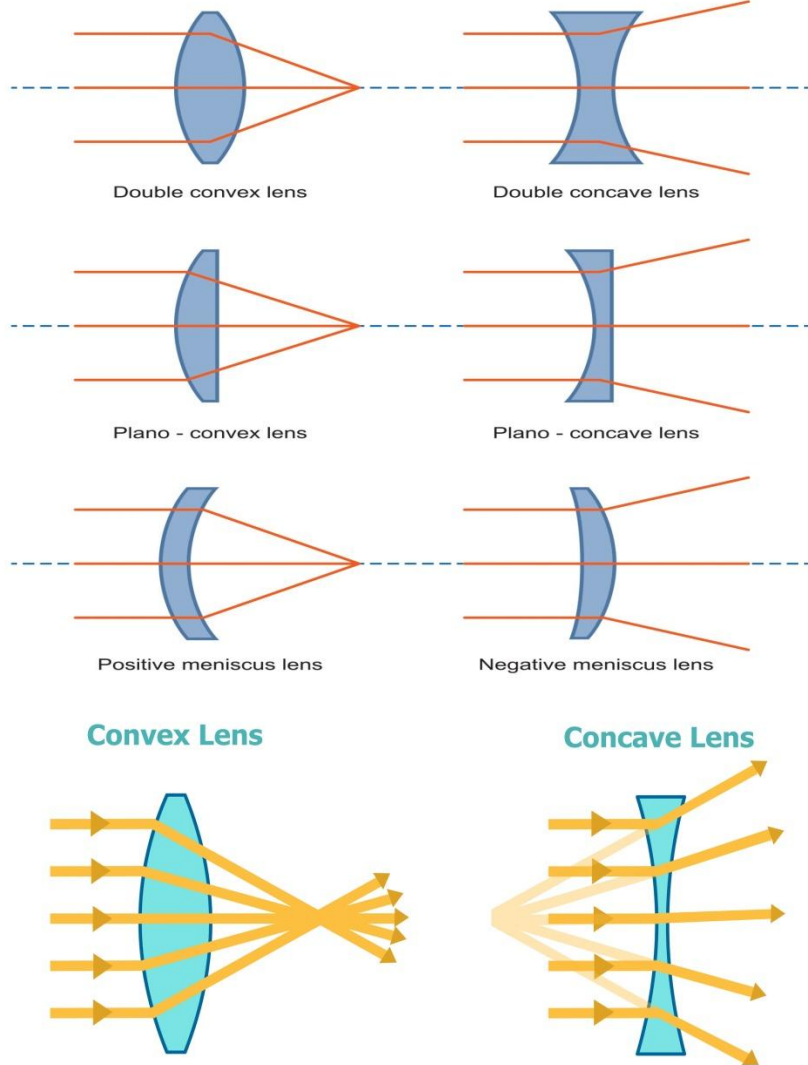
### 2.2 مفهوم العدسات وأنواعها

العدسات هي عناصر بصرية شفافة تستخدم للتحكم في مسار الأشعة الضوئية من خلال انكسارها. تنقسم العدسات إلى نوعين رئيسيين: **العدسات اللامعة (المحدبة)** (التي تعمل على تجميع الأشعة في نقطة بؤرية واحدة، و **العدسات المفرفة (المقعرة)** (التي تفرق الأشعة وتبدو وكأنها صادرة من نقطة وهمية. كما تُصنف العدسات إلى **رقيقة** و **سميكة** بناءً على سمكها، حيث يتم تجاهل سمك العدسة في العدسات الرقيقة. تستخدم العدسات في العديد من التطبيقات مثل تصحيح الإبصار، والكاميرات، والمجاهر، والتلسكوبات.

### 1.2.2 تعريف العدسات:

العدسة هي عنصر بصري يتكوّن من مادة شفافة، يحدّها سطحان كاسران للضوء على الأقل، أحدهما أو كلاهما كروي الشكل، وتعمل على **تجميع الأشعة الضوئية** أو **تفريقها** اعتماداً على شكلها الهندسي ومعامل انكسار مادتها. وتُستخدم العدسات للتحكم في مسار الضوء بهدف تكوين الصور في الأجهزة البصرية المختلفة [21].

وتعتمد العدسات في عملها على انكسار الضوء عند السطحين الفاصلين بين الهواء ومادة العدسة، مما يؤدي إلى تغيير اتجاه الأشعة الضوئية وفق قوانين سنيل.



الشكل 1-2: يوضح مبدأ انكسار الأشعة الضوئية عند مرورها خلال عدسة [21]

## 2.2.2 العدسات الرقيقة

تُعرّف العدسات الرقيقة بأنها العدسات التي يكون سمكها صغيراً جداً مقارنةً بنصف قطر تكورها وبعدها البؤري، بحيث يمكن إهمال سمكها في التحليل البصري. ويُستخدم هذا النوع من العدسات على نطاق واسع في الدراسة النظرية، نظراً لبساطة معادلاتها وسهولة تحليلها [22].

وتُعد معظم العدسات المستخدمة في التطبيقات العملية عدسات رقيقة تقريباً، مثل العدسات الطبية وعدسات الكاميرات.

## 3.2.2 العدسات السميكة

العدسات السميكة هي العدسات التي لا يمكن إهمال سمكها مقارنةً ببقية أبعادها البصرية، ويستلزم تحليلها أخذ تأثير كل سطح من سطحي العدسة بصورة مستقلة. ويُستخدم هذا النوع من العدسات في التطبيقات التي تتطلب دقة بصرية عالية، مثل الأنظمة البصرية المتقدمة والمجاهر عالية القدرة [21].

## 4.2.2 العدسات اللامة والعدسات المفرقة

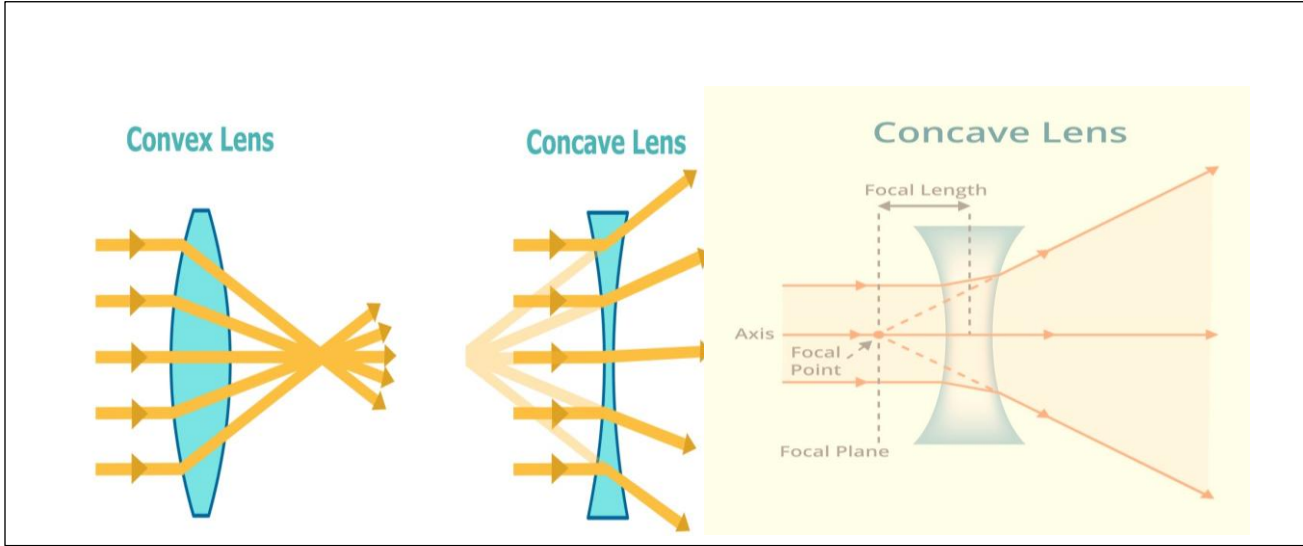
تنقسم العدسات، من حيث تأثيرها على الأشعة الضوئية، إلى نوعين رئيسيين:

### أولاً: العدسات اللامة (المحدبة)

هي العدسات التي تعمل على تجميع الأشعة الضوئية الساقطة عليها والمتوازية مع المحور البصري في نقطة تُسمى البؤرة. ويكون سمك العدسة اللامة أكبر عند المركز منه عند الحواف.

### ثانياً: العدسات المفرقة (المقعرة)

هي العدسات التي تعمل على تفريق الأشعة الضوئية الساقطة عليها، بحيث تبدو وكأنها صادرة من بؤرة وهمية. ويكون سمك العدسة المفرقة أقل عند المركز وأكبر عند الحواف [23].



لشكل (2-2): يوضح سلوك الأشعة الضوئية في العدسة اللامة والعدسة المفرقة. [22]

5.2.2: جدول يوضح أنواع العدسات

جدول (1-2): مقارنة بين العدسات اللامة والمفرقة

الخاصية	العدسة اللامة	العدسة المفرقة
شكل العدسة	محدبة	مقعرة
تأثيرها على الأشعة	تجمع الأشعة	تفرق الأشعة
نوع البؤرة	حقيقية	وهمية
الاستخدام	تصحيح طول النظر	تصحيح قصر النظر

6.2.2: تطبيقات العدسات: تُعد العدسات من العناصر الأساسية في الأنظمة البصرية، حيث تُستخدم في مجموعة واسعة من التطبيقات العلمية والتكنولوجية التي تؤثر بشكل كبير في العديد من المجالات. من أبرز هذه التطبيقات:

1. **تصحيح عيوب الإبصار:** تستخدم العدسات في النظارات الطبية لتحسين الرؤية لدى الأشخاص الذين يعانون من مشاكل في الإبصار، مثل قصر النظر و طول النظر.
2. **تكوين الصور:** تُستخدم العدسات في الكاميرات وآلات التصوير لتكوين صور دقيقة وواضحة، وذلك من خلال توجيه الضوء وتحديد تركيز الصورة.
3. **تكبير الأجسام:** تعتمد المجاهر على العدسات لتكبير الأجسام الدقيقة غير المرئية بالعين المجردة، مما يسهل دراستها.
4. **دراسة الأجرام السماوية:** تستخدم التلسكوبات العدسات لتجميع الضوء من الأجرام السماوية البعيدة، مما يسمح بدراستها بشكل أكثر تفصيلاً.
5. **التطبيقات الطبية والتكنولوجية الحديثة:** تدخل العدسات في العديد من التطبيقات الطبية مثل أجهزة الليزر و التصوير الطبي، إضافة إلى استخدامها في التقنيات الحديثة مثل التصوير الرقمي.

ويشكل هذا المبحث الأساس النظري لفهم هندسة العدسات و تكوين الصور، مما يعزز الفهم العميق لعمل العدسات في التطبيقات المتقدمة. هذا الفهم يُعد للانتقال إلى دراسة الهندسة البصرية في المبحث الثاني من هذا الفصل [20-21]

## 3.2 هندسة العدسات وتكوين الصورة

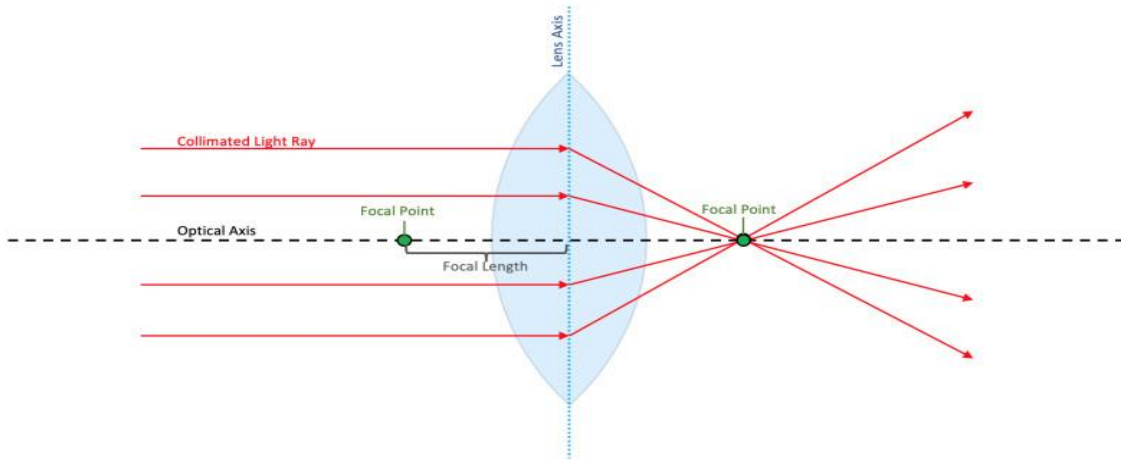
### 1.3.2 العناصر الهندسية للعدسة

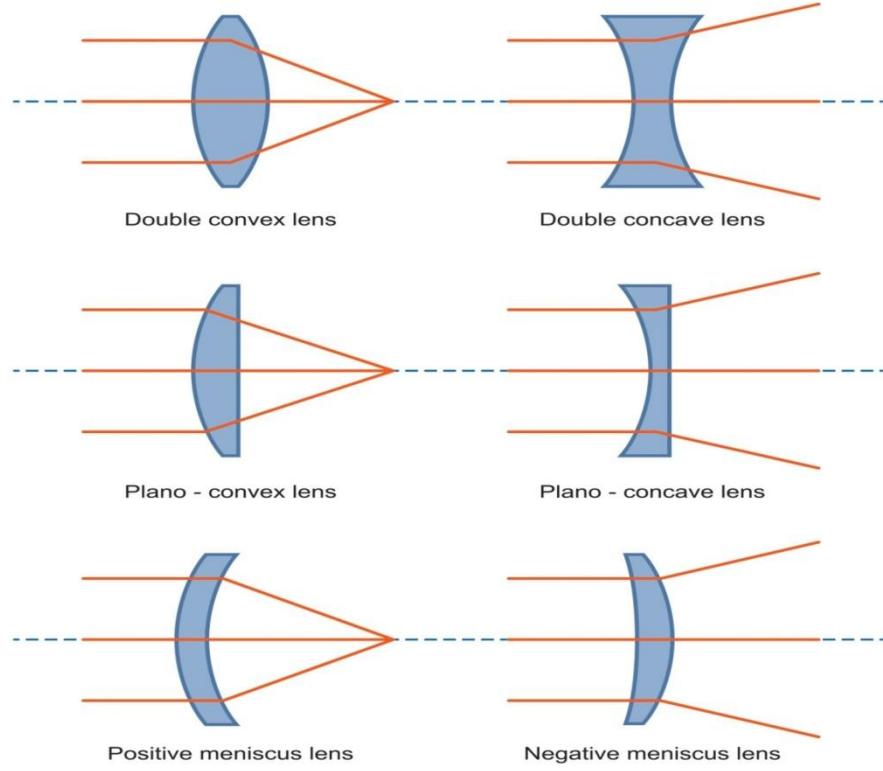
تتكوّن العدسة من مجموعة من العناصر الهندسية الأساسية التي يعتمد عليها تحليل مسار الأشعة الضوئية وتكوين الصور. وتُعد معرفة هذه العناصر ضرورية لفهم السلوك البصري للعدسات وتطبيق القوانين والمعادلات المرتبطة بها [24].

ومن أهم العناصر الهندسية للعدسة:

1. **المحور البصري الرئيسي:** هو الخط المستقيم الذي يمر بمركز العدسة ويكون عمودياً على سطحها، ويُعد المرجع الأساسي لقياس المسافات والزوايا.
2. **المركز البصري (O):** هو نقطة تقع داخل العدسة يمر عبرها الشعاع الضوئي دون أن ينحرف عن مساره تقريباً، في حالة العدسات الرقيقة.
3. **البؤرة (F):** هي النقطة التي تتجمع عندها الأشعة المتوازية مع المحور البصري بعد مرورها خلال العدسة اللامة، أو تبدو وكأنها صادرة منها في العدسة المفرقة.
4. **البعد البؤري (f):** هو المسافة بين المركز البصري للعدسة والبؤرة، ويُعد من أهم الخصائص البصرية للعدسة. [24].

Schematic of Terminology Associated With Lens Optics





الشكل 2-3: يوضح العناصر الهندسية الأساسية للعدسة، بما في ذلك المحور البصري، المركز البصري، والبؤرة [24].

### 2.3.2 تكوين الصورة بالعدسات

يتكوّن التصوير بالعدسات نتيجة انكسار الأشعة الضوئية عند سطحي العدسة وفق قوانين سنيل، مما يؤدي إلى تغيير اتجاه الأشعة وتجميعها أو تفريقها. ويعتمد نوع الصورة المتكوّنة على نوع العدسة وموضع الجسم بالنسبة إليها [25].

وقد تكون الصورة:

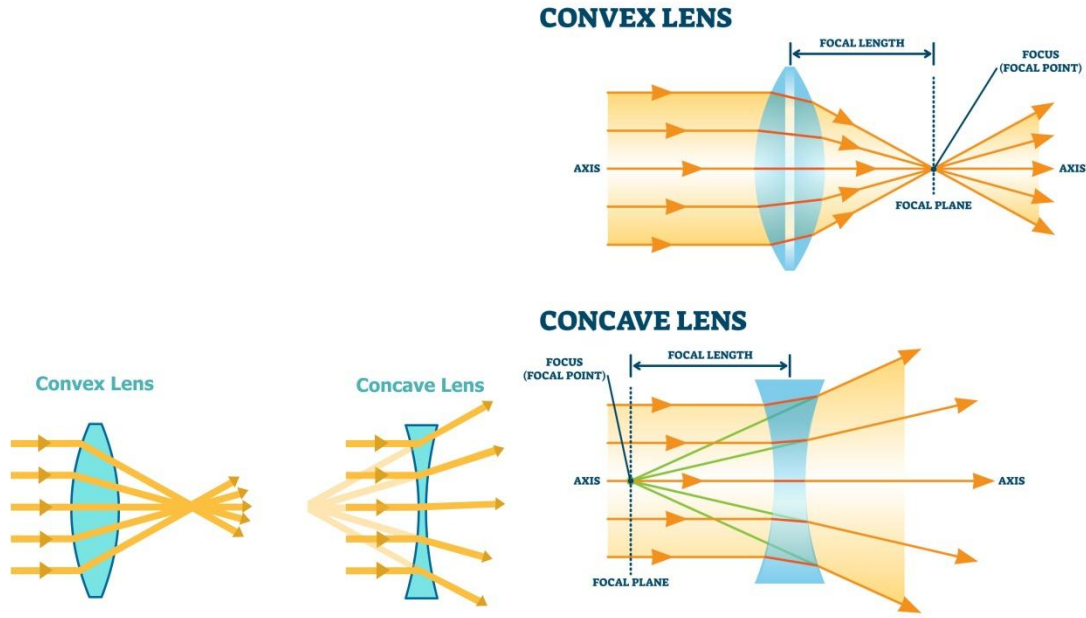
- حقيقية: إذا التقت الأشعة فعليًا بعد مرورها بالعدسة.
- خيالية: إذا بدا امتداد الأشعة وكأنه يتقاطع في نقطة معينة.

### 3.3.2 الطريقة البيانية لتكوين الصورة

تُستخدم الطريقة البيانية لتحديد موضع الصورة المتكوّنة بواسطة العدسات، وذلك من خلال تتبع مسار عدد محدود من الأشعة الضوئية المميزة، من أهمها:

1. شعاع موازٍ للمحور البصري ينكسر مرارًا بالبوّرة (في العدسة اللامة).
2. شعاع يمر بالبوّرة يخرج موازيًا للمحور البصري.
3. شعاع يمر بالمركز البصري للعدسة دون انحراف.

ويتم تحديد موضع الصورة عند نقطة تقاطع هذه الأشعة أو امتداداتها [26]



الشكل 4-2: يوضح الطريقة البيانية لتكوين الصورة في العدسة اللامة والعدسة المفرقة [26].

### 4.3.2 معادلة العدسة الرقيقة او الصيغة الرياضية للعدسات (معادلة كاوس)

تُعطي العلاقة الرياضية التي تربط بين بعد الجسم وبعد الصورة والبعد البؤري للعدسة الرقيقة بالمعادلة:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

حيث:

- $f$  : البعد البؤري للعدسة
- $u$  : بعد الجسم عن العدسة
- $v$  : بعد الصورة عن العدسة

وتُستخدم هذه المعادلة لتحديد موضع الصورة المتكوّنة في مختلف التطبيقات البصرية [24].

### 5.3.2 التكبير الخطي للعدسة

يُعرّف التكبير الخطي للعدسة بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويُعطى بالعلاقة:

$$\frac{v}{u} = m$$

وتُستخدم هذه العلاقة لتحديد حجم الصورة بالنسبة إلى الجسم، ويكون التكبير موجباً للصورة الخيالية وسالباً للصورة الحقيقية [25].

(2-12) جدول يوضح خصائص الصور المتكوّنة بالعدسات

نوع العدسة	موضع الجسم	نوع الصورة	حجم الصورة
لامة	خارج البؤرة	حقيقية	مكبرة أو مصغرة
لامة	داخل البؤرة	خيالية	مكبرة
مفرقة	أي موضع	خيالية	مصغرة

جدول (2-2): خصائص الصور في العدسات اللامة والمفرقة

# الفصل الثالث

## تطبيقات العدسات

### 1.3 المقدمة:

يعد فهم العدسات واستخداماتها من العناصر الأساسية في دراسة البصريات، حيث تساهم العدسات في مجموعة متنوعة من التطبيقات العلمية والصناعية التي تؤثر بشكل كبير على تقدم العديد من المجالات. يمثل هذا الفصل تطبيقات العدسات في الأنظمة البصرية المتقدمة، مع التركيز على دورها المحوري في تحسين التقنيات البصرية والتكنولوجية. العدسات ليست فقط جزءًا من الأجهزة البصرية التقليدية مثل المجاهر والتلسكوبات، بل هي أيضًا حجر الزاوية في العديد من التطبيقات الطبية و التكنولوجية الحديثة مثل أجهزة الليزر و التصوير الطبي.

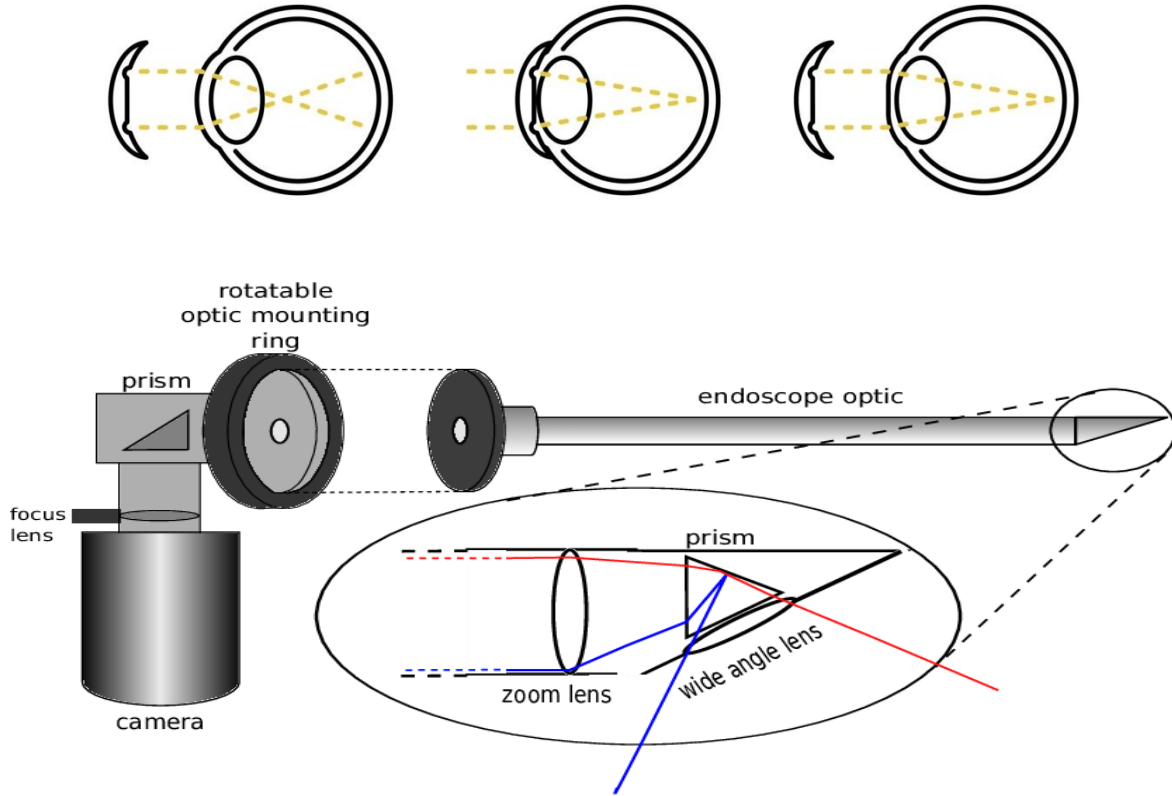
يهدف هذا الفصل إلى دراسة التطبيقات العملية للعدسات في مجالات متعددة، بدءًا من تصحيح عيوب الإبصار وصولاً إلى استخدام العدسات في الأنظمة البصرية المعقدة. سيتناول الفصل أيضًا دور العدسات في تحسين دقة الصور في الأجهزة البصرية المتقدمة، إلى جانب تأثيراتها في التقنيات الطبية مثل النظارات و العدسات اللاصقة. سيتم أيضًا استعراض أهمية العدسات في التصوير الفوتوغرافي و التلسكوبات الفلكية.

يُعزز هذا الفصل الفهم العلمي للمبادئ التي تمت دراستها في الفصول السابقة، ويُظهر كيف أن العدسات تُعد جزءًا لا يتجزأ من التقدم العلمي في العديد من المجالات التقنية والصحية.

### 2.3 التطبيقات الطبية للعدسات

تلعب العدسات دورًا أساسيًا في المجال الطبي، ولا سيما في تشخيص وعلاج اضطرابات الإبصار. إذ تعتمد النظارات الطبية على استخدام عدسات لامة أو مفرقة لتصحيح عيوب الإبصار مثل قصر النظر وطول النظر والانحراف، وذلك من خلال تعديل مسار الأشعة الضوئية لتتجمع على شبكية العين بصورة صحيحة [27].

كما تُستخدم العدسات في الأجهزة الطبية البصرية مثل المناظير الطبية (Endoscopes) وأجهزة فحص العين (Ophthalmoscopes)، حيث تساهم في تكبير الصورة وتحسين وضوح التفاصيل الدقيقة داخل جسم الإنسان، مما يساعد الأطباء في التشخيص الدقيق [28].

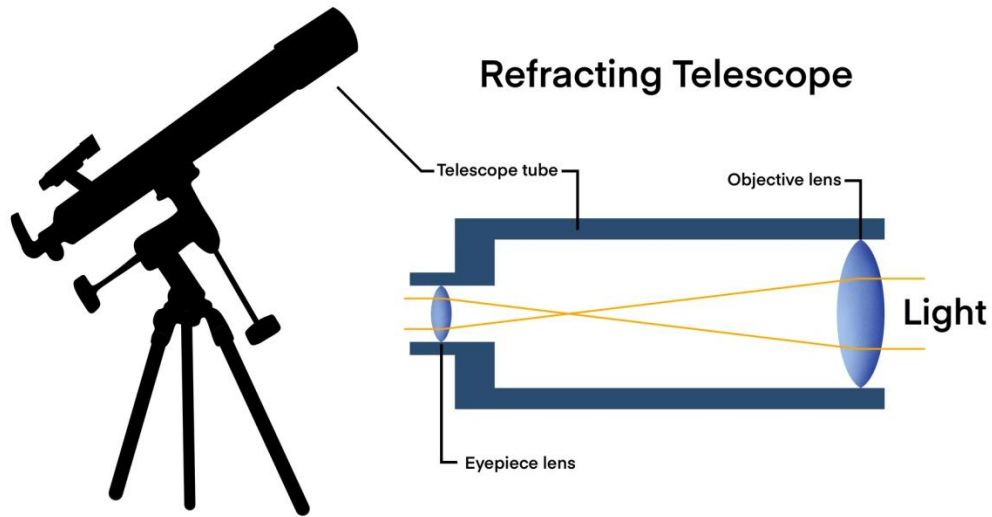
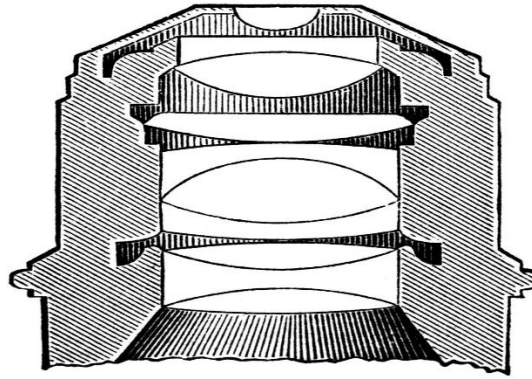


الشكل 2-5: يوضح استخدام العدسات في تصحيح عيوب الإبصار وفي الأجهزة الطبية البصرية [28].

### 3-3 التطبيقات العلمية للعدسات

تُستخدم العدسات على نطاق واسع في المجالات العلمية والبحثية، إذ تُعد عنصرًا أساسيًا في **المجاهر الضوئية** التي تُستخدم لتكبير الأجسام الدقيقة غير المرئية بالعين المجردة. وتعتمد المجاهر على مجموعة من العدسات اللامّة لتحقيق تكبير كبير ودقة عالية في الرؤية [29].

كما تدخل العدسات في تركيب **التلسكوبات الفلكية**، حيث تُستخدم لتجميع الضوء القادم من الأجرام السماوية البعيدة وتكوين صور واضحة لها، مما يساهم في دراسة الفضاء والكواكب والنجوم [30].

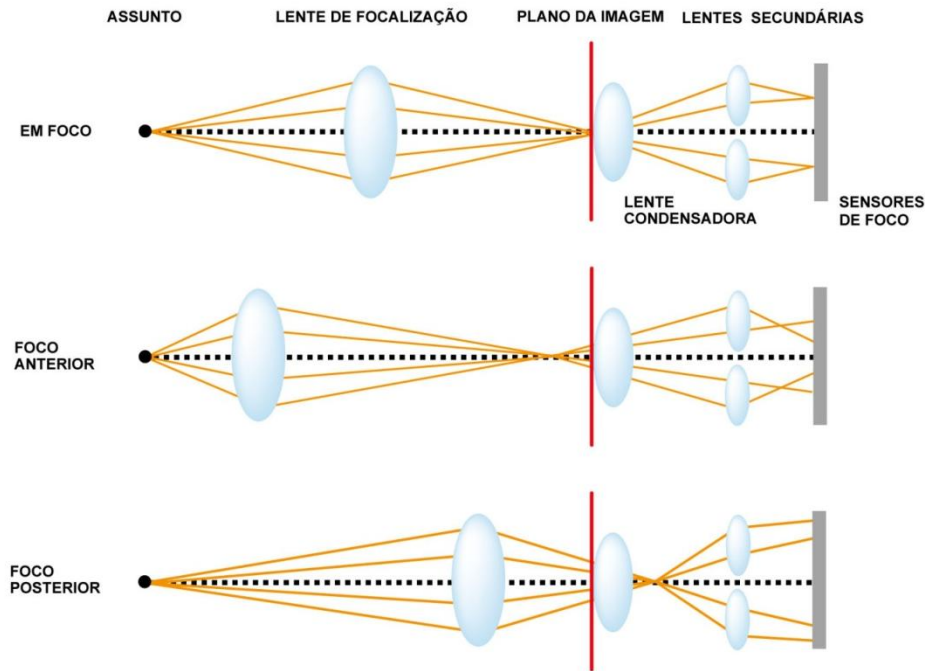
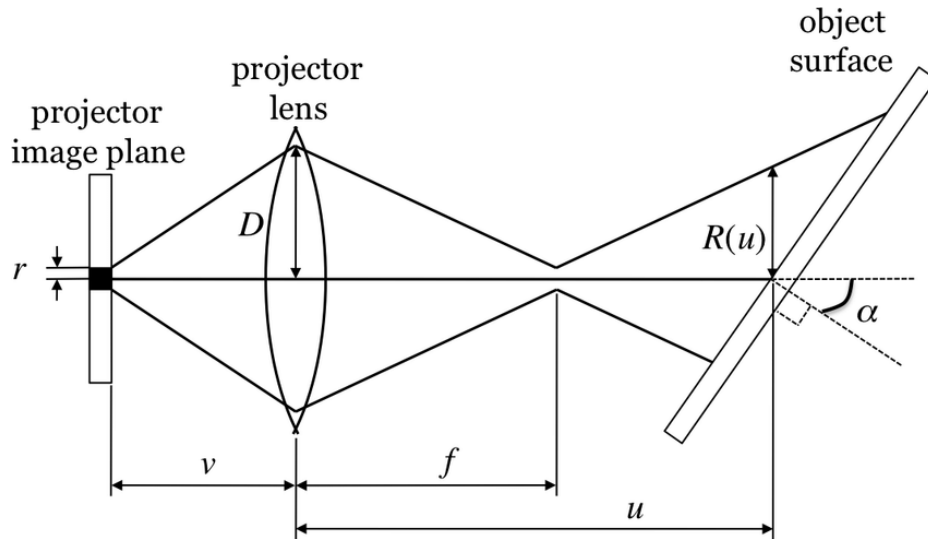


الشكل 2-6: يوضح استخدام العدسات في المجهر الضوئي والتلسكوب الكاسر [30].

### 4-3 التطبيقات التكنولوجية للعدسات

تُعد العدسات عنصرًا أساسيًا في العديد من التطبيقات التكنولوجية الحديثة، ومن أبرزها آلات التصوير والكاميرات الرقمية، حيث تُستخدم العدسات لتجميع الضوء وتكوين الصورة على المستشعر الضوئي بدقة عالية. ويعتمد وضوح الصورة وجودتها على تصميم العدسة وقيم بعدها البؤري [31].

كما تُستخدم العدسات في أنظمة الليزر، وأجهزة الإسقاط (Projectors)، وتقنيات الاتصالات البصرية، إضافةً إلى دورها في الهواتف الذكية والأجهزة الذكية الحديثة، مما يعكس أهميتها الكبيرة في التطور التكنولوجي المعاصر [32].



الشكل ( 7-2 ): يوضح دور العدسات في أنظمة التصوير والإسقاط [29].

### 5-3 جدول يوضح أهم تطبيقات العدسات

المجال	نوع العدسة	الغرض من الاستخدام
طبي	لامّة / مفرّقة	تصحيح عيوب الإبصار
طبي	لامّة	الأجهزة الطبية البصرية
علمي	لامّة	المجاهر
علمي	لامّة	التلسكوبات
تكنولوجي	متعددة	الكاميرات وأجهزة الإسقاط

جدول (3-2): مجالات استخدام العدسات

### 6-3 أهمية العدسات في الحياة العلمية والعملية

تُبرز التطبيقات المتعددة للعدسات الدور الحيوي الذي تؤديه في مختلف مجالات الحياة العلمية والعملية، إذ أسهم تطورها في تحسين جودة الرؤية، وتقدّم البحث العلمي، وتطوير التقنيات الحديثة. كما أن التقدم المستمر في تصميم العدسات ومواد تصنيعها يعزز من كفاءتها ويزيد من دقة الأنظمة البصرية، مما يجعل العدسات عنصرًا لا غنى عنه في العصر الحديث [27] [31].

ويمثل هذا المبحث ختام الفصل الثاني، ومقدمة للانتقال إلى الفصل الثالث الذي يتناول الجوانب العملية أو التطبيقات المتقدمة المرتبطة بالعدسات.

## الاستنتاجات

من خلال الدراسة النظرية والتحليل العلمي الذي تضمنه هذا البحث، أمكن التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات الرئيسية، يمكن تلخيصها بما يأتي:

1. يُعد الضوء شكلاً من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتُعد ظاهرتا الانعكاس والانكسار الأساس الفيزيائي الذي تقوم عليه دراسة البصريات الهندسية وتطبيقاتها المختلفة.
2. إن قوانين انعكاس الضوء وقوانين انكساره، ولا سيما قانون سنيل، تُشكّل الركيزة الأساسية لفهم سلوك الأشعة الضوئية عند انتقالها بين الأوساط المختلفة، وتفسير كيفية تغيّر اتجاهها وسرعتها.
3. يُمثل معامل الانكسار خاصية بصرية مهمة للمواد الشفافة، إذ يحدد مقدار انحراف الضوء، ويؤثر بصورة مباشرة في تصميم العدسات والأنظمة البصرية المختلفة.
4. تُعد السطوح الكروية من أكثر السطوح استخداماً في البصريات، ويُعزى ذلك إلى خصائصها الهندسية والبصرية التي تسمح بتجميع الأشعة أو تفريقها، مما يمهد لاشتقاق معادلات العدسات الرقيقة.
5. أظهرت الدراسة أن العدسات تُعد من العناصر البصرية الأساسية التي تعتمد في عملها على انكسار الضوء عند السطوح الفاصلة، وتلعب دوراً محورياً في تكوين الصور وتحديد خصائصها من حيث الموقع والحجم والطبيعة.
6. أوضحت التطبيقات الطبية والعلمية والتكنولوجية للعدسات أهميتها الكبيرة في الحياة العملية، ولا سيما في تصحيح عيوب الإبصار، والأجهزة الطبية البصرية، والمجاهر، والتلسكوبات، وآلات التصوير الحديثة.
7. إن التكامل بين الجانب النظري للبصريات والجانب التطبيقي للعدسات يعكس الأهمية العلمية الكبيرة لدراسة هذا الموضوع في مجال الفيزياء، ويمثل أساساً لتطبيقات مستقبلية أكثر تطوراً.

- [1] Hecht, E. *Optics*. Pearson Education, 2016.
- [2] Young, H. D., & Freedman, R. A. *University Physics with Modern Physics*. Pearson Education, 2019.
- [3] Jenkins, F. A., & White, H. E. *Fundamentals of Optics*. McGraw-Hill, 1981.
- [4] Born, M., & Wolf, E. *Principles of Optics*. Cambridge University Press, 2018.
- [5] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [6] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [7] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [8] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [9] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [10] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [11] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [12] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [13] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [14] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [15] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [16] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [17] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [18] Jenkins, F. A., & White, H. E. (1981). *Fundamentals of optics* (4th ed.). McGraw-Hill.

- [19] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [20] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [21] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [22] Jenkins, F. A., & White, H. E. (1981). *Fundamentals of optics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [23] Born, M., & Wolf, E. (2018). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [24] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [25] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [26] Jenkins, F. A., & White, H. E. (1981). *Fundamentals of optics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [27] Hecht, E. (2016). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.
- [28] Jenkins, F. A., & White, H. E. (1981). *Fundamentals of optics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [29] Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson Education.
- [30] Smith, W. J. (2015). *Modern optical engineering: The design of optical systems* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [31] Goodman, J. W. (2017). *Introduction to Fourier optics* (4th ed.). Roberts & Company Publishers.
- [32] Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2019). *Fundamentals of photonics* (3rd ed.). Wiley.