آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 1, الربيع · 🧮 الحاسبة المدمجة

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 8 وحدات و8 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 الأول من الفيزياء الجامعية القائمة على التفاضل والتكامل (الميكانيكا الكلاسيكية)، وهي الدورة الأولى لكل طالب هندسة أو فيزياء. وهو مبني على موضوعات ومستوى مواد مفتوحة مثل OpenStax University Physics Volume 1 وMIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics، التي نربط إليها في كل أجزاء الدورة. هذه المنظمات لا تتبنّى هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي في الطيران والفضاء ورصد الأرض، وكل رقم في الصفحة يُعاد حسابه ببرنامج تحقق قبل نشره، ولكل مختبر نسخة منزلية أو افتراضية ليتمكن الجميع من إجرائه.

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

الميكانيكا هي فيزياء الإطلاق والطيران والدوران في المدار. فالمعادلات نفسها تضع أقمار رصد الأرض مثل Landsat 9 وGRACE-FO في مداراتها، وتحافظ على توجيهها، وتحوّل التغيّرات الضئيلة في حركتها إلى خرائط للماء والجليد واليابسة.

وعلى الأرض، تحدد الأفكار نفسها أحجام توربينات الرياح، وتجعل السيارات والطائرات تستهلك طاقة أقل، وتساعد المهندسين على التخطيط لتحريك كويكب. وتنتهي كل وحدة بقسم قصير موثّق المصادر يبيّن كيف تساعد أفكارها الناس والطبيعة معًا.

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: 8 وحدات و8 مختبرات (PHYS 110 + PHYS 110L).
- 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

- الجبر وحساب المثلثات: حل المعادلات، والجيب وجيب التمام والظل، ومبرهنة فيثاغورس.
- التفاضل والتكامل ١، على الأقل بالتوازي: المشتقات كمعدلات تغيّر والتكاملات كمساحات. تستخدم هذه الدورة dv/dt و∫v dt منذ الوحدة 1.
- المتجهات في بُعدين: المركبات والمقدار والاتجاه.
- وحدات SI والترميز العلمي.

كيف تذاكر

- اقرأ الوحدة، ثم أغلقها وجرّب الأمثلة المحلولة بنفسك قبل التحقق من كل خطوة.
- ارسم صورة لكل مسألة. وفي أي مسألة قوى، ارسم مخطط الجسم الحر قبل كتابة أي معادلة.
- حلّ بالرموز أولًا وضع الأرقام في النهاية. ثم تحقق من الوحدات ومن معقولية حجم الإجابة.
- حلّ كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة. الخطأ أولًا ثم تصحيحه هو ما يرسّخ الطريقة.
- استخدم محاكاة PhET لاختبار حدسك: توقّع ما سيحدث ثم شغّلها.
- أعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام. التدرّب المتباعد أفضل من جلسة طويلة واحدة.
- استخدم g = 9.81 m/s² ما لم تذكر المسألة غير ذلك، واحتفظ بثلاثة أرقام معنوية.

معدات المختبر (للمختبرات العملية)

- مسطرة مترية وشريط قياس؛ وقدمة ذات ورنية إن توفرت.
- ساعة توقيت (يصلح الهاتف) ويُفضَّل تطبيق هاتف أو حسّاس مدرسي يسجّل الحركة أو التسارع.
- عربة ومسار قليلا الاحتكاك (أو لوح أملس)، وبكرة، ومجموعة كتل معلّقة.
- كرة صغيرة ومنحدر وورق كربون أو ورق عادي لتعليم مواضع السقوط.
- خيط، وثقل كثيف (يصلح ثقل صيد) ومنقلة.
- برنامج جداول بيانات للمتوسطات والانحرافات المعيارية والرسوم البيانية.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

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

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	القياس والمتجهات والحركة في بُعد واحد	الوحدات والارتياب والمتجهات؛ المختبر A	OpenStax 1.1–1.7, 2.1–2.2

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
2	القياس والمتجهات والحركة في بُعد واحد	السرعة والتسارع كمشتقات؛ التسارع الثابت؛ السقوط الحر	OpenStax 3.1–3.5
3	الحركة في بُعدين: المقذوفات والدوائر	المقذوفات والحركة النسبية والحركة الدائرية؛ المختبر B	OpenStax 4.1–4.5
4	قوانين نيوتن والاحتكاك والديناميكا الدائرية	قوانين نيوتن ومخططات الجسم الحر	OpenStax 5.1–5.7
5	قوانين نيوتن والاحتكاك والديناميكا الدائرية	الاحتكاك والأجسام المتصلة والديناميكا الدائرية؛ المختبران C وD	OpenStax 6.1–6.4
6	الشغل والطاقة والقدرة	الشغل والطاقة الحركية والقدرة	OpenStax 7.1–7.4
7	الشغل والطاقة والقدرة	طاقة الوضع وحفظ الطاقة؛ المختبر E	OpenStax 8.1–8.5
8	كمية الحركة والتصادمات والصواريخ	كمية الحركة والدفع والتصادمات ومركز الكتلة والصواريخ؛ المختبر F؛ تدريب منتصف الفصل	OpenStax 9.1–9.7
9	الدوران والعزم وكمية الحركة الزاوية	الكينماتيكا الدورانية وعزم القصور الذاتي	OpenStax 10.1–10.5
10	الدوران والعزم وكمية الحركة الزاوية	العزم والتدحرج وكمية الحركة الزاوية؛ المختبر G	OpenStax 10.6–10.8, 11.1–11.3
11	الجاذبية والمدارات	قانون نيوتن للجاذبية، وg على الارتفاعات، والأقمار الصناعية	OpenStax 13.1–13.4
12	الجاذبية والمدارات	قوانين كبلر وسرعة الإفلات والانتقالات المدارية	OpenStax 13.5–13.6
13	الاهتزازات ومقدمة في الموائع	الحركة التوافقية البسيطة والبندولات والتخميد والرنين؛ المختبر H	OpenStax 15.1–15.6
14	الاهتزازات ومقدمة في الموائع	الموائع: الضغط والطفو والاستمرارية وبرنولي	OpenStax 14.1–14.6
15	المراجعة	مراجعة ومجموعة تمارين نهائية	كل الوحدات

تقدّمك

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

الوحدات

القياس والمتجهات والحركة في بُعد واحد

كيف يقيس الفيزيائيون، وكيف تصف المتجهات الاتجاه، وكيف يربط التفاضل والتكامل بين الموضع والسرعة والتسارع.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام وحدات SI والأرقام المعنوية وذكر الارتياب لكل قيمة مقيسة.
- جمع المتجهات بالمركبات وإيجاد المقدار والاتجاه.
- تعريف السرعة بأنها v = dx/dt والتسارع بأنه a = dv/dt، وقراءتهما من المنحنيات.
- حل مسائل التسارع الثابت، بما فيها السقوط الحر، بمعادلات الحركة الأربع.

المفاهيم الأساسية

- لكل قياس ارتياب. اذكر القيمة على صورة أفضل تقدير ± الارتياب، مع الوحدات، وقرّب الارتياب إلى رقم معنوي واحد أو اثنين.
- للمتجه مقدار واتجاه. اجمع المتجهات بجمع مركباتها x وy، لا مقاديرها أبدًا.
- السرعة هي ميل منحنى الموضع–الزمن؛ والتسارع هو ميل منحنى السرعة–الزمن. والمساحة تحت منحنى السرعة–الزمن هي الإزاحة.
- مع التسارع الثابت، تنتج معادلات الحركة الأربع من تكامل a = ثابت مرتين.
- قرب سطح الأرض، يتسارع كل جسم في سقوط حر (دون مقاومة الهواء) إلى الأسفل بمقدار g ≈ 9.81 m/s²، أيًّا كانت كتلته.

المعادلات الأساسية

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}$$

```
v=dx/dt, a=dv/dt
```

السرعة والتسارع كمشتقات

$$v = v_0 + at$$

```
v=v_0+at
```

السرعة بعد زمن t بتسارع ثابت

$$x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2} a t^2$$

```
x=x_0+v_0t+12at^2
```

الموضع بعد زمن t بتسارع ثابت

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

```
v^2=v_0^2+2a(x-x_0)
```

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(A_y/A_x)$$

| A|=_x^2+A_y^2, θ=^-1(A_y/A_x)

المقدار والاتجاه من المركبات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 تنطلق سيارة من السكون وتتسارع بانتظام بمقدار 3.0 m/s² لمدة 8.0 s. ما سرعتها، وما المسافة التي قطعتها؟

1. المعطيات: $v_0 = 0$، $a = 3.0\ \text{m/s}^2$، $t = 8.0\ \text{s}$.
2. $v = v_0 + at = 0 + 3.0 \times 8.0 = 24\ \text{m/s}$.
3. $x = v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2 = 0 + \tfrac{1}{2} \times 3.0 \times 8.0^2 = 96\ \text{m}$.

الإجابة: 24 m/s (86 km/h) بعد 96 m.

مثال 1.2 تُقذف كرة رأسيًا إلى الأعلى بسرعة 15 m/s. كم تستغرق لتبلغ القمة، وإلى أي ارتفاع تصل؟

1. عند القمة $v = 0$. اعتبر الأعلى موجبًا، إذن $a = -9.81\ \text{m/s}^2$.
2. الزمن: $0 = 15 - 9.81t$، إذن $t = 15 \div 9.81 = 1.53\ \text{s}$.
3. الارتفاع: $0 = 15^2 - 2 \times 9.81 \times h$، إذن $h = 225 \div 19.62 = 11.5\ \text{m}$.

الإجابة: 1.53 s حتى القمة، و11.5 m فوق نقطة الإطلاق.

مثال 1.3 تمشي متنزهة 3.0 km شرقًا ثم 4.0 km شمالًا. ما إزاحتها؟

1. المركبات: $x = 3.0\ \text{km}$، $y = 4.0\ \text{km}$.
2. المقدار: $\sqrt{(3.0^2 + 4.0^2)} = \sqrt{25} = 5.0\ \text{km}$.
3. الاتجاه: $\tan^{-1}(4.0/3.0) = 53.1°$ شمال الشرق.

الإجابة: 5.0 km باتجاه 53.1° شمال الشرق. مشت 7.0 km، لكن إزاحتها 5.0 km.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. سيارة تسير بسرعة 27 m/s تكبح بانتظام بمقدار 6.0 m/s². ما المسافة التي تقطعها قبل التوقف، وكم تستغرق؟

المسافة: $0 = 27^2 - 2 \times 6.0 \times d$، إذن $d = 729 \div 12 = 60.8\ \text{m}$. الزمن: $t = 27 \div 6.0 = 4.5\ \text{s}$.

2. يُترك حجر من السكون من جسر ارتفاعه 20 m. بإهمال مقاومة الهواء، كم يستغرق حتى يصطدم بالماء، وما سرعته؟

$t = \sqrt{(2h/g)} = \sqrt{(40 \div 9.81)} = 2.02$ s. $v = gt = 9.81 \times 2.02 = 19.8$ m/s.

3. موضع طائرة مسيّرة $x(t) = 2.0t^3 - 3.0t$ (بالأمتار والثواني). أوجد سرعتها وتسارعها عند $t = 2.0$ s.

$v = dx/dt = 6.0t^2 - 3.0 = 6.0 \times 4 - 3.0 = 21$ m/s. $a = dv/dt = 12t = 24$ m/s².

4. السرعة في مدار أرضي منخفض نحو 7.8 km/s. حوّلها إلى km/h.

$7.8 \text{ km/s} \times 3{,}600 \text{ s/h} = 28{,}080$ km/h، أي نحو 28,000 km/h.

5. لوح شمسي أبعاده 2.50 ± 0.02 m في 1.20 ± 0.01 m. أوجد مساحته والارتياب.

$A = 2.50 \times 1.20 = 3.00$ m². الارتيابات النسبية: $0.02/2.50 = 0.8\%$ و$0.01/1.20 = 0.83\%$. اجمعهما تربيعيًا: $\sqrt{(0.8^2 + 0.83^2)} = 1.16\%$. $\Delta A = 0.0116 \times 3.00 = 0.035$ m². $A = 3.00 \pm 0.03$ m².

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: إذا كانت السرعة صفرًا، فيجب أن يكون التسارع صفرًا أيضًا.
في الحقيقة: عند قمة مسارها يكون للكرة المقذوفة $v = 0$ لكن $a = -9.81$ m/s². فسرعتها ما زالت تتغيّر.

خرافة: الأجسام الأثقل تسقط أسرع.
في الحقيقة: دون مقاومة الهواء تسقط كل الأجسام بالتسارع نفسه g. ومقاومة الهواء، لا الوزن، هي ما يجعل الريشة تسقط ببطء.

خرافة: المسافة والإزاحة شيء واحد.
في الحقيقة: الإزاحة متجه من البداية إلى النهاية. فالدوران مرة حول مضمار جري يعطي مسافة 400 m وإزاحة صفرية.

بطاقات تعليمية

الإزاحة

تغيّر الموضع، وهو متجه: $\Delta x = x_{final} - x_{initial}$.

السرعة

معدل تغيّر الموضع، $v = dx/dt$ (m/s).

التسارع

معدل تغيّر السرعة، $a = dv/dt$ (m/s²).

السقوط الحر

حركة تحت تأثير الجاذبية وحدها؛ $a = g \approx 9.81$ m/s² إلى الأسفل.

الارتياب

المدى الذي تقع فيه القيمة الحقيقية على الأرجح، ويُذكر بـ ± مع الوحدات.

مركبات المتجه

$A_x = A \cos\theta$، $A_y = A \sin\theta$.

اختبار ذاتي

1. ميل منحنى السرعة–الزمن يعطي…

الموضع

الإزاحة

التسارع

الارتجاج

التسارع. a = dv/dt، ميل v(t). والمساحة تحت v(t) هي الإزاحة.

2. كرة مقذوفة إلى الأعلى في قمة مسارها تمامًا. أي العبارات صحيحة؟

v = 0 و a = 0

v = 0 و a = −9.81 m/s²

v في أقصاها

a تتجه إلى الأعلى

v = 0 وa = −9.81 m/s². تظل الجاذبية تشد إلى الأسفل طوال الوقت، لذا a = −g حتى عندما v = 0.

3. يُجمع متجها 3 N شرقًا و4 N شمالًا. المحصلة…

7 N

1 N

5 N

12 N

5 N. مركبتان متعامدتان: √(3² + 4²) = 5 N.

4. إذا كان x(t) = 5t²، فالسرعة عند t = 3 s…

15 m/s

30 m/s

45 m/s

10 m/s

.30 m/s. v = dx/dt = 10t = 30 m/s

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

لا تفيد أقمار رصد الأرض إلا إذا عرفنا بالضبط أين كانت عند التقاط كل صورة. وتأتي مواقعها من تكامل السرعة والتسارع عبر الزمن، وهو التفاضل والتكامل نفسه في هذه الوحدة، مع التحقق بنظام GPS.

يدور Landsat 9 على ارتفاع 705 km فوق الأرض. ومعرفة موقعه بدقة أمتار تتيح للعلماء مقارنة صور التُقطت بفارق سنوات وقياس فقدان الغابات وتراجع الأنهار الجليدية وصحة المحاصيل، ما يساعد الناس على إدارة الأراضي ويحمي الموائل.

والارتياب مهم بالقدر نفسه: فلا يُعتدّ بتغيّر مقيس إلا إذا كان أكبر من ارتياب القياس.

Saving Planets: Landsat 9 على دليل الفيزياء

المصادر: ناسا: Landsat 9 (بالإنجليزية) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/) · JCGM: دليل التعبير عن الارتياب (بالإنجليزية) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 3.1 Position, Displacement and Average Velocity (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): قسم من كتاب مجاني مع أمثلة محلولة.
- OpenStax University Physics 1, 3.4 Motion with Constant Acceleration (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration): اشتقاقات ومسائل للتدريب.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (بالإنجليزية) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): فيديوهات محاضرات وملاحظات ومجموعات مسائل مجانية من MIT للدورة كلها.
- PhET: The Moving Man (https://phet.colorado.edu/en/simulations/moving-man): اربط منحنيات الموضع والسرعة والتسارع.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): اجمع المتجهات بالمركبات.

شاهد المحاضرة

Vectors in Multiple Dimensions (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-2) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, 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

الحركة في بُعدين: المقذوفات والدوائر

تقسيم الحركة إلى جزأين أفقي ورأسي مستقلين، ثم إضافة الحركة الدائرية، مفتاح كل مدار.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- معالجة الحركة الأفقية والرأسية للمقذوف كلًّا على حدة وإيجاد زمن الطيران والمدى وأقصى ارتفاع.
- إيجاد السرعة النسبية بجمع المتجهات.
- حساب التسارع المركزي وتفسير اتجاهه نحو المركز.

المفاهيم الأساسية

- دون مقاومة الهواء، للمقذوف سرعة أفقية ثابتة وتسارع ثابت g إلى الأسفل. والاتجاهان مستقلان لا يجمعهما إلا الزمن.
- على أرض مستوية يكون المدى R = v₀² sin 2θ / g، وأكبره عند 45°.
- الجسم الذي يتحرك في دائرة بسرعة ثابتة المقدار يتسارع، لأن اتجاهه يتغيّر. والتسارع a = v²/r يتجه نحو المركز.
- تُجمع السرعات كمتجهات: سرعة القارب بالنسبة إلى الشاطئ هي سرعته بالنسبة إلى الماء مضافًا إليها سرعة الماء.

المعادلات الأساسية

$$x = v_0 \cos\theta \, t, \quad y = v_0 \sin\theta \, t - \tfrac{1}{2} g t^2$$

x=v_0θ t, y=v_0θ t-12gt^2

موضع المقذوف

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

R=(v_0^22θ)/(g)

المدى على أرض مستوية

$$H = \frac{(v_0 \sin\theta)^2}{2g}$$

H=((v_0θ)^2)/(2g)

أقصى ارتفاع

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

a_c=(v^2)/(r)=ω^2r

التسارع المركزي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 تُطلق كرة بسرعة 20 m/s بزاوية 30° فوق أرض مستوية. أوجد زمن الطيران والمدى وأقصى ارتفاع.

1. المركبات: $v_x = 20 \cos 30° = 17.3$ m/s؛ $v_y = 20 \sin 30° = 10.0$ m/s.
2. زمن الطيران: $t = 2v_y/g = 20.0 \div 9.81 = 2.04$ s.
3. المدى: $R = v_x t = 17.3 \times 2.04 = 35.3$ m.
4. الارتفاع: $H = v_y^2/2g = 100 \div 19.62 = 5.10$ m.

الإجابة: 2.04 s, 35.3 m, 5.10 m.

مثال 2.2 يُقذف طرد أفقيًا بسرعة 12 m/s من جرف ارتفاعه 45 m. أين يهبط؟

1. رأسيًا: $45 = \tfrac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$، إذن $t = \sqrt{(90 \div 9.81)} = 3.03$ s.
2. أفقيًا: $x = 12 \times 3.03 = 36.3$ m.

الإجابة: على بُعد 36.3 m من قاعدة الجرف، بعد 3.03 s.

مثال 2.3 يدور قمر صناعي حول الأرض على ارتفاع 420 km بسرعة 7.66 km/s. ما تسارعه المركزي؟ (نصف قطر الأرض 6,371 km.)

1. نصف قطر المدار $r = 6{,}371 + 420 = 6{,}791 \text{ km} = 6.791 \times 10^6$ m.
2. $a = v^2/r = (7{,}660)^2 \div 6.791 \times 10^6 = 8.64$ m/s².

الإجابة: 8.64 m/s²، نحو 88% من g عند السطح. وهذا التسارع هو الجاذبية نفسها: فالقمر في سقوط حر حول الأرض.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. بأي زاوية يصل المقذوف إلى أبعد مسافة على أرض مستوية، وإلى أي مدى يصل إذا أُطلق بسرعة 20 m/s؟

   45°. $R = v_0^2/g = 400 \div 9.81 = 40.8$ m.

2. يتجه قارب مباشرة عبر نهر بسرعة 4.0 m/s بالنسبة إلى الماء. ويجري التيار بسرعة 3.0 m/s. أوجد سرعة القارب بالنسبة إلى الشاطئ واتجاهه.

   $\sqrt{(4.0^2 + 3.0^2)} = 5.0$ m/s، بزاوية $\tan^{-1}(3.0/4.0) = 36.9°$ باتجاه المصب عن العبور المباشر.

3. تنعطف سيارة في منحنى نصف قطره 50 m بسرعة 15 m/s. ما تسارعها المركزي؟

   $a = 15^2 \div 50 = 4.5$ m/s².

4. ما سرعة نقطة على خط الاستواء بسبب دوران الأرض؟ (نصف القطر الاستوائي 6,378 km، ودورة واحدة في 86,164 s.)

$v = 2\pi r/T = 2\pi \times 6.378 \times 10^6 \div 86{,}164 = 465$ m/s. والصواريخ التي تُطلق شرقًا قرب خط الاستواء تحصل على هذه السرعة مجانًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الرصاصة المطلقة أفقيًا تصل الأرض بعد رصاصة تُترك لتسقط من الارتفاع نفسه.
في الحقيقة: الحركة الرأسية لا تعتمد على الأفقية. فكلاهما يصل في الوقت نفسه (بإهمال مقاومة الهواء وانحناء الأرض).

خرافة: الجسم المتحرك في دائرة بسرعة ثابتة المقدار لا يتسارع.
في الحقيقة: سرعته يتغيّر اتجاهها، لذا يتسارع نحو المركز بمقدار v^2/r.

خرافة: عند قمة مسار المقذوف تكون سرعته صفرًا.
في الحقيقة: المركبة الرأسية وحدها صفر. أما الأفقية فلا تتغيّر.

بطاقات تعليمية

المقذوف

جسم يتحرك تحت تأثير الجاذبية وحدها بعد إطلاقه.

المدى

المسافة الأفقية على أرض مستوية: $R = v_0^2 \sin 2\theta \,/\, g$.

التسارع المركزي

$a = v^2/r$ نحو مركز الدائرة.

السرعة الزاوية ω

معدل الدوران بوحدة rad/s؛ $v = \omega r$.

السرعة النسبية

v_A بالنسبة للأرض = v_A بالنسبة لـ B + v_B بالنسبة للأرض.

الدورة T

زمن دورة كاملة: $T = 2\pi r/v$.

اختبار ذاتي

1. للمقذوف دون مقاومة الهواء، السرعة الأفقية...

تتناقص باطراد

تبقى ثابتة

يزداد

تساوي صفرًا عند القمة

تبقى ثابتة. لا قوة أفقية يعني لا تسارع أفقي.

2. زاويتا إطلاق تعطيان المدى نفسه على أرض مستوية. أي زوج؟

30° و 60°

20° و 45°

10° و 50°

45° و 90°

30° و60°. قيمة sin 2θ واحدة للزاويتين المتتامتين: sin 120° = sin 60°.

3. إذا تضاعفت السرعة في دائرة مع ثبات نصف القطر، فإن التسارع المركزي...

يتضاعف

ينخفض إلى النصف

يتضاعف أربع مرات

يبقى كما هو

يتضاعف أربع مرات. a = v²/r، إذن 2² = 4 أضعاف.

4. اتجاه التسارع المركزي...

على امتداد السرعة

إلى الخارج

نحو المركز

رأسيًا إلى الأسفل

نحو المركز. يتجه دائمًا نحو مركز الدائرة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

المدار مقذوف لا يهبط أبدًا: إذا أُطلق جانبيًا بسرعة كافية، يسقط نحو الأرض بالمعدل نفسه الذي ينحني به سطحها بعيدًا. ولهذا يتسارع القمر في المثال 2.3 بمقدار v^2/r دون أن يقترب.

تستفيد مواقع الإطلاق من دوران الأرض. فالإطلاق شرقًا قرب خط الاستواء يضيف ما يصل إلى نحو 465 m/s، ما يوفّر الوقود في كل إطلاق لقمر طقس أو مناخ.

التفكير بالمقذوفات يحمي الناس على الأرض أيضًا: فالمعادلات نفسها، مع السحب، تُستخدم للتنبؤ بمكان سقوط مرحلة صاروخية عائدة أو قطعة حطام.

على Saving Planets: حاسبة حركة المقذوف مع السحب · دليل المدارات

المصادر: OpenStax University Physics 1, 4.4 Circular Motion (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volu me-1/pages/4-4-uniform-circular-motion) · وكالة الفضاء الأوروبية: الحطام الفضائي (بالإنجليزية) (https://www.esa.int/Space_Safety/Space_D ebris)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 4.3 Projectile Motion (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volu me-1/pages/4-3-projectile-motion): قسم من كتاب مجاني مع أمثلة ومسائل.
- OpenStax University Physics 1, 4.4 Uniform and Nonuniform Circular Motion (بالإنجليزية) (https://openstax.or g/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion): التسارع المركزي بالتفصيل.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): غيّر الزاوية والسرعة ومقاومة الهواء.

شاهد المحاضرة

3.4 Projectile Motion (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/3-3/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.or g/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

قوانين نيوتن والاحتكاك والديناميكا الدائرية

القوى تسبب التسارع. ومخططات الجسم الحر وΣF = ma تحلّ كل مسائل الدورة تقريبًا.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- صياغة قوانين نيوتن الثلاثة وتحديد أزواج الفعل–ورد الفعل.
- رسم مخطط الجسم الحر وتطبيق ΣF = ma على محاور مختارة.
- حل مسائل المستوى المائل والبكرات والأجسام المتصلة مع الاحتكاك السكوني والحركي.
- تطبيق قانون نيوتن الثاني على الحركة الدائرية.

المفاهيم الأساسية

- القانون الأول: يحافظ الجسم على سرعته ما لم تؤثر فيه قوة محصلة.
- القانون الثاني: ΣF = ma. القوة المحصلة، لا أي قوة منفردة، هي التي تحدد التسارع.
- القانون الثالث: تأتي القوى في أزواج متساوية المقدار متعاكسة الاتجاه، تؤثر في جسمين مختلفين.
- قد يأخذ الاحتكاك السكوني أي قيمة حتى μₛN؛ أما الحركي فيساوي μₖN ويقاوم الانزلاق.
- في الحركة الدائرية، القوة المحصلة نحو الداخل m v²/r. وتوفّرها قوى حقيقية مثل الشد أو الاحتكاك أو القوة العمودية أو الجاذبية.

المعادلات الأساسية

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

`F=m a`

قانون نيوتن الثاني

$$W = mg$$

`W=mg`

الوزن

$$f_s \le \mu_s N, \quad f_k = \mu_k N$$

`f_sμ_sN, f_k=μ_kN`

الاحتكاك السكوني والحركي

$$\sum F_r = \frac{mv^2}{r}$$

`F_r=(mv^2)/(r)`

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 سيارة كتلتها 1,500 kg تنتقل من 0 إلى 25 m/s في 10 s. ما القوة المحصلة المؤثرة فيها؟

1. $a = \Delta v / \Delta t = 25 \div 10 = 2.5\ \text{m/s}^2$.
2. $\Sigma F = ma = 1{,}500 \times 2.5 = 3{,}750\ \text{N}$.

الإجابة: 3,750 N إلى الأمام.

مثال 3.2 صندوق كتلته 5.0 kg ينزلق على منحدر بزاوية 30° مع $\mu_k = 0.20$. أوجد تسارعه.

1. محوران على امتداد المنحدر وعمودي عليه.
2. عموديًا: $N = mg\cos 30°$.
3. على الامتداد: $ma = mg\sin 30° - \mu_k mg\cos 30°$.
4. $a = 9.81 \times (0.500 - 0.20 \times 0.866) = 3.21\ \text{m/s}^2$. والكتلة تُختصر.

الإجابة: 3.21 m/s² إلى أسفل المنحدر.

مثال 3.3 آلة أتوود تُعلَّق فيها كتلتان 3.0 kg و2.0 kg على بكرة خفيفة عديمة الاحتكاك. أوجد التسارع والشد.

1. الجانب الأثقل ينزل. للكتلة 3.0 kg: $3.0g - T = 3.0a$. وللكتلة 2.0 kg: $T - 2.0g = 2.0a$.
2. بالجمع: $1.0g = 5.0a$، إذن $a = 9.81 \div 5 = 1.96\ \text{m/s}^2$.
3. $T = 2.0 \times (9.81 + 1.96) = 23.5\ \text{N}$.

الإجابة: $a = 1.96\ \text{m/s}^2$, $T = 23.5\ \text{N}$.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. شخص كتلته 70 kg يقف على ميزان في مصعد يتسارع إلى الأعلى بمقدار 1.5 m/s². ماذا يقرأ الميزان؟

   $N - mg = ma$، إذن $N = 70 \times (9.81 + 1.5) = 792\ \text{N}$ (يقرأ كأن كتلته 80.7 kg).

2. صندوق كتلته 40 kg على أرضية معامل احتكاكها السكوني $\mu_s = 0.50$. ما الدفع الأفقي الذي يبدأ بتحريكه بالكاد؟

   $F = \mu_s mg = 0.50 \times 40 \times 9.81 = 196\ \text{N}$.

3. صاروخ كتلته 5.0×10^5 kg قوة دفعه 7.6×10^6 N عند الإقلاع. أوجد تسارعه الابتدائي.

$a = (T - mg)/m = 7.6 \times 10^6 \div 5.0 \times 10^5 - 9.81 = 15.2 - 9.81 = 5.39\ \text{m/s}^2$ إلى الأعلى. ونسبة الدفع إلى الوزن 1.55.

4. دفع مقداره 10 N يؤثر في قالب كتلته 2.0 kg يدفع قالبًا كتلته 3.0 kg على أرضية عديمة الاحتكاك. أوجد التسارع والقوة بين القالبين.

$a = 10 \div 5.0 = 2.0\ \text{m/s}^2$. والقوة على القالب 3.0 kg تساوي $3.0 \times 2.0 = 6.0\ \text{N}$.

5. ما السرعة القصوى لسيارة في منعطف مستوٍ نصف قطره 40 m إذا كان $\mu_s = 0.60$؟

الاحتكاك يوفّر القوة نحو الداخل: $\mu_s mg = mv^2/r$، إذن $v = \sqrt{(\mu_s\, g\, r)} = \sqrt{(0.60 \times 9.81 \times 40)} = 15.3\ \text{m/s}$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الجسم المتحرك يحتاج إلى قوة كي يستمر في الحركة.
في الحقيقة: فقط للتغلب على الاحتكاك أو السحب. ففي الفضاء يسير المسبار سنوات ومحركاته مطفأة.

خرافة: الفعل ورد الفعل يلغي أحدهما الآخر، لذا لا شيء يمكنه أن يتسارع.
في الحقيقة: تؤثران في جسمين مختلفين، لذا لا تلغي إحداهما الأخرى على جسم واحد أبدًا.

خرافة: القوة العمودية تساوي mg دائمًا.
في الحقيقة: فقط على سطح أفقي دون تسارع رأسي. على المنحدر تساوي $mg\cos\theta$؛ وفي مصعد متسارع تتغيّر.

بطاقات تعليمية

قانون نيوتن الأول

تبقى السرعة ثابتة ما لم تؤثر قوة محصلة.

قانون نيوتن الثاني

$\Sigma F = ma$.

قانون نيوتن الثالث

تأتي القوى في أزواج متساوية ومتعاكسة على أجسام مختلفة.

مخطط الجسم الحر

رسم لجسم واحد مع كل القوى المؤثرة فيه.

معامل الاحتكاك μ

نسبة قوة الاحتكاك إلى القوة العمودية؛ بلا وحدات.

النيوتن (N)

$1\ \text{N} = 1\ \text{kg·m/s}^2$.

اختبار ذاتي

1. مركبة فضائية تسير ومحركاتها مطفأة بعيدًا عن أي كوكب. سرعتها...

تتناقص ببطء

تبقى ثابتة

يزداد

تنخفض إلى الصفر

تبقى ثابتة. لا قوة محصلة يعني لا تسارع (القانون الأول).

2. يدفع الصاروخ غازات العادم إلى الخلف. ما الذي يدفع الصاروخ إلى الأمام؟

الهواء خلفه

الأرض

غاز العادم الذي يدفعه بدوره

لا شيء؛ إنه لا يُدفع

غاز العادم الذي يدفعه بدوره. القانون الثالث: يدفع الغاز الصاروخ بقوة مساوية ومعاكسة. ولهذا تعمل الصواريخ في الفراغ.

3. على منحدر عديم الاحتكاك بزاوية θ، يتسارع القالب بمقدار...

g

g cos θ

g sin θ

g tan θ

g sin θ. مركبة الجاذبية على امتداد المنحدر وحدها، mg sin θ، غير متزنة.

4. ما الذي يوفّر القوة المركزية لسيارة تنعطف على طريق مستوٍ؟

المحرك

الاحتكاك السكوني من الطريق

الجاذبية

القوة الطاردة المركزية

الاحتكاك السكوني من الطريق. الاحتكاك السكوني بين الإطارات والطريق يتجه نحو مركز المنعطف.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

قانون نيوتن الثالث هو طريقة عمل كل صاروخ: يدفع العادم إلى الخلف فيدفعه العادم إلى الأمام. وتحمل هذه الإطلاقات الأقمار التي ترصد الطقس وحرائق الغابات ومستوى البحر وغازات الدفيئة.

يذهب جزء كبير من طاقتنا إلى الاحتكاك والسحب. فالإطارات والمحامل الأقل احتكاكًا والمركبات الأكثر انسيابية تحتاج إلى قوة أقل عند السرعة نفسها، وبالتالي وقودًا أو طاقة بطارية أقل.

نسبة الدفع إلى الوزن هي أول رقم يفحصه المهندسون في أي مركبة إطلاق: إذا كانت أقل من 1 فلا يمكنها الإقلاع.

على Saving Planets: حاسبة نسبة الدفع إلى الوزن · رصد الأرض

المصادر: OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton's Second Law (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law) · وزارة الطاقة الأمريكية: مكتب تقنيات المركبات (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton's Second Law (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 6.2 Friction (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): الاحتكاك السكوني والحركي مع أمثلة.
- OpenStax University Physics 1, 6.3 Centripetal Force (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force): المنعطفات المائلة والديناميكا الدائرية.
- PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics): القوة المحصلة والاحتكاك والتسارع.
- PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp): القوى على مستوى مائل مع الاحتكاك.

شاهد المحاضرة

Newton's Laws of Motion (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-3) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, 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

الشغل والطاقة والقدرة

الطاقة هي المحاسبة التي تجعل مسائل القوى الصعبة سهلة، وهي لغة كل محطة كهرباء وبطارية ومحرك.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب الشغل بالعلاقة W = ∫F·dx، بما في ذلك لنابض.
- استخدام مبرهنة الشغل–الطاقة وحفظ الطاقة الميكانيكية.
- احتساب الطاقة المفقودة بالاحتكاك، وحساب القدرة والكفاءة.
- تقدير قدرة الرياح بالعلاقة P = ½ρAv³.

المفاهيم الأساسية

- الشغل هو القوة مضروبة في الإزاحة باتجاه القوة: W = Fd cos θ لقوة ثابتة.
- الشغل المحصل على جسم يساوي التغيّر في طاقته الحركية.
- الجاذبية والنوابض قوى محافظة: يمكن تخزين شغلها على شكل طاقة وضع واستعادته.
- يحوّل الاحتكاك الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية؛ وتظل الطاقة الكلية محفوظة.
- القدرة هي معدل بذل الشغل، بوحدة الواط (J/s).

المعادلات الأساسية

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

```
W= F· d x
```

شغل القوة

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2, \quad W_{net} = \Delta K$$

```
K=12mv^2, W_net=Δ K
```

الطاقة الحركية ومبرهنة الشغل–الطاقة

$$U_g = mgh, \quad U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

```
U_g=mgh, U_s=12kx^2
```

طاقة الوضع الثقالية والمرونية

$$K_i + U_i = K_f + U_f + E_{th}$$

```
K_i+U_i=K_f+U_f+E_th
```

$$P = \frac{dW}{dt} = Fv$$

P=dW/dt=Fv

القدرة

$$P_{wind} = \tfrac{1}{2}\rho A v^3$$

P_wind=12ρ Av^3

القدرة التي تحملها الرياح عبر مساحة A

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 سيارة كتلتها 1,200 kg تسير بسرعة 20 m/s تكبح بقوة احتكاك ثابتة مقدارها 6,000 N. ما المسافة التي تقطعها؟

1. $K = \tfrac{1}{2} \times 1{,}200 \times 20^2 = 240{,}000$ J.
2. شغل الاحتكاك يستنفدها كلها: $6{,}000 \times d = 240{,}000$.
3. $d = 40$ m.

الإجابة: 40 m.

مثال 4.2 تنطلق أفعوانية من السكون على ارتفاع 30 m فوق قاع منخفض. بإهمال الاحتكاك، ما سرعتها في القاع؟

1. $mgh = \tfrac{1}{2}mv^2$، لذا تُختصر الكتلة.
2. $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 30} = 24.3$ m/s.

الإجابة: 24.3 m/s، أيًّا كان شكل المسار.

مثال 4.3 لتوربين رياح شفرات طولها 50 m. ما القدرة التي تحملها رياح سرعتها 10 m/s عبر المساحة التي تمسحها، وما أقصى ما يمكن لأي توربين استخلاصه؟

1. $A = \pi r^2 = \pi \times 50^2 = 7{,}854$ m².
2. $P = \tfrac{1}{2}\rho A v^3 = \tfrac{1}{2} \times 1.225 \times 7{,}854 \times 10^3 = 4.81 \times 10^6$ W.
3. يقول حدّ بيتز إنه لا يمكن لأي توربين التقاط أكثر من (59.3%) 16/27 من هذا: $4.81 \text{ MW} \times 0.593 = 2.85$ MW.

الإجابة: تحمل الرياح 4.81 MW؛ ويمكن التقاط 2.85 MW على الأكثر. والتوربينات الحقيقية تحصل على أقل.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. نابض ثابته k = 200 N/m مضغوط بمقدار 0.10 m يطلق كرة كتلتها 0.050 kg. ما سرعة خروج الكرة؟

   الطاقة المخزنة ½kx² = ½ × 200 × 0.01 = 1.0 J. v = √(2 × 1.0 ÷ 0.050) = 6.32 m/s.

2. قوة مقدارها 50 N تسحب مزلجة مسافة 10 m بزاوية 30° فوق الأفق. كم شغلًا تبذل؟

   W = Fd cos θ = 50 × 10 × 0.866 = 433 J.

3. ما القدرة اللازمة لرفع 70 kg مسافة 3.0 m في 2.0 s؟

   P = mgh/t = 70 × 9.81 × 3.0 ÷ 2.0 = 1,030 W.

4. سيارة كتلتها 1,500 kg تكبح من 25 m/s حتى التوقف. كم من الطاقة الحركية يُزال؟ وإذا خزّن الكبح المتجدد 60% منها، فكم يكون ذلك؟

   K = ½ × 1,500 × 25² = 468,750 J ≈ 469 kJ. و60% منها تساوي 281 kJ.

5. إذا انخفضت سرعة الرياح من 10 m/s إلى 7 m/s، فبأي نسبة تنخفض قدرتها؟

   تتناسب القدرة مع v³: (7/10)³ = 0.343، فتنخفض إلى نحو 34% من الأصل.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: حمل صندوق ثقيل عبر غرفة مستوية بسرعة ثابتة يبذل عليه شغلًا كبيرًا.
في الحقيقة: الجاذبية وقوتك إلى الأعلى عموديتان على الحركة، لذا لا تبذلان شغلًا على الصندوق.

خرافة: تُفقد الطاقة بسبب الاحتكاك.
في الحقيقة: تتحول إلى طاقة حرارية ولا تفنى. وهي مفقودة فقط كطاقة ميكانيكية مفيدة.

خرافة: توربين قطره ضعف الآخر يحصل على ضعف القدرة.
في الحقيقة: تتناسب القدرة مع المساحة، لذا فمضاعفة القطر تعطي أربعة أضعاف القدرة.

بطاقات تعليمية

الشغل

W = Fd cos θ؛ الطاقة المنقولة بقوة (J).

الطاقة الحركية

K = ½mv².

طاقة الوضع

طاقة مخزنة بسبب الموضع: mgh، ½kx².

مبرهنة الشغل–الطاقة

W_net = ΔK.

القدرة

معدل نقل الطاقة، P = dW/dt (W).

حدّ بيتز

لا يمكن لأي توربين التقاط أكثر من 59.3% ≈ 16/27 من قدرة الرياح.

اختبار ذاتي

1. إذا تضاعفت سرعة سيارة، فإن طاقتها الحركية...

يتضاعف

تتضاعف ثلاث مرات

يتضاعف أربع مرات

يبقى كما هو

يتضاعف أربع مرات. K = ½mv²، إذن 2² = 4.

2. وحدة القدرة في النظام الدولي هي...

الجول

الواط

النيوتن

الكيلوواط ساعة

الواط. 1 W = 1 J/s. والكيلوواط ساعة وحدة طاقة.

3. تتناسب قدرة الرياح عبر التوربين مع سرعة الرياح على صورة...

v

v²

v³

v⁄v

v³. تدفق الكتلة ∝ v والطاقة الحركية لكل kg ∝ v²، إذن P ∝ v³.

4. الشغل الذي يبذله الاحتكاك الحركي على قالب منزلق...

موجبة

صفر

سالبة

يعتمد على الكتلة فقط

سالبة. يقاوم الاحتكاك الحركة، لذا يزيل الطاقة الحركية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تحوّل توربينات الرياح الطاقة الحركية للهواء المتحرك إلى كهرباء. ولأن قدرة الرياح تزداد مع مكعب سرعتها ومربع طول الشفرة، يبني المهندسون أبراجًا أعلى وشفرات أطول، ولهذا التوربينات البحرية ضخمة جدًا.

تستخدم المركبات الكهربائية والهجينة الكبح المتجدد: يعمل المحرك كمولّد ويحوّل جزءًا من الطاقة الحركية للسيارة إلى طاقة مخزنة في البطارية بدلًا من الحرارة.

المحاسبة الطاقية هي طريقة المهندسين لمقارنة خيارات الطاقة النظيفة بإنصاف، بالجول والواط لا بالادعاءات.

على Saving Planets: حاسبة قدرة الدوّار في التحويم · الحاسبات

المصادر: وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · وزارة الطاقة الأمريكية: أساسيات المركبات الكهربائية (بالإنجليزية) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 7.3 Work–Energy Theorem (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physi cs-volume-1/pages/7-3-work-energy-theorem): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 8.3 Conservation of Energy (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physi cs-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy): مخططات الطاقة وأمثلة.
- PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park): شاهد تبادل الطاقة الحركية وطاقة الوضع والطاقة الحرارية.

شاهد المحاضرة

Work-Energy Theorem and Law of Conservation of Energy (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-5) (باللغة الإنجليزية)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, 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**

كمية الحركة والتصادمات والصواريخ

كمية الحركة محفوظة في كل تصادم وانفجار. وهي تفسّر الصواريخ، وكيف حرّكت مركبة فضائية كويكبًا.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ربط الدفع بالتغيّر في كمية الحركة، J = ∫F dt = Δp.
- تطبيق حفظ كمية الحركة على التصادمات المرنة وغير المرنة في بُعد واحد.
- إيجاد مركز كتلة نظام.
- استخدام معادلة الصاروخ Δv = v_e ln(m_0/m_f).

المفاهيم الأساسية

- كمية الحركة p = mv متجه. ودون قوة خارجية محصلة تبقى كمية الحركة الكلية للنظام ثابتة.
- في التصادم المرن تُحفظ الطاقة الحركية أيضًا؛ وفي غير المرن يتحول بعضها إلى حرارة وصوت وتشوّه. وفي التصادم عديم المرونة تمامًا يلتصق الجسمان.
- زمن التصادم الأطول يعني قوة متوسطة أصغر للتغيّر نفسه في كمية الحركة. وهكذا تعمل الوسائد الهوائية ومناطق التشوّه.
- يكتسب الصاروخ السرعة بقذف الكتلة إلى الخلف. ويعتمد تغيّر سرعته على سرعة العادم ونسبة الكتلة الابتدائية إلى النهائية، لا على سرعة احتراق الوقود.

المعادلات الأساسية

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad \vec{J} = \int \vec{F}\,dt = \Delta\vec{p}$$

```
p=m v, J= F dt=Δ p
```

كمية الحركة والدفع

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

```
m_1v_1i+m_2v_2i=m_1v_1f+m_2v_2f
```

حفظ كمية الحركة (1D)

$$x_{cm} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

```
x_cm=( m_ix_i)/( m_i)
```

مركز الكتلة

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

`Δ v=v_e(m_0)/(m_f)`

معادلة الصاروخ لتسيولكوفسكي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 كرة بيسبول كتلتها 0.145 kg تصل بسرعة 40 m/s وتغادر المضرب بسرعة 50 m/s في الاتجاه المعاكس. يدوم التلامس 1.0 ms. أوجد الدفع والقوة المتوسطة.

1. اعتبر اتجاه الخروج موجبًا: Δp = 0.145 × (50 − (−40)) = 0.145 × 90 = 13.1 kg·m/s.
2. F = Δp/Δt = 13.05 ÷ 0.0010 = 13,000 N.

الإجابة: الدفع 13.1 kg·m/s؛ والقوة المتوسطة نحو 13,000 N.

مثال 5.2 سيارة كتلتها 1,000 kg بسرعة 20 m/s تصطدم من الخلف بسيارة متوقفة كتلتها 1,500 kg فتلتحمان. أوجد سرعتهما والطاقة الحركية المفقودة.

1. كمية الحركة: v × 2,500 = 20 × 1,000، إذن v = 8.0 m/s.
2. قبل: ½ × 1,000 × 20² = 200 kJ. بعد: ½ × 2,500 × 8.0² = 80 kJ.
3. المفقود: 120 kJ، أي 60% من الأصل.

الإجابة: 8.0 m/s؛ و120 kJ تحولت إلى تشوّه وحرارة وصوت.

مثال 5.3 مرحلة صاروخية سرعة عادمها 3,000 m/s ونسبة كتلتها $m_0/m_f = 5$. ما تغيّر السرعة الذي يمكن أن تمنحه بإهمال الجاذبية والسحب؟

1. $\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f) = 3{,}000 \times \ln 5$.
2. $\ln 5 = 1.609$، إذن $\Delta v = 4{,}830$ m/s.

الإجابة: نحو 4.83 km/s. وبلوغ المدار بنحو 7.8 km/s يحتاج إلى أكثر، ولهذا تستخدم الصواريخ مراحل.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. عربة كتلتها 2.0 kg بسرعة 3.0 m/s تصطدم بعربة 1.0 kg ساكنة تصادمًا مرنًا تمامًا. أوجد السرعتين النهائيتين.

   $v_1 = (m_1 - m_2)/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 1.0$ m/s؛ $v_2 = 2m_1/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 4.0$ m/s. التحقق: K قبل 9.0 J، وبعد 1.0 + 8.0 = 9.0 J.

2. بندقية كتلتها 4.0 kg تطلق رصاصة كتلتها 0.010 kg بسرعة 400 m/s. أوجد سرعة ارتداد البندقية.

4.0v − 400 × 0.010 = 0، إذن v = 1.0 m/s إلى الخلف.

3. كتلة 2.0 kg عند x = 0 وكتلة 3.0 kg عند x = 5.0 m. أين مركز الكتلة؟

x_cm = (2.0 × 0 + 3.0 × 5.0) ÷ 5.0 = 3.0 m.

4. مرحلة سرعة عادمها 3.5 km/s يجب أن توفر وحدها Δv = 9.0 km/s. ما نسبة الكتلة اللازمة؟

$m_0/m_f = e^{(9.0/3.5)} = e^{2.571} = 13.1$. أي إن نحو 7.6% فقط من الكتلة الابتدائية يمكن أن يكون شيئًا غير الوقود الدافع.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يحتاج الصاروخ إلى هواء يدفع نفسه عليه.
في الحقيقة: إنه يدفع عادمه نفسه. والصواريخ تعمل أفضل في الفراغ.

خرافة: في التصادم غير المرن تُفقد كمية الحركة.
في الحقيقة: كمية الحركة محفوظة في كل تصادم دون قوة خارجية. والمفقود هو الطاقة الحركية.

خرافة: القوة الأكبر تعني دائمًا تغيّرًا أكبر في كمية الحركة.
في الحقيقة: الدفع هو القوة × الزمن. فقوة صغيرة لزمن طويل قد تغيّر كمية الحركة بقدر قوة كبيرة لزمن قصير.

بطاقات تعليمية

كمية الحركة

$p = mv$ (kg·m/s)، متجه.

الدفع

$J = \int F\,dt = \Delta p$.

التصادم المرن

تُحفظ كمية الحركة والطاقة الحركية كلتاهما.

التصادم عديم المرونة تمامًا

يلتصق الجسمان؛ وتُفقد أكبر كمية من الطاقة الحركية.

مركز الكتلة

متوسط موضع النظام مرجّحًا بالكتل.

معادلة الصاروخ

$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$.

اختبار ذاتي

1. ما الذي يُحفظ دائمًا في تصادم دون قوة خارجية؟

الطاقة الحركية

كمية الحركة

السرعة

الطاقة الحركية وكمية الحركة معًا

كمية الحركة. كمية الحركة دائمًا؛ والطاقة الحركية في التصادمات المرنة فقط.

2. تقلل الوسائد الهوائية الإصابات أساسًا عن طريق...

تقليل التغيّر في كمية الحركة

زيادة زمن التوقف

زيادة القوة

تقليل كتلتك

زيادة زمن التوقف. نفس Δp على زمن أطول يعني قوة متوسطة أصغر.

3. في معادلة الصاروخ، مضاعفة سرعة العادم...

تضاعف Δv

تضاعف Δv أربع مرات

تنصّف Δv

لا تغيّر Δv

تضاعف Δv. Δv يتناسب طرديًا مع v_e.

4. كرتان من الطين متساويتان في الكتلة والسرعة تتصادمان وجهًا لوجه وتلتصقان. بعد ذلك...

تتحركان بالسرعة الأصلية

تكونان ساكنتين

تتحركان بنصف السرعة

ترتدّان

تكونان ساكنتين. كانت كمية الحركة الكلية صفرًا، فتبقى صفرًا.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

في 26 سبتمبر 2022 اصطدمت مركبة DART التابعة لناسا عمدًا بالقمير الكويكبي ديمورفوس. فقصّرت كمية حركتها مدار ديمورفوس حول ديديموس البالغ 11 ساعة و55 دقيقة بنحو 33 دقيقة، وهو أكثر بكثير من الحد الأدنى للنجاح البالغ 73 ثانية، لأن الحطام المقذوف من الكويكب أضاف دفعًا إضافيًا.

كانت أول تجربة لتحريك كويكب بالاصطدام الحركي، وهي وسيلة لحماية الناس وكل كائن حي آخر على الأرض من اصطدام مستقبلي. ولم يشكّل أيٌّ من الكويكبين خطرًا على الأرض قط.

تدفع معادلة الصاروخ أيضًا نحو تصميم إطلاق أنظف: سرعة عادم أعلى تعني وقودًا أقل للمهمة نفسها.

على Saving Planets: الدفاع الكوكبي · حاسبة delta-v

المصادر: ناسا: مهمة DART (بالإنجليزية) (https://science.nasa.gov/mission/dart/) · ناسا: تغيّر مدار الكويكب وشكله بعد اصطدام DART (بالإنجليزية) (https://www.nasa.gov/missions/dart/nasa-study-asteroids-orbit-shape-changed-after-dart-impact/)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 9.3 Conservation of Linear Momentum (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-3-conservation-of-linear-momentum): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 9.4 Types of Collisions (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions): التصادمات المرنة وغير المرنة.
- OpenStax University Physics 1, 9.7 Rocket Propulsion (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion): اشتقاق معادلة الصاروخ.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): التصادمات المرنة وغير المرنة في 1D و2D.

شاهد المحاضرة

19.2 Rocket Problem 2 - Momentum Diagrams (باللغة الإنجليزية) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/es/19-1/)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

الدوران والعزم وكمية الحركة الزاوية

كل ما يدور، من العجلات والتوربينات إلى عجلات رد الفعل التي توجّه الأقمار الصناعية، يتبع صيغًا دورانية لقوانين نيوتن.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام الموضع والسرعة والتسارع الزاوية، وربطها بالحركة الخطية عبر v = ωr.
- حساب عزوم القصور الذاتي واستخدام τ = Iα.
- حل مسائل التدحرج بحفظ الطاقة.
- تطبيق حفظ كمية الحركة الزاوية.

المفاهيم الأساسية

- الكميات الدورانية تقابل الخطية: θ ↔ x، ω ↔ v، α ↔ a، I ↔ m، τ ↔ F، L ↔ p.
- يعتمد عزم القصور الذاتي على توزّع الكتلة حول المحور. والكتلة البعيدة عن المحور أصعب تدويرًا.
- العزم هو القوة مضروبة في ذراعها: τ = rF sin θ.
- للجسم المتدحرج طاقة حركية انتقالية ودورانية، لذا ينزل المنحدر أبطأ من قالب ينزلق دون احتكاك.
- دون عزم خارجي، تبقى كمية الحركة الزاوية L = Iω ثابتة.

المعادلات الأساسية

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \quad v = \omega r$$

```
ω=(dθ)/(dt), α=(dω)/(dt), v=ω r
```

السرعة والتسارع الزاويان

$$I = \sum m_i r_i^2, \quad I_{disk} = \tfrac{1}{2} M R^2$$

```
I= m_ir_i^2, I_disk=12MR^2
```

عزم القصور الذاتي

$$\tau = rF\sin\theta = I\alpha$$

```
τ=rFθ=Iα
```

العزم وقانون نيوتن الثاني للدوران

$$K_{rot} = \tfrac{1}{2} I \omega^2$$

```
K_rot=12Iω^2
```

$$L = I\omega, \quad \tau_{net} = \frac{dL}{dt}$$

L=Iω, τ_net=dL/dt

كمية الحركة الزاوية

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 يتسارع دوّار توربين رياح من السكون إلى 1.5 rad/s في 30 s بمعدل ثابت. أوجد α وعدد الدورات.

1. α = 1.5 ÷ 30 = 0.050 rad/s².
2. θ = ½αt² = ½ × 0.050 × 30² = 22.5 rad.
3. الدورات: 22.5 ÷ 2π = 3.58.

الإجابة: α = 0.050 rad/s²؛ 3.58 دورة.

مثال 6.2 كرة مصمتة تتدحرج دون انزلاق على منحدر من ارتفاع 2.0 m. ما سرعتها في الأسفل؟

1. للكرة المصمتة I = (2/5)mr² و ω = v/r.
2. mgh = ½mv² + ½(2/5)mr²(v/r)² = (7/10)mv².
3. v = √(10gh/7) = √(10 × 9.81 × 2.0 ÷ 7) = 5.29 m/s.

الإجابة: 5.29 m/s، أقل من 6.26 m/s لقالب ينزلق دون احتكاك.

مثال 6.3 متزلجة تدور بمعدل 2.0 rev/s تضم ذراعيها فينخفض عزم قصورها من 4.0 إلى 1.6 kg·m². أوجد معدل دورانها الجديد.

1. L محفوظة: $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$.
2. ω_2 = 4.0 × 2.0 ÷ 1.6 = 5.0 rev/s.
3. تزداد طاقتها الحركية 2.5 مرة؛ ويأتي الفائض من الشغل الذي تبذله ذراعاها.

الإجابة: 5.0 rev/s.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. تُطبَّق قوة مقدارها 50 N عموديًا على طرف مفتاح ربط طوله 0.30 m. أوجد العزم.

τ = 0.30 × 50 = 15 N·m.

2. طفل كتلته 30 kg يجلس على بُعد 2.0 m من محور أرجوحة توازن. أين يجب أن يجلس طفل كتلته 40 kg ليحدث التوازن؟

   $x \times 40 = 2.0 \times 30$، إذن $x = 1.5$ m في الجهة الأخرى.

3. حدّافة فولاذية مصمتة على شكل قرص كتلته 100 kg ونصف قطره 0.50 m يدور بسرعة 300 rad/s. كم تخزّن من الطاقة؟

   $I = \tfrac{1}{2} \times 100 \times 0.50^2 = 12.5$ kg·m². $K = \tfrac{1}{2} \times 12.5 \times 300^2 = 562{,}500$ J ≈ 0.563 MJ (0.156 kWh).

4. لقمر صناعي $I = 500$ kg·m² حول أحد المحاور. وتتسارع عجلة رد فعل على متنه عزمها $I = 0.10$ kg·m² من السكون إلى 600 rad/s. ما سرعة دوران القمر؟

   تبقى L الكلية صفرًا: $\omega \times 500 = 600 \times 0.10$، إذن $\omega = 0.12$ rad/s في الاتجاه المعاكس.

5. يؤثر عزم مقداره 2.0 N·m في قرص عزم قصوره $I = 0.50$ kg·m². أوجد α.

   $\alpha = \tau / I = 4.0$ rad/s².

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: العزم يعتمد على مقدار القوة فقط.
في الحقيقة: يعتمد أيضًا على موضع الدفع وزاويته. فدفع الباب قرب المفصلات بالكاد يديره.

خرافة: كل الأجسام المستديرة تتدحرج على المنحدر بالسرعة نفسها.
في الحقيقة: الكرة المصمتة تسبق الأسطوانة المصمتة، التي تسبق الحلقة، لأن جزءًا أقل من طاقتها يذهب إلى الدوران.

خرافة: ضم الذراعين يولّد كمية حركة زاوية.
في الحقيقة: تبقى كمية الحركة الزاوية كما هي؛ ويزداد معدل الدوران لأن I تنقص.

بطاقات تعليمية

السرعة الزاوية ω

معدل الدوران، rad/s.

عزم القصور الذاتي I

مقاومة التسارع الزاوي؛ $I = \Sigma m r^2$.

العزم τ

الأثر الدوراني للقوة؛ $\tau = rF \sin\theta$ (N·m).

τ = Iα

قانون نيوتن الثاني للدوران.

كمية الحركة الزاوية L

$L = I\omega$؛ محفوظة في غياب عزم خارجي.

التدحرج دون انزلاق

$v = \omega r$ عند نقطة التلامس؛ وK الكلية $= \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{2}I\omega^2$.

اختبار ذاتي

1. أيهما يصل أولًا إلى أسفل منحدر عند التدحرج من السكون؟

حلقة

قرص مصمت

يتعادلان

الأثقل منهما

قرص مصمت. للقرص قيمة $I/(mr^2)$ أصغر، لذا يذهب جزء أكبر من طاقته إلى الحركة إلى الأمام.

2. المقابل الدوراني للكتلة هو…

العزم

كمية الحركة الزاوية

عزم القصور الذاتي

السرعة الزاوية

عزم القصور الذاتي. تقاوم I التسارع الزاوي كما تقاوم m التسارع الخطي.

3. يدور قمر صناعي دون تشغيل الدافعات بتدوير عجلة داخله. هذا يستخدم…

حفظ الطاقة

حفظ كمية الحركة الزاوية

قانون نيوتن الأول فقط

الجاذبية

حفظ كمية الحركة الزاوية. تدوير العجلة في اتجاه يدير القمر في الاتجاه الآخر؛ وتبقى L الكلية ثابتة.

4. مضاعفة نصف قطر قرص بالكتلة نفسها تضرب I في…

2

4

½

8

4. $I = \frac{1}{2}MR^2$، إذن $2^2 = 4$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

عجلات رد الفعل وسيلة شائعة لتوجيه أجهزة المركبات الفضائية: تدوير عجلة في اتجاه يدير المركبة في الاتجاه الآخر، كما في التمرين، دون استهلاك وقود.

توربينات الرياح آلات دورانية. يدير عزم الرياح على الشفرات الدوّار، ويحوّل المولّد هذا الدوران إلى كهرباء.

تخزّن الحدّافات الطاقة على شكل دوران ويمكنها تنعيم تقلبات الشبكة؛ والفيزياء هي بالضبط $K = \frac{1}{2}I\omega^2$.

Saving Planets: GRACE-FO على رصد الأرض ·

المصادر: OpenStax University Physics 1, 11.3 Conservation of Angular Momentum (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum) · وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 10.4 Moment of Inertia and Rotational Kinetic Energy (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 10.6 Torque (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-6-torque): العزم مع أمثلة.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): العزم والتوازن على أرجوحة توازن.

شاهد المحاضرة

34.1 Torque Causes Angular Momentum to Change - Point Particle (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/34/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

الجاذبية والمدارات

يفسّر قانون نيوتن للجاذبية بقاء الأقمار في مداراتها، ومدة المدار، وكيفية الانتقال من مدار إلى آخر.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام قانون نيوتن للجذب العام وإيجاد g على أي ارتفاع.
- إيجاد سرعة المدار الدائري ودورته ونصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض.
- استخدام طاقة الوضع الثقالية لإيجاد سرعة الإفلات.
- تطبيق قوانين كبلر الثلاثة وتقدير مناورة هوهمان.

المفاهيم الأساسية

- كل كتلة تجذب كل كتلة أخرى بقوة F = Gm₁m₂/r². وتضعف الجاذبية مع مربع البعد عن المركز.
- يحدث المدار الدائري حين توفّر الجاذبية القوة المركزية بالضبط: GMm/r² = mv²/r.
- قوانين كبلر: المدارات قطوع ناقصة يقع الكوكب في إحدى بؤرتيها؛ والخط الواصل إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية؛ T² ∝ a³.
- بعيدًا عن الأرض تكون طاقة الوضع الثقالية U = −GMm/r. وسرعة الإفلات هي السرعة التي تجعل الطاقة الكلية صفرًا.
- تنقل مناورة هوهمان بين مدارين دائريين بإشعالين على امتداد نصف قطع ناقص.

المعادلات الأساسية

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}, \quad g(r) = \frac{GM}{r^2}$$

F=(Gm_1m_2)/(r^2), g(r)=(GM)/(r^2)

الجذب العام

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

v=GM/r, T=2π(r^3)/(GM)

سرعة المدار الدائري ودورته

$$U = -\frac{GMm}{r}, \quad v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

U=-GMm/r, v_esc=2GM/R

طاقة الوضع وسرعة الإفلات

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G M} a^3$$

T^2=(4π^2)/(GM)a^3

قانون كبلر الثالث

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 أوجد g عند سطح الأرض من G وكتلة الأرض ونصف قطرها.

1. $g = GM/R^2 = 6.674 \times 10^{-11} \times 5.972 \times 10^{24} \div (6.371 \times 10^{6})^2$.
2. $GM = 3.986 \times 10^{14}\ m^3/s^2$; $R^2 = 4.059 \times 10^{13}\ m^2$.
3. $g = 9.82\ m/s^2$.

الإجابة: $9.82\ m/s^2$. تتراوح g المقيسة من نحو $9.78\ m/s^2$ عند خط الاستواء إلى $9.83\ m/s^2$ عند القطبين، لأن الأرض تدور وتنتفخ عند خط الاستواء؛ و$9.81\ m/s^2$ متوسط مناسب.

مثال 7.2 يدور Landsat 9 على ارتفاع نحو 705 km فوق الأرض. باعتبار المدار دائرة، أوجد سرعته ودورته.

1. $r = 6{,}371 + 705 = 7{,}076\ km = 7.076 \times 10^{6}\ m$.
2. $v = \sqrt{(GM/r)} = \sqrt{(3.986 \times 10^{14} \div 7.076 \times 10^{6})} = 7{,}505\ m/s$.
3. $T = 2\pi r/v = 2\pi \times 7.076 \times 10^{6} \div 7{,}505 = 5{,}924\ s = 98.7\ min$.

الإجابة: 7.51 km/s ونحو 99 دقيقة لكل مدار، وهو ما يطابق الرقم المنشور.

مثال 7.3 على أي نصف قطر يدور قمر صناعي دورة كل يوم نجمي (86,164 s)، فيبقى فوق نقطة واحدة على خط الاستواء؟

1. $r^3 = GM\,T^2/4\pi^2 = 3.986 \times 10^{14} \times 86{,}164^2 \div 39.48$.
2. $r^3 = 7.496 \times 10^{22}$.
3. $r = 4.216 \times 10^{7}\ m = 42{,}160\ km$ من مركز الأرض، أي نحو 35,790 km فوق خط الاستواء.

الإجابة: نحو 42,160 km من مركز الأرض: المدار الثابت بالنسبة للأرض، حيث تتمركز أقمار طقس كثيرة.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد سرعة الإفلات من سطح الأرض.

$v = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2 \times 3.986 \times 10^{14} \div 6.371 \times 10^{6})} = 11.2\ km/s$.

2. على ارتفاع محطة الفضاء الدولية، نحو 420 km، ما الجزء المتبقي من جاذبية السطح؟

(6,371 ÷ 6,791)² = 0.880. يطفو الرواد لأنهم في سقوط حر، لا لأن الجاذبية اختفت.

3. يدور المريخ حول الشمس بنصف محور أكبر قدره 1.524 وحدة فلكية. كم تطول سنته؟

كبلر: T = a^1.5 سنة = 1.524^1.5 = 1.88 سنة أرضية.

4. قدّر Δv الكلية لمناورة هوهمان من مدار دائري على ارتفاع 300 km إلى نصف القطر الثابت بالنسبة للأرض (42,164 km).

الإشعال 1: $\sqrt{(GM/r_1)}(\sqrt{(2r_2/(r_1 + r_2))} - 1) = 2.43$ km/s. $r_2 = 42{,}164$ km، $r_1 = 6{,}671$ km. الإشعال 2: $\sqrt{(GM/r_2)}(1 - \sqrt{(2r_1/(r_1 + r_2)))} = 1.47$ km/s. المجموع 3.90 km/s (إضافة إلى أي تغيير في المستوى).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: لا توجد جاذبية في المدار.
في الحقيقة: على ارتفاع 420 km تبقى الجاذبية 88% من قيمتها عند السطح. ويسقط الرواد والمحطة معًا.

خرافة: القمر الأثقل يحتاج إلى سرعة أكبر ليبقى في المدار نفسه.
في الحقيقة: $v = \sqrt{(GM/r)}$ لا تتضمن كتلة القمر.

خرافة: لتلحق بمركبة أمامك في المدار نفسه، زد سرعتك.
في الحقيقة: زيادة السرعة ترفع مدارك وتطيل دورتك فتتأخر. عليك أن تبطئ لتنزل إلى مدار أدنى وأسرع.

بطاقات تعليمية

قانون نيوتن للجاذبية

$F = Gm_1m_2/r^2$.

السرعة المدارية

$v = \sqrt{(GM/r)}$ للدائرة.

قانون كبلر الثالث

$T^2 \propto a^3$.

سرعة الإفلات

$v = \sqrt{(2GM/R)}$؛ 11.2 km/s من الأرض.

المدار الثابت بالنسبة للأرض

دورته يوم نجمي واحد، على ارتفاع نحو 35,790 km فوق خط الاستواء.

مناورة هوهمان

نصف قطع ناقص بإشعالين بين مدارين دائريين.

اختبار ذاتي

1. إذا ضاعفت بعدك عن مركز الأرض، تصبح الجاذبية...

½ في الشدة

¼ في الشدة

أقوى 2 مرات

دون تغيير

¼ في الشدة. التربيع العكسي: 1/4 = 1/2².

2. المدار الدائري الأدنى له...

دورة أطول وسرعة أقل

دورة أقصر وسرعة أكبر

دورة أطول وسرعة أكبر

الدورة نفسها

دورة أقصر وسرعة أكبر. v = √(GM/r) تزداد مع نقصان r، وT ∝ r^1.5 تنقص.

3. يعني قانون كبلر الثاني أن الكوكب يتحرك أسرع...

عند أبعد نقطة عن الشمس

عند أقرب نقطة إلى الشمس

بالسرعة نفسها في كل مكان

في الاعتدالين فقط

عند أقرب نقطة إلى الشمس. مساحات متساوية في أزمنة متساوية: قرب الشمس يكون نصف القطر قصيرًا، فلا بد أن يتحرك أسرع.

4. سرعة الإفلات من الأرض نحو...

7.9 km/s

11.2 km/s

3.1 km/s

30 km/s

√(2GM/R) = 11.2 km/s. 11.2 km/s، أي 2√ ضعف سرعة المدار المنخفض.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يطير قمرا GRACE-FO التوأمان على بُعد نحو 220 km أحدهما عن الآخر، ويقيسان تغيّر المسافة بينهما بدقة تقارب ميكرونًا واحدًا. فعندما يمر القمر الأمامي فوق كتلة إضافية، كخزان مياه جوفية كبير أو غطاء جليدي، تشده الجاذبية إلى الأمام قليلًا. ورسم خرائط هذه الشدّات شهرًا بعد شهر يبيّن أين تُستنزف المياه الجوفية وبأي سرعة تفقد الصفائح الجليدية كتلتها.

تساعد بيانات الجاذبية هذه في إدارة المياه أثناء الجفاف، وتساعد العلماء على تتبع ارتفاع مستوى سطح البحر، وهو أمر مهم للمجتمعات الساحلية والأراضي الرطبة على حد سواء.

اختيار المدار فيزياء أيضًا: المدارات المتزامنة مع الشمس مثل مدار Landsat 9 تكرّر ظروف الإضاءة لتُقارَن التغيرات على الأرض بإنصاف، والمدارات الثابتة بالنسبة للأرض تتيح لأقمار الطقس مراقبة العواصف باستمرار.

على GRACE-FO :Saving Planets · حاسبة السرعة المدارية · حاسبة مناورة هوهمان

المصادر: NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/) · ناسا: Landsat 9 (بالإنجليزية) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellite/landsat-9/)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 13.4 Satellite Orbits and Energy (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-4-satellite-orbits-and-energy): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 13.5 Kepler’s Laws of Planetary Motion (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-5-keplers-laws-of-planetary-motion): قوانين كبلر مشتقة ومطبقة.
- PhET: Gravity and Orbits (https://phet.colorado.edu/en/simulations/gravity-and-orbits): غيّر الكتل والسرعات وشاهد المدارات تتشكل.
- PhET: Kepler’s Laws (https://phet.colorado.edu/en/simulations/keplers-laws): استكشف القوانين الثلاثة.

أنهيت هذه الوحدة

الاهتزازات ومقدمة في الموائع

تتكرر حركة النوابض والبندولات حركةً توافقية بسيطة؛ والموائع تدفع بالضغط وترفع بالطفو والجريان.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- وصف الحركة التوافقية البسيطة وإيجاد الدورة والتردد والسرعة القصوى لنابض وبندول.
- شرح التخامد والرنين.
- حساب الضغط على عمق وقوة الطفو.
- استخدام معادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي للجريان المستقر.

المفاهيم الأساسية

- قوة الإرجاع المتناسبة مع الإزاحة (F = −kx) تعطي حركة توافقية بسيطة، x = A cos(ωt + ϕ).
- دورة كتلة على نابض لا تعتمد على السعة؛ ودورة البندول تعتمد فقط على طوله وg في الاهتزازات الصغيرة.
- يزداد الضغط في المائع مع العمق: P = P₀ + ρgh.
- أرخميدس: قوة الطفو تساوي وزن المائع المُزاح.
- في الجريان المستقر يتسارع المائع حيث يضيق الأنبوب (الاستمرارية)، والجريان الأسرع ضغطه أقل (برنولي).

المعادلات الأساسية

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$$

x(t)=A(ω t+)

الحركة التوافقية البسيطة

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

ω=k/m, T=2πm/k

كتلة على نابض

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T=2πL/g

البندول البسيط (زوايا صغيرة)

$$P = P_0 + \rho g h, \quad F_B = \rho_{fluid} V_{sub} g$$

P=P_0+ρ gh, F_B=ρ_fluidV_subg

الضغط على عمق والطفو

$$A_1 v_1 = A_2 v_2, \quad P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

A_1v_1=A_2v_2, P+12ρ v^2+ρ gh=const

الاستمرارية وبرنولي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 كتلة 0.50 kg على نابض k = 200 N/m تُسحب 5.0 cm ثم تُترك. أوجد ω والدورة والتردد والسرعة القصوى.

1. ω = √(k/m) = √(200 ÷ 0.50) = 20 rad/s.
2. T = 2π/ω = 0.314 s; f = 1/T = 3.18 Hz.
3. v_max = Aω = 0.050 × 20 = 1.0 m/s.

الإجابة: ω = 20 rad/s، T = 0.314 s، f = 3.18 Hz، v_max = 1.0 m/s.

مثال 8.2 ما دورة بندول طوله 1.00 m على الأرض، وعلى القمر (g = 1.62 m/s²)؟

1. الأرض: T = 2π√(1.00 ÷ 9.81) = 2.01 s.
2. القمر: T = 2π√(1.00 ÷ 1.62) = 4.94 s.

الإجابة: 2.01 s على الأرض، و4.94 s على القمر.

مثال 8.3 يجري الماء بسرعة 2.0 m/s في أنبوب أفقي قطره 4.0 cm يضيق إلى 2.0 cm. أوجد السرعة الجديدة وانخفاض الضغط.

1. تنخفض المساحة بمعامل ¼ = (2.0/4.0)²، إذن $v_2 = 4 \times 2.0 = 8.0$ m/s.
2. برنولي، أنبوب أفقي: $\Delta P = \tfrac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) = \tfrac{1}{2} \times 1{,}000 \times (64 - 4.0) = 30{,}000$ Pa.

الإجابة: 8.0 m/s وانخفاض في الضغط قدره 30 kPa.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ما الضغط الإضافي على عمق 10 m تحت سطح ماء البحر (ρ = 1,025 kg/m³)؟

ρgh = 1,025 × 9.81 × 10 = 100,600 Pa، أي نحو ضغط جوي إضافي واحد.

2. قطعة خشب كثافتها 600 kg/m³ تطفو في ماء عذب. ما الجزء المغمور منها؟

الطفو: ρ_wood V g = ρ_water V_sub g، إذن V_sub/V = 600/1,000 = 0.60.

3. يجب أن تكون دورة بندول 2.00 s بالضبط. ما الطول المطلوب؟

L = g(T/2π)² = 9.81 × (2.00 ÷ 6.283)² = 0.994 m.

4. لماذا يُطلب من الجنود كسر الخطوة عند عبور جسر؟

المشي بخطوة موحدة يدفع الجسر بتردد ثابت. فإذا طابق ترددًا طبيعيًا للجسر، قد يولّد الرنين اهتزازات كبيرة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: التأرجح الأكبر يجعل البندول أبطأ.
في الحقيقة: في الاهتزازات الصغيرة لا تعتمد الدورة على السعة، بل على L وg فقط.

خرافة: الأشياء الثقيلة تغرق والخفيفة تطفو.
في الحقيقة: الكثافة هي التي تقرر. تطفو السفينة الفولاذية لأن شكلها يزيح وزنًا من الماء يساوي وزنها.

خرافة: المائع الأسرع ضغطه أعلى.
في الحقيقة: في الجريان المستقر الأفقي، الجريان الأسرع ضغطه أقل (برنولي).

بطاقات تعليمية

الحركة التوافقية البسيطة

اهتزاز بقوة إرجاع ∝ الإزاحة؛ x = A cos(ωt + ϕ).

الدورة

زمن دورة واحدة؛ T = 1/f.

الرنين

استجابة كبيرة عند الدفع بتردد طبيعي.

الضغط

القوة لكل وحدة مساحة، P = F/A (Pa).

مبدأ أرخميدس

قوة الطفو = وزن المائع المُزاح.

معادلة برنولي

P + ½ρv² + ρgh ثابت على امتداد خط الانسياب في الجريان المستقر المثالي.

اختبار ذاتي

1. مضاعفة الكتلة على نابض أربع مرات تضرب الدورة في...

2

½

¼

2. $T \propto \sqrt{m}$، و$\sqrt{4} = 2$.

2. قوة الطفو على جسم مغمور تساوي...

وزنه نفسه

وزن المائع الذي يزيحه

ضغط المائع

صفر

وزن المائع الذي يزيحه. مبدأ أرخميدس.

3. يتسارع الماء حيث يضيق خرطوم بسبب...

الاستمرارية ($A_1v_1 = A_2v_2$)

الطفو

الرنين

الاحتكاك

الاستمرارية ($A_1v_1 = A_2v_2$). يجب أن يمر الحجم نفسه في الثانية عبر مساحة أصغر.

4. نُقلت ساعة بندول إلى القمر. إنها...

تتقدم

تتأخر

كما هي

إلى الوراء

تتأخر. g أقل تعطي دورة أطول، فتدق مرات أقل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

ينشأ الرفع على الجناح وعلى شفرة توربين الرياح من جريان الهواء أسرع على جانب واحد، مما يخفض الضغط هناك. ومعادلة برنولي هي الخطوة الأولى في تصميم شفرات وأجنحة تهدر طاقة أقل.

فيزياء الاهتزاز مهمة أيضًا لآلات الطاقة النظيفة: أي منشأة طويلة تُدفع بإيقاع منتظم، كبرج التوربين بدوّاره، قد تتراكم فيها اهتزازات كبيرة إذا طابق الدفع أحد ترددا‌تها الطبيعية (الرنين).

يقف ضغط الموائع والطفو أيضًا وراء علوم المحيطات، من العوامات التي تقيس أعماق المحيط إلى أقمار مثل Sentinel-6 التي تقيس مستوى سطح البحر لمساعدة المجتمعات الساحلية على التخطيط.

على Saving Planets: حاسبة دورة البندول · حاسبة معادلة الرفع · Sentinel-6B

المصادر: وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · NASA: Sentinel-6 sea level mission (بالإنجليزية) (https://sealevel.nasa.gov/missions/sentinel-6)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax University Physics 1, 15.1 Simple Harmonic Motion (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax University Physics 1, 15.4 Pendulums (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-4-pendulums): البندولات البسيطة والفيزيائية.
- OpenStax University Physics 1, 14.4 Archimedes' Principle and Buoyancy (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-4-archimedes-principle-and-buoyancy): الطفو مع أمثلة.
- OpenStax University Physics 1, 14.6 Bernoulli's Equation (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-6-bernoullis-equation): الجريان والضغط والرفع.
- PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab): الدورة والطول والكتلة والجاذبية.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): النوابض والطاقة والتخامد.
- PhET: Buoyancy (https://phet.colorado.edu/en/simulations/buoyancy): الكثافة وقوة الطفو.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): الضغط على عمق.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

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

1. القياس والمتجهات والحركة في بُعد واحد
   5 مسائل

2. الحركة في بُعدين: المقذوفات والدوائر
   4 مسائل
3. قوانين نيوتن والاحتكاك والديناميكا الدائرية
   5 مسائل
4. الشغل والطاقة والقدرة
   5 مسائل
5. كمية الحركة والتصادمات والصواريخ
   4 مسائل
6. الدوران والعزم وكمية الحركة الزاوية
   5 مسائل
7. الجاذبية والمدارات
   4 مسائل
8. الاهتزازات ومقدمة في الموائع
   4 مسائل

المختبر (PHYS 110L)

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

تختبر كل تجربة فكرة من المحاضرة بقياسات حقيقية، وتطلب منك كل واحدة ذكر الارتياب. فالنتيجة بلا ارتياب لا يمكن مقارنتها بتنبؤ. ولكل تجربة نسخة منزلية أو نسخة PhET.

مرجع السلامة: OSHA: السلامة في مكان العمل (بالإنجليزية) (https://www.osha.gov/)

التجربة A: القياس والارتياب (قياس g)

الأسبوع 1

الهدف: وقّت سقوط كرة من ارتفاع مقيس، وأوجد g، واذكر ارتيابًا صحيحًا.

$$g = \frac{2h}{t^2}, \qquad \frac{\delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\delta t}{t}\right)^2}$$

```
g=(2h)/(t^2), ( g)/(g)=(( h)/(h))^2+(2( t)/(t))^2
```

انشر الارتيابات النسبية تربيعيًا؛ الزمن مربّع، لذا يُحسب ارتيابه النسبي مرتين

الإجراء

1. قِس ارتفاع السقوط h من أسفل الكرة إلى الأرض؛ وقدّر δh (لشريط القياس نحو ±2 mm).
2. أسقط كرة كثيفة من السكون ووقّت سقوطها. فيديو بالحركة البطيئة على الهاتف أو تطبيق يعمل بالصوت أفضل من ساعة إيقاف يدوية.
3. كرر خمس مرات على الأقل.
4. أوجد متوسط الزمن والانحراف المعياري للعينة s والخطأ المعياري s/√N؛ واستخدم الخطأ المعياري بوصفه δt.
5. احسب g وδg، وقارن مع 9.81 m/s².

جدول البيانات

المحاولة	زمن السقوط (s)
1	0.55
2	0.56
3	0.54
4	0.55
5	0.56
المتوسط	0.552
الانحراف المعياري s	0.0084
الخطأ المعياري s/√5	0.0037

بيانات نموذجية للتدريب فقط. h = 1.500 ± 0.002 m.

مثال حسابي

1. g = 2h/t² = 2 × 1.500 ÷ 0.552² = 9.85 m/s².
2. الارتياب النسبي من الزمن: 0.0037 ÷ 0.552 × 2 = 1.36%. ومن الارتفاع: 0.002 ÷ 1.500 = 0.13%.
3. المجمّع: √(1.36² + 0.13²) = 1.36%، إذن δg = 9.85 × 0.0136 = 0.13 m/s².

4. النتيجة: $g = 9.85 \pm 0.13\ m/s^2$. القيمة المقبولة $9.81\ m/s^2$ تقع ضمن المدى، فهما متفقتان. ويهيمن التوقيت على الارتياب.

السلامة

- لا تُسقط الكرة إلا حيث لا يوجد أحد تحتها، وأبقِ الأرض خالية.
- قف على سطح متين، لا على كرسي، لتصل إلى ارتفاع الإسقاط.

بديل منزلي أو افتراضي

- نفّذها في البيت كما هي مكتوبة تمامًا باستخدام فيديو بالحركة البطيئة على الهاتف.
- أو استخدم محاكاة PhET Projectile Motion بسرعة إطلاق 0 للتحقق من التوقيت.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion) · دليل JCGM للارتياب (GUM) (بالإنجليزية) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

الصلة بالكوكب: لا ينجح علم GRACE-FO إلا لأن فريقه يعرف ارتياب كل مسافة يقيسها؛ ولا يُعتدّ بالتغير إلا إذا تجاوز ذلك الارتياب. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

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

التجربة B: حركة المقذوفات

الأسبوع 3

الهدف: قِس سرعة قاذف من رمية أفقية، ثم تنبأ بمكان سقوط رمية مائلة واختبره.

$$v_0 = \frac{x}{\sqrt{2h/g}}, \quad R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`v_0=2h/g, R=(v_0^22θ)/(g)`

سرعة الإطلاق من رمية أفقية، ثم المدى المتوقع

الإجراء

1. أطلق كرة أفقيًا من قاذف (أو دحرجها عن منحدر) على ارتفاع الطاولة h.
2. ألصق ورق كربون فوق ورق عادي حيث تهبط؛ نفّذ خمس رميات وقِس كل مسافة x.
3. أوجد متوسط x واحسب v_0.
4. تنبأ بمدى رمية بزاوية 30° من مستوى الأرض، وعلّم الموضع، واختبره بخمس رميات.
5. قارن التنبؤ بالنتيجة؛ واذكر مصادر الخطأ (مقاومة الهواء، ارتفاع الإطلاق، قراءة الزاوية).

جدول البيانات

الكمية	القيمة
ارتفاع الطاولة h	1.00 m
متوسط مسافة الهبوط x	2.26 m
زمن السقوط √(2h/g)	0.452 s
سرعة الإطلاق v_0	5.01 m/s
المدى المتوقع عند 30°	2.21 m

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. t = √(2 × 1.00 ÷ 9.81) = 0.452 s.
2. v_0 = 2.26 ÷ 0.452 = 5.01 m/s.
3. R(30°) = 5.01² × sin 60° ÷ 9.81 = 25.1 × 0.866 ÷ 9.81 = 2.21 m.
4. الفرق النسبي المئوي = |المقيس − المتوقع| ÷ المتوقع × 100%.

السلامة

- ارتدِ واقي العينين مع أي قاذف نابضي، ولا توجهه نحو أي شخص أبدًا.
- أبقِ منطقة الهبوط خالية.

بديل منزلي أو افتراضي

- دحرج كرة زجاجية عن طاولة وقِس x؛ وتخطَّ الجزء المائل أو استخدم محاكاة PhET له.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion)

الصلة بالكوكب: تُستخدم طريقة التنبؤ ثم الاختبار نفسها لتوقع مكان سقوط مرحلة صاروخ عائدة.

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

التجربة C: قانون نيوتن الثاني

الأسبوع 5

الهدف: إثبات أن التسارع يتناسب طرديًا مع القوة المحصلة وعكسيًا مع الكتلة.

$$a = \frac{m_h g}{m_c + m_h}$$

```
a=(m_hg)/(m_c+m_h)
```

عربة تسحبها كتلة معلقة عبر بكرة، مع إهمال الاحتكاك

الإجراء

1. سوِّ مسارًا أفقيًا. اربط عربة (كتلتها m_c) بخيط عبر بكرة إلى كتلة معلقة m_h.
2. أطلقها من السكون وسجّل الحركة بمستشعر أو فيديو أو بتوقيت مسافة معلومة (a = 2d/t²).
3. كرر مع خمس كتل معلقة، بنقل كتلة من العربة إلى الحامل ليبقى المجموع ثابتًا.
4. ارسم a مقابل m_h g. يجب أن يكون الميل 1/(m_c + m_h).
5. كرر مع كتلة إضافية على العربة لاختبار الاعتماد على الكتلة.

جدول البيانات

الكمية	القيمة
كتلة العربة m_c	0.500 kg
الكتلة المعلقة m_h	0.050 kg
a المتوقعة	0.892 m/s²
a المقيسة	0.86 m/s²

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. a المتوقعة = 0.050 × 9.81 ÷ 0.550 = 0.892 m/s².
2. القيمة المقيسة 0.86 m/s² أقل بنسبة 3.6%.
3. قوة الاحتكاك اللازمة لتفسير الفرق: 0.550 × (0.892 − 0.86) = 0.018 N، وهو احتكاك تدحرج معقول.

السلامة

- ضع مصدًّا لينًا في نهاية المسار وأبعد أصابعك عن البكرة.

بديل منزلي أو افتراضي

- استخدم PhET Forces and Motion: Basics (شاشة Acceleration) لتغيير القوة والكتلة.

PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics)

الصلة بالكوكب: F = ma هو سبب حاجة المركبات الأخف إلى طاقة أقل لتتسارع: كل كيلوغرام يُوفَّر يقلل القوة، والوقود، اللازمين.

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

التجربة D: الاحتكاك

الأسبوع 5

الهدف: قِس معاملي الاحتكاك السكوني والحركي بمنحدر قابل للإمالة.

$$\mu_s = \tan\theta_{slip}, \quad \mu_k = \tan\theta_{steady}$$

μ_s=θ_slip, μ_k=θ_steady

على المنحدر يوازن الاحتكاك mg sin θ حين N = mg cos θ

الإجراء

1. ضع قطعة على لوح وارفع أحد طرفيه ببطء حتى تبدأ القطعة بالانزلاق؛ وسجّل الزاوية θ_slip. كرر خمس مرات.
2. أوجد الزاوية التي تنزلق عندها القطعة، بعد نقرة، بسرعة ثابتة: θ_steady.
3. احسب μₛ وμₖ. كرر على سطح ثانٍ (لباد، مطاط).

جدول البيانات

الكمية	القيمة
كتلة القطعة	0.250 kg
متوسط زاوية الانزلاق	31°
متوسط زاوية الانزلاق المنتظم	24°
μₛ	0.60
μₖ	0.45

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. μₛ = tan 31° = 0.601.
2. μₖ = tan 24° = 0.445.
3. كما هو متوقع، μₖ < μₛ. ولا تظهر الكتلة: فهي تُختصر.

السلامة

- أبقِ المنحدر منخفضًا ومستقرًا؛ والتقط القطعة في الأسفل.

بديل منزلي أو افتراضي

- يكفي كتاب وتطبيق مقياس ميل على الهاتف ولوح من غلاف مقوّى.
- تتيح محاكاة PhET The Ramp ضبط الاحتكاك ومشاهدة القوى.

PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp)

الصلة بالكوكب: احتكاك التدحرج في الإطارات إحدى القوى التي تستهلك المركبة الطاقة ضدها عند كل سرعة؛ والتصاميم الأقل احتكاكًا توفر الوقود. وزارة الطاقة الأمريكية: مكتب تقنيات المركبات (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

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

التجربة E: حفظ الطاقة

الأسبوع 7

الهدف: قارن سرعة العربة المقيسة أسفل المنحدر بالسرعة التي يتنبأ بها حفظ الطاقة.

$$v = \sqrt{2gh}, \quad \text{fraction kept} = \frac{v_{meas}^2}{2gh}$$

```
v=2gh, fraction kept=_meas^22gh
```

السرعة المثالية لهبوط h، ومقدار ما بقي من الطاقة الميكانيكية

الإجراء

1. قِس الهبوط الرأسي h للمنحدر.
2. أطلق عربة قليلة الاحتكاك من السكون وقِس سرعتها في الأسفل (بوابة ضوئية، أو فيديو على مسافة قصيرة معلومة).
3. كرر خمس مرات وخذ المتوسط.
4. احسب السرعة المتوقعة وجزء الطاقة المتبقي؛ واشرح أين ذهب الباقي.

جدول البيانات

الكمية	القيمة
ارتفاع الهبوط h	0.300 m
السرعة المتوقعة	2.43 m/s
السرعة المقيسة (المتوسط)	2.35 m/s
الطاقة المتبقية	93.8%

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. $v = \sqrt{(2 \times 9.81 \times 0.300)} = 2.43$ m/s.
2. الجزء المتبقي $= 5.89 \div (2 \times 9.81 \times 0.300) = 5.52 \div 2.35^2 = 0.938$.
3. تحوّل نحو 6.2% من الطاقة الميكانيكية إلى حرارة وصوت بفعل الاحتكاك والمقاومة.

السلامة

- ثبّت المنحدر بمشبك وأوقف العربة في الأسفل.

بديل منزلي أو افتراضي

- دحرج كرة على منحدر من الكتب ووقّتها على مسار مستوٍ مقيس.
- تعرض محاكاة PhET Energy Skate Park مخططات الطاقة العمودية نفسها.

PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park)

الصلة بالكوكب: تتبُّع مسار الطاقة هو ما يجد به المهندسون مواضع التوفير، من الكبح المتجدد إلى التخزين بالضخ المائي. وزارة الطاقة الأمريكية: أساسيات المركبات الكهربائية (بالإنجليزية) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

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

التجربة F: كمية الحركة والتصادمات

الأسبوع 8

الهدف: اختبر حفظ كمية الحركة في التصادمات المرنة والالتصاقية، وقِس مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

```
m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_f
```

التصادم عديم المرونة تمامًا

الإجراء

1. على مسار أفقي، أرسل العربة 1 نحو العربة 2 الساكنة مع تقابل شريطي الفيلكرو لتلتصقا.
2. قِس السرعات قبيل التصادم وبعده مباشرة (مستشعر أو فيديو).
3. كرر مع تقابل مغناطيسات أو نوابض لارتداد شبه مرن.
4. في كل محاولة، قارن كمية الحركة الكلية والطاقة الحركية الكلية قبل وبعد.

جدول البيانات

الكمية	القيمة
$m_1 = m_2$	0.50 kg
v_1 قبل	0.80 m/s
v بعد المتوقعة (ملتصقتان)	0.40 m/s
v بعد المقيسة	0.39 m/s

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. p قبل $= 0.50 \times 0.80 = 0.40$ kg·m/s. p بعد $= 0.39$ kg·m/s $= 1.00 \times 0.39$، بفرق 2.5% (احتكاك أثناء الحركة).
2. K قبل $= \tfrac{1}{2} \times 0.50 \times 0.80^2 = 0.160$ J. K بعد $= \tfrac{1}{2} \times 1.00 \times 0.39^2 = 0.076$ J.
3. فُقد نحو نصف الطاقة الحركية، كما تتنبأ النظرية لكتلتين متساويتين تلتصقان (50% بالضبط في الحالة المثالية).

السلامة

- أبقِ السرعات منخفضة وأوقف العربات قبل نهاية المسار.

بديل منزلي أو افتراضي

- تتيح PhET Collision Lab ضبط المرونة من 0% إلى 100%.

PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab)

الصلة بالكوكب: استخدمت مهمة DART هذه الفيزياء نفسها على كويكب: تصادم مخطط ومقيس لتغيير مدار قُمَير. ناسا: مهمة DART (بالإنجليزية) (https://science.nasa.gov/mission/dart/)

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

التجربة G: القصور الدوراني

الأسبوع 10

الهدف: قِس عزم القصور الذاتي لقرص بكتلة ساقطة وقارنه بـ ½MR².

$$I = mr^2\left(\frac{g}{a} - 1\right), \quad a = \frac{2d}{t^2}$$

```
I=mr^2(g/a-1), a=(2d)/(t^2)
```

كتلة معلقة m بخيط ملفوف حول محور نصف قطره r

الإجراء

1. لُفّ خيطًا حول محور القرص (نصف قطره r) وعلّق منه كتلة m.
2. أطلقها من السكون ووقّت السقوط عبر ارتفاع d؛ كرر خمس مرات.
3. احسب a ثم I. قِس كتلة القرص M ونصف قطره R واحسب ½MR².
4. قارن. ثم أضف حلقة وانظر كم تزداد I.

جدول البيانات

الكمية	القيمة
الكتلة المعلقة m	0.050 kg
نصف قطر المحور r	0.025 m
مسافة السقوط d	0.800 m
متوسط زمن السقوط t	4.00 s
القرص M، R	1.50 kg, 0.064 m

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. a = 2 × 0.800 ÷ 4.00² = 0.100 m/s².
2. I = 0.050 × 0.025² × (9.81 ÷ 0.100 − 1) = 0.050 × 0.000625 × 97.1 = 3.03 × 10⁻³ kg·m².
3. ½MR² = ½ × 1.50 × 0.064² = 3.07 × 10⁻³ kg·m².
4. فرق 1.2%، ضمن ارتياب نصف القطر والتوقيت.

السلامة

- أبقِ الكتلة المعلقة منخفضة فوق وسادة هبوط لينة.

بديل منزلي أو افتراضي

- دحرج علبة حساء ممتلئة وأخرى فارغة على المنحدر نفسه وقارن الأزمنة؛ واشرح النتيجة بـ $K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

OpenStax 10.4 Moment of Inertia (بالإنجليزية) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy)

الصلة بالكوكب: عجلات رد الفعل التي توجّه أقمار رصد الأرض مصممة حول هذه الكمية بالضبط.

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

التجربة H: البندول والحركة التوافقية البسيطة

الأسبوع 13

الهدف: اختبر T = 2π√(L/g)، وبيّن أن الدورة لا تعتمد على الكتلة ولا على السعة الصغيرة، وقِس g بطريقة ثانية.

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

g=(4π^2L)/(T^2)

معادلة البندول بعد إعادة ترتيبها

الإجراء

1. علّق ثقلًا كثيفًا بخيط؛ وقِس L من نقطة التعليق إلى مركز الثقل.
2. اسحبه أقل من 10° ووقّت 20 تأرجحًا كاملًا؛ واقسم على 20 لتحصل على T.
3. كرر لخمسة أطوال. ارسم T² مقابل L: الميل هو 4π²/g.
4. غيّر كتلة الثقل والسعة (مع بقائها صغيرة) وتحقق من بقاء T ثابتًا.
5. اختياري: وقّت كتلة تهتز على نابض واختبر T = 2π√(m/k).

جدول البيانات

الكمية	القيمة
الطول L	0.800 m
زمن 20 تأرجحًا	35.9 s
الدورة T	1.795 s
g	9.80 m/s²

بيانات نموذجية للتدريب فقط.

مثال حسابي

1. T = 35.9 ÷ 20 = 1.795 s. توقيت 20 تأرجحًا يقسم خطأ زمن رد الفعل على 20.
2. g = 4π² × 0.800 ÷ 1.795² = 31.58 ÷ 3.222 = 9.80 m/s².
3. قارن مع التجربة A: طريقتان مستقلتان، والبندول أدق بكثير.

السلامة

- استخدم نقطة تعليق متينة وأرجح الثقل بعيدًا عن الوجوه.

بديل منزلي أو افتراضي

- يكفي مفتاح على رباط حذاء؛ ووقّته بالهاتف.

PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab) · PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs)

الصلة بالكوكب: المعرفة الدقيقة بـ g وبتغيراتها الطفيفة من مكان لآخر هي ما تحوّله مهمات الجاذبية مثل GRACE-FO إلى خرائط للمياه والجليد. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

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

مجموعات تدريب للامتحان

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

مجموعة تدريب لامتحان منتصف الفصل (الوحدات 4–1)

1. يتسارع صاروخ رأسيًا من السكون بمعدل 5.0 m/s² لمدة 20 s، ثم يتوقف محركه. ما أقصى ارتفاع يبلغه؟

   1. عند انطفاء المحرك: $v = 5.0 \times 20 = 100$ m/s؛ الارتفاع $= \tfrac{1}{2} \times 5.0 \times 20^2 = 1{,}000$ m.
   2. الصعود بالقصور: الارتفاع الإضافي $= v^2/2g = 100^2 \div 19.62 = 510$ m.

   الإجابة: 1,510 m، مع إهمال المقاومة.

2. تُركل كرة بسرعة 25 m/s بزاوية 40° فوق أرض مستوية. أوجد مداها وزمن طيرانها.

   1. $v_y = 25 \sin 40° = 16.1$ m/s؛ $t = 2 \times 16.1 \div 9.81 = 3.28$ s.
   2. $R = 25^2 \times \sin 80° \div 9.81 = 625 \times 0.985 \div 9.81 = 62.7$ m.

   الإجابة: 62.7 m في 3.28 s.

3. تُسحب مزلجة كتلتها 20 kg بسرعة ثابتة على الثلج ($\mu_k = 0.10$) بحبل أفقي. أوجد شد الحبل والشغل المبذول على 50 m.

   1. سرعة ثابتة: $T = \mu_k mg = 0.10 \times 20 \times 9.81 = 19.6$ N.
   2. $W = 19.6 \times 50 = 981$ J.

   الإجابة: 19.6 N؛ 981 J، تتحول كلها إلى حرارة بالاحتكاك.

4. تنزلق قطعة كتلتها 2.0 kg من السكون على مسار منحنٍ عديم الاحتكاك من ارتفاع 5.0 m ثم تضغط نابضًا ($k = 400$ N/m) على أرض مستوية. أوجد أقصى انضغاط.

   1. $mgh = \tfrac{1}{2}kx^2$.
   2. $x = \sqrt{(2 \times 2.0 \times 9.81 \times 5.0 \div 400)} = \sqrt{0.4905} = 0.700$ m.

   الإجابة: 0.700 m.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. تصطدم عربة كتلتها 3.0 kg بسرعة 4.0 m/s بعربة كتلتها 1.0 kg ساكنة وتلتصقان. أوجد السرعة النهائية وجزء الطاقة الحركية المفقود.

1. $v = 3.0 \times 4.0 \div 4.0 = 3.0$ m/s.
2. قبل K = 24 J؛ بعد $= \frac{1}{2} \times 4.0 \times 9.0 = 18$ J.

الإجابة: 3.0 m/s؛ ويُفقد 25% من الطاقة الحركية.

2. تتدحرج حلقة مجوفة وقرص مصمت متساويا الكتلة ونصف القطر من السكون على منحدر ارتفاعه 1.0 m. أوجد سرعة كل منهما في الأسفل.

1. الحلقة ($I = mr^2$): $mgh = mv^2$، إذن $v = \sqrt{(gh)} = 3.13$ m/s.
2. القرص ($I = \frac{1}{2}mr^2$): $mgh = \frac{3}{4}mv^2$، إذن $v = \sqrt{(4gh/3)} = 3.62$ m/s.

الإجابة: الحلقة 3.13 m/s، والقرص 3.62 m/s؛ يفوز القرص.

3. أوجد الدورة المدارية لقمر في مدار دائري على ارتفاع 1,336 km فوق الأرض.

1. $r = 6{,}371 + 1{,}336 = 7{,}707$ km.
2. $T = 2\pi\sqrt{(r^3/GM)} = 2\pi\sqrt{((7.707 \times 10^6)^3 \div 3.986 \times 10^{14})} = 6{,}733$ s.

الإجابة: نحو 112 دقيقة.

4. كتلة 0.20 kg على نابض تهتز بدورة 0.50 s وسعة 0.10 m. أوجد k والسرعة القصوى.

1. $\omega = 2\pi \div 0.50 = 12.57$ rad/s.
2. $k = m\omega^2 = 0.20 \times 158.0 = 31.6$ N/m.
3. $v_{max} = A\omega = 0.10 \times 12.57 = 1.26$ m/s.

الإجابة: $k = 31.6$ N/m؛ $v_{max} = 1.26$ m/s.

5. عوامة حجمها 1.0 m³ وكتلتها 400 kg مثبتة مغمورة كليًا في ماء البحر ($\rho = 1{,}025$ kg/m³) بكابل إلى القاع. أوجد شد الكابل.

1. قوة الطفو $= 1{,}025 \times 1.0 \times 9.81 = 10{,}060$ N.
2. الوزن $= 400 \times 9.81 = 3{,}920$ N.
3. الشد $= 10{,}060 - 3{,}920 = 6{,}130$ N.

الإجابة: نحو 6,130 N.

ورقة الصيغ

$$v = dx/dt,\ a = dv/dt$$

$$x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$R = v_0^2 \sin 2\theta / g$$

$$a_c = v^2/r = \omega^2 r$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2,\ U_g = mgh,\ U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

$$P = dW/dt = Fv$$

$$\vec{p} = m\vec{v},\ \vec{J} = \Delta\vec{p}$$

$$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$$

$$\tau = rF\sin\theta = I\alpha$$

$$L = I\omega,\ K_{rot} = \tfrac{1}{2}I\omega^2$$

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

$$v_{orb} = \sqrt{GM/r},\ v_{esc} = \sqrt{2GM/R}$$

$$T^2 = 4\pi^2 a^3/GM$$

$$T_{spring} = 2\pi\sqrt{m/k},\ T_{pend} = 2\pi\sqrt{L/g}$$

$$P = P_0 + \rho gh,\ F_B = \rho V g$$

$$A_1v_1 = A_2v_2,\ P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}$$

الثوابت

الثابت	القيمة
ثابت الجذب، G	6.674 × 10⁻¹¹ N·m²/kg²
الجاذبية القياسية، g	9.81 m/s² (9.80665 m/s² بالتعريف)
كتلة الأرض	5.972 × 10²⁴ kg (صحيفة بيانات الأرض من NASA)
متوسط نصف قطر الأرض	6,371 km (صحيفة بيانات الأرض من NASA)
GM للأرض	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
اليوم النجمي	86,164 s
كثافة الماء العذب	1,000 kg/m³؛ ماء البحر نحو 1,025 kg/m³
كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر، 15 °C	1.225 kg/m³

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

بيانات مرجعية

استخدم مصادر البيانات الرسمية المجانية هذه إلى جانب المقرر.

- صحيفة بيانات الأرض من NASA (بالإنجليزية) (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html): بيانات كتلة الأرض ونصف قطرها وجاذبيتها ومدارها (وروابط لكواكب أخرى).

- وحدات SI من NIST (بالإنجليزية) (https://www.nist.gov/pml/owm/metric-si/si-units): الوحدات الأساسية السبع في SI وكيفية تعريفها.
- منشورات JCGM (GUM) (بالإنجليزية) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications): الدليل الدولي للتعبير عن ارتياب القياس.

مسرد المصطلحات

التسارع
معدل تغير السرعة، dv/dt.

السعة
أقصى إزاحة عن الاتزان في الاهتزاز.

كمية الحركة الزاوية
L = Iω؛ محفوظ في غياب عزم خارجي.

قوة الطفو
قوة إلى أعلى من المائع تساوي وزن المائع المُزاح.

مركز الكتلة
متوسط موضع النظام مرجّحًا بالكتل.

القوة المحافظة
قوة لا يعتمد شغلها على المسار، كالجاذبية أو النابض.

الإزاحة
التغير في الموضع، وهو متجه.

التصادم المرن
تصادم يحفظ الطاقة الحركية.

سرعة الإفلات
أدنى سرعة لمغادرة جاذبية جرم دون دفع إضافي.

مخطط الجسم الحر
مخطط لجميع القوى المؤثرة في جسم واحد.

التردد
دورات في الثانية (Hz)؛ f = 1/T.

المدار الثابت بالنسبة للأرض
مدار استوائي دورته يوم نجمي واحد.

الدفع
القوة مكاملة عبر الزمن؛ تساوي التغير في كمية الحركة.

القصور الذاتي
مقاومة تغير الحركة؛ تُقاس بالكتلة.

الطاقة الحركية
طاقة الحركة، ½mv².

عزم القصور الذاتي
القصور الدوراني، Σmr².

كمية الحركة
p = mv.

النيوتن
وحدة القوة في SI، kg·m/s².

الدورة
زمن دورة واحدة أو مدار واحد.

القدرة
معدل نقل الطاقة، بالواط.

الضغط
القوة لكل وحدة مساحة، بالباسكال.

الرنين
اهتزاز كبير عند الدفع بتردد طبيعي.

الخطأ المعياري
الانحراف المعياري للمتوسط، s/√N.

مدار متزامن مع الشمس
مدار شبه قطبي يمر فوق كل مكان في الوقت الشمسي المحلي نفسه تقريبًا.

العزم
الأثر الدوراني للقوة، rF sin θ.

الارتياب
مدى مقدَّر حول قيمة مقيسة يُرجَّح أنه يحوي القيمة الحقيقية.

المتجه
كمية لها مقدار واتجاه.

الوزن
قوة الجاذبية على كتلة، mg.

الشغل
الطاقة المنقولة بقوة عبر إزاحة.

معايير التقييم الذاتي

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

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يحل مسائل جديدة غير مألوفة حلًا صحيحًا، ويبدأ بمخطط ومبدأ (نيوتن أو الطاقة أو كمية الحركة)، ويتحقق من الوحدات والحالات الحدية.
3 · متمكن	يحل مسائل التدريب بوحدات صحيحة وأرقام معنوية معقولة؛ مع هفوات عرضية.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يجد صعوبة في اختيار طريقة لمسائل جديدة، أو يخلط بين المتجهات والكميات القياسية.

المستوى	كيف يبدو
١ · مبتدئ	يعوّض الأرقام في الصيغ دون مخطط؛ ويحتاج إلى مراجعة الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	30%
تقارير المختبر (أو المختبرات الافتراضية)	20%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	20%
مجموعة التدريب النهائية	30%

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

دورات ذات صلة

- الكيمياء العامة + 1 المختبر CHEM 110 + CHEM 110L
- التفاضل والتكامل 1 MATH 110
- التفاضل والتكامل 2 MATH 111
- كل الدورات