تم تحميل وعرض المادة من

موقع كتبي



www.kottby.net

موقع كتبي يعرض لكم الكتب الدراسية الطبعة الجديدة
وحلولها، وشرح للمناهج الدراسية، توزيع المناهج، تحاضير،
أوراق عمل، نماذج إختبارات عرض مباشر وتحميل PDF

حمل التطبيق من هنا

احصل عليه من Google Play
تنزيل من App Store
احصل عليه من AppGallery

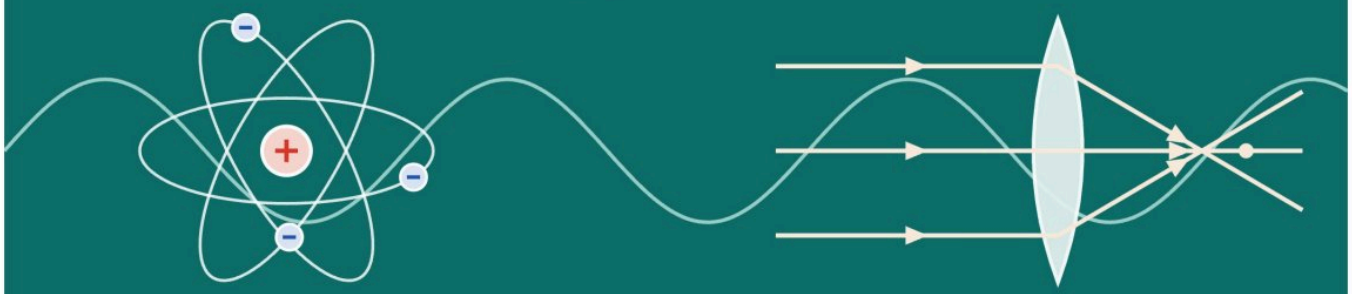
التعليم الثانوي

ملخصات الفيزياء 1-3

ملخصات مبسّطة ومصمّمة لدروس الكتاب، مع رسوم توضيحية
ودليل شامل للقوانين الرياضية

$$F = K\,q_A q_B / r^2$$

$$\lambda = v/f$$



$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

محتويات الملخصات

9 فصول · 22 درسًا · دليل القوانين

١ الفصل الأول — حالات المادة
٢ الفصل الثاني — الاهتزازات والموجات
٣ الفصل الثالث — الصوت
٤ الفصل الرابع — أساسيات الضوء
٥ الفصل الخامس — الانعكاس والمرايا
٦ الفصل السادس — الانكسار والعدسات
٧ الفصل السابع — التداخل والحيود
٨ الفصل الثامن — الكهرباء الساكنة
٩ الفصل التاسع — المجالات الكهربائية

إعداد

الأستاذ فؤاد الغامدي

معلم الفيزياء

شرح مبسّط · رسوم توضيحية · قوانين وخلاصات

يُسمح باستخدامه وإعادة نشره **مجانًا** ، ويُمنع **بيعه**

خصائص الموائع

ملخص الدرس · Properties of Fluids · صفحات الكتاب 11–20

الدرس 1-1

أهداف الدرس

١. أصف كيف تُحدث الموائع الضغط.
٢. أحسب ضغط الغاز وحجمه وعدد مولاته.
٣. أقارن بين الغازات والبلازما.

المفردات

الموائع · الضغط · باسكال · التمدد الحراري · البلازما · القانون العام للغازات · قانون الغاز المثالي

1 ما الموائع؟



صلب (مكعب جليد)
له شكل محدد لا يعتمد على شكل الإناء.



سائل · مائع
يتدفق ويأخذ شكل الإناء، وسطحه العلوي مستوٍ.



غاز · مائع
يتدفق وينتشر ليملأ الحيز، وليس له سطح محدد.

الموائع: مواد تتدفق وليس لها شكل محدد، وتشمل **السوائل والغازات**.
المائع المثالي: نموذج نفترض فيه أن جزيئاته لا تشغل حيزًا، ولا توجد بينها قوى تجاذب.

2 الضغط

قانون الضغط

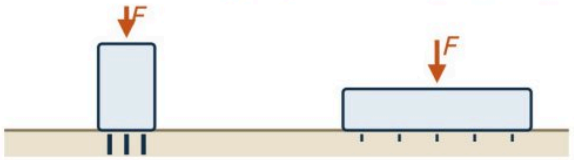
$$P = \frac{F}{A}$$

P	الضغط	Pa
F	القوة العمودية	N
A	مساحة السطح	m²

الضغط = القوة المؤثرة عموديًا في سطح ÷ مساحة ذلك السطح، وهو **كمية قياسية** (غير متجهة).

1 Pa = 1 N/m² · 1 kPa = 1000 Pa

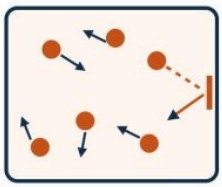
القوة نفسها... والمساحة تصنع الفرق



مساحة كبيرة ← ضغط صغير · مساحة صغيرة ← ضغط كبير

العلاقة: الضغط يتناسب **طرديًا** مع القوة، و**عكسيًا** مع المساحة.
لذلك: تحدث المركبة الفضائية الثقيلة حفرة في سطح القمر، بينما ضغط رائد الفضاء صغير جدًا.

3 من أين يأتي ضغط الغاز؟



① جزيئات تتحرك عشوائيًا وبسرعة، وتتصادم تصادمات مرنة.
② ارتطام الجزيء بالجدار يغيّر زخمه ← **دفع**.
③ دفعات التصادمات الكثيرة ← **ضغط الغاز**.

الضغط الجوي عند سطح البحر ≈ **100 kPa** ، ولا نشعر به لأنه يتعادل مع قوى الجسم المتجهة للخارج.

بعض قيم الضغط النموذجية (جدول 1-1)

مركز الشمس	2.44×10^{16} Pa
مركز الأرض	4×10^{11} Pa
أعمق أخدود	1.1×10^{8} Pa
الضغط الجوي	**1.013×10^{5} Pa**
قمة إفرست (الهواء)	3×10^{4} Pa
ضغط الدم	1.6×10^{4} Pa

طول الشريط حسب الأُس (مقياس لوغاريتمي).

قوانين الغازات The Gas Laws

4 خريطة القوانين: كلها من أصل واحد

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{ثابت}$$

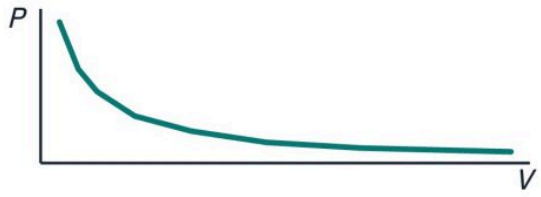
إذا ثبتت درجة الحرارة T ← **قانون بويل**: $P_1V_1 = P_2V_2$

إذا ثبت الضغط P ← **قانون شارلز**: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

لكمية محددة من الغاز، و**T** دائمًا بوحدة الكلفن K

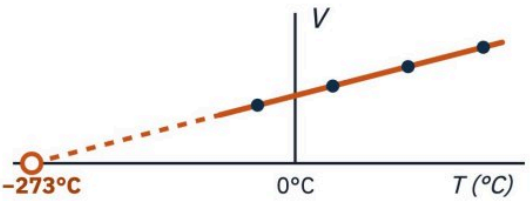
5 اقرأ العلاقة من الرسم

بويل – علاقة عكسية: حجم الغاز يتناسب عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.



في الواقع: فقاعات هواء الغوّاص يكبر حجمها وهي تصعد؛ لأن ضغط الماء عليها يقل.

شارلز – علاقة طردية: حجم الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته عند ثبوت الضغط.



يتقلص الغاز بمقدار 1/273 من حجمه لكل انخفاض 1 K. بمدّ الخط يصبح الحجم صفرًا عند **−273°C** = **الصفر المطلق (0 K)**.

6 قانون الغاز المثالي

$$PV = nRT$$

يصف الغازات بدقة جيدة، إلا عند الضغط العالي جدًا أو درجات الحرارة المنخفضة جدًا.

P الضغط	**Pa**
V الحجم	**m³**
n عدد المولات	**mol**
T درجة الحرارة	**K**
R الثابت العام	**8.31 Pa·m³/(mol·K)**

عدد أفوجادرو: المول الواحد = 6.022×10^{23} جزيء.

ثابت بولتزمان: $k = 1.38\times10^{-23}$ Pa·m³/K ويظهر في $PV/T = kN$

الكتلة من المولات: $m = M\,n$ (M الكتلة المولية)

7 الوحدات الصحيحة قبل التعويض

درجة الحرارة دائمًا بالكلفن	الحجم بـ m³ مع الثابت R	الضغط بالباسكال مع R
$T(K) = T(°C) + 273$	$1\ L = 10^{-3}\ m^3$	$1\ kPa = 10^3\ Pa$

التمدد الحراري والبلازما Thermal Expansion · Plasma

8 التمدد الحراري وتيارات الحمل

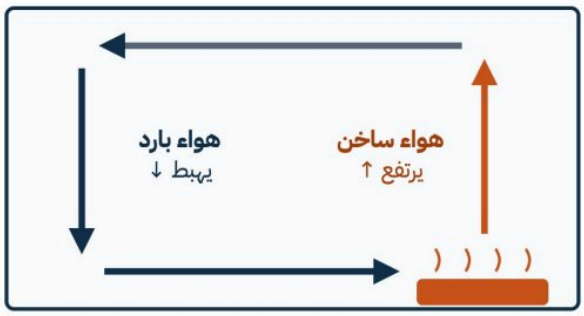
التمدد الحراري: عند تسخين المادة (صلبة أو سائلة أو غازية) **تقل كثافتها** وتتمدد لتشغل حيزًا أكبر.

مقدار التمدد عند التغير نفسه في درجة الحرارة



السوائل تتمدد أكثر بكثير من الصلبة، وأقل من الغازات.

نموذج السائل: تخيّله مادة صلبة مسحوقة ناعمًا؛ بالتسخين تتباعد مجموعات الجسيمات وتزداد الفراغات بينها فيتمدد.



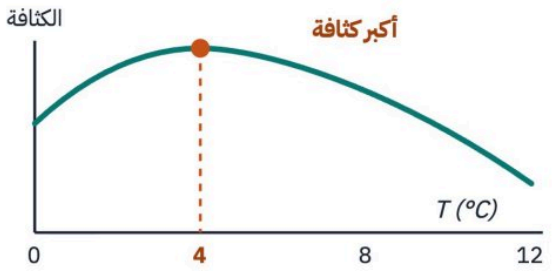
تيار الحمل: دوران الهواء في الغرفة بسبب اختلاف الكثافة، ويحدث مثله في وعاء ماء يُسخَّن من القاع.

9 الماء... الاستثناء المهم

من 0 إلى 4°C الماء **يتقلص** بدل أن يتمدد؛ لأن بلورات الجليد المتبقية (ذات التركيب المفتوح) تنهار وتزداد قوى الترابط بين الجزيئات.

فوق 4°C الماء **يتمدد** بسبب زيادة الحركة الجزيئية.

النتيجة: كثافة الماء أكبر ما تكون عند **4°C**، لذا **يطفو الجليد**. ولو غاص لتجمدت البحيرات من قيعانها، ولما انصهر كثير منها تمامًا صيفًا.



رسم توضيحي (غير مُقاس)

10 البلازما: حالة أخرى من حالات الموائع

صلب ← (تسخين) سائل ← (تسخين) غاز ← (تسخين شديد) بلازما

باستمرار تسخين الغاز تصبح التصادمات بين الجزيئات قوية بما يكفي **لانتزاع الإلكترونات من الذرات**، فتنتج أيونات موجبة.

البلازما: حالة شبه غازية من **إلكترونات سالبة وأيونات موجبة**.

معظم مادة الكون بلازما: مكونات النجوم، وغاز الهيدروجين بين النجوم والمجرات.

وجه المقارنة	الغاز	البلازما
التوصيل الكهربائي	لا يوصل	يوصل ✓
المكوّنات	ذرات وجزيئات	إلكترونات + أيونات موجبة
أمثلة	الهواء، بخار الماء	البرق، لافتات النيون، مصابيح الفلورسنت والصوديوم

★ خلاصة الدرس في سطور

- الموائع (سوائل وغازات) تتدفق وليس لها شكل محدد.
- ضغط الغاز ناتج عن تصادم جزيئاته بجدار الإناء.
- المواد تتمدد بالتسخين، والماء يشذّ بين 0 و4°C.
- الضغط = القوة ÷ المساحة، ووحدته الباسكال.
- بويل: عكسية بين P وV · شارلز: طردية بين V وT.
- البلازما غاز متأيّن يوصل الكهرباء.

القوى داخل السوائل

ملخص الدرس · Forces within Liquids · صفحات الكتاب 22–25

الدرس 1-2

أهداف الدرس

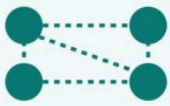
١. أصف كيف تسبب قوى التماسك التوتر السطحي.
٢. أصف كيف تسبب قوى التلاصق الخاصية الشعرية.
٣. أفسر التبريد التبخري ودور التكثف في تكوّن السحب.

المفردات

قوى التماسك · قوى التلاصق

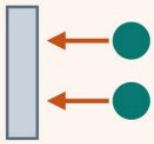
1 نوعان من قوى التجاذب (قوى كهرومغناطيسية)

قوى التماسك



قوى تجاذب بين جزيئات **المادة نفسها** (ماء ↔ ماء).

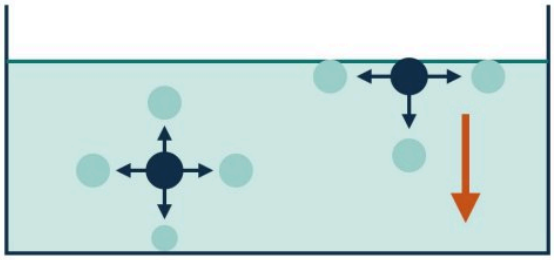
قوى التلاصق



قوى تجاذب بين جزيئات **مواد مختلفة** (ماء ↔ زجاج).

2 التوتر السطحي

التوتر السطحي: ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة، وسببه **قوى التماسك** بين جزيئات السائل.



على السطح: لا جذب لأعلى ← **داخل السائل:** جذب متساوٍ من كل الاتجاهات ← محصلة = صفر

محصلة إلى الداخل

النتيجة: تنضغط الطبقة العلوية قليلًا وتعمل كـ**غشاء مطاطي مشدود** يحمل الأجسام الخفيفة، مثل صرصور الماء، بل ومشبك ورق فولاذي رغم أن كثافة الفولاذ أكبر من الماء بتسع مرات.

لماذا القطرات كروية؟ لأن الكرة هي الشكل الذي له **أقل مساحة سطح** لحجم معين، مثل قطرات الندى على خيوط العنكبوت.

كلما زاد التوتر السطحي زادت ممانعة السائل لتحطّم سطحه.

قوة التماسك تحدد شكل القطرة على سطح مصقول



الزئبق
تماسك قوي جدًا ← قطرة كروية



الماء
تماسك متوسط ← قطرة متكوّرة



الكحول والإيثر
تماسك ضعيف ← قطرة مسطّحة

3 اللزوجة

اللزوجة: مقياس **للاحتكاك الداخلي** في السائل.

تنشأ من قوى التماسك والتصادمات بين الجزيئات، فتُبطئ تدفق السائل وتبدّد طاقته الميكانيكية. ولهذا يُستخدم زيت المحرك لتقليل احتكاك أجزائه المعدنية.

لزوجة منخفضة ← لزوجة عالية جدًا

الماء	زيت المحرك	اللابة
يتدفق بسهولة	يتدفق ببطء	من أشد الموائع لزوجة

الخاصية الشعرية والتبخر والتكثف

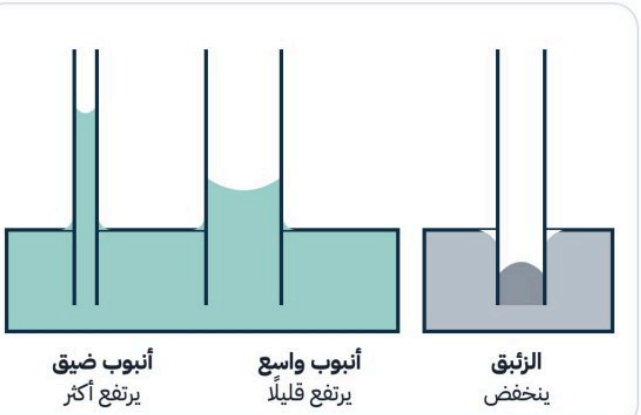
4 قوى التلاصق والخاصية الشعرية

الخاصية الشعرية: ارتفاع الماء في أنبوب زجاجي ضيق؛ لأن **التلاصق** (زجاج ↔ ماء) **أكبر من التماسك** (ماء ↔ ماء).

متى يتوقف؟ عندما يتوازن وزن الماء المرتفع مع قوة التلاصق الكلية بين الزجاج والماء.

لماذا يرتفع أكثر في الأنبوب الضيق؟ لأن زيادة نصف القطر تزيد حجم الماء ووزنه أسرع من زيادة مساحة سطح التلامس.

	الماء	الزئبق
الأقوى	التلاصق	التماسك
في الأنبوب	يرتفع ويصعد على جداره	لا يرتفع، وينخفض سطحه حوله



من تطبيقاتها: ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل · صعود الماء في التربة · ارتفاعه في جذور النبات

في النباتات: قوى التماسك تجعل عمود الماء متماسكًا داخل الأوعية فلا ينقطع، ولولا ذلك ما نمت الأشجار أعلى من 10 m تقريبًا.

5 التبخر والتبريد بالتبخر

التبخر: هروب الجزيئات ذات الطاقة الحركية الكبيرة من سطح السائل، متغلبةً على قوة التماسك المحصلة المتجهة إلى أسفل.

تفلت الجزيئات **الأسرع** (الأعلى طاقة) ← ينخفض **متوسط الطاقة الحركية** للجزيئات المتبقية ← تنخفض **درجة الحرارة** = تبريد

أمثلة: تبخر العرق يبرّد الجسم، وفرك الكحول على اليد يُشعر بالبرودة. الكحول من **السوائل المتطايرة**: تتبخر بسرعة لضعف قوى التماسك بين جزيئاتها.

لماذا نشعر بدفء أكبر في اليوم الرطب؟ لأن بخار الماء في الهواء كثير، فيقل تبخر العرق، ولا يبرّد الجسم نفسه بفاعلية.

6 التكثف

التكثف: عودة جزيئات البخار إلى الحالة السائلة عندما تنخفض طاقتها الحركية (درجة حرارتها)، فتصبح قوى التماسك كافية لمنعها من الإفلات.

سائل ⟵ تبخر / تكثف ⟶ بخار

الكأس الباردة
في جو حار ورطب ترتطم جزيئات بخار الماء بسطحها البارد فتفقد طاقتها وتتكثف عليه.

الضباب
يتكثف البخار حول ذرات الغبار مكوّنًا قطيرات قطرها نحو 0.01 mm؛ وغالبًا يتكوّن عندما يبرّد سطح الأرض البارد الهواء الرطب.

زجاجة المياه الغازية
عند فتحها ينخفض الضغط فجأة فيبرد الغاز ويتكثف بخار الماء فيه.

★ خلاصة الدرس في سطور

- التماسك: بين جزيئات المادة نفسها ← التوتر السطحي.
- اللزوجة احتكاك داخلي يبطئ تدفق السائل.
- التكثف عودة البخار إلى سائل عند فقد الطاقة.
- التلاصق: بين مواد مختلفة ← الخاصية الشعرية.
- التبخر يبرّد السائل المتبقي.
- الضباب قطيرات متكثفة حول ذرات الغبار.

الموائع الساكنة والموائع المتحركة

الدرس 1-3

ملخص الدرس · Fluids at Rest and in Motion · صفحات الكتاب 26–35

أهداف الدرس

١. أطبّق مبدأ باسكال على الآلات البسيطة.
٢. أطبّق مبدأ أرخميدس للطفو.
٣. أطبّق مبدأ برنولي على تدفق الهواء.

المفردات

مبدأ باسكال · قوة الطفو · مبدأ أرخميدس · مبدأ برنولي · خطوط الانسياب

1 مبدأ باسكال والرافعة الهيدروليكية

مبدأ باسكال: أي تغيّر في الضغط عند نقطة في مائع محصور **ينتقل بالتساوي** إلى جميع نقاط المائع.

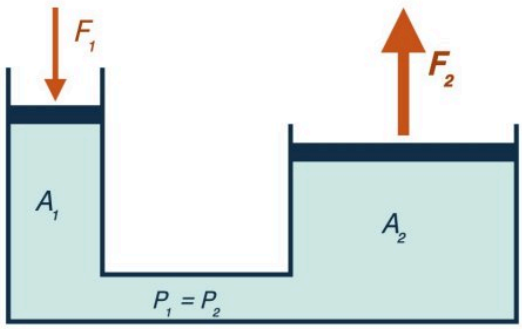
لاحظ باسكال أن ضغط المائع يعتمد على **العمق** فقط، ولا علاقة له بشكل الوعاء.

من حياتنا: عصر أنبوب معجون الأسنان من مؤخرته فيخرج المعجون من مقدمته، وضغط أحد طرفي بالون الهيليوم فينتفخ طرفه الآخر.

النظام الهيدروليكي: مائع محصور في حجرتين متصلتين، لكل منهما مكبس بمساحة مختلفة. الضغط ينتقل دون تغيير، لذلك:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \leftarrow \quad F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$

القوة على المكبس الكبير = القوة على الصغير × (نسبة المساحتين)؛ فالنظام **يضاعف القوة**.



قوة صغيرة على مساحة صغيرة ← قوة كبيرة على مساحة كبيرة

2 السباحة تحت الضغط: ضغط الماء على الجسم

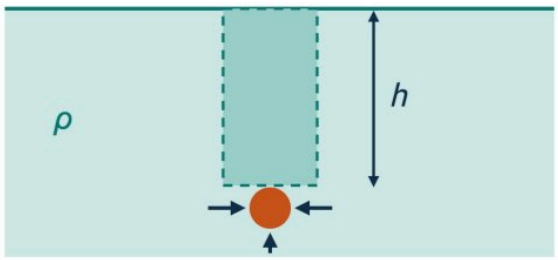
يزداد الضغط كلما غطست أعمق؛ لأنه ناتج عن **وزن عمود الماء** فوقك (بفعل الجاذبية). ورغم أن الجاذبية تسحب لأسفل، فالمائع ينقل الضغط **في جميع الاتجاهات**.

$$P = F/A \rightarrow F = mg = \rho Vg = \rho Ahg \rightarrow \boldsymbol{P = \rho hg}$$

$$P = \rho hg$$

ضغط المائع = كثافته × العمق × تسارع الجاذبية

ρ الكثافة kg/m³	h العمق m	g 9.80 m/s²



- تنطبق على **جميع الموائع**، لا الماء فقط.
- لو وُجد ماء على القمر لكان ضغطه عند أي عمق **سدس** قيمته على الأرض.
- الغواصات في أعمق الأخاديد تتعرض لضغط يزيد على 1000 ضعف الضغط الجوي.

الطفو ومبدأ أرخميدس Buoyancy

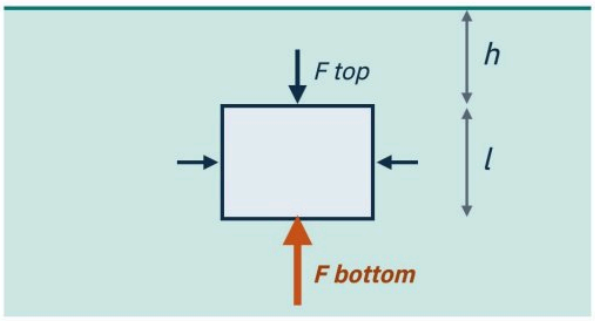
3 من أين تأتي قوة الطفو؟

قوة الطفو: قوة رأسية إلى أعلى تنشأ من **زيادة الضغط مع العمق**.

صندوق مغمور ارتفاعه l ومساحة وجهه A:

على الوجه العلوي (لأسفل)	$F_{top} = \rho h g A$
على الوجه السفلي (لأعلى) — أعمق فأكبر	$F_{bottom} = \rho (l+h) g A$
على الجوانب	متساوية ← محصلة أفقية = صفر

$$F_b = F_{bottom} - F_{top} = \rho l g A = \rho V g$$



القوة لأعلى على القاع أكبر من القوة لأسفل على السطح ← محصلة إلى أعلى

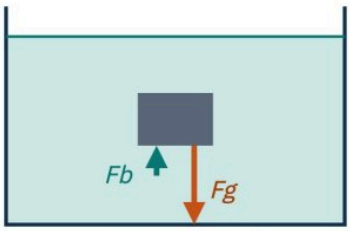
$$F_b = \rho_{fluid} V g$$

قوة الطفو = وزن المائع المُزاح

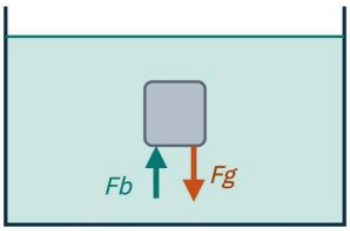
مبدأ أرخميدس: الجسم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي **وزن المائع الذي يزيحه**. ولا تعتمد على وزن الجسم نفسه، بل على حجمه وكثافة المائع.

4 يغوص أم يطفو؟ قارن الوزن بقوة الطفو

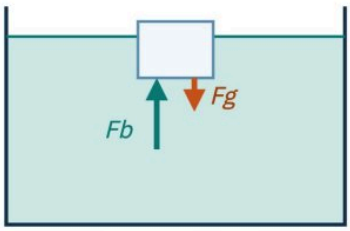
ثلاثة أجسام **لها الحجم نفسه** تُغمر في الماء، فتتأثر بقوة الطفو نفسها؛ والفرق في أوزانها:



قالب فولاذ: يغوص
الوزن **أكبر** من قوة الطفو



علبة صودا: تبقى معلّقة
الوزن **يساوي** قوة الطفو (طفو متعادل)



مكعب جليد: يطفو
الوزن **أقل** من قوة الطفو، فيرتفع حتى يتساوى وزن الماء المزاح مع وزنه

الوزن الظاهري $= F_g - F_b$
كل جسم في سائل وزنه الظاهري أقل من وزنه في الهواء. وصاحب الطفو المتعادل وزنه الظاهري صفر، لذلك يتدرّب رواد الفضاء في برك السباحة.

القاعدة العامة: يطفو الجسم إذا كانت **كثافته أقل** من كثافة المائع المغمور فيه، ويغوص إذا كانت أكبر.

5 تطبيقات مبدأ أرخميدس

السفن الفولاذية: جسمها مفرّغ وكبير فيصبح **متوسط كثافتها** أقل من الماء. والسفينة المحمّلة تنخفض في الماء أكثر من الفارغة.

الغواصات: تضخ الماء داخل حجراتها وخارجها فيتغير متوسط كثافتها، فتطفو أو تغطس.

الأسماك: تنفخ **مثانة العوم** لتزيح ماءً أكثر فتزيد قوة الطفو وترتفع، وتقلّصها لتنزل.

القارات: تطفو فوق مواد أكبر كثافة تحت السطح، وانجراف صفائحها شكّل مواقعها الحالية.

الموائع المتحركة: مبدأ برنولي Bernoulli's Principle

6 مبدأ برنولي

مبدأ برنولي: عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. **السرعة ↑ ← الضغط ↓**

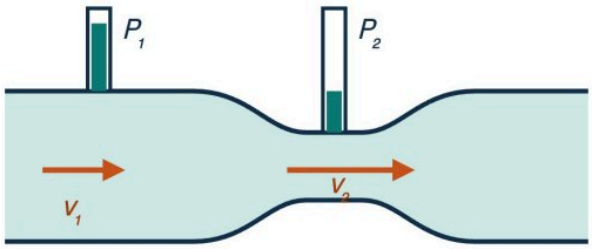
جرّب: ضع ورقة أسفل شفتك وانفخ فوقها؛ ترتفع الورقة لأن النفخ يقلل الضغط فوقها، فيدفعها الهواء الساكن أسفلها إلى أعلى.

المبدأ تمثيل **لحفظ الشغل والطاقة** في الموائع. لماذا يقل الضغط في المقطع الضيق؟

١ الكمية الداخلة من المائع = الكمية الخارجة، لذا **تزداد سرعته** في المقطع الضيق.

٢ زيادة السرعة تعني زيادة **الطاقة الحركية** ← بُذل على المائع شغل محصّل موجب.

٣ هذا الشغل ناتج عن فرق الضغط: الضغط عند المدخل (سرعة أقل) **أكبر** منه في المقطع الضيق (سرعة أكبر).



$v_2 > v_1 \cdot P_2 < P_1$

في المقطع الضيق: سرعة أكبر وضغط أقل

ضيق المجرى يزيد سرعة المائع ليبقى **معدل التدفق محفوظًا** (فوهة الخرطوم، الوادي الضيق)، ويعتمد ضغط الدم جزئيًا على هذا المبدأ.

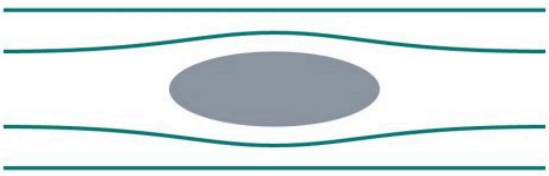
7 تطبيقات مبدأ برنولي

مرذاذ العطر وبخاخ الطلاء: نفخ الهواء فوق قمة الأنبوب المغمور يخفض الضغط عندها إلى أقل من ضغط الزجاجة، فيندفع العطر إلى تيار الهواء.

المازج (Carburetor): يمر الهواء سريعًا في مقطع ضيق موصول بخزان الوقود فينخفض الضغط ويندفع الجازولين ليختلط بالهواء. (تستخدم السيارات الحديثة حقن الوقود بدلًا منه.)

8 خطوط الانسياب

خطوط الانسياب: خطوط تمثّل تدفق المائع حول الأجسام، وتُختبر بها تصاميم السيارات والطائرات في الأنفاق الهوائية؛ فالأجسام تحتاج طاقة أقل لتتحرك في تدفق منتظم.



تدفق انسيابي

خطوط دقيقة منتظمة. تقاربها يعني **سرعة كبيرة وضغطًا منخفضًا**. يطبّق عليه مبدأ برنولي.



تدفق مضطرب

خطوط ملتفة كالدوامة ومنتشرة. **لا يطبّق** عليه مبدأ برنولي.

★ خلاصة الدرس في سطور

- باسكال: الضغط ينتقل بالتساوي في المائع المحصور.
- ضغط المائع: $P = \rho hg$
- يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من المائع.
- الرافعة الهيدروليكية: $F_2 = F_1 A_2 / A_1$
- أرخميدس: قوة الطفو = وزن المائع المزاح.
- برنولي: سرعة أكبر ← ضغط أقل.

المواد الصلبة

ملخص الدرس · Solids · صفحات الكتاب 36–43

الدرس 1-4

أهداف الدرس

١. أربط خصائص المواد الصلبة بتراكيبها.
٢. أفسّر تمدد المواد الصلبة وتقلصها بتغيّر درجة الحرارة.
٣. أحسب تمدد المواد الصلبة.
٤. أوضّح أهمية تمدد المواد بالحرارة.

المفردات

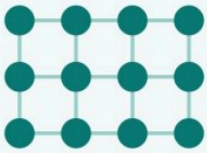
الشبكة البلورية · المواد الصلبة غير البلورية · معامل التمدد الطولي · معامل التمدد الحجمي

1 الأجسام الصلبة: بلورية وغير بلورية

المواد الصلبة قاسية وتحتفظ بشكلها، والسوائل تتدفق. لكن الحد بينهما ليس واضحًا دائمًا؛ فالزجاج عند صهره يتحول من الصلابة إلى السيولة **تدريجيًا**. عندما يبرد السائل تقل الطاقة الحركية لجزيئاته فتتغلب **قوى التماسك** وتتجمد الجزيئات.

مواد بلورية

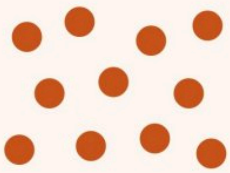
جزيئاتها مرتبة في نمط ثابت منتظم يسمى **الشبكة البلورية**.



الجزيئات لا تتوقف عن الحركة، بل **تتذبذب حول أماكن ثابتة**.
مثال: الكوارتز البلوري.

مواد صلبة غير بلورية

ليس لجزيئاتها ترتيب منتظم، لكن لها حجم وشكل محددان.



تُصنَّف أيضًا **سوائل لزجة بطيئة التدفق**.
أمثلة: الزجاج، الزبدة، الكوارتز الزجاجي.

الكوارتز البلوري والكوارتز غير البلوري متماثلان **كيميائيًا**، لكن خصائصهما **الفيزيائية** مختلفة تمامًا.

2 الضغط والتجمّد

عند التجمد تقترب الجزيئات عادةً من بعضها، لذا تكون **المادة الصلبة أكثر كثافة** من سائلها.

الماء استثناء: يتمدد عند تجمده. وزيادة الضغط تقرّب جزيئاته فتقاوم التجمد، لذا **تنخفض درجة تجمده قليلًا** تحت ضغط أكبر.

لماذا تنزلق الزلاجات على الجليد؟

فرضية قديمة ضغط الزلاجات يصهر الجليد ← **غير صحيحة**؛ فالضغط لا يكفي.

التفسير الحديث **الاحتكاك** بين الشفرات والجليد يولّد طاقة حرارية تصهر طبقة رقيقة من الماء، ويؤكده أن رذاذ الجليد المتطاير أدفأ من الجليد نفسه.

3 مرونة المواد الصلبة

المرونة: قدرة الجسم الصلب على العودة لشكله الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة. وإذا كان التشوه كبيرًا جدًا لا يعود، لأنه **تجاوز حد مرونته**. وتعتمد على القوى الكهرومغناطيسية بين الجزيئات.

قابلية الطَّرْق

إمكانية تشكيل المادة رقائق رقيقة جدًا.
مثال: الذهب.

قابلية السَّحْب

إمكانية سحب المادة على شكل أسلاك.
مثال: النحاس.

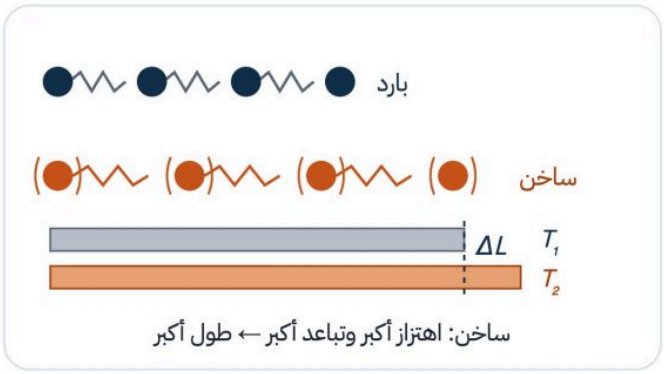
الطَّرق والسحب خاصيتان تعتمدان على **تركيب المادة ومرونتها**.

التمدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

4 لماذا تتمدد المواد الصلبة بالتسخين؟

نموذج النوابض: الجزيئات كأنها متصلة بنوابض (قوى التجاذب). بالتسخين تزداد **الطاقة الحركية** فتهتز أسرع وتبتعد، فيزداد **متوسط التباعد** وتتمدد المادة.

في الهندسة: تُترك **وصلات تمدد** بين أجزاء الجسور وفي سكك الحديد؛ فجسر طوله 100 m قد يتمدد عدة سنتيمترات صيفًا، ودونها يتقوس أو يتحطم. وتُصمَّم مواد قليلة التمدد كزجاج أواني الفرن.



ساخن: اهتزاز أكبر وتباعد أكبر ← طول أكبر

5 معاملا التمدد الطولي والحجمي

التمدد في الطول يتناسب **طرديًا** مع التغير في درجة الحرارة ومع **الطول الأصلي**.

الطول الجديد

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

معامل التمدد الطولي

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

الوحدة: $°C^{-1}$ أو $1/°C$

معامل التمدد الحجمي

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

$\beta = 3\alpha$ للمواد الصلبة (تتمدد في 3 أبعاد)

المواد الصلبة	α ($°C^{-1}$)	β ($°C^{-1}$)
الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
الزجاج (الناعم)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
الزجاج (واقي الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}

السوائل	β ($°C^{-1}$)
الميثانول	1200×10^{-6}
البنزين	950×10^{-6}
الماء	210×10^{-6}

جدول 1-2 · القيم عند 20°C. لاحظ أن تمدد السوائل أكبر بكثير من الصلبة.

6 أهمية اختلاف معدلات التمدد

مواد يجب أن تتمدد معًا: الفولاذ والأسمنت في المباني (وإلا تصدّع المبنى في الأيام الحارة)، وحشوات الأسنان مع مينا الأسنان.

المزدوج الحراري: شريحتان ملحومتان من فلزين مختلفين (غالبًا نحاس أصفر وحديد). النحاس الأصفر يتمدد أكثر، فعند التسخين **ينحني الشريط** ويكون النحاس على السطح الخارجي، وعند التبريد ينحني بالعكس.

في الثرموستات: إذا بردت الغرفة ينحني الشريط فيلامس نقطة التوصيل ويشغّل المسخّن، ثم يفصل عند الدرجة المحددة.



★ خلاصة الدرس في سطور

- البلورية: شبكة منتظمة · غير البلورية: بلا ترتيب.
- التسخين يزيد تباعد الجزيئات فتتمدد المادة.
- المرونة: العودة للشكل الأصلي ضمن حد المرونة.
- $\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$ و $\beta = 3\alpha$

الحركة الدورية

ملخص الدرس · Periodic Motion · صفحات الكتاب 57–62

الدرس 2-1

أهداف الدرس

١. أصف القوة في نابض مرن.
٢. أحدد الطاقة المختزنة في نابض مرن.
٣. أقارن بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة البندول.

المفردات

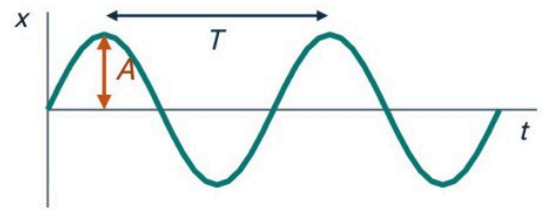
الحركة الاهتزازية (الدورية) · الحركة التوافقية البسيطة · الزمن الدوري · سعة الاهتزازة · قانون هوك · البندول البسيط · الرنين

1 الحركة الدورية والحركة التوافقية البسيطة

الحركة الاهتزازية (الدورية): حركة تتكرر في دورة منتظمة، مثل بندول الساعة وجسم معلّق بنابض.

موضع الاتزان: الموضع الذي تكون عنده القوة المحصلة صفرًا. إذا أُبعد الجسم عنه أثّرت فيه قوة محصلة تعيده نحوه.

الحركة التوافقية البسيطة: حركة دورية تكون فيها القوة المعيدة **متناسبة طرديًا مع الإزاحة**.

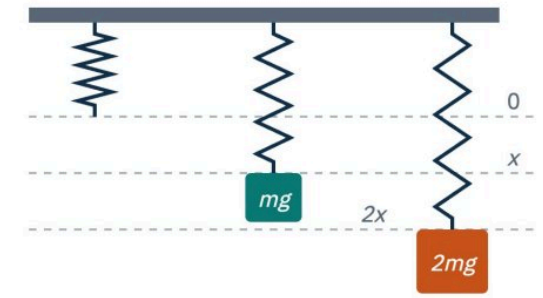


الزمن الدوري T: زمن دورة كاملة ذهابًا وإيابًا.

سعة الاهتزازة A: أقصى مسافة يبتعدها الجسم عن موضع الاتزان.

2 الجسم المعلّق بنابض وقانون هوك

عند تعليق وزن mg يستطيل النابض x حتى تتوازن قوته مع الوزن، وعند تعليق $2mg$ يستطيل $2x$.



ضعف الوزن ← ضعف الاستطالة

قانون هوك: قوة النابض تتناسب طرديًا مع استطالته أو انضغاطه.

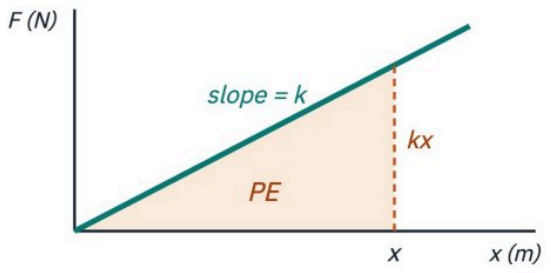
$$F = -kx$$

- k ثابت النابض (N/m)، يعتمد على صلابة النابض.
- x الإزاحة عن موضع الاتزان (m).
- **الإشارة السالبة** تعني أن القوة **قوة إرجاع** عكس اتجاه الإزاحة.

النوابض التي تحقق قانون هوك تسمى **نوابض مرنة**.

3 طاقة الوضع المرونية في النابض

العلاقة بين القوة والاستطالة **خطية**:



- **ميل الخط** = ثابت النابض k (N/m)
- **المساحة تحت الخط** = الشغل المبذول = طاقة الوضع المرونية المختزنة

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

مساحة المثلث = ½ × القاعدة x × الارتفاع kx
الوحدة: الجول J = N·m

الاهتزاز والبندول والرنين

4 كيف يهتز الجسم المعلّق بنابض؟

عند سحب الجسم لأسفل وتركه تكون القوة المحصلة **معاكسة لاتجاه الإزاحة ومتناسبة معها**، فيتحرك حركة توافقية بسيطة حول موضع الاتزان.

الموضع	القوة المحصلة	التسارع	السرعة
أقصى إزاحة	أكبر ما يمكن	أكبر ما يمكن	**صفر**
موضع الاتزان	**صفر**	**صفر**	أكبر ما يمكن

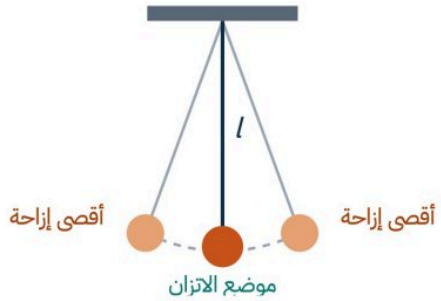
لماذا لا يتوقف عند الاتزان؟ لأن إبطاءه يحتاج قوة محصلة لأسفل، ولا تنشأ إلا بعد أن يرتفع فوق موضع الاتزان.

الزمن الدوري للجسم المهتز يعتمد على **كتلة الجسم** و**مرونة النابض**.

في تصميم السيارات: تتحول طاقتها الحركية عند التصادم إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل، وتحتوي ماصّات الصدمات على نوابض تخزن الطاقة عند الاصطدام بسرعة قليلة ثم تعود لاتزانها فترتد السيارة.

5 البندول البسيط

البندول البسيط: جسم صلب كثيف (ثقل البندول) معلّق بخيط طوله l، يتأرجح ذهابًا وإيابًا.



في الطرفين: القوة والتسارع أكبر ما يمكن والسرعة صفر
في الوسط: القوة والتسارع صفر والسرعة أكبر ما يمكن

يؤثر في الثقل قوة شد الخيط F_T والجاذبية F_g، ومحصلتهما **قوة إرجاع** نحو موضع الاتزان. عند زاوية صغيرة **(أقل من 15° تقريبًا)** تكون الحركة توافقية بسيطة.

$$T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$$

يعتمد فقط على **طول الخيط** و**تسارع الجاذبية**، ولا يعتمد على كتلة الثقل أو سعة الاهتزازة.

ومن تطبيقاته: قياس تسارع الجاذبية g الذي يتغير قليلًا من موقع لآخر.

بندول فوكو: سلك طوله 16 m بنهايته كتلة 109 kg. وفق القانون الأول لنيوتن يحافظ على اتجاه تأرجحه، لكن الأرض تدور تحته كل 24 ساعة، فيبدو اتجاه تأرجحه متغيرًا؛ وعند القطب الشمالي يدور ظاهريًا بمعدل 15°/h.

6 الرنين

الرنين: تأثير قوى صغيرة في جسم مهتز على فترات منتظمة **تساوي زمنه الدوري**، فتزداد سعة اهتزازه زيادة كبيرة.

أمثلة: دفع الأرجوحة في اللحظات المناسبة، أرجحة السيارة لتحريرها من الرمل، القفز المتواتر على لوح الغوص.

من أضرار الرنين: رنين الرياح مع دعائم الجسر قد يكون سبب انهيار جسر مضيق تاكوما.

★ خلاصة الدرس في سطور

- التوافقية البسيطة: القوة المعيدة ∝ الإزاحة.
- قانون هوك: $F = -kx$
- طاقة النابض: $PE = ½kx^2$
- البندول: $T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$

خصائص الموجات

ملخص الدرس · Wave Properties · صفحات الكتاب 63–68

الدرس 2-2

أهداف الدرس

١. أوضّح كيف تنقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
٢. أميّز بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
٣. أربط بين سرعة الموجة وطولها الموجي وترددها.

المفردات

الموجة · نبضة موجية · الموجة الدورية · الموجة المستعرضة · الموجة الطولية · الموجة السطحية · سعة الموجة · القاع · القمة · الطول الموجي · التردد

1 الموجة تنقل الطاقة لا المادة

الموجة: اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ.

الكرة (جسيم مادي): عندما تقذفها لزميلك **تنتقل الكرة نفسها** حاملةً الطاقة.

الحبل (موجة): عندما تهز طرفه **يبقى الحبل في يدك**، وتنتقل الطاقة فقط عبر الموجة.

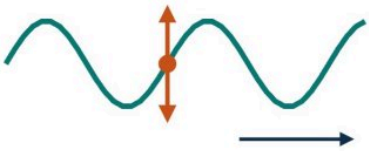
الموجات الميكانيكية: تحتاج إلى **وسط ناقل** كالماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض. مثل موجات الماء والصوت والحبل.

النبضة الموجية: اضطراب مفرد ينتقل خلال الوسط.
الموجة الدورية: اضطرابات تتكرر بانتظام.

2 أنواع الموجات الميكانيكية

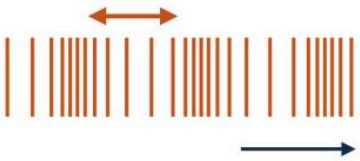
نميّز بينها بمقارنة **اتجاه اهتزاز جسيمات الوسط** مع **اتجاه انتقال الموجة**:

موجة مستعرضة



الجسيمات تهتز **عموديًا** على اتجاه انتقال الموجة.
مثال: موجة الحبل.

موجة طولية



الجسيمات تهتز **موازيةً** لاتجاه انتقال الموجة.
مثال: الموجات الصوتية.

موجة سطحية



لها خصائص النوعين معًا؛ فالجسيمات تتحرك موازيةً **وعموديةً** على اتجاه الموجة (مسارات دائرية).

الموجات في **أعماق** البحيرات والمحيطات موجات طولية، أما على **سطح** الماء فهي سطحية.

طاقة موجات الماء تأتي عادة من العواصف البعيدة، التي استمدت طاقتها من الشمس عبر الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

في الرسوم: السهم الداكن = اتجاه انتقال الموجة · السهم البرتقالي = اتجاه اهتزاز الجسيمات

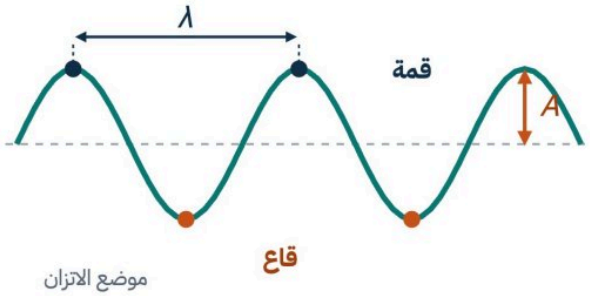
قياس الموجة Measuring a Wave

3 السرعة والسعة والطول الموجي

السرعة: $v = \Delta d/\Delta t$ (إزاحة القمة ÷ الزمن). وتعتمد في معظم الموجات الميكانيكية على **الوسط فقط**.

السعة: أقصى إزاحة للموجة عن موضع سكونها (اتزانها). تعتمد على **طريقة توليدها** لا على سرعتها، وتحتاج السعة الكبيرة إلى شغل أكبر.

الطول الموجي λ: أقصر مسافة بين نقطتين يتكرر عندهما نمط الموجة، كالمسافة بين **قمتين متتاليتين** أو **قاعين متتاليين**.



السعة والطاقة: السعة الأكبر تنقل طاقة أكبر. وعند السرعة نفسها يتناسب معدل نقل الطاقة طرديًا مع **مربع السعة**؛ فمضاعفة السعة تضاعف الطاقة **4 مرات**.

الطور: نقطتان في **الطور نفسه** إذا كانت المسافة بينهما طولًا موجيًا أو مضاعفاته (لهما الإزاحة والسرعة نفسها). والقمة والقاع مختلفتان في الطور بـ 180°.

4 الزمن الدوري والتردد

يُطبَّقان على **الموجات الدورية** فقط. الزمن الدوري للموجة T يساوي الزمن الدوري لمصدرها. و**التردد** f عدد الاهتزازات الكاملة في الثانية، ووحدته الهرتز Hz (اهتزازة واحدة في الثانية).

$$f = \frac{1}{T}$$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

في زمن دوري واحد تقطع الموجة طولًا موجيًا واحدًا، لذلك: $\lambda = vT$

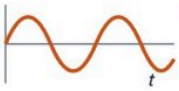
يُرمز للتردد في كتاب الكيمياء بالرمز ν (نيو)، وفي الفيزياء بالرمز f، وكلاهما للكمية نفسها.

5 علامَ تعتمد خصائص الموجة؟ وكيف نمثّلها بيانيًا؟

الخاصية	تعتمد على
السرعة	الوسط فقط
السعة (الطاقة)	طريقة توليد الموجة
التردد والزمن الدوري	المصدر فقط (لا الوسط ولا السرعة)



الإزاحة مع الموضع (صورة للموجة كاملة في لحظة): نقرأ منه **الطول الموجي** والسعة.



الإزاحة مع الزمن (حركة نقطة واحدة): نقرأ منه **الزمن الدوري**.

تذكّر: سعة الموجة الميكانيكية تحدد مقدار الطاقة التي تحملها، بينما يحدد **الوسط وحده** سرعتها.

★ خلاصة الدرس في سطور

- الموجة تنقل الطاقة دون نقل مادة الوسط.
- مضاعفة السعة تضاعف الطاقة 4 مرات.
- المستعرضة: اهتزاز عمودي · الطولية: اهتزاز موازٍ.
- $\lambda = v/f$ و $f = 1/T$

سلوك الموجات

ملخص الدرس · Waves Behavior · صفحات الكتاب 69–73

الدرس 2-3

أهداف الدرس

١. أربط بين سرعة الموجة وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه.
٢. أصف انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين.
٣. أطبّق مبدأ التراكب على ظاهرة التداخل.

المفردات

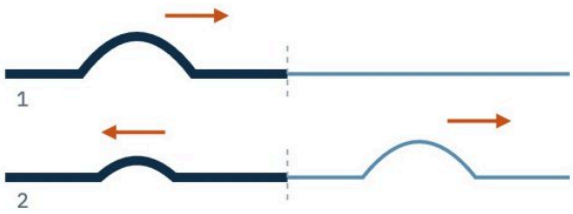
موجة ساقطة · موجة منعكسة · مبدأ التراكب · التداخل · العقدة · البطن · الموجة الموقوفة (المستقرة) · مقدمة الموجة · الشعاع · العمود المقام · قانون الانعكاس · الانكسار

1 الموجات عند الحواجز

عند الحد الفاصل بين وسطين تنعكس الموجة غالبًا، أو ينفذ جزء منها ويتغير اتجاهه. ويمكن لموجتين أو أكثر أن توجدا **في الوسط نفسه وفي الزمن نفسه**، بخلاف الأجسام المادية.

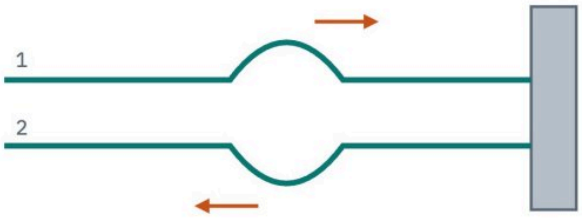
سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد على خصائص **الوسط فقط**، لا على سعتها أو ترددها: عمق الماء يؤثر في سرعة موجاته، ودرجة حرارة الهواء في سرعة الصوت، وقوة شد النابض وكتلة وحدة أطواله في سرعة موجاته.

نابضان مختلفا السُّمك



١ **موجة ساقطة** تصل الحد الفاصل · ٢ جزء **ينعكس** (موجة منعكسة) وجزء **ينفذ** بسرعة مختلفة

الانعكاس عن حائط صلب



ترتد الموجة **مقلوبة** وسعتها تساوي تقريبًا سعة الساقطة؛ فتنعكس معظم الطاقة.
أما الطرف **الحر الحركة** (حلقة على قضيب) فلا تنقلب عنده الموجة.

2 تراكب الموجات والتداخل

مبدأ التراكب: الإزاحة الناتجة عن نبضتين أو أكثر في الوسط تساوي **المجموع الجبري** لإزاحات كل نبضة على حدة.

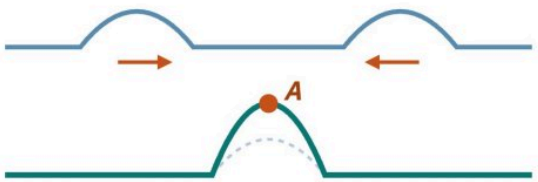
التداخل: الأثر الناتج عن تراكب نبضتين أو أكثر، وهو نوعان: **بنّاء** و**هدّام**. وبعد التداخل تستعيد النبضتان شكلهما وتكملان طريقهما.

تداخل هدّام



قمة تلتقي قاعًا: تقل الإزاحة، وإذا تساوت السعتان تصبح **صفرًا**. والنقطة التي لا تتحرك أبدًا تسمى **العقدة N**. وإن اختلفت السعتان فالهدم غير تام.

تداخل بنّاء



إزاحتان في الاتجاه نفسه: تنتج موجة **سعتها أكبر**، وأكبر إزاحة عند **البطن A**.

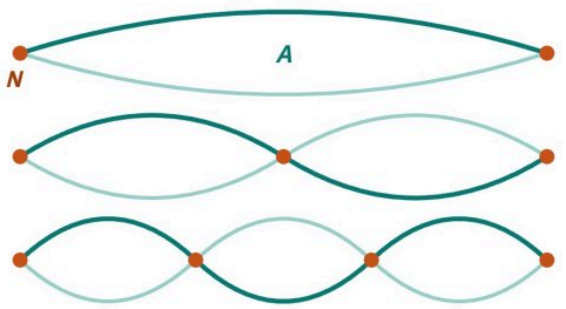
الموجة الموقوفة والانعكاس والانكسار

3 الموجة الموقوفة (المستقرة)

ثبّت طرف حبل في مقبض باب وهزّ الطرف الآخر: تنعكس الموجات عند الطرف الثابت وتنقلب وتعود. إذا جعلت **الزمن الدوري لهزّ يدك = زمن ذهاب النبضة وعودتها** تتراكم الإزاحات (تداخل بنّاء) فيهتز الحبل بسعة أكبر من حركة يدك، وهذا مثال على **الرنين الميكانيكي**.

الموجة الموقوفة: تداخل موجتين تتحركان في **اتجاهين متعاكسين**، فتبدو الموجة ثابتة في مكانها.

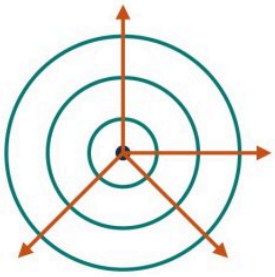
مضاعفة التردد تولّد عقدة وبطنًا جديدين، وبزيادته أكثر تزداد العقد والبطون.



• العقد N (لا تتحرك) · البطون A (أكبر إزاحة) · كلما زاد التردد زادت العقد والبطون

4 الموجات في بُعدين

موجات الحبل والنابض تتحرك في بُعد واحد، وموجات سطح الماء في **بعدين**، والصوت والضوء في ثلاثة أبعاد.



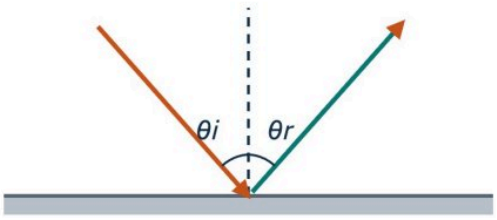
مقدمة الموجة: خط يمثل قمة الموجة في بعدين (دائرية أو مستقيمة). تُرسم بمقياس يبيّن **الطول الموجي** لا السعة.

الشعاع: خط عمودي على مقدمة الموجة يبيّن **اتجاه انتقالها**.

حوض الموجات: طبقة ماء ضحلة وألواح اهتزاز، وظل المصباح يبيّن مواقع القمم والقيعان.

5 انعكاس الموجات وانكسارها

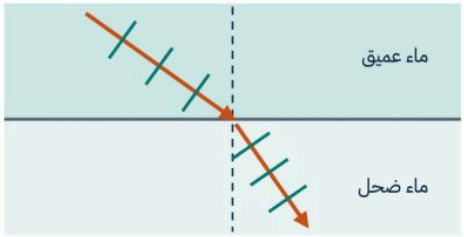
الانعكاس



العمود المقام: خط عمودي على الحاجز عند نقطة السقوط. **زاوية السقوط** بين الشعاع الساقط والعمود المقام، و**زاوية الانعكاس** بين الشعاع المنعكس والعمود المقام.

قانون الانعكاس: زاوية السقوط = زاوية الانعكاس $\theta i = \theta r$

الانكسار



الانكسار: تغيّر اتجاه انتشار الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين. عند الانتقال من ماء عميق إلى ضحل: **تقل السرعة**، ويبقى **التردد ثابتًا**، فيقصر **الطول الموجي** حسب العلاقة $\lambda = v/f$

ستتعرف لاحقًا قانون الانكسار (قانون سنل).

من حياتنا: الصدى سببه **انعكاس** الصوت عن سطح صلب كحائط أو جرف صخري، وقوس المطر سببه جزئيًا **انكسار** الضوء الأبيض في قطرات المطر وتحلّله إلى ألوان الطيف السبعة.

★ خلاصة: سرعة الموجة يحددها الوسط.

- الموجة الموقوفة: تداخل موجتين متعاكستين.
- التراكب: الإزاحة الكلية = المجموع الجبري.
- الانعكاس: $\theta i = \theta r$ · الانكسار: يتغير الاتجاه والسرعة ويثبت التردد.

خصائص الصوت والكشف عنه

الدرس 3-1

ملخص الدرس · Properties and Detection of Sound · صفحات الكتاب 85–92

أهداف الدرس

١. أصف الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
٢. أربط الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية بإدراكنا للصوت.
٣. أحدد بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

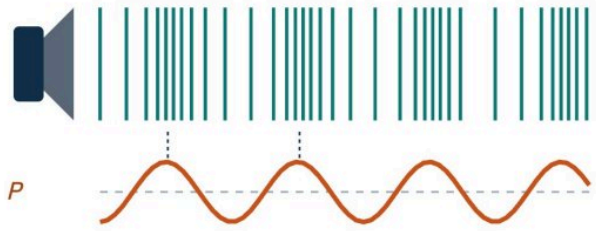
الموجة الصوتية · حدّة الصوت · علوّ الصوت · مستوى الصوت · الديسبل · تأثير دوبلر

1 الموجات الصوتية

عندما يهتز الجرس (أو الأوتار الصوتية أو السماعة) إلى الأمام يصدم جزيئات الهواء فيتكوّن **ضغط أعلى قليلًا** من المتوسط، وعندما يتحرك إلى الخلف يتكوّن **ضغط أقل قليلًا**. وتنقل تصادمات الجزيئات هذه التغيرات بعيدًا في جميع الاتجاهات.

الموجة الصوتية: انتقال تغيرات الضغط خلال مادة.

الصوت **موجة طولية**؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازيةً لاتجاه انتشار الموجة.



خطوط متقاربة = ضغط مرتفع **خطوط متباعدة** = ضغط منخفض

التردد: عدد اهتزازات الضغط في الثانية · الطول الموجي: المسافة بين مركزي ضغط مرتفع (أو منخفض) متتاليين

2 سرعة الصوت

في الهواء تعتمد على درجة الحرارة: تزداد 0.6 m/s لكل 1°C، وتساوي **343 m/s** عند 20°C ومستوى سطح البحر.

سرعة الصوت عمومًا: **الصلبة > السائلة > الغازات**.

لا ينتقل الصوت في الفراغ؛ لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

سرعة الصوت في أوساط متعددة (جدول 3-1) · m/s

الهواء (0°C)	331
الهواء (20°C)	343
الهيليوم (0°C)	972
الماء (25°C)	1493
ماء البحر (25°C)	1533
النحاس (25°C)	3560
الحديد (25°C)	5130

3 خصائص يشترك فيها الصوت مع الموجات الأخرى

الانعكاس والصدى: الصدى صوت منعكس يعود إلى مصدره، ومن زمن عودته نحسب المسافة إلى الجسم العاكس؛ وتستخدمه الخفافيش وبعض الكاميرات والسونار في السفن.

التداخل: قد تتداخل موجتان صوتيتان فتنشأ **بقع ميتة** عند العقد يكون الصوت فيها ضعيفًا جدًا.

العلاقة الموجية:
يرتبط التردد والطول الموجي بالسرعة:

$$\lambda = v/f$$

الكشف عن الصوت وإدراكه

4 الكشف عن موجات الضغط

كواشف الصوت تحوّل الطاقة الصوتية (الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة) إلى شكل آخر من الطاقة. فـ**الميكروفون** فيه قرص رقيق يهتز مع الموجات الصوتية فيحوّلها إلى **إشارة كهربائية**.

الأذن البشرية: كاشف يحوّل موجات الضغط إلى نبضات كهربائية

تدخل الموجة **القناة السمعية** ← يهتز **غشاء طبلة الأذن** ← تنقلها **3 عظام**: المطرقة والسندان والركاب ← إلى سائل **القوقعة** ← **شعيرات دقيقة** تنشّط الخلايا العصبية ← سيّالات عصبية إلى **الدماغ**

الأذن حساسة لمدى واسع من الترددات والسعات، وتفسير الأصوات في الدماغ أمر معقّد ما زالت أبحاثه مستمرة.

5 إدراك الصوت: الحدّة والعلوّ

حدّة الصوت ← التردد

توصّل ميرسن وجاليليو إلى أن حدّة الصوت تعتمد على **تردد الاهتزاز**.

مدى سمع أغلب الناس: من **20 Hz** إلى **20,000 Hz**

يقل إحساس كبار السن بالترددات فوق 10000 Hz، وعند عمر 70 تقريبًا لا يسمع أغلب الناس ما فوق 8000 Hz، فيتأثر فهمهم للحديث.

علوّ الصوت ← السعة

السعة مقياس لتغير الضغط في الموجة، ويعتمد **علوّ الصوت** أساسًا على **سعة موجة الضغط**.

تحس الأذن تغيرات ضغط من **2×10^{-5} Pa**، وتغيرات قرب **20 Pa** أو أكثر تسبب الألم.

تحس الأذن تغيرات الضغط عند ترددات معينة فقط؛ فصعود الجبل يغيّر الضغط آلاف الباسكالات دون أثر في الترددات المسموعة.

6 مستوى الصوت والديسبل

مستوى الصوت: مقياس **لوغاريتمي** لسعة الصوت، ووحدته **الديسبل (dB)**. ويعتمد على نسبة تغير الضغط للصوت إلى تغير الضغط لأضعف صوت مسموع (2×10^{-5} Pa = 0 dB).

سعة ضغط أكبر **10 مرات** ← 20 dB · و10 مرات أخرى ← 40 dB

زيادة **10 dB** يدركها أغلب الناس كأنها **مضاعفة** علوّ الصوت.

وتُستعمل مقاييس الديسبل أيضًا لوصف قدرة موجات الصوت وشدّتها.

مستويات بعض الأصوات المألوفة (الشكل 3-4)

10 dB	30 dB	50 dB	70 dB	80 dB	100 dB	110 dB	140 dB
يُسمع بصعوبة	همس على بعد 1 m	محادثة عادية	حركة سير كثيفة	ساعة تنبيه	صفارة إنذار	جزازة العشب	محرك نفاث

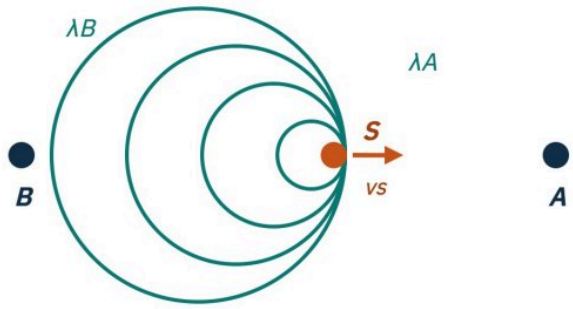
حماية السمع: الأصوات الصاخبة تُفقد الأذن حساسيتها، خاصة للترددات العالية، ويزداد الضرر بطول مدة التعرض. والتعرض الطويل لمستوى **100 dB** فأكثر يسبب **ضررًا دائمًا**. سدادات الأذن القطنية تخفّض المستوى 10 dB فقط، وبعض الملحقات 25 dB، والسدادات المصممة بصورة محددة 45 dB.

علوّ الصوت لا يتناسب طرديًا مع تغيرات الضغط؛ فحساسية الأذن تعتمد على حدّة الصوت وسعته معًا.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

7 ما تأثير دوبلر؟

تأثير دوبلر: تغيّر (انزياح) التردد الذي يدركه المراقب بسبب حركة مصدر الصوت أو المراقب أو كليهما. مثاله: تكون حدّة صفارة الإسعاف **أعلى** وهي تقترب منك، و**أقل** وهي تبتعد.



المصدر S يتحرك نحو A ويبتعد عن B

المراقب A (المصدر يقترب): تتقارب الموجات فيقل الطول الموجي، ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوسط تصل قمم أكثر كل ثانية ← **يزداد التردد**.

المراقب B (المصدر يبتعد): يزداد الطول الموجي ← **يقل التردد**.

ويحدث أيضًا إذا تحرك **المراقب** والمصدر ثابت: اقترابه يزيد السرعة النسبية فتصله قمم أكثر كل ثانية، وابتعاده يقللها.

8 معادلة تأثير دوبلر

$$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$$

تُطبَّق عند حركة المصدر أو المراقب أو كليهما

- v سرعة موجة الصوت
- f_s تردد الموجة من المصدر
- v_d سرعة المراقب
- f_d التردد الذي يستقبله المراقب
- v_s سرعة المصدر
- **الاتجاه الموجب:** من المصدر إلى المراقب

مراقب ثابت عندما $v_d = 0$

$$f_d = f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right)$$

مصدر ثابت عندما $v_s = 0$

$$f_d = f_s \left(1 - \frac{v_d}{v} \right)$$

تذكّر: اقتراب المصدر من المراقب أو اقتراب المراقب من المصدر ← f_d **يزداد**. وابتعاد أي منهما عن الآخر ← f_d **يقل**. وسرعة الصوت v موجبة دائمًا.

9 تطبيقات تأثير دوبلر

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية: الميكانيكية والكهرومغناطيسية.

الرادار
قياس سرعة المركبات وكرات البيسبول.

علم الفلك
قياس سرعة المجرات البعيدة من ضوئها واستنتاج بعدها.

الطب
قياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بالموجات فوق الصوتية.

الخفافيش
تكتشف الحشرات: الموجة المنعكسة عن حشرة تقترب منها ترددها أكبر، وعن حشرة تبتعد أقل.

★ خلاصة الدرس في سطور

- الصوت موجة طولية من تغيرات الضغط، ولا ينتقل في الفراغ.
- الحدّة تعتمد على التردد، والعلوّ على السعة.
- دوبلر: الاقتراب يرفع التردد والابتعاد يخفضه.
- سرعته في الهواء 343 m/s عند 20°C، وأكبر في الصلبة.
- مستوى الصوت بالديسبل، و10+ dB ≈ ضعف العلوّ.
- $\lambda = v/f$

الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

الدرس 3-2

ملخص الدرس · Resonance in Air Columns and Strings · صفحات الكتاب 93–101

أهداف الدرس

١. أصف مصدر الصوت.
٢. أوضح مفهوم الرنين وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
٣. أفسّر سبب الاختلاف في أصوات الآلات الموسيقية وأصوات الناس.

المفردات

أنبوب الرنين المغلق · أنبوب الرنين المفتوح · التردد الأساسي · الإيقاعات

1 مصادر الصوت

ينتج الصوت عن **جسم مهتز**؛ فاهتزازه يحرّك جزيئات الهواء ويولّد تغيرات في الضغط تنتقل على شكل موجة صوتية.

السماعة: مخروط يهتز بفعل تيار كهربائي متغير، فيولّد موجات صوتية.

الطبول والصنوج والدفوف: تهتز أسطحها عند الطرق عليها.

صوت الإنسان: تهتز الأوتار الصوتية في الحنجرة، وتتحكم العضلات في شدّها فيتغير التردد.

الآلات الوترية: يهتز الوتر، وتُضخّم **لوحة الصوت** الاهتزاز لأن الوتر وحده يحرّك هواءً قليلًا.

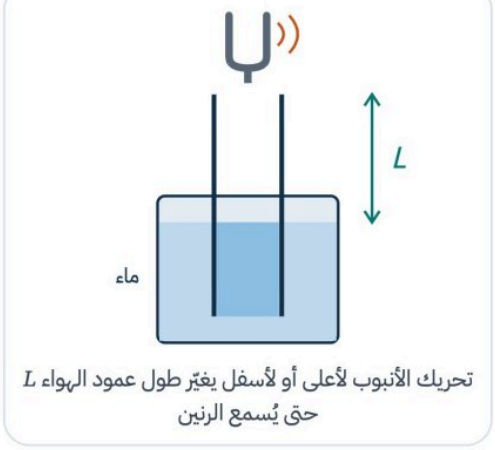
2 الرنين في الأعمدة الهوائية

عند وضع شوكة رنانة مهتزة فوق أنبوب، يكون صوت الهواء داخله عاليًا عند أطوال معيّنة فقط؛ لأن **طول عمود الهواء يحدد ترددات الرنين**، فيُضخّم ترددات محددة ويُضعف غيرها.

أنبوب الرنين المغلق: مغلق من طرف ومفتوح من الآخر (مثل أنبوب مغمور في الماء). تنعكس موجة الضغط المرتفع عن الطرف المغلق **بالضغط نفسه**، فإذا وصلت إلى الشوكة وهي تولّد ضغطًا مرتفعًا جديدًا تقوّت الموجة وحدث الرنين.

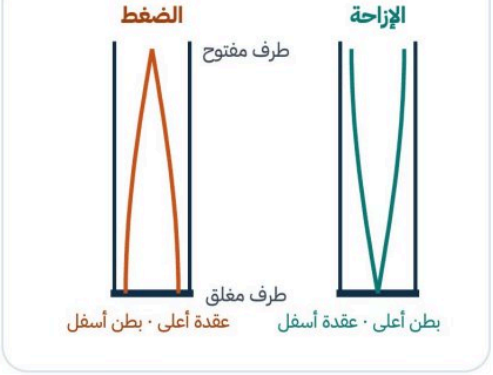
أنبوب الرنين المفتوح: مفتوح من الطرفين. تنعكس موجة الضغط عند الطرف المفتوح **مقلوبةً** (الضغط المرتفع يرتد منخفضًا).

في الحالتين تتكوّن داخل الأنبوب **موجة موقوفة** نتيجة تداخل الموجة الساقطة مع المنعكسة.



تحريك الأنبوب لأعلى أو لأسفل يغيّر طول عمود الهواء L حتى يُسمع الرنين

3 تمثيل الموجات الموقوفة في الأنابيب



يمكن تمثيل الموجة الموقوفة في الأنبوب بطريقتين:

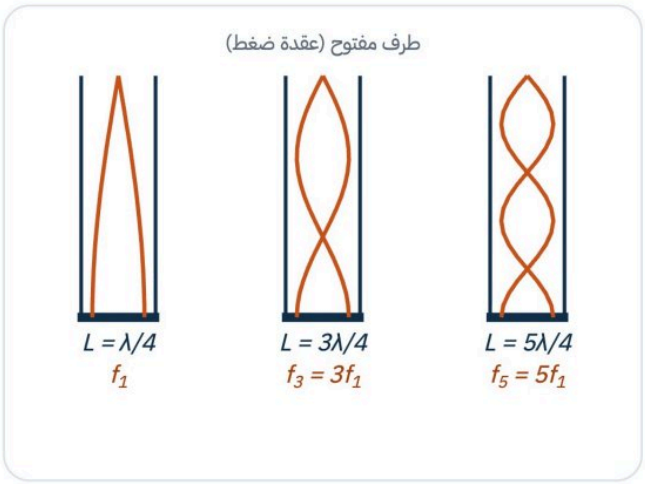
منحنى الضغط: العُقد مناطق يبقى فيها الضغط عند **متوسطه**، والبطون مناطق يتذبذب فيها الضغط بين قيمته العظمى والصغرى. (الطرف المفتوح = عقدة ضغط، والطرف المغلق = بطن ضغط)

منحنى الإزاحة: البطون مناطق تكون فيها إزاحة جزيئات الهواء **كبيرة**، والعُقد مناطق إزاحتها صفر؛ فبطن الإزاحة يقع عند عقدة الضغط والعكس.

المسافة بين عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليين $= \lambda/2$

رنين الأنابيب المغلقة والمفتوحة

4 رنين الأنبوب المغلق



عند الطرف المغلق **بطن ضغط**، وعند الطرف المفتوح **عقدة ضغط**؛ لذلك أقصر عمود يحدث فيه رنين طوله ربع طول موجي.

النغمة الأساسية (الرنين الأول):

$$\lambda_1 = 4L \quad f_1 = \frac{v}{4L}$$

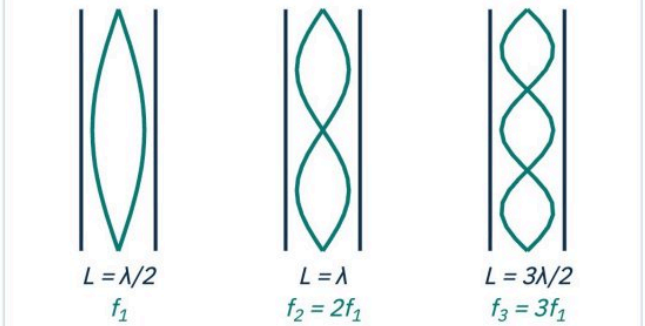
أطوال الرنين: ... $\lambda/4 , 3\lambda/4 , 5\lambda/4 , 7\lambda/4$

وتوجد فيه الترددات **الفردية فقط**: ... $f_1 , 3f_1 , 5f_1$

الفرق بين طولي رنينين متتاليين = $\lambda/2$، ويُستخدم ذلك لقياس سرعة الصوت.

ملاحظة: يكون طول عمود الهواء في الرنين الأول أطول قليلًا من $\lambda/4$؛ لأن عقدة الضغط تقع خارج الطرف المفتوح بمسافة تساوي تقريبًا **0.4 من قطر الأنبوب**.

5 رنين الأنبوب المفتوح



عند كلا الطرفين المفتوحين **عقدة ضغط**؛ لذلك أقصر عمود يحدث فيه رنين طوله نصف طول موجي.

النغمة الأساسية (الرنين الأول):

$$\lambda_1 = 2L \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

أطوال الرنين: ... $\lambda/2 , \lambda , 3\lambda/2 , 2\lambda$

وتوجد فيه **جميع** مضاعفات التردد الأساسي: ... $f_1 , 2f_1 , 3f_1$

الفرق بين طولي رنينين متتاليين أيضًا = $\lambda/2$.

6 مقارنة وتطبيقات

لأنبوبين لهما **الطول نفسه**: الطول الموجي للنغمة الأساسية في الأنبوب المفتوح **نصف** طولها في المغلق، لذا يكون تردده **مثلَي** تردد المغلق.

صدى النفق: يتردد الصوت في الأنفاق لأن ترددات معيّنة من الضوضاء تُحدث رنينًا داخلها.

صوت البحر في الصدفة: تعمل الصدفة كأنبوب رنين مغلق يضخّم ترددات معيّنة من الضوضاء المحيطة.

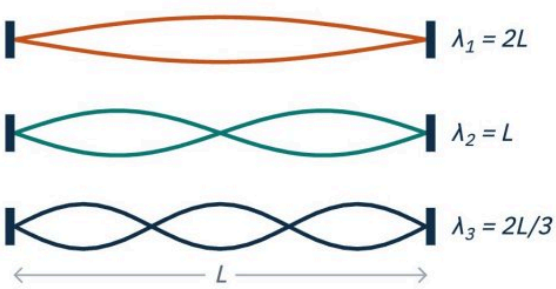
تطبيق الفيزياء: مدى السمع

تعمل **القناة السمعية** في الأذن عمل أنبوب رنين مغلق؛ فتزيد حساسية الأذن للترددات بين 2000–5000 Hz.

الإنسان	من **20** إلى **20000 Hz**
الكلاب	حتى **45000 Hz**
الخفافيش	حتى **100000 Hz**

الرنين في الأوتار وجودة الصوت

7 الرنين في الأوتار



الوتر في الآلة **مشدود من طرفيه**؛ لذا توجد **عقدة عند كل طرف**، والنمط الأول له بطن في المنتصف وطوله نصف طول موجي.

$$\lambda_1 = 2L \quad f_1 = \frac{v}{2L} \quad f_2 = 2f_1 \quad f_3 = 3f_1$$

أطوال الرنين: ... $\lambda/2 , \lambda , 3\lambda/2 , 2\lambda , 5\lambda/2$
وترددات الرنين مضاعفات أقل تردد **(مثل الأنبوب المفتوح)**.

تعتمد سرعة الموجة في الوتر على **قوة الشد** و**كتلة وحدة الطول**؛ لذا تُضبط الآلة الوترية بتغيير شد أوتارها: **شد أكبر ← سرعة أكبر ← تردد أعلى**.

8 جودة الصوت

أطراف **الشوكة الرنانة** تهتز بحركة توافقية بسيطة فتنتج **موجة جيبية بسيطة**، أما **صوت الإنسان** فموجته **معقدة** تتولد بمبدأ **التراكب** لموجات ذات ترددات مختلفة.

قد يكون للصوتين التردد نفسه (الحدة نفسها) لكنهما مختلفان جدًا؛ لأن شكل الموجة يعتمد على **السعات النسبية** للترددات المكوّنة لها.



يسمّى الفرق بين الموجتين: **طابع الصوت** أو **لون النغمة** أو **جودتها**.

التردد الأساسي (النغمة الأساسية): أقل تردد رنين، وهو الإيقاع الأول.

الإيقاعات:
ترددات أعلى من مضاعفات التردد الأساسي:
- أنبوب مغلق: ... $3f_1 , 5f_1$ (فردية)
- مفتوح ووتر: ... $2f_1 , 3f_1 , 4f_1$

طيف الصوت: رسم بياني لسعة الموجة مقابل ترددها؛ واختلاف تركيب الإيقاعات وسعاتها يعطي كل صوت أو آلة **طابعها المميز**.

9 إعادة إنتاج الصوت والضجيج

النظام الصوتي الجيد (الاستيريو): يحافظ على سعات جميع الترددات بين 20 وHz 20000 ضمن **3 dB**.

نظام الهاتف: تكفيه الترددات بين 300 وHz 3000، وتقليل الترددات يساعد على تخفيض الضجيج.

الضجيج: موجة فيها ترددات كثيرة بسعات متقاربة.



الخلاصة

- مصدر الصوت جسم مهتز، وطول عمود الهواء يحدد ترددات الرنين.
- المفتوح والوتر: $\lambda_1 = 2L$ وإيقاعاتهما جميع المضاعفات.
- شد الوتر أكبر ← سرعة الموجة أكبر ← تردد أعلى.
- المغلق: $\lambda_1 = 4L$ وإيقاعاته فردية فقط.
- الفرق بين طولي رنينين متتاليين في الأنبوب $\lambda/2$.
- الإيقاعات وسعاتها تحدد طابع الصوت وجودته.

الاستضاءة

ملخص الدرس · Illumination · صفحات الكتاب 113–121

الدرس 4-1

أهداف الدرس

١. أطوّر نموذج الشعاع الضوئي.
٢. أتنبأ بتأثير البعد في الاستضاءة.
٣. أحل مسائل تتضمن سرعة الضوء.

المفردات

نموذج الشعاع الضوئي · المصدر المضيء · المصدر المستضيء · الوسط المعتم · الوسط الشفاف · الوسط شبه الشفاف · التدفق الضوئي · الاستضاءة

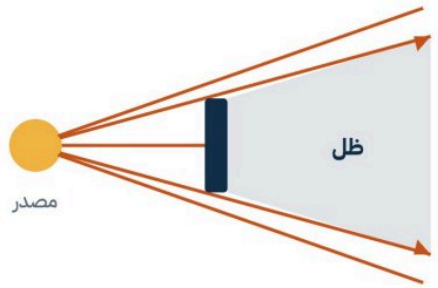
1 نموذج الشعاع الضوئي

الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة؛ ودليل ذلك: رؤية مسار حزمة الضوء مستقيمًا بين دقائق الغبار، وتكوّن الظل عندما يعترض جسمك ضوء الشمس.

اعتقد **نيوتن** أن الضوء سيل من جسيمات صغيرة جدًا سريعة الحركة، لكن نموذجه لم يفسّر كل خصائص الضوء؛ فقد بيّنت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك **الموجات**.

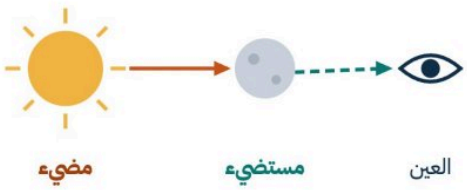
نموذج الشعاع الضوئي: يُمثَّل فيه الضوء بشعاع ينتقل في خط مستقيم، ولا يتغير اتجاهه إلا إذا اعترض مساره حاجز؛ بغض النظر عن كون الضوء جسيمًا أو موجة.

تسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة **البصريات الهندسية**.



الأشعة مستقيمة؛ لذلك يتكوّن ظل خلف الجسم المعتم

2 مصادر الضوء



نرى القمر لأنه يعكس ضوء الشمس إلى أعيننا

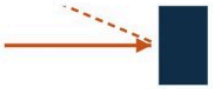
المصدر المضيء: جسم يبعث الضوء من ذاته.
الشمس، اللهب، الشرر، اليراع، المصباح المتوهج

المصدر المستضيء (المُضاء): جسم يصبح مرئيًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.
القمر، عاكس الدراجة الهوائية

الشمس هي **المصدر الرئيس** للضوء، وابتكر الإنسان باستخدام الكهرباء مصادر أخرى: المصابيح المتوهجة والفلورسنتية والليزر والصمامات الثنائية الباعثة للضوء.

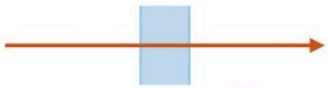
المصباح المتوهج **مضيء**؛ لأن الطاقة الكهربائية تسخّن سلك التنجستن الرفيع فيتوهج بسبب درجة حرارته العالية.

3 أنواع الأوساط



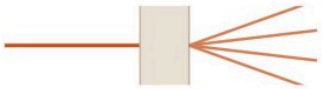
الوسط المعتم (غير الشفاف)

لا يمر الضوء من خلاله، ويعكس بعضه.



الوسط الشفاف

يمر الضوء من خلاله، وتُرى الأجسام عبره بوضوح؛ مثل الهواء والزجاج.



الوسط شبه الشفاف

يمر الضوء من خلاله لكن لا تُرى الأجسام بوضوح؛ مثل مظلة المصباح.

الأوساط الشفافة وشبه الشفافة تعكس أيضًا جزءًا من الضوء؛ لذا قد ترى صورتك على زجاج النافذة.

التدفق الضوئي والاستضاءة

4 كميات الضوء الثلاث

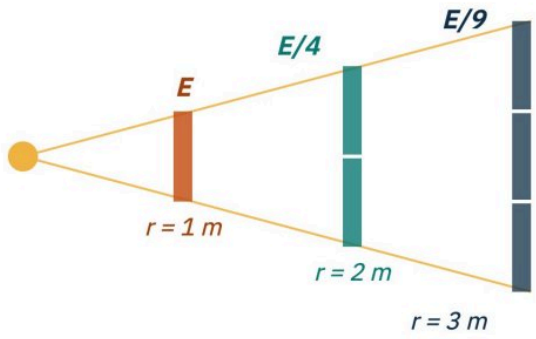
الكمية	الرمز	الوحدة	المعنى
التدفق الضوئي	P	لومن (lm)	معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء؛ أي مقياس لعدد الأشعة المنبعثة منه. (مصباح متوهج 100 W يصدر نحو 1750 lm)
الاستضاءة	E	لوكس ($lx = lm/m^2$)	معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات من السطح؛ أي مقياس لعدد الأشعة التي تسقط على سطح ما.
شدة الإضاءة	I_v	شمعة (cd)	التدفق الضوئي الساقط على $1\ m^2$ من السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m؛ وليست مقياسًا للتدفق.

التدفق الضوئي للمصباح على كرة حوله **لا يتغير بتغيّر نصف قطرها**؛ لأن العدد الكلي للأشعة الصادرة عن المصباح ثابت.

شدة الإضاءة = التدفق الضوئي ÷ 4π

$$I_v = \frac{P}{4\pi}$$

5 علاقة التربيع العكسي



الأشعة نفسها تتوزّع على مساحة أكبر كلما ابتعدنا

إذا كبرت الكرة المحيطة بالمصباح يبقى التدفق الضوئي ثابتًا، لكن مساحة سطحها $4\pi r^2$ تزداد؛ فتقل الاستضاءة: عند 2 m تصبح ربع قيمتها عند 1 m، وعند 3 m تصبح تُسعها.

الاستضاءة الناتجة عن مصدر نقطي تتناسب طرديًا مع $1/r^2$، وتسمى **علاقة التربيع العكسي**؛ فعدد الأشعة الساقطة على وحدة المساحة يتناقص مع زيادة مربع البعد عن المصدر.

إذا كان بُعد مصباح عن شاشة **ضعف** بُعد شمعة عنها، ولكي يولّد الاستضاءة نفسها يجب أن تكون شدة إضاءته **أربعة أضعاف** شدة إضاءة الشمعة.

6 إضاءة الأسطح

لزيادة الاستضاءة على سطح مكتبك: استخدم مصباحًا **أكثر سطوعًا** (تدفق ضوئي أكبر)، أو **قرّب** المصباح من السطح.

الاستضاءة بفعل مصدر نقطي

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

الاستضاءة = التدفق الضوئي للمصدر ÷ المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم عن المصدر.

شروط استخدام المعادلة:
- أن يسقط الضوء **عموديًا** على السطح.
- أن يكون المصدر **نقطيًا** (صغيرًا أو بعيدًا بدرجة كافية).

لذلك لا تعطي قيمًا دقيقة للمصابيح الفلورسنتية الطويلة، أو المصابيح القريبة جدًا من السطح.

علاقة طردية: إذا كانت r ثابتة فإن E تتناسب طرديًا مع P:
تزداد P ← تزداد E.

علاقة عكسية: إذا كانت P ثابتة فإن E تتناسب عكسيًا مع r^2:
تزداد r^2 ← تقل E.

تصميم الإنارة: لإضاءة منتظمة تُوزَّع المصادر على مسافات متساوية (كغرفة الصف)، وتُصمَّم مصادر خاصة كالمصابيح الأمامية للسيارات.

سرعة الضوء

7 مراحل قياس سرعة الضوء

قبل القرن السابع عشر اعتقد معظم الناس أن الضوء ينتقل **لحظيًا**، ولقياس سرعته يلزم قياس المسافة التي يقطعها والزمن الذي يستغرقه.

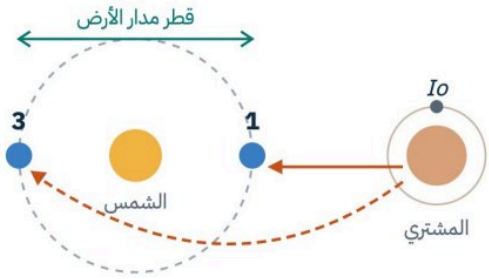
١ **جاليليو**
أول من افترض أن للضوء سرعة محددة، واستنتج أنها كبيرة جدًا.

٢ **رومر (1674–1668)**
أول من أكد أن للضوء سرعة يمكن قياسها.

٣ **ميكلسون (1926)**
قاس زمن انتقال الضوء ذهابًا وإيابًا بين جبلين.

٤ **اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس**
قاست سرعة الضوء في الفراغ بدقة عالية.

8 طريقة رومر: خسوفات القمر Io



من الموقع 1 إلى 3 يقطع الضوء مسافة إضافية = قطر مدار الأرض

رصد رومر أزمنة خروج القمر Io (زمنه الدوري 1.8 day) من ظل المشتري، فلاحظ أن زمنه الدوري:

يزداد **13 s** لكل دورة عندما **تبتعد** الأرض عن المشتري.

يقل **13 s** لكل دورة عندما **تقترب** الأرض من المشتري.

التفسير: عندما تبتعد الأرض يزداد البعد، فيستغرق الضوء القادم من Io وقتًا أطول ليصل إلى الأرض.

قدّر رومر زمن قطع الضوء لقطر مدار الأرض بـ **22 min** فحصل على 2.2×10^8 **m/s**، والزمن الصحيح **16.5 min**. وأهمية تجربته أنه **أثبت أن للضوء سرعة محددة**.

9 قيمة سرعة الضوء

ميكلسون: قاس زمن قطع الضوء مسافة 35 km ذهابًا وإيابًا بين جبلين في كاليفورنيا باستخدام **مرايا دوّارة**، وحصل على:

$$(2.997996 \pm 0.00004) \times 10^8 \text{ m/s}$$

فكان أول أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

السنة الضوئية: المسافة التي يقطعها الضوء في سنة، وتساوي 9.46×10^{12} **km**.

سرعة الضوء في الفراغ ويرمز لها بالرمز c:

$$c = 299{,}792{,}458 \text{ m/s}$$

وتُستخدم في الحسابات القيمة التقريبية:

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

جائزة الملك فيصل 1421هـ / 2001م: مُنحت للبروفيسور ساجيف جون لاقتراحه طريقة لمعالجة المعلومات ونقلها بوسائل ضوئية بدل الإلكترونات؛ مما قد يتيح حواسيب وأجهزة اتصالات أسرع وأرخص وأكثر قدرة.

الخلاصة

- ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة (نموذج الشعاع الضوئي).
- التدفق الضوئي P بوحدة lm، والاستضاءة E بوحدة lx.
- أثبت رومر أن للضوء سرعة محددة.
- المصدر المضيء يبعث الضوء، والمستضيء يعكسه.
- $E = P/4\pi r^2$: الاستضاءة تقل بزيادة مربع البعد.
- $c \approx 3.00 \times 10^8$ m/s في الفراغ.

الطبيعة الموجية للضوء

ملخص الدرس · The Wave Nature of Light · صفحات الكتاب 122–133

الدرس 4-2

أهداف الدرس

١. أصف كيف يثبت الحيود عمليًا أن الضوء عبارة عن موجات.
٢. أتوقع تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة.
٣. أوضح ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.

المفردات

الحيود · اللون الأساسي · اللون الثانوي · اللون المتمم · الصبغة الأساسية · الصبغة الثانوية · الاستقطاب · قانون مالوس · إزاحة دوبلر

1 الحيود والنموذج الموجي للضوء

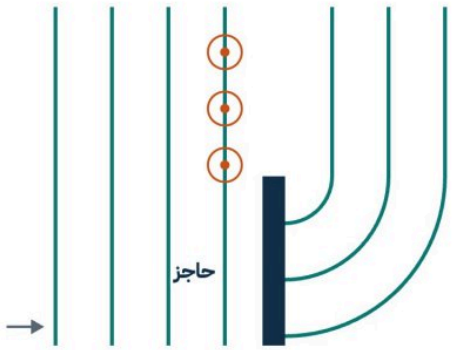
تسمع صوت من في الغرفة قبل أن تراهم عبر الباب؛ لأن الصوت ينحرف حول حافة الباب. والضوء يسلك السلوك نفسه، لكن تأثيره **أقل وضوحًا** مقارنة بالصوت.

جريمالدي (1665): لاحظ أن حواف الظلال **ليست حادة تمامًا**؛ فظل العصا كان أعرض مما لو انتقل الضوء في خط مستقيم، ومحاطًا بحزم ملوّنة.

الحيود: انحناء الضوء حول الحواجز.

هيجنز (1678): فسّر الحيود بالنموذج الموجي؛ فحسب **مبدأ هيجنز** تُعد كل نقطة على مقدمة الموجة مصدرًا جديدًا لـ**مويجات** صغيرة تنتشر في جميع الاتجاهات.

عندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما، تنتشر المويجات الدائرية في الحيز خلف الحافة فتنحني مقدمة الموجة؛ وهذا هو الحيود.



مويجات هيجنز تجعل الموجة تنحني حول حافة الحاجز

2 الألوان



تحلّل الضوء الأبيض إلى طيف بالمنشور

مرّر **نيوتن** حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور فتكوّن ترتيب منظّم للألوان سمّاه **الطيف**، ثم أسقطه على منشور ثانٍ فأعاد تركيب الألوان إلى **الضوء الأبيض**.

استنتج نيوتن أن **الضوء الأبيض مركّب من ألوان عدّة**.

سبب التحلل: عند دخول الضوء الأبيض الزجاج وخروجه منه ينكسر كل لون بزاوية مختلفة؛ لأن الأطوال الموجية المختلفة تتفاعل مع المادة بطرائق مختلفة يمكن التنبؤ بها.

لكل لون من ألوان الضوء **طول موجي محدد**، ويقع الضوء المرئي بين 400 nm و700 nm تقريبًا:

700 nm (7.00×10^{-7} m) — 400 nm (4.00×10^{-7} m)

أكبرها طولًا موجيًا **الأحمر**، ثم البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق فالنيلي، وأقصرها **البنفسجي**.

مزج الألوان والأصباغ

3 جمع ألوان الضوء



ألوان الضوء على شاشة بيضاء

عند تسليط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء تظهر منطقة تداخلها **بيضاء**؛ وتسمى هذه العملية **جمع الألوان** (وتستخدم في أنابيب الأشعة المهبطية في التلفاز).

الألوان الأساسية (الأولية): الأحمر، الأخضر، الأزرق.

الألوان الثانوية: كل منها من لونين أساسيين: الأصفر، الأزرق الفاتح، الأرجواني.

الألوان المتتامة: لونان يتراكبان لإنتاج الأبيض:

- الأصفر + الأزرق
- الأزرق الفاتح + الأحمر
- الأرجواني + الأخضر

لذلك تُبيَّض الملابس بإضافة عامل **أزرق** اللون إلى مسحوق الغسيل.

4 لون الأجسام

يعتمد لون الجسم على الأطوال الموجية للضوء الساقط عليه، وعلى ما **يمتصه** منها وما **يعكسه**.

المواد الملوّنة: جزيئات تمتص أطوالًا موجية معيّنة وتعكس أو تنفذ غيرها، والطاقة الممتصة تتحول إلى أشكال أخرى.

القميص الأحمر: في الضوء الأبيض يمتص الأزرق والأخضر ويعكس الأحمر، وفي الضوء الأزرق فقط يبدو غالبًا **أسود**.

5 الأصباغ

الصبغة مصنوعة من **معادن مسحوقة** (وليست مستخلصة من النباتات أو الحشرات)، ويمكن رؤية جسيماتها بالمجهر.

	تمتص	أمثلتها
صبغة أساسية	لونًا أساسيًا واحدًا وتعكس الآخرين	الأصفر، الأزرق الفاتح، الأرجواني
صبغة ثانوية	لونين أساسيين وتعكس لونًا واحدًا	الأحمر، الأخضر، الأزرق



مزج الأصباغ الأساسية

الألوان الأساسية للأصباغ هي **الثانوية للضوء**، والثانوية للأصباغ هي **الأساسية للضوء**.

الأصفر (يمتص الأزرق) + الأزرق الفاتح (يمتص الأحمر) ← **أخضر**.
صبغتان متتامتان تمتصان كل الألوان فيظهر **الأسود**: الأصفر والأزرق، الأزرق الفاتح والأحمر، الأرجواني والأخضر.

الطابعة الملوّنة: تستخدم نقاطًا من صبغة الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن.

مركبات الأصباغ: مطحونة بدقة، مثل أكسيد التيتانيوم (أبيض) وأكسيد الكروم (أخضر) وكبريتيد الكادميوم (أصفر)، وتُمزج لتكوين **محاليل معلّقة**، وتحافظ على تركيبها الكيميائي فتستمر في امتصاص الأطوال الموجية نفسها وعكسها.

6 ألوان من حولنا

النباتات خضراء: بسبب الكلوروفيل؛ نوع منه يمتص الأحمر وآخر يمتص الأزرق، وكلاهما يعكس الأخضر، وتُستخدم الطاقة الممتصة في **البناء الضوئي**.

السماء زرقاء: لأن جزيئات الهواء **تشتت** البنفسجي والأزرق أكثر من غيرهما، بينما لا يتشتت الأخضر والأحمر كثيرًا؛ لذا تبدو الشمس صفراء أو برتقالية.

الاستقطاب وتأثير دوبلر

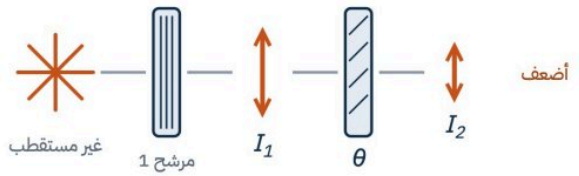
7 استقطاب الضوء

الاستقطاب: إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد.

نموذج الحبل: موجات الحبل المستعرضة تعبر الشق إذا كانت **موازية** له، وتُحجب إذا كانت **متعامدة** معه؛ والشق يمثل **محور الاستقطاب**.

الضوء العادي يتذبذب في كل اتجاه عمودي على اتجاه انتقاله، و**مرشح الاستقطاب** يمرر المركّبات الموازية لمحوره فقط، فتنخفض شدة الضوء إلى **النصف**.

الاستقطاب بالانعكاس: الضوء المنعكس عن الطرق والزجاج مستقطب جزئيًا؛ لذا تقلل النظارات الشمسية المستقطبة التوهج، ويثبّت المصوّرون مرشحات استقطاب على عدسات الكاميرا.



قانون مالوس

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

شدة الضوء من المرشح الثاني = شدته من المرشح الأول × مربع جيب تمام الزاوية بين محوري المرشحين.

محورا المرشحين **متوازيان** ← **ينفذ الضوء**

محورا المرشحين **متعامدان** ← **لا ينفذ الضوء**

المحلِّل: مرشح يستخدم قانون مالوس لتحديد استقطاب الضوء من أي مصدر

8 سرعة موجات الضوء

للضوء خصائص موجية، فيوصف بالنماذج الرياضية نفسها للموجات. ولألوان الضوء ترددات وأطوال موجية مختلفة، لكنها جميعًا تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها c؛ لذا إذا عُرف التردد أمكن حساب الطول الموجي والعكس.

يُقاس تردد الضوء بدقة متناهية باستخدام **الليزر** و**الساعات الذرية**. ويرمز للتردد بـ f في الفيزياء وبـ ν (نيو) في الكيمياء.

الطول الموجي في الفراغ

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

9 تأثير دوبلر في الضوء

موجات الضوء ليست اهتزازات لجسيمات وسط؛ لذا يعتمد تأثير دوبلر فيه على **السرعة النسبية** بين المصدر والمراقب فقط (مركّبتاها على امتداد المحور بينهما)، بافتراض $c >> \nu$.

تردد الضوء المُراقَب

$$f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{\nu}{c}\right)$$

(+) إذا تحركا متقاربين، و(−) إذا تحركا متباعدين.

إزاحة دوبلر

$$(\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm \frac{\nu}{c}\lambda$$

موجبة إذا تحركا متباعدين، وسالبة إذا تحركا متقاربين.

إزاحة نحو الأحمر ($\Delta\lambda$ موجبة): المصدر يبتعد عن المراقب ← طول موجي أكبر وتردد مُراقَب **أقل**.

إزاحة نحو الأزرق ($\Delta\lambda$ سالبة): المصدر يقترب من المراقب ← طول موجي أقصر وتردد مُراقَب **أكبر**.

في الفلك: يقيس **المطياف** انزياح دوبلر لأطوال موجية تبعثها عناصر النجوم، فيُعرف كيف تتحرك المجرات بالنسبة للأرض. واستنتج **هابل (1929)** من انزياح أطياف المجرات نحو الأحمر أنها تبتعد عن الأرض، وأن **الكون يتمدد**.

الخلاصة

- الحيود (انحناء الضوء حول الحواجز) دليل على أن الضوء موجات.
- ألوان الضوء الأساسية: أحمر، أخضر، أزرق، وتتجمع إلى الأبيض.
- المرشح يقلل الشدة للنصف، و$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$.
- الضوء الأبيض مركّب من ألوان، والمرئي بين 400–700 nm.
- أصباغ أساسية: أصفر، أزرق فاتح، أرجواني، وتمتزج إلى الأسود.
- التباعد ← إزاحة نحو الأحمر، والتقارب ← نحو الأزرق.

الانعكاس عن المرايا المستوية

ملخص الدرس · Reflection from Plane Mirrors · صفحات الكتاب 145–151

الدرس 5-1

أهداف الدرس

١. أوضح قانون الانعكاس.
٢. أميّز بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
٣. أحدد موقع الصور التي تكوّنها المرايا المستوية.

المفردات

الانعكاس المنتظم · الانعكاس غير المنتظم · المرآة المستوية · الصورة الخيالية

1 لمحة تاريخية عن المرايا

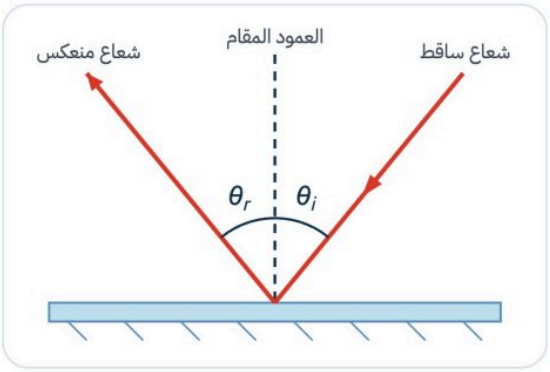
المصريون (قبل 4000 سنة تقريبًا): عرفوا أن الانعكاس يتطلب **سطحًا أملس مصقولًا**، فاستخدموا مرايا فلزية لامعة.

فوكولت (1857): اكتشف طلاء الزجاج بالفضة. والمرايا الحديثة تُصنع بتبخير الألومنيوم أو الفضة على زجاج مصقول جدًا.

الحسن بن الهيثم: درس انعكاس الضوء وانكساره، واكتشف قوانينهما، ووصف أجزاء العين وعملية الرؤية وصفًا علميًا دقيقًا.

2 قانون الانعكاس

عند سقوط الضوء على جسم معتم يُمتص جزء منه ويتحول إلى طاقة حرارية، وينعكس جزء آخر. ويعتمد سلوك الضوء المنعكس على **طبيعة السطح العاكس** و**زاوية السقوط**؛ فالضوء ينعكس كما ترتد كرة السلة عن الأرض.



العمود المقام: خط وهمي عمودي على السطح العاكس عند نقطة السقوط.

الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام تقع جميعها في **مستوى واحد** عمودي على السطح العاكس.

قانون الانعكاس

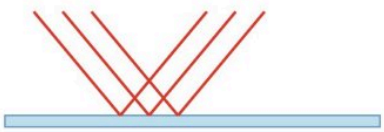
$$\theta_r = \theta_i$$

زاوية السقوط θ_i (بين الشعاع الساقط والعمود المقام) تساوي زاوية الانعكاس θ_r (بين الشعاع المنعكس والعمود نفسه).

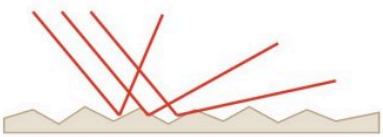
التفسير بالنموذج الموجي: كل نقطة على مقدمة الموجة تصل إلى السطح فتنعكس بالزاوية نفسها، ولأن النقاط تنتشر بالسرعة نفسها تنعكس المقدمة كاملة بزاوية تساوي زاوية سقوطها.

الطول الموجي لا يؤثر في هذه العملية؛ فالألوان **الأحمر والأخضر والأزرق** جميعها تتبع قانون الانعكاس.

3 الانعكاس المنتظم وغير المنتظم



الانعكاس المنتظم: الأشعة المتوازية الساقطة على سطح **أملس** (مصقول) كالمرآة تنعكس **متوازية** على هيئة حزمة؛ لذا ترى وجهك في المرآة.



الانعكاس غير المنتظم: تشتت الضوء عن سطح **خشن** وفق مقياس الطول الموجي (كالورق والجدار)، فتنعكس الأشعة **غير متوازية**؛ لذا لا يمكن استخدامهما مرآة.

قانون الانعكاس ينطبق على السطحين الأملس والخشن؛ لكن في السطح الخشن تكون **الأعمدة المقامة غير متوازية** على المستوى المجهري، فتتشتت الأشعة المنعكسة.

الصور في المرايا المستوية

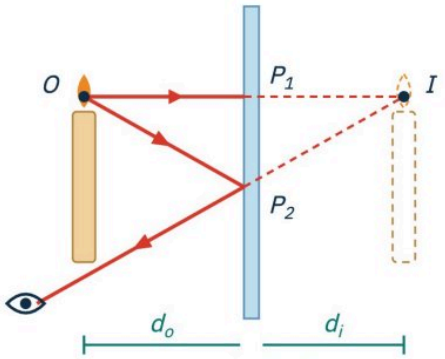
4 الأجسام وصورها في المرايا المستوية

المرآة المستوية: سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا.

الجسم: مصدر الأشعة الضوئية التي ستنعكس عن سطح المرآة؛ وقد يكون **مضيئًا** كالمصباح أو **مستضيئًا** كالإنسان.

تنعكس الأشعة من كل نقطة على الجسم عن المرآة وتصل إلى العين، فيعالجها الدماغ وكأنها سلكت **خطًا مستقيمًا**؛ فتبدو قادمة من نقطة **خلف المرآة** هي صورة تلك النقطة.

الصورة الخيالية: صورة تتكوّن من التقاء **امتدادات** الأشعة المنعكسة، وتقع خلف المرآة، **ولا يمكن جمعها على حاجز**. وصور الأجسام الحقيقية في المرايا المستوية خيالية دائمًا.



امتدادات الأشعة المنعكسة تلتقي خلف المرآة في I

5 خصائص الصور في المرايا المستوية

يبيّن النموذج الهندسي: الشعاع 1 يسقط عموديًا (زاوية سقوط 0°) فيرتد على نفسه، والشعاع 2 ينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها؛ فيتكوّن مثلثان متطابقان OP_1P_2 وIP_1P_2، ومنهما:

موقع الصورة $d_i = -d_o$

بُعد الصورة عن المرآة يساوي سالب بُعد الجسم عنها، و**الإشارة السالبة** تدل على أن الصورة خيالية.

طول الصورة $h_i = h_o$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

حيث: d_o بُعد الجسم (موقع الجسم)، d_i بُعد الصورة (موقع الصورة)، h_o طول الجسم، h_i طول الصورة.

صفات الصورة في المرآة المستوية

خيالية	معتدلة	مساوية للجسم	على البعد نفسه	معكوسة جانبيًا
خلف المرآة	في اتجاه الجسم	«طبق الأصل»	خلف المرآة	يمين ↔ يسار

إذا اقتربت من المرآة تقترب صورتك منها، وإذا ابتعدت تبتعد صورتك أيضًا.

6 الانعكاس الجانبي والمنظور

لماذا تنعكس اليد اليمنى واليسرى؟ الأشعة من اليد اليمنى تبدو متجمعة في اليد اليسرى للصورة. والمرآة في الحقيقة لا تعكس اليمين واليسار، بل تجعل الصورة **تقابل الجسم في الاتجاه المعاكس**؛ لذا لا تنقلب القمة والقاعدة.

صورة الجبل في البحيرة: تبدو مقلوبة رأسيًا، لكنها في الحقيقة معكوسة جانبيًا؛ فالمرآة (سطح البحيرة) أفقية، والذي تغيّر هو **المنظور** (زاوية النظر) فقط.

الخلاصة

- قانون الانعكاس: $\theta_r = \theta_i$ ويقاسان من العمود المقام.
- السطح الأملس: انعكاس منتظم، والخشن: غير منتظم.
- $d_i = -d_o$: الصورة خلف المرآة على البعد نفسه.
- الشعاعان والعمود المقام في مستوى واحد.
- صورة المرآة المستوية خيالية ومعتدلة ومعكوسة جانبيًا.
- $h_i = h_o$: طول الصورة يساوي طول الجسم.

المرايا الكروية

ملخص الدرس · Curved Mirrors · صفحات الكتاب 152–162

الدرس 5-2

أهداف الدرس

١. أوضح كيف تكوّن كلٌّ من المرايا المحدبة والمقعرة الصور.
٢. أصف خصائص المرايا الكروية وأذكر استخداماتها.
٣. أحدد مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

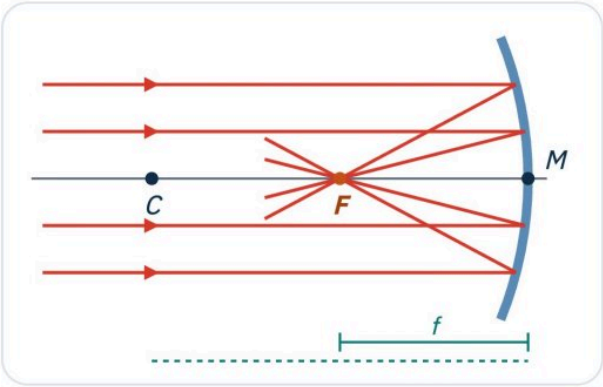
المفردات

المرآة المقعرة · المحور الرئيس · البؤرة · البعد البؤري · الصورة الحقيقية · الزوغان (التشوه) الكروي · التكبير · المرآة المحدبة

1 المرآة المقعرة

الملعقة اللامعة تعمل عمل مرآة كروية: سطحها الداخلي (الذي يحمل الطعام) **مقعر**، وسطحها الخارجي **محدب**. وتعتمد خصائص المرايا الكروية وصورها على **شكل المرآة** و**موقع الجسم**.

المرآة المقعرة: سطح عاكس حوافه منحنية **نحو المشاهد**؛ كأنها جزء من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس.



مركز التكور C ونصف قطره r: هما مركز الكرة المأخوذة منها المرآة ونصف قطرها.

قطب المرآة M: نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.

المحور الرئيس: الخط المستقيم الذي يحتوي CM، وهو متعامد مع سطح المرآة ويقسمها نصفين.

البؤرة F: النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الساقطة **موازية للمحور الرئيس** بعد انعكاسها (كأشعة الشمس). وتقع في منتصف المسافة بين C وM.

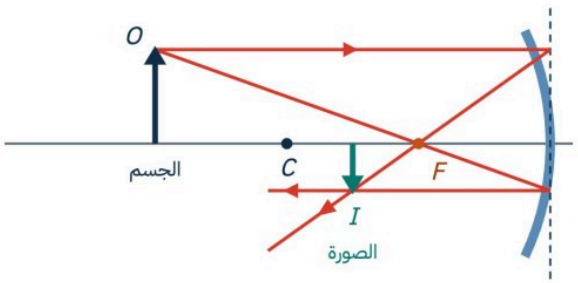
البعد البؤري f: المسافة بين القطب والبؤرة، وهو **موجب** للمرآة المقعرة.

$$f = \frac{r}{2}$$

2 الصورة الحقيقية

الصورة الحقيقية: صورة تتكوّن من **التقاء الأشعة المنعكسة فعليًا**، ويمكن **جمعها على حاجز** (شاشة).

الصورة الخيالية: تتكوّن من التقاء **امتدادات** الأشعة المنعكسة، ولا يمكن جمعها على حاجز.



الشعاعان المنعكسان يلتقيان فعليًا فتتكوّن صورة حقيقية

يحدد **تقاطع شعاعين منعكسين** I موقع الصورة.

يمكن رؤية الصورة الحقيقية في الفضاء إذا كانت العين في الجهة التي **تسقط عليها الأشعة المنعكسة**، ولا تُرى من الخلف.

إذا وُضع حاجز في موقع الصورة الحقيقية **ظهرت عليه**، وهذا غير ممكن في الصورة الخيالية.

رسم مسارات الأشعة يحدد **موقع** الصورة و**حجمها** و**وضعها** (اتجاهها)؛ لأنها جميعًا تتغير.

رسم الأشعة والزوغان الكروي

3 طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصورة

نمثّل الجسم بسهم على المحور الرئيس، ونمثّل المرآة بخط رأسي يمر بقطبها يسمى **المستوى الأساسي**، ثم نرسم شعاعين من رأس السهم:

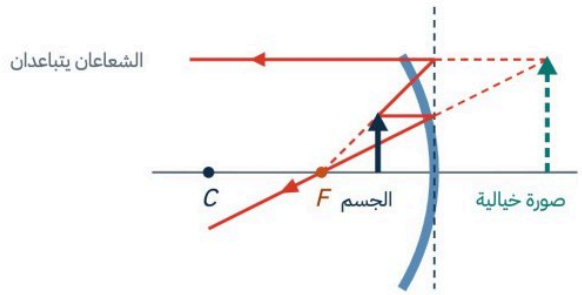
الشعاع 1: يسقط **موازيًا** للمحور الرئيس، فينعكس **مارًّا بالبؤرة**.

الشعاع 2: يسقط **مارًّا بالبؤرة**، فينعكس **موازيًا** للمحور الرئيس.

الصورة: تتكوّن عند التقاء الشعاعين المنعكسين **أو امتداديهما**، وتُمثَّل بسهم من المحور إلى نقطة الالتقاء.

4 صور المرآة المقعرة حسب موقع الجسم

موقع الجسم	نوع الصورة	صفاتها وموقعها
خلف مركز التكور ($d_o > 2f$)	**حقيقية**	مقلوبة ومصغّرة، بين C وF
بين C وF	**حقيقية**	مقلوبة ومكبّرة، خلف C
في البؤرة F تمامًا	**لا تتكوّن صورة**	الأشعة المنعكسة متوازية؛ فالصورة في **المالانهاية**
بين البؤرة والمرآة	**خيالية**	معتدلة ومكبّرة، خلف المرآة



جسم بين البؤرة والمرآة: امتدادا الشعاعين يلتقيان خلف المرآة

كلما اقترب الجسم من البؤرة F **ابتعدت** الصورة عن المرآة.

عند تقريب وجهك من مرآة مقعرة تبدو صورته **معتدلة ومكبرة** خلف المرآة.

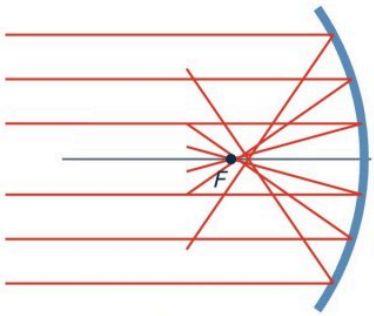
في الحالة الخيالية: الشعاع 2 يُرسم بحيث يمر **امتداده** بالبؤرة، والشعاعان المنعكسان **يتباعدان** فلا يكوّنان صورة حقيقية.

5 عيوب الصور: الزوغان الكروي

الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (**الأشعة المحورية**) فقط تنعكس مارّة بالبؤرة، أما البعيدة فتلتقي في نقاط **أقرب إلى المرآة**.

الزوغان (التشوه) الكروي: عيب يجعل صورة الأشعة المتوازية الساقطة على مرآة كروية كبيرة الارتفاع صغيرة نصف القطر **قرصًا لا نقطة**، فتبدو الصورة غير واضحة.

علاجه: مرآة على شكل **قطع مكافئ** (لا تعاني منه لكنها مكلفة)، أو مرايا ثانوية وعدسات صغيرة للتصحيح، أو **تقليل نسبة ارتفاع المرآة إلى نصف قطر تكورها**.



الأشعة البعيدة تلتقي أقرب إلى المرآة

منظار جريجوري (1663): طوّره جيمس جريجوري من **مرآتين مقعرتين** (كبيرة وصغيرة خلف بؤرة الكبيرة)؛ ليحوّل الصورة الحقيقية المقلوبة إلى صورة **حقيقية ومعتدلة**.

تطبيق: مشكلة هابل: أُطلق تلسكوب هابل عام 1990 لكنه لم يعطِ صورًا واضحة بسبب زوغان كروي في مرآته، وفي عام 1993 أُضيفت تصحيحات بصرية (COSTAR) فأصبحت صوره واضحة.

معادلة المرايا والمرآة المحدبة

6 الطريقة الرياضية لتحديد موقع الصورة

معادلة المرايا الكروية

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري = مقلوب بُعد الجسم + مقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

طول الصورة ÷ طول الجسم = سالب بُعد الصورة ÷ بُعد الجسم.

بُعد الصورة

$$d_i = \frac{f\,d_o}{d_o - f}$$

بُعد الجسم

$$d_o = \frac{f\,d_i}{d_i - f}$$

البعد البؤري

$$f = \frac{d_i\,d_o}{d_o + d_i}$$

دلالة الإشارات: بُعد الصورة الحقيقية **موجب** فيكون التكبير **سالبًا** (صورة مقلوبة)، وبُعد الصورة الخيالية **سالب** والتكبير **موجب** (صورة معتدلة).

قيمة التكبير: $|m| < 1$ صورة مصغّرة (الجسم خلف C)، و$|m| > 1$ صورة مكبّرة (الجسم بين F وC).

المعادلة **تقريبية**؛ تعتمد على الأشعة المحورية ولا تتنبأ بالزوغان الكروي، وتعطي نتائج دقيقة إذا كان ارتفاع المرآة صغيرًا مقارنة بنصف قطر تكورها.

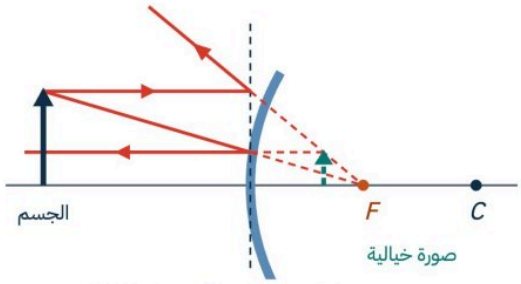
7 المرآة المحدبة

المرآة المحدبة: سطح عاكس حوافه منحنية **بعيدًا عن المشاهد** (كظهر الملعقة).

الأشعة المنعكسة عنها **متباعدة دائمًا**، والنقطتان C وF تقعان **خلف المرآة**؛ لذا تكون f وd_i **سالبتين دائمًا**.

صورتها دائمًا: **خيالية ومعتدلة ومصغّرة**.

استخدامها: توسّع **مجال الرؤية**؛ لذا تُستخدم على جوانب السيارات للرؤية الخلفية. وتبدو الأجسام فيها أبعد من بعدها الحقيقي لأن صورها مصغّرة.



صورة خيالية معتدلة مصغّرة خلف المرآة

8 مقارنة المرايا (جدول 5-1)

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية	لا يوجد	$d_o > 0$	$\lvert d_i\rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	خيالية
مقعرة	+	$d_o > r$	$r > d_i > f$	مصغّرة ومقلوبة	**حقيقية**
مقعرة	+	$r > d_o > f$	$d_i > r$	مكبّرة ومقلوبة	**حقيقية**
مقعرة	+	$f > d_o > 0$	$\lvert d_i\rvert > d_o$ (سالب)	مكبّرة ومعتدلة	خيالية
محدبة	−	$d_o > 0$	$\lvert f\rvert > \lvert d_i\rvert > 0$ (سالب)	مصغّرة ومعتدلة	خيالية

المرآة المستوية تعطي انعكاسًا واقعيًا، والمحدبة توسّع مجال الرؤية، والمقعرة تكبّر الصورة إذا كان الجسم بين المرآة وبؤرتها، وتكوّن صورًا حقيقية وخيالية.

انكسار الضوء

ملخص الدرس · Refraction of Light · صفحات الكتاب 173–181

الدرس 6-1

أهداف الدرس

١. أحل مسائل تتضمن مفهوم الانكسار في السطوح المستوية.
٢. أوضح مفهوم الانعكاس الكلي.
٣. أصف بعض التطبيقات البصرية المبنية على انكسار الضوء.

المفردات

معامل الانكسار · قانون سنل في الانكسار · الزاوية الحرجة · الانعكاس الكلي الداخلي · التفريق (التحليل)

1 الانكسار

الانكسار: انحراف مسار الضوء عند عبوره الحد الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين.

يعتمد مقدار الانكسار على **خصائص الوسطين** وعلى **زاوية سقوط** الضوء على الحد الفاصل.

لذلك تبدو الأشياء تحت الماء **أقرب** من بعدها الحقيقي، وتبدو متموّجة مع حركة سطح الماء.

2 قانون سنل في الانكسار

زاوية السقوط θ_1: بين العمود المقام والشعاع الساقط.

زاوية الانكسار θ_2: بين العمود المقام والشعاع المنكسر.

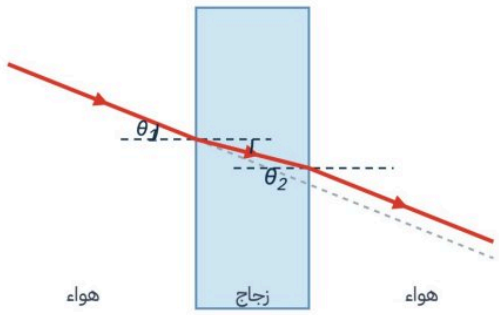
وجد **سنل** عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف:
$n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$، حيث n مقدار ثابت يعتمد على المادة ولا يعتمد على الزوايا، يسمى **معامل الانكسار**.

قانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

معامل انكسار الوسط الأول × جيب زاوية السقوط = معامل انكسار الوسط الثاني × جيب زاوية الانكسار.

من **الهواء إلى الزجاج** $(n_1 < n_2)$: ينحرف الضوء **مقتربًا** من العمود المقام.

من **الزجاج إلى الهواء** $(n_1 > n_2)$: ينحرف الضوء **مبتعدًا** عن العمود المقام.



ينكسر الضوء مرتين، ويخرج موازيًا لاتجاهه الأصلي لكنه مُزاح عنه

جدول 6-1: معاملات الانكسار للضوء الأصفر $(\lambda = 589\ nm)$

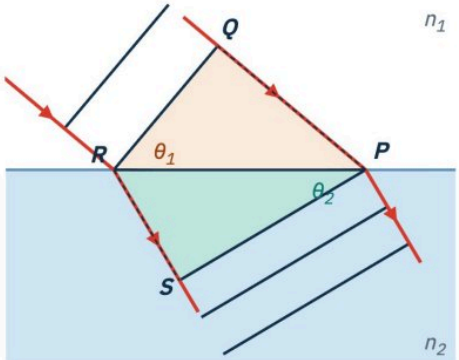
الفراغ	الهواء	الماء	الإيثانول
1.00	**1.0003**	**1.33**	**1.36**
زجاج العدسات	الكوارتز	الزجاج الصوّاني	الألماس
1.52	**1.54**	**1.62**	**2.42**

3 لماذا يبدو القمر أحمر أثناء خسوفه؟

عند الخسوف تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر، لكن الضوء **ينكسر** خلال الغلاف الجوي للأرض وينحرف حولها نحو القمر. ولأن الغلاف الجوي **يشتت معظم الضوء الأزرق والأخضر**، يصل الضوء الأحمر إلى القمر فيعكسه إلى الأرض فيظهر **أحمر**.

النموذج الموجي والانعكاس الكلي الداخلي

4 النموذج الموجي في الانكسار



RS = 3λ2 و PQ = 3λ1

الضوء يتفاعل مع ذرات الوسط فيتحرك فيه **بسرعة أقل** مما في الفراغ. وفي أي وسط: $\lambda = v/f$، وفي الفراغ: $\lambda_0 = c/f$.

التردد f لا يتغير عند عبور الحد الفاصل؛ فعدد الاهتزازات التي تصل إليه في الثانية هو نفسه الذي يخرج منه.

لذلك عندما تقل سرعة الضوء **يقل طوله الموجي**؛ فالطول الموجي في أي وسط أقصر منه في الفراغ.

في المثلث PQR: $\sin\theta_1 = PQ/PR$، وفي المثلث PSR: $\sin\theta_2 = RS/PR$.

من هندسة مقدمات الموجة (المثلثان PQR وPSR) نصل إلى:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{RS}{PQ} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \longrightarrow \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \longrightarrow \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \longrightarrow \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

معامل الانكسار

$$n = \frac{c}{v}$$

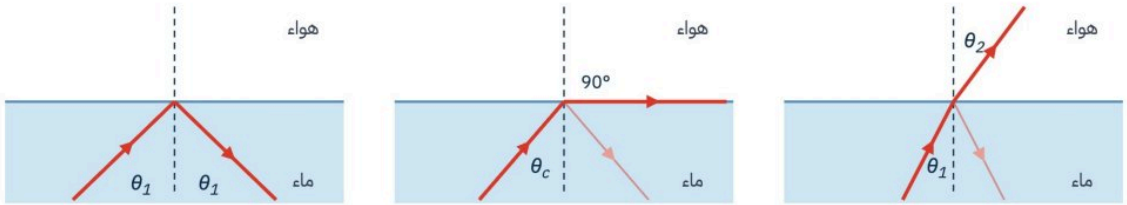
سرعة الضوء في الفراغ ÷ سرعته في الوسط

الطول الموجي في الوسط

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

الطول الموجي في الوسط أقل منه في الفراغ

5 الانعكاس الكلي الداخلي



عند الانتقال إلى وسط معامل انكساره **أقل** تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط.
الزاوية الحرجة θ_c: زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل، فتكون زاوية الانكسار 90.0°.

الانعكاس الكلي الداخلي: يحدث عندما ينتقل الضوء من وسط معامل انكساره **كبير** إلى وسط معامل انكساره **أقل**، بزاوية سقوط **أكبر من الزاوية الحرجة**؛ فينعكس الضوء كاملًا إلى الوسط الأكبر معامل انكسار.

الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

جيب الزاوية الحرجة = معامل انكسار وسط الانكسار ÷ معامل انكسار وسط السقوط.



الألياف البصرية: يصطدم الضوء بالسطح الداخلي لليف بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فينعكس انعكاسًا كليًا داخليًا، فيحافظ على شدته مهما طالت المسافة.

في بركة السباحة: يرى الغوّاص سطح الماء كالمرآة، وقد لا ترى سبّاحًا قرب السطح في الجهة المقابلة لأن ضوءه ينعكس إلى داخل البركة.

السراب والتفريق وقوس المطر

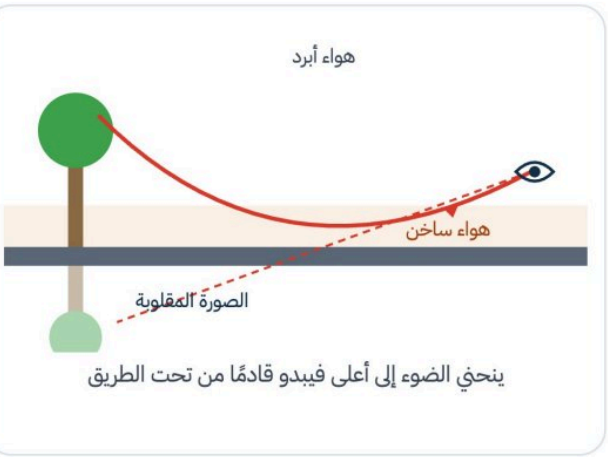
6 السراب

في يوم صيفي حار ترى على الطريق ما يبدو **بركة ماء** تعكس السيارة القادمة، ثم تختفي عندما تصل إليها.

السبب: الطريق الحارة تسخّن الهواء فوقها، فيقل **معامل انكسار** الهواء قرب الأرض تدريجيًا، فينحرف الضوء النازل نحو الطريق **تدريجيًا إلى أعلى**، فيبدو قادمًا من انعكاس في بركة.

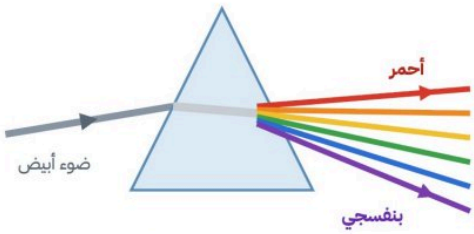
بنموذج هيجنز: المويجات القريبة من سطح الأرض **أسرع** من التي في الأعلى، فتنحرف مقدمات الموجات تدريجيًا إلى أعلى.

السراب القطبي: يبدو انعكاس قارب بعيد **فوق** القارب نفسه؛ لأن الماء يُبقي الهواء القريب من سطحه باردًا.



ينحني الضوء إلى أعلى فيبدو قادمًا من تحت الطريق

7 تفريق الضوء



البنفسجي ينكسر أكثر من الأحمر

التفريق (التحليل): تحلّل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي.

سرعة الضوء في الوسط تتحدد بتفاعله مع ذرات الوسط؛ لذا تختلف سرعة الضوء ومعامل الانكسار باختلاف **الطول الموجي**، ويتغير معامل انكسار الغاز قليلًا مع **درجة الحرارة**.

تردد البنفسجي أكبر من الأحمر فيتفاعل مع ذرات الزجاج بصورة مختلفة؛ فتكون سرعته في الزجاج **أقل** ومعامل انكسار الزجاج له **أكبر**؛ لذا **ينكسر البنفسجي أكثر**.

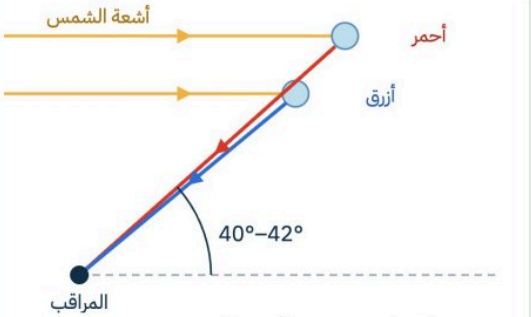
8 قوس المطر

قوس المطر **طيف** يتشكّل عندما يتفرق ضوء الشمس بقطرات الماء في الغلاف الجوي:

انكسار عند دخول القطرة، وكل لون بزاوية مختلفة ← **انعكاس داخلي** على السطح الخلفي للقطرة ← **انكسار** عند الخروج فيزداد التفريق

يرى المراقب (بين الشمس والمطر) من كل قطرة **لونًا واحدًا** حسب المواقع النسبية للشمس والقطرة والمراقب، فيظهر طيف كامل لكثرة القطرات: القطرات التي تعكس **الأحمر** تصنع زاوية **42°** مع أشعة الشمس، والتي تعكس **الأزرق** زاوية **40°**.

القوس الثاني: يقع خارج الأول، **باهت** وألوانه **معكوسة**؛ بسبب انعكاس الضوء **مرتين** داخل القطرة.



كل قطرة ترسل لونًا واحدًا إلى عين المراقب

الخلاصة

- قانون سنل: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$
- $\sin\theta_c = n_2/n_1$ وتطبيقها: الألياف البصرية.
- معامل الانكسار $n = c/v$، والطول الموجي في الوسط $\lambda = \lambda_0/n$
- التفريق: البنفسجي ينكسر أكثر من الأحمر.

العدسات المحدبة والمقعرة

ملخص الدرس · Convex and Concave Lenses · صفحات الكتاب 182–189

الدرس 6-2

أهداف الدرس

١. أصف كيف تتكوّن الصور الحقيقية والخيالية بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة.
٢. أعيّن موقع الصور بالطريقتين الهندسية والرياضية.
٣. أوضح كيف يمكن تقليل الزوغان اللوني.

المفردات

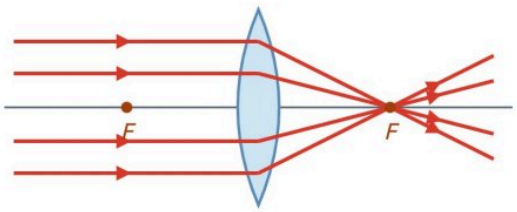
العدسة المحدبة · العدسة المقعرة · معادلة العدسة الرقيقة · الزوغان اللوني

برنارد أوف جوردون (1303): كتب عن استخدام العدسات لتصحيح النظر.

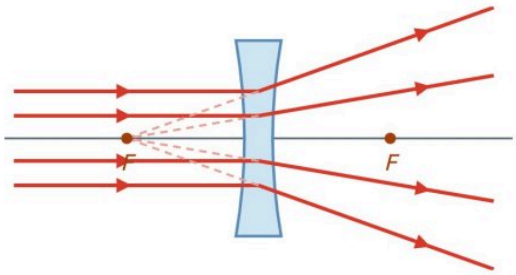
جاليليو (1610): صنع تلسكوبًا من عدستين اكتشف به أقمار المشتري.

1 أنواع العدسات

العدسة: قطعة من مادة شفافة (كالزجاج أو البلاستيك) تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور، وكل سطح فيها قد يكون منحنيًا أو مستويًا.



العدسة المحدبة (المجمّعة): أكثر سمكًا عند الوسط منها عند الأطراف، وتكسر الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس فتتجمع في نقطة واحدة هي **البؤرة**.



العدسة المقعرة (المفرّقة): أرقّ عند الوسط منها عند الطرفين، وتكسر الأشعة المتوازية فتتفرّق وكأنها خارجة من **البؤرة**.

تعمل العدستان هكذا عندما تُحاطان بمادة معامل انكسارها **أقل** من معامل انكسار مادة العدسة. ويحدث الانكسار عند سطحي العدسة، لكن في **نموذج العدسة الرقيقة** نفترض أنه يحدث كاملًا في **المستوى الأساسي** الذي يمر بمركز العدسة.

2 معادلتا العدسة

معادلة العدسة الرقيقة

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري = مقلوب بُعد الصورة + مقلوب بُعد الجسم عن العدسة.

التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

طول الصورة ÷ طول الجسم = سالب بُعد الصورة ÷ بُعد الجسم.

البعد البؤري f: المسافة بين المستوى الأساسي والبؤرة، ويعتمد على **شكل العدسة** و**معامل انكسار مادتها**.

الصورة الخيالية: تقع دائمًا في **جهة الجسم نفسها**؛ فيكون d_i سالبًا.

التكبير: $|m|$ بين 0 و1 صورة مصغّرة، وأكبر من 1 مكبّرة، وسالب يعني صورة **مقلوبة**.

صور العدسة المحدبة

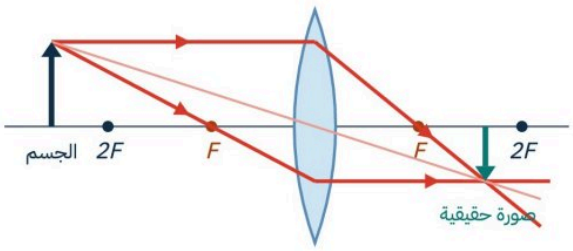
3 العدسة المحدبة والصور الحقيقية

أشعة الشمس تصل متوازية تقريبًا فتتجمع بعد انكسارها في **البؤرة** F؛ لذا يمكن إشعال ورقة بتكوين صورة للشمس عليها. وللعدسة **بؤرتان**، واحدة في كل جانب.

الشعاع 1: يسقط موازيًا للمحور الرئيس، فينكسر مارًّا بالبؤرة F في الجانب الآخر.

الشعاع 2: يمر بالبؤرة F في جهة الجسم، فينكسر موازيًا للمحور الرئيس.

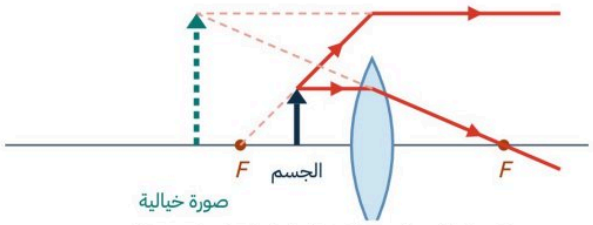
يتقاطع الشعاعان بعد F فيحددان موقع الصورة. إذا عُكس اتجاه الأشعة تتبع مسارها نفسه؛ لذا **يمكن تبادل موقعي الجسم والصورة**.



جسم أبعد من $2F$: صورة حقيقية مقلوبة مصغّرة بين F و$2F$

الجسم **أبعد من** $2F$	الجسم **عند** $2F$	الجسم **بين** F **و**$2F$
صورة مصغّرة	**صورة عند** $2F$ **بالحجم نفسه**	**صورة مكبّرة**

4 العدسة المحدبة والصور الخيالية



امتدادا الشعاعين (المتقطّعان) يلتقيان في جهة الجسم

الجسم **في البؤرة**: تنكسر الأشعة في حزمة متوازية **ولا تتكوّن صورة**.

الجسم **بين** F **والعدسة**: الشعاع 1 ينكسر مارًّا بالبؤرة، والشعاع 2 يُرسم وكأنه بدأ من F في جهة الجسم فيخرج موازيًا للمحور؛ فيتباعد الشعاعان ولا تتكوّن صورة حقيقية.

برسم **الامتداد الخلفي** للشعاعين نحدد الصورة: **خيالية ومعتدلة ومكبّرة** في جهة الجسم. (الصورة الحقيقية يكوّنها ضوء يمر فعلًا خلال العدسة، والخيالية نحددها بامتدادات الأشعة).

5 خصائص العدسات الكروية (جدول 6-2)

نوع العدسة	f	d_o	d_i	m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$	$2f > d_i > f$	مصغّرة مقلوبة	**حقيقية**
محدبة	+	$2f > d_o > f$	$d_i > 2f$	مكبّرة مقلوبة	**حقيقية**
محدبة	+	$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ (سالب)	مكبّرة	خيالية
مقعرة	−	$d_o > 0$	$0 < \lvert d_i \rvert < \lvert f \rvert$ (سالب)	مصغّرة	خيالية

لاحظ التشابه مع جدول المرايا 5-1: **العدسة المقعرة** تنتج صورًا خيالية فقط، و**العدسة المحدبة** تنتج صورًا حقيقية أو خيالية.

العدسة المقعرة وعيوب العدسات

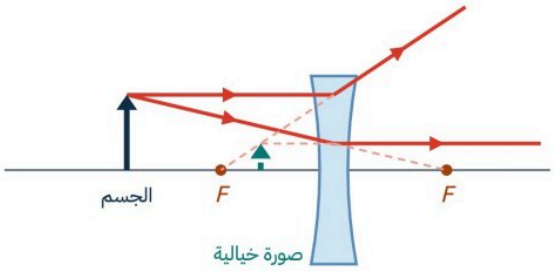
6 العدسة المقعرة

العدسة المقعرة **تفرّق الأشعة كلها**:

الشعاع 1: يصل موازيًا للمحور الرئيس، ويخرج بحيث يمر **امتداده** بالبؤرة في جهة الجسم.

الشعاع 2: يتجه نحو البؤرة في الجانب المعاكس، ويخرج موازيًا للمحور الرئيس.

تلتقي الامتدادات الخلفية في جهة الجسم، فتكون الصورة دائمًا **خيالية ومعتدلة ومصغّرة** مهما كان بُعد الجسم.



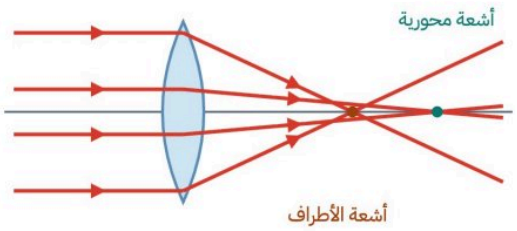
الخطوط المتقطّعة امتدادات الأشعة الخارجة

البعد البؤري سالب: إذا كان البعد البؤري 24 cm نستخدم $f = -24\ cm$.

بُعد الصورة سالب: صورها كلها خيالية؛ فإذا كان بُعدها 20 cm نستخدم $d_i = -20\ cm$.

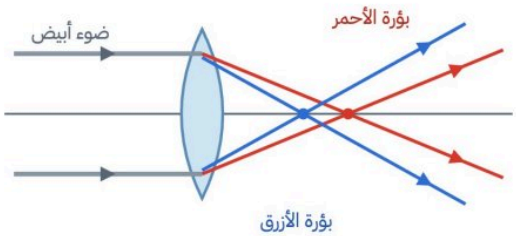
بُعد الجسم موجب دائمًا.

7 عيوب العدسات الكروية



الزوغان الكروي: عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة، وسببه **اتساع سطح العدسة**؛ فالأشعة المارة بأطرافها تتجمع في مواضع مختلفة عن الأشعة القريبة من المحور.

علاجه: جعل الأشعة الساقطة قريبة من المحور الرئيس، وتستخدم الأدوات الدقيقة غالبًا **خمس عدسات أو أكثر**.



الزوغان اللوني: العدسة كالمنشور تكسر الأطوال الموجية المختلفة بزوايا مختلفة، فيظهر الجسم محاطًا بالألوان خصوصًا قرب الأطراف. وهو عيب في العدسات **لا يوجد في المرايا**، ويحدث دائمًا مع العدسة المفردة.

علاجه: العدسات اللالونية: عدسة محدبة مع مقعرة لهما معاملا انكسار مختلفان، فيلغي تشتت إحداهما تشتت الأخرى تقريبًا مع بقاء تجميع الضوء.

الخلاصة

- المحدبة تجمّع الأشعة، والمقعرة تفرّقها.
- المحدبة: صورة حقيقية إذا كان $d_o > f$، وخيالية مكبّرة إذا كان $d_o < f$.
- الزوغان الكروي سببه اتساع سطح العدسة.
- $1/f = 1/d_i + 1/d_o$ و $m = h_i/h_o = -d_i/d_o$
- المقعرة: صورة خيالية معتدلة مصغّرة دائمًا، وf سالب.
- الزوغان اللوني يُقلَّل بالعدسات اللالونية.

تطبيقات العدسات

ملخص الدرس · Applications of Lenses · صفحات الكتاب 190–196

الدرس 6-3

أهداف الدرس

١. أصف كيف تجمّع العين الضوء لتكوّن الصور.
٢. أوضح المقصود بقصر النظر وطول النظر، وكيف تصحّح النظارات هذه العيوب.
٣. أصف الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات

قصر النظر | طول النظر

تحتوي المناظير وآلات التصوير والمجاهر وحتى العين على **عدسات** تكوّن صورًا واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة.

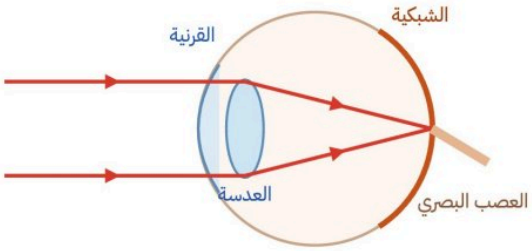
1 العدسات في العين

العين أداة بصرية كروية تقريبًا مملوءة بسائل، يسير فيها الضوء هكذا:

القرنية تجمّع الضوء ← **العدسة** تجميع دقيق ← **الشبكية** تمتص الضوء ← **العصب البصري** إلى الدماغ

القرنية هي العنصر الرئيس في تجميع الضوء؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية **كبير**. أما **العدسة** فمسؤولة عن **التجميع الدقيق** لرؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح.

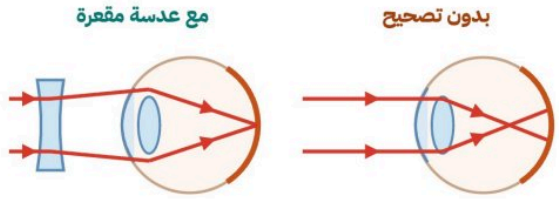
التكيّف: العضلات المحيطة تغيّر شكل العدسة فيتغير بعدها البؤري: **ترتخي** ← تتركّز صورة الجسم **البعيد** على الشبكية، **تنقبض** ← يقل البعد البؤري فتتركّز صورة الجسم **القريب**.



العين السليمة: تتجمع الأشعة على الشبكية

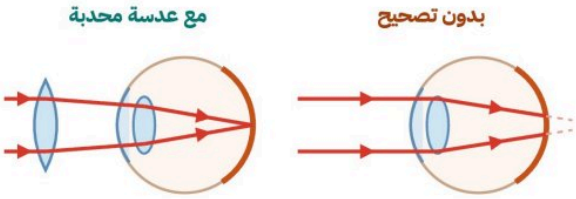
2 قصر النظر وطول النظر

قد لا تكوّن عيون بعض الناس صورًا واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن **أمامها أو خلفها**، فيحتاجون إلى نظارات أو عدسات لاصقة لضبط الصورة على الشبكية.



قصر النظر: لا يرى الشخص الأجسام **البعيدة** بوضوح؛ لأن البعد البؤري للعين **أقل** من الطبيعي فتتكوّن الصور **أمام الشبكية**.

التصحيح: عدسة مقعرة تفرّق الضوء فيزداد بُعد الصورة عن العدسة وتتكوّن على الشبكية.



طول النظر: لا يرى الشخص الأجسام **القريبة** بوضوح؛ لأن البعد البؤري للعين **أكبر** من الطبيعي فتتكوّن الصور **خلف الشبكية**. (ويحدث مثله لمن هم فوق 45 عامًا لتصلّب عدسة العين).

التصحيح: عدسة محدبة تكوّن صورة خيالية أبعد عن العين، تصبح جسمًا لعدسة العين فتتكوّن صورته على الشبكية.

العدسات اللاصقة: تعمل عمل النظارات، وهي رقيقة توضع مباشرة على القرنية، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة لأن الفرق بين معاملي الانكسار كبير.

الأدوات البصرية

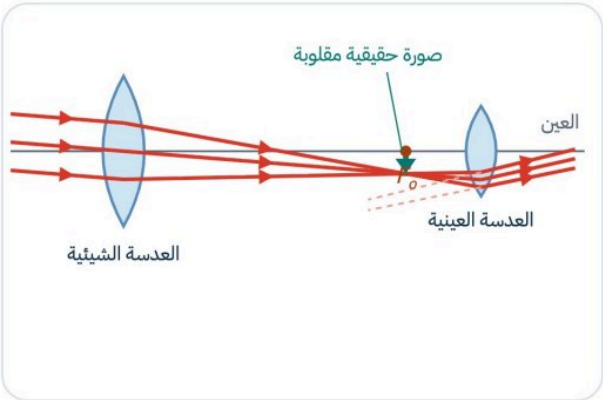
3 المنظار الفلكي الكاسر (الكبلري)

يستخدم العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. وضوء النجوم يصل **متوازيًا** تقريبًا.

العدسة الشيئية (محدبة): تجمّع الأشعة فتتكوّن **صورة حقيقية مقلوبة** عند بؤرتها.

العدسة العينية (محدبة): تقع بؤرة الشيئية بينها وبين بؤرتها، فتكوّن من الصورة الأولى صورة **خيالية أكبر**؛ وتبقى الصورة النهائية **مقلوبة** (وهذا مقبول لرصد الأجسام الفلكية).

تُستخدم دائمًا عدسات عينية **لالونية** للتخلّص من الزوغان اللوني.



4 المنظار (ثنائي العينين)

كل جانب منه يشبه تلسكوبًا:

١. العدسة الشيئية المحدبة تكوّن صورة **مقلوبة**.

٢. **منشوران** يستخدمان **الانعكاس الكلي الداخلي** يقلبان الصورة مرة أخرى فيراها المشاهد **معتدلة**.

٣. المنشوران يُطيلان مسار الضوء ويوجّهانه إلى العينية، ويزيدان المسافة بين الشيئيتين فتتحسن **الرؤية الثلاثية الأبعاد**.

5 آلة التصوير العاكسة

١. يمر الضوء خلال **عدسة لالونية** تعمل كعدسة محدبة مفردة فتكوّن صورة **مقلوبة** على المرآة العاكسة.

٢. تنعكس الصورة إلى أعلى نحو **المنشور** الذي يوجّه الضوء إلى عين المشاهد.

٣. عند الضغط على **زر الغالق** ترتفع المرآة لفترة وجيزة، فينتقل الضوء مستقيمًا ليكوّن صورة على **الفيلم**.

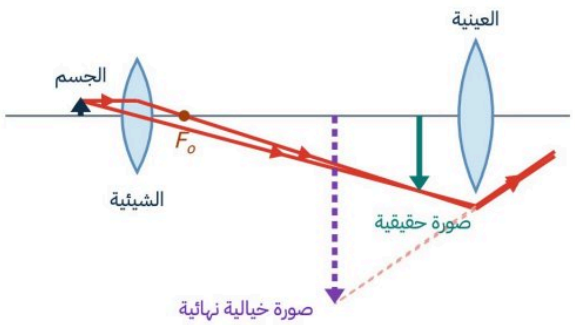
6 المجهر المركّب

لمشاهدة الأجسام الصغيرة، وله **عدستان محدبتان**: شيئية وعينية.

الشيئية: يوضع الجسم بين بؤرتها و$2F$ فتتكوّن **صورة حقيقية مقلوبة مكبّرة**.

العينية: الصورة الأولى تصبح جسمًا يقع بين العينية وبؤرتها، فتتكوّن **صورة خيالية معتدلة** بالنسبة للصورة الأولى.

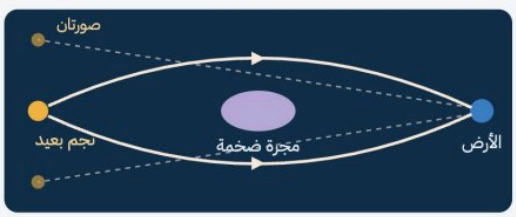
يرى المشاهد صورة **مقلوبة ومكبّرة جدًا** بالنسبة للجسم.



علم الفلك: عدسات الجاذبية

اقترح **أينشتاين** أن الضوء **ينحني** بفعل مجال الجاذبية للأجسام الضخمة، وأُثبت ذلك عام 1919 أثناء كسوف للشمس.

عام 1979 رُصد نجمان بعيدان (كوازار) تبيّن أنهما **صورتان لنجم واحد** انحنى ضوؤه حول مجرة ضخمة عملت عمل **عدسة محدبة ناقصة**. وتتكوّن **حلقات أينشتاين** عندما تكون العدسة والجسم على استقامة واحدة تقريبًا.



الخلاصة

- القرنية تجمّع معظم الضوء، والعدسة تضبطه بالتكيّف.
- المنظار الفلكي والمجهر: عدستان محدبتان (شيئية وعينية).
- قصر النظر يُصحَّح بعدسة مقعرة، وطوله بعدسة محدبة.
- المنظار ثنائي العينين يعدّل الصورة بمنشورين.

التداخل

ملخص الدرس · Interference · صفحات الكتاب 205–213

الدرس 7-1

أهداف الدرس

١. أفسّر تكوّن نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقّين.
٢. أحسب الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
٣. أطبّق النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

الضوء غير المترابط · الضوء المترابط · أهداب التداخل · الضوء الأحادي اللون · التداخل في الأغشية الرقيقة

1 الضوء المترابط وغير المترابط

يسلك الضوء سلوك الموجات؛ فهو **يحيد ويتداخل** كما تفعل موجات الماء والصوت، وهذا ما دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية.

الضوء المترابط

ضوء ناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مشكّلًا **مقدمات موجات منتظمة**؛ من مصدر نقطي، أو من مصادر نقطية متزامنة كما في **الليزر**.



الضوء غير المترابط

ضوء ذو **مقدمات موجية غير متزامنة**، مثل ضوء مصباح قريب؛ يشبه سطح بركة يسقط عليها مطر غزير، ونراه أبيض منتظمًا لأن تردده كبير جدًا.



تحدث ظاهرة **التداخل** نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية **مترابطة فقط**.

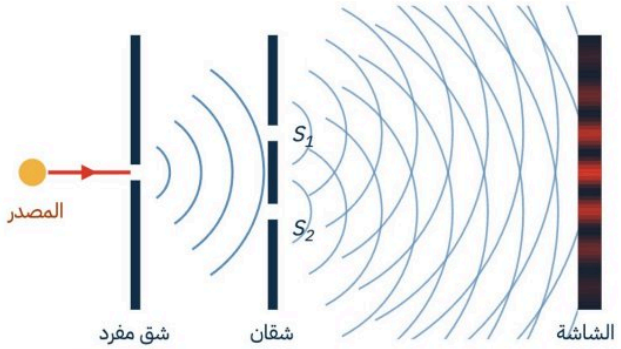
2 تداخل الشق المزدوج (تجربة يونج)

أثبت **توماس يونج** أن للضوء خصائص موجية؛ إذ وجّه ضوءًا مترابطًا على **شقّين ضيقين متقاربين**، فلم تكن الإضاءة على الشاشة منتظمة، بل نمطًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة سمّاها **أهداب التداخل**.

توليد الضوء المترابط: وضع يونج **شقًّا ضيقًا** أمام مصدر أحادي اللون، فنفذ الجزء المترابط فقط وحاد مكوّنًا مقدمات موجات أسطوانية تقريبًا، تصل إلى الشقّين **متفقة في الطور**، فيصدر عنهما موجات مترابطة تتداخل.

ضوء أحادي اللون (له طول موجي واحد): هدب مركزي مضيء، وعلى جانبيه أهداب مضيئة متساوية الفراغات والعرض تقريبًا، **تتناقص شدتها** بالابتعاد عن المركز، وبينها أهداب معتمة.

ضوء أبيض: تظهر **أطياف ملونة**، ويكون الهدب المركزي **أبيض دائمًا** لأن جميع الأطوال الموجية تتداخل فيه تداخلًا بنّاءً.



الشق المفرد يولّد ضوءًا مترابطًا، والشقان S_1 وS_2 يصدران موجات متفقة في الطور تتداخل على الشاشة

أنماط التداخل وقياس الطول الموجي

3 التداخل البنّاء والتداخل الهدّام

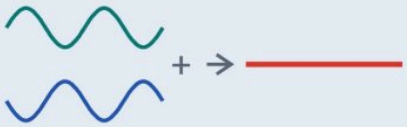
تعتمد مواقع حزم التداخل البنّاء والهدّام على **الطول الموجي** للضوء الساقط، وعلى العلاقة بين طوري الموجتين عند وصولهما إلى الشاشة:

تداخل بنّاء ← هدب مضيء



الموجتان تصلان **متفقتين في الطور** فتعزز إحداهما الأخرى.

تداخل هدّام ← هدب معتم

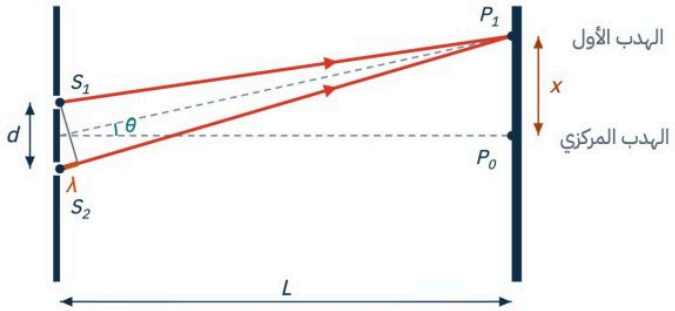


الموجتان تصلان **مختلفتين في الطور** فتلغي إحداهما الأخرى.

4 قياس الطول الموجي للضوء

عند P_0: تقطع الموجتان المسافة نفسها من الشقّين وتصلان بالطور نفسه ← **الهدب المركزي المضيء**.

عند P_1: القطعة P_1S_1 أطول من P_1S_2 بمقدار **طول موجي واحد** λ، فتصل الموجتان بالطور نفسه ← **هدب مضيء**.



الفرق بين المسارين إلى P_1 يساوي λ (الرسم ليس بمقياس رسم)

الطول الموجي من تجربة شقّي يونج

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

الطول الموجي = المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الأول x × المسافة بين الشقّين d ÷ المسافة بين الشقّين والشاشة L.

مواقع التداخل البنّاء x_m على جانبي الهدب المركزي:

$$m\lambda = \frac{x_m d}{L} \quad , \quad m = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots$$

$m = 0$ الهدب المركزي، و$m = 1$ هدب الرتبة الأولى، وهكذا (تبسيط لأن الزاوية صغيرة).

لمحة تاريخية: نشر يونج نتائجه عام **1803** فقوبلت بالسخرية، ولم تُقبل حتى **1820** حين قدّم **فريسنل** حلًا رياضيًا للطبيعة الموجية. وبيّن **بواسون** أنه لو صحّ ذلك لظهرت **بقعة مضيئة في مركز ظل جسم دائري**، فأثبت **آرجو** وجودها تجريبيًا.

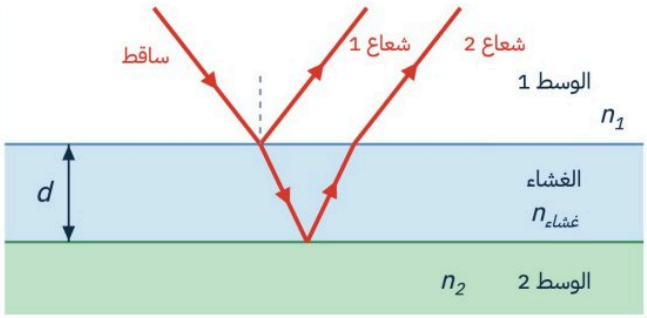
التداخل في الأغشية الرقيقة

5 التداخل في الأغشية الرقيقة

ألوان فقاعات الصابون وبقع الزيت على الماء ليست من منشور ولا أصباغ، بل من التداخل البنّاء والهدّام للضوء المنعكس عن **الغشاء الرقيق**.

ينعكس جزء من الضوء عن السطح الأمامي (**الشعاع 1**) وينفذ جزء ينعكس عن السطح الخلفي (**الشعاع 2**)؛ فتتجزأ كل موجة إلى زوج متماثل، لذا يكون الضوء المنعكس **مترابطًا**.

انقلاب الموجة: تنقلب الموجة المنعكسة عن وسط **معامل انكساره أكبر**، ولا تنقلب عند الانعكاس عن وسط معامل انكساره أصغر.



الشعاعان 1 و2 المنعكسان عن سطحي الغشاء يتداخلان

غشاء الصابون في الهواء: الشعاع 1 ينقلب والشعاع 2 لا ينقلب. إذا كان السمك $d = \lambda/4$ للموجة في الغشاء يكون المسار ذهابًا وإيابًا $\lambda/2$، فيتفق الشعاعان في الطور ← **تعزيز اللون**:

$$d = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{4n_{\text{الغشاء}}}$$

- يتحقق التداخل البنّاء أيضًا عند السمك ... $\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$ فيتكرر الطيف.
- الغشاء **متغير السمك** (أسمك عند القاع بسبب وزنه) يحقق الشرط لألوان مختلفة ← **ألوان قوس المطر**.
- الغشاء الرقيق جدًا الذي لا يعطي تداخلًا بنّاءً لأي لون يبدو **معتمًا**.
- **فراشة المورفو:** تراكيب تشبه الدرج في جناحها تعطي تداخلًا **أزرق** متلألئًا. و**النظارات غير العاكسة**: غشاء رقيق يمنع انعكاس أطوال موجية معينة.

6 استراتيجية مسائل الأغشية الرقيقة

فرق المسافة = عدد فردي من أنصاف الطول الموجي

$$(m + ½)\,\lambda_{\text{الغشاء}}$$

عند: تداخل **بنّاء** وإحدى الموجتين مقلوبة، أو **هدّام** وكلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة.

فرق المسافة = عدد صحيح من الأطوال الموجية

$$m\,\lambda_{\text{الغشاء}}$$

عند: تداخل **بنّاء** وكلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة، أو **هدّام** وإحداهما مقلوبة.

المسافة الإضافية للشعاع الثاني = **ضعف سمك الغشاء** $2d$ · $\lambda_{\text{الغشاء}} = \lambda_{\text{الفراغ}} / n_{\text{الغشاء}}$

الخلاصة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح سطح مكتبك.
- يبرهن التداخل أن للضوء **خصائص موجية**.
- تُستخدم أنماط التداخل لقياس الطول الموجي: $\lambda = xd / L$
- ينتج نمط التداخل من تراكب موجات ضوئية من مصادر **مترابطة فقط**.
- الضوء المار خلال شقّين ضيقين متقاربين ينتج **أهداب التداخل** المضيئة والمعتمة.
- تنتج أنماط تداخل عندما ينتج ضوء مترابط عند حدّ الانكسار لغشاء رقيق.

الحيود

ملخص الدرس · Diffraction · صفحات الكتاب 215–223

الدرس 7-2

أهداف الدرس

١. أوضّح كيف تتشكّل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
٢. أصف كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
٣. أناقش كيف يحدّ الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًا بواسطة عدسة.

المفردات

نمط الحيود · محزوز الحيود · معيار ريليه

تنحني مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة حول حواف فتحة في حاجز أثناء نفاذها؛ أي يحدث لها **حيود**.

1 نمط الحيود ومبدأ هيجنز

مبدأ هيجنز: جميع النقاط على مقدمات الموجات تمثّل **مصادر ضوئية نقطية** (مويجات هيجنز).

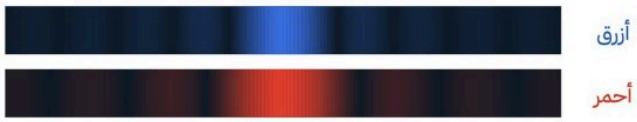
نمط الحيود: نمط يتكوّن على شاشة عندما يعبر ضوء مترابط حافتين متقاربتين، نتيجة **التداخل البنّاء والهدّام** لمويجات هيجنز.

2 حيود الشق المفرد

عندما يمر ضوء مترابط خلال شق صغير **عرضه أكبر من الطول الموجي** يحيد الضوء عن كلتا الحافتين، فتتكوّن على شاشة بعيدة أهداب مضيئة ومعتمة.

بدلًا من أهداب متساوية الفراغات (كما في تجربة يونج) يتكوّن **هدب مركزي عريض ومضيء**، وعلى جانبيه أهداب **أقل سمكًا وأقل إضاءة**.

يزداد عرض الحزمة المركزية عند استخدام **الضوء الأحمر** بدلًا من الأزرق، وفي **الضوء الأبيض** يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف جميعها.



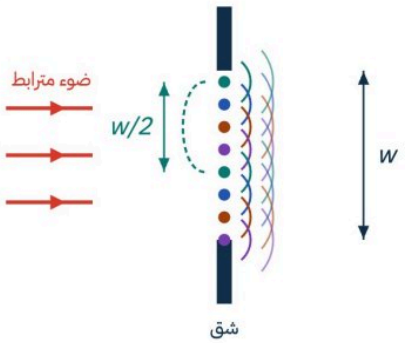
نمطا حيود شق مفرد بالحجم نفسه: الهدب المركزي للأحمر أعرض من الأزرق

كيف ينتج النمط؟ تخيّل الشق مجزأً إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، وقسّمه ذهنيًا إلى **جزأين متساويين**؛ وكل مصدر في النصف العلوي يقابله مصدر في النصف السفلي يفصلهما $w/2$.

الهدب المعتم: تتداخل كل الأزواج المماثلة من المويجات تداخلًا **هدّامًا**.

الهدب المضيء: نتيجة تداخل أزواج المويجات تداخلًا **بنّاءً**.

المنطقة الخافتة بين الأهداب المضيئة والمعتمة: يحدث فيها تداخل هدّام **جزئيًا**.



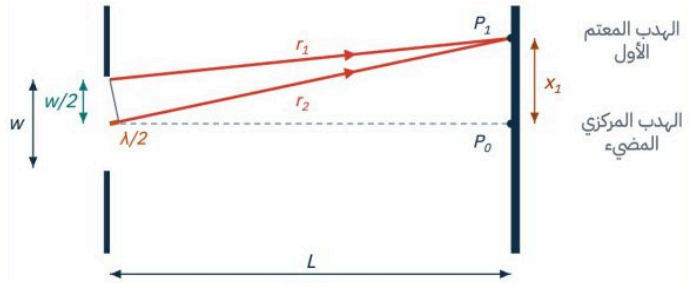
شق عرضه w مجزأ إلى أزواج من مويجات هيجنز يفصل بين كل زوج $w/2$

عرض الحزمة المركزية ومحزوزات الحيود

3 موقع الأهداب المعتمة في الشق المفرد

يظهر الهدب المركزي المضيء عند P_0، ويظهر **الهدب المعتم الأول** عند P_1 لأن المسارين r_1 وr_2 يختلفان بمقدار **نصف طول موجي** فيحدث تداخل هدّام.

بافتراض أن L أكبر كثيرًا من w، وأن المسافة بين مصدري الموجتين $w/2$، وفرق المسار $\lambda/2$: $x_1/L = \lambda/w$



الشق على بعد L من الشاشة، وهي أكبر كثيرًا من عرضه w

عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق المفرد

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

عرض الحزمة المركزية = ضعف الطول الموجي × البعد عن الشاشة ÷ عرض الشق

مواقع الأهداب المعتمة الأخرى: عندما يكون فرق المسارات $3\lambda/2$ و$5\lambda/2$ وهكذا:

$$x_m = m\lambda L/w \ , \ m = 1, 2, 3, \ldots$$

$m = 1$ الهدب المعتم الأول، و$m = 2$ الثاني (زوايا صغيرة).

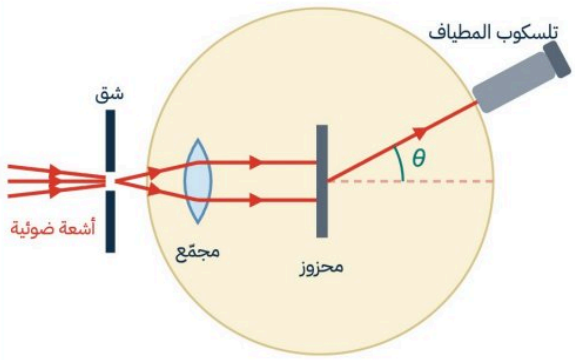
- جميع أهداب **الشق المزدوج** المضيئة تقع ضمن عرض الحزمة المركزية لحيود **الشق الأحادي** (للعرض نفسه)؛ لأن تداخل الشق المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشق الأحادي.
- يتضح الحيود عندما يكون عرض الشق بين **10 و 100** ضعف الطول الموجي، وفتحات أكبر تكوّن **ظلالًا حادة** (لاحظها نيوتن أولًا).

4 محزوزات الحيود

محزوز الحيود: أداة مكوّنة من **شقوق عدة مفردة** تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمطًا ناتجًا عن تراكب أنماط حيود الشق المفرد؛ وقد يصل إلى **10,000 شق لكل سنتمتر** (المسافة بين الشقوق $10^{-6}\ m$ أو $1000\ nm$).

محزوز النفاذ: خدوش رفيعة جدًا على زجاج منفذ برأس من الألماس، والفراغات بينها تعمل كالشقوق. وأقلّها تكلفة **المحزوز طبق الأصل (الغشائي)** من صفيحة بلاستيك مضغوطة على محزوز زجاجي.

محزوز الانعكاس: خطوط رفيعة جدًا محفورة على طبقة معدنية أو زجاج عاكس؛ مثل قرص CD أو DVD الذي يعطي طيف ألوان عند انعكاس الضوء الأبيض.



المطياف: يقيس الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود

إسهامات العلماء في تطور علم البصريات

القرن التاسع
الكندي
فسّر اختلاف أطوال الظلال والانعكاس في المرايا، وبيّن أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.

القرن العاشر
ابن سهل
وضع أول قانون للانكسار واستخدمه لاستخلاص أشكال العدسات.

القرن الحادي عشر
ابن الهيثم
أوجد علم البصريات المعتمد على التجربة والبرهان، وفسّر رؤية العين للأجسام.

القرن السابع عشر
ديكارت · سنل · هيجنز
نظريات الانعكاس والانكسار، وقانون الانكسار، والنظرية الموجية للضوء.

القرن الثامن عشر
نيوتن
وصف الضوء بأنه انبعاث جسيمات، واكتشف أنه مكوّن من سبعة ألوان.

القرن التاسع عشر
يونج · ماكسويل
دليل الطبيعة الموجية وتجربة الشق المزدوج، والضوء موجات كهرومغناطيسية.

القرن العشرون
بور
أول تفسير صحيح لآلية انبعاث الضوء من الذرات، وفسّر الظاهرة الكهروضوئية.

قدرة التمييز للعدسات

5 معادلة محزوز الحيود والمطياف

نمط المحزوز **أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسافات متساوية**، وكلما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول كانت الأهداب **أكثر ضيقًا**؛ لذا يقيس المطياف بدقة أكبر من الشق المزدوج.

الزاوية θ في المحزوز **كبيرة** فلا يُطبَّق تبسيط الزاوية الصغيرة، ويُقاس الطول الموجي بقياس θ بين الهدب المركزي والهدب المضيء الأول.

الطول الموجي من محزوز الحيود

$$\lambda = d \sin\theta$$

الطول الموجي = المسافة بين الشقوق × جيب زاوية الهدب المضيء الأول

التداخل البنّاء: $m\lambda = d \sin\theta$, $m = 0, 1, 2, \ldots$ والهدب المركزي عند $m = 0$

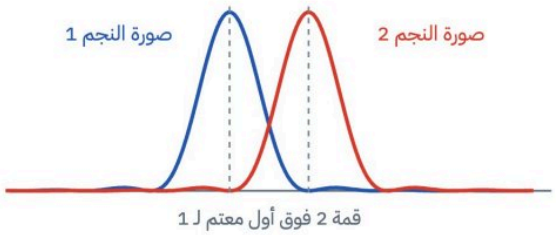


نمط محزوز للضوء الأحمر (أعلى) وللضوء الأبيض (أسفل)

فراشة المورفو: تعمل طبقة قشورها الداخلية عمل **محزوز حيود** فينتشر نمط التداخل الأزرق المتلألئ بزاوية نظر أوسع.

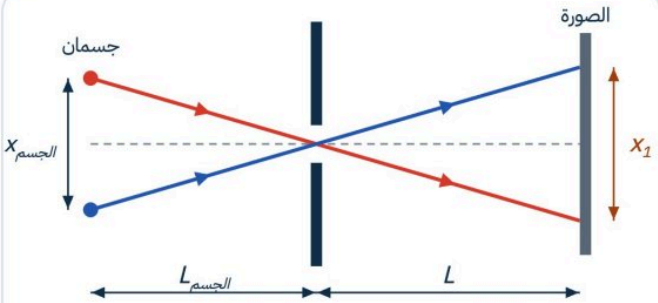
6 قدرة التمييز للعدسات ومعيار ريليه

تعمل العدسة المستديرة (في المنظار والمجهر والعين) عمل **فتحة** تسبّب حيود الضوء وتنتج **حلقات مضيئة ومعتمة**؛ ومعادلتها مماثلة لمعادلة الشق مع قطر الفتحة D بدلًا من w ومعامل هندسي 1.22: $x_1 = 1.22\,\lambda L/D$



قمة 2 فوق أول معتم لـ 1

معيار ريليه (1879): إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للآخر، فالصورتان عند **حدّ التمييز**.



من تشابه المثلثين: $x_1/L = x_{\text{الجسم}}/L_{\text{الجسم}}$

معيار ريليه

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

المسافة بين جسمين عند حدّ التمييز = 1.22 × الطول الموجي × بعدهما عن الفتحة ÷ قطر الفتحة

- **العين:** بؤبؤ $3\ mm$ وضوء $550\ nm$ ← $L_{\text{الجسم}} \approx 2 \times 10^{4}\ x_{\text{الجسم}}$؛ فتميّز ضوئي مركبة (1.5 m بينهما) من بعد **7 km**.
- المنظار **محدود الحيود** يُصقل بدقة عُشر الطول الموجي (55 nm تقريبًا)، و**كلما كبر قطر المرآة زادت قدرة التمييز**.
- الغلاف الجوي يمنع المناظير الأرضية من بلوغ حدّ الحيود، لذا **تلسكوب هابل** أفضل لأنه فوقه.

الخلاصة

- يحيد الضوء المار خلال شق ضيّق وينتج نمط حيود على شاشة.
- المحزوز شقوق كثيرة متقاربة جدًا ينتج خطوطًا ضيّقة: $\lambda = d \sin\theta$
- نمط الشق المفرد: حزمة مركزية عرضها $2x_1 = 2\lambda L/w$
- يحدّ الحيود من التمييز بين جسمين متقاربين: $x_{\text{الجسم}} = 1.22\lambda L_{\text{الجسم}}/D$

الشحنة الكهربائية

ملخص الدرس · Electric Charge · صفحات الكتاب 233–238

الدرس 8-1

أهداف الدرس

١. أوضّح أن الأجسام المشحونة تؤثر بقوى تجاذب وتنافر.

٢. أوضّح أن عملية الشحن هي فصل للشحنات الكهربائية، وليس إنتاجها.

٣. أوضّح الاختلافات بين الموصلات والعوازل.

المفردات

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية) · الذرة المتعادلة · مادة عازلة · مادة موصلة

1 الكهرباء الساكنة

تجربة فرانكلين (1752م): طيّر طائرة ورقية وربط مفتاحًا في نهاية خيطها، فلما اقتربت عاصفة رعدية انتصبت ألياف الخيط وتنافرت، وحدثت **شرارة** عند تقريب إصبعه من المفتاح؛ فأظهر أن **البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك**.

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية): دراسة الشحنات الكهربائية التي **تتجمّع وتُحتجز في مكان ما**. وتُلاحظ آثارها من البرق إلى المستوى المجهري للذرات والجزيئات، أما الكهرباء التيارية فتُدرس لاحقًا.

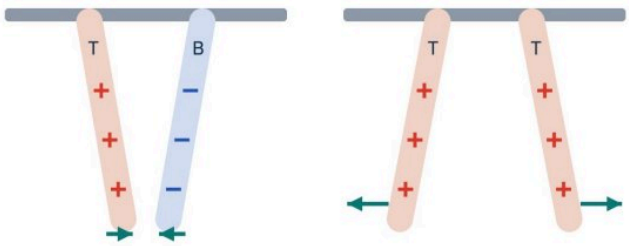
2 الأجسام المشحونة

المسطرة البلاستيكية المدلوكة تجذب قصاصات الورق بقوة تفوق قوة الجاذبية الأرضية، لكنها **لا تجذب إلا بعد الدلك** و**تفقد خاصية الجذب** بعد فترة قصيرة، بخلاف الجاذبية.

لاحظ الإغريق الأثر نفسه عند دلك **العنبر (الكهرمان)** وترجمته اليونانية «**إلكترون**»، وتُسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلًا كهربائيًا بعد الدلك **الأجسام المشحونة**.

تجربة الشريط اللاصق: شريطان أُعدّا بالطريقة نفسها لهما شحنة من النوع نفسه ← **يتنافران**. وشريطان أحدهما فوق الآخر (العلوي T والسفلي B) يُسحبان بعيدًا ← شحنتان مختلفتان ← **يتجاذبان**.

تزول الشحنة مع الوقت خاصة في الطقس الرطب، ويمكن إزالتها بدلك الشريط بالأصابع. ومعظم الأجسام المشحونة تجذب أحد الشريطين وتنافر الآخر، أما **الإصبع فيجذب كليهما**.



الأسهم تمثّل اتجاه القوة الكهربائية على الطرف الحر لكل شريط

3 أنواع الشحنات

يوجد **نوعان فقط** من الشحنات، أطلق عليهما فرانكلين: **الشحنة الموجبة** و**الشحنة السالبة**.

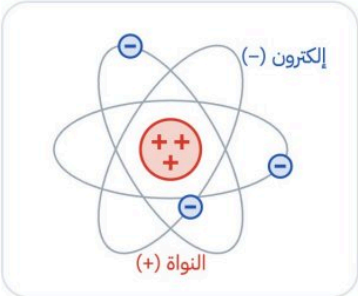
عند الدلك: **المطاط والبلاستيك** يُشحنان عادة بشحنة **سالبة**، و**الزجاج والصوف** بشحنة **موجبة**.

لا يتكوّن نوعا الشحنة منفصلين، بل **على شكل أزواج**؛ فالمادة بطبيعتها تحتوي على النوعين، ويمكن فصلهما.

فصل الشحنة والموصلات والعوازل

4 النظرة المجهرية للشحنة

توجد الشحنات الكهربائية في الذرات: اكتشف **طومسون (1897م)** أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جدًا سالبة تسمى **الإلكترونات**، واكتشف **راذرفورد (1909–1911م)** جسمًا مركزيًا موجبًا تتركز فيه كتلة الذرة يسمى **النواة**.



الذرة المتعادلة: الشحنة الموجبة في نواتها تساوي الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حولها.

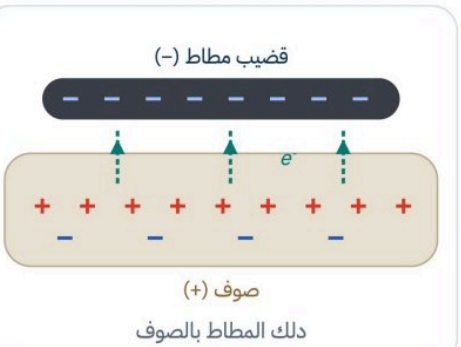
بإضافة طاقة تُزال إلكترونات المدارات الخارجية فتصبح الذرة **موجبة**، والإلكترونات المفقودة تبقى حرة أو ترتبط بذرات أخرى فتصبح **سالبة**. فاكتساب الشحنة مجهريًا هو **عملية انتقال للإلكترونات**.

5 فصل الشحنة وحفظها

إذا دُلك جسمان متعادلان معًا فقد يصبح كل منهما مشحونًا حسب ترتيب المواد في **سلسلة الدلك الكهربائي**.



من الأكثر **فقدًا** للإلكترونات (أعلى) إلى الأكثر **اكتسابًا** لها (أسفل)



تنتقل الإلكترونات من ذرات **الصوف** إلى ذرات **المطاط**، فتصبح شحنة المطاط الكلية **سالبة**، وشحنة الصوف **موجبة**.

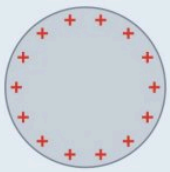
حفظ الشحنة: المجموع الكلي للشحنة على الجسمين يبقى نفسه؛ فالشحنات المفردة **لا تفنى ولا تُستحدث**، وإنما تنفصل الموجبة عن السالبة بانتقال الإلكترونات.

أمثلة: إطارات السيارة أو الشاحنة المتحركة تصبح مشحونة، والسحب الرعدية يصبح **أسفلها سالبًا وأعلاها موجبًا**؛ والشحنة في الحالتين **تنفصل ولا تُستحدث**.

6 الموصلات والعوازل

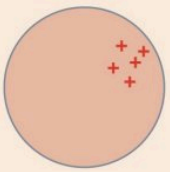
مادة موصلة

تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة، فتنتشر الشحنة على **كامل سطحها الخارجي**. الفلزات موصلات جيدة لأن في كل ذرة إلكترونًا واحدًا على الأقل ينفصل بسهولة ويتحرك بحرية. أمثلة: **النحاس والألومنيوم**، والبلازما، والجرافيت.



مادة عازلة

لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة، فتبقى الشحنة **في المكان الذي وُضعت فيه** (يُشحن الطرف المدلوك فقط). أمثلة: **الزجاج، والخشب الجاف، ومعظم البلاستيك، والملابس، والجو الجاف**.



موصل أم عازل؟ الكربون في **الألماس عازل** (كل ذرة ترتبط بقوة مع أربع ذرات)، وفي **الجرافيت موصل** (ثلاث روابط قوية ورابطة ضعيفة تسمح للإلكترونات بالحركة).

التفريغ الكهربائي: الهواء عازل، لكن عند تراكم شحنات كبيرة تنفصل الإلكترونات عن جزيئاته فتتكوّن **بلازما** موصلة للحظات: بين الأرض والسحب ← **البرق**، وبين الإصبع ومقبض الباب ← **شرارة كهربائية**.

القوة الكهربائية

ملخص الدرس · Electric Force · صفحات الكتاب 239–248

الدرس 8-2

أهداف الدرس

١. أوضّح العلاقات بين القوى الكهربائية والشحنات والبعد بينها.
٢. أوضّح كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
٣. أطوّر نموذجًا يوضّح كيف تجذب الأجسام المشحونة أجسامًا متعادلة.
٤. أطبّق قانون كولوم في حل مسائل في بعد واحد وفي بعدين.

المفردات

الكشاف الكهربائي · الشحن بالتوصيل · الشحن بالحث · التأريض · قانون كولوم · الكولوم · الشحنة الأساسية

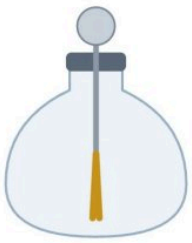
1 القوى على الأجسام المشحونة

القوى الكهربائية **كبيرة**؛ تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من تسارع الجاذبية، وقد تكون **تجاذبًا أو تنافرًا**، أما الجاذبية فتجاذب فقط. قاس **برنولي (1760م)** القوة الكهربائية، وبيّن **كافندش** في سبعينيات القرن الثامن عشر أنها تخضع لقانون **التربيع العكسي**.

تجربة القضبان المعلّقة: قضيب مطاطي سالب معلّق يدور **مبتعدًا** عند تقريب قضيب سالب آخر، ويدور **مقتربًا** عند تقريب قضيب موجب؛ ولا يلزم التلامس، فالقوة الكهربائية **تؤثر عن بُعد**.

- هناك نوعان من الشحنات: **موجبة** و**سالبة**.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى **عن بُعد**.
- تكون القوة **أكبر** عندما تكون الشحنات متقاربة.
- المتشابهة **تتنافر**، والمختلفة **تتجاذب**.

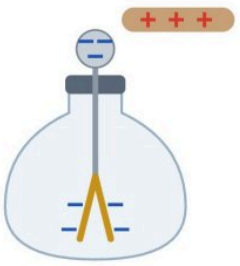
2 الكشاف الكهربائي والشحن بالتوصيل



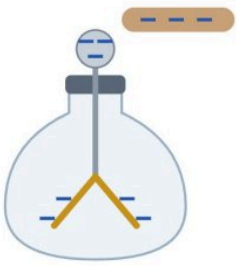
كشاف متعادل

الكشاف الكهربائي: كرة فلزية مثبّتة على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين تسميان **الورقتين**، معلّقتين بحرية داخل إناء زجاجي مغلق للحدّ من تأثير تيارات الهواء.

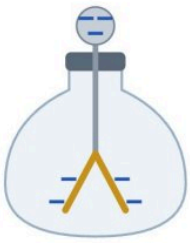
الشحن بالتوصيل: شحن الجسم المتعادل **بملامسته** جسمًا آخر مشحونًا. عند لمس قضيب سالب للكرة تنتقل الإلكترونات إليها وتتوزع على سطوح الفلز، فتُشحن الورقتان بشحنة سالبة وتتنافران **فتنفرجان**.



(c) جسم شحنته مخالفة: يقلّ الانفراج



(b) جسم شحنته مشابهة: يزداد الانفراج



(a) كشاف مشحون بالتوصيل: الورقتان منفرجتان

تحديد نوع شحنة الكشاف: قرّب من كرته قضيبًا **شحنته معلومة** ولاحظ ورقتيه.

فصل الشحنات والشحن بالحث

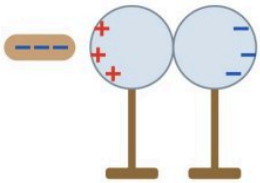
3 فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة

لماذا ينجذب الجسم المتعادل؟ عند تقريب إصبعك (متعادل) من جسم موجب تنجذب الشحنات **السالبة** في إصبعك نحوه وتتنافر **الموجبة** منه؛ فيبقى الإصبع متعادلًا لكن شحناته **تُفصل**، ولأن القوة أكبر بين الشحنات المتقاربة تنتج **قوة تجاذب**. وكذلك المسطرة المشحونة مع قصاصات الورق.

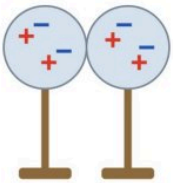
البرق: الشحنات السالبة أسفل الغيوم الرعدية تفصل الشحنات على سطح الأرض فتجذب الموجبة نحوه، وتفصل القوى الجزيئات إلى جسيمات موجبة وسالبة حرة تنشئ **مسارًا موصلًا**، فتنتقل صاعقة بسرعة **500,000 km/h** تقريبًا وتفرّغ شحنات الغيمة.

4 الشحن بالحث

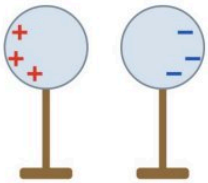
الشحن بالحث: عملية شحن الجسم **دون ملامسته**.



(b) قضيب سالب قريب: تنتقل الإلكترونات إلى الكرة البعيدة



(a) كرتان متعادلتان متلامستان

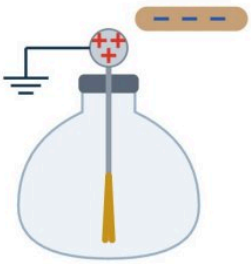


(c) فصل الكرتين والقضيب قريب: شحنتان متساويتان مقدارًا مختلفتان نوعًا

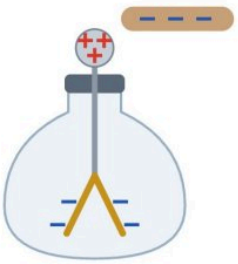
التأريض: توصيل جسم بالأرض للتخلّص من الشحنات الفائضة؛ فالأرض كرة كبيرة تستوعب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثارها، وإذا لامسها جسم مشحون انتقلت إليها غالبًا كل شحناته.

يمكن استخدام التأريض أيضًا **مصدرًا للإلكترونات**: قضيب موجب قريب من الكرة مع تأريض الطرف المقابل ← تنجذب الإلكترونات من الأرض فيصبح الكشاف **سالبًا**.

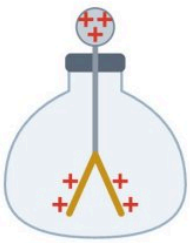
شحن الكشاف الكهربائي بالحث



(b) تأريض الطرف البعيد: تنتقل الإلكترونات إلى الأرض فتنطبق الورقتان



(a) قضيب سالب قريب: الإلكترونات تتنافر نحو الورقتين



(c) فصل التأريض ثم إبعاد القضيب: الكشاف موجب

الشحنة المستحثة على الكشاف **مخالفة** لشحنة الجسم المؤثر، ولأن القضيب لم يلمس الكرة لم تنتقل شحنته؛ فيمكن استخدامه **أكثر من مرة**.

قانون كولوم وتطبيقات القوى الكهربائية الدرس 8-2 · القوة الكهربائية

5 قانون كولوم

استخدم **شارل كولوم (1785م)** قضيبًا عازلًا في طرفيه كرتان موصلتان صغيرتان، معلّقًا من منتصفه بسلك رفيع، وقاس القوة من مقدار **ليّ (فتل) السلك**. والكرات المتماثلة المتلامسة تتقاسم الشحنة بالتساوي.

اعتمادها على المسافة

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين المركزين

اعتمادها على الشحنة

$$F \propto q_A\, q_B$$

بلمس الكرة B بكرة C غير مشحونة تنقص شحنتها للنصف فتنقص القوة للنصف

النتيجة

$$F \propto \frac{q_A\, q_B}{r^2}$$

طرديًا مع كل من الشحنتين، وعكسيًا مع مربع المسافة

قانون كولوم

$$F = K\,\frac{q_A\, q_B}{r^2}$$

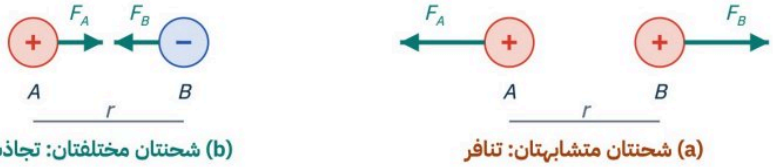
القوة الكهربائية المتبادلة = ثابت كولوم × حاصل ضرب مقداري الشحنتين ÷ مربع المسافة بينهما

بالكولوم والمتر والنيوتن: $K = 9.0 \times 10^{9}\ N{\cdot}m^2/C^2$

الكولوم (C): وحدة الشحنة في SI، ويساوي شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون.

الشحنة الأساسية: مقدار شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}\ C$

- الصاعقة تحمل **5 C** إلى **25 C**، وقطعة العملة فيها شحنة سالبة قد تصل إلى $10^{6}\ C$ لكنها متعادلة؛ وشحنة غير متعادلة صغيرة مثل $10^{-9}\ C$ تولّد قوى كبيرة.



القوتان F_A و F_B **متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتجاهًا** (القانون الثالث لنيوتن). والقوة **كمية متجهة**؛ والقانون يعطي المقدار، ويُحدَّد الاتجاه برسم مخطط للشحنات.

خطوات إيجاد القوة المتبادلة: ١. ارسم مخططًا بالمسافات والزوايا. ٢. ارسم متجهات القوى. ٣. استخدم قانون كولوم للمقدار. ٤. استعمل المخطط والعلاقات المثلثية للاتجاه. ٥. نفّذ العمليات على الأرقام والوحدات. ٦. تأمّل منطقية الإجابة.

تنبيه: يُطبَّق القانون على **الشحنات النقطية** أو التوزيعات **الكروية المنتظمة** فقط؛ فالكرة الموصلة يتغيّر توزيع شحنتها عند تقريب شحنة أخرى، والأسلاك الطويلة والألواح المستوية تحتاج تعديل القانون.

6 تطبيقات القوى الكهربائية الساكنة

فوائد

- تجميع **السناج** من المداخن للحدّ من تلوث الهواء.
- شحن قطرات **الطلاء** بالحث لطلاء السيارات بصورة منتظمة.
- **آلات التصوير** تضع الحبر الأسود على الورق لنسخ الوثيقة.

أضرار

- تجمّع الشحنات على **فيلم** يجذب الغبار فيتلفه.
- تفريغ الشحنة الساكنة قد **يعطّل المعدات الإلكترونية**.
- لذا تُصمَّم التطبيقات لتجنّب تراكمها وإزالتها بأمان.

توليد المجالات الكهربائية وقياسها

ملخص الدرس · Creating and Measuring Electric Fields · صفحات الكتاب 261–268

الدرس 9-1

أهداف الدرس

١. أعرّف المجال الكهربائي.
٢. أحلّ مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
٣. أرسم خطوط المجال الكهربائي.

المفردات

المجال الكهربائي | شحنة الاختبار | خط المجال الكهربائي

القوة الكهربائية تشبه قوة التجاذب الكتلي: تتناسب **عكسيًا مع مربع المسافة**، وتؤثر **عن بُعد**.

1 فكرة المجال الكهربائي

اقتراح فاراداي: الجسم المشحون **A** يغيّر بطريقة ما خصائص الوسط أو الفراغ حوله، فيشعر الجسم المشحون **B** بهذا التغيّر ويتأثر بقوة ناتجة عنه في موقعه. ويُسمّى تغيّر خاصية الوسط **المجال الكهربائي**.

المجال الكهربائي **لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد**، بل التفاعل بين الجسم الموضوع في المجال والمجال عند موضعه. ويمكن لقوى المجال أن **تبذل شغلًا** فتنتقل الطاقة إلى جسم مشحون، كما في الأجهزة الكهربائية والبطاريات.

2 قياس شدة المجال الكهربائي

شحنة الاختبار q': شحنة على جسيم صغير تُستعمل لاختبار المجال، ويجب أن تكون **موجبة وصغيرة** بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى. فإذا تأثرت بقوة كهربائية في موقع ما فهناك مجال كهربائي فيه.

القوة F تتناسب طرديًا مع q' (قانون كولوم)، فتبقى النسبة F/q' ثابتة ولا تعتمد على شحنة الاختبار.

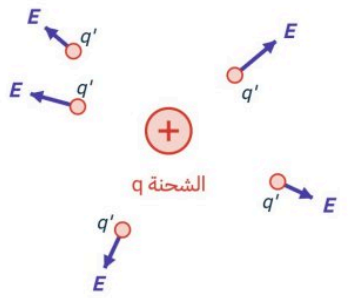
شدة المجال الكهربائي

$$E = \frac{F}{q'}$$

شدة المجال = مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة ÷ مقدار تلك الشحنة

الاتجاه: في اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار **موجبة**.

الوحدة: نيوتن/كولوم (N/C)



طول السهم يبيّن شدة المجال واتجاهه يبيّن اتجاه المجال

مجال عدة شحنات: يُوجد مجال كل شحنة على انفراد عند النقطة، ثم **تُجمع المجالات جمعًا اتجاهيًا**.

لماذا صغيرة جدًا؟ لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضًا في الشحنة q، وقد تعيد توزيع شحنات الموصل فيتغيّر المجال المقيس.

المجال موجود عند كل نقطة **حتى دون شحنة اختبار**، وأي شحنة q توضع فيه تتأثر بقوة $F = Eq$ يعتمد اتجاهها على اتجاه المجال ونوع الشحنة.

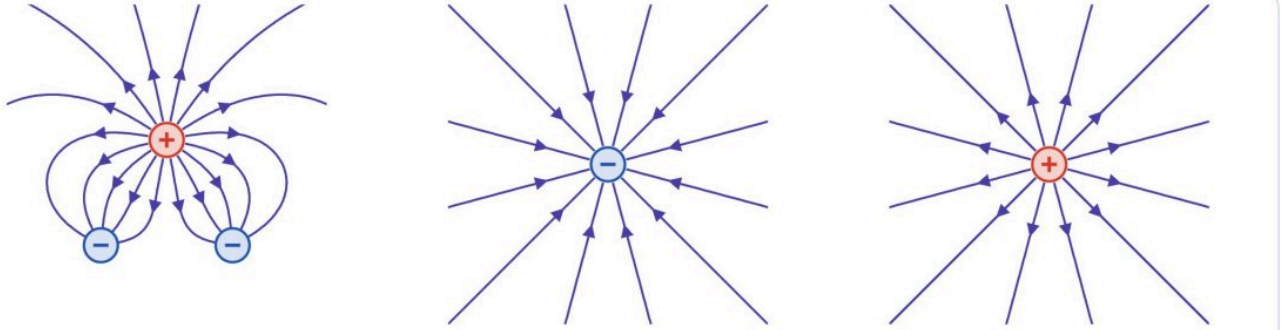
الجدول 9-1 · القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية

المجال	المقدار (N/C)
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

تمثيل المجال الكهربائي

3 خطوط المجال الكهربائي

خط المجال الكهربائي: كل خط من الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة. واتجاه المجال عند أي نقطة هو **اتجاه المماس** المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة.



(a) شحنة موجبة: الخطوط خارجة منها شعاعيًا

(b) شحنة سالبة: الخطوط داخلة إليها

(c) شحنة موجبة وشحنتان سالبتان: الخطوط منحنية (جمع اتجاهي)

خصائص خطوط المجال

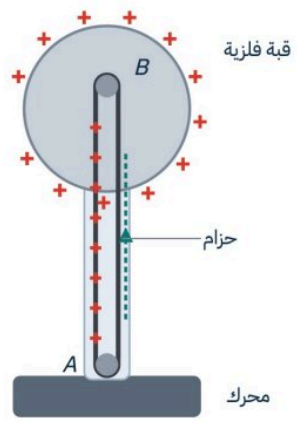
- تخرج **دائمًا** من الشحنة **الموجبة** وتدخل إلى الشحنة **السالبة**.
- **لا تتقاطع** مطلقًا.
- الخطوط **المتقاربة** ← مجال **أقوى**، والمتباعدة ← مجال أضعف.
- رُسمت في بُعدين لكنها تنتشر في **ثلاثة أبعاد**.

بذور الأعشاب في الزيت

تُوضع بذور طويلة رفيعة في سائل عازل كالزيت المعدني، فتفصل القوى الكهربائية الشحنة على كل بذرة فتدور وتصطف في **اتجاه المجال** مكوّنة نمطًا لخطوطه.

خطوط المجال **وهمية** لا وجود لها، بل نموذج؛ أما المجالات فموجودة، لكنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض.

4 مولّد فان دي جراف



ابتكره **روبرت فان دي جراف** في ثلاثينيات القرن العشرين؛ مولّد كهرباء ساكنة ذو **فولتية كبيرة** ينقل كميات كبيرة من الشحنة إلى طرفه العلوي الفلزي.

تُنقل الشحنة إلى **حزام متحرك** عند القاعدة (الموضع **A**)، ثم من الحزام إلى **القبة الفلزية** في الأعلى (الموضع **B**)، ويبذل **المحرك الكهربائي** الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد.

عندما يلمس شخص القبة يُشحن، فتتنافر شعرات رأسه ويتجه الشعر في **اتجاه خطوط المجال الكهربائي**.

الخلاصة

- المجال الكهربائي تغيّر في خاصية الوسط حول الجسم المشحون.
- شحنة الاختبار موجبة وصغيرة جدًا.
- شدة المجال: $E = F/q'$ بوحدة N/C، واتجاهه اتجاه القوة على شحنة موجبة.
- الخطوط تخرج من الموجبة وتدخل السالبة، ولا تتقاطع، وتقاربها يعني مجالًا أقوى.

تطبيقات المجالات الكهربائية

ملخص الدرس · Applications of Electric Fields · صفحات الكتاب 269–283

الدرس 9-2

أهداف الدرس

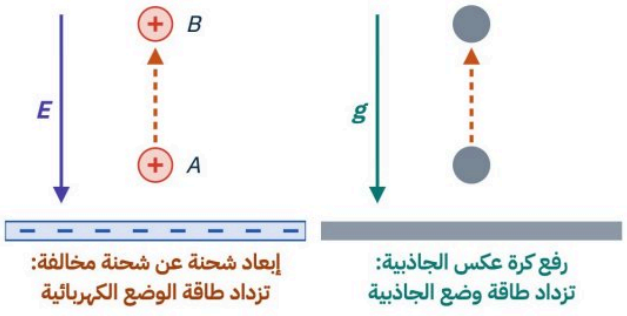
١. أعرّف فرق الجهد الكهربائي.
٢. أحسب فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
٣. أصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
٤. أحلّ بعض المسائل على السعة الكهربائية.

المفردات

فرق الجهد الكهربائي · الفولت · سطح تساوي الجهد · المكثف الكهربائي · السعة الكهربائية

الشغل المبذول على جسيم مشحون في مجال قد يكسبه طاقة وضع أو طاقة حركية؛ وندرس هنا **التغير في طاقة الوضع** فقط.

1 الطاقة والجهد الكهربائي



كما تبذل شغلًا لرفع كرة عكس الجاذبية، يجب بذل شغل لسحب شحنة **مبتعدةً** عن شحنة مخالفة لها؛ فتُختزن الطاقة فيها **طاقة وضع كهربائية**، وتكون الزيادة ΔPE أكبر كلما زاد مقدار الشحنة.

المجال $E = F/q'$ قوة لكل وحدة شحنة، وبالطريقة نفسها يُعرَّف فرق الجهد شغلًا لكل وحدة شحنة.

فرق الجهد الكهربائي

$$\Delta V = \frac{W_{\text{على } q'}}{q'}$$

النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين ومقدار تلك الشحنة

الوحدة: جول لكل كولوم، ويُسمّى **الفولت**: $V = J/C$

2 فرق الجهد حول الشحنات وأسطح تساوي الجهد

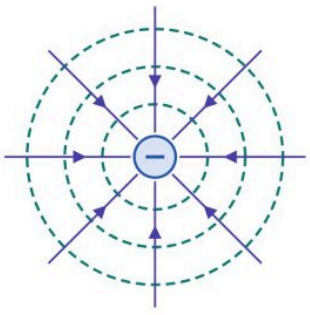
إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة سالبة: القوة في اتجاه الإزاحة ← الشغل **موجب** وفرق الجهد **موجب**.

إعادتها: القوة عكس الإزاحة ← الشغل **سالب** وفرق الجهد سالب ومساوٍ ومعاكس.

فرق الجهد **لا يعتمد** على مقدار شحنة الاختبار ولا على **المسار**، بل على المجال وموقع النقطتين. وعند تحريك الشحنة في **مسار دائري** حول الشحنة يكون المجال عموديًا على الحركة فلا يُبذل شغل.

سطح تساوي الجهد: النقاط التي يكون فرق الجهد بينها **صفرًا**.

$\Delta V = V_B - V_A$ ويُقاس بـ**الفولتمتر**؛ وتهمّ التغيّرات فقط، ويمكن اختيار أي نقطة إسناد جهدها صفر. والجهد **أعلى** قرب الشحنة الموجبة و**أقل** عند النقاط البعيدة عنها.



الدوائر المتقطعة أسطح تساوي جهد حول شحنة سالبة

المجال المنتظم وتجربة ملّيكان

3 الجهد الكهربائي في مجال منتظم

لوحان موصلان متوازيان، أحدهما موجب والآخر سالب، بينهما **مجال منتظم** ثابت مقدارًا واتجاهًا (عدا عند الحواف)، يتجه من اللوح **الموجب** إلى **السالب**.

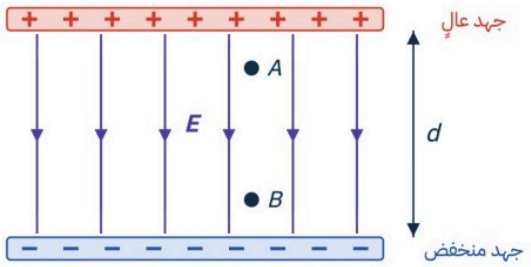
تحريك q' مسافة d عكس المجال: $W = Fd \leftarrow \Delta V = Fd/q'$ ولأن $E = F/q'$:

فرق الجهد الكهربائي في مجال منتظم

$$\Delta V = Ed$$

حاصل ضرب شدة المجال في المسافة التي تحركتها الشحنة

يزداد الجهد بالحركة **عكس اتجاه المجال**، و$V = J/C = (N/C)(m)$



الجهد أكبر قرب اللوح الموجب

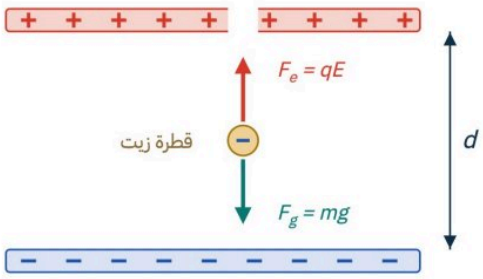
4 تجربة قطرة الزيت لملّيكان

قاس **روبرت ملّيكان (1909م)** شحنة الإلكترون: تُرش قطرات زيت دقيقة فتُشحن بالاحتكاك، وتدخل بين لوحين، ويُضبط فرق الجهد حتى **تتعلّق القطرة**:

$$qE = mg \ , \ E = \Delta V/d$$

يُوجد الوزن mg بإيقاف المجال وقياس **السرعة الحدية** لسقوط القطرة.

بتأيين الهواء بالأشعة السينية وُجد أن التغير في الشحنة دائمًا من مضاعفات $1.60 \times 10^{-19}\ C$؛ فالشحنة **مكمّاة**: شحنة أي جسم مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



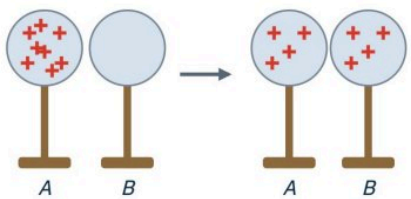
القطرة معلّقة: القوة الكهربائية لأعلى = الوزن لأسفل

5 توزيع الشحنات والتأريض

يصل أي نظام إلى الاتزان عندما تكون طاقته **أقل ما يمكن**. عند تلامس كرة مشحونة A بكرة متعادلة B تنتقل الشحنات تلقائيًا إلى أن يصبح فرق الجهد بينهما **صفرًا**.

كرتان مختلفتا الحجم: تنتقل الشحنات إلى الكرة ذات **الجهد الأقل**، فتكون للكرة **الكبرى** شحنة أكبر عند الاتزان.

لا يوجد مجال موازٍ لسطح الموصل، فسطح الموصل المشحون **سطح تساوي جهد**.



تتوزع الشحنة بالتساوي على كرتين متماثلتين

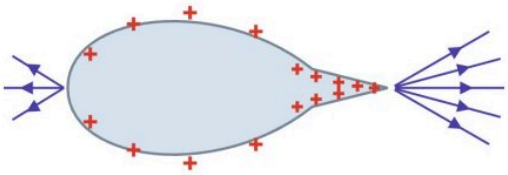
التأريض: تنتقل شحنة الجسم إلى الأرض حتى يصبح فرق الجهد بينهما صفرًا؛ لذا يوصل **صهريج البنزين** بسلك فلزي يفرّغ شحناته بأمان بدل حدوث شرارة، ويُؤرَّض **الحاسوب** كي لا تتدفق الشحنات منه إلى من يلمسه فيتلف أو يؤذيه.

الموصلات والمكثف الكهربائي

6 المجالات الكهربائية قرب الموصلات

تتباعد الشحنات على الموصل أقصى ما يمكن لتكون طاقة النظام أقل ما يمكن، فتتوزع الشحنات الفائضة على **السطح الخارجي** للموصل **المصمت** و**الأجوف**، ولا توجد شحنات على سطحه الداخلي حتى لو كان أكبر مساحة.

الوعاء الفلزي المغلق يعمل **درعًا واقية** تحمي ما بداخله من المجالات الكهربائية؛ فالناس داخل **السيارة** محميون من مجالات البرق.



الشحنات أكثر تقاربًا عند الرأس المدبّب فيكون المجال أكبر

المجال خارج الموصل يعتمد على **شكله** وفرق الجهد بينه وبين الأرض؛ وعند **الرؤوس المدببة** تكون الشحنات أكثر تقاربًا والخطوط أكثر تقاربًا والمجال **أكبر**.

المجال الكبير يسارع الإلكترونات والأيونات فتؤيّن ذرات أخرى ← **وهج وردي** (كرة التفريغ)، وإذا زاد تتكوّن بلازما وتحدث **شرارة**، وفي الحالات الشديدة **البرق**.

لتقليل التفريغ تُجعل الموصلات ذات الشحنة أو فرق الجهد الكبير **ملساء انسيابية**. أما **مانعة الصواعق** فقضيب مدبب يجعل المجال كبيرًا عند طرفه فتُفرَّغ الغيمة فيه وتنتقل الشحنات بأمان إلى الأرض.

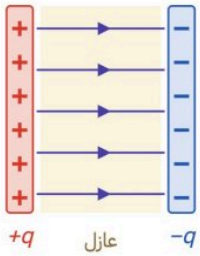
البرق يتطلب فرق جهد يصل إلى **ملايين الفولتات**، وأنبوب التفريغ آلاف الفولتات، أما أسلاك المنازل فلا تكفي لإحداث تفريغ.

7 تخزين الشحنات: المكثف الكهربائي

يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي: اخترع **فان مسجنبروك (1746م) قارورة ليدن** لتخزين كمية كبيرة من الشحنات، واستخدمها فرانكلين لتخزين شحنات البرق، ثم أصبح شكلها الجديد يُسمّى **المكثف الكهربائي**.

لجسم ثابت الشكل والحجم تبقى النسبة $q/\Delta V$ ثابتة وتُسمّى **السعة الكهربائية** C؛ والكرة الكبيرة تخزن شحنة أكبر عند فرق الجهد نفسه فسعتها أكبر.

تركيب المكثف: موصلان يفصل بينهما **مادة عازلة**، وعليهما شحنتان متساويتان مقدارًا مختلفتان نوعًا؛ والتجاري شرائط ألومنيوم بينها بلاستيك رقيق ملفوفة أسطوانيًا.



السعة الكهربائية

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما
الفاراد F = كولوم لكل فولت (C/V)، نسبة إلى فاراداي

- الفاراد وحدة كبيرة جدًا: أغلب المكثفات بين **10 بيكوفاراد** و**500 ميكروفاراد**، ومكثفات ذاكرة الحاسوب بين 0.5 F و1.0 F.
- السعة **لا تعتمد على الشحنة**؛ فزيادة الشحنة تزيد فرق الجهد، وتعتمد على **الأبعاد الهندسية** فقط.
- تزداد السعة بزيادة **مساحة اللوحين** وتقليل **المسافة بينهما** ونوع **العازل** (سيراميك، مايكا، بوليستر، ورق، هواء).

تحذير: مكثفات التلفاز تخزن شحنات عند مئات الفولتات وتبقى مشحونة ساعات بعد إغلاقه، لذا لا يُنزع غطاء التلفاز أو شاشة الحاسوب القديمين. وبعض المكثفات الضخمة تُحدث برقًا اصطناعيًا أو تشغّل ليزرات عملاقة.

دليل القوانين الرياضية

جميع القوانين الواردة في الفصول من الأول إلى التاسع، مع متى يُستخدم كل قانون

كيف تقرأ الجدول؟ القانون في العمود الأيمن، وبجانبه اسمه ورقم الدرس الذي ورد فيه، ثم متى يُستخدم، وأخيرًا الرموز والوحدات.

1 الفصل الأول: حالات المادة

$P = \frac{F}{A}$	**الضغط** (1-1) القوة العمودية المؤثرة في وحدة المساحة من السطح. P (Pa) · F (N) · A (m²) · 1 Pa = 1 N/m²
$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$	**القانون العام للغازات** (1-1) لكمية ثابتة من الغاز عند تغيّر الضغط والحجم ودرجة الحرارة معًا. T بالكلفن دائمًا: T(K) = T(°C) + 273
$\frac{PV}{T} = kN$	**ثابت القانون العام للغازات (ثابت بولتزمان)** (1-1) ثابت القانون العام للغازات يتناسب طرديًا مع عدد الجزيئات N. k = 1.38 × 10⁻²³ Pa·m³/K · المول = 6.022 × 10²³ جزيء (عدد أفوجادرو)
$P_1V_1 = P_2V_2$	**قانون بويل** (1-1) عند ثبوت درجة الحرارة: الحجم يتناسب عكسيًا مع الضغط.
$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	**قانون شارل** (1-1) عند ثبوت الضغط: الحجم يتناسب طرديًا مع درجة الحرارة المطلقة. T بالكلفن
$PV = nRT$	**قانون الغاز المثالي** (1-1) لإيجاد عدد المولات أو أي متغير لغاز عند حالة واحدة. R = 8.31 Pa·m³/(mol·K) · V بـ m³ · P بـ Pa
$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$	**مبدأ باسكال (الرافعة الهيدروليكية)** (1-3) الضغط ينتقل بالتساوي؛ لحساب القوة الناتجة $F_2 = F_1A_2/A_1$. A مساحة المكبس
$P = \rho hg$	**ضغط المائع** (1-3) ضغط عمود من المائع على عمق h؛ ينطبق على جميع الموائع. ρ (kg/m³) · h (m) · g = 9.80 m/s²
$F_b = \rho_{\text{مائع}} Vg$	**قوة الطفو (مبدأ أرخميدس)** (1-3) قوة الطفو تساوي وزن المائع الذي يزيحه الجسم. V حجم المائع المُزاح
$W_{\text{ظاهري}} = F_g - F_b$	**الوزن الظاهري** (1-3) وزن الجسم المغمور في مائع أقل من وزنه في الهواء.
$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$	**التمدد الطولي** (1-4) حساب التغير في طول جسم صلب عند تسخينه. α معامل التمدد الطولي (°C⁻¹)
$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad \beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$	**معاملا التمدد الطولي والحجمي** (1-4) لإيجاد معامل التمدد من التغير في الطول أو الحجم. β = 3α للمواد الصلبة

دليل القوانين الرياضية

2 الفصل الثاني: الاهتزازات والموجات

$F = -kx$	**قانون هوك** 2-1 قوة النابض تتناسب طرديًا مع استطالته، والإشارة السالبة لأنها معاكسة للإزاحة. k ثابت النابض (N/m) · x الاستطالة (m)
$PE_{sp} = ½kx^2$	**طاقة الوضع المرونية للنابض** 2-1 الطاقة المختزنة في نابض مستطيل أو منضغط (مساحة تحت منحنى F–x). الجول J = N·m
$T = 2\pi\sqrt{(l/g)}$	**الزمن الدوري للبندول البسيط** 2-1 يعتمد فقط على طول الخيط وتسارع الجاذبية، لا على الكتلة أو السعة. l (m) · T (s)
$v = \Delta d/\Delta t$	**سرعة الموجة** 2-2 إزاحة القمة مقسومة على الزمن؛ تعتمد على الوسط. m/s
$f = \frac{1}{T}$	**التردد** 2-2 التردد مقلوب الزمن الدوري. f (Hz) · T (s)
$\lambda = \frac{v}{f} = vT$	**الطول الموجي** 2-2 العلاقة بين سرعة الموجة وترددها وطولها الموجي (للصوت والضوء أيضًا). λ (m)
$\theta_i = \theta_r$	**قانون الانعكاس** 2-3 زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس (للموجات والمرايا). تقاسان من العمود المقام

3 الفصل الثالث: الصوت

$f_d = f_s \frac{v - v_d}{v - v_s}$	**تأثير دوبلر للصوت** 3-1 التردد الذي يسمعه المراقب عند حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. v سرعة الصوت · v_d سرعة المراقب · v_s سرعة المصدر
$\lambda_1 = 4L \quad f_1 = \frac{v}{4L}$	**الأنبوب المغلق (الرنين الأول)** 3-2 طول العمود ربع طول موجي، وتوجد الإيقاعات الفردية فقط. L طول عمود الهواء
$\lambda_1 = 2L \quad f_1 = \frac{v}{2L}$	**الأنبوب المفتوح والوتر** 3-2 طول العمود أو الوتر نصف طول موجي، وتوجد جميع المضاعفات: $f_2 = 2f_1$ ، $f_3 = 3f_1$. الفرق بين طولي رنينين متتاليين = λ/2

دليل القوانين الرياضية

4 الفصل الرابع: أساسيات الضوء

شدة الإضاءة 4-1 شدة الإضاءة لمصدر من تدفقه الضوئي. I_v (cd) · P (lm)	$I_v = \frac{P}{4\pi}$
الاستضاءة من مصدر نقطي 4-1 الاستضاءة على سطح عمودي على البعد r؛ تقل بزيادة مربع البعد. E (lx = lm/m²) · r (m)	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$
سرعة الضوء في الفراغ 4-1 القيمة التقريبية المستخدمة في الحسابات. c = 299,792,458 m/s	$c = 3.00 \times 10^8\ m/s$
قانون مالوس 4-2 شدة الضوء النافذ من المرشح الثاني؛ θ الزاوية بين محوري المرشحين.	$I_2 = I_1 \cos^2\theta$
الطول الموجي في الفراغ 4-2 العلاقة بين سرعة الضوء وتردده وطوله الموجي.	$\lambda_0 = \frac{c}{f}$
تأثير دوبلر للضوء 4-2 (+) إذا تحرك المصدر والمراقب متقاربين، و(−) إذا تحركا متباعدين. v السرعة النسبية (v ≪ c)	$f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$
إزاحة دوبلر 4-2 موجبة إذا تحركا متباعدين (انزياح نحو الأحمر)، وسالبة إذا تقاربا. λ = Δλ_المراقب − λ	$\Delta\lambda = \pm \frac{v}{c}\,\lambda$

5 الفصل الخامس: الانعكاس والمرايا

قانون الانعكاس 5-1 للانعكاس المنتظم عن المرايا. تقاسان من العمود المقام	$\theta_r = \theta_i$
صورة المرآة المستوية 5-1 الصورة خيالية خلف المرآة على البعد نفسه وبالطول نفسه.	$d_i = -d_o \quad h_i = h_o$
البعد البؤري للمرآة الكروية 5-2 البعد البؤري نصف نصف قطر التكوّر. موجب للمقعرة، سالب للمحدبة	$f = \frac{r}{2}$
معادلة المرايا الكروية 5-2 لإيجاد موقع الصورة أو البعد البؤري. d_i سالب للصورة الخيالية	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$
التكبير 5-2 m سالب ← صورة مقلوبة، وموجب ← معتدلة؛ و|m| > 1 ← مكبّرة.	$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$

دليل القوانين الرياضية

6 الفصل السادس: الانكسار والعدسات

قانون سنل في الانكسار 6-1 لإيجاد زاوية الانكسار عند انتقال الضوء بين وسطين. θ تقاس من العمود المقام	$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$
معامل الانكسار 6-1 نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط. n ≥ 1 ، بلا وحدة	$n = \frac{c}{v}$
الطول الموجي في الوسط 6-1 يقصر الطول الموجي في الوسط الأكبر معامل انكسار، ويبقى التردد ثابتًا.	$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$
الزاوية الحرجة 6-1 للانعكاس الكلي الداخلي عند انتقال الضوء إلى وسط أقل معامل انكسار. تطبيقها: الألياف البصرية	$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$
معادلة العدسة الرقيقة 6-2 لإيجاد موقع الصورة المتكوّنة بالعدسة. f سالب للعدسة المقعرة	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$
تكبير العدسة 6-2 نسبة طول الصورة إلى طول الجسم.	$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$

7 الفصل السابع: التداخل والحيود

الطول الموجي من تجربة يونج 7-1 x بُعد الهدب المضيء الأول عن المركزي، d المسافة بين الشقّين، L بُعد الشاشة. زوايا صغيرة	$\lambda = \frac{xd}{L}$
مواقع التداخل البنّاء (الشق المزدوج) 7-1 m = 0 الهدب المركزي، m = 1 هدب الرتبة الأولى، وهكذا. m = 0, 1, 2, ...	$m\lambda = \frac{x_m d}{L}$
أقل سمك للتعزيز في غشاء الصابون 7-1 عندما ينقلب أحد الشعاعين فقط (غشاء صابون في الهواء). السمك λ/4، 3λ/4، 5λ/4 ... في الغشاء	$d = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{4n_{\text{الغشاء}}}$
الطول الموجي في الغشاء 7-1 فرق المسار 2d يساوي λ(m + ½)_الغشاء أو mλ_الغشاء حسب الانقلاب ونوع التداخل.	$\lambda_{\text{الغشاء}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{n_{\text{الغشاء}}}$
عرض الحزمة المركزية (الشق المفرد) 7-2 w عرض الشق، و x_1 بُعد الهدب المعتم الأول. x_m = mλL/w للأهداب المعتمة	$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$
محزوز الحيود 7-2 d المسافة بين الشقوق، θ زاوية الهدب المضيء؛ لا يُطبَّق تبسيط الزاوية الصغيرة. m = 0, 1, 2, ...	$\lambda = d\sin\theta \quad m\lambda = d\sin\theta$
الحيود من فتحة دائرية 7-2 D قطر الفتحة بدلًا من عرض الشق.	$x_1 = \frac{1.22\lambda L}{D}$
معيار ريليه 7-2 أقل مسافة بين جسمين يمكن التمييز بينهما عبر فتحة قطرها D. للعين: $x = 2\times10^{-4}$ L	$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$

دليل القوانين الرياضية

8 الفصل الثامن: الكهرباء الساكنة

$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$	**قانون كولوم** (8-2) مقدار القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين؛ ويُحدَّد الاتجاه بالرسم. $K = 9.0 \times 10^9\ N\cdot m^2/C^2$
$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$	**الشحنة الأساسية** (8-2) مقدار شحنة الإلكترون. $1\ C = 6.24 \times 10^{18}\ e$

9 الفصل التاسع: المجالات الكهربائية

$E = \frac{F}{q'}$	**شدة المجال الكهربائي** (9-1) القوة على شحنة اختبار موجبة صغيرة مقسومة على مقدارها. N/C
$F = Eq$	**القوة على شحنة في مجال** (9-1) اتجاهها مع المجال للشحنة الموجبة وعكسه للسالبة.
$\Delta V = \frac{W}{q'}$	**فرق الجهد الكهربائي** (9-2) الشغل اللازم لتحريك شحنة اختبار بين نقطتين لكل وحدة شحنة. V = J/C
$\Delta V = Ed$	**فرق الجهد في مجال منتظم** (9-2) بين لوحين متوازيين المسافة بينهما d. (N/C)(m) = V
$qE = mg$	**تعليق قطرة ملّيكان** (9-2) القوة الكهربائية لأعلى تساوي الوزن، و $E = \Delta V/d$.
$C = \frac{q}{\Delta V}$	**السعة الكهربائية** (9-2) نسبة الشحنة على أحد اللوحين إلى فرق الجهد بينهما. الفاراد F = C/V