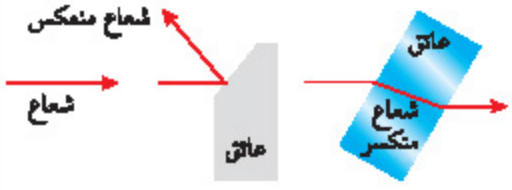
الفصل ٩ : أساسيات الضوء

الضوء

مسار الضوء	• الضوء يسير في خطوط مستقيمة. • دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل مسار الضوء مرئيًا. • عندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك على صورة ظل.

نموذج الشعاع الضوئي

اعتقاد نيوتن	• الضوء سيل من الجسيمات متناهية الصغر تتحرك بسرعة كبيرة جدًا. • أطلق نيوتن على هذه الجسيمات اسم كريات ضوئية أو جسيمات ضوئية.
هيوجنز	لم يُفسر خصائص الضوء جميعها؛ حيث بينت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك الموجات
تمثيل الضوء	• الضوء يُمثل بشعاع ينتقل في خط مستقيم. • اتجاه الشعاع يتغير إذا اعترض مساره حاجز. 
فائدتان	• نموذج الشعاع الضوئي طريقة لدراسة تفاعل الضوء مع المادة. • طريقة دراسة تفاعل الضوء مع المادة تسمى البصريات أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء

مصادر طبيعية	• الشمس • اللهب والشرر. • بعض أنواع الحشرات مثل اليراع.
مصادر صناعية	• المصابيح المتوهجة. • شاشات التلفاز. • الصمامات الثنائية الباعثة للضوء. • مصابيح الفلورسنت. • أشعة الليزر.
فوائد	• المصدر الرئيس للضوء هو الشمس. • مصادر الضوء الصناعية ناتجة من استخدام الإنسان للكهرباء لإنتاج الضوء. • ضوء الشمس أكثر سطوعًا من ضوء القمر.

المصادر المضيئة والمصادر المستضيئة

المصدر المضيء	تعريفه	{ جسم يبعث ضوءاً من ذاته }
	أمثلته	الشمس ، المصابيح المتوهجة
المصدر المستضيء	تعريفه	{ جسم يصبح مرئيًا نتيجة انعكاس الضوء عنه }
	مثاله	القمر
تعليلات	• المصابيح المتوهجة تُعد مصادراً مضيئة « علل » لأنها تبعث الضوء من ذاتها. • المصابيح المتوهجة تبعث الضوء « علل » بسبب درجة حرارتها العالية. • المصادر المستضيئة والأجسام العادية مرئية بالنسبة لك رغم أنها لا تبعث الضوء « علل » لأنها تعكس الضوء أو تنفذه ليصل إلى عينيك.	

الأوساط المادية

	الوسط	التعريف	مثال
أنواعها	غير شفاف « معتم »	{ وسط لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعض الضوء }	القماش البلاستيكي
	شفاف	{ وسط يمر الضوء من خلاله }	الهواء
	شبه شفاف	{ وسط يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن تُرى بوضوح }	مظلة المصباح
فائدة	تستطيع رؤية صورة جسمك على نافذة الزجاج رغم أنه شفاف « علل » لأن الأوساط الشفافة وشبه الشفافة تمرر الضوء وتعكس جزءاً منه		

التدفق الضوئي

تعريفه	{ معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر الضوئي }
وحدة قياسه	لومن « lm »
تعليل	التدفق الضوئي لمصدر يظل ثابتًا مهما اختلف بُعد السطح عنه « علل » لأن العدد الكلي للأشعة الضوئية لا يزداد

الاستضاءة

تعريفها	{ معدل اصطدام الضوء بالسطح }	وحدة قياسها	اللوكس $lx = lm/m^2$
فائدة	الاستضاءة مقياس لعدد الأشعة الضوئية التي تصطدم بسطح ما		
علاقة التربيع العكسي	• الاستضاءة الناتجة بفعل مصدر ضوئي نقطي تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r^2}$. • معناها: عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تنقص بزيادة مربع البعد عن مصدر الضوء النقطي.		

شدة الإضاءة

تعريفها	{ التدفق الضوئي الذي يسقط على مساحة مقدارها $1\ m^2$ من مساحة السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m }	
وحدة قياسها	الشمعة « cd »	
العوامل المؤثرة في الاستضاءة	• التدفق الضوئي: الاستضاءة تزداد بزيادة التدفق الضوئي لمصدر الضوء. • مربع المسافة بين المصدر الضوئي والسطح: تقل الاستضاءة بزيادة المسافة بين المصدر الضوئي والسطح.	
قانونان	• استضاءة سطح بمصدر ضوئي تتناسب **طرديًا** مع التدفق الضوئي للمصدر. • استضاءة سطح بمصدر ضوئي تتناسب **عكسيًا** مع مربع المسافة بين المصدر والسطح.	
الاستضاءة بفعل مصدر نقطي	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$	E الاستضاءة [lx] P التدفق الضوئي للمصدر النقطي [lm] r بُعد الجسم عن المصدر النقطي [m]
مثال توضيحي	يتطلب قانون المدارس الحكومية أن تكون الحد الأدنى للاستضاءة 160 lx على سطح كل مقعد؛ وتقتضي المواصفات التي يوصي بها المهندسون المعماريون أن تكون المصابيح الكهربائية على بُعد 2 m فوق المقاعد؛ ما مقدار أقل تدفق ضوئي تولده المصابيح الكهربائية؟ $E = \frac{P}{4\pi r^2} \Rightarrow P = 4\pi Er^2 = 4\pi \times 160 \times 2^2 = 8042.47\ lm$	

سرعة الضوء تاريخيًا

فائدة	الناس قبل القرن 17 اعتقدوا أن الضوء ينتقل لحظيًا ؛ أي لا يحتاج إلى زمن للانتقال ؛

جاليليو	• أول من افترض أن للضوء سرعة محددة. • اقترح طريقة لقياس سرعة الضوء مستخدمًا مفهومي المسافة والزمن. • استنتج أن سرعة الضوء كبيرة جدًا مما يحول دون قياسها عبر مسافة عدة كيلومترات.
الفلكي الدنماركي أولي رومر	• أول من أكد أن الضوء ينتقل بسرعة يمكن قياسها. • رصد الأزمنة عندما كان يخرج القمر Io من منطقة ظل المشتري. • استطاع توقع وقت حدوث كسوف القمر Io وقارن توقعاته بالأزمنة المقيسة فعليًا. • اثبت أن الضوء ينتقل بسرعة محددة.
زمن دوران القمر حول المشتري	توصل أولي رومر إلى أن زمن دوران القمر Io حول المشتري .. • يزداد بمعدل 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تبتعد الأرض عن المشتري. • ينقص بمعدل 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تقترب الأرض من المشتري.

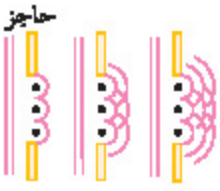
قياسات سرعة الضوء

رومر	استنتج أن الضوء عندما ينتقل مسافة تعادل قطر الأرض يحتاج إلى 22 min	
ألبرت ميكلسون	• طوّر تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. • قاس الزمن الذي يحتاج إليه الضوء ذهابًا وإيابًا بين جبلين في كاليفورنيا.	
فائدتان	• سرعة الضوء في الفراغ التي تستخدم في الحسابات $c = 3\times10^8$ m/s . • يحتاج الضوء إلى 16.5 min ليقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض.	
العلاقة الرياضية	$c = \frac{d}{t}$	c سرعة الضوء [m/s] d المسافة [m] t الزمن [s]
السنة الضوئية	{ المسافة التي يقطعها الضوء في سنة }	
مثال توضيحي	يحتاج الضوء إلى زمن 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض؛ ما المسافة بينهما؟ $c = \frac{d}{t} \Rightarrow d = ct = 3\times10^8 \times 1.28 = 384\times10^6$ m	

الطبيعة الموجية للضوء

تذكير	الضوء مكوّن من موجات
تعليل	عندما تسير في اتجاه غرفة الصف والباب مفتوح تسمع صوت المعلم أو الطلاب قبل أن تراهم « علل : لأن الصوت يصل إليك بانحرافه حول حافة الباب أما الضوء فيسير في خطوط مستقيمة
فائدة	الضوء يسلك سلوك الصوت كموجة إلا أن انحراف الضوء أقل وضوحًا من انحراف الصوت

الحيود والنموذج الموجي للضوء

فرانسيسكو ماري جريمالدي	• لاحظ أن حواف الظلال ليست حادة تمامًا وأن الظل مُحاط بحزم ملونة. • أدخل حزمة ضيقة من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة. • أمسك بقضيب أمام الضوء وأسقط الظل على سطح أبيض. • الظل المُتكوِّن أعرض منه عند انتقال الضوء في خط مستقيم مروراً بحواف القضيب.
الحيود	{ انحناء الضوء حول الحواجز }
كريستيان هويجنز	• حاول برهنة النموذج الموجي لتفسير ظاهرة الحيود. • اعتبر أن النقاط على مقدمة الموجة الضوئية مصادر جديدة لموجات صغيرة تنتشر في جميع الاتجاهات.
جبهة الموجة	• مقدمة الموجة المستوية تحوي عددًا غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد. • عندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما فإن الحافة تقطع جبهة الموجة وتنتشر كل موجة دائرية تولدت بوساطة أي نقطة من نقاط هويجنز على شكل موجة دائرية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية. 

تجارب على الألوان

تجربة نيوتن	• مرّر حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور زجاجي. • لاحظ تكون ترتيب منتظم للألوان أطلق عليه اسم الطيف. • سمح للطيف النافذ من المنشور الأول بالسقوط على منشور آخر معكوس. • المنشور الثاني عكس انتشار الألوان وأعاد تراكبها فتكوَّن اللون الأبيض.
استنتاجات نيوتن	• اللون الأبيض مركب من ألوان عدة. • للزجاج خاصية أخرى غير عدم انتظامه تؤدي إلى تحلل الضوء إلى مجموعة من الألوان.
فائدة	اعتمادًا على تجارب جريمالدي وهويجنز وغيرها فإن .. • للضوء خصائص موجية. • كل لون من ألوان الضوء له طول موجي محدد.

الضوء المرئي

طوله الموجي	للضوء المرئي نطاق من الأطوال الموجية يتراوح بين 400 nm و 700 nm تقريبًا

تدرج الأطوال الموجية للضوء المرئي	• طول موجة الضوء الأحمر أكبر الأطوال الموجية المرئية، وأقصرها البنفسجي. • الطول الموجي يتناقص فيتحول اللون الأحمر إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق ثم الأزرق النيلي وأخيراً البنفسجي.

مزج أشعة الضوء

عملية جمع الألوان	• الضوء الأبيض يتشكل من الضوء الملوّن بطرق مختلفة. • مثلاً: عندما يتراكب الأحمر والأخضر والأزرق يتشكل الضوء الأبيض. • استخدام عملية جمع الألوان: تستخدم في أنابيب الألوان في التلفاز، حيث تحوي أنابيب الألوان مصادر متناهية الصغر للضوء الأحمر والأخضر والأزرق.

الألوان الأساسية	تعريفها	{ الألوان التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد كما تُنتج الألوان الثانوية عن مزجها في أزواج }
	ألوانها	الأحمر ، الأزرق ، الأخضر
الألوان الثانوية	تعريفها	{ لون ينتج عن اتحاد لونين أساسيّين }
	ألوانها	الأصفر ، الأزرق الفاتح ، الأرجواني
الألوان المتتامة	تعريفها	{ لون الضوء الذي يعطي ضوءاً أبيضًا عند تراكبه مع ضوء آخر }
	ألوانها	الأصفر والأزرق ، الأرجواني والأخضر ، الأزرق الفاتح والأحمر
	مثال	إذا سلط اللونان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة فإن سطح الشاشة يظهر باللون الأبيض

- اللونان الأرجواني والأخضر متتامان ؛ علل ؛ لأنهما يتراكبان معًا لإنتاج اللون الأبيض.
- يضاف عامل أزرق اللون للملابس المصفرة لتبييضها ؛ علل ؛ لأن اللون الأصفر والأزرق متتامان فيتراكبان لإنتاج اللون الأبيض.

اختزال أشعة الضوء

فائدة	لون الجسم يعتمد على الأطوال الموجية .. • للضوء الذي يضيء الجسم. • للضوء الذي يمتصه الجسم. • للضوء الذي يعكسه الجسم.
تلوين الجسم	الجسم يزوَّد باللون عن طريق .. • وجود المواد الملوِّنة طبيعيًا أو إضافتها صناعيًا. • إضافة أصباغ على سطح الجسم.
المواد الملوِّنة	{ جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو تعكسها }
فوائد	• عندما يُمتص الضوء تنتقل طاقته إلى الجسم الذي اصطدم به وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. • عندما يسقط الضوء الأبيض على جسم لونه أحمر فإن جزيئات المواد الملوِّنة في الجسم تمتص الضوء الأخضر والأزرق وتعكس الضوء الأحمر. • عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جسم لونه أحمر فإن مقدارًا يسيرًا من الضوء ينعكس ويظهر الجسم ـ غالبًا ـ باللون الأسود.

الصبغة

وصفها	الصبغة مصنوعة من المعادن المسحوقة وليست مستخلصة من النباتات أو الحشرات
الصبغة الأساسية	{ الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد على أن تعكس اللونين الآخرين من الضوء الأبيض }

ألوان الصبغة الأساسية

لون الصبغة الأساسية	اللون الذي يمتصه	اللون الذي يعكسه
أصفر	أزرق	أحمر وأخضر
أزرق فاتح	أحمر	أزرق وأخضر
أرجواني	أخضر	أزرق وأحمر

الصبغة الثانوية { الصبغة التي تمتص لونين أساسيّين وتعكس لونًا واحدًا }

ألوان الصبغة الثانوية

لون الصبغة الثانوية	اللون الذي يمتصه	اللون الذي يعكسه
أحمر	أخضر وأزرق	أحمر
أزرق	أحمر وأخضر	أزرق
أخضر	أزرق وأحمر	أخضر

فائدتان	• ألوان الصبغة الأساسية هي الألوان الثانوية. • ألوان الصبغة الثانوية هي الألوان الأساسية.
الصبغات المتتامة	مزج صبغتين متتامتين ينتج عنه اللون الأسود؛ مثل مزج .. • الصبغة الصفراء والصبغة الزرقاء. • صبغة الأزرق الفاتح والصبغة الحمراء. • صبغة الأحمر المزرقّ والصبغة الخضراء.
الطابعة الملونة	• تستخدم نقاطًا من صبغة الأصفر والأرجواني والأزرق الفاتح لعمل صورة ملونة. • تُمزج الأصباغ بالطابعة لتكوّن محاليل معلقة بدلاً من المحاليل الحقيقية. • أصباغ الطابعة الملونة مركبات مطحونة بصورة دقيقة؛ ومن أمثلتها .. أكسيد التيتانيوم « أبيض » ، أكسيد الكروم « أخضر » ، كبريتيد الكادميوم « أصفر »
تعليل	أصباغ الطابعة الملونة تستمر في امتصاص وعكس الأطوال الموجية نفسها « علل » لأنها تحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير

استخلاص النتائج من اللون

تعليل	تبدو النباتات خضراء « علل » بسبب صبغة الكلوروفيل التي يمتص أحد أنواعها الضوء الأحمر والنوع الآخر يمتص اللون الأزرق ويعكس كلاهما الضوء الأخضر
فائدة	طاقة الضوءين الأحمر والأزرق الممتصين تستخدمها النباتات في عملية البناء الضوئي
تعليل	تبدو السماء مزرقّة « علل » لأن جزيئات الهواء تشتت موجات الضوء البنفسجي والأزرق بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الأخرى للضوء في الاتجاهات جميعها ويضيئان السماء بالأزرق

الاستقطاب

تعريفه	{ إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد }
فائدتان	• ضوء المصباح العادي غير مستقطَب. • الضوء المنعكس من الطريق مستقطَب.
محور الاستقطاب	{ اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة }
الاستقطاب بالترشيح	• موجات الضوء العادي تتذبذب عموديًا على اتجاه انتشارها. • تنفذ من وسط الاستقطاب فقط مركّبات الضوء التي في اتجاه محور الاستقطاب. • وسط الاستقطاب يسمى مرشّح الاستقطاب.

تعليل	شدة الضوء تنخفض بعد الاستقطاب إلى النصف ؛ **علل** ؛ **لأن الضوء ينفذ بنصف اتساعه الكلي من خلال وسط الاستقطاب**

الاستقطاب بالانعكاس

فائدة	الضوء المنعكس مستقطَب جزئيًا
تعليلان	• توهج الضوء يقل عند استخدام النظارات المستقطبة ؛ **علل** ؛ **بسبب استقطاب الضوء المنعكس عن الطرق.** • مصورو الفوتوجراف يثبتون مرشحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا ؛ **علل** ؛ **لحجب الضوء المنعكس.**

تحليل الاستقطاب

استقطاب الضوء المستقطَب	عند وضع مرشّح استقطاب في مسار الضوء المستقطَب فإن .. • الضوء **ينفذ** إذا كان محورا مرشّحي الاستقطاب **متوازيين.** • الضوء **لا ينفذ** إذا كان محورا مرشّحي الاستقطاب **متعامدين.**	
فائدة	قانون مالوس يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عند عبوره خلال مرشّح استقطاب ثانٍ	
قانون مالوس	$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$	I_1 شدة الضوء بعد مروره بمرشح الاستقطاب الأول I_2 شدة الضوء بعد مروره بمرشح الاستقطاب الثاني θ الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين
استخدام قانون مالوس	• المقارنة بين شدتي الضوء الخارج من مرشّحي الاستقطاب. • تحديد الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين.	
المحلِّل	• وصفه: مرشّح استقطاب. • استخدامه: تحديد استقطاب الضوء المنبعث من أي مصدر ضوئي.	

الطول الموجي

تعليلان	• يوصف الضوء بوساطة النماذج الرياضية المستخدمة في وصف الموجات ؛ **علل** ؛ **لأن الضوء له خصائص موجية.** • يمكن حساب الطول الموجي لموجة معلومة التردد في الفراغ ؛ **علل** ؛ **لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بنفس السرعة.**

قانون الطول الموجي	$\lambda_0 = \frac{c}{f}$	λ_0 طول موجة الضوء [m] c سرعة الضوء [m/s] f تردد موجة الضوء [Hz]
مثال توضيحي	ما تردد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm ؟ علمًا أن سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 m/s . $\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^8}{513\times10^{-9}} = 5.84\times10^{14}$ Hz	

الحركة النسبية والضوء

تأثير دوبلر في الضوء	• يحدث تأثير دوبلر في الضوء عندما يتحرك مصدر الضوء أو يتحرك مراقِب الضوء « المشاهد » أحدهما بالنسبة للآخر فيرى المراقِب ضوءًا طوله الموجي مختلف عما كان يراه عندما كانا ساكنين بالنسبة لبعضهما. • تأثير دوبلر في الضوء يتضمن السرعة المتجهة لكلٍّ من المصدر والمراقِب أحدهما بالنسبة إلى الآخر.	
فوائد	• السرعة النسبية: تقدر بالفرق بين السرعتين المتجهتين لكلٍّ من المصدر والمراقِب. • تأثير دوبلر يعتمد فقط على مركّبتي السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقِب. • لدراسة تأثير دوبلر في الضوء نعتبر السرعة النسبية أقل كثيرًا من سرعة الضوء؛ أي $v \ll c$.	
تردد الضوء المُراقَب	$f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$	$f_{\text{المراقب}}$ تردد الضوء المُراقَب [Hz] f التردد الحقيقي لضوء المصدر [Hz] v السرعة النسبية بين المصدر والمراقِب [m/s] c سرعة الضوء [m/s]
تنبيهان	• نستخدم الجمع إذا تحرك مصدر الضوء والمراقِب كل منهما في اتجاه الآخر « مقتربين ». • نستخدم الطرح إذا تحرك مصدر الضوء والمراقِب مبتعدين عن بعضهما.	
مثال توضيحي	تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءًا بتردد 6.16×10^{14} Hz ؛ ما التردد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟ علمًا أن سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 m/s . $f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right) = 6.16\times10^{14}\left(1 - \frac{6.55\times10^6}{3\times10^8}\right) = 6.02\times10^{14}$ Hz	

حساب انزياح دوبلر

تعليل	معادلة تأثير دوبلر للضوء صيغت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد ؛ علل ؛ لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر تمت في سياق علم الفلك
انزياح دوبلر	$\Delta\lambda = \lambda_{\text{المراقب}} - \lambda = \pm\frac{v}{c}\lambda$ $\lambda_{\text{المراقب}}$ الطول الموجي للضوء المُراقَب [m] — $\Delta\lambda$ الفرق في الطول الموجي [m] λ الطول الموجي الحقيقي لضوء المصدر [m] — c سرعة الضوء [m/s] v السرعة النسبية بين المصدر والمراقب [m/s]
مثال توضيحي	إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا نحو الأحمر بنسبة 6.5% في الضوء القادم من مجرة بعيدة فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟ علمًا أن سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 m/s . $\Delta\lambda = \frac{v}{c}\lambda \Rightarrow v = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{3\times10^8\times6.5\%\times434\times10^{-9}}{434\times10^{-9}} = 1.95\times10^7$ m/s

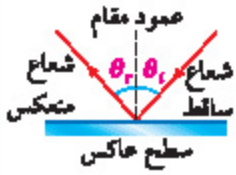
إشارة $\Delta\lambda$ « التغير في الطول الموجي »

+	−
إذا تحرك المصدر والمراقب مبتعدين عن بعضهما	إذا تحرك المصدر والمراقب مقتربين من بعضهما
السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه يبتعد عن المراقب	السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه يقترب من المراقب
الضوء مزاح نحو الأحمر	الضوء مزاح نحو الأزرق
يزداد الطول الموجي وينقص التردد	ينقص الطول الموجي ويزداد التردد

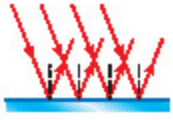
استخدام الطيف	• مراقبة طيف الضوء المنبعث من النجوم. • قياس انزياح دوبلر للأطوال الموجية المنبعثة من النجوم.
إدوين هابل	• حلّل الطيف المنبعث من عدة مجرات وتوصل إلى أن الكون يتمدد. • لاحظ أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع. • استنتج هابل أن المجرات تتحرك مبتعدة عن الأرض ؛ علل ؛ لأن المجرات كانت ترسل إلى الأرض ضوءاً مزاحًا نحو الأحمر.

الفصل ١٠ : الانعكاس والمرايا

قانون الانعكاس

نصه	{ زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط }	
فائدة	الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام تقع جميعاً في مستوى واحد	
العمود المقام	{ خط وهمي عمودي على السطح العاكس عند نقطة سقوط الضوء عليه }	
العلاقة الرياضية	$\theta_r = \theta_i$ θ_i زاوية السقوط θ_r زاوية الانعكاس	
مثال توضيحي	سقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38° بالنسبة للعمود المقام؛ فإذا حُرِّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 13° فما زاوية الانعكاس الجديدة؟ $\theta_{i2} = \theta_{i1} + 13° = 38° + 13° = 51°$ $\theta_r = \theta_{i2} \Rightarrow \theta_r = 51°$	

السطوح الملساء والسطوح الخشنة

الانعكاس المنتظم	المقصود به	{ انعكاس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية على سطح أملس }	
	السطح الأملس	السطح الأملس أو المصقول مثل المرآة يسبب انعكاساً منتظماً	
الانعكاس غير المنتظم	المقصود به	{ انعكاس مضطرب مشتّت ناتج عن سطح خشن }	
	السطح الخشن	• صفحة الكتاب أو الجدار الأبيض سطوح خشنة بالنسبة للطول الموجي للضوء. • السطوح الخشنة تسبب انعكاساً غير منتظم للضوء.	
تنبيهات	• قانون الانعكاس ينطبق على السطحين الأملس والخشن. • الأشعة الساقطة متوازية على سطح خشن لا يمكن أن تنعكس متوازية. • لا يمكن اتخاذ الجدار أو الورقة مرآة؛ علل ؛ لأنهما يشتّتان الأشعة المنعكسة		

تعليل	• لا يمكن رؤية حزمة الضوء المنعكسة عن السطوح الخشنة ؛ علل ؛ لأن أشعة الضوء المنعكسة تفرّقت وتشتّت في اتجاهات مختلفة.

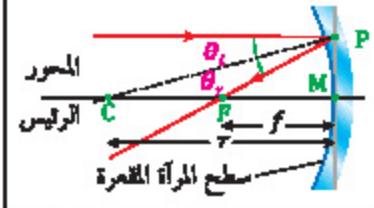
المرآة المستوية

تعريفها	{ سطح مستوٍ أملس يَنعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا }
تعليل	صور الأجسام المُتكوِّنة في المرايا المستوية صور خيالية دائمًا ؛ علل ؛ لأنها تكوَّنت من تشتّت الأشعة الضوئية عن المرآة

الصور في المرايا المستوية

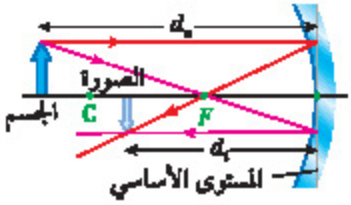
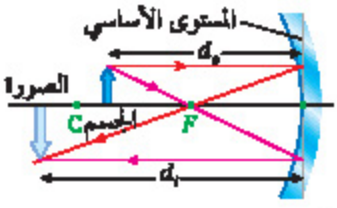
صفاتها	• الصورة تظهر خلف المرآة. • يُعد الصورة يساوي بُعد الجسم. • الصورة معكوسة جانبيًا.	• الصورة معتدلة ؛ في نفس اتجاه الجسم ؛. • حجم الصورة يساوي حجم الجسم.
موقعها	$d_i = -d_o$ فائدة: الإشارة السالبة تعني أن الصورة خيالية.	d_i بُعد الصورة عن المرآة المستوية d_o بُعد الجسم عن المرآة
طولها	$h_i = h_o$	h_i طول الصورة h_o طول الجسم
مثال توضيحي	يقف طفل طوله 50 cm على بُعد 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته ؛ ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكونة؟ $d_i = -d_o \Rightarrow d_i = -3\ cm$ $h_i = h_o \Rightarrow h_i = 50\ cm$ الصورة المتكونة خيالية لأن بُعدها سالب.	

المرايا الكروية

نوعاها	مقعرة ، محدبة	
المرآة المقعرة	{ مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوس إلى الداخل }	
تنبيه	المرآة المقعرة لها المركز الهندسي C ونصف قطر التكور r الخاصين بالكرة المأخوذة منها	
المحور الرئيس	{ خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة حيث ينصفها ؛ في الرسم ؛ إلى قسمين }	

قطب المرآة	{ نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة }	
البؤرة الأصلية	{ نقطة تجمع انعكاسات الأشعة المتوازية الساقطة والموازية للمحور الرئيس }	
البعد البؤري	$f = \frac{r}{2}$	f البعد البؤري r نصف قطر التكور
تعليل	الشمس مصدر للأشعة المتوازية ؛ **علل** ؛ لأنها بعيدة جدًا	
تنبيه	الشعاع الساقط على مرآة مقعرة موازيًا للمحور الرئيس ينعكس مارًا بالبؤرة F	

الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة

الصورة الحقيقية	{ صورة تتكوّن من التقاء الأشعة المنعكسة ويمكن جمعها على حاجز }
فائدة	الصورة الحقيقية مقلوبة دائمًا
تعليل	الصورة الخيالية لا يمكن جمعها على حاجز ؛ **علل** ؛ لأنها ناتجة من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة
الحالة (1)	• موقع الجسم: يقع على مسافة أكبر من ضعفي البعد البؤري. • موقع الصورة: تقع على مسافة أكبر من البعد البؤري وأقل من ضعفه. • صفات الصورة: حقيقية مقلوبة مصغرة بالنسبة للجسم. 
الحالة (2)	• موقع الجسم: يقع على مسافة أكبر من البعد البؤري وأقل من ضعفه. • موقع الصورة: تقع على مسافة أكبر من ضعفي البعد البؤري. • صفات الصورة: حقيقية مقلوبة مكبرة بالنسبة للجسم. 

معادلة المرآة الكروية

العلاقة الرياضية	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$	f البعد البؤري للمرآة d_i بعد الصورة عن المرآة d_o بعد الجسم عن المرآة

عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة

الزوغان « التشوه » الكروي	• تعريفه: { عيب في المرآة الكروية لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة }. • سببه: القطر الكبير للمرايا الكروية نسبة إلى نصف القطر الصغير لانحنائها « انحناء سطح المرآة قوي ». • ينتج عنه: صور مشوشة غير تامة. • علاجه: تقليل نسبة ارتفاع المرآة إلى نصف قطر انحنائها « تقليل قوة انحناء سطح المرآة ».
تعليلان	• التلسكوبات تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة مصممة على هيئة خاصة « علل » لعلاج الزوغان الكروي في المرايا. • معادلة المرآة لا تتنبأ بالزوغان الكروي في المرايا الكروية « علل » لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور.

التكبير

المقصود به	الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم	
معادلة التكبير	$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$	m التكبير h_i طول الصورة h_o طول الجسم d_i بُعد الصورة عن المرآة d_o بُعد الجسم عن المرآة
تنبيه	عند استخدام معادلتي المرآة يجب مراعاة نظام الإشارات	

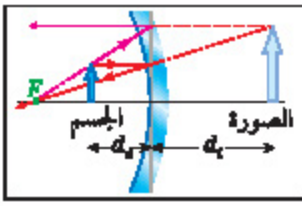
نظام الإشارات في معادلتي المرآة

البعد البؤري f		بُعد الصورة d_o		طول الصورة h_i ، التكبير m	
+	−	+	−	+	−
مرآة مقعرة	مرآة محدبة	صورة حقيقية	صورة خيالية	صورة خيالية معتدلة	صورة حقيقية مقلوبة

الصور الخيالية في المرايا المقعرة

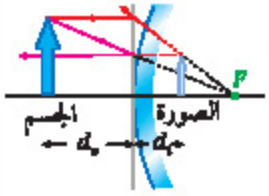
تعليل	لا تتكون صورة عندما يُوضع جسم في بؤرة مرآة مقعرة « علل » لأن الأشعة ستنعكس في حزمة متوازية

تكوين الصورة	• موقع الجسم: يقع بين البؤرة والمستوى الأساسي للمرآة. • موقع الصورة: تقع خلف المرآة. • صفات الصورة: خيالية معتدلة مكبرة.



المرآة المحدبة

تعريفها	{ مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوس إلى الخارج }
الحالة الوحيدة	• موقع الجسم: أمام المرآة المحدبة ، في أيّ مكان . • موقع الصورة: خلف المرآة. • صفات الصورة: خيالية معتدلة مصغرة بالنسبة للجسم.
تعليلان	• المرآة المحدبة تُكوِّن صورًا خيالية ، علل ، لأن الأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مشتتة دائمًا. • المرايا المحدبة تُستخدم على جوانب السيارات للرؤية الخلفية ، علل ، لأنها تعمل على توسيع مجال الرؤية للسائق.



ملخص خصائص نظام مرآة مفردة

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m ، التكبير ،	الصورة
مستوية	لا يوجد	$d_o > 0$	$\|d_i\| = d_o$ ، سالب ،	الحجم نفسه	خيالية
مقعرة	+	$d_o > r$	$r > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$r > d_o > f$	$d_i > r$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$d_i > d_o$ ، سالب ،	مكبرة	خيالية
محدبة	−	$d_o > 0$	$0 > \|d_i\| > \|f\|$ ، سالب ،	مصغرة	خيالية

تنبيهات
- إذا كانت القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 فإن الصورة تكون أصغر من الجسم.
- إذا كانت القيمة المطلقة للتكبير أكبر من 1 فإن الصورة تكون أكبر من الجسم.
- إذا كان التكبير سالبًا فإن الصورة تكون مقلوبة بالنسبة للجسم.

مقارنة بين المرايا

	المرآة المستوية	المرآة المقعرة	المرآة المحدبة
نوع الصورة	خيالية	خيالية وحقيقية	خيالية
تكبير الصورة	مساوية للجسم	مصغرة ، مساوية ، مكبرة	مصغرة

الفصل ١١ : الانكسار والعدسات

انكسار الضوء

تأثيرات ناشئة عن انكسار الضوء	• الأشياء التي تحت سطح الماء تبدو أقرب من البعد الحقيقي لها. • الخطوط التي في قاع البركة تبدو وكأنها تتمايل مع حركة الماء.
تعليل	ينحني مسار الضوء عند عبوره لحد فاصل بين وسطين ؛ علل ؛ بسبب الانكسار
فائدة	مقدار الانكسار يعتمد على .. • خصائص الوسطين الشفافين. • زاوية سقوط الضوء على الحد الفاصل.

قانون سنل في الانكسار

نصه	{ حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار }
صيغته الرياضية	$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ n_1 معامل انكسار الوسط 1 — θ_1 زاوية السقوط n_2 معامل انكسار الوسط 2 — θ_2 زاوية الانكسار
مثال توضيحي	غُمر قالب من مادة غير معروفة في الماء وأسقط عليه ضوء بزاوية سقوط 31° فكانت زاوية انكساره في القالب 27° ؛ ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟ علمًا أن معامل انكسار الماء 1.33 . $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{1.33 \sin 31}{\sin 27} = 1.5$
زاوية السقوط	{ الزاوية المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط }
زاوية الانكسار	{ الزاوية المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنكسر }
استنتاجات من قانون سنل	إذا كان $n_1 < n_2$ فإن $\sin\theta_1 > \sin\theta_2$: عندما ينتقل الضوء من مادة معامل انكسارها صغير إلى مادة معامل انكسارها أكبر فإن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح مثل انتقال الضوء من الهواء إلى الزجاج إذا كان $\sin\theta_1 < \sin\theta_2$ فإن $n_1 > n_2$: عندما ينتقل الضوء من مادة معامل انكسارها كبير إلى مادة معامل انكسارها أصغر فإن حزمة الضوء تنحرف مبتعدة عن العمود المقام على السطح مثل انتقال الضوء من الزجاج إلى الهواء

النموذج الموجي في الانكسار

طول موجة الضوء في وسط	$\lambda = \frac{v}{f}$	λ الطول الموجي للضوء [m] v سرعة الضوء في أي وسط [m/s] f تردد الضوء [Hz]
فائدة	سرعة الضوء تتناسب طرديًا مع الطول الموجي عند ثبوت التردد	
تعليلان	• الضوء يتحرك في أي وسط بسرعة أصغر من سرعته في الفراغ ؛ علل ؛ لأن الضوء يتفاعل مع الذرات عند انتقاله خلال الوسط. • الطول الموجي للضوء في أيّ وسط أقصر من الطول الموجي للضوء في الفراغ ؛ علل ؛ لأن تردد الضوء لا يتغير عندما يعبر الحد الفاصل بين وسطين لذا يتقص الطول الموجي للضوء عندما تتقص سرعة الضوء.	
علاقات خاصة بزاوية السقوط وزاوية الانكسار	$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}$	θ_1 زاوية السقوط θ_2 زاوية الانكسار λ_1 الطول الموجي للضوء في الوسط 1 λ_2 الطول الموجي للضوء في الوسط 2 v_1 سرعة الضوء في الوسط 1 v_2 سرعة الضوء في الوسط 2 n_1 معامل انكسار الوسط 1 n_2 معامل انكسار الوسط 2
مثال توضيحي	حزمة ضوئية تعبر الماء إلى داخل البولي إيثيلين الذي معامل انكساره 1.5 ؛ فإذا كانت $\theta_1 = 57.5°$ فما زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟ علمًا أن معامل انكسار الماء 1.33 . $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \sin\theta_2 = \frac{n_1\sin\theta_1}{n_2} = \frac{1.33\sin 57.5}{1.5}$ $\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{1.33\sin 37}{1.5}\right) = 48.4°$	

معامل الانكسار لوسط

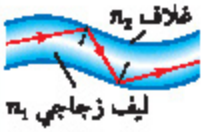
تعريفه	{ سرعة الضوء في الفراغ مقسومة على سرعته في الوسط }	
حسابه	$n = \frac{c}{v}$	n معامل انكسار الوسط c سرعة الضوء في الفراغ v سرعة الضوء في الوسط
مثال توضيحي	ما سرعة الضوء في الكلوروفورم؟ علمًا أن معامل انكسار الكلوروفورم 1.51 . $n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3\times10^8}{1.51} = 1.99\times10^8\ \text{m/s}$	

فائدة	علاقة الطول الموجي بمعامل الانكسار .. $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$	λ الطول الموجي للضوء في الوسط λ_0 الطول الموجي للضوء في الفراغ n معامل انكسار الوسط

الانعكاس الكلي الداخلي

تنبيهان	• عندما يعبر الضوء إلى وسط معامل انكساره أصغر تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط. • عند زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار.	
الزاوية الحرجة	{ زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين }	
شرطا حدوث الانعكاس الكلي الداخلي	• سقوط الشعاع الضوئي من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أصغر. • عند سقوط الضوء على الحد الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة ينعكس كله إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.	
تأثيرات ناشئة عن الانعكاس الكلي الداخلي	• عند الغوص في بركة ماء ساكن والنظر إلى أعلى سطح الماء قد نرى انعكاسًا مقلوبًا لجسم آخر قريب موجود أسفل سطح الماء، أو نرى انعكاسًا لقاع البركة. • عندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح فإن الشخص الواقف في الجهة المقابلة أعلى البركة قد لا يراه ؛ علل ؛ لأن الضوء القادم من الجسم نفسه والساقط بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة.	
حساب مقدار الزاوية الحرجة	$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$	θ_c الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي n_1 معامل الانكسار لوسط السقوط n_2 معامل الانكسار لوسط الانكسار

الألياف البصرية

مبدأ عملها	تُعد تطبيقًا تقنيًا مهمًا على الانعكاس الكلي الداخلي	
طريقة عملها	الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف يصطدم بالسطح الداخلي لليف البصري بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فينعكس الضوء جميعه ولا ينفذ أي جزء خلال الحد الفاصل	
وظيفتها	نقل الضوء من منطقة إلى أخرى	
فائدة	الألياف البصرية تحافظ على شدة الضوء على طول المسافة التي يمتدها الليف البصري	

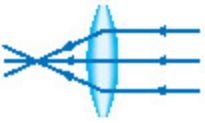
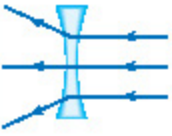
السراب

تعليل	في الصيف عندما تقود السيارة على الطريق فإنك ترى ما يبدو وكأنه انعكاس للسيارة القادمة في بركة ماء ؛ **علل** ؛ بسبب تسخين الشمس للطريق التي تسخن بدورها الهواء فوقها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المتنقل خلالها
تفسيره	• عندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نحو الطريق فإن معامل انكسار الهواء ينقص بسبب سخونة الهواء. • تنتقل موجات هويجنز ؛ مقدمات موجات الضوء ؛ القريبة من الأرض أسرع من التي في الأعلى مما يؤدي إلى انحراف الموجة تدريجياً إلى أعلى.
السراب القطبي	السراب القطبي يحدث عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه ؛ **علل** ؛ لأن الهواء القريب من الماء يكون بارداً

تفريق أو تحليل أو تشتت الضوء

المقصود به	تحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي
تعليل	اللون البنفسجي ينكسر أكبر من اللون الأحمر ؛ **علل** ؛ لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أبطأ منها للضوء الأحمر فيكون معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر
قوس المطر	**المقصود به:** طيف يتشكل عندما يتفرق ضوء الشمس بفعل قطرات الماء في الغلاف الجوي **كيفية حدوثه:** • ينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء؛ حيث ينكسر كل لون بزاوية مختلفة قليلاً بسبب التشتت. • يحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على السطح الخلفي للقطرة. • عند خروج الضوء يحدث له انكسار مرة أخرى ويتفرق. • كل قطرة تنتج طيفًا كاملاً إلا أنه يصل لون واحد إلى المراقب بسبب التفريق.
تعليل	نرى أحياناً قوس مطر ثانٍ باهت خارج الأول وله ترتيب ألوان معكوس ؛ **علل** ؛ بسبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء

أساسيات عن العدسات

العدسة	قطعة من مادة شفافة من الزجاج أو البلاستيك؛ تُستخدم في تركيز الضوء وتكوين الصور
نوعاها	عدسة محدبة ، عدسة مقعرة
العدسة المحدبة	• عدسة سميكة في وسطها وأصغر سُمكًا عند أطرافها. • العدسة المحدبة تُسمى العدسة المُجمعة ؛ علل ؛ لأنها تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمع في نقطة عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أصغر من معامل انكسارها. 
العدسة المقعرة	• عدسة وسطها أقل سُمكًا من أطرافها. • العدسة المقعرة تُسمى العدسة المُفرقة ؛ علل ؛ لأنها تُشتت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أصغر من معامل انكسارها. 

معادلتا العدسة

فائدة	العدسات الكروية الرقيقة هي عدسات لها وجوه مقوسة بتقوس الكرة نفسه	
(1) معادلة العدسة الرقيقة	$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_i}+\frac{1}{d_o}$	f البعد البؤري للعدسة الكروية d_i بُعد الصورة عن العدسة d_o بُعد الجسم عن العدسة
مثال توضيحي	تكوَّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة على بُعد 10.4 cm منها؛ فإذا كان البُعد البؤري للعدسة 6.8 cm فما بُعد الجسم؟ $\frac{1}{f}=\frac{1}{d_i}+\frac{1}{d_o}$ $\frac{1}{6.8}=\frac{1}{10.4}+\frac{1}{d_o}$ $\frac{1}{d_o}=\frac{45}{884} \Rightarrow d_o=\frac{884}{45}\approx 19.64\ \text{cm}$	
(2) معادلة التكبير	$m=\frac{h_i}{h_o}=\frac{-d_i}{d_o}$	m التكبير h_i طول الصورة h_o طول الجسم d_i بُعد الصورة عن العدسة d_o بُعد الجسم عن العدسة
البعد البؤري	المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة	
فائدة	البُعد البؤري للعدسة يعتمد على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها	

نظام الإشارات في معادلتي العدسة	البعد البؤري f		بُعد الصورة d_i		طول الصورة h_i ، التكبير m	
	+	−	+	−	+	−
	العدسة محدبة	العدسة مقعرة	الصورة حقيقية	الصورة خيالية	الصورة معتدلة	الصورة مقلوبة

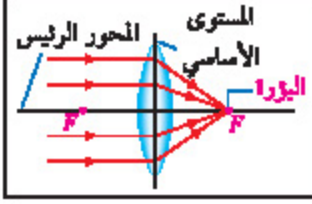
ملخص خصائص نظام العدسات الكروية

نوع العدسة	f	d_o	d_i	التكبير m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$	$2f > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$2f > d_o > f$	$d_i > 2f$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ سالب	مكبرة	خيالية
مقعرة	−	$d_o > 0$	$0 < \lvert d_i \rvert < \lvert f \rvert$ سالب	مصغرة	خيالية

تنبيهات
- الصورة الخيالية تكون في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم وبعدها يكون سالب.
- إذا كانت القيمة المطلقة للتكبير بين **صفر** و **1** فإن الصورة تكون **أصغر** من الجسم.
- إذا كانت القيمة المطلقة للتكبير **أكبر من 1** فإن الصورة تكون **أكبر** من الجسم.
- إذا كان التكبير **سالبًا** فإن الصورة تكون **مقلوبة** بالنسبة للجسم.
- العدسة المقعرة تُنتج صورًا خيالية فقط، بينما المحدبة تُنتج صورًا حقيقية أو خيالية.

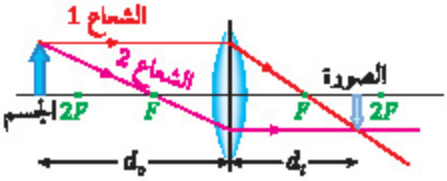
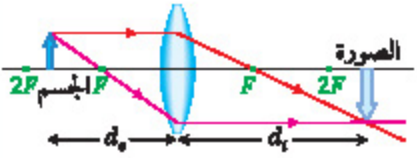
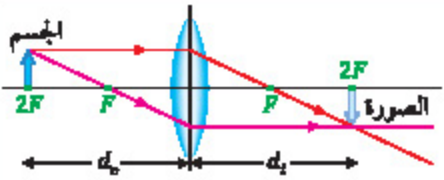
تجميع الأشعة بالعدسة المحدبة

فائدة	العدسة المحدبة تستخدم لحرق ورقة بتجميع أشعة الشمس المتوازية في بؤرة العدسة المحدبة
تنبيه	العدسة المحدبة لها بؤرتان؛ بؤرة في كل جانب من جوانبها

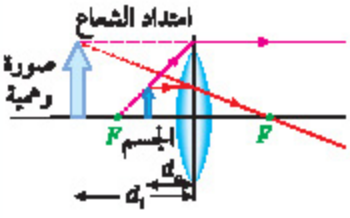


تكوين صور حقيقية بالعدسة المحدبة

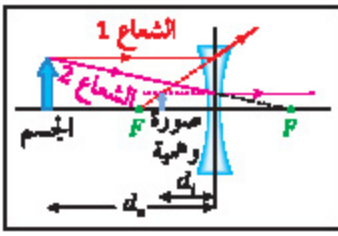
تنبيهات
- الشعاع الساقط **موازيًا للمحور الرئيس** لعدسة محدبة ينكسر **مارًا بالنقطة F** في الجانب الآخر.
- الشعاع الساقط **مارًا بالنقطة F** في طريقه لعدسة محدبة ينكسر **موازيًا للمحور الرئيس**.
- موقع صورة الجسم هو نقطة تقاطع الشعاعين.

الحالة (1)	• موقع الجسم: يقع على مسافة أكبر من ضعفي البعد البؤري. • موقع الصورة: تقع على مسافة أكبر من البعد البؤري وأصغر من ضعفه. • صفات الصورة: حقيقية مقلوبة مصغرة بالنسبة للجسم. 
الحالة (2)	• موقع الجسم: يقع على مسافة أكبر من البعد البؤري وأصغر من ضعفه. • موقع الصورة: تقع على مسافة أكبر من ضعفي البعد البؤري. • صفات الصورة: حقيقية مقلوبة مكبرة بالنسبة للجسم. 
فائدة	الحالة (1) عكس الحالة (2)
الحالة (3)	• موقع الجسم: يقع على مسافة تساوي ضعفي البُعد البؤري ؛ عند النقطة 2F . • موقع الصورة: تقع على مسافة تساوي ضعفي البُعد البؤري. • صفات الصورة: حقيقية مقلوبة مساوية للجسم. 

تكوين صور خيالية بالعدسة المحدبة

تعليل	لا تتكون صورة عندما يُوضع جسم في بؤرة عدسة محدبة ؛ علل ؛ لأن الأشعة ستنكسر في حزمة متوازية
حالة تكوين الصورة الخيالية	• موقع الجسم: يقع بين البؤرة والمستوى الأساسي للعدسة. • موقع الصورة: تقع في جانب العدسة نفسه الذي يُوجد فيه الجسم. • صفات الصورة: خيالية معتدلة مكبرة. 
فائدة	الصورة الخيالية تتحدد برسم امتدادات الأشعة التي لا تمر فعلاً من خلال العدسة

تكوين الصورة الخيالية بالعدسة المقعرة

فائدة	العدسة المقعرة تفرق الأشعة كلها	
الحالة الوحيدة	• موقع الجسم: أمام العدسة المقعرة « في أي مكان ». • موقع الصورة: في نفس الجهة التي فيها الجسم. • صفات الصورة: خيالية معتدلة مصغرة.	

عيوب العدسات الكروية

الزوغان الكروي	• المقصود به: عدم قدرة العدسات الكروية على تجميع الأشعة المتوازية كلها في نقطة واحدة. • سببه: اتساع سطح العدسة. • ينتج عنه: صورة مشوشة غير تامة. • علاجه: الزوغان الكروي يُعالج باختيار نصفي قطرين مناسبين للعدسة.
الزوغان اللوني	• المقصود به: تشتت الضوء الذي يمر خلال العدسة قليلاً وخصوصاً بالقرب من الأطراف. • ينتج عنه: الجسم يظهر من خلال العدسة محاطًا بالألوان. • سببه: استخدام عدسة مفردة تعمل مثل المنشور. • تخفيض أثره: عن طريق استخدام العدسات اللالونية.
العدسات اللالونية	• المقصود بها: نظام مكون من عدستين أو أكثر مثل عدسة محدبة مع عدسة مقعرة لهما معاملا انكسار مختلفين. • فائدة: التشتت الذي تسببه العدسة المحدبة يُلغى تقريبًا بالتشتت الذي تسببه العدسة المقعرة.

العين البشرية

وصفها	أداة بصرية مملوءة بسائل، وهي على هيئة وعاء كروي تقريبًا يسمى مُقلة العين
كيفية تكوينها للصور	(١) ينتقل الضوء المنبعث من الجسم أو المنعكس عنه إلى داخل العين عبر القرنية. (٢) الضوء يمر خلال العدسة ويتركز على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. (٣) الخلايا المتخصصة في الشبكية تمتص الضوء وترسل المعلومات المتعلقة بالصورة إلى الدماغ عن طريق العصب البصري.
تعليل	الضوء الداخل إلى العين يتركز عن طريق القرنية وليس العدسة « علل » لأن فرق معامل الانكسار بين الهواء والقرنية أكبر مما هو بين العدسة وما قبلها وبعدها

عدسة العين	مسؤولة عن التركيز الدقيق الذي يسمح برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام
العضلات المحيطة بالعين	بواسطة عملية التكيّف تستطيع العضلات المحيطة بالعين أن تجعل عدسة العين تنقبض أو تنبسط مما يؤدي إلى تغير بُعدها البؤري .. • عندما ترتخي العضلات يزداد البعد البؤري للعدسة فتتركز صورة الجسم البعيد على الشبكية. • عندما تنقبض العضلات يقصر البعد البؤري للعدسة فتتركز صورة الجسم القريب على الشبكية.

قصر النظر وطول النظر

فائدة	عيون بعض الناس لا تُركز صوراً واضحة على الشبكية بدقة
تعليل	حاجة بعض الناس إلى العدسات الخارجية ـ نظارات أو عدسات لاصقة ـ « علل » لضبط البُعد البؤري وتحريك الصور لتقع على الشبكية
قصر النظر	• المقصود به: عيب في الرؤية لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح. • أسبابه: البُعد البؤري للعين يكون أصغر من الطبيعي فتتكون الصور أمام الشبكية. • علاجه: تُستخدم عدسات مقعرة لتُفرق الضوء فيزداد بُعد الصورة وتتكوّن على الشبكية.
طول النظر	• المقصود به: عيب في الرؤية لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح. • أسبابه: البُعد البؤري للعين يكون أكبر من الطبيعي فتتكون الصور خلف الشبكية. • علاجه: تُستخدم عدسات محدبة تُكون صوراً خيالية أبعد عن العين من أجسامها فتصبح هذه الصور أجساماً بالنسبة لعدسة العين وتتركز على الشبكية.
تعليل	فوق سن 45 عام تحدث للأشخاص حالة مشابهة لطول النظر « علل » لأن صلابة عدسة العين تزداد فلا تستطيع العضلات تقصير البُعد البؤري بما يكفي لتركيز صور الأجسام القريبة على الشبكية

التلسكوب « المنظار الفلكي » الكاسر

استخدامه	التلسكوب الكاسر يستخدم العدسات لتكبير الأجسام البعيدة
طريقة عمله	(١) أشعة الضوء المتوازية « القادمة من النجوم والأجسام الفلكية البعيدة » تدخل العدسة الشيئية المحدبة فتتركز بوصفها صورة حقيقية مقلوبة عند بؤرة العدسة الشيئية. (٢) الصورة المتكونة تصبح جسماً بالنسبة للعدسة العينية المحدبة بحيث تقع بين العدسة العينية وبؤرتها فتتكون صورة خيالية معتدلة أكبر من الصورة الأولى. (٣) الصورة النهائية تبقى مقلوبة بالنسبة للجسم لأن الصورة الأولى كانت مقلوبة.
تعليل	في المنظار الفلكي تُستخدم عدسات لاونية « علل » للتخلص من الزوغان اللوني

المنظار

استخدامه	يُكوّن صورًا مكبرة للأجسام البعيدة
طريقة عمله	(١) الضوء يدخل للعدسة الشيئية المحدبة فتقلب الصورة. (٢) ينتقل الضوء في المنظار عبر منشورين ؛ هلل ؛ ليقلبا الصورة ثانية عن طريق الانعكاس الكلي الداخلي.
فائدة المنشورين	• إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. • زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين مما يُحسن الرؤية ثلاثية الأبعاد للجسم البعيد.

آلات التصوير: آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة

آلية عملها	(١) يدخل الضوء لآلة التصوير عبر عدسة لالونية. (٢) يعمل نظام العدسة على كسر الضوء كما في العدسة المحدبة المفردة فتتكون على المرآة العاكسة صورة مقلوبة تنعكس إلى أعلى باتجاه المنشور الذي يعكس الضوء باتجاه عين المشاهد. (٣) عند الضغط على زر الغالق تُرفع المرآة لفترة وجيزة وينتقل الضوء في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

المجهر « الميكروسكوب »

استخدامه	المجهر يُستخدم في مشاهدة الأجسام الصغيرة
طريقة عمله	(١) يُوضع الجسم بين العدسة الشيئية ومركز تكورها فتتكون صورة حقيقية مقلوبة أكبر من الجسم. (٢) تُصبح هذه الصورة جسمًا للعدسة العينية تقع بينها وبين بؤرتها فتتكون صورة خيالية معتدلة مكبرة مقارنة بالصورة التي كونتها العدسة الشيئية فيرى المشاهد صورة مقلوبة أكبر من الجسم الأصلي.

الفصل ١٢ : التداخل والحيود

السلوك الموجي للضوء

الأدلة عليه	من الأدلة على أن الضوء يسلك سلوكًا موجيًا .. • الضوء يحيد عندما يمر بحافة. • الضوء يتداخل.
الضوء غير المترابط	ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة
تعليل	الضوء غير المترابط لا يظهر لنا متقطعًا أو غير مترابط « علل » لأن تردد موجات الضوء كبير جدًا

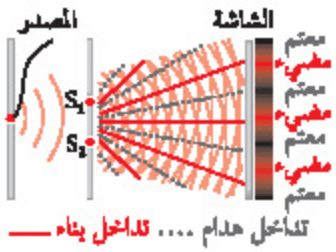
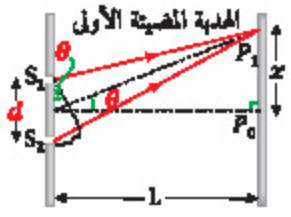
تداخل الضوء المترابط « المتزامن »

الضوء المترابط	الضوء الناتج عن تراكب ضوأيْ مصدرين أو أكثر مُشكلاً مقدمات موجة منتظمة
تنبيه	التداخل يحدث نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة
تجربة توماس يونج « تجربة الشق المزدوج »	• أثبت أن للضوء خصائص موجية حيث أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقين. • لاحظ يونج عند تداخل الضوء الخارج من الشقين تَوَلُّد حزم مضيئة وأخرى معتمة سماها أهداب التداخل. • فسر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البناء والتداخل الهدام للموجات الضوئية الصادرة من الشقين في الحاجز.
تنبيهات على تجربة الشق المزدوج	• في تجربة الشق المزدوج يُستخدم ضوء أحادي اللون « ضوء له طول موجي واحد ». • التداخل البنّاء يُنتج حزمة ضوئية مركزية مضيئة بلون معين « هدبًا مضيئًا » ويُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا. • شدة إضاءة الأهداب المضيئة تتناقص كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. • في تجربة الشق المزدوج بين الأهداب المضيئة تُوجد أهداب معتمة « علل » بسبب حدوث تداخل هدام. • مواقع حزم التداخل البنّاء والهدام تعتمد على الطول الموجي للضوء.
فائدة	استخدام ضوء أبيض في تجربة الشق المزدوج يُسبب ظهور أطياف ملونة، وفي الهدب المركزي المضيء تتداخل الأطوال الموجية تداخلاً بناءً فيكون أبيضًا دائمًا

تداخل الشق المزدوج

توليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط	(١) وضع يونج حاجزاً ضوئياً ذا شق ضيق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. (٢) في تجربة يونج ينفذ من الشق الجزء المترابط من الضوء فقط ؛ علل ؛ لأن عرض الشق صغير جداً. (٣) الجزء الذي ينفذ من الضوء يحيد عن طريق الشق وتتولد مقدمات موجة أسطوانية. (٤) في تجربة يونج جزءا مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقين متفقين في الطور ؛ علل ؛ بسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية. (٥) ينتج عن الشقين في الحاجز الثاني مقدمات موجة مترابطة وأسطوانية. (٦) تتداخل الموجتان بعد ذلك تداخلاً بنّاءً أو هدامًا حسب العلاقة بين طوريهما.
نوعا التداخل	• تداخل بنّاء: ينتج عنه أهداب مضيئة. • تداخل هدام: ينتج عنه أهداب معتمة.

قياس الطول الموجي من تجربة شقي يونج

توضيح	• الشكل يُبين منظراً علوياً لمقدمات موجة أسطوانية في تجربة شقي يونج. • تتداخل مقدمات الموجة تداخلات بنّاءة وهدامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة.	
تحليل الهدبة المضيئة الأولى في تجربة يونج	• عند النقطة P_0 : للموجتين الطور نفسه لذلك تتداخلان تداخلاً بنّاءً لتكوين الهدب المركزي المضيء. • عند النقطة P_1 : تتكوّن الهدبة المضيئة الأولى لأن إحدى الموجتين تتحرك مسافة أطول من الأخرى بمقدار طول موجي واحد λ .	
المسافة بين الهدب المركزي وهدب مضيء رتبته m	$m\lambda = \frac{x_m d}{L}$	m رتبة الهدب المضيء ؛ $m = 0, 1, 2, \cdots$ λ الطول الموجي للضوء المستخدم x_m المسافة بين الهدب المضيء والهدب المركزي d المسافة بين الشقين L المسافة بين الشقين والشاشة

مثال توضيحي	ينبعث ضوء برتقالي مصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm ، ويسقط على شقين البعد بينهما 1.9×10^{-5} m ؛ ما المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب الأصفر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعد مسافة 0.6 m من الشقين؟ $m\lambda=\frac{x_m d}{L} \Rightarrow x_m=\frac{m\lambda L}{d}=\frac{1\times596\times10^{-9}\times0.6}{1.9\times10^{-5}}=0.0188$ m

التداخل في الأغشية الرقيقة

تعريفه	{ ظاهرة ينتج عنها طيف من الألوان بسبب التداخل البنّاء والتداخل الهدام لموجات الضوء المنعكسة عن الغشاء الرقيق }	
مثال عليه	ألوان الطيف التي تُكونها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عالم على سطح الماء	
العلاقة الرياضية	$2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{n_{\text{الغشاء}}}$ تنبيه: لأقل سمك $m=0$	d سُمك الغشاء m عدد صحيح ، $m=0,1,2,\cdots$ $\lambda_{\text{الفراغ}}$ الطول الموجي للضوء في الفراغ $n_{\text{الغشاء}}$ معامل انكسار مادة الغشاء λ الطول الموجي للضوء في الهواء $\lambda_{\text{الغشاء}}$ الطول الموجي للضوء في الغشاء
تعزيز اللون	• المقصود به: جعل شدة الإضاءة أكبر لضوء منعكس أحادي اللون. • شرط حدوثه: تحقق الشرط .. $d=\frac{\lambda}{4}=\frac{\lambda_{\text{الغشاء}}}{4}=\frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{4n_{\text{الغشاء}}}$	
مثال توضيحي	ما أقل سُمك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بناءً مع نفسه؟ لأقل سمك فإن $m=0$ .. $2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{n_{\text{الغشاء}}} \Rightarrow d=\frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{4n_{\text{الغشاء}}}=\frac{521\times10^{-9}}{4\times1.33}=9.79\times10^{-8}$ m	
تعليلان	• الغشاء الرقيق متغير السُمك: تتكوّن فيه ألوان قوس المطر ؛ علل ؛ لأن شرط التداخل البنّاء للطول الموجي سيتحقق عند سماكات مختلفة للألوان المختلفة. • الغشاء الرقيق جدًا: يبدو معتمًا ؛ علل ؛ لأنه لا يُنتج تداخلاً بناءً لأي طول موجي من ألوان الضوء.	
فراشة المورفو	• يحدث تداخل الغشاء الرقيق طبيعيًا في جناحي فراشة المورفو. • ينتج نمطًا من اللون الأزرق المتلألئ فتظهر الفراشة وكأنها تصدر وميضًا.	

حيود الشق الأحادي

نمط الحيود	{ نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لموجات هويجنز }
حيود الضوء الأزرق	• عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شق صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإنه يحيد عن كلتا الحافتين وتتكون أهداب مضيئة ومعتمة على الشاشة. • يتكوّن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكًا وأقل إضاءة على الجانبين. • عرض الحزمة المركزية المضيئة يزداد عندما نستخدم الضوء الأحمر بدل الأزرق.

نمط الحيود

تعليل	جميع أهداب التداخل المضيئة في تداخل الشق المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية لنمط حيود الشق الأحادي ؛ علل ؛ لأن تداخل الشق المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشق الأحادي للموجات الناتجة عن الشقين	
عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشق الأحادي	$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$	$2x_1$ عرض الحزمة المركزية المضيئة λ الطول الموجي للضوء L بُعد الشق عن الشاشة w عرض الشق
فائدتان	• يمكن حساب المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء وأي هدب معتم من العلاقة $x_m = \frac{m\lambda L}{w}$ وذلك لقيم $m = 1, 2, 3, \cdots$. • الحيود يزودنا بأداة لقياس الطول الموجي للضوء باستخدام عدد كبير من الشقوق.	
مثال توضيحي	يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق مفرد عرضه 0.095 mm ؛ فإذا كان بُعد الشق عن الشاشة يساوي 75 cm فما عرض الهدب المركزي المضيء؟ $x_m = \frac{m\lambda L}{w} = \frac{1\times546\times10^{-9}\times75\times10^{-2}}{0.0595\times10^{-3}} = 4.3\times10^{-3}\ m$	

محزوز الحيود

وصفه	أداة مكوّنة من عدة شقوق مفردة تُؤدي إلى حيود الضوء وتكوين نمط حيود ينتج عن تراكب أنماط حيود شق مفرد

استخداماته	• قياس الطول الموجي للضوء بدقة. • فصل الضوء وفق الأطوال الموجية.
تعليل	المسافة بين شقوق محزوز الحيود صغيرة جدًا « علل » لأن المحزوز يحوي آلاف الشقوق لكل سنتيمتر
أنواع المحزوز	• محزوز النفاذ. • محزوز طبق الأصل « المحزوز الفشائي ». • محزوز الانعكاس.
محزوز النفاذ	• يُصنع بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جدًا برأس من الألماس. • تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق. • المجوهرات المصنوعة بمحزوز النفاذ تُنتج طيفًا ضوئيًا.
المحزوز طبق الأصل « المحزوز الفشائي »	• النوع الأقل تكلفة من المحزوزات. • يُصنع بضغط صفيحة رقيقة من البلاستيك على محزوز زجاجي وعند سحب هذه الصفيحة خارج المحزوز يتكوّن على سطحها أثر عاكل للمحزوز الزجاجي.
محزوز الانعكاس	• يُصنع بحفر خطوط رفيعة جدًا على سطوح طبقة معدنية أو زجاج عاكس. • القرص المدمج DVD أو CD يعمل عمل محزوز انعكاس.

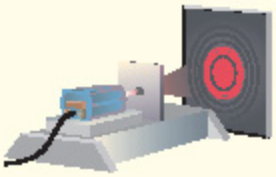
قياس الطول الموجي

المطياف	جهاز يستخدم لقياس الطول الموجي للضوء باستخدام محزوز الحيود	
معادلة محزوز الحيود	$\lambda = d \sin\theta$	λ الطول الموجي للضوء
	حيث أن ..	d المسافة الفاصلة بين الشقوق
	$\theta = \tan^{-1}\frac{x}{L}$	θ زاوية الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى
		L بعد الشاشة عن المحزوز
		x الفراغات بين الأهداب المضيئة
مثال توضيحي	سقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود فتكوّنت أهداب على شاشة على بُعد 1.05 m ؛ فإذا كانت الفراغات بين الأهداب 0.55 m فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟	

$$\lambda = d\sin\theta \rightarrow d = \frac{\lambda}{\sin\theta} = \frac{\lambda}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)\right)}$$

$$d = \frac{434\times10^{-9}}{\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{0.55}{1.05}\right)\right)} = 9.4\times10^{-7}\ \text{m}$$

قوة تمييز العدسات

العدسة المستديرة	تواجدها	المنظار الفلكي ، المجهر ، العينين
	وظيفتها	• تعمل كأنها ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. • تسبب حيوداً للضوء ، تماماً كما يفعل الشق الأحادي . • نمط الحيود الناتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة.
	 نمط الحيود لثقب دائري	
معيار ريليه	{ إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني تكون الصورتان في حدود التحليل « التمييز » }	
العلاقة الرياضية	$x_{\text{جسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{جسم}}}{D}$	$x_{\text{جسم}}$ المسافة الفاصلة بين جسمين $L_{\text{جسم}}$ المسافة من الفتحة إلى الجسمين λ الطول الموجي للضوء D قطر الفتحة المستديرة

العيوب في العين البشرية

فائدة	العين البشرية أكثر حساسية للون الأصفر والأخضر
خلايا المخاريط بالعين	• العين تبدو مثالية التركيب عندما تسجل المخاريط الثلاثة المتجاورة « خلايا حساسة في العين » ضوءاً وعتمة وضوءاً. • إذا كانت المخاريط قريبة جداً من بعضها فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصدر. • إذا كانت المخاريط متباعدة فإنها لا تستطيع تمييز التفاصيل الممكنة كلها.
تعليل	الحيود لا يحدّ من عمل العين « علل » لأن السائل الذي يملأ العين والعيوب في العدسة يقللان من قدرة التمييز للعين أكثر من الحيود بخمس مرات وفق معيار ريليه

الفصل ١ : الكهرباء الساكنة

الكهرباء الساكنة « الكهرستاتيكية »

تعريفها	{ دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتُحتجز في مكان ما }
من آثارها	• ظاهرة البرق. • انجذاب الشعر نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف.
الأجسام المشحونة بالدلك	• المقصود بها: الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًا بعد الدلك. • من أمثلتها: دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف، دلك قضيب زجاج بقطعة حرير.
نوعا الشحنات	• الشحنة السالبة: مثل الشحنة المُتكوِّنة على المطاط والبلاستيك عند دلكهما بالصوف. • الشحنة الموجبة: مثل الشحنة المُتكوِّنة على الزجاج عند دلكه بالحرير.
نوعا القوة بين الشحنات	• قوة تنافر: القوة بين الشحنات المتماثلة. • قوة تجاذب: القوة بين الشحنات المختلفة، القوة بين جسم مشحون وآخر متعادل.

الصورة المجهرية للشحنة

اكتشاف طومسون	المواد جميعها تحوي جسيمات صغيرة جدًا سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات
اكتشاف رذرفورد	هناك جسم مركزي ذو شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة يسمى النواة
تعليل	الذرة متعادلة كهربائيًا ؛ علل ؛ لأن الشحنة الموجبة في النواة مساوية للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة
فصل الشحنات	عند دلك جسمين متعادلين معًا فإن أحدهما يفقد إلكترونات ويصبح موجب الشحنة بينما يكتسب الآخر هذه الإلكترونات ويصبح سالب الشحنة
مبدأ حفظ الشحنة	{ الشحنة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تنتقل من جسم إلى آخر }
شحن قضيب مطاط بدلكه بالصوف	عند الدلك تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط فيُشحن المطاط بالسالب ويُشحن الصوف بالموجب

المواد العازلة والموصلة

المادة العازلة	• تعريفها: { المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنات بسهولة }. • من أمثلتها: الزجاج، الخشب الجاف، المواد البلاستيكية، الملابس، الجو الجاف، الكربون « الألماس ».
المادة الموصلة	• تعريفها: { المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة }. • من أمثلتها: النحاس، الألمنيوم، الكربون « الجرافيت »، البلازما.
تعليلات	• المواد البلاستيكية عوازل جيدة « علل » لأن إلكتروناتها لا تنفصل عن ذراتها بسهولة. • الفلزات موصلات جيدة « علل » لأن في كل ذرة إلكترونًا واحدًا على الأقل يمكن أن ينفصل عنها بسهولة؛ وهذه الإلكترونات تتحرك بحرية خلال قطعة الفلز. • الجرافيت أكثر موصلية من الألماس رغم أن كليهما يتركب من ذرات الكربون « علل » لأن ذرات الكربون في الجرافيت تُكوِّن 3 روابط قوية والرابعة ضعيفة تسمح للإلكترونات بحركة محدودة، أما في الألماس فترتبط مع 4 ذرات كربون أخرى بروابط قوية.

عندما يصبح الهواء موصلاً

تصنيف الهواء	الهواء مادة عازلة
متى يوصل الهواء؟	تحت ظروف معينة « حالة البلازما » تتحرك الشحنات خلال الهواء كما لو كان موصلاً
مُكوِّنات البلازما	• الذرات سالبة الشحنة. • الذرات موجبة الشحنة. • الإلكترونات.
تكوُّن البرق	تفريغ الشحنات بين الأرض والسحب الرعدية يُولِّد قوسًا مضيئًا لامعًا « البرق »
الشرارة الكهربائية	تفريغ الشحنات الذي يحدث بين مقبض الباب الفلزي واليد يسمى شرارة كهربائية

القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة

مقارنة القوة الكهربائية بقوة الجاذبية الأرضية	القوى الكهربائية	كبيرة تنتج تسارعًا أكبر	نوعان تجاذب وتنافر
	قوة الجاذبية الأرضية	صغيرة تنتج تسارعًا أصغر	قوة تجاذب فقط
تأثير القوة الكهربائية	• تؤثر الشحنات الكهربائية بعضها في بعض بقوى عن بُعد تزداد كلما تقاربت. • الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.		

عملية فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة	• سببها: قوة التجاذب والتنافر بين الشحنات في جسم مشحون مجاور لجسم متعادل. • حدوث البرق: الشحنات السالبة أسفل الغيوم الرعدية تؤدي إلى فصل الشحنات على سطح الأرض، ثم تنشئ الجسيمات المشحونة حرة الحركة مساراً موصلاً من الأرض إلى الغيوم يؤدي إلى تفريغ شحنات الغيمة فيحدث البرق.

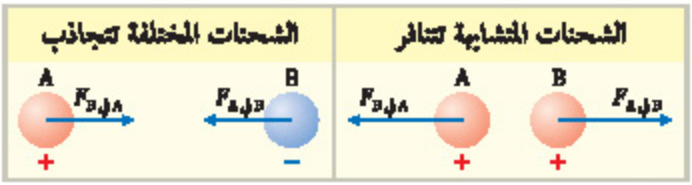
الكشاف الكهربائي

استخداماته	• الكشف عن الشحنات الكهربائية. • تحديد نوع شحنة الجسم.
تعليل	الورقتان الفلزيتان في الكشاف الكهربائي معلقتان داخل وعاء زجاجي مغلق « علل » للحد من تأثير تيارات الهواء على الورقتين

طرق الشحن

الشحن بالتوصيل	شحن الجسم المتعادل بملامسته جسماً آخر مشحوناً
الشحن بالحث	عملية شحن جسم متعادل دون ملامسته، وذلك بتقريب جسم مشحون إليه
التأريض	{ توصيل الجسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة }

الشحنة الكهربائية والقوة المتبادلة بين شحنتين

الشحنة الأساسية	مقدار شحنة الإلكترون أو البروتون
اتجاه القوة المتبادلة بين شحنتين	
القوة المتبادلة بين شحنتين	القوة التي تؤثر بها الشحنة q_B في الشحنة q_A « $F_{B\,on\,A}$ » تساوي في المقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B « $F_{A\,on\,B}$ » وتعاكسها في الاتجاه
تطبيقات القوى الكهرسكونية	تجميع السناج من المداخن لتقليل تلوث الهواء ، شحن قطرات الطلاء الصغيرة بالحث واستعمالها لطلاء السيارات ، في آلات التصوير الفوتوغرافي لوضع الحبر على الورق لتجنب تراكم الشحنة الساكنة على الفيلم لأنها تُتلف الفيلم إذا جذبت غباراً ، لإزالة أي شحنة بطريقة آمنة

قانون كولوم

نتائج تجارب كولوم	• أثبت كولوم أن القوة الكهربائية تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين مركزي الكرتين. • أثبت كولوم أن القوة الكهربائية تتناسب طرديًا مع مقدار شحنتي الكرتين.	
نص قانون كولوم	{ القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طرديًا مع مقدار كل من الشحنتين وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما }	
العلاقة الرياضية	$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$	F القوة المتبادلة بين الشحنتين [N] ، q_B مقدار الشحنة الثانية [C] K ثابت كولوم $[N.m^2/C^2]$ ، r المسافة بين الشحنتين [m] q_A مقدار الشحنة الأولى [C]
مثال توضيحي	تفصل مسافة مقدارها 0.3 m بين شحنة سالبة مقدارها 2×10^{-4} C وشحنة موجبة مقدارها 8×10^{-4} C ؛ ما مقدار القوة المتبادلة بين الشحنتين؟ علمًا أن ثابت كولوم 9×10^9 $N.m^2/C^2$. $F = K\frac{q_A q_B}{r^2} = (9\times10^9)\times\frac{(2\times10^{-4})(8\times10^{-4})}{0.3^2} = 16000$ N	

الفصل ٢ : المجالات الكهربائية

المجال الكهربائي

المقصود به	{ المجال الموجود حول أي جسم مشحون بحيث يُولِّد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون }
اتجاهه	• اتجاه المجال المؤثر على شحنة موجبة داخله في نفس اتجاه القوة. • اتجاه المجال المؤثر على شحنة سالبة داخله في عكس اتجاه القوة.

شدة المجال الكهربي

المقصود به	القوة المؤثرة في شحنة الاختبار مقسومةً على مقدار تلك الشحنة	
العوامل المؤثرة فيه	• مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار. • موقع شحنة الاختبار داخل المجال. **تنبيه:** شدة المجال الكهربائي لا تعتمد على مقدار شحنة الاختبار.	
العلاقة الرياضية	$E = \frac{F}{q'}$	E شدة المجال الكهربائي [N/C] F القوة المؤثرة في شحنة الاختبار [N] q' مقدار شحنة الاختبار [C]
شحنة الاختبار	• شحنة الاختبار شحنة موجبة موجودة على جسيم صغير تستعمل لاختبار المجال. • شحنة الاختبار صغيرة جداً ؛ **علل** ؛ حتى لا تؤثر بأية قوة في الشحنات الأخرى.	
مثال توضيحي	مجال كهربائي يؤثر بقوة مقدارها 2×10^{-4} N في شحنة اختبار موجبة 5×10^{-6} C ؛ ما مقدار المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟ $E = \frac{F}{q'} = \frac{2\times10^{-4}}{5\times10^{-6}} = 40$ N/C	

شدة المجال الكهربائي في نقطة

العوامل التي يعتمد عليها	• مقدار الشحنة المُولِّدة للمجال: علاقة طردية. • بُعد النقطة عن الشحنة المُولِّدة للمجال: علاقة عكسية مع مربع البعد.	
العلاقة الرياضية	$E = K\frac{q}{d^2}$	E شدة المجال الكهربائي [N/C] K ثابت كولوم [N.m²/C²] q مقدار الشحنة المُولِّدة للمجال [C] d بُعد النقطة عن الشحنة المُولِّدة للمجال [m]

اتجاه شدة المجال	• مبتعدًا عن الشحنة الموجبة المولدة للمجال. • نحو الشحنة السالبة المولدة للمجال.
مثال توضيحي	ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها 4.2×10^{-6} C ؟ إذا علمت أن ثابت كولوم 9×10^{9} N.m²/C² . $E = K\frac{q}{d^2} = (9\times10^{9}) \times \frac{(4.2\times10^{-6})}{1.2^2} = 2.6\times10^{4}$ N/C

القوة الناتجة عن المجال الكهربائي

وصفها	قوة كهربائية يؤثر بها المجال الكهربائي على أي شحنة توضع عند أي نقطة داخله	
العوامل المؤثرة في القوة	العوامل المؤثرة في مقدار القوة	العوامل المؤثرة في اتجاه القوة
	• شدة المجال الكهربائي. • مقدار الشحنة الموضوعة داخل المجال.	• اتجاه المجال الكهربائي. • نوع الشحنة الموضوعة داخل المجال.

خط المجال الكهربائي

تعريفه	{ خط يُستخدم لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة }
خصائصه	خطوط وهمية ، تنتشر شعاعيًا إلى خارج الشحنة الموجبة وإلى داخل الشحنة السالبة ، منحنية للمجالات الناتجة عن شحنتين أو أكثر ، لا يمكن أن تتقاطع

طاقة الوضع الكهربائية

وصفها	طاقة مختزنة في الشحنة عند بذل شغل عليها .. • لإبعادها عن شحنة مخالفة لها. • لتقريبها من شحنة مماثلة لها.
فائدة	تزداد طاقة الوضع الكهربائية المختزنة في الشحنة عند .. • زيادة مقدار الشحنة. • تحريك الشحنة في اتجاه معاكس لاتجاه القوة.
مولد فان دي جراف	جهاز يستخدم لتوليد الكهرباء الساكنة ذات الفولتية الكبيرة

فرق الجهد الكهربائي « الجهد الكهربائي أو الفولتية »

تعريفه	{ التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة داخل مجال كهربائي }
فائدة	فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين يعتمد على موقع النقطتين فقط

العلاقة الرياضية	$\Delta V = \frac{W}{q}$ $\Delta V = V_B - V_A$ حيث .. ΔV فرق الجهد الكهربائي $[V \equiv J/C]$ W الشغل المبذول على الشحنة $[J]$ q مقدار الشحنة $[C]$ V_B الجهد الكهربائي عند النقطة B $[V]$ V_A الجهد الكهربائي عند النقطة A $[V]$
مثال توضيحي	ما الشغل المبذول لتحريك شحنة 3 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 1.5 V ؟ $\Delta V = \frac{W}{q} \Rightarrow W = q\Delta V = 3 \times 1.5 = 4.5\ J$

سطح تساوي الجهد

تعريفه	{ موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفراً }
فائدة	فرق الجهد بين أيّ نقطتين على المسار الدائري حول الشحنة يساوي صفراً
تعليل	لا يُبذل شغلاً في تحريك شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة ؛ علل ؛ لأن القوة التي يؤثر بها المجال في شحنة الاختبار دائماً عمودية على اتجاه حركتها

التغير في فرق الجهد الكهربائي

إشارته	موجبة	• عند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن شحنة سالبة. • عند تقريب شحنة الاختبار الموجبة من شحنة موجبة.
	سالبة	• عند تقريب شحنة الاختبار الموجبة من شحنة سالبة. • عند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن شحنة موجبة.
العوامل التي يعتمد عليها	• المجال الكهربائي. • الإزاحة بين النقطتين. تنبيه: التغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار.	
لزيادة فرق الجهد الكهربائي	• فرق الجهد الكهربائي يزداد عند إبعاد الشحنات المختلفة بعضها عن بعض. • فرق الجهد الكهربائي يزداد عند تقريب الشحنات المتماثلة بعضها إلى بعض.	
لنقصان فرق الجهد الكهربائي	• فرق الجهد الكهربائي ينقص عند تقريب الشحنات المختلفة بعضها إلى بعض. • فرق الجهد الكهربائي ينقص عند إبعاد الشحنات المتماثلة بعضها عن بعض.	

المجال الكهربائي المنتظم

المقصود به	المجال الثابت في المقدار والاتجاه عند النقاط جميعها ما عدا النقاط عند حواف اللوحين
وصفه	لوحين فلزيين مستويين متوازيين أحدهما موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة
شكل خطوطه	متوازية والمسافة بينها متساوية
اتجاهه	من اللوح الموجب إلى اللوح السالب

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم

المقصود به	حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي المنتظم في المسافة التي تحركتها الشحنة	
العلاقة الرياضية	$\Delta V = Ed$	ΔV فرق الجهد الكهربائي [V] E شدة المجال الكهربائي المنتظم [N/C] d المسافة التي تحركتها الشحنة [m]
فالتذكر	• الجهد الكهربائي بالقرب من اللوح الموجب أكبر منه بالقرب من اللوح السالب. • الجهد الكهربائي يزداد كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي.	
مثال توضيحي	شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين 6000 N/C والمسافة بينهما 0.05 m ؛ احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما؟ $\Delta V = Ed = 6000 \times 0.05 = 300\ V$	

تجربة قطرة الزيت

الهدف منها	قياس شحنة الإلكترون	
استنتاج مُيكان	أقل تغير في الشحنة يساوي 1.6×10^{-19} C ويساوي شحنة الإلكترون	
العلاقة الرياضية	$F_e = F_g$ $F_e = qE$	F_e القوة الكهربائية [N] q شحنة قطرة الزيت [C] F_g وزن قطرة الزيت [N] E شدة المجال الكهربائي [N/C]
الشحنة مكماة	{ شحنة أي جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون }	
العلاقة الرياضية	$n = \frac{q}{e}$	n عدد الإلكترونات e شحنة الإلكترون [C] q شحنة قطرة الزيت [C]

مثال توضيحي	إذا عُلّقت قطرة زيت وزنها 1.9×10^{-15} N في مجال كهربائي مقداره 6×10^{3} N/C فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟ أولاً: مقدار شحنة القطرة .. $F_e = F_g \Rightarrow qE = F_g$ $\therefore q = \frac{F_g}{E} = \frac{1.9\times10^{-15}}{6\times10^{3}} = 3.2\times10^{-19}$ C ثانيًا: عدد فائض الإلكترونات .. $n = \frac{q}{e} = \frac{3.2\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 2$

أساسيات توزيع الشحنة

مبدأ توزيع الشحنة	الشحنات تتوزع بين الأجسام المتلامسة بنسبة مساحتها السطحية بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة صفرًا
انتقال الشحنات بين الأجسام المتلامسة	• الشحنات تنتقل تلقائيًا من الكرة ذات الجهد المرتفع إلى الكرة ذات الجهد المنخفض. • عند الاتزان؛ ينعدم فرق الجهد بين الكرتين ويتوقف انتقال الشحنات بينهما.
تأريض الأجسام	• المقصود به: وصل الأجسام بالأرض للتخلص من الشحنة الفائضة. • تطبيقاته: تأريض صهريج النفط لمنع اشتعال بخار البترين ، تأريض جهاز الحاسوب لمنع تلف الجهاز أو إيذاء شخص.

توزيع الشحنات على سطوح الموصلات

توزيع الشحنات على سطوح الموصلات	الشحنات تتوزع على سطح الموصل مبتعدة عن بعضها أبعد ما يمكن؛ ولذلك .. • طاقة النظام أقل ما يمكن. • القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة صفرًا. • لا يوجد مجال كهربائي أو مركبة للمجال موازية لسطح الموصل المشحون. • لا يوجد فرق جهد بين أي نقطتين على سطح الموصل المشحون. • سطح الموصل المشحون سطح تساوي جهد.
الموصل المصمت	الشحنات الفائضة تتوزع على سطح الموصل المصمت بانتظام

الموصل الأجوف	• الشحنات تتوزع على سطح الموصل الخارجي بانتظام. • لا توجد شحنات على سطح الموصل الداخلي.
الموصل غير المنتظم	الشحنات تتوزع على سطح الموصل الخارجي؛ وعند الرؤوس المدببة تكون .. • الشحنات أكثر قربًا بعضها من بعض أي أن كثافة الشحنة كبيرة. • خطوط المجال أكثر تقاربًا أي أن المجال الكهربائي أكبر.

المجال الكهربائي خارج الموصل المشحون

العوامل التي يعتمد عليها	• شكل الموصل. • فرق الجهد بين الموصل والأرض.
تعليل	تُجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء والسيابية الشكل ؛ علل ؛ لتقليل المجالات الكهربائية ومنع حدوث الشرارة الكهربائية
مانعات الصواعق	• يُثبت قضيب بطريقة تجعل المجال الكهربائي بالقرب من طرفه كبيراً. • الشحنات تنتقل من القضيب عبر موصل لتفرغ بصورة آمنة في الأرض.

السعة الكهربائية والمكثف الكهربي

السعة الكهربائية	{ النسبة بين شحنة الجسم وفرق الجهد الكهربائي عليه }
زجاجة ليدن	مخترعها: الفيزيائي الهولندي بيترفان مسجنبروك استخدامها: تخزين كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية
المكثف الكهربائي	موصلان مشحونان بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً يفصل بينهما عازل
استخدامه	يُستخدم في تخزين الشحنات الكهربائية
تعليلان	• في المكثفات؛ شرائط الألمنيوم المفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك ملفوفة بصورة أسطوانية ؛ علل ؛ كي يتقص حجمها ولا تشغل حيزاً كبيراً. • يجب عدم نزع غطاء التلفاز أو شاشة الحاسوب حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي ؛ علل ؛ لأن المكثفات فيها تبقى مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق الجهاز.
المكثفات الضخمة	تخزن شحنات تكفي لإحداث البرق الاصطناعي أو تشغيل الليزرات العملاقة

السعة الكهربائية لمكثف

تعريفها	{ النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما }
العوامل المؤثرة فيها	الأبعاد الهندسية للمكثف
عوامل لا تعتمد عليها سعة المكثف	• شحنة المكثف. • فرق الجهد بين لوحي المكثف.
التحكم في سعة المكثف	• تغيير مساحة سطح اللوحين. • تغيير طبيعة المادة العازلة بين اللوحين. • تغيير المسافة بين اللوحين.

قياس السعة الكهربائية

العلاقة الرياضية	$C = \frac{q}{\Delta V}$	C السعة الكهربائية للمكثف [F] q الشحنة على أحد اللوحين [C] ΔV فرق الجهد بين اللوحين [V]
مثال توضيحي	مكثف سعته 27 μF وفرق الجهد بين لوحيه يساوي 45 V ؛ ما مقدار شحنة المكثف؟ $C = \frac{q}{\Delta V} \rightarrow q = C\Delta V = (27\times10^{-6})(45) = 1.215\times10^{-3}\ C$	

الفصل ٣ : الكهرباء التيارية

الطاقة

وسيلة نقلها	الطاقة الكهربائية تُعد الوسيلة الأمثل لنقل الطاقة مسافات كبيرة دون ضياع كميات منها
من أشكالها	الطاقة الكهربائية ، الطاقة الكيميائية ، الطاقة الصوتية ، الطاقة الضوئية ، الطاقة الحرارية ، الطاقة الحركية

التيار الكهربائي

تعريفه	{ تدفق الجسيمات المشحونة }
التيار الاصطلاحي	{ تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب }
مصادر الطاقة الكهربائية	الخلية الجلفانية « خلية الفولتية » ، الخلية الشمسية « خلية الفولتية الضوئية »
البطارية	{ جهاز مصنوع من عدة خلايا جلفانية متصل بعضها ببعض، تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية }

الدوائر الكهربائية

تعريفها	{ حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية }
مكوناتها	• مضخة للشحنات: تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة. • أداة كهربائية: تعمل على تقليل طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة.
تحليل	في دائرة المولد والمحرك؛ لا تصل كفاءة توليد التيار الكهربائي واستعماله إلى 100% ؛ علل ؛ لأنه تنتج بعض الطاقة الحرارية نتيجة الاحتكاك والمقاومة الكهربائية
مبدأ حفظ الشحنة	{ الشحنات لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن فصلها }
مبدأ حفظ الطاقة	• التغير الكلي في طاقة وضع الشحنات الكهربائية المتحركة خلال دورة كاملة في الدائرة الكهربائية = صفرًا. • الزيادة في فرق الجهد الناتج = النقصان في فرق الجهد المستهلَك.

القدرة الكهربائية

تعريفها	{ المعدل الزمني لتحوُّل الطاقة }

العلاقة الرياضية	$P = IV$	P القدرة الكهربائية [W] V فرق الجهد [V] I التيار الكهربائي [A]
مثال توضيحي	إذا مر تيار كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100 % . $P = IV = 0.5 \times 125 =$ 62.5 W	
العوامل المؤثرة في الطاقة الكهربائية	• كمية الشحنة المنقولة. • فرق الجهد بين طرفي المسار الذي يتحرك فيه التيار.	
العلاقات الرياضية	$E = Pt$ $E = qV$	E الطاقة الكهربائية [J] V فرق الجهد [V] t الزمن [s] q كمية الشحنة [C] P القدرة [W]
مثال توضيحي	يمر تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشغيل في محرك سيارة؛ فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10 s ؟ $P = IV = 210 \times 12 = 2520$ W $E = Pt = 2520 \times 10 =$ 25200 J	
شدة التيار	{ المعدل الزمني لتدفق الشحنة الكهربائية }	
العلاقة الرياضية	$I = \frac{q}{t}$	I التيار الكهربائي [A] q كمية الشحنة [C] t الزمن [s]

قانون أوم

نصه	{ التيار الكهربائي يتناسب طرديًا مع فرق الجهد }	
العلاقة الرياضية	$R = \frac{V}{I}$	R المقاومة الكهربائية [Ω] I التيار الكهربائي [A] V فرق الجهد [V]
مثال توضيحي	إذا رُصل محرك بمصدر جهد وكانت مقاومة المحرك أثناء تشغيله 33 Ω ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A فما مقدار جهد المصدر؟ $R = \frac{V}{I} \Rightarrow V = IR = 3.8 \times 33 =$ 125.4 V	
المقاومة الكهربائية	{ خاصية تحدد مقدار التيار المتدفق وتساوي نسبة فرق الجهد إلى التيار }	
الأوم	{ مقاومة موصل يمر فيه تيار 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V }	

العوامل التي تعتمد عليها مقاومة الموصلات الفلزية

الطول	المقاومة تزداد بزيادة الطول
مساحة المقطع العرضي	المقاومة تزداد بنقصان مساحة المقطع العرضي
درجة الحرارة	المقاومة تزداد بزيادة درجة الحرارة
نوع المادة	المقاومة تتغير وفق نوع المادة المستخدمة

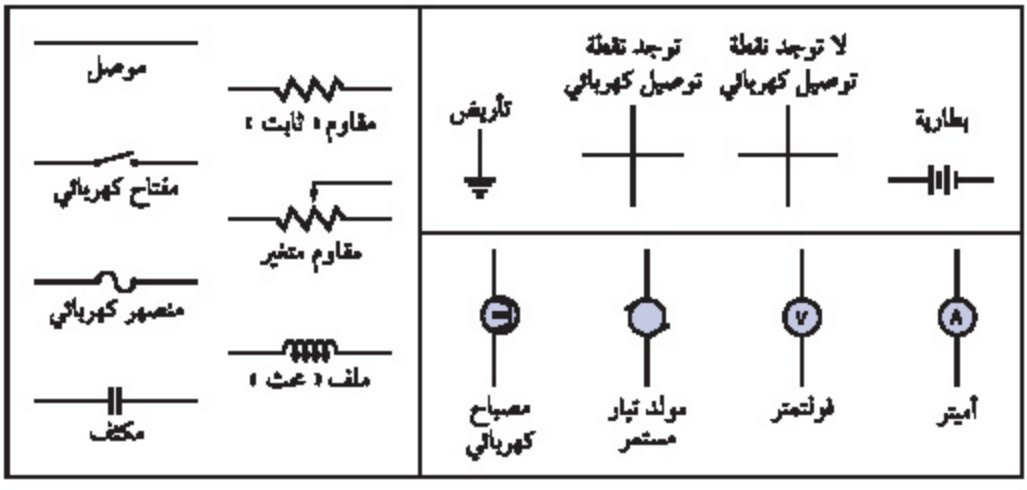
المقاوِم الكهربائي

تعريفه	{ جهاز ذو مقاومة محددة يُصنع من أسلاك رفيعة وطويلة أو من الجرافيت أو من مادة شبه موصلة }
وظيفته	التحكم في التيار المار في الدوائر الكهربائية أو في أجزاء منها
طُرق التحكم في شدة التيار	• تغيير فرق الجهد. • تغيير كلاً من فرق الجهد والمقاوِم الكهربائي. • تغيير المقاوِم الكهربائي.

المقاوِم المتغير

وصفه	ملف مصنوع من سلك فلزي مُزوَّد بنقطة اتصال متزلقة
عمله	تُحرك نقطة الاتصال على طول الملف فيتغير طول السلك وتتغير مقاومة الدائرة فيتغير التيار
استخداماته	• تعديل سرعة المحرك. • التحكم في مستويات الطاقة الكهربائية في التلفاز.

الرموز المستخدمة في الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية



الأميتر

استخدامه	قياس شدة التيار الكهربائي المار في عنصر في الدائرة
توصيله	على التوالي
التوصيل على التوالي	{ التوصيل في حالة وجود مسار واحد فقط للتيار في الدائرة }

الفولتمتر

استخدامه	قياس فرق الجهد الكهربائي بين طرفي عنصر في الدائرة
توصيله	على التوازي
التوصيل على التوازي	{ توصيل كهربائي يتفرع فيه التيار إلى مسارين أو أكثر }

تحوُّلات الطاقة في الدوائر الكهربائية

المحرك الكهربائي	من كهربائية إلى ميكانيكية	المدفأة الكهربائية	من كهربائية إلى حرارية
المصباح الكهربائي	من كهربائية إلى ضوئية وحرارية	السخان الكهربائي	من كهربائية إلى حرارية

القدرة المستنفدة في مقاوِم

العوامل المؤثرة فيها	• مربع التيار المار في المقاوِم.	• مقاومة المقاوِم.
العلاقات الرياضية	$P = \frac{V^2}{R}$ $P = I^2R$	P القدرة الكهربائية [W] V فرق الجهد [V] I شدة التيار الكهربائي [A] R المقاومة الكهربائية [Ω]
مثال توضيحي	يعمل سخان كهربائي مقاومته 10 Ω على فرق جهد مقداره 120 V ؛ احسب مقدار القدرة التي يستنفدها السخان. $P = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{10} = 1440\ W$	

تحوُّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية

تعليل	يسخن المقاوِم عند مرور تيار كهربائي فيه ؛ علل ؛ لأن الإلكترونات تتصادم مع ذرات المقاوِم فتزداد طاقة حركة الذرات وترتفع درجة حرارتها

العلاقات الرياضية	$E = Pt$ ، $E = I^2Rt$ ، $E = \frac{V^2}{R}t$ E الطاقة الكهربائية [J] ، t الزمن [s] ، R المقاومة الكهربائية [Ω] P القدرة الكهربائية [W] ، I شدة التيار الكهربائي [A] ، V فرق الجهد [V]
مثال توضيحي	يعمل سخان كهربائي مقاومته 15 Ω على فرق جهد مقداره 120 V ؛ احسب مقدار .. (a) التيار المار في مقاومة السخان. (b) الطاقة المستهلكة في مقاومة السخان خلال 30 s . (a) مقدار التيار .. $R = \frac{V}{I} \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{120}{15} = 8\ A$ (b) مقدار الطاقة المستهلكة .. $E = \frac{V^2}{R}t = \frac{120^2}{15} = 28800\ J$

الموصلات فائقة التوصيل

تعريفها	{ مادة مقاومتها صفر توصل الكهرباء دون ضياع في الطاقة }
الحصول عليها	عن طريق تبريد المواد إلى درجات حرارة منخفضة أقل من 100 K
استعمالاتها	• صناعة المغانط المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي. • المواد فائقة التوصيل تُستخدم في مُسرِّع الجسيمات السنكروترون ؛ علل ؛ لأنها تحتاج تيارات كهربائية ضخمة.

القدرة الضائعة

المقصود بها	معدل الطاقة الحرارية المتولدة في أسلاك التوصيل عند إمرار تيار كهربائي فيها	
طرق التقليل منها	• تقليل التيار. • تقليل المقاومة.	
الكيلوواط.ساعة	{ وحدة تستخدمها شركات الكهرباء لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة وهي تساوي قدرة مقدارها 1000 W تعمل بشكل مستمر لمدة ساعة }	
تكاليف الاستخدام	تكاليف الاستخدام = الطاقة × الثمن	الطاقة [kWh]

الفصل ٤ : دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

دائرة التوالي الكهربائية

تعريفها	{ الدائرة التي يمر في كل جزء من أجزائها التيار نفسه }
حفظ الشحنة الكهربائية	الشحنة لا تفنى ولا تُستحدث لذلك تكون كمية الشحنة الداخلة إلى الدائرة الكهربائية مساوية إلى كمية الشحنة الخارجة منها

المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التوالي

قيمتها	المقاومة المكافئة أكبر من أي مقاومة مفردة من المقاومات الموصولة على التوالي	
العلاقة الرياضية	$R = R_1 + R_2 + \cdots$ وإذا كانت المقاومات متساوية .. $R = nR_1$	R المقاومة المكافئة [Ω] $R_1, R_2, \ldots$ مقاومات الدائرة [Ω] n عدد المقاومات
التيار الكهربائي	• التيار نفسه يمر في المقاومات جميعها ويساوي التيار المار في المقاومة المكافئة. • إذا انقطع التيار عن مقاوم فإنه ينقطع عن المقاومات جميعها.	
حساب التيار الكهربائي	$I = \frac{V}{R}$	V جهد المصدر [V] R المقاومة المكافئة [Ω] I التيار الكهربائي [A]
فائدة	ثبات جهد المصدر في دائرة التوالي وإضافة مقاومات على التوالي للدائرة يؤدي إلى .. • زيادة المقاومة المكافئة. • نقصان تيار الدائرة.	
دوائر الإضاءة	عند توصيل مصباحين مختلفي القدرة الكهربائية على التوالي فإن المصباح ذو القدرة الأقل يكون أكبر سطوعًا حيث أن القدرة المستنفدة فيه أكبر لأن مقاومته أكبر	
مثال توضيحي	وُصلت المقاومات 5 Ω ، 15 Ω ، 10 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V ؛ ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟ $R = 5 + 15 + 10 = 30\ \Omega$ $I = \frac{V}{R} = \frac{90}{30} = 3\ A$	

الهبوط في الجهد

المقصود به	حاصل ضرب التيار المار في مقاوم في مقدار مقاومة ذلك المقاوم

العلاقة الرياضية	$V = IR$	V الهبوط في الجهد [V] I شدة التيار [A] R المقاومة الكهربائية [Ω]
العلاقة الرياضية	$V = V_1 + V_2 + \cdots$	V الهبوط في جهد المقاومة المكافئة [V] $V_1, V_2, \ldots$ الهبوط في جهود مقاومات الدائرة [V]
تعليل	مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر دائرة التوالي يساوي صفرًا ؛ **علل** ؛ لأن مصدر التيار يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار في جميع المقاومات	
مثال توضيحي١	تتكوّن دائرة كهربائية من بطارية جهدها 12 V وثلاثة مقاومات ؛ فإذا كان جهد أحد المقاومات 1.21 V وجهد مقاوم ثانٍ 3.33 V فما جهد المقاوم الثالث؟ $V = V_1 + V_2 + V_3 \Rightarrow V_3 = V - V_1 - V_2 = 12 - 1.21 - 3.33 = 7.46\ \Omega$	
مثال توضيحي٢	قام طالب بعمل مجزئ جهد مكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومين الأول 475 kΩ ، والثاني 235 kΩ ؛ فإذا قيس الجهد الناتج عبر المقاوم الأصغر فما مقدار هذا الجهد؟ $R = R_1 + R_2 = 475000 + 235000 = 710000\ \Omega$ $I = \frac{V}{R} = \frac{45}{710000} = 6.33\times10^{-5}\ A$ $V_2 = IR_2 = 6.33\times10^{-5} \times 235000 = 14.88\ V$	

أساسيات مجزئ الجهد

تعريفه	{ دائرة توالٍ تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير }
استخداماته	• يُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير. • يُستخدم مع مجسّات المقاومات الضوئية. • يُستخدم مع أجهزة قياس كمية الضوء المستخدمة في التصوير الفوتوغرافي.
المقاومات الضوئية	• وصفها: مجسّات تُصنع من مواد شبه موصلة مثل السيليكون أو السيليتيوم. • مقاومتها: تعتمد مقاومة المقاوم الضوئي على كمية الضوء الذي تسقط عليه.
دائرة مجسّ مقاوم ضوئي	• استخدامها: تُستخدم مقياسًا لكمية الضوء. • عملها: الدائرة الإلكترونية تكشف فرق الجهد وتحوله إلى قياس للاستضاءة.

دائرة التوازي الكهربائية

تعريفها	{ الدائرة التي تحوي مسارات متعددة للتيار الكهربائي }
التيار الكلي	التيار الكلي في دائرة التوازي مساوي لمجموع التيارات التي تمر في كل المسارات
فرق الجهد	الجهد متساوٍ في كل المسارات

المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التوازي

تعريفها	المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة من المقاومات الموصولة على التوازي	
العلاقة الرياضية	$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots$ إذا كانت المقاومات متساوية .. $R=\frac{R_1}{n}$	R المقاومة المكافئة [Ω] $R_1, R_2, \ldots$ مقاومات الدائرة [Ω] n عدد المقاومات
مثال توضيحي	وصلت ثلاثة مقاومات مقدارها 120 Ω ، 60 Ω ، 40 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12 V ؛ احسب المقاومة المكافئة لدائرة التوازي. $\frac{1}{R}=\frac{1}{120}+\frac{1}{60}+\frac{1}{40}=\frac{1}{20} \Rightarrow R=20\ \Omega$	

التيار الكهربائي في دوائر التوازي

التيار الكهربائي	• التيار المار في المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة معًا على التوازي يساوي مجموع التيارات الفرعية. • عند انقطاع التيار عن مقاوم لا ينقطع التيار عن بقية المقاومات.	
حساب التيار الكهربائي	$I=I_1+I_2+\cdots$	I التيار المار في المقاومة المكافئة [A] $I_1, I_2, \ldots$ التيارات الفرعية [A]
فائدة	ثبات جهد المصدر في دائرة التوازي وإضافة مقاومات على التوازي للدائرة يؤدي إلى .. • نقصان المقاومة المكافئة. • زيادة تيار الدائرة.	
دوائر الإضاءة	عند توصيل مصباحين مختلفي القدرة الكهربائية على التوازي فإن المصباح ذو القدرة الأكبر يكون أكبر سطوعًا حيث أن سطوع الإضاءة يتناسب طرديًا مع القدرة المستنفدة	

الأوميترات

استخدامها	تستخدم لقياس المقاومة الكهربائية لمقاوم
فائدتان	• بعض الأوميترات تستخدم جهودًا أقل من 1 V لتجنب إتلاف المكونات الحساسة. • بعض الأوميترات تستخدم منات الفولتات للتحقق من سلامة المواد العازلة.

أدوات السلامة

أهميتها	أدوات لمنع حدوث حمل زائد في الدائرة قد ينتج عن .. • تشغيل عدة أجهزة كهربائية في الوقت نفسه. • حدوث دائرة قصر في أحد الأجهزة.
من أمثلتها	المنصهرات ، قواطع الدوائر الكهربائية ، قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ

دائرة القصر

المقصود بها	دائرة كهربائية مقاومتها صغيرة جداً مما يجعل التيار فيها كبيراً جداً
تأثيرها	التيار الإضافي ينتج طاقة حرارية قد تكون كافية لصهر المادة العازلة للأسلاك فيؤدي ذلك إلى تلامس الأسلاك وحدوث دائرة قصر قد تحدث حريقًا

المنصهرات

المقصود بها	قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمر فيها تيار كبير
عملها	مرور تيار أكبر من التيار الذي تتحمله الدائرة يؤدي إلى انصهار القطعة وقطع التيار الكهربائي عن الدائرة وهذا يؤدي إلى حماية الدائرة من التلف

قواطع الدوائر الكهربائية

تعريفه	{ مفتاح كهربائي آلي يعمل على فتح الدائرة الكهربائية عندما يتجاوز مقدار التيار المار فيها القيمة المسموح بها }
عمله	عند مرور تيار كبير خلال الشريط الفلزي المزدوج يسخن الشريط ويتقوس لأنه مصنوع من فلزين مختلفين فيتحرر المزلاج ويتحرك ذراع المفتاح إلى وضع فتح الدائرة الكهربائية

قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ

تعريفه	{ جهاز يحوي دائرة إلكترونية تستشعر الفروق البسيطة في التيار الناتجة عن مسار إضافي للتيار فيعمل على فتح الدائرة مانعًا حدوث الصعقات الكهربائية }
استخدامه	يستخدم عادة في تأمين الحماية في الحمام والمطبخ والمنافذ الكهربائية الخارجية

الدوائر الكهربائية المركبة

تعريفات

الدائرة المركبة	{ دائرة معقدة تتضمن توصيلات على التوالي وعلى التوازي معًا }
الأميتر	{ جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي في الدائرة أو جزء منها }
الفولتمتر	{ جهاز يستخدم لقياس الهبوط في الجهد عبر جزء من الدائرة }

مقارنة

	استخدامه	توصيله في الدائرة	مقاومته
الأميتر	قياس التيار الكهربائي	على التوالي	صغيرة جدًا
الفولتمتر	قياس الهبوط في الجهد	على التوازي	كبيرة جدًا

تعليلان

- يوصل مع ملف الأميتر مقاومة صغيرة جدًا على التوازي ؛ **علل** ؛ لأنه يجب أن تكون مقاومته صغيرة جدًا بحيث لا يؤثر على تيار الدائرة.
- يوصل مع ملف الفولتمتر مقاومة كبيرة جدًا على التوالي ؛ **علل** ؛ لأنه يجب أن تكون مقاومته كبيرة جدًا بحيث يكون التغير في التيارات وفروق الجهد في الدائرة أقل ما يمكن.

مثال توضيحي

تحوي دائرة كهربائية ثلاثة مقاومات؛ يستنفد الأول قدرة 2 W ويستنفد الثاني قدرة 3 W ويستنفد الثالث قدرة 1.5 W ؛ ما مقدار التيار الذي تسحبه الدائرة من بطارية جهدها 12 V ؟

$$P = 2 + 3 + 1.5 = 6.5\ W$$

$$P = IV \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{6.5}{12} = 0.54\ A$$