آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 2, الخريف · 🧱 الحاسبة المدمجة

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 10 وحدات و6 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه الفصل الثاني من الفيزياء الجامعية المعتمدة على التفاضل والتكامل (الكهرباء والمغناطيسية، مع نظرة أولى على البصريات). وهو مبني على موضوعات وعمق MIT OpenCourseWare 8.02 ومقرري Ph1b وPh1c في Caltech وGeorgia Tech PHYS 2212 والكتاب المجاني OpenStax University Physics Volume 2 الذي نحيل إليه في كل موضع. لا يتبنى أي من هؤلاء المؤلفين أو المؤسسات هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي في الطاقة النظيفة أو رصد الأرض مع مصدر عام موثق (المولدات، والألواح الشمسية، والسيارات الكهربائية، وشبكة الكهرباء، والمجال المغناطيسي للأرض، والطقس الفضائي، ومستشعرات الأقمار الصناعية)، وكل رقم في الصفحة يعاد حسابه بسكربت تحقق قبل النشر، ولكل مختبر نسخة PhET مجانية ونسخة منزلية آمنة منخفضة الجهد.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

تقريبًا كل الكهرباء النظيفة هي كهرومغناطيسية في العمل. فتوربينات الرياح والمياه تدير مولدات تعمل بقانون فاراداي، والألواح الشمسية تدفع الشحنة بمجالات كهربائية داخلية، والسيارات الكهربائية تحوّل التيار إلى حركة بقوى مغناطيسية، والشبكة تستخدم المحولات والجهد العالي لنقل القدرة بخسائر قليلة.

والموجات الكهرومغناطيسية هي أيضًا وسيلتنا لمراقبة الكوكب: أقمار صناعية مثل Landsat 9 وGOES-19 تقرأ الضوء المرئي وتحت الأحمر والميكروي لرسم خرائط المحاصيل والغابات والمياه والعواصف. ويحمينا المجال المغناطيسي للأرض، بينما قد يدفع الطقس الفضائي القادم من الشمس تيارات في خطوط الكهرباء. وتنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق. والقيم التي لا تأتي من مصدر موسومة بأنها قيم نموذجية.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 10 وحدات و6 مختبرات (PHYS 210 + PHYS 210L).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.
- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.
- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.
- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.
- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الفيزياء I: القوى، والطاقة، وكمية الحركة، والحركة الدائرية، والتذبذبات.
- التفاضل والتكامل I وII: المشتقات، والتكاملات، والنمو والاضمحلال الأسي.
- المتجهات: المركبات، والضرب النقطي والاتجاهي (تُشرح باختصار عند الحاجة).
- التفاضل والتكامل III يساعد في الصيغة التكاملية لقانوني غاوس وأمبير لكنه غير مطلوب.

كيف تذاكر

- ارسم المجال أو الدائرة أولًا. معظم أخطاء الكهرومغناطيسية أخطاء في الإشارة أو الاتجاه.
- حل بالرموز أولًا، ثم عوّض بالأرقام بوحدات SI، وتحقق من وحدات الإجابة.
- استخدم التماثل: قبل تطبيق قانون غاوس أو أمبير، اسأل في أي اتجاه يجب أن يشير المجال وعلى ماذا يمكن أن يعتمد.
- حلّ كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة.
- توقّع، ثم اختبر توقعك في محاكاة PhET. التوقع الخاطئ الذي تصححه يبقى في الذاكرة أفضل من تخمين صحيح.
- أعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام. التدرّب المتباعد أفضل من جلسة طويلة واحدة.

ماذا تحتاج

- حاسوب أو جهاز لوحي لمحاكاة PhET المجانية (تعمل في المتصفح).
- مقياس متعدد رقمي وبضع بطاريات AA مع حامل بطاريات (جهد منخفض فقط).
- مجموعة صغيرة من المقاومات (100 Ω إلى 10 kΩ)، ومكثف إلكتروليتي سعته 100 µF أو أكثر بجهد مقنن أعلى من جهد البطارية، وأسلاك توصيل أو لوحة تجارب.
- هاتف ذكي مع تطبيق مقياس مغناطيسي (معظم الهواتف فيها المستشعر)، وبوصلة صغيرة، وبعض مغانط الثلاجة.
- صندوق شفاف من الزجاج أو البلاستيك مملوء بالماء، ومؤشر ليزر من الفئة 2 أو أدنى أو حزمة ضيقة من مصباح يدوي، ومنقلة.
- برنامج جداول بيانات للرسوم البيانية والملاءمة.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	الشحنة وقانون كولوم والمجالات الكهربائية	الشحنة، وقانون كولوم، والتراكب	OpenStax UP2 5.1–5.3
2	الشحنة وقانون كولوم والمجالات الكهربائية	المجالات الكهربائية، والشحنة المتصلة، وخطوط المجال؛ المختبر A	UP2 5.4–5.6
3	قانون غاوس	التدفق وقانون غاوس؛ الموصلات	UP2 6.1–6.4
4	الجهد الكهربائي والسعة	طاقة الوضع، والجهد، وأسطح تساوي الجهد	UP2 7.1–7.5
5	الجهد الكهربائي والسعة	السعة، والطاقة، والعوازل؛ المختبر B	UP2 8.1–8.4
6	التيار والمقاومة ودوائر التيار المستمر	التيار، والمقاومة، والقدرة	UP2 9.1–9.5
7	التيار والمقاومة ودوائر التيار المستمر	دوائر التيار المستمر، وقاعدتا كيرشوف، ودوائر RC؛ المختبر C	UP2 10.1–10.5
8	المجالات والقوى المغناطيسية	القوة المغناطيسية، ومدارات الجسيمات، والمحركات؛ تدريب لامتحان منتصف الفصل	UP2 11.1–11.5
9	مصادر المجالات المغناطيسية: بيو–سافار وأمبير	بيو–سافار، وقانون أمبير، والملفات اللولبية؛ المختبر D	UP2 12.1–12.7
10	الحث الكهرومغناطيسي: فاراداي ولنز	قانونا فاراداي ولنز، والمولدات؛ المختبر E	UP2 13.1–13.7
11	المحاثة ودوائر RL وLC	المحاثة، ودوائر RL وLC	UP2 14.1–14.6
12	دوائر التيار المتردد والمحولات وشبكة الكهرباء	دوائر التيار المتردد، والرنين، والقدرة، والمحولات	UP2 15.1–15.6
13	معادلات ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية والبصريات	معادلات ماكسويل، والموجات الكهرومغناطيسية، والطاقة والطيف	UP2 16.1–16.5
14	معادلات ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية والبصريات	البصريات: الانعكاس، والانكسار، والاستقطاب، والعدسات؛ المختبر F	UP3 1.1–1.7, 2.4
15	المراجعة	مراجعة ومجموعة تمارين نهائية	كل الوحدات

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخص الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

الشحنة وقانون كولوم والمجالات الكهربائية

الشحنة الكهربائية، والموصلات والعوازل، وقانون كولوم، والمجال الكهربائي للشحنات النقطية والشحنة المتصلة، وخطوط المجال، وحركة الشحنات في المجالات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم قانون كولوم مع المتجهات والتراكب.
- أوجد المجال الكهربائي للشحنات النقطية وتوزيعات الشحنة البسيطة.
- ارسم خطوط المجال واقرأها.
- أوجد القوة والتسارع لشحنة في مجال.

المفاهيم الأساسية

- للشحنة إشارتان، وهي محفوظة، ومكمّاة بوحدات e = 1.602 × 10⁻¹⁹ C.
- قانون كولوم: F = k|q₁q₂|/r²، على امتداد الخط بين الشحنتين؛ والشحنات المتشابهة تتنافر.
- المجال الكهربائي E = F/q هو القوة لكل وحدة شحنة. والشحنة النقطية تولد E = kq/r²، متجهًا بعيدًا عن الشحنة الموجبة.
- تُجمع المجالات كمتجهات (التراكب). وللشحنة المتصلة، اجمع dE = k dq/r² بتكامل.
- الشحنة في مجال تتعرض لـ F = qE، لذا يتسارع الإلكترون عكس اتجاه E.

المعادلات الأساسية

$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

F=k(|q_1q_2|)/(r^2), k=1⁄4π_0

قانون كولوم

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad E = \frac{k|q|}{r^2}$$

E=(F)/(q), E=(k|q|)/(r^2)

المجال الكهربائي لشحنة نقطية

$$\vec{E} = \int \frac{k\,dq}{r^2}\hat{r}$$

E=(k dq)/(r^2) r

الشحنة المتصلة

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

F=q E

القوة على شحنة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 شحنتان +3.0 µC و−5.0 µC تفصل بينهما 0.20 m. أوجد القوة بينهما.

1. $F = k|q_1 q_2|/r^2 = 8.988 \times 10^9 \times (3.0 \times 10^{-6})(5.0 \times 10^{-6})/0.20^2$.
2. الإشارات المختلفة تتجاذب.

الإجابة: 3.37 N، تجاذب.

مثال 1.2 أوجد المجال على بعد 0.30 m من شحنة نقطية مقدارها 2.0 nC.

1. $E = kq/r^2 = 8.988 \times 10^9 \times 2.0 \times 10^{-9}/0.09$.

الإجابة: ≈ 200 N/C، متجه بعيدًا عن الشحنة.

مثال 1.3 شحنتان +4.0 nC و−4.0 nC تفصل بينهما 0.10 m. أوجد المجال عند منتصف المسافة.

1. كل شحنة على بعد 0.05 m وتعطي $E = kq/r^2 = 14380$ N/C.
2. كلا المجالين يتجه نحو الشحنة السالبة، لذا يُجمعان.

الإجابة: 28760 N/C (2.88×10^4 N/C) نحو الشحنة السالبة.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون في الهيدروجين ($r = 5.29 \times 10^{-11}$ m).

   $F = ke^2/r^2 \approx 8.24 \times 10^{-8}$ N.

2. كم مرة يفوق التنافر الكهربائي بين بروتونين تجاذبهما الثقالي؟

   $ke^2/(Gm_p^2) \approx 1.23 \times 10^{36}$، مستقل عن المسافة.

3. إلكترون في مجال شدته 200 N/C. أوجد القوة والتسارع.

$F = eE = 3.20 \times 10^{-17}$ N؛ $a = F/m_e \approx 3.52 \times 10^{13}$ m/s²، عكس E.

4. أين ينعدم المجال بين +q و+4q المتباعدتين مسافة d؟

$kq/x^2 = 4kq/(d - x)^2$ تعطي $x = d/3$ من +q.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الشحنة الأكبر تتعرض لقوة أكبر من شحنة أصغر.

في الحقيقة: قانون نيوتن الثالث: القوتان متساويتان ومتعاكستان.

خرافة: خطوط المجال هي المسارات التي تسلكها الشحنات.

في الحقيقة: تبيّن اتجاه القوة؛ والشحنة المتحركة قد تغادر خطًا منحنيًا.

خرافة: المجال صفر حيثما لا توجد شحنة.

في الحقيقة: الفضاء الفارغ قد يحوي مجالًا قويًا؛ إنما كثافة الشحنة هي الصفر هناك.

بطاقات تعليمية

الشحنة الأولية

$e = 1.602 \times 10^{-19}$ C.

قانون كولوم

$F = k|q_1 q_2|/r^2$.

المجال الكهربائي

$E = F/q$.

مجال الشحنة النقطية

$E = kq/r^2$.

التراكب

مجالات عدة شحنات تُجمع كمتجهات.

خطوط المجال

تبدأ عند الشحنة + وتنتهي عند الشحنة −؛ والأكثف يعني الأقوى.

اختبار ذاتي

1. مضاعفة المسافة بين شحنتين تغيّر القوة بمقدار...

- 2×
- ½×
- ¼×

4×

¼×. تربيع عكسي.

2. مجال الشحنة النقطية الموجبة يتجه...

نحوها

بعيدًا عنها

في دوائر

في أي مكان

بعيدًا عنها. اتجاه القوة على شحنة اختبار موجبة.

3. إلكترون في مجال متجه شرقًا يتسارع نحو...

الشرق

الغرب

الشمال

لا يزداد إطلاقًا

الغرب. $F = qE$ مع $q < 0$.

4. وحدة SI للمجال الكهربائي هي...

N/C

C/N

J

T

N/C. القوة لكل شحنة (وأيضًا V/m).

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تعمل الخلية الشمسية لأن ضوء الشمس يحرر شحنات يدفعها مجال كهربائي داخلي بعيدًا عن بعضها. وتوضح وزارة الطاقة الأمريكية أن ضوء الشمس الممتص في الخلية الكهروضوئية يولد شحنات كهربائية تتحرك استجابة لمجال كهربائي داخلي، فتتدفق الكهرباء. كل لوح شمسي صفيحة من مجالات كهربائية مصممة بعناية.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: OpenStax UP2, 5.3 · U.S. DOE: How does solar work? (https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work) · Coulomb’s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/5-3-coulombs-law)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 5.3 Coulomb’s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/5-3-coulombs-law): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 5.4 Electric field (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/5-4-electric-field): المجالات والتراكب.
- OpenStax UP2, 5.5 Fields of charge distributions (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/5-5-calculating-electric-fields-of-charge-distributions): تكاملات لـ E.
- PhET: Coulomb’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/coulombs-law): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Electric Fields (https://oyc.yale.edu/physics/phys-201/lecture-2) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 201 Fundamentals of Physics II, Open Yale Courses. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · شروط الاستخدام (https://oyc.yale.edu/terms). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

قانون غاوس

التدفق الكهربائي، وقانون غاوس، واستخدام التماثل لإيجاد مجالات الكرات والخطوط والصفائح؛ والموصلات في الاتزان الكهروستاتيكي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب التدفق الكهربائي عبر سطح.
- اذكر قانون غاوس واختر سطح غاوس يناسب التماثل.
- أوجد مجالات الشحنات الكروية والأسطوانية والمستوية.
- اشرح لماذا ينعدم المجال داخل الموصل ولماذا تستقر الشحنة على سطحه.

المفاهيم الأساسية

- التدفق Φ = ∮E·dA يعدّ خطوط المجال المارة عبر سطح.
- قانون غاوس: صافي التدفق الخارج من أي سطح مغلق يساوي الشحنة المحصورة مقسومة على ε₀.
- قانون غاوس صحيح دائمًا لكنه مفيد فقط حين يجعل التماثل E ثابتًا على السطح: الكرات، والخطوط الطويلة، والصفائح الكبيرة.
- خارج كرة مشحونة بانتظام، يكون المجال مثل مجال شحنة نقطية في المركز.
- في موصل في حالة اتزان E = 0 في داخله، وتستقر الشحنة الزائدة على السطح، وE خارجه مباشرة عمودي على السطح.

المعادلات الأساسية

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{enc}}}{\varepsilon_0}$$

_E= E· d A=_enc_0

قانون غاوس

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

E=()/(2π_0 r)

خط شحنة طويل

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

E=(σ)/(2_0)

صفيحة شحنة كبيرة

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 سطح مغلق يحيط بشحنة 1.0 nC. أوجد التدفق الصافي.

1. $\Phi = Q/\varepsilon_0 = 1.0 \times 10^{-9}/8.854 \times 10^{-12}$؛ الشكل لا يهم.

الإجابة: $\approx 113\ \text{N·m}^2/\text{C}$.

مثال 2.2 سلك طويل يحمل 2.0 nC لكل متر. أوجد E عند 0.10 m.

1. استخدم أسطوانة: $E(2\pi rL) = \lambda L/\varepsilon_0$، إذن $E = \lambda/(2\pi\varepsilon_0 r) = 2k\lambda/r$.
2. $E = 2 \times 8.988 \times 10^{9} \times 2.0 \times 10^{-9}/0.10$.

الإجابة: $\approx 360\ \text{N/C}$، متجه شعاعيًا إلى الخارج.

مثال 2.3 صفيحة كبيرة تحمل $\sigma = 5.0\ \mu\text{C/m}^2$. أوجد E قربها.

1. علبة أسطوانية تخترق الصفيحة: $2EA = \sigma A/\varepsilon_0$.

الإجابة: $E = \sigma/(2\varepsilon_0) \approx 2.82 \times 10^{5}\ \text{N/C}$، وهو نفسه عند كل مسافة قرب الصفيحة.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. شحنة 1.0 μC على كرة معدنية نصف قطرها 0.10 m. أوجد E على بعد 0.50 m من المركز وعند 0.05 m.

   في الخارج: $kQ/r^2 = 3.60 \times 10^{4}\ \text{N/C}$. داخل الموصل: 0.

2. لماذا تحميك السيارة من البرق؟

   تبقى الشحنة على السطح المعدني الخارجي، فيكون المجال في الداخل صغيرًا (قفص فاراداي).

3. مكعب يحيط بثنائي قطب. ما التدفق الصافي؟

   صفر: الشحنة المحصورة صفر.

4. كيف يتناقص E لخط شحنة مع المسافة؟

   مثل $1/r$، أبطأ من $1/r^2$ للشحنة النقطية.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: التدفق الصفري يعني مجالًا صفريًا في كل مكان على السطح.
في الحقيقة: المجموع وحده صفر؛ فقد يدخل المجال من جهة ويخرج من أخرى.

خرافة: قانون غاوس يصلح للشحنات المتماثلة فقط.
في الحقيقة: هو صحيح دائمًا؛ والتماثل هو ما يجعله سهل الاستخدام.

خرافة: الشحنات خارج السطح تغيّر التدفق.
في الحقيقة: تغيّر E على السطح لكنها تضيف تدفقًا صافيًا صفريًا.

بطاقات تعليمية

التدفق الكهربائي

$\Phi = \oint E \cdot dA$.

قانون غاوس

$\Phi = Q_{enc}/\varepsilon_0$.

خط الشحنة

$E = \lambda/(2\pi\varepsilon_0 r)$.

صفيحة الشحنة

$E = \sigma/(2\varepsilon_0)$.

الموصل

$E = 0$ في الداخل؛ والشحنة على السطح.

قفص فاراداي

الموصل المغلق يحجب ما بداخله.

اختبار ذاتي

1. التدفق الصافي عبر سطح مغلق يعتمد على...

شكله

الشحنة المحصورة

مساحته

الشحنات الخارجية

الشحنة المحصورة. Q_{enc}/ε_0.

2. داخل موصل في حالة اتزان، يكون E...

أقصى ما يمكن

صفر

kQ/r^2

σ/ε_0

صفر. تعيد الشحنات الحرة ترتيب نفسها حتى E = 0.

3. E قرب صفيحة مشحونة كبيرة يتغير مع المسافة بنسبة...

$1/r^2$

$1/r$

ثابت

r

ثابت. $\sigma/(2\varepsilon_0)$.

4. أفضل سطح غاوس لسلك طويل هو...

كرة

مكعب

أسطوانة متحدة المحور

قرص مسطح

أسطوانة متحدة المحور. يطابق التماثل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

لقانون غاوس توأم مغناطيسي: صافي التدفق المغناطيسي عبر أي سطح مغلق صفر، لعدم وجود أقطاب مغناطيسية منفردة. ومجال الأرض مثال جيد. تقول National Centers for Environmental Information التابعة لـ NOAA إن أكثر من 90% من

المجال المقيس عند السطح يتولد في اللب الخارجي للأرض. كل خط مجال يغادر الكوكب يعود إليه.

على Saving Planets: الطقس الفضائي

المصادر: · NOAA NCEI: Geomagnetism frequently asked questions (https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml) OpenStax UP2, 6.3 Applying Gauss’s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/6-3-applying-gausss-law)

مصادر تعلّم مجانية

- ’OpenStax UP2, 6.2 Explaining Gauss s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/6-2-explaining-gausss-law): التدفق والقانون.
- ’OpenStax UP2, 6.3 Applying Gauss s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/6-3-applying-gausss-law): كرات، وخطوط، وصفائح.
- OpenStax UP2, 6.4 Conductors in equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/6-4-conductors-in-electrostatic-equilibrium): الموصلات.
- MIT OpenCourseWare 8.02 Physics II: Electricity and Magnetism (https://ocw.mit.edu/courses/8-02-physics-ii-electricity-and-magnetism-spring-2019/): محاضرات ومجموعات مسائل.

شاهد المحاضرة

Gauss's Law I (https://oyc.yale.edu/physics/phys-201/lecture-3) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 201 Fundamentals of Physics II, Open Yale Courses. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · شروط الاستخدام (https://oyc.yale.edu/terms). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

الجهد الكهربائي والسعة

طاقة الوضع والجهد، وأسطح تساوي الجهد، وإيجاد E من V، والمكثفات على التوالي والتوازي، والطاقة المخزنة، والعوازل.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب الجهد وطاقة الوضع للشحنات النقطية.
- اربط E وV: E = −dV/dx.
- أوجد السعة واجمع المكثفات.
- احسب الطاقة المخزنة وأثر العازل.

المفاهيم الأساسية

- الجهد V هو طاقة الوضع لكل وحدة شحنة (فولت = جول لكل كولوم). الفروق وحدها هي المهمة.
- الشحنة النقطية تعطي V = kq/r؛ وتُجمع الجهود كأعداد لا كمتجهات.
- يتجه المجال نحو انخفاض الجهد: E = −dV/dx. وأسطح تساوي الجهد عمودية على خطوط المجال.
- يخزن المكثف شحنة Q = CV. والمكثف ذو الألواح المتوازية سعته C = ε₀A/d.
- الطاقة المخزنة U = ½CV². والعازل ذو الثابت κ يضرب C في κ.
- المكثفات على التوازي تُجمع؛ وعلى التوالي تُجمع مقلوباتها.

المعادلات الأساسية

$$V = \frac{kq}{r}, \quad \Delta U = q\,\Delta V$$

V=kq/r, Δ U=q Δ V

جهد الشحنة النقطية

$$E_x = -\frac{dV}{dx}$$

E_x=-dV/dx

المجال من الجهد

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\kappa \varepsilon_0 A}{d}$$

C=Q/V=(_0A)/(d)

مكثف الألواح المتوازية

$$U = \tfrac{1}{2} C V^2$$

U=12CV^2

الطاقة المخزنة

$$C_{\parallel} = C_1 + C_2, \quad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

C_=C_1+C_2, 1C_s=1C_1+1C_2

التوصيلات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 أوجد الجهد على بعد 0.30 m من شحنة 2.0 nC.

1. $V = kq/r = 8.988 \times 10^{9} \times 2.0 \times 10^{-9} / 0.30$.

الإجابة: ≈ 59.9 V.

مثال 3.2 يبدأ إلكترون من السكون ويعبر فرق جهد مقداره 100 V. أوجد سرعته.

1. $eΔV = ½mv^2$.
2. $v = \sqrt{(2 \times 1.602 \times 10^{-19} \times 100 / 9.109 \times 10^{-31})}$.

الإجابة: $\approx 5.93 \times 10^{6}$ m/s.

مثال 3.3 لوحان مساحة كل منهما 0.010 m² تفصلهما 1.0 mm موصولان بـ 12 V. أوجد C وQ وU.

1. $C = ε_0 A/d = 8.854 \times 10^{-12} \times 0.010 / 0.001 = 88.5$ pF.
2. $Q = CV = 1.06$ nC.
3. $U = ½CV^2 = 6.37$ nJ.

الإجابة: 88.5 pF, 1.06 nC, 6.37 nJ.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. اجمع 2 µF و3 µF على التوالي وعلى التوازي.

   توالٍ 1.2 µF؛ توازٍ 5 µF.

2. املأ المكثف ذا 88.5 pF بعازل κ = 3.4.

.C = 301 pF

3. مكثف فائق كبير سعته 3000 F مشحون إلى 2.7 V (قيم نموذجية). كم طاقة يحمل؟

U = ½CV² ≈ 10.9 kJ، جزء ضئيل من بطارية سيارة كهربائية لكنه يُسلَّم في ثوانٍ.

4. $V = 4x^2$ فولت. أوجد E عند x = 2 m.

E = −dV/dx = −16 V/m (متجه نحو −x).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الجهد وطاقة الوضع شيء واحد.
في الحقيقة: U = qV؛ وV لكل وحدة شحنة.

خرافة: الجهد العالي وحده هو ما يجعل الصدمة خطيرة.
في الحقيقة: المهم هو التيار في الجسم؛ والجهد يدفعه عبر مقاومة الجسم.

خرافة: حيث V = 0 يكون E = 0.
في الحقيقة: في منتصف المسافة بين +q و−q، V = 0 لكن E كبير.

بطاقات تعليمية

الجهد الكهربائي

V = U/q، بالفولت.

جهد الشحنة النقطية

V = kq/r.

المجال من الجهد

E = −dV/dx.

السعة

C = Q/V؛ بالفاراد.

ألواح متوازية

C = κε₀A/d.

طاقة المكثف

U = ½CV².

الإلكترون فولت

1 eV = 1.602 × 10⁻¹⁹ J.

اختبار ذاتي

1. 1 فولت يساوي...

1 J/C

1 C/J

1 N/C

1 W/A²

1. 1 J/C الطاقة لكل شحنة.

2. تنصيف المسافة بين لوحي المكثف يجعل C...

النصف

الضعف

أربعة أضعاف

دون تغيير

الضعف. $C = \varepsilon_0 A/d$.

3. مضاعفة الجهد على مكثف تضرب الطاقة المخزنة في...

2

4

½

1

4. $U \propto V^2$.

4. خطوط تساوي الجهد تقطع خطوط المجال بزاوية...

0°

45°

90°

أي زاوية

90°. لا شغل على امتداد خط تساوي الجهد.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تخزن السيارات الكهربائية الطاقة في بطاريات لا مكثفات، لأن المكثف يحمل طاقة أقل بكثير لكل كيلوغرام. يحمل المكثف الفائق في التمرين نحو 10.9 kJ، أي نحو 3.04 واط ساعة. وتجد المكثفات مكانها حيث يجب أن تتدفق القدرة دخولًا أو خروجًا في ثوانٍ، مثل تنعيم خرج إلكترونيات القدرة في السيارات الكهربائية والعواكس الشمسية وتوربينات الرياح.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml) · OpenStax UP2, 8.3 Energy stored in a capacitor (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/8-3-energy-stored-in-a-capacitor)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 7.2 Electric potential and potential difference (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/7-2-electric-potential-and-potential-difference): الجهد.
- OpenStax UP2, 7.3 Calculations of electric potential (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/7-3-calculations-of-electric-potential): جهد توزيعات الشحنة.
- OpenStax UP2, 8.1 Capacitors and capacitance (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/8-1-capacitors-and-capacitance): المكثفات.
- OpenStax UP2, 8.4 Capacitor with a dielectric (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/8-4-capacitor-with-a-dielectric): العوازل.
- PhET: Capacitor Lab: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/capacitor-lab-basics): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

The Electric Potential and Conservation of Energy (https://oyc.yale.edu/physics/phys-201/lecture-5) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 201 Fundamentals of Physics II, Open Yale Courses. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · شروط الاستخدام (https://oyc.yale.edu/terms). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

التيار والمقاومة ودوائر التيار المستمر

التيار وسرعة الانجراف، والمقاومية وقانون أوم، والقدرة، والقوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية، والمقاومات على التوالي والتوازي، وقاعدتا كيرشوف، ودوائر RC.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اربط التيار بسرعة الانجراف والمقاومة بالمقاومية.
- استخدم قانون أوم وP = IV.
- بسّط شبكات التوالي والتوازي وطبّق قاعدتي كيرشوف.
- حلّل شحن دوائر RC وتفريغها.

المفاهيم الأساسية

- التيار I = dQ/dt؛ وفي سلك I = nqv_dA، وسرعة الانجراف ضئيلة جدًا مع أن الإشارات تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء.
- المقاومة R = ρL/A. وقانون أوم V = IR يصح للمواد الأومية.
- القدرة P = IV = I²R = V²/R.
- المقاومات على التوالي تُجمع؛ وعلى التوازي تُجمع مقلوباتها.
- كيرشوف: مجموع التيارات الداخلة إلى عقدة صفر؛ ومجموع تغيرات الجهد حول أي حلقة صفر.
- تُشحن دائرة RC وفق V = V₀(1 − e^(−t/RC))؛ والثابت الزمني τ = RC.

المعادلات الأساسية

$$I = \frac{dQ}{dt} = nqv_dA$$

I=dQ/dt=nqv_dA

التيار وسرعة الانجراف

$$R = \rho\frac{L}{A}, \quad V = IR$$

R=ρL/A, V=IR

المقاومة وقانون أوم

$$P = IV = I^2R$$

P=IV=I^2R

القدرة الكهربائية

$$\sum I = 0, \quad \sum \Delta V = 0$$

I=0, Δ V=0

قاعدتا كيرشوف

$$V_C = V_0\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

V_C=V_0(1-e^-t/RC)

شحن المكثف

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 أوجد مقاومة 100 m من سلك نحاسي قطره 1.0 mm (ρ = 1.68 × 10⁻⁸ Ω·m).

1. $A = \pi(0.5 \times 10^{-3})^2 = 7.85 \times 10^{-7}\ \text{m}^2$.
2. $R = \rho L/A = 1.68 \times 10^{-8} \times 100/7.85 \times 10^{-7}$.

الإجابة: $\approx 2.14\ \Omega$.

مثال 4.2 بطاريتان (12 V و6 V) وثلاث مقاومات: الحلقة 1 فيها 12 V و$R_1 = 2\ \Omega$ والمقاومة المشتركة $R_3 = 6\ \Omega$؛ والحلقة 2 فيها 6 V و$R_2 = 3\ \Omega$ وR_3. أوجد التيارات.

1. العقدة: $I_3 = I_1 + I_2$.
2. الحلقة 1: $12 = 2I_1 + 6I_3$. الحلقة 2: $6 = 3I_2 + 6I_3$.
3. بالحل: $I_1 = 2\ \text{A}$، $I_2 = -0.667\ \text{A}$، $I_3 = 1.33\ \text{A}$.

الإجابة: $I_1 = 2\ \text{A}$؛ $I_2 = -0.667\ \text{A}$ (الإشارة السالبة تعني أن بطارية 12 V تدفع التيار عكسيًا عبر بطارية 6 V فتشحنها)؛ $I_3 = 1.33\ \text{A}$.

مثال 4.3 مكثف 100 μF يُشحن من بطارية 9 V عبر 10 kΩ. أوجد τ والجهد بعد 1 s و3 s.

1. $\tau = RC = 10^{4} \times 10^{-4} = 1.0\ \text{s}$.
2. $V(1) = 9(1 - e^{-1})$; $V(3) = 9(1 - e^{-3})$.

الإجابة: 1.0 s; 5.69 V; 8.55 V.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. مصباح 60 W يعمل على 120 V. أوجد تياره ومقاومته.

   $I = 0.5\ \text{A};\ R = 240\ \Omega$.

2. أوجد المكافئ لـ 6 Ω و3 Ω على التوازي، ثم التيار من 12 V عبر هذا الزوج موصولًا على التوالي مع 4 Ω.

   2 Ω؛ $I = 12/6 = 2\ \text{A}$.

3. أوجد سرعة الانجراف لتيار 1 A في السلك النحاسي ذي 1.0 mm ($n = 8.5 \times 10^{28}\ \text{m}^{-3}$).

   $v_d = I/(neA) \approx 9.4 \times 10^{-5}\ \text{m/s}$، نحو ثلث متر في الساعة.

4. لوح شمسي فيه 60 خلية على التوالي، تعطي كل منها 0.6 V (قيم نموذجية). ما جهد اللوح؟ وكيف تضاعف التيار بدلًا من ذلك؟

   36 V؛ صِل لوحين على التوازي.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: التيار يُستهلك في المقاومة.
في الحقيقة: الشحنة محفوظة؛ والطاقة هي التي تتحول لا التيار.

خرافة: تندفع الإلكترونات في الأسلاك بسرعة قريبة من سرعة الضوء.
في الحقيقة: الإشارة نعم؛ أما الإلكترونات فتنجرف بأجزاء من المليمتر في الثانية.

خرافة: البطارية تزوّد تيارًا ثابتًا.
في الحقيقة: تزوّد قوة دافعة كهربائية ثابتة تقريبًا؛ والتيار يعتمد على الدائرة.

بطاقات تعليمية

التيار

$I = dQ/dt$؛ بالأمبير.

قانون أوم

$V = IR$.

المقاومية

$R = \rho L/A$.

القدرة

$P = IV = I^2R = V^2/R$.

قاعدة العقدة

$\Sigma I = 0$.

قاعدة الحلقة

$\Sigma \Delta V = 0$.

الثابت الزمني RC

.τ = RC

اختبار ذاتي

1. مضاعفة طول السلك تضاعف...

مقاوميته

مقاومته

تياره

مساحة مقطعه

مقاومته. R = ρL/A.

2. مقاومتان متساويتان R على التوازي تعطيان...

2R

R

R/2

R²

R/2. 1/R + 1/R.

3. بعد ثابت زمني واحد يكون المكثف الذي يُشحن عند...

37%

50%

63%

100%

63%. 1 − e^(−1).

4. قاعدة الحلقة لكيرشوف تنبع من حفظ...

الشحنة

الطاقة

كمية الحركة

الكتلة

الطاقة. الجهد طاقة لكل شحنة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

اللوح الشمسي دائرة تيار مستمر. تُوصل الخلايا على التوالي لرفع الجهد والألواح على التوازي لرفع التيار، تمامًا كما في التمارين. والخلية تدفع الشحنة في اتجاه واحد فقط، لذا يكون خرج اللوح تيارًا مستمرًا؛ ويجب تحويله إلى تيار متردد قبل أن ينضم إلى الشبكة (الوحدة 9). وتشرح وزارة الطاقة الأمريكية كيف تعمل الخلايا نفسها.

على Saving Planets: رصد الأرض

المصادر: OpenStax UP2, 10.3 · U.S. DOE: How does solar work? (https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work) · Kirchhoff's rules (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-3-kirchhoffs-rules)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 9.1 Electrical current (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/9-1-electrical-current): التيار.
- OpenStax UP2, 9.3 Resistivity and resistance (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/9-3-resistivity-and-resistance): المقاومة.
- OpenStax UP2, 10.2 Resistors in series and parallel (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-2-resistors-in-series-and-parallel): التوصيلات.
- OpenStax UP2, 10.5 RC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-5-rc-circuits): دوائر RC.
- PhET: Ohm's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ohms-law): تفاعلي.

أنهيت هذه الوحدة

المجالات والقوى المغناطيسية

القوة المغناطيسية على الشحنات المتحركة والتيارات، والحركة الدائرية للجسيمات المشحونة، والعزم على حلقة تيار، وكيف تعمل المحركات الكهربائية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم F = qv × B مع قاعدة اليد اليمنى.
- أوجد نصف قطر المدار الدائري لجسيم مشحون وتردده.
- أوجد القوة على سلك يحمل تيارًا والعزم على حلقة.
- اشرح كيف يحوّل محرك التيار المستمر التيار إلى دوران.

المفاهيم الأساسية

- يدفع المجال المغناطيسي الشحنة المتحركة: F = qv × B، عموديًا على v وB معًا. ولا يبذل شغلًا، فيغيّر الاتجاه لا مقدار السرعة.
- الشحنة التي تتحرك عبر مجال منتظم تدور بنصف قطر r = mv/(|q|B) وتردد سيكلوتروني f = |q|B/(2πm)، مستقل عن السرعة.
- سلك يحمل تيارًا I في مجال B يتعرض لـ F = IL × B.
- لحلقة التيار عزم مغناطيسي μ = NIA وتتعرض لعزم دوران τ = μB sin θ. وهذا العزم هو ما يدير المحرك الكهربائي.
- المجالان E وB المتعامدان لا يمررون إلا الجسيمات ذات v = E/B (منتقي السرعة).

المعادلات الأساسية

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

F=q v× B

القوة المغناطيسية على شحنة

$$r = \frac{mv}{|q|B}, \quad f = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

r=(mv)/(|q|B), f=(|q|B)/(2π m)

الحركة الدائرية في مجال

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

F=I L× B

القوة على تيار

$$\tau = NIAB\sin\theta$$

$\tau = NIAB\theta$

العزم على حلقة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 بروتون من الرياح الشمسية يتحرك بسرعة 400 km/s عموديًا على مجال 50 μT (قيم نموذجية). أوجد نصف قطر دائرته.

1. $r = mv/(eB) = 1.673 \times 10^{-27} \times 4 \times 10^{5} / (1.602 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^{-5})$.

الإجابة: ≈ 83.5 m. تلتف الجسيمات المشحونة بإحكام على امتداد خطوط المجال بدلًا من عبورها.

مثال 5.2 سلك طوله 0.20 m يحمل 200 A عموديًا على مجال 0.50 T. أوجد القوة.

1. $F = ILB = 200 \times 0.20 \times 0.50$.

الإجابة: 20 N.

مثال 5.3 ملف محرك فيه 100 لفة مساحتها $0.01\ m^2$ يحمل 2 A في مجال 0.5 T. أوجد أقصى عزم.

1. $\tau = NIAB = 100 \times 2 \times 0.01 \times 0.5$.

الإجابة: 1.0 N·m، حين يكون مستوى الملف موازيًا للمجال.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد التردد السيكلوتروني لبروتون في مجال 1 T.

   $f = eB/(2\pi m_p) \approx 15.2$ MHz.

2. إلكترون يتحرك بسرعة 1×10^{5} m/s عبر مجال 50 μT. أوجد r.

   $r = m_e v/(eB) \approx 1.14$ cm.

3. ما السرعة التي تمر دون انحراف عبر $E = 10^{4}$ V/m و $B = 0.1$ T؟

   $v = E/B = 10^{5}$ m/s.

4. هل يستطيع مجال مغناطيسي ساكن زيادة سرعة شحنة؟

   لا: $F \perp v$، لذا لا يبذل شغلًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: القوة المغناطيسية تتجه على امتداد المجال.

في الحقيقة: هي عمودية على B وعلى v.

خرافة: الشحنة الساكنة تتعرض لقوة مغناطيسية.

في الحقيقة: الشحنات المتحركة وحدها تتعرض لها.

خرافة: السرعة الأكبر تعني ترددًا سيكلوترونيًا أعلى.

في الحقيقة: نصف القطر يزداد مع السرعة، أما التردد فلا.

بطاقات تعليمية

قوة لورنتز

$F = q(E + v \times B)$.

قاعدة اليد اليمنى

الأصابع باتجاه v، اثنها نحو B، والإبهام يعطي F لشحنة موجبة.

نصف القطر السيكلوتروني

$r = mv/(qB)$.

القوة على سلك

$F = ILB \sin \theta$.

العزم المغناطيسي

$\mu = NIA$.

عزم المحرك

$\tau = NIAB \sin \theta$.

اختبار ذاتي

1. القوة المغناطيسية على شحنة تتحرك موازية لـ B هي...

أقصى ما يمكن

صفر

qvB

qE

صفر. $\sin 0 = 0$.

2. وحدة SI للمجال المغناطيسي هي…

الغاوس

التسلا

الويبر

الهنري

التسلا. $1\ \mathrm{T} = 1\ \mathrm{N/(A\cdot m)}$؛ $1\ \mathrm{G} = 10^{-4}\ \mathrm{T}$.

3. مضاعفة سرعة جسيم مشحون في B منتظم تغيّر نصف قطره بمقدار…

½×

1×

2×

4×

2×. $r = mv/(qB)$.

4. يكون العزم على ملف المحرك أكبر ما يمكن حين يكون مستواه…

عموديًا على B

موازيًا لـ B

بزاوية 30°

أي زاوية

موازيًا لـ B. يكون μ حينها عموديًا على B.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تعمل السيارات الكهربائية بالعزم المغناطيسي: التيار في ملفات المحرك يقع في مجال مغناطيسي، و$\tau = NIAB\sin\theta$ يدير العجلات. يقول FuelEconomy.gov إن السيارات الكهربائية تحوّل أكثر من 77% من الطاقة الكهربائية من الشبكة إلى قدرة عند

العجلات، بينما لا تحوّل سيارات البنزين إلا نحو 12% إلى 30% من طاقة وقودها.

مجال الأرض، الذي يتراوح بين نحو 25 و65 µT عند السطح وفقًا لـ NOAA، يحني الجسيمات المشحونة الواردة من الرياح الشمسية في لوالب ضيقة، كما في المثال المحلول الأول. والجسيمات المحتجزة بهذه الطريقة توجَّه على امتداد خطوط المجال نحو القطبين، حيث تضيء الشفق القطبي.

على Saving Planets: الطقس الفضائي

المصادر: FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml) · NOAA NCEI: Geomagnetism frequently asked questions (https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 11.3 Motion of a charged particle in a magnetic field (https://openstax.org/books/university-physi cs-volume-2/pages/11-3-motion-of-a-charged-particle-in-a-magnetic-field): الحركة الدائرية.
- OpenStax UP2, 11.4 Magnetic force on a current-carrying conductor (https://openstax.org/books/university-physi cs-volume-2/pages/11-4-magnetic-force-on-a-current-carrying-conductor): القوة على الأسلاك.
- OpenStax UP2, 11.5 Force and torque on a current loop (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pa ges/11-5-force-and-torque-on-a-current-loop): المحركات.
- PhET: Magnets and Electromagnets (https://phet.colorado.edu/en/simulations/magnets-and-electromagnets): تفاعلي.

أنهيت هذه الوحدة

مصادر المجالات المغناطيسية: بيو–سافار وأمبير

كيف تولّد التيارات مجالات مغناطيسية: قانون بيو–سافار، ومجالات الأسلاك والحلقات والملفات اللولبية، والقوى بين التيارات المتوازية، وقانون أمبير.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم قانون بيو–سافار لسلك وحلقة.
- طبّق قانون أمبير على الأسلاك والملفات اللولبية.
- أوجد القوة بين تيارين متوازيين.
- قارن المجالات الاصطناعية بمجال الأرض.

المفاهيم الأساسية

- بيو–سافار: كل عنصر تيار I dl يولّد dB = (μ₀/4π) I dl × r/r². وتلتف خطوط المجال حول التيار (قاعدة اليد اليمنى: الإبهام مع I، والأصابع تلتف مع B).
- سلك مستقيم طويل: B = μ₀I/(2πr). وفي مركز حلقة نصف قطرها R: B = μ₀I/(2R).
- قانون أمبير: ∮B·dl = μ₀I_enc. ومثل قانون غاوس، يكون أسهل مع التماثل.
- داخل ملف لولبي طويل B = μ₀nI، منتظم، حيث n عدد اللفات لكل متر.
- التيارات المتوازية تتجاذب؛ والمتعاكسة تتنافر، بقوة لكل وحدة طول μ₀I₁I₂/(2πd).

المعادلات الأساسية

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\vec{l}\times\hat{r}}{r^2}$$

d B=(μ_0)/(4π)(I d l× r)/(r^2)

قانون بيو–سافار

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

B=(μ_0I)/(2π r)

سلك مستقيم طويل

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{enc}}$$

B· d l=μ_0I_enc

قانون أمبير

$$B = \mu_0 n I$$

B=μ_0nI

ملف لولبي طويل

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

FL=(μ_0I_1I_2)/(2π d)

أسلاك متوازية

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 خط نقل يحمل 1000 A (قيمة نموذجية). أوجد B على بعد 20 m وقارنه بمجال الأرض.

1. $B = \mu_0 I/(2\pi r) = 4\pi \times 10^{-7} \times 1{,}000/(2\pi \times 20)$.

الإجابة: 10 μT، أصغر من مجال الأرض السطحي البالغ 25–65 μT.

مثال 6.2 ملف لولبي فيه 1000 لفة لكل متر ويحمل 2 A. أوجد B في داخله.

1. $B = \mu_0 n I = 4\pi \times 10^{-7} \times 1{,}000 \times 2$.

الإجابة: ≈ 2.51 mT، نحو 50 ضعف مجال الأرض.

مثال 6.3 سلكان متوازيان تفصلهما 1 cm يحمل كل منهما 10 A في الاتجاه نفسه. أوجد القوة لكل متر.

1. $F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d) = 4\pi \times 10^{-7} \times 100/(2\pi \times 0.01)$.

الإجابة: 2.0 mN/m، تجاذب.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد B في مركز حلقة نصف قطرها 5 cm تحمل 5 A.

   $B = \mu_0 I/(2R) \approx 62.8$ μT.

2. سلك يحمل 2 A. أوجد B عند 1 و2 و4 cm.

40 و20 وμT 10: يتنصف مع كل مضاعفة للمسافة.

3. استخدم قانون أمبير لإيجاد B داخل سلك سميك نصف قطره a عند r < a (تيار منتظم).

B(2πr) = μ₀I r²/a²، إذن B = μ₀Ir/(2πa²)، يزداد خطيًا من المركز.

4. ما قيمة B خارج حلقي (توروید) مثالي؟

صفر: المسار لا يحيط بتيار صافٍ.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: خطوط المجال المغناطيسي تبدأ وتنتهي عند الأقطاب.
في الحقيقة: تشكّل حلقات مغلقة؛ فلا أقطاب منفردة.

خرافة: قانون أمبير يعطي B لأي تيار.
في الحقيقة: هو صحيح دائمًا، لكنه يعطي B مباشرة مع التماثل فقط.

خرافة: مجال السلك يتجه على امتداد السلك.
في الحقيقة: يلتف حول السلك.

بطاقات تعليمية

بيو–سافار

dB = (μ₀/4π) I dl × r/r².

مجال السلك

B = μ₀I/(2πr).

مركز الحلقة

B = μ₀I/(2R).

قانون أمبير

∮B·dl = μ₀I_enc.

الملف اللولبي

B = μ₀nI.

التيارات المتوازية

الاتجاه نفسه يتجاذب.

اختبار ذاتي

1. B لسلك طويل يتناقص مع المسافة بنسبة...

1/r²

1/r

ثابت

r

.1/r. $\mu_0 I/(2\pi r)$

2. داخل ملف لولبي طويل، يعتمد B على...

نصف القطر

عدد اللفات لكل متر والتيار

الطول فقط

البعد عن المحور

عدد اللفات لكل متر والتيار. $B = \mu_0 n I$.

3. سلكان يحملان تيارين متعاكسين...

تتجاذب

تتنافر

لا تتعرض لقوة

تلتوي

تتنافر. التيارات المتعاكسة تتنافر.

μ_0 .4 يساوي تقريبًا...

8.85×10^{-12}

1.26×10^{-6}

9×10^{9}

3×10^{8}

.1.26×10^{-6}. $4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

مجال الأرض نفسه تصنعه تيارات: توضح NOAA أن أكثر من 90% منه يتولد في اللب الخارجي بما تسميه NOAA الدينامو الداخلي للأرض: مادة موصلة للكهرباء متحركة تحمل تيارًا. وقانون بيو–سافار هو الجسر بين تلك التيارات والمجال الذي تقرؤه البوصلة. ويصف World Magnetic Model التابع لـ NOAA هذا المجال الرئيسي.

على Saving Planets: الطقس الفضائي

المصادر: · NOAA NCEI: Geomagnetism frequently asked questions (https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml) OpenStax UP2, 12.1 The Biot–Savart law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/12-1-the-biot-savart-law)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 12.1 The Biot–Savart law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/12-1-the-biot-savart-law): بيو–سافار.
- OpenStax UP2, 12.5 Ampère's law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/12-5-amperes-law): قانون أمبير.
- PhET: Magnet and Compass (https://phet.colorado.edu/en/simulations/magnet-and-compass): تفاعلي.
- MIT OpenCourseWare 8.02 Physics II: Electricity and Magnetism (https://ocw.mit.edu/courses/8-02-physics-ii-electricity-and-magnetism-spring-2019/): محاضرات ومجموعات مسائل.

أنهيت هذه الوحدة

الحث الكهرومغناطيسي: فاراداي ولنز

التدفق المغناطيسي، وقانون فاراداي، وقانون لنز، والقوة الدافعة الحركية، والمجالات الكهربائية المستحثة، والتيارات الدوامية، والمولدات التي تقف وراء طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب التدفق المغناطيسي والقوة الدافعة الناتجة عن تدفق متغير.
- استخدم قانون لنز لإيجاد اتجاه التيار المستحث.
- أوجد القوة الدافعة الحركية لقضيب متحرك.
- احسب خرج مولد التيار المتردد وقدرة محطة كهرومائية.

المفاهيم الأساسية

- التدفق المغناطيسي Φ_B = ∫B·dA، بالويبر.
- قانون فاراداي: التدفق المتغير عبر ملف من N لفة يستحث قوة دافعة ε = −N dΦ_B/dt.
- قانون لنز (إشارة السالب): يعاكس التيار المستحث التغير في التدفق الذي سببه، وهذا حفظ للطاقة.
- قضيب طوله L يتحرك بسرعة v عبر B له قوة دافعة حركية ε = BLv.
- ملف يدور بسرعة زاوية ω في B يعطي ε = NBAω sin ωt: تيار متردد. وتدويره يتطلب شغلًا ميكانيكيًا، وبهذا تحوّل المولدات الحركة إلى طاقة كهربائية.

المعادلات الأساسية

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

_B= B· d A

التدفق المغناطيسي

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

=-N(d_B)/(dt)

قانون فاراداي

$$\varepsilon = BLv$$

=BLv

القوة الدافعة الحركية

$$\varepsilon(t) = NBA\omega \sin \omega t$$

(t)=NBAωω t

مولد التيار المتردد

$$P = \eta \rho g Q h$$

P=ρ gQh

الطاقة الكهرومائية

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 ملف مولد فيه 100 لفة مساحتها 0.04 m² يدور بمعدل 60 دورة/s في مجال 0.5 T. أوجد القوة الدافعة القصوى.

1. ω = 2π × 60 = 377 rad/s.
2. ε_max = NBAω = 100 × 0.5 × 0.04 × 377.

الإجابة: ≈ 754 V.

مثال 7.2 ملف من 200 لفة مساحته 0.01 m² يرتفع فيه B من 0 إلى 0.3 T في 0.5 s. أوجد متوسط القوة الدافعة.

1. ΔΦ = BA = 0.003 Wb لكل لفة.
2. ε = NΔΦ/Δt = 200 × 0.003/0.5.

الإجابة: 1.2 V.

مثال 7.3 محطة كهرومائية يمر بها 100 m³/s عبر سقوط 50 m بكفاءة 90% (قيم نموذجية). أوجد قدرتها.

1. P = ηρgQh = 0.9 × 1,000 × 9.81 × 100 × 50.

الإجابة: ≈ 44.1 MW.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. قضيب طوله 0.2 m يتحرك بسرعة 3 m/s عبر مجال 0.5 T. أوجد القوة الدافعة.

   BLv = 0.3 V.

2. يقترب القطب الشمالي لمغناطيس من حلقة. في أي اتجاه يسري التيار المستحث، كما يُرى من المغناطيس؟

   عكس عقارب الساعة، مكوّنًا وجهًا شماليًا يتنافر مع المغناطيس المقترب.

3. لماذا يصعب تدوير المولد حين تُضاء المصابيح؟

التيار في الملف يتعرض لعزم مغناطيسي يعاكس الحركة (لنز)؛ ومن هنا تأتي الطاقة الكهربائية.

4. مضاعفة معدل دوران المولد تغيّر قوته الدافعة القصوى بمقدار...؟

.×2: ε_max = NBAω

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المجال القوي الثابت يستحث تيارًا.
في الحقيقة: التدفق المتغير وحده يستحث قوة دافعة.

خرافة: قانون لنز يعاكس المجال.
في الحقيقة: يعاكس التغير في التدفق.

خرافة: المولدات تصنع الطاقة.
في الحقيقة: تحوّل الشغل الميكانيكي إلى طاقة كهربائية.

بطاقات تعليمية

التدفق المغناطيسي

Φ = BA cos θ؛ بالويبر.

قانون فاراداي

ε = −N dΦ/dt.

قانون لنز

التيار المستحث يعاكس التغير.

القوة الدافعة الحركية

ε = BLv.

المولد

ε = NBAω sin ωt.

التيارات الدوامية

حلقات مستحثة في المعدن الصلب؛ تُستخدم في الكبح.

اختبار ذاتي

1. قانون فاراداي يربط القوة الدافعة بـ...

التدفق

معدل تغير التدفق

تياره

مقاومته

معدل تغير التدفق. ε = −N dΦ/dt.

2. إشارة السالب في قانون فاراداي...

قانون أوم

قانون لنز

قانون غاوس

مجرد اصطلاح

قانون لنز. تعاكس التغير.

3. ملف يدور في مجال ثابت ينتج...

DC

AC

لا قوة دافعة

شحنة ساكنة

AC. ε ∝ sin ωt.

4. وحدة SI للتدفق المغناطيسي هي...

التسلا

الويبر

الهنري

الفاراد

الويبر. 1 Wb = 1 T·m².

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية هما قانون فاراداي. توضح وزارة الطاقة الأمريكية أن الرياح تدير شفرات التوربين حول دوار، فيدير مولدًا ينتج الكهرباء، وأن محطات الطاقة الكهرومائية تستخدم توربينات ومولدات لتحويل الطاقة الحركية للمياه الجارية إلى كهرباء للشبكة.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · U.S. DOE: How hydropower works (https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 13.1 Faraday's law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/13-1-faradays-law): فاراداي.
- OpenStax UP2, 13.2 Lenz's law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/13-2-lenzs-law): لنز.
- OpenStax UP2, 13.3 Motional EMF (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/13-3-motional-emf): الموصلات المتحركة.
- OpenStax UP2, 13.6 Electric generators and back EMF (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/13-6-electric-generators-and-back-emf): المولدات.
- PhET: Faraday's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Lenz's and Faraday's Laws (https://oyc.yale.edu/physics/phys-201/lecture-11) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 201 Fundamentals of Physics II, Open Yale Courses. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · شروط الاستخدام (https://oyc.yale.edu/terms). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

المحاثة ودوائر RL وLC

المحاثة المتبادلة والذاتية، والطاقة المخزنة في المجالات المغناطيسية، ودوائر RL وثابتها الزمني، وتذبذبات LC.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أوجد المحاثة الذاتية لملف لولبي والقوة الدافعة لمحث.
- حلّل نمو التيار واضمحلاله في دوائر RL.
- احسب الطاقة في المحث وكثافة الطاقة المغناطيسية.
- أوجد تردد مذبذب LC.

المفاهيم الأساسية

- التيار المتغير في ملف يستحث قوة دافعة في ملف آخر: ε₂ = −M dI₁/dt (المحاثة المتبادلة).
- يعاكس الملف التغيرات في تياره: ε = −L dI/dt. والملف اللولبي الطويل له L = μ₀N²A/l.
- في دائرة RL يرتفع التيار وفق I = (ε/R)(1 − e^(−t/τ)) مع τ = L/R.
- يخزن المحث U = ½LI²؛ وأي مجال مغناطيسي يخزن كثافة طاقة u = B²/(2μ₀).
- دائرة LC تتبادل الطاقة بين المكثف والمحث عند ω = 1/√(LC)، وهي التوأم الكهربائي لكتلة على نابض.

المعادلات الأساسية

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}, \quad L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

=-LdI/dt, L=(μ_0N^2A)/(l)

المحاثة الذاتية

$$I = \frac{\varepsilon}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right),\ \tau = \frac{L}{R}$$

I=()/(R)(1-e^-t/τ),\ τ= LR

دائرة RL

$$U = \tfrac{1}{2}LI^2, \quad u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

U=12LI^2, u_B=(B^2)/(2μ_0)

الطاقة المغناطيسية

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 ملف لولبي فيه 500 لفة، ومساحة مقطعه $1.0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$ وطوله 0.25 m. أوجد L، ثم τ مع مقاومة 10 Ω.

1. $L = \mu_0 N^2 A / l = 4\pi \times 10^{-7} \times 250{,}000 \times 10^{-3} / 0.25 = 1.26\ \text{mH}$.
2. $\tau = L/R = 0.126\ \text{ms}$.

الإجابة: 1.26 mH; 0.126 ms.

مثال 8.2 كم طاقة يخزن ذلك المحث عند 2 A؟

1. $U = \tfrac{1}{2} L I^2 = \tfrac{1}{2} \times 1.257 \times 10^{-3} \times 4$.

الإجابة: ≈ 2.51 mJ.

مثال 8.3 أوجد تردد تذبذب محث 10 mH مع مكثف 1 μF.

1. $f = 1/(2\pi\sqrt{(LC)}) = 1/(2\pi\sqrt{(10^{-8})})$.

الإجابة: ≈ 1.59 kHz.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ملفان لهما M = 0.01 H. يتغير التيار في أحدهما بمعدل 100 A/s. أوجد القوة الدافعة في الآخر.

1 V.

2. ما النسبة من تيارها النهائي التي تبلغها دائرة RL بعد 1τ و3τ؟

63% و95%.

3. أوجد كثافة الطاقة المغناطيسية لمجال الأرض البالغ 50 μT.

$B^2/(2\mu_0) \approx 9.9 \times 10^{-4}\ \text{J/m}^3$.

4. لماذا قد يُحدث فصل حمل حثي شرارة؟

إيقاف I بسرعة يجعل L dI/dt هائلًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المحث يقاوم التيار.

في الحقيقة: يقاوم التغيرات في التيار؛ ومع تيار مستمر ثابت هو مجرد سلك.

خرافة: تخزن المحاثات الطاقة في الشحنة.

في الحقيقة: في المجال المغناطيسي.

خرافة: تذبذبات LC تدوم إلى الأبد.

في الحقيقة: المقاومة الحقيقية تخمدها (دائرة RLC، الوحدة 9).

بطاقات تعليمية

المحاثة الذاتية

$\varepsilon = -L\,dI/dt$.

المحاثة المتبادلة

$\varepsilon_2 = -M\,dI_1/dt$.

محاثة الملف اللولبي

$L = \mu_0 N^2 A/l$.

الثابت الزمني RL

$\tau = L/R$.

طاقة المحث

$U = \tfrac{1}{2}LI^2$.

تردد LC

$\omega = 1/\sqrt{(LC)}$.

اختبار ذاتي

1. وحدة SI للمحاثة هي...

الفاراد

الهنري

التسلا

الأوم

الهنري. $1\ H = 1\ V{\cdot}s/A$.

2. مضاعفة لفات الملف اللولبي تضرب L في...

2

4

½

1

4. $L \propto N^2$.

3. الثابت الزمني RL هو...

RL

L/R

R/L

√(LC)

.L/R. $\tau = L/R$

4. دائرة LC هي النظير الكهربائي لـ...

الاحتكاك

كتلة على نابض

جسم ساقط

رافعة

كتلة على نابض. تتبادل الطاقة ذهابًا وإيابًا.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الطقس الفضائي حث على مقياس كوكبي. يوضح Space Weather Prediction Center التابع لـ NOAA أن العواصف المغناطيسية الأرضية تولد تيارات مستحثة مغناطيسيًا ضارة في شبكة الكهرباء وخطوط الأنابيب، إضافة إلى شفق قطبي جميل.

وتدفع هذه العواصف انبعاثات الكتلة الإكليلية، التي تقول NOAA إنها تغادر الشمس بسرعات من أقل من 250 km/s إلى قرابة 3000 km/s؛ وأسرعها المتجه نحو الأرض يصل في غضون 15 إلى 18 ساعة فقط.

على Saving Planets: الطقس الفضائي · Solar Orbiter

المصادر: NOAA Space Weather Prediction Center: Geomagnetic storms (https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms) · NOAA Space Weather Prediction Center: Coronal mass ejections (https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 14.1 Mutual inductance (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-1-mutual-inductance): المحاثة المتبادلة.
- OpenStax UP2, 14.2 Self-inductance and inductors (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-2-self-inductance-and-inductors): المحاثات.
- OpenStax UP2, 14.4 RL circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-4-rl-circuits): دوائر RL.
- OpenStax UP2, 14.5 Oscillations in an LC circuit (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-5-oscillations-in-an-lc-circuit): دوائر LC.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

دوائر التيار المتردد والمحولات وشبكة الكهرباء

التيار المتردد، والقيم الفعالة، والممانعة والمعاوقة، والطوريات، ورنين RLC، ومعامل القدرة، والمحولات، ولماذا تنقل الشبكة الكهرباء بجهد عالٍ.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حوّل بين القيم القصوى والقيم الفعالة.
- أوجد الممانعة والمعاوقة والطور والتيار في دائرة RLC على التوالي.
- احسب متوسط القدرة ومعامل القدرة.
- استخدم نسب المحولات واشرح النقل بالجهد العالي.

المفاهيم الأساسية

- التيار المتردد المنزلي جيبي؛ وتقرأ أجهزة القياس القيم الفعالة، مع V_rms = V₀/√2.
- للمحاثات ممانعة X_L = ωL وللمكثفات X_C = 1/(ωC). وفي دائرة RLC على التوالي Z = √(R² + (X_L − X_C)²).
- يتقدم التيار على الجهد أو يتأخر عنه بزاوية ϕ حيث tan ϕ = (X_L − X_C)/R. ومتوسط القدرة P = I_rms V_rms cos ϕ؛ و cos ϕ هو معامل القدرة.
- عند الرنين ω₀ = 1/√(LC)، يكون X_L = X_C والتيار أكبر ما يمكن.
- المحول المثالي يحفظ القدرة: V₂/V₁ = N₂/N₁ و I₂/I₁ = N₁/N₂. ولا يعمل إلا مع التيار المتردد، بالحث المتبادل.
- فقد الخط هو I²R. وإرسال القدرة نفسها بجهد أكبر 10 مرات يقلل التيار 10 مرات والفقد 100 مرة.

المعادلات الأساسية

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

V_rms=(V_0)/(2)

القيمة الفعالة

$$X_L = \omega L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

X_L=ω L, X_C=1ω C

الممانعة

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \; \tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Z=^2+(X_L-X_C)^2,\ =(X_L-X_C)/(R)

المعاوقة والطور

$$P = I_{\text{rms}} V_{\text{rms}} \cos\varphi$$

`P=I_rmsV_rms`

متوسط القدرة

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

`(V_2)/(V_1)=(N_2)/(N_1)`

المحول

$$P_{\text{loss}} = I^2 R = \left(\frac{P}{V}\right)^2 R$$

`P_loss=I^2R=(P/V)^2R`

فقد الخط

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 دائرة على التوالي فيها R = 20 Ω وL = 0.1 H وC = 100 μF على 120 V فعال عند 60 Hz. أوجد المعاوقة والتيار والطور والقدرة.

1. $X_L = 2\pi \times 60 \times 0.1 = 37.7\ \Omega$; $X_C = 1/(2\pi \times 60 \times 10^{-4}) = 26.5\ \Omega$.
2. $Z = \sqrt{(20^2 + 11.2^2)} = 22.9\ \Omega$; $I = 120/22.9 = 5.24\ \text{A}$.
3. $\tan\phi = 11.2/20$، $\phi = 29.2^\circ$؛ $P = I^2R = 549\ \text{W}$.

الإجابة: 22.9 Ω، 5.24 A، التيار متأخر بـ 29.2° (معامل القدرة 0.873)، 549 W.

مثال 9.2 أرسل 100 MW عبر خط مقاومته 10 Ω بجهد 345 kV ثم 34.5 kV. قارن الفقد.

1. 345 kV: $I = 290\ \text{A}$، الفقد $I^2R = 0.84\ \text{MW}$ (0.84%).
2. 34.5 kV: $I = 2899\ \text{A}$، الفقد $= 84\ \text{MW}$.

الإجابة: 0.84 MW مقابل 84 MW. عشرة أضعاف الجهد تعطي جزءًا من مئة من الفقد، ولهذا تعمل الخطوط الطويلة بمئات الكيلوفولتات.

مثال 9.3 محول على عمود يخفض 7200 V إلى 240 V (قيم نموذجية). أوجد نسبة اللفات، وتيار الملف الابتدائي حين يزود الثانوي 30 A.

1. $N_1/N_2 = 7{,}200/240 = 30$.
2. $I_1 = I_2/30$.

الإجابة: 30:1؛ 1.0 A.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد الجهد الأقصى لـ 120 V فعال.

   169.7 V.

2. أوجد تردد الرنين لدائرة RLC أعلاه.

   $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{(LC)}) \approx 50.3$ Hz.

3. لماذا لا يستطيع المحول رفع جهد التيار المستمر؟

   التيار الثابت ينتج تدفقًا ثابتًا لا يستحث قوة دافعة.

4. ماذا يحدث لـ X_C حين يرتفع التردد؟

   ينخفض: المكثفات تمرر الترددات العالية.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: القيمة الفعالة هي متوسط الجهد.
في الحقيقة: متوسط الموجة الجيبية صفر؛ والقيمة الفعالة هي جذر متوسط المربع.

خرافة: المحول يصنع القدرة.
في الحقيقة: يقايض الجهد بالتيار؛ والقدرة الخارجة ≤ القدرة الداخلة.

خرافة: المعاوقات تُجمع مثل المقاومات.
في الحقيقة: تُجمع كمتجهات (طوريات)، لا كأعداد عادية.

بطاقات تعليمية

RMS

$V_{rms} = V_0/\sqrt{2}$.

الممانعة الحثية

$X_L = \omega L$.

الممانعة السعوية

المعاوقة

$X_C = 1/(\omega C)$.

$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - X_C)^2)}$.

معامل القدرة

$\cos \phi = R/Z$.

المحول

$V_2/V_1 = N_2/N_1$.

فقد الخط

$I^2R = (P/V)^2R$.

اختبار ذاتي

1. عند الرنين في دائرة RLC على التوالي…

$X_L = X_C$

$Z = 0$

$I = 0$

$R = 0$

$X_L = X_C$. تتلاشى الممانعتان، $Z = R$.

2. رفع جهد النقل 10 مرات يغيّر فقد الخط بمقدار…

×10

×1/10

×1/100

×100

×1/100. الفقد $\propto I^2 \propto 1/V^2$.

3. محول الرفع فيه…

$N_2 > N_1$

$N_2 < N_1$

$N_2 = N_1$

لا ملف ثانوي

$N_2 > N_1$. $V_2/V_1 = N_2/N_1$.

4. معامل القدرة 1 يعني...

التيار والجهد في الطور نفسه

لا تيار

محث خالص

مكثف خالص

التيار والجهد في الطور نفسه. $\cos 0 = 1$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقدّر Energy Information Administration الأمريكية أن فواقد النقل والتوزيع بلغت في المتوسط نحو 5% من الكهرباء المرسلة عبر الشبكة الأمريكية من 2018 حتى 2022. وتصف EIA الشبكة بأنها آلاف الأميال من خطوط الجهد العالي وملايين الأميال من خطوط الجهد المنخفض. الجهد العالي للمسافات، ثم المحولات لخفضه إلى مستويات آمنة قرب المستهلكين: هذا هو المثال المحلول أعلاه على مستوى وطني. وكل نقطة مئوية تُوفَّر تعني وقودًا أقل يُحرق أو طاقة نظيفة أكثر تُسلَّم.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: U.S. EIA: How much electricity is lost in transmission and distribution? (https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=105&t=3) · U.S. EIA: Delivery to consumers (the power grid) (https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/delivery-to-consumers.php)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 15.2 Simple AC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-2-simple-ac-circuits): أساسيات التيار المتردد.
- OpenStax UP2, 15.3 RLC series circuits with AC (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-3-rlc-series-circuits-with-ac): المعاوقة.
- OpenStax UP2, 15.4 Power in an AC circuit (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-4-power-in-an-ac-circuit): معامل القدرة.

- OpenStax UP2, 15.6 Transformers (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-6-transformers): المحولات.
- PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac): تفاعلي.

- [ ] **أنهيت هذه الوحدة**

معادلات ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية والبصريات

تيار الإزاحة ومعادلات ماكسويل الأربع، والضوء كموجة كهرومغناطيسية، وطاقة الضوء وكمية حركته، والطيف، ومقدمة في البصريات: الانعكاس، والانكسار، والانعكاس الكلي الداخلي، والاستقطاب، والعدسات الرقيقة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اذكر معادلات ماكسويل ودور تيار الإزاحة.
- اشتق $c = 1/\sqrt{(\mu_0\varepsilon_0)}$ واربط f وλ وطاقة الفوتون.
- احسب الشدة وسعات المجالين وضغط الإشعاع.
- استخدم قانون سنل، والزاوية الحرجة، وقانون مالوس، ومعادلة العدسة الرقيقة.

المفاهيم الأساسية

- أضاف ماكسويل تيار الإزاحة $\varepsilon_0 \, d\Phi_E/dt$ إلى قانون أمبير. ومعه تتنبأ المعادلات الأربع (غاوس لـ E وB، وفاراداي، وأمبير–ماكسويل) بالموجات.
- تنتقل الموجات بسرعة $c = 1/\sqrt{(\mu_0\varepsilon_0)} = 3.00 \times 10^8$ m/s، مع $E \perp B$ اتجاه الانتشار و$E = cB$. والضوء إحدى هذه الموجات.
- تحمل الموجات طاقة، شدتها $I = \tfrac{1}{2} c\varepsilon_0 E_0^2$، وكمية حركة، ضغطها I/c على سطح ماص.
- يمتد الطيف من الراديو عبر الميكروويف وتحت الأحمر والمرئي وفوق البنفسجي والأشعة السينية إلى أشعة غاما؛ $c = f\lambda$ وطاقة الفوتون $E = hf$.
- عند حد فاصل، ينعكس الضوء بزوايا متساوية وينكسر وفق قانون سنل $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$. وعند الخروج من وسط أكثف، يتجاوز الزاوية الحرجة فينعكس الضوء كله.
- المستقطِب يمرر $I = I_0 \cos^2\theta$ (مالوس). والعدسة الرقيقة تخضع لـ $1/f = 1/d_o + 1/d_i$.

المعادلات الأساسية

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}, \; \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

```
E· d A=(Q)/(_0),\ B· d A=0
```

قانونا غاوس

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \; \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

```
E· d l=-(d_B)/(dt),\ B· d l=μ_0I+μ_0_0(d_E)/(dt)
```

فاراداي وأمبير–ماكسويل

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} = f\lambda, \quad E = cB$$

c=1μ_0_0=f, E=cB

الموجات الكهرومغناطيسية

$$I = \tfrac{1}{2} c \varepsilon_0 E_0^2, \quad p = \frac{I}{c}$$

I=12c_0E_0^2, p= Ic

الشدة وضغط الإشعاع

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

n_1θ_1=n_2θ_2

قانون سنل

$$I = I_0 \cos^2\theta, \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

I=I_0^2θ, 1f=1d_o+1d_i

مالوس والعدسة الرقيقة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 احسب c من μ_0 وε_0.

1. $c = 1/\sqrt{(4\pi \times 10^{-7} \times 8.854 \times 10^{-12})}$.

الإجابة: 2.998×10^8 m/s، سرعة الضوء المقيسة، وهو ما أخبر ماكسويل بأن الضوء كهرومغناطيسي.

مثال 10.2 نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة في Landsat 9 يمتد 0.85–0.88 µm والنطاق الأحمر (NASA) 0.64–0.67 µm. أوجد التردد عند مركز كل نطاق (0.865 و0.655 µm) وطاقة الفوتون في الأحمر.

1. $f = c/\lambda$: 3.47×10^{14} Hz و4.58×10^{14} Hz.
2. $E = hc/\lambda = 3.03 \times 10^{-19}$ J = 1.89 eV.

الإجابة: تحت الأحمر القريب 3.47×10^{14} Hz؛ الأحمر 4.58×10^{14} Hz؛ 1.89 eV.

مثال 10.3 ضوء شمس ساطع شدته 1000 W/m² (قيمة نموذجية) يسقط على لوح. أوجد E_0 وB_0 والضغط على سطح ماص.

1. $E_0 = \sqrt{(2I/(c\varepsilon_0))} = 868$ V/m.
2. $B_0 = E_0/c = 2.90$ µT.

.p = I/c = 3.34 μPa .3

الإجابة: 868 V/m, 2.90 μT, 3.34 μPa.

مثال 10.4 يدخل الضوء الماء (n = 1.33) بزاوية 30° عن العمود. أوجد زاوية الانكسار والزاوية الحرجة للضوء الخارج من الماء.

.$\theta_2 = 22.1°$ ،$\sin\theta_2 = \sin 30°/1.33$ .1
.$\theta_c = 48.8°$ ،$\sin\theta_c = 1/1.33$ .2

الإجابة: 22.1°; 48.8°.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد الطول الموجي لشبكة Wi-Fi بتردد 2.4 GHz.

   12.5 cm.

2. كم يستغرق ضوء الشمس تقريبًا لقطع 1.5×10^{11} m؟

   ≈ 8.3 دقيقة.

3. أوجد الزاوية الحرجة للزجاج (n = 1.5) إلى الهواء.

   41.8°.

4. ضوء غير مستقطب يمر عبر مستقطبين بزاوية 60°. ما نسبة الضوء الخارج من الأول الذي يمر عبر الثاني؟

   $\cos^2 60° = 0.25$.

5. جسم على بعد 30 cm من عدسة بعدها البؤري 10 cm. أين الصورة؟

   $1/d_i = 1/10 - 1/30$، $d_i = 15$ cm، حقيقية ومقلوبة.

6. النطاق الحراري 10 في Landsat 9 قرب 11 μm. أوجد طاقة الفوتون.

   ≈ 0.113 eV، أقل بكثير من فوتونات الضوء المرئي: المستشعرات الحرارية تقرأ الحرارة لا اللون.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الضوء يحتاج إلى وسط.
في الحقيقة: الموجات الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفراغ.

خرافة: الراديو والضوء شيئان مختلفان.
في الحقيقة: الموجات نفسها بأطوال موجية مختلفة.

خرافة: ينحرف الضوء مبتعدًا عن العمود عند دخوله الماء.

في الحقيقة: بل نحو العمود: إنه يتباطأ.

بطاقات تعليمية

معادلات ماكسويل

غاوس (E، B)، فاراداي، أمبير–ماكسويل.

تيار الإزاحة

$\varepsilon_0 \, d\Phi_E/dt$.

سرعة الضوء

$c = 1/\sqrt{(\mu_0 \varepsilon_0)}$.

العلاقة الموجية

$c = f\lambda$.

طاقة الفوتون

$E = hf$.

قانون سنل

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

الزاوية الحرجة

$\sin\theta_c = n_2/n_1$.

قانون مالوس

$I = I_0 \cos^2\theta$.

العدسة الرقيقة

$1/f = 1/d_o + 1/d_i$.

اختبار ذاتي

1. حد تيار الإزاحة أضافه...

فاراداي

Ampère

ماكسويل

غاوس

ماكسويل. قانون أمبير–ماكسويل.

2. في الموجة الكهرومغناطيسية يكون E وB...

متوازيين

متعامدين أحدهما على الآخر وعلى اتجاه الحركة

على امتداد الحركة

غير مرتبطين

متعامدين أحدهما على الآخر وعلى اتجاه الحركة. موجات مستعرضة.

3. التردد الأعلى يعني...

λ أطول وطاقة أقل لكل فوتون

λ أقصر وطاقة أكبر لكل فوتون

موجات أبطأ

لا تغيير

λ أقصر وطاقة أكبر لكل فوتون. c = fλ; E = hf.

4. يحدث الانعكاس الكلي الداخلي حين ينتقل الضوء...

من الهواء إلى الماء

من الماء إلى الهواء بعد θ_c

في أي وسط

من الفراغ إلى الزجاج

من الماء إلى الهواء بعد θ_c. من الأكثف إلى الأقل كثافة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

ترصد الأقمار الصناعية الكوكب بقياس الموجات الكهرومغناطيسية. تسرد NASA نطاقات Landsat 9، من النطاق الساحلي/الهباء عند 0.43 µm مرورًا بالمرئي وتحت الأحمر القريب وتحت الأحمر قصير الموجة وصولًا إلى تحت الأحمر الحراري عند 10.60–12.51

µm. وتقول NASA إن هذه الأرصاد تدعم تنبيهات إزالة الغابات المدارية ومراقبة جودة المياه وتقارير حالة المحاصيل، وإن المستشعر الحراري يقيس درجة حرارة سطح اليابسة للمساعدة في إدارة المياه في المناطق المعرضة للجفاف. كل نطاق شريحة من الطيف اختيرت لأن اليابسة والماء والنباتات تعكسها أو تبعثها بطرق مختلفة.

جولة NASA في الطيف الكهرومغناطيسي تبين كيف يُستخدم كل نطاق، من الراديو إلى أشعة غاما، لدراسة الأرض والفضاء.

على GOES-19 · Saving Planets: Landsat 9 · رصد الأرض

المصادر: NASA Landsat Science: Landsat 9 instruments and spectral bands (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/land/sat-9/landsat-9-instruments) · NASA Science: Tour of the electromagnetic spectrum (https://science.nasa.gov/ems/)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 16.1 Maxwell's equations and electromagnetic waves (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/16-1-maxwells-equations-and-electromagnetic-waves): ماكسويل.
- OpenStax UP2, 16.3 Energy carried by EM waves (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/16-3-energy-carried-by-electromagnetic-waves): الشدة.
- OpenStax UP2, 16.5 The electromagnetic spectrum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/16-5-the-electromagnetic-spectrum): الطيف.
- OpenStax UP3, 1.3 Refraction (https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/1-3-refraction): قانون سنل.
- OpenStax UP3, 1.7 Polarization (https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/1-7-polarization): الاستقطاب.
- OpenStax UP3, 2.4 Thin lenses (https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-4-thin-lenses): العدسات.
- PhET: Bending Light (https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Maxwell's Equations and Electromagnetic Waves I (https://oyc.yale.edu/physics/phys-201/lecture-14) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 201 Fundamentals of Physics II, Open Yale Courses. الترخيص: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · شروط الاستخدام (https://oyc.yale.edu/terms). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. الشحنة وقانون كولوم والمجالات الكهربائية
   4 مسائل
2. قانون غاوس
   4 مسائل
3. الجهد الكهربائي والسعة
   4 مسائل
4. التيار والمقاومة ودوائر التيار المستمر

4 مسائل

5. المجالات والقوى المغناطيسية
4 مسائل
6. مصادر المجالات المغناطيسية: بيو–سافار وأمبير
4 مسائل
7. الحث الكهرومغناطيسي: فاراداي ولنز
4 مسائل
8. المحاثة ودوائر RL وLC
4 مسائل
9. دوائر التيار المتردد والمحولات وشبكة الكهرباء
4 مسائل
10. معادلات ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية والبصريات
6 مسائل

المختبر (PHYS 210L)

المختبر هو الجزء العملي من الدورة، ويعادل ساعة معتمدة واحدة (1) في الجدول الجامعي المعتاد. وهو هنا مجاني وللتدريب فقط.

يمكن إجراء كل مختبر كاملًا في محاكاة PhET مجانية، ولمعظمها أيضًا نسخة منزلية لا تستخدم إلا بطاريات 9 V أو أقل. لا تستخدم كهرباء المقبس أبدًا، ولا تفتح جهازًا يوصل بالمقبس، ولا تقصّر دائرة بطارية أبدًا.

مرجع السلامة: OSHA: Electrical safety (https://www.osha.gov/electrical)

المختبر A: رسم خرائط المجالات الكهربائية وأسطح تساوي الجهد

الأسبوع 2

الهدف: قِس كيف يتناقص مجال شحنة نقطية مع المسافة، وأكّد قانون التربيع العكسي بملاءمة لوغاريتمية مزدوجة، وارسم خطوط تساوي الجهد حول ثنائي قطب.

$$E = \frac{kq}{r^2} \;\Rightarrow\; \log E = \log(kq) - 2\log r$$

E=(kq)/(r^2)\ \ E=(kq)-2 r

خط مستقيم ميله 2− على رسم لوغاريتمي مزدوج

الإجراء

1. افتح PhET Charges and Fields. ضع شحنة واحدة 1 nC+ وفعّل القيم والشبكة.
2. استخدم مستشعر المجال E عند 0.5 و1.0 و1.5 و2.0 m وسجّل E.
3. ارسم log E مقابل log r ولائم خطًا؛ قارن الميل بـ 2− والمقطع بـ log(kq).
4. أضف شحنة 1 nC− على بعد 1 m، واستخدم أداة الفولتميتر لتتبع خطي تساوي الجهد 0 V و±10 V، وارسم خطوط المجال عمودية عليهما.

جدول البيانات

r (m)	E (V/m)
0.5	35.95
1.0	8.99
1.5	3.99
2.0	2.25

قيم محسوبة من $E = kq/r^2$ لـ $q = 1$ nC؛ ينبغي أن تطابق قراءات المحاكاة ضمن التقريب.

مثال حسابي

1. من 0.5 m إلى 2.0 m (4× في r)، ينخفض E من 35.95 إلى 2.25 V/m (1/16×)، لذا ميل الرسم اللوغاريتمي المزدوج 2−.
2. خط تساوي الجهد 0 V لثنائي القطب هو المنصف العمودي للشحنتين، ومع ذلك فالمجال هناك ليس صفرًا.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- افرك بالونًا بشعرك وراقبه يرفع قصاصات ورق على مسافات مختلفة: نظرة نوعية إلى مجال يتناقص بسرعة مع المسافة.

PhET: Charges and Fields (https://phet.colorado.edu/en/simulations/charges-and-fields) · PhET: Coulomb's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/coulombs-law)

الصلة بالكوكب: بخرائط مجال كهذه يصمم المهندسون المجالات الكهربائية داخل الخلايا الشمسية ومعدات الجهد العالي. U.S. DOE: How does solar work? (https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر B: السعة والمسافة بين اللوحين

الأسبوع 5

الهدف: قِس كيف تعتمد سعة مكثف الألواح المتوازية على المسافة بين اللوحين، واستخرج ε_0 من البيانات.

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

C=(ε0A)/(d)

ارسم C مقابل 1/d؛ الميل هو $\varepsilon_0 A$

الإجراء

1. افتح PhET Capacitor Lab: Basics. اضبط مساحة اللوح على 400 mm² وصِل البطارية عند 1.5 V.
2. اقرأ C عند مسافات 2 و4 و6 و8 و10 mm.
3. ارسم C مقابل 1/d ولائم خطًا يمر بالأصل؛ اقسم الميل على A للحصول على ε_0.
4. عند d = 5 mm، سجّل الطاقة المخزنة وقارنها بـ ½CV².

جدول البيانات

d (mm)	C (pF)
2	1.77
4	0.885
6	0.590
8	0.443
10	0.354

قيم محسوبة من $C = \varepsilon_0 A/d$؛ والمحاكاة تقرّبها.

مثال حسابي

1. $C \times d$ ثابت: 1.77 pF × 2 mm = 0.354 pF × 10 mm، إذن $C \propto 1/d$.
2. الميل $\varepsilon_0 A = 3.54 \times 10^{-15}$ F·m، إذن $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m = $3.54 \times 10^{-15} / (4 \times 10^{-4})$.
3. عند 5 mm، C = 0.708 pF و$U = \tfrac{1}{2}CV^2 = 0.797$ pJ عند 1.5 V.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- اختياري: بمقياس متعدد يقيس السعة، قِس قطعتين من رقائق الألومنيوم تفصلهما ورقة ثم ورقتان ثم ثلاث. ينبغي أن تنخفض C كلما زادت الرزمة.

PhET: Capacitor Lab: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/capacitor-lab-basics)

الصلة بالكوكب: تنعّم المكثفات القدرة في السيارات الكهربائية والعواكس الشمسية والشبكة؛ والعلاقة نفسها $C = \kappa\varepsilon_0 A/d$ تحدد حجمها. FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: قانون أوم وقاعدتا كيرشوف والثابت الزمني RC

الأسبوع 7

الهدف: أكّد قانون أوم، وتحقق من قاعدتي كيرشوف في دائرة ذات حلقتين، وقِس الثابت الزمني لمكثف يُشحن.

$$V_C = V_0\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

V_C=V_0(1-e^-t/RC)

منحنى الشحن؛ خط مستقيم ln(1 − V_C/V₀) = −t/RC

الإجراء

1. قانون أوم: صِل مقاومة 1 kΩ بجهود 1.5 و3.0 و4.5 و6.0 و9.0 V (بطاريات AA على التوالي، أو بطارية PhET) وسجّل التيار؛ ارسم I مقابل V.
2. كيرشوف: في PhET Circuit Construction Kit: DC، ابنِ دائرة الوحدة 4 (12 V، 6 V، 2 Ω، 3 Ω، 6 Ω) وقِس التيارات الثلاثة؛ وتحقق من مجموعي العقدة والحلقة.
3. RC: اشحن مكثف 100 µF من 9 V عبر 10 kΩ، مع قراءة V_C كل ثانية؛ ارسم ln(1 − V_C/9) مقابل t وأوجد RC من الميل.

جدول البيانات

t (s)	V_C (V)، 10 kΩ و100 µF من 9 V
0	0.00
1	5.69
2	7.78
3	8.55
5	8.94

قيم محسوبة لمكونات مثالية؛ والمكثفات الحقيقية تنحرف غالبًا ±20% عن قيمتها المكتوبة، لذا قد يختلف τ لديك.

مثال حسابي

1. قانون أوم: ميل I مقابل V هو 1 mA/V، إذن R = 1.00 kΩ؛ وعند 9 V لا تبدد المقاومة إلا 81 mW.
2. كيرشوف: 2 A − 0.667 A = 1.33 A عند العقدة، و0 = 12 − 2(2) − 6(1.33) حول الحلقة 1.
3. RC: الخط عبر ln(1 − V_C/9) ميله −1.0 s⁻¹، إذن τ = (10 kΩ)(100 µF) = 1.0 s.

السلامة

- استخدم فقط بطاريات 9 V أو أقل؛ ولا تستخدم كهرباء المقبس أبدًا.
- لا تصل سلكًا مباشرة بين قطبي بطارية أبدًا: يسخن بسرعة وقد يحرق.
- للمكثفات الإلكتروليتية طرف +؛ صِله نحو الجهة + من البطارية، واستخدم مكثفًا جهده المقنن أعلى من 9 V.

بديل منزلي أو افتراضي

- كل شيء هنا يعمل بمقياس متعدد وبطاريات AA وبطارية 9 V ومقاومات ومكثف على لوحة تجارب؛ وقِّت قراءات RC بتصوير المقياس بالهاتف.

PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc) · PhET: Ohm’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ohms-law) · PhET: Resistance in a Wire (https://phet.colorado.edu/en/simulations/resistance-in-a-wire)

الصلة بالكوكب: تُوصل المصفوفات الشمسية بالقواعد نفسها: السلاسل على التوالي ترفع الجهد والسلاسل على التوازي ترفع التيار. U.S. DOE: How does solar work? (https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر D: قياس المجالات المغناطيسية، ومنها مجال الأرض

الأسبوع 9

الهدف: قِس المجال المغناطيسي للأرض بمقياس مغناطيسي في الهاتف، وارسم مجال سلك في المحاكاة، وقارن كليهما بالنظرية.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

```
B=(μ_0I)/(2π r)
```

مجال سلك طويل

الإجراء

1. افتح تطبيق المقياس المغناطيسي بعيدًا عن المعادن والإلكترونيات. سجّل مقدار المجال الكلي في خمسة مواضع وخذ المتوسط.
2. قارن بالمدى الذي تذكره NOAA، نحو 25000–65000 nT عند سطح الأرض.
3. في PhET Magnets and Electromagnets، لاحظ كيف يتغير المجال مع التيار وعدد اللفات؛ ثم احسب B لسلك طويل مع I = 2 A عند r = 1 و2 و4 cm وارسم B مقابل 1/r.
4. قرّب مغناطيس ثلاجة من الهاتف وسجّل المسافة التي يساوي عندها مجاله مجال الأرض.

جدول البيانات

r (cm)	B لسلك يحمل 2 A (μT)
1	40
2	20
4	10

قيم السلك محسوبة من $\mu_0 I/(2\pi r)$. قراءات مجال الأرض تعتمد على موقعك؛ وحاسبة NOAA تعطي المجموع المتوقع لموقعك.

مثال حسابي

1. $B \propto 1/r$: مضاعفة المسافة تنصّف المجال، لذا رسم B مقابل 1/r خط مستقيم يمر بالأصل ميله $\mu_0 I/(2\pi) = 0.4\ \mu T\cdot m$.
2. سلك يحمل 2 A يساوي مجال الأرض البالغ 50 μT عند $r = \mu_0 I/(2\pi \times 50\ \mu T) = 0.8$ cm.

السلامة

- أبعد المغانط القوية عن فتحات البطاقات في الهواتف وأجهزة تنظيم ضربات القلب وبطاقات الائتمان.
- لا تمرر تيارًا عاليًا في سلك عارٍ في المنزل؛ جزء السلك في هذا المختبر يُجرى بالمحاكاة.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوتا المقياس المغناطيسي ومغناطيس الثلاجة هما النسخة المنزلية.

PhET: Magnets and Electromagnets (https://phet.colorado.edu/en/simulations/magnets-and-electromagnets) · PhET: Magnet and Compass (https://phet.colorado.edu/en/simulations/magnet-and-compass) · NOAA magnetic field calculators (https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml)

الصلة بالكوكب: معرفة المجال الطبيعي هي خط الأساس لرصد العواصف المغناطيسية الأرضية، التي تحذر NOAA من أنها قد تستحث تيارات ضارة في شبكات الكهرباء. NOAA NCEI: Geomagnetism frequently asked questions (https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml) · NOAA Space Weather Prediction Center: Geomagnetic storms (https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر E: الحث ونموذج مولد

الأسبوع 10

الهدف: بيّن أن القوة الدافعة المستحثة تعتمد على معدل تغير التدفق، وأن القوة الدافعة القصوى للمولد تزداد بالتناسب مع سرعة دورانه.

$$\varepsilon_{\max} = NBA\omega$$

_=NBAω

القوة الدافعة القصوى لملف دوّار

الإجراء

1. في PhET Faraday’s Law، ادفع المغناطيس عبر الملف ببطء ثم بسرعة؛ سجّل قراءة الجهد الأقصى في كل مرة ولاحظ تغير الإشارة عند خروجه.
2. في PhET Faraday’s Electromagnetic Lab (تبويب Generator)، غيّر سرعة التوربين وسجّل الاستجابة القصوى للمصباح أو الفولتميتر.
3. احسب ε_max لملف نموذجي مع N = 200 وA = 0.01 m² وB = 0.05 T عند 1 و2 و3 دورات في الثانية.
4. في المنزل: لفّ 100 لفة من سلك رفيع معزول حول أنبوب ورق الحمام، وصِل مقياسًا متعددًا على mV، وأسقط مغناطيسًا قويًا عبره.

جدول البيانات

معدل الدوران (دورة/s)	القوة الدافعة القصوى (V)
1	0.628
2	1.26
3	1.88

قيم محسوبة للملف النموذجي (قيم نموذجية).

مثال حسابي

1. ε_max = NBA(2πf) = 200 × 0.05 × 0.01 × 2π f = 0.628 V لكل دورة/s، لذا مضاعفة السرعة تضاعف القوة الدافعة.
2. المغناطيس الأسرع يعطي نبضة أعلى وأقصر؛ والمساحة تحت منحنى القوة الدافعة مع الزمن (التغير الكلي في التدفق N ×) تبقى كما هي.

السلامة

- مغانط النيوديميوم القوية تنجذب بعنف وقد تقرص الجلد أو تتحطم؛ تعامل معها واحدًا تلو الآخر.
- أبعد المغانط عن أجهزة تنظيم ضربات القلب والإلكترونيات.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوة الملف والمغناطيس هي النسخة المنزلية؛ ويصلح أي مقياس متعدد على نطاق المليفولت.

PhET: Faraday’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law) · PhET: Faraday’s Electromagnetic Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-electromagnetic-lab) · PhET: Generator (https://phet.colorado.edu/en/simulations/generator)

الصلة بالكوكب: كل توربين رياح ومحطة كهرومائية تجري هذا المختبر على مقياس الميغاواط: يدير التوربين مولدًا لإنتاج الكهرباء. وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-wor) · U.S. DOE: How hydropower works (https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر F: الانكسار وقانون سنل

الأسبوع 14

الهدف: قِس زوايا الانكسار من الهواء إلى الماء، وأوجد معامل الانكسار، ولاحظ الانعكاس الكلي الداخلي.

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

n=(θ_1)/(θ_2)

ميل sin θ₁ مقابل sin θ₂

الإجراء

1. في PhET Bending Light، اجعل الوسط السفلي ماءً ووجّه الليزر من 10° إلى 60° عن العمود بخطوات 10°؛ واقرأ زاوية الانكسار بأداة المنقلة.
2. ارسم sin θ₁ مقابل sin θ₂ ولائم خطًا يمر بالأصل؛ والميل هو n.
3. ضع الليزر في الماء وزد الزاوية حتى تختفي الحزمة المنكسرة؛ وسجّل الزاوية الحرجة.
4. في المنزل: وجّه ليزرًا منخفض القدرة أو حزمة ضيقة من مصباح يدوي إلى صندوق شفاف فيه ماء وقطرة حليب، وقِس الزوايا على منقلة مطبوعة.

جدول البيانات

θ₁ في الهواء (°)	θ₂ في الماء (°)
10	7.5
20	14.9
30	22.1
40	28.9
50	35.2
60	40.6

قيم محسوبة من قانون سنل مع n = 1.33.

مثال حسابي

1. sin 30°/sin 22.1° = 0.500/0.376 = 1.33، وكل صف يعطي النسبة نفسها.
2. الزاوية الحرجة من الماء إلى الهواء: sin⁻¹(1/1.33) = 48.8°.

السلامة

- استخدم فقط مؤشر ليزر من الفئة 2 (أقل من 1 mW)، ولا تنظر أبدًا إلى الحزمة ولا توجهها إلى عيني أحد؛ وانتبه للانعكاسات عن الماء والزجاج.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوة صندوق الماء هي النسخة المنزلية.

PhET: Bending Light (https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light)

الصلة بالكوكب: تُبنى مستشعرات الأقمار الصناعية من عدسات ومرايا ومرشحات مصممة بقوانين الانكسار والانعكاس نفسها. NASA Landsat Science: Landsat 9 instruments and spectral bands https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/la)/ndsat-9/landsat-9-instruments)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 1–5)

1. شحنتان +2.0 μC و+8.0 μC تفصلهما 0.30 m. أوجد القوة بينهما والنقطة بينهما حيث E = 0.

.1 $F = k(2 \times 10^{-6})(8 \times 10^{-6})/0.09$.
.2 $k(2)/x^2 = k(8)/(0.3 - x)^2$ تعطي $x = 0.10$ m.

الإجابة: 1.60 N، تنافر؛ على بعد 0.10 m من الشحنة 2.0 μC.

2. سطح مغلق يحيط بشحنة 3.0 nC. أوجد التدفق الصافي.

.1 $\Phi = Q/\varepsilon_0$.

الإجابة: $\approx 339\ \text{N·m}^2/\text{C}$.

3. مكثف 10 μF مشحون إلى 12 V. أوجد Q وU.

.1 $Q = CV$; $U = \tfrac{1}{2}CV^2$.

الإجابة: 120 μC; 0.72 mJ.

4. بطارية 9 V تغذي 3 Ω على التوالي مع زوج على التوازي من 6 Ω و3 Ω. أوجد التيار والقدرة الكلية.

.1 زوج التوازي $2\ \Omega$ =؛ المجموع 5 Ω.
.2 $I = 9/5$; $P = IV$.

الإجابة: 1.8 A; 16.2 W.

5. بروتون يتحرك بسرعة 1.0×10^6 m/s عبر مجال 0.20 T. أوجد نصف قطر المدار.

.1 $r = mv/(eB)$.

الإجابة: ≈ 5.22 cm.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. أوجد B على بعد 0.10 m من سلك طويل يحمل 50 A.

.1 $B = \mu_0 I/(2\pi r)$.

الإجابة: 100 μT، نحو ضعف مجال الأرض.

2. ملف من 50 لفة مساحته 0.05 m² يدور بمعدل 50 دورة/s في مجال 0.20 T. أوجد القوة الدافعة القصوى.

.1 $\varepsilon = NBA\omega$, $\omega = 2\pi \times 50$.

الإجابة: ≈ 157 V.

3. دائرة RL فيها L = 0.5 H وR = 100 Ω. أوجد τ ونسبة التيار النهائي بعد 5 ms.

.1 $\tau = L/R$.

الإجابة: 5 ms; 63%.

4. أرسل 50 MW بجهد 230 kV عبر خط مقاومته 5 Ω. أوجد التيار والفقد.

.1 $I = P/V$؛ الفقد $= I^2R$.

الإجابة: 217 A; 0.236 MW (0.47%).

5. أوجد التردد وطاقة الفوتون لضوء طوله الموجي 500 nm.

.1 $f = c/\lambda$; $E = hf$.

الإجابة: 6.00×10^{14} Hz; 2.48 eV.

6. يدخل الضوء الزجاج (n = 1.5) بزاوية 45°. أوجد زاوية الانكسار.

.1 $\sin\theta_2 = \sin 45°/1.5$.

الإجابة: 28.1°.

ورقة الصيغ

$$F = k|q_1 q_2|/r^2$$

$$\vec{E} = \vec{F}/q$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q_{\text{enc}}/\varepsilon_0$$

$$V = kq/r,\ E_x = -dV/dx$$

$$C = \kappa\varepsilon_0 A/d,\ U = \tfrac{1}{2}CV^2$$

$$V = IR,\ R = \rho L/A,\ P = IV$$

$$\tau = RC,\ \tau = L/R$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B},\ r = mv/(qB)$$

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B},\ \tau = NIAB\sin\theta$$

$$B = \mu_0 I/(2\pi r),\ B = \mu_0 nI$$

$$\varepsilon = -N\, d\Phi_B/dt,\ \varepsilon = BLv$$

$$L = \mu_0 N^2 A/l,\ U = \tfrac{1}{2}LI^2$$

$$X_L = \omega L,\ X_C = 1/(\omega C),\ Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)}$$

$$V_2/V_1 = N_2/N_1$$

$$c = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = f\lambda,\ E = hf$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2,\ 1/f = 1/d_o + 1/d_i$$

الثوابت

الثابت	القيمة
الشحنة الأولية، e	1.602 × 10⁻¹⁹ C
ثابت كولوم، k = 1/(4πε₀)	8.988 × 10⁹ N·m²/C²
سماحية الفراغ، ε₀	8.854 × 10⁻¹² F/m
نفاذية الفراغ، μ₀	1.257 × 10⁻⁶ T·m/A (≈ 4π × 10⁻⁷)
سرعة الضوء، c	2.998 × 10⁸ m/s
كتلة الإلكترون، mₑ	9.109 × 10⁻³¹ kg
كتلة البروتون، mₚ	1.673 × 10⁻²⁷ kg
ثابت بلانك، h	6.626 × 10⁻³⁴ J·s

المصدر: NIST: الثوابت الفيزيائية الأساسية (بالإنجليزية) (https://physics.nist.gov/cuu/Constants/)

نصوص ومحاكاة مجانية

استخدم هذه الكتب والمحاضرات والمحاكاة المجانية إلى جانب المقرر.

- OpenStax University Physics Volume 2 (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/1-introduction): كتاب مجاني كامل لهذا المقرر.
- MIT OpenCourseWare 8.02 Physics II: Electricity and Magnetism (https://ocw.mit.edu/courses/8-02-physics-ii-ele/ctricity-and-magnetism-spring-2019/): محاضرات MIT ومجموعات المسائل والامتحانات، مجانًا.
- OpenStax University Physics Volume 3 (optics) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/1-2-the-law-of-reflection): فصول بصريات مجانية للوحدة 10.
- PhET: Charges and Fields (https://phet.colorado.edu/en/simulations/charges-and-fields): ضع الشحنات وارسم المجالات وأسطح تساوي الجهد.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): ابنِ الدوائر وقِسها.
- PhET: Faraday’s Electromagnetic Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-electromagnetic-lab): المغانط والملفات والمولدات والمحولات.

مسرد المصطلحات

قانون أمبير
$\oint B \cdot dl = \mu_0 I_{enc}$.

السعة
الشحنة المخزنة لكل فولت، $C = Q/V$.

قانون كولوم
القوة بين شحنتين نقطيتين، $F = k|q_1 q_2|/r^2$.

الزاوية الحرجة
الزاوية التي ينعكس بعدها الضوء كليًا داخل وسط أكثف.

تيار الإزاحة
$\varepsilon_0 \, d\Phi_E/dt$، إضافة ماكسويل إلى قانون أمبير.

EMF
الطاقة لكل شحنة التي يزودها مصدر مثل بطارية أو مولد.

المجال الكهربائي
القوة لكل وحدة شحنة.

الجهد الكهربائي
طاقة الوضع لكل وحدة شحنة، بالفولت.

قانون فاراداي
التدفق المغناطيسي المتغير يستحث قوة دافعة.

قانون غاوس
صافي التدفق الكهربائي الخارج من سطح مغلق يساوي Q_{enc}/ε_0.

التيار المستحث مغناطيسيًا أرضيًا
تيار تدفعه العواصف المغناطيسية الأرضية في الشبكات وخطوط الأنابيب.

المعاوقة
المعارضة الكلية للتيار المتردد، Z.

المحاثة

القوة الدافعة لكل معدل تغير في التيار، بالهنري.

قانون لنز
التيار المستحث يعاكس التغير في التدفق.

التدفق المغناطيسي
$\Phi_B = \int B \cdot dA$، بالويبر.

معادلات ماكسويل
أربعة قوانين توحّد الكهرباء والمغناطيسية والضوء.

معامل القدرة
$\cos \phi$، نسبة القدرة الظاهرية التي تبذل شغلًا.

القيمة الفعالة
جذر متوسط المربع، $V_0/\sqrt{2}$ للموجة الجيبية.

المقاومية
خاصية المادة ρ في $R = \rho L/A$.

قانون سنل
$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$.

المحول
ملفان مقترنان يغيّران جهد التيار المتردد.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يبني المجالات والدوائر من الوصف، ويختار القانون الصحيح، ويضبط الإشارات والاتجاهات، ويتحقق من الوحدات والحالات الحدية.
3 · متمكن	يحل مسائل التدريب مع أخطاء عرضية في الإشارة أو الوحدات.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يجد صعوبة في اختيار سطح غاوس أو الحلقة أو قاعدة اليد اليمنى.
1 · مبتدئ	يعوّض الأرقام في الصيغ دون رسم؛ ويحتاج إلى مراجعة الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	25%
المختبرات (PHYS 210L)	20%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%

الجزء	الوزن
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- المعادلات التفاضلية MATH 220
- الاستاتيكا ENGR 211
- التفاضل والتكامل 3 MATH 210
- كل الدورات