آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 2, الربيع · 🔳 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 مقرر ديناميكا هندسية لفصل دراسي واحد في السنة الثانية. وهو مبني على موضوعات وعمق MIT 2.003 Engineering Dynamics وMIT 8.01 Classical Mechanics (وكلاهما على MIT OpenCourseWare)، وPurdue ME 274 وديناميكا Georgia Tech، وعلى الكتاب المجاني OpenStax University Physics Volume 1 الذي نحيل إليه في كل المقرر. ولا يتبنى أيٌّ من هؤلاء المؤلفين أو المؤسسات هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي في الطاقة النظيفة أو رصد الأرض أو الدفاع الكوكبي مع مصدر عام موثق (السيارات الكهربائية، ومحطة الفضاء، وGRACE-FO، والتخزين بالضخ، واختبار الكويكب DART من NASA، والصواريخ، وتوربينات الرياح والمياه، والمباني المقاومة للزلازل)، وكل رقم في الصفحة يُعاد حسابه بنص برمجي للتحقق قبل نشره، ولكل تجربة محاكاة مجانية أو نسخة منزلية رخيصة.

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

الديناميكا هي فيزياء كل آلة تنقل الطاقة. فالسيارات الكهربائية تحوّل طاقة البطارية إلى حركة وتستعيد جزءًا منها، وتوربينات المياه والرياح أجسام جاسئة دوارة، ومحطات التخزين بالضخ تخزّن الطاقة برفع الماء، والأقمار الصناعية التي تراقب مياه الأرض ومناخها تبقى في الأعلى لأنها تظل تسقط حولها.

وهي أيضًا وسيلتنا لحماية الكوكب: فقد استخدمت مهمة DART التابعة لـNASA كمية الحركة لتغيير مدار كويكب، ويستخدم المهندسون نظرية الاهتزاز لإبقاء المباني قائمة في الزلازل. وتنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق المصادر. والقيم التي لا تأتي من مصدر موسومة بأنها قيم توضيحية.

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 (ENGR 212).
- 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

- الاستاتيكا: مخططات الجسم الحر والعزوم والمراكز الهندسية.
- الفيزياء I: قوانين نيوتن والطاقة وكمية الحركة.
- التفاضل والتكامل I وII: المشتقات والتكاملات والمعادلات التفاضلية البسيطة.
- مقرر المعادلات التفاضلية يساعد في الوحدة 10 (الاهتزاز) لكنه غير مطلوب؛ فالحلول اللازمة معطاة.

كيف تذاكر

- ابدأ بالكينماتيكا: ما المعلوم عن الموضع والسرعة والتسارع، وبأي إحداثيات؟
- ارسم مخطط الجسم الحر والمخطط الحركي (ma وIα) جنبًا إلى جنب.
- اختر الطريقة المناسبة: F = ma للتسارعات، والشغل-الطاقة للسرعات بين موضعين، والدفع-كمية الحركة للقوى عبر الزمن والتصادمات.
- حل بالرموز أولًا، ثم عوّض بقيم SI، وتحقق من الوحدات والحالات الحدية.
- حلّ كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة.
- أعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام؛ فالتدرب المتباعد يتفوق على جلسة واحدة طويلة.

ماذا تحتاج

- حاسوب أو جهاز لوحي لمحاكاة PhET المجانية (تعمل في المتصفح).
- هاتف ذكي بكاميرا تصوير بطيء أو تطبيق مستشعرات مجاني (مقياس تسارع، ساعة إيقاف).
- لوح أو كتاب طويل لعمل منحدر، وشريط قياس، وكرة، وعلبة حساء، وعلبة فارغة، وحلقة أو طوق للدحرجة.
- خيط وثقل صغير (صامولة أو حلقات معدنية) ومسطرة لبندول.
- بضعة أربطة مطاطية أو نابض لين وكتل صغيرة (عملات في كيس) لمذبذب كتلة-نابض.
- 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	كينماتيكا الجسيمات في خط مستقيم	الموضع والسرعة والتسارع؛ التسارع الثابت	OpenStax UP1 3.1–3.4
2	كينماتيكا الجسيمات في خط مستقيم	التسارع المتغير، a(x) وa(v)؛ المختبر A	UP1 3.6
3	الحركة المنحنية: المقذوفات والإحداثيات العمودية–المماسية والقطبية	المقذوفات، والعمودي–المماسي، والقطبي، والحركة النسبية؛ المختبر B	UP1 4.1–4.5
4	كيناتيكا الجسيمات: قانون نيوتن الثاني	قانون نيوتن الثاني، والاحتكاك، والأجسام المتصلة	UP1 5.1–6.2
5	كيناتيكا الجسيمات: قانون نيوتن الثاني	المنعطفات، والإمالة، والمدارات	UP1 6.3, 13.4
6	الشغل والطاقة والقدرة	الشغل، والطاقة، والحفظ، والقدرة والكفاءة	UP1 7.1–8.3
7	الدفع وكمية الحركة والتصادم	الدفع، وكمية الحركة، والتصادم، وكمية الحركة الزاوية؛ المختبر C؛ تدريب لامتحان منتصف الفصل	UP1 9.1–9.4
8	أنظمة الجسيمات والكتلة المتغيرة: النفاثات والصواريخ	أنظمة الجسيمات، والنفاثات، والصواريخ	UP1 9.5–9.7
9	الكينماتيكا المستوية للأجسام الجاسئة	دوران الأجسام الجاسئة، والتروس، والسرعة النسبية	UP1 10.1–10.3
10	الكينماتيكا المستوية للأجسام الجاسئة	المراكز اللحظية، والتسارع النسبي، والتدحرج	UP1 11.1
11	الكيناتيكا المستوية للأجسام الجاسئة: القوة والكتلة والتسارع	عزوم القصور الذاتي، ومعادلات الحركة المستوية، والتدحرج؛ المختبر D	UP1 10.4–10.7
12	الأجسام الجاسئة: طرق الطاقة وكمية الحركة	طاقة الأجسام الجاسئة، والقدرة، وكمية الحركة الزاوية	UP1 10.8, 11.2–11.3
13	الاهتزازات الميكانيكية	الاهتزاز الحر، والبندولات، وطريقة الطاقة؛ المختبر E	UP1 15.1–15.4
14	الاهتزازات الميكانيكية	الاهتزاز المخمَّد والقسري، والرنين؛ المختبر F	UP1 15.5–15.6
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

كينماتيكا الجسيمات في خط مستقيم

الموضع والسرعة والتسارع كمشتقات، والتسارع الثابت، والتسارع المعطى دالةً للزمن أو السرعة أو الموضع، والمسافة مقابل الإزاحة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اربط x وv وa بالاشتقاق والتكامل.
- استخدم معادلات التسارع الثابت استخدامًا صحيحًا.
- حل مسائل a(x) باستخدام v dv = a dx.
- ميّز المسافة الكلية من الإزاحة.

المفاهيم الأساسية

- السرعة v = dx/dt والتسارع a = dv/dt = d²x/dt². والتكامل يسير في الاتجاه المعاكس.
- لا تصح v = v₀ + at وx = x₀ + v₀t + ½at² وv² = v₀² + 2a(x − x₀) إلا حين يكون a ثابتًا.
- إذا أُعطي a دالةً للموضع فاستخدم a dx = v dv؛ وإذا كان دالةً للسرعة فاستخدم dt = dv/a(v).
- المسافة المقطوعة تحسب كل مرحلة؛ قسّم الحركة عند v = 0 واجمع الأطوال.
- الإشارات مهمة: اختر اتجاهًا موجبًا والتزم به؛ والتباطؤ يعني أن a وv مختلفتا الإشارة.

المعادلات الأساسية

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

v=dx/dt, a=dv/dt

التعريفات

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

v=v_0+at, x=x_0+v_0t+12at^2

التسارع الثابت

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

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

التسارع الثابت دون الزمن

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

a dx=v dv

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 جسيم يتحرك وفق $x = t^3 - 6t^2 + 9t$ (m, s). أوجد متى يتوقف، وv وa عند $t = 2$ s، والمسافة المقطوعة من 0 إلى 4 s.

1. $v = 3t^2 - 12t + 9 = 0$ عند $t = 1$ s و$t = 3$ s؛ $a = 6t - 12$.
2. At $t = 2$ s: $v = -3$ m/s, $a = 0$.
3. $x(0) = 0$، $x(1) = 4$، $x(3) = 0$، $x(4) = 4$، إذن مراحل $4 + 4 + 4$ m.

الإجابة: يتوقف عند 1 s و3 s؛ $v = -3$ m/s، و$a = 0$ عند 2 s؛ يقطع 12 m (الإزاحة 4 m).

مثال 1.2 سيارة تبدأ من السكون وتتسارع بمعدل 3 m/s² مدة 8 s. أوجد سرعتها والمسافة المقطوعة.

1. $v = at = 3 \times 8$.
2. $x = \tfrac{1}{2}at^2 = \tfrac{1}{2} \times 3 \times 64$.

الإجابة: 24 m/s و96 m.

مثال 1.3 سيارة سرعتها 30 m/s تكبح بتباطؤ 6 m/s². أوجد مسافة التوقف وزمنه.

1. $x = v_0^2/(2a) = 900/12$.
2. $t = v_0/a$.

الإجابة: 75 m في 5 s.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. تُقذف كرة رأسيًا إلى أعلى بسرعة 15 m/s. أوجد أقصى ارتفاع والزمن اللازم لبلوغه.

   $h = v^2/(2g) = 11.47$ m; $t = v/g = 1.529$ s.

2. جسيم يبدأ من السكون عند $x = 0$ مع $a = 2x$ (m/s²). أوجد v عند $x = 3$ m.

   $v\,dv = 2x\,dx$ تعطي $v^2 = 2x^2$، $v = \sqrt{2} \times 3 = 4.24$ m/s.

3. قيم توضيحية: سيارة كهربائية تنتقل من 0 إلى 27 m/s (نحو 100 km/h) في 6 s. أوجد متوسط تسارعها.

   $a = 27/6 = 4.5$ m/s² (قيم توضيحية).

4. حجر أُسقط في بئر يصل إلى الماء بعد 2.5 s. ما عمق سطح الماء (أهمل زمن انتقال الصوت)؟

.h = ½gt² = 30.7 m

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: السرعة الصفرية تعني تسارعًا صفريًا.
في الحقيقة: عند قمة القذف تكون v = 0 لكن a = −g.

خرافة: المسافة والإزاحة شيء واحد.
في الحقيقة: ليس حين يعكس الجسيم اتجاهه؛ قسّم عند v = 0.

خرافة: صيغ التسارع الثابت تصلح دائمًا.
في الحقيقة: فقط حين يكون a ثابتًا؛ وإلا فكامِل.

بطاقات تعليمية

السرعة

.v = dx/dt

التسارع

.a = dv/dt

a ثابت

.x = v₀t + ½at² ؛v = v₀ + at

معادلة بلا زمن

.v² = v₀² + 2aΔx

a(x)

.a dx = v dv

المسافة

قسّم الحركة حيث v = 0.

اختبار ذاتي

1. التسارع مشتقة...

الموضع

السرعة

المسافة

القوة

.a = dv/dt السرعة.

2. عند قمة القذف الرأسي يكون التسارع…

0

g إلى أسفل

g إلى أعلى

السرعة القصوى

g إلى أسفل. الجاذبية لا تتوقف أبدًا.

3. مضاعفة السرعة تضرب مسافة الكبح (بنفس a) في…

2

4

2√

1

.4. $x = v^2/(2a)$

4. إذا أُعطي a دالةً لـ x فاستخدم…

$v = at$

$a\,dx = v\,dv$

$x = vt$

$F = ma$ فقط

$a\,dx = v\,dv$. قاعدة السلسلة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

كل تغيير في السرعة يكلّف طاقة، ومصدر تلك الطاقة مهم. يذكر FuelEconomy.gov (DOE/EPA) أن المركبات الكهربائية تحوّل أكثر من 77% من الطاقة الكهربائية الآتية من الشبكة إلى قدرة عند العجلات، بينما لا تحوّل مركبات البنزين التقليدية إلا نحو 12% إلى

30% من طاقة البنزين. وكينماتيكا هذه الوحدة، أي مدى سرعة تسارع السيارة والمسافة التي تكبح فيها، هي نقطة البداية لنماذج دورات القيادة المستخدمة في تقييم كفاءة المركبات.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml) · OpenStax UP1, 3.4 Motion with constant acceleration (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 3.1 Position, displacement and average velocity (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 3.4 Motion with constant acceleration (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration): معادلات a الثابت.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): محاضرات ومسائل MIT.

شاهد المحاضرة

Kinematics: describing the motion of particles and rigid bodies (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/kinematics-describing-the-motion-of-particles-and-rigid-bodies/) (باللغة الإنجليزية)

الترخيص: MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. 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

الحركة المنحنية: المقذوفات والإحداثيات العمودية–المماسية والقطبية

الحركة في مستوى: المركبات المتعامدة والمقذوفات، والمركبتان العمودية والمماسية على المسارات المنحنية، والإحداثيات القطبية للأذرع الدوارة، والحركة النسبية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حل مسائل المقذوفات بحركتين مستقلتين في x وy.
- أوجد التسارعين المماسي والعمودي على مسار منحنٍ.
- استخدم المركبات القطبية للحركة على امتداد ذراع دوار.
- اجمع السرعات النسبية.

المفاهيم الأساسية

- للمقذوف a_x = 0 وa_y = −g (دون مقاومة الهواء)؛ والزمن يربط الاتجاهين.
- على المسار المنحني، a_t = dv/dt يغيّر مقدار السرعة، وa_n = v²/ρ يتجه نحو مركز الانحناء ويغيّر الاتجاه.
- في الإحداثيات القطبية a_r = r̈ − rθ̇² وa_θ = rθ̈ + 2ṙθ̇؛ والحد 2ṙθ̇ هو جزء كوريوليس.
- الحركة النسبية: v_A = v_B + v_A/B، والأمر نفسه للتسارعات (لأُطر متنقلة انتقالًا).
- القمر الصناعي في مدار دائري ليس له إلا تسارع عمودي: يسقط نحو الأرض بمقدار v²/r بينما يتحرك جانبيًا بسرعة تكفي لتفاديها.

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

المقذوف

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

R=(v_0^22θ)/(g)

المدى على أرض مستوية

$$a_t = \dot{v}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

a_t= v, a_n=(v^2)/(ρ)

العمودي–المماسي

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2, \quad a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$$

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 تُطلق كرة بسرعة 20 m/s وبزاوية 30° فوق أرض مستوية. أوجد المدى وأقصى ارتفاع وزمن الطيران.

1. $v_x = 17.32$ m/s, $v_y = 10$ m/s.
2. الزمن $= 2v_y/g$؛ الارتفاع $= v_y^2/(2g)$؛ $R = v_0^2 \sin 60°/g$.

الإجابة: $R = 35.3$ m, $h = 5.10$ m, $t = 2.04$ s.

مثال 2.2 سيارة بسرعة 25 m/s على منعطف نصف قطره 100 m تتباطأ بمعدل 2 m/s². أوجد تسارعها الكلي.

1. $a_n = 25^2/100 = 6.25$ m/s²; $a_t = -2$ m/s².
2. $|a| = \sqrt{(6.25^2 + 2^2)}$.

الإجابة: 6.56 m/s².

مثال 2.3 طوق ينزلق إلى الخارج على ذراع بسرعة 0.3 m/s (ثابتة) بينما يدور الذراع بسرعة ثابتة 2 rad/s. أوجد تسارعه عندما $r = 0.5$ m.

1. $a_r = 0 - 0.5 \times 2^2 = -2.0$ m/s².
2. $a_\theta = 0 + 2 \times 0.3 \times 2 = 1.2$ m/s².

الإجابة: $|a| = 2.33$ m/s².

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. تقول NASA إن المحطة تدور حول الأرض كل 90 دقيقة تقريبًا. باستخدام نصف قطر مداري توضيحي 6791 km (ارتفاع 420 km)، أوجد سرعتها وتسارعها العمودي.

   $v = 2\pi r/T = 7902$ m/s (تذكر NASA نحو 5 أميال في الثانية، 8.0 km/s)؛ $a_n = v^2/r = 9.19$ m/s².

2. قارب يتجه شمالًا بسرعة 4 m/s في تيار يجري شرقًا بسرعة 3 m/s. أوجد سرعته بالنسبة إلى الأرض.

   5 m/s بزاوية 36.9° شرق الشمال.

3. أي زاوية إطلاق تعطي أكبر مدى على أرض مستوية (دون مقاومة)؟

45°، حيث sin 2θ = 1.

4. أوجد التسارع العمودي لسيارة بسرعة 15 m/s على منعطف نصف قطره 50 m.

$a_n = 225/50 = 4.5\ m/s^2$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الجسم المتحرك بسرعة ثابتة المقدار ليس له تسارع.
في الحقيقة: على المنعطف له $a_n = v^2/\rho$.

خرافة: السرعة الأفقية للمقذوف تتناقص أثناء الطيران.
في الحقيقة: دون مقاومة يبقى v_x ثابتًا.

خرافة: يطفو رواد الفضاء لأنه لا توجد جاذبية في المدار.
في الحقيقة: الجاذبية هناك ما تزال قوية: $(6371/6791)^2 = 88\%$ من جاذبية السطح عند ارتفاع توضيحي 420 km. وهم يطفون لأنهم في سقوط حر مع المحطة.

بطاقات تعليمية

المقذوف

$a_x = 0, a_y = -g$.

المدى

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

المماسي

$a_t = dv/dt$.

العمودي

$a_n = v^2/\rho$.

القطبي

$a_r = r - r\dot{\theta}^2, a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$.

السرعة النسبية

$v_A = v_B + v_{A/B}$.

اختبار ذاتي

1. لمقذوف دون مقاومة يكون a_x...

- g
- 0
- −g

v^2/r

0. لا تؤثر إلا الجاذبية، رأسيًا.

2. التسارع العمودي على منعطف...

dv/dt

v^2/ρ

$r\dot{\theta}$

0

v^2/ρ. يغيّر الاتجاه.

3. الحد $2\dot{r}\dot{\theta}$ في الإحداثيات القطبية هو...

الحد المركزي

حد كوريوليس

حد المقاومة

الحد المماسي

حد كوريوليس. كوريوليس.

4. مضاعفة السرعة على المنعطف نفسه تضرب a_n في...

2

4

½

1

.4. v^2

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تُظهر محطة الفضاء الحركة المنحنية في أقصى صورها. تقول NASA إنها تسير بسرعة خمسة أميال في الثانية، وتدور حول الأرض كل 90 دقيقة تقريبًا فتُتم 16 مدارًا في 24 ساعة، وإن مسارها يمر فوق 90 بالمئة من سكان الأرض؛ وقد التقط روادها ملايين الصور للكوكب. والتوازن نفسه للتسارع العمودي يُبقي كل قمر صناعي لرصد الأرض في مداره.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/) · OpenStax UP1, 4.4 Uniform circular motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 4.3 Projectile motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-3-projectile-motion): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 4.4 Uniform circular motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion): الحركة الدائرية.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): تفاعلي.
- PhET: Ladybug Motion 2D (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ladybug-motion-2d): متجهات السرعة والتسارع.

شاهد المحاضرة

Definition of normal and tangential coordinates (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/definition-of-normal-and-tangential-coordinates/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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**

كيناتيكا الجسيمات: قانون نيوتن الثاني

ΣF = ma في الإحداثيات المتعامدة والعمودية–المماسية والقطبية، والاحتكاك والأجسام المتصلة، والمنعطفات المائلة، والمدارات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ارسم مخططات الجسم الحر والمخططات الحركية.
- طبّق ΣF = ma مع الاحتكاك والأجسام المتصلة.
- حل مسائل المنعطفات والإمالة بالمركبات العمودية–المماسية.
- أوجد سرعات المدارات الدائرية.

المفاهيم الأساسية

- قانون نيوتن الثاني: ΣF = ma في إطار قصوري. اكتبه بالإحداثيات التي تناسب الحركة.
- الاحتكاك الحركي أثناء الانزلاق μ_kN، معاكس لاتجاه الانزلاق.
- الأجسام المتصلة تتشارك التسارعات عبر القيود (حبل ثابت الطول، بكرة)؛ اكتب معادلة لكل جسم.
- على المنعطف توفر القوة العمودية المحصلة mv²/ρ؛ والإمالة تتيح لقوة رد الفعل العمودية توفيرها دون احتكاك.
- في المدار الدائري توفر الجاذبية القوة العمودية: GMm/r² = mv²/r، إذن v = √(GM/r).

المعادلات الأساسية

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

```
F=m a
```

قانون نيوتن الثاني

$$\sum F_n = \frac{mv^2}{\rho}, \quad \sum F_t = m\dot{v}$$

```
F_n=(mv^2)/(ρ), F_t=m v
```

العمودي–المماسي

$$v = \sqrt{g\rho \tan\theta}$$

منعطف مائل دون احتكاك

$$v = \sqrt{GM/r}$$

المدار الدائري

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 سيارة كتلتها 1200 kg تنزلق حتى تتوقف من 25 m/s مع $\mu_k = 0.7$. أوجد التباطؤ ومسافة التوقف.

1. $a = \mu_k g = 6.87\ \text{m/s}^2$ (تُحذف الكتلة).
2. $x = v^2/(2a) = 625/13.73$.

الإجابة: $6.87\ \text{m/s}^2$؛ $45.5\ \text{m}$.

مثال 3.2 كتلتان 5 kg و3 kg معلقتان على جانبي بكرة خفيفة عديمة الاحتكاك. أوجد التسارع وشد الحبل.

1. $a = (5 - 3)g/(5 + 3)$.
2. $T = 2m_1m_2g/(m_1 + m_2)$.

الإجابة: $a = 2.45\ \text{m/s}^2$؛ $T = 36.8\ \text{N}$.

مثال 3.3 منعطف نصف قطره 80 m مائل بزاوية 15°. عند أي سرعة لا يلزم احتكاك؟

1. $v = \sqrt{(g\rho \tan 15°)} = \sqrt{(9.81 \times 80 \times 0.268)}$.

الإجابة: 14.5 m/s (52 km/h).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. كتلة 10 kg تُدفع بقوة 50 N على أرضية مع $\mu_k = 0.3$. أوجد تسارعها.

   $a = (50 - 29.4)/10 = 2.06\ \text{m/s}^2$.

2. شخص كتلته 70 kg يقف في مصعد يتسارع إلى أعلى بمعدل $1.5\ \text{m/s}^2$. أوجد قوة الأرضية.

   $N = m(g + a) = 792\ \text{N}$.

3. أوجد سرعة المدار الدائري عند نصف قطر توضيحي ($GM = 3.986 \times 10^{14}\ \text{m}^3/\text{s}^2$) 6791 km.

   $v = \sqrt{(GM/r)} = 7{,}661\ \text{m/s}$.

4. أوجد السرعة القصوى على منعطف مستوٍ نصف قطره 50 m مع $\mu_s = 0.8$.

   $v = \sqrt{(\mu_s g\ r)} = 19.8\ \text{m/s}$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الجسم المتحرك يحتاج إلى قوة محصلة ليستمر في الحركة.

في الحقيقة: فقط لتغيير سرعته.

خرافة: ma قوة في مخطط الجسم الحر.

في الحقيقة: ma هي النتيجة، وتُرسم في المخطط الحركي.

خرافة: القوة الطاردة المركزية تدفعك إلى الخارج في المنعطف.

في الحقيقة: في إطار قصوري، القوة المحصلة نحو الداخل هي ما يجعلك تنعطف؛ ولا شيء يدفع إلى الخارج.

بطاقات تعليمية

القانون الثاني

$\Sigma F = ma$.

المخطط الحركي

يُظهر ma (ولاحقًا Iα).

الاحتكاك الحركي

$\mu_k N$، معاكس للانزلاق.

آلة أتوود

$a = (m_1 - m_2)g/(m_1 + m_2)$.

منعطف مائل

$v = \sqrt{(g\rho \tan \theta)}$.

المدار الدائري

$v = \sqrt{(GM/r)}$.

اختبار ذاتي

1. قانون نيوتن الثاني يصح في...

أي إطار

إطار قصوري

على الأرض فقط

للجسيمات الساكنة فقط

إطار قصوري. الأطر غير القصورية تحتاج إلى حدود إضافية.

2. في سيارة تنزلق، $\mu_k g$ هو...

مقدار السرعة

التباطؤ

القوة

المسافة

التباطؤ. $a = \mu_k N/m$.

3. المدار الدائري ذو نصف القطر الأكبر له...

تتقدم

تتأخر

السرعة نفسها

مستحيل

تتأخر. $v = \sqrt{(GM/r)}$.

4. ما الذي يوفر التسارع العمودي على منعطف مائل عديم الاحتكاك؟

الجاذبية وحدها

مركبة القوة العمودية

دفع المحرك

السحب

مركبة القوة العمودية. $N \sin \theta$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

يزن GRACE-FO مياه الأرض بقانون نيوتن الثاني. يشرح مختبر الدفع النفاث JPL التابع لـNASA أن القمرين التوأمين يطيران على بعد نحو 220 km أحدهما من الآخر؛ فالمناطق ذات الجاذبية الأقوى قليلًا تجذب القمر الأمامي أولًا، ويقيس نظام تحديد مدى بالموجات الدقيقة التغير الضئيل في المسافة. ويقيس مقياس تسارع عند مركز كتلة كل قمر التسارعات غير الثقالية كمقاومة الغلاف الجوي، حتى لا تُحسب إلا الجاذبية. والنتيجة خرائط شهرية تبيّن كيف ينتقل الماء في طبقات المياه الجوفية والبحيرات والصفائح الجليدية والمحيطات.

على Saving Planets: رصد الأرض

المصادر: OpenStax UP1, 6.3 · NASA JPL: GRACE-FO mission overview (https://gracefo.jpl.nasa.gov/mission/overview/) Centripetal force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 6.3 Centripetal force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 6.2 Friction (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): الاحتكاك.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (بالإنجليزية) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): محاضرات MIT.

شاهد المحاضرة

Lecture 2: Newton's Laws and Describing the Kinematics of Particles (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/lecture-2-newtons-laws-and-describing-the-kinematics-of-particles-1/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

الشغل والطاقة والقدرة

شغل القوى (الجاذبية والنوابض والاحتكاك)، ومبدأ الشغل–الطاقة، والقوى المحافظة وطاقة الوضع، وحفظ الطاقة، والقدرة والكفاءة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب شغل الجاذبية والنوابض والاحتكاك.
- استخدم مبدأ الشغل–الطاقة لإيجاد السرعات بين موضعين.
- استخدم حفظ الطاقة الميكانيكية حين لا تبذل الشغلَ إلا القوى المحافظة.
- احسب القدرة والكفاءة.

المفاهيم الأساسية

- الشغل U = ∫F·dr. الجاذبية تبذل −mgΔh، والنابض −½k(x₂² − x₁²)، والاحتكاك الحركي −μ_kN × المسافة.
- مبدأ الشغل–الطاقة: T₁ + ΣU₁→₂ = T₂، مع الطاقة الحركية T = ½mv².
- للقوى المحافظة يساوي الشغلُ النقصَ في طاقة الوضع، إذن T₁ + V₁ = T₂ + V₂ حين تكون وحدها التي تبذل الشغل.
- القدرة معدل الشغل: P = F·v. والكفاءة قدرة الخرج مقسومة على قدرة الدخل.
- طرق الطاقة تعطي السرعات مباشرة دون إيجاد التسارعات، ولهذا هي مفيدة جدًا.

المعادلات الأساسية

$$T_1 + \sum U_{1\to 2} = T_2, \quad T = \tfrac{1}{2}mv^2$$

T_1+ U_12=T_2, T=12mv^2

مبدأ الشغل–الطاقة

$$V_g = mgh, \quad V_e = \tfrac{1}{2}kx^2$$

V_g=mgh, V_e=12kx^2

طاقات الوضع

$$P = \vec{F}\cdot\vec{v}, \quad \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

P= F· v, =_outP_in

القدرة والكفاءة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 كتلة 2 kg تنزلق من السكون على منحدر أملس هابطةً 3 m. أوجد سرعتها عند الأسفل.

1. $mgh = \tfrac{1}{2}mv^2$.
2. $v = \sqrt{(2gh)}$.

الإجابة: 7.67 m/s (الكتلة لا تهم).

مثال 4.2 نابض ($k = 500$ N/m) مضغوط 0.2 m يطلق كتلة 0.5 kg على أرضية ملساء. أوجد سرعة الإطلاق.

1. $\tfrac{1}{2}kx^2 = \tfrac{1}{2}mv^2$.
2. $v = x\sqrt{(k/m)}$.

الإجابة: 6.32 m/s.

مثال 4.3 سيارة كتلتها 1500 kg تصعد منحدرًا ميله 5% بسرعة ثابتة 20 m/s. بإهمال مقاومة الهواء والتدحرج، ما القدرة التي ترفعها؟

1. $\theta = \tan^{-1} 0.05 = 2.86^\circ$.
2. $P = mg \sin\theta \times v$.

الإجابة: 14.7 kW.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. قيم توضيحية: محطة تخزين بالضخ ترفع 1 مليون m^3 من الماء مسافة 300 m. كم طاقة تخزن؟

   $E = mgh = 10^9 \times 9.81 \times 300 = 2.94 \times 10^{12}$ J $\approx$ 818 MWh (قيم توضيحية).

2. محرك كفاءته 85% يعطي 10 kW. ما القدرة التي يسحبها؟

   $P_{in} = 10/0.85 = 11.8$ kW.

3. صندوق كتلته 20 kg يُدفع 5 m على أرضية مع $\mu_k = 0.4$. ما الشغل الذي يبذله الاحتكاك؟

   $U = -0.4 \times 196.2 \times 5 = -392$ J.

4. ثقل بندول يُترك على ارتفاع 0.5 m فوق أدنى نقطة له. أوجد سرعته عندها.

   $v = \sqrt{(2g \times 0.5)} = 3.13$ m/s.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الشغل دائمًا القوة مضروبة في المسافة.

في الحقيقة: لا تبذل الشغلَ إلا المركبةُ على امتداد الحركة.

خرافة: القوة العمودية تبذل شغلًا على كتلة منزلقة.

في الحقيقة: إنها عمودية على الحركة، فشغلها صفر.

خرافة: تُفقد الطاقة بسبب الاحتكاك.

في الحقيقة: تتحول إلى حرارة؛ الطاقة الكلية محفوظة، والميكانيكية ليست كذلك.

بطاقات تعليمية

الشغل

$U = \int F \cdot dr$.

الطاقة الحركية

$T = \frac{1}{2}mv^2$.

الشغل–الطاقة

$T_1 + \Sigma U = T_2$.

طاقة الوضع

mgh؛ $\frac{1}{2}kx^2$.

القدرة

$P = F \cdot v$.

الكفاءة

P_{out}/P_{in}.

اختبار ذاتي

1. وحدة الشغل في SI هي…

الواط

الجول

النيوتن

الباسكال

الجول. $J = N \cdot m$.

2. مضاعفة السرعة تضرب الطاقة الحركية في…

2

4

8

2v

.4 ½mv²

3. تُحفظ الطاقة الميكانيكية حين...

يؤثر الاحتكاك

لا تبذل الشغلَ إلا القوى المحافظة

السرعة ثابتة

دائمًا

لا تبذل الشغلَ إلا القوى المحافظة. التعريف.

4. القدرة تساوي...

F·v

F/v

mv

mgh

F·v. معدل الشغل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

التخزين بالضخ يدّخر الكهرباء النظيفة على هيئة ارتفاع. تصف وزارة الطاقة الأمريكية الطاقة الكهرومائية بالتخزين بالضخ بأنها خزانان على ارتفاعين مختلفين يولّدان الكهرباء حين يتدفق الماء نزولًا عبر توربين، ويستهلكان الكهرباء لضخه صعودًا، فيعملان كبطارية عملاقة. وتقول الوزارة إنها تمثل 88% من كل تخزين الطاقة على مستوى المرافق في الولايات المتحدة، في 43 محطة. والطاقة المخزنة ببساطة mgh، كما في التمرين التوضيحي.

على Saving Planets: الفيزياء 2

المصادر: U.S. DOE: Pumped storage hydropower (https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower) · OpenStax UP1, 8.3 Conservation of energy (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 7.3 Work-energy theorem (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/7-3-work-energy-theorem): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 8.3 Conservation of energy (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy): حفظ الطاقة.
- PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Example 2b-work done equals the change in kinetic energy (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/example-2b-work-done-equals-the-change-in-kinetic-energy/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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**

الدفع وكمية الحركة والتصادم

الدفع وكمية الحركة الخطيان، وحفظ كمية الحركة، والتصادم المركزي المباشر ومعامل الارتداد، وكمية الحركة الزاوية للجسيم.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم مبدأ الدفع–كمية الحركة لإيجاد القوى المتوسطة.
- طبّق حفظ كمية الحركة على التصادمات والارتداد.
- حل التصادمات بمعامل الارتداد.
- استخدم حفظ كمية الحركة الزاوية للحركة تحت قوة مركزية.

المفاهيم الأساسية

- كمية الحركة الخطية L = mv. الدفع–كمية الحركة: mv₁ + ∫F dt = mv₂.
- إذا لم يؤثر دفع خارجي في نظام، تُحفظ كمية حركته الكلية، حتى لو لم تُحفظ الطاقة الحركية.
- معامل الارتداد e = (v₂' − v₁')/(v₁ − v₂) يتراوح من 0 (لدن تمامًا) إلى 1 (مرن تمامًا).
- كمية الحركة الزاوية حول O هي H_O = r × mv. إذا مرت كل القوى بـO (قوة مركزية كالجاذبية)، تُحفظ H_O.
- في المدار، يعني حفظ كمية الحركة الزاوية أن القمر الصناعي يكون أسرع ما يكون عند الحضيض: r₁v₁ = r₂v₂ عند القبوين.

المعادلات الأساسية

$$m\vec{v}_1 + \int \vec{F}\,dt = m\vec{v}_2$$

```
m v_1+ F dt=m v_2
```

الدفع–كمية الحركة

$$\sum m\vec{v}_1 = \sum m\vec{v}_2$$

```
m v_1= m v_2
```

حفظ كمية الحركة

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}$$

```
e=(v_2'-v_1')/(v_1-v_2)
```

معامل الارتداد

$$\vec{H}_O = \vec{r} \times m\vec{v}$$

```
H_O= r× m v
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 كرة كتلتها 0.15 kg تصل بسرعة 40 m/s وتغادر المضرب بسرعة 30 m/s في الاتجاه المعاكس بعد تلامس مدته 2 ms. أوجد الدفع والقوة المتوسطة.

1. الدفع = $m(v_2 - v_1) = 0.15 \times 70$ = 10.5 N·s.
2. القوة المتوسطة = الدفع/Δt = 5,250 N.

الإجابة: 10.5 N·s؛ 5,250 N.

مثال 5.2 سيارة كتلتها 1500 kg بسرعة 20 m/s تصطدم بسيارة متوقفة كتلتها 1000 kg فتلتحمان. أوجد السرعة المشتركة والطاقة الحركية المفقودة.

1. $1500 \times 20 = 2500v$ ⇒ $v = 12$ m/s.
2. $T_1 = 300$ kJ؛ $T_2 = \tfrac{1}{2} \times 2500 \times 12^2 = 180$ kJ.

الإجابة: 12 m/s؛ ويُفقد 120 kJ (40%).

مثال 5.3 كرة كتلتها 2 kg بسرعة 5 m/s تصطدم وجهًا لوجه بكرة ساكنة كتلتها 3 kg مع $e = 0.8$. أوجد السرعتين النهائيتين.

1. كمية الحركة: $2v_1' + 3v_2' = 10$.
2. الارتداد: $v_2' - v_1' = 0.8 \times 5 = 4$.

الإجابة: $v_1' = -0.4$ m/s (ترتد)، $v_2' = 3.6$ m/s.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. تفيد NASA بأن DART قصّرت مدار ديمورفوس من 11 h 55 min إلى 11 h 23 min. ما نسبة ذلك من الدورة المدارية؟

   32 min/715 min = 4.48%.

2. تذكر NASA أن سرعة اصطدام DART نحو 22530 km/h. حوّلها إلى m/s.

   22,530/3.6 = 6,258 m/s.

3. قمر صناعي يتحرك بسرعة 7.5 km/s على بعد 7000 km من مركز الأرض (الحضيض). أوجد سرعته عند 8000 km (الأوج).

   $r_1v_1 = r_2v_2$: $v_2 = 6.56$ km/s.

4. متزلجة كتلتها 60 kg ساكنة ترمي كرة كتلتها 2 kg إلى الأمام بسرعة 10 m/s. أوجد سرعة ارتدادها.

60v = 2 × 10، v = 0.333 m/s إلى الخلف.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: كمية الحركة والطاقة الحركية محفوظتان كلتاهما في كل تصادم.
في الحقيقة: كمية الحركة نعم؛ أما الطاقة الحركية فقط إذا كان e = 1.

خرافة: القوة الأكبر تعني دائمًا دفعًا أكبر.
في الحقيقة: الدفع قوة × زمن؛ فالدفعة الطويلة اللطيفة قد تعادل دفعة قصيرة قوية.

خرافة: الارتداد يعتمد على المادة فقط.
في الحقيقة: يعتمد أيضًا على السرعة والشكل ودرجة الحرارة.

بطاقات تعليمية

كمية الحركة

L = mv.

الدفع

∫F dt = Δ(mv).

الحفظ

لا دفع خارجي: Σmv ثابت.

الارتداد

e من 0 إلى 1.

كمية الحركة الزاوية

H_O = r × mv.

قبوا المدار

$r_1v_1 = r_2v_2$.

اختبار ذاتي

1. الدفع يساوي التغير في...

الطاقة

كمية الحركة

مقدار السرعة

القوة

كمية الحركة. الدفع–كمية الحركة.

2. في التصادم اللدن تمامًا، e =

0

0.5

1

∞

0. يتحركان معًا.

3. القوة المركزية تحفظ...

كمية الحركة الخطية

كمية الحركة الزاوية حول المركز

مقدار السرعة

لا شيء

كمية الحركة الزاوية حول المركز. لا عزم حول O.

4. تقلل الوسائد الهوائية الإصابات عن طريق...

تقليل الدفع

زيادة زمن التوقف

إضافة كتلة

إضافة سرعة

زيادة زمن التوقف. الدفع نفسه في زمن أطول.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

في 2022 أثبتت NASA أن كمية الحركة يمكن أن تدافع عن الأرض. تفيد NASA بأن المركبة DART اصطدمت بالكويكب ديمورفوس بسرعة نحو 22530 km/h وغيّرت مداره حول ديديموس بمقدار 32 دقيقة، من 11 ساعة و55 دقيقة إلى 11 ساعة و23 دقيقة، أي أكثر من 25 ضعف الحد الأدنى للنجاح الذي وضعته NASA. وتضيف NASA أن الارتداد الناتج عن الحطام المقذوف عزّز دفعة DART كثيرًا، كالهواء المندفع من بالون. ولم يشكل أيٌّ من الكويكبين خطرًا على الأرض.

على Saving Planets: الدفاع الكوكبي

المصادر: NASA: DART impact changed asteroid’s motion in space (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroids-motion-in-space/) · OpenStax UP1, 9.4 Types of collisions (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 9.3 Conservation of linear momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-3-conservation-of-linear-momentum): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 9.4 Types of collisions (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions): التصادمات.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

A review of the principle of linear momentum and impulse (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/a-review-of-the-principle-of-linear-momentum-and-impulse/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

أنظمة الجسيمات والكتلة المتغيرة: النفاثات والصواريخ

مركز كتلة النظام، وحركة مركز الكتلة، وكمية حركة الأنظمة، وتيارات الموائع المستقرة، والأنظمة متغيرة الكتلة بما فيها معادلة الصاروخ.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أوجد مركز كتلة نظام وحركته.
- استخدم كمية الحركة للأنظمة التي تتباعد بالدفع.
- أوجد قوة نفاث مائع مستقر.
- استخدم معادلتي الدفع والصاروخ.

المفاهيم الأساسية

- يتحرك مركز الكتلة كأن كل القوى الخارجية تؤثر في الكتلة الكلية الموضوعة عنده: ΣF_ext = m a_G. والقوى الداخلية تلغي بعضها.
- التيار المستقر الذي تتغير سرعته يحتاج إلى قوة: F = ṁ(v_out − v_in) في كل اتجاه.
- يكتسب الصاروخ كمية حركة بقذف الكتلة إلى الخلف. والدفع المثالي F = ṁv_e مضافًا إليه حد ضغط (p_e − p_a)A_e.
- معادلة الصاروخ المثالية Δv = v_e ln(m₀/m_f) تبيّن لماذا تتكون الصواريخ في معظمها من الوقود الدافع.
- الجاذبية والمقاومة تقللان Δv الفعلي، لذا تستخدم مركبات الإطلاق مراحل لإسقاط الكتلة الفارغة.

المعادلات الأساسية

$$\bar{x} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \quad \sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G$$

```
x=( m_ix_i)/( m_i), F_ext=m a_G
```

مركز الكتلة

$$F = \dot{m}(v_{\text{out}} - v_{\text{in}})$$

```
F= m(v_out-v_in)
```

التيار المستقر

$$F = \dot{m} v_e + (p_e - p_a)A_e$$

```
F= m v_e+(p_e-p_a)A_e
```

دفع الصاروخ

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

Δ v=v_e(m_0)/(m_f)

معادلة الصاروخ المثالية

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 أوجد مركز كتلة 3 kg عند x = 0 و5 kg عند x = 4 m.

1. x̄ = (3 × 0 + 5 × 4)/8 = .

الإجابة: 2.5 m.

مثال 6.2 قيم توضيحية: محرك يحرق 250 kg/s وسرعة عادمه 3000 m/s. أوجد الدفع المثالي (أهمل حد الضغط).

1. F = ṁv_e = 250 × 3000 .

الإجابة: 750 kN (قيم توضيحية).

مثال 6.3 مرحلة صاروخ لها v_e = 3000 m/s وتحترق حتى تصبح كتلتها ربع كتلتها الابتدائية. أوجد Δv المثالية.

1. Δv = 3000 ln 4 .

الإجابة: 4,159 m/s.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ما نسبة الكتلة m₀/m_f التي تعطي Δv = 7800 m/s مع v_e = 3500 m/s (مثاليًا)؟

   m₀/m_f = e^(7800/3500) = e^2.229 = 9.29.

2. نفاث ماء مساحته 0.001 m² بسرعة 20 m/s يصطدم بجدار مستوٍ ويتوقف. أوجد القوة.

   F = ρAv² = 1000 × 0.001 × 400 = 400 N.

3. متزلجان كتلتاهما 50 kg و75 kg يتدافعان من السكون؛ يتحرك صاحب 75 kg بسرعة 2 m/s. أوجد سرعة الآخر.

   50v = 75 × 2, v = 3 m/s.

4. قيم توضيحية: صاروخ كتلته 50000 kg ينطلق بدفع 750 kN. أوجد تسارعه الابتدائي.

   a = (750000 − 490500)/50000 = 5.19 m/s² (قيم توضيحية).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الصاروخ يدفع الهواء.
في الحقيقة: يدفع عادمه نفسه؛ ويعمل على أفضل نحو في الفراغ.

خرافة: مضاعفة الوقود الدافع تضاعف Δv.
في الحقيقة: Δv لا تنمو إلا مع لوغاريتم نسبة الكتلة.

خرافة: القوى الداخلية يمكن أن تحرك مركز الكتلة.
في الحقيقة: القوى الخارجية وحدها تغيّر a_G.

بطاقات تعليمية

مركز الكتلة

Σm x/Σm.

حركة النظام

ΣF_ext = m a_G.

التيار المستقر

F = ṁΔv.

الدفع

ṁv_e + (p_e − p_a)A_e.

معادلة الصاروخ

Δv = v_e ln(m₀/m_f).

التقسيم إلى مراحل

أسقط الخزانات الفارغة لتحسين نسبة الكتلة.

اختبار ذاتي

1. يُحرَّك مركز كتلة النظام بواسطة...

القوى الداخلية

القوى الخارجية

كليهما

لا شيء منهما

القوى الخارجية. ΣF_ext = m a_G.

2. Δv المثالية للصاروخ تعتمد على v_e و...

زمن الاحتراق فقط

نسبة الكتلة

كثافة الهواء

اللون

نسبة الكتلة. $\ln(m_0/m_f)$.

3. يزداد الدفع مع...

معدل تدفق الكتلة وسرعة العادم

طول الصاروخ

الحمولة

الارتفاع فقط

معدل تدفق الكتلة وسرعة العادم. $F = \dot{m}v_e +$ حد الضغط.

4. لماذا يُقسَّم الصاروخ إلى مراحل؟

ليبدو أجمل

لإسقاط الكتلة الفارغة

للإبطاء

لإضافة مقاومة

لإسقاط الكتلة الفارغة. نسبة كتلة أفضل لكل مرحلة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

كل قمر صناعي لرصد الأرض يُحمل على صاروخ مبني على هذه الوحدة. يشرح مركز NASA Glenn أن الدفع يتبع قانون نيوتن الثالث ويعتمد على معدل تدفق الكتلة عبر المحرك وسرعة خروج العادم والضغط عند مخرج الفوهة. والحصول على Δv أكبر من كل

كيلوغرام من الوقود الدافع يعني عمليات إطلاق أقل وأصغر للحمولات نفسها، مثل أقمار Landsat وأقمار الطقس التي تراقب الغابات والمحاصيل والعواصف.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: NASA Glenn: Rocket thrust equation (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/) · OpenStax UP1, 9.7 Rocket propulsion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 9.6 Center of mass (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-6-center-of-mass): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 9.7 Rocket propulsion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion): معادلة الصاروخ.
- NASA Glenn: Rocket thrust equation (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/): شرح الدفع.

شاهد المحاضرة

Damped response of spring-mass-dashpot system to initial conditions (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/damped-response-of-spring-mass-dashpot-system-to-initial-conditions/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

الكينماتيكا المستوية للأجسام الجاسئة

الدوران حول محور ثابت، والسرعة والتسارع الزاويان، وسلاسل التروس، والسرعة والتسارع النسبيان في الأجسام الجاسئة، والمراكز اللحظية، والتدحرج دون انزلاق.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اربط ω وα بسرعات النقاط وتسارعاتها.
- استخدم نسب التروس والسيور.
- استخدم السرعة النسبية والمركز اللحظي للآليات المفصلية.
- صِف التدحرج دون انزلاق.

المفاهيم الأساسية

- في الدوران حول محور ثابت، للنقطة على نصف القطر r: v = rω وa_t = rα وa_n = rω².
- التروس المتعشقة تتشارك سرعة التلامس: r₁ω₁ = r₂ω₂، فتتبع نسبُ السرعة أعدادَ الأسنان.
- السرعة النسبية في جسم جاسئ: v_B = v_A + ω × r_B/A؛ ويضيف التسارع النسبي α × r و−ω²r.
- مركز السرعة الصفرية اللحظي (IC) يتيح معاملة الجسم المتحرك كدوران خالص بالنسبة للسرعات في تلك اللحظة.
- التدحرج دون انزلاق: v_G = rω وa_G = rα؛ نقطة التلامس ساكنة لحظيًا والنقطة العليا تتحرك بسرعة 2v_G.

المعادلات الأساسية

$$v = r\omega, \quad a_t = r\alpha, \quad a_n = r\omega^2$$

```
v=rω, a_t=rα, a_n=rω^2
```

الدوران حول محور ثابت

$$r_1\omega_1 = r_2\omega_2$$

```
r_1ω_1=r_2ω_2
```

التروس والسيور

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$$

```
v_B= v_A+ω× r_B/A
```

السرعة النسبية

$$v_G = r\omega$$

```
v_G=rω
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 عجلة نصف قطرها 0.3 m تتدحرج دون انزلاق بسرعة 15 m/s. أوجد ω وسرعة النقطة العليا.

1. ω = v/r = 15/0.3.
2. في الأعلى: v = 2v_G.

الإجابة: ω = 50 rad/s؛ النقطة العليا 30 m/s.

مثال 7.2 قيم توضيحية: دوّار توربين رياح يدور بسرعة 15 rpm وعلبة تروس نسبتها 100 تدير المولد. أوجد سرعة المولد بوحدتي rpm وrad/s.

1. n = 15 × 100.
2. ω = 1500 × 2π/60.

الإجابة: 1500 rpm = 157.1 rad/s (قيم توضيحية).

مثال 7.3 قضيب طوله 1 m ينزلق وطرفه A على الأرض يتحرك يمينًا بسرعة 2 m/s وطرفه B على جدار. أوجد ω وv_B حين يصنع القضيب 30° مع الأرض.

1. المركز اللحظي حيث يتقاطع العموديان على v_A وv_B؛ وبعده عن A هو L sin 30° = 0.5 m.
2. ω = v_A/0.5؛ v_B = ω × L cos 30°.

الإجابة: ω = 4 rad/s؛ v_B = 3.46 m/s إلى أسفل.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. قيم توضيحية: دوّار بطول 60 m يدور بسرعة 15 rpm. أوجد سرعة طرف الشفرة والتسارع العمودي.

   v = 60 × 1.571 = 94.2 m/s؛ a_n = v²/r = 148 m/s² (قيم توضيحية).

2. حذافة تدور من السكون حتى 3000 rpm في 10 s بتسارع α ثابت. أوجد α.

   ω = 314.2 rad/s؛ α = 31.4 rad/s².

3. قرص نصف قطره 0.5 m له ω = 2 rad/s وα = 4 rad/s². أوجد تسارع الحافة.

   a_t = 2, a_n = 2, |a| = 2.83 m/s².

4. ترس ذو 20 سنًا يدير ترسًا ذا 80 سنًا بسرعة 1200 rpm. أوجد سرعة الخرج.

1200 × 20/80 = 300 rpm.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: كل نقطة على عجلة متدحرجة تتحرك بالسرعة نفسها.
في الحقيقة: نقطة التلامس ساكنة والنقطة العليا تتحرك بسرعة 2v.

خرافة: السرعة الزاوية تختلف من نقطة إلى أخرى في الجسم الجاسئ.
في الحقيقة: ω واحدة للجسم كله.

خرافة: المركز اللحظي تسارعه صفر.
في الحقيقة: سرعته فقط صفر، في تلك اللحظة.

بطاقات تعليمية

المحور الثابت

$v = r\omega$, $a_t = r\alpha$, $a_n = r\omega^2$.

نسبة التروس

$\omega_2/\omega_1 = r_1/r_2 = N_1/N_2$.

السرعة النسبية

$v_B = v_A + \omega \times r_{B/A}$.

المركز اللحظي

نقطة سرعتها صفر في لحظة ما.

التدحرج

$v_G = r\omega$.

rpm

$2\pi/60$ × للتحويل إلى rad/s.

اختبار ذاتي

1. سرعة نقطة على نصف القطر r في جسم دوار:

ω/r

rω

rω²

r/ω

$v = r\omega$. عندما يتدحرج دون انزلاق.

2. التروس المتعشقة تتشارك...

ω

عدد الأسنان

سرعة التلامس

نصف القطر

سرعة التلامس. $r_1\omega_1 = r_2\omega_2$.

3. نقطة تلامس عجلة تتدحرج دون انزلاق تتحرك بسرعة...

v

$2v$

0

$r\omega^2$

0. لا انزلاق.

4. 1 rpm بوحدة rad/s يساوي تقريبًا...

0.1047

1

6.28

60

$2\pi/60 \approx 0.1047$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

توربين الرياح سلسلة من الأجسام الجاسئة الدوارة. تشرح وزارة الطاقة الأمريكية أن الدوّار يتصل بالمولد إما مباشرة في توربين الدفع المباشر، أو عبر عمود وعلبة تروس تزيد سرعة الدوران وتتيح مولدًا أصغر حجمًا. وكينماتيكا نسب التروس في هذه الوحدة هي طريقة المهندسين في مواءمة دوّار ضخم بطيء مع مولد سريع.

على Saving Planets: الفيزياء 2

المصادر: وزارة الطاقة الأمريكية: كيف تعمل توربينات الرياح؟ (بالإنجليزية) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · OpenStax UP1, 10.3 Relating angular and translational quantities (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-3-relating-angular-and-translational-quantities)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 10.3 Relating angular and translational quantities (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-3-relating-angular-and-translational-quantities): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 11.1 Rolling motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-1-rolling-motion): التدحرج.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): كينماتيكا الأجسام الجاسئة من MIT.

شاهد المحاضرة

Kinematics: describing the motion of particles and rigid bodies (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/kinematics-describing-the-motion-of-particles-and-rigid-bodies/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

الكيناتيكا المستوية للأجسام الجاسئة: القوة والكتلة والتسارع

عزوم القصور الذاتي الكتلية، ونظرية المحاور المتوازية، ومعادلات الحركة للانتقال والدوران حول محور ثابت والحركة المستوية العامة، والتدحرج مع الاحتكاك.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب عزوم القصور الذاتي الكتلية للأشكال الشائعة.
- اكتب ΣF = ma_G وΣM_G = I_Gα.
- حل مسائل الدوران حول محور ثابت والبكرات.
- حل مسائل التدحرج وتحقق من الانزلاق.

المفاهيم الأساسية

- عزم القصور الذاتي الكتلي I = ∫r² dm يقيس مقاومة التسارع الزاوي. القرص المصمت ½mr²، والطوق mr²، والكرة المصمتة ⅖mr²، والقضيب حول مركزه mL²/12.
- نظرية المحاور المتوازية: I = I_G + md².
- معادلات الحركة المستوية: ΣF_x = m a_Gx، ΣF_y = m a_Gy، ΣM_G = I_Gα (أو ΣM_P = مجموع عزوم المخطط الحركي حول أي نقطة P).
- جسم يتدحرج دون انزلاق على منحدر له a = g sin θ/(1 + I_G/(mr²))؛ والاحتكاك هو ما يُحدث الدوران.
- تحقق من التدحرج بـ f ≤ μ_sN؛ فإن كان الاحتكاك اللازم أكبر، ينزلق الجسم ويتدحرج معًا.

المعادلات الأساسية

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_G, \quad \sum M_G = I_G \alpha$$

F=m a_G, M_G=I_Gα

الحركة المستوية

$$I = I_G + md^2$$

I=I_G+md^2

المحاور المتوازية

$$a = \frac{g \sin\theta}{1 + I_G/(mr^2)}$$

a=(gθ)/(1+I_G/(mr^2))

التدحرج على منحدر

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 قرص مصمت كتلته 10 kg ونصف قطره 0.2 m على محور ثابت يتعرض لعزم 4 N·m. أوجد α.

1. $I = \tfrac{1}{2} \times 10 \times 0.2^2 = 0.2\ \text{kg·m}^2$.
2. $\alpha = M/I$.

الإجابة: $20\ \text{rad/s}^2$.

مثال 8.2 أسطوانة مصمتة تتدحرج دون انزلاق على منحدر 30°. أوجد تسارعها وأصغر μ_s يمنع الانزلاق.

1. $a = g\sin 30°/(1 + \tfrac{1}{2}) = (2/3)g\sin 30°$.
2. العزوم حول G: $fr = \tfrac{1}{2}mr^2(a/r)$، إذن $f = \tfrac{1}{2}ma = (1/3)mg\sin 30°$؛ $\mu_s \ge f/N = (1/3)\tan 30°$.

الإجابة: $a = 3.27\ \text{m/s}^2$; $\mu_s \ge 0.192$.

مثال 8.3 كتلة 4 kg معلقة بحبل ملفوف على بكرة قرصية مصمتة كتلتها 2 kg ونصف قطرها 0.1 m. أوجد التسارع والشد.

1. الكتلة: $4g - T = 4a$. البكرة: $Tr = \tfrac{1}{2}Mr^2\,(a/r)$، إذن $T = \tfrac{1}{2}Ma = a$.
2. $4g = 5a$.

الإجابة: $a = 7.85\ \text{m/s}^2$; $T = 7.85\ \text{N}$.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد I لقضيب كتلته 3 kg وطوله 2 m حول أحد طرفيه.

   $I = mL^2/3 = 4\ \text{kg·m}^2$.

2. هذا القضيب مثبت بمفصل عند أحد طرفيه ويُترك من الوضع الأفقي. أوجد α لحظة الترك.

   $\alpha = 3g/(2L) = 7.36\ \text{rad/s}^2$.

3. قيم توضيحية: دوّار توربين مائي له $I = 5 \times 10^4\ \text{kg·m}^2$ وعزم صافٍ $1 \times 10^6\ \text{N·m}$ عند البدء. أوجد α.

   $\alpha = 20\ \text{rad/s}^2$ (قيم توضيحية).

4. أوجد تسارع كرة مصمتة تتدحرج على منحدر 30°.

   $a = (5/7)\ g\sin 30° = 3.50\ \text{m/s}^2$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الكتلة وحدها تقاوم التسارع الزاوي.
في الحقيقة: موضع الكتلة (I) مهم؛ فالطوق يتسارع أبطأ من قرص له الكتلة نفسها.

خرافة: الاحتكاك يبطئ دائمًا العجلة المتدحرجة.
في الحقيقة: في التدحرج الخالص لا يبذل الاحتكاك السكوني شغلًا، وهو ما يجعلها تدور.

خرافة: $\Sigma M = I\alpha$ تصح حول أي نقطة.
في الحقيقة: استخدمها حول G أو محور ثابت؛ وحول نقاط أخرى أدرج عزم ma_G.

بطاقات تعليمية

عزم القصور الذاتي الكتلي

$I = \int r^2\, dm$.

القرص والطوق والكرة

mr^2, $\frac{1}{2}mr^2$, $\frac{2}{5}mr^2$.

Rod

$mL^2/12$ (المركز)، $mL^2/3$ (الطرف).

الحركة المستوية

$\Sigma F = ma_G$, $\Sigma M_G = I_G\alpha$.

a في التدحرج

$g \sin\theta/(1 + I/(mr^2))$.

التحقق من الانزلاق

$f \le \mu_s N$.

اختبار ذاتي

1. أيها يصل إلى أسفل المنحدر أولًا؟

الطوق

القرص المصمت

الكرة المصمتة

تتعادل كلها

الكرة المصمتة. أصغر $I/(mr^2)$.

2. I لقرص مصمت حول محوره:

mr^2

$\frac{1}{2}mr^2$

$mr^2 \ \frac{2}{5}$

$mL^2/12$

$\frac{1}{2}mr^2$. نتيجة قياسية.

3. نظرية المحاور المتوازية تضيف...

md^2

mr

I/d

d^2

$I = I_G + md^2$. md^2.

4. الصيغة الدورانية لقانون نيوتن:

$M = I\alpha$

$M = m\alpha$

$F = I\omega$

$P = I\alpha$

$M = I\alpha$. حول G أو محور ثابت.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

التوربينات المائية أجسام جاسئة يديرها الماء. تصف وزارة الطاقة الأمريكية عائلتين رئيسيتين: توربينات التفاعل، مثل فرانسيس وكابلان، التي تعمل مغمورة في التيار وتستخدم الضغط والماء المتحرك، وتوربينات الدفع، مثل عجلة بيلتون، التي تصطدم بدلائها

نفاثات حرة. وتذكر الوزارة أن توربينات فرانسيس تُستخدم عادة لعلو سقوط يتراوح بين نحو 130 و2000 قدم. وتحديد عزم القصور الذاتي للدوّار وعزمه هو كيناتيكا هذه الوحدة.

على Saving Planets: الفيزياء 2

المصادر: · U.S. DOE: Types of hydropower turbines (https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines) OpenStax UP1, 10.7 Newton’s second law for rotation (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-7-newtons-second-law-for-rotation)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 10.5 Calculating moments of inertia (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-5-calculating-moments-of-inertia): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 10.7 Newton’s second law for rotation (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-7-newtons-second-law-for-rotation): ديناميكا الدوران.
- PhET: Torque (https://phet.colorado.edu/en/simulations/torque): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Angular momentum for rigid bodies and the mass moment of inertia matrix, [I] (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/angular-momentum-for-rigid-bodies-and-the-mass-moment-of-inertia-matrix-i/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

الأجسام الجاسئة: طرق الطاقة وكمية الحركة

الطاقة الحركية للأجسام الجاسئة في الانتقال والدوران والتدحرج، وشغل المزدوجات، والقدرة في الآلات الدوارة، والدفع الزاوي وكمية الحركة الزاوية، وحفظ كمية الحركة الزاوية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اكتب T = ½mv_G² + ½I_Gω².
- استخدم الشغل–الطاقة للأجسام المتدحرجة والدائرة حول مفصل.
- احسب قدرة الآلة الدوارة P = Mω.
- تطبيق حفظ كمية الحركة الزاوية.

المفاهيم الأساسية

- الطاقة الحركية للجسم الجاسئ T = ½mv_G² + ½I_Gω²؛ وفي التدحرج يذهب جزء من الطاقة إلى الدوران.
- المزدوجة M التي تدور بزاوية θ تبذل شغلًا Mθ؛ والقدرة P = Mω.
- كمية الحركة الزاوية حول G هي H_G = I_Gω. الدفع الزاوي–كمية الحركة الزاوية: I_Gω₁ + ∫M dt = I_Gω₂.
- إذا لم يؤثر عزم خارجي حول محور، تُحفظ I ω: سحب الكتلة إلى الداخل يزيد سرعة الدوران.
- الحذافة تخزن الطاقة ½Iω²؛ وتدويرها بضعف السرعة يخزن أربعة أضعاف الطاقة.

المعادلات الأساسية

$$T = \tfrac{1}{2} m v_G^2 + \tfrac{1}{2} I_G \omega^2$$

T=12mv_G^2+12I_Gω^2

الطاقة الحركية للجسم الجاسئ

$$U = M\theta, \quad P = M\omega$$

U=Mθ, P=Mω

شغل المزدوجة وقدرتها

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

I_1ω_1=I_2ω_2

حفظ كمية الحركة الزاوية

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + I_G/(mr^2)}}$$

`v=(2gh)/(1+I_G/(mr^2))`

التدحرج من ارتفاع h

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 حذافة لها $I = 10\ \text{kg·m}^2$ تدور بسرعة $300\ \text{rad/s}$. أوجد طاقتها المخزنة بوحدتي J وkWh.

1. $T = \tfrac{1}{2} \times 10 \times 300^2$.
2. $\div\ 3.6 \times 10^6$.

الإجابة: $450\ \text{kJ} = 0.125\ \text{kWh}$.

مثال 9.2 كرة مصمتة تتدحرج دون انزلاق من السكون نازلةً ارتفاع $2\ \text{m}$. أوجد سرعتها.

1. $mgh = \tfrac{1}{2}mv^2 + \tfrac{1}{2}(\tfrac{2}{5}mr^2)(v/r)^2 = \tfrac{7}{10}mv^2$.
2. $v = \sqrt{\tfrac{10gh}{7}}$.

الإجابة: $5.29\ \text{m/s}$.

مثال 9.3 متزلجة تدور بسرعة $2\ \text{rad/s}$ مع $I = 4\ \text{kg·m}^2$، ثم تضم ذراعيها فيصبح $I = 1.6\ \text{kg·m}^2$. أوجد سرعة دورانها الجديدة.

1. $1.6\omega = 2 \times 4$.

الإجابة: $5\ \text{rad/s}$.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أسطوانة مصمتة تتدحرج من السكون نازلةً ارتفاع $2\ \text{m}$. أوجد سرعتها.

   $v = \sqrt{\tfrac{4gh}{3}} = 5.11\ \text{m/s}$.

2. قرص مصمت كتلته $20\ \text{kg}$ ونصف قطره $0.5\ \text{m}$ يدور بسرعة $100\ \text{rad/s}$. أوجد طاقته الحركية.

   $I = 2.5\ \text{kg·m}^2$; $T = 12.5\ \text{kJ}$.

3. قضيب طوله $2\ \text{m}$ مثبت بمفصل عند أحد طرفيه يُترك من الوضع الأفقي. أوجد ω حين يتدلى رأسيًا.

   $mg(L/2) = \tfrac{1}{2}(mL^2/3)\omega^2$، $\omega = \sqrt{3g/L} = 3.84\ \text{rad/s}$.

4. قيم توضيحية: عمود توربين ينقل $1 \times 10^6\ \text{N·m}$ عند $150\ \text{rpm}$. أوجد القدرة.

ω = 15.7 rad/s؛ P = Mω = 15.7 MW (قيم توضيحية).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الكرة المتدحرجة طاقتها الحركية ½mv² فقط.

في الحقيقة: أضف ½Iω² للدوران.

خرافة: ضم الذراعين يضيف طاقة من العدم.

في الحقيقة: عضلاتك تبذل الشغل؛ المحفوظ كمية الحركة الزاوية لا الطاقة الحركية.

خرافة: العزم والقدرة شيء واحد.

في الحقيقة: P = Mω؛ العزم نفسه يعطي قدرة أكبر عند سرعة أعلى.

بطاقات تعليمية

T للجسم الجاسئ

.½mv_G² + ½I_Gω²

شغل المزدوجة

.U = Mθ

قدرة العمود

.P = Mω

كمية الحركة الزاوية

.H_G = I_Gω

الحفظ

.I₁ω₁ = I₂ω₂

الحذافة

تخزن ½Iω².

اختبار ذاتي

1. الطاقة الحركية لجسم متدحرج تشمل...

½mv² فقط

½Iω² فقط

الحدين كليهما

mgh

الحدين كليهما. الانتقال مع الدوران.

2. قدرة عمود دوار:

Mω

M/ω

Iω

mv

.Mω. P = Mω

3. تنصيف I دون عزم خارجي يجعل ω...

النصف

كما هي

الضعف

أربعة أضعاف

الضعف. Iω ثابت.

4. مضاعفة سرعة الحذافة تضرب طاقتها في...

2

4

8

2ν

.4. ω²

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الطاقة الكهرومائية سلسلة طاقة من الارتفاع إلى الدوران إلى الكهرباء. تشرح وزارة الطاقة الأمريكية أن الماء يتدفق عبر أنبوب يسمى أنبوب الضغط، فيدير شفرات التوربين، ويدير التوربين مولدًا ينتج الكهرباء للشبكة. ومعادلات الشغل–الطاقة والقدرة في هذه الوحدة،

من mgh إلى P = Mω، تصف كل حلقة في تلك السلسلة.

على Saving Planets: الفيزياء 2

المصادر: OpenStax UP1, U.S. DOE: How hydropower works (https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works) · 11.3 Conservation of angular momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 11.1 Rolling motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-1-rolling-motion): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 11.3 Conservation of angular momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum): كمية الحركة الزاوية.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamic-fall-2011/): محاضرات MIT.

شاهد المحاضرة

Angular momentum for rigid bodies and the mass moment of inertia matrix, [I] (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/angular-momentum-for-rigid-bodies-and-the-mass-moment-of-inertia-matrix-i/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

الاهتزازات الميكانيكية

الاهتزاز الحر غير المخمَّد، والتردد الطبيعي، وطرق الطاقة، والتخميد اللزج ونسبة التخميد، والاهتزاز القسري، والرنين والتضخيم.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أوجد الترددات الطبيعية لأنظمة الكتلة-النابض والبندولات.
- استخدم نسبة التخميد لتصنيف الحركة وقدّرها من التضاؤل.
- أوجد سعة الاهتزاز القسري في الحالة المستقرة.
- اشرح الرنين ولماذا يكون التخميد المنخفض خطرًا.

المفاهيم الأساسية

- الكتلة على نابض تخضع لـ mẍ + kx = 0 وتهتز بتردد ω_n = √(k/m)؛ والدور T = 2π/ω_n. وللبندول البسيط ω_n = √(g/L) للتأرجحات الصغيرة.
- مع التخميد اللزج: mẍ + cẋ + kx = 0. ونسبة التخميد ζ = c/(2√(km)) تحدد السلوك: ζ < 1 يتذبذب ويتضاءل، وζ = 1 حرج، وζ > 1 يعود ببطء.
- التناقص اللوغاريتمي δ = ln(x₁/x₂) بين قمتين متتاليتين يعطي ζ ≈ δ/(2π) للتخميد الخفيف.
- قوة توافقية F₀ sin ωt تولّد استجابة مستقرة سعتها X = (F₀/k)/√((1 − r²)² + (2ζr)²)، حيث r = ω/ω_n.
- عند الرنين (r = 1) يكون التضخيم 1/(2ζ): مع تخميد خفيف، دفعة صغيرة تتكرر بالإيقاع الصحيح تبني حركة كبيرة.

المعادلات الأساسية

$$\omega_n = \sqrt{k/m}, \quad T = 2\pi/\omega_n$$

ω_n=/m, T=2π/ω_n

التردد الطبيعي

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}, \quad \omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

=2, ω_d=ω_n1-^2

التخميد

$$X = \frac{F_0/k}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, \quad r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

X=_0/k(1-r^2)^2+(2 r)^2, r=(ω)/(ω_n)

الاستجابة القسرية

$$\left.\frac{X}{F_0/k}\right|_{r=1} = \frac{1}{2\zeta}$$

. (X)/(F_0/k)|_r=1=12

التضخيم عند الرنين

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 كتلة 2 kg معلقة بنابض k = 800 N/m. أوجد ω_n وf وT.

1. ω_n = √(800/2) = 20 rad/s.
2. f = ω_n/(2π); T = 1/f.

الإجابة: 20 rad/s، 3.18 Hz، 0.314 s.

مثال 10.2 أضف مخمِّدًا c = 8 N·s/m. أوجد ζ والتردد المخمَّد.

1. ζ = 8/(2√(800 × 2)) = 8/80.
2. ω_d = 20√(1 − 0.01).

الإجابة: ζ = 0.1؛ ω_d = 19.9 rad/s.

مثال 10.3 يُثار النظام غير المخمَّد بقوة F₀ = 10 N عند 15 rad/s. أوجد السعة المستقرة.

1. F₀/k = 12.5 mm; r = 0.75.
2. X = 12.5/(1 − 0.5625).

الإجابة: 28.6 mm.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد دور بندول بسيط طوله 1 m.

   T = 2π√(1/9.81) = 2.01 s.

2. آلة تنخفض 10 mm على مساندها. قدّر ترددها الطبيعي.

   ω_n = √(g/δ) يعطي f = 4.98 Hz.

3. أوجد التضخيم عند الرنين لـ ζ = 0.02.

1/(2 × 0.02) = 25.

4. قمتان متتاليتان لاهتزاز حر قيمتاهما 10 mm و7 mm. قدّر ζ.

δ = ln(10/7) = 0.357; ζ ≈ δ/(2π) = 0.057.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الكتلة الأثقل تهتز أسرع.
في الحقيقة: ω_n = √(k/m): كتلة أكبر، تردد أقل.

خرافة: مزيد من التخميد يعني دائمًا مزيدًا من الأمان.
في الحقيقة: يخفض قمم الرنين لكنه ينقل أيضًا قوة أكبر عند الترددات العالية.

خرافة: دور البندول يعتمد على ثقل الثقل المعلق.
في الحقيقة: للتأرجحات الصغيرة يعتمد على L وg فقط.

بطاقات تعليمية

التردد الطبيعي

ω_n = √(k/m).

البندول

ω_n = √(g/L).

نسبة التخميد

ζ = c/(2√(km)).

التناقص اللوغاريتمي

ζ ≈ ln(x₁/x₂)/(2π).

نسبة التردد

r = ω/ω_n.

الرنين

X/(F₀/k) = 1/(2ζ) عند r = 1.

اختبار ذاتي

1. التردد الطبيعي لنظام كتلة-نابض:

√(m/k)

√(k/m)

k/m

km

.√(k/m). ω_n = √(k/m)

2. التخميد الحرج هو ζ =

0

0.5

1

2

1. أسرع عودة دون تذبذب.

3. عند الرنين مع ζ = 0.05، يكون التضخيم...

5

10

20

0.1

.10. 1/(2ζ)

4. الإثارة فوق ω_n بكثير (r ≫ 1) تجعل الاستجابة...

هائلة

صغيرة

صفرية التردد

حرجة

صغيرة. 0 → X مع ازدياد r.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الرنين يحدد أي المباني تنجو من الزلازل. تشرح IRIS (الآن EarthScope) أن لكل مبنى دورًا طبيعيًا، وهو الزمن الذي يستغرقه في التمايل ذهابًا وإيابًا، وأنه حين تطابق حركة الأرض هذا الدور يتعرض المبنى لأكبر تذبذباته وأشد أضراره. ووجدت دراسة لهيئة USGS شملت 41 مبنى شاهقًا أن نسب التخميد فيها أقل بوضوح من 3%، وتُظهر معادلة التضخيم في هذه الوحدة لماذا يجعل التخميد المنخفض الرنين خطرًا. ويضبط المهندسون الأدوار ويضيفون التخميد لتبقى المنازل والمستشفيات والبنية التحتية قائمة.

على Saving Planets: الحلول

المصادر: IRIS/EarthScope: Building resonance (https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/224) · USGS: Natural periods and damping of tall buildings (Çelebi, 2022) (https://www.usgs.gov/publications/preliminary-study-correlation-natural-periods-and-damping-percentages-tall-buildings)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP1, 15.1 Simple harmonic motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP1, 15.5 Damped oscillations (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-5-damped-oscillations): التخميد.
- OpenStax UP1, 15.6 Forced oscillations (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-6-forced-oscillations): الرنين.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): تفاعلي.
- PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Lecture 19: Introduction to Mechanical Vibration (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/lecture-19-introduction-to-mechanical-vibration-1/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), 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

مجموعات المسائل

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

1. كينماتيكا الجسيمات في خط مستقيم
   4 مسائل
2. الحركة المنحنية: المقذوفات والإحداثيات العمودية–المماسية والقطبية
   4 مسائل
3. كيناتيكا الجسيمات: قانون نيوتن الثاني
   4 مسائل

4. الشغل والطاقة والقدرة
   4 مسائل
5. الدفع وكمية الحركة والتصادم
   4 مسائل
6. أنظمة الجسيمات والكتلة المتغيرة: النفاثات والصواريخ
   4 مسائل
7. الكينماتيكا المستوية للأجسام الجاسئة
   4 مسائل
8. الكيناتيكا المستوية للأجسام الجاسئة: القوة والكتلة والتسارع
   4 مسائل
9. الأجسام الجاسئة: طرق الطاقة وكمية الحركة
   4 مسائل
10. الاهتزازات الميكانيكية
    4 مسائل

المختبر (Dynamics lab)

المختبر هو الجزء العملي من المقرر. وهو هنا مجاني وللتدريب فقط، دون ساعات معتمدة.

يمكن إجراء كل مختبر في محاكاة PhET مجانية أو بأدوات منزلية. دحرج وأسقط الأجسام اللينة الخفيفة فقط، وأخلِ الأرضية، ولا تقذف شيئًا أبدًا نحو الناس أو الحيوانات الأليفة أو النوافذ.

مرجع السلامة: OSHA: Hand and power tools (https://www.osha.gov/hand-power-tools)

المختبر A: تسارع ثابت على منحدر

الأسبوع 2

الهدف: قِس الموضع مقابل الزمن لكرة تتدحرج على منحدر لطيف، وبيّن أن x يزداد مثل t²، واستخرج التسارع.

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

x=12at^2

من السكون؛ ارسم x مقابل t² لتحصل على خط مستقيم ميله a/2

الإجراء

1. ارفع أحد طرفي لوح طويل على كتاب لتكوين ميل لطيف؛ وضع علامات عند 0.25 و1.0 و2.25 و4.0 m (أو علامات مصغرة).
2. أطلق كرة من السكون وصوّرها بالحركة البطيئة بهاتف؛ واقرأ الزمن عند كل علامة.
3. ارسم x مقابل t² ووفّق خطًا يمر بنقطة الأصل؛ الميل = a/2.
4. اختياري: قارن مع PhET أو مع a = (5/7) g sin θ لكرة مصمتة متدحرجة.

جدول البيانات

t (s)	x (m) عند a = 0.5 m/s²
1	0.25
2	1.00
3	2.25
4	4.00

قيم توضيحية لـ a = 0.5 m/s²؛ ميلك يحدد قيمة a الخاصة بك.

مثال حسابي

1. في كل صف، إذن $x/t^2 = 0.25\ \text{m/s}^2$ $a = 0.50\ \text{m/s}^2$.
2. مضاعفة الزمن تضاعف المسافة أربع مرات.
3. لكرة مصمتة، يتطلب $a = 0.5\ \text{m/s}^2$ أن يكون $\sin\theta = 0.5 \times 7/(5 \times 9.81)$، $\theta = 4.1°$.

السلامة

- أخلِ الأرضية حيث تنتهي الكرة؛ واستخدم كرة لينة.

بديل منزلي أو افتراضي

- المختبر كله منزلي.

PhET: Ladybug Motion 2D (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ladybug-motion-2d)

الصلة بالكوكب: بيانات التسارع المقيسة كهذه تغذي اختبارات دورات القيادة التي تقيّم كفاءة استخدام السيارات للطاقة.
FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml)

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

المختبر B: مدى المقذوف وزاوية الإطلاق

الأسبوع 3

الهدف: قِس كيف يعتمد المدى على زاوية الإطلاق وقارنه مع $R = v_0^2 \sin 2\theta / g$.

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

`R=(v_0^22θ)/(g)`

أرض مستوية، بلا مقاومة هواء

الإجراء

1. افتح PhET Projectile Motion، وأوقف مقاومة الهواء، واضبط $v_0 = 10$ m/s وارتفاع الإطلاق على 0.
2. أطلق عند 15° و30° و45° و60° و75° وسجّل المدى.
3. ارسم R مقابل $\sin 2\theta$؛ يجب أن يكون الميل $v_0^2/g = 10.19$ m.
4. شغّل مقاومة الهواء ولاحظ أي زاوية تعطي الآن أطول مدى.

جدول البيانات

θ (°)	R (m)
15	5.10
30	8.83
45	10.19
60	8.83
75	5.10

قيم محسوبة من المعادلة مع $g = 9.81$ m/s².

مثال حسابي

1. الزوايا المتتامة (15° و75°، 30° و60°) تعطي المدى نفسه.
2. القيمة العظمى عند 45°: $R = v_0^2/g = 10.19$ m.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب؛ وإن جربت نسخة منزلية، فاقذف كرات لينة فقط ولا تقذفها أبدًا نحو الناس.

بديل منزلي أو افتراضي

- اختياري: اقذف كرة لينة بزوايا تقديرية في فناء وقِس المديات؛ مقاومة الهواء وارتفاع الإطلاق يجعلانها أقل دقة.

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

الصلة بالكوكب: المعادلات نفسها، مع إضافة مقاومة الهواء، تخطط مسارات صعود الصواريخ التي تضع أقمار رصد الأرض في مداراتها. NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/)

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

المختبر C: الارتدادات والتصادمات ومعامل الارتداد

الأسبوع 7

الهدف: أوجد e لكرة مرتدة من ارتفاعات الارتداد، وتحقق من حفظ كمية الحركة في تصادمات محاكاة.

$$e = \sqrt{h_2 / h_1}$$

e=_2/h_1

كرة تسقط على أرضية ثقيلة

الإجراء

1. أسقط كرة من 1.0 m أمام شريط قياس وصوّرها؛ واقرأ ارتفاعات الارتدادات الثلاثة الأولى.
2. احسب e لكل ارتداد.
3. في PhET Collision Lab، اجعل 2 kg بسرعة 5 m/s تصطدم بـ 3 kg ساكنة بمرونة 80% وقارن السرعات النهائية بمثال الوحدة 5.
4. كرر بمرونة 0% و100% وقارن كمية الحركة الكلية والطاقة الحركية قبل التصادم وبعده.

جدول البيانات

الارتداد	الارتفاع (m)	e
السقوط	1.00	—
1	0.64	0.80
2	0.41	0.80
3	0.26	0.80

قيم توضيحية لكرة لها e ≈ 0.8.

مثال حسابي

1. e = √(0.64/1.00) = 0.80; √(0.41/0.64) = 0.80; √(0.26/0.41) = 0.80.
2. المحاكاة عند 80%: $v_1' = -0.4$ m/s، $v_2' = 3.6$ m/s؛ كمية الحركة 10 kg·m/s قبل وبعد.

السلامة

- استخدم كرة لينة وأبعد الأشياء القابلة للكسر.

بديل منزلي أو افتراضي

- جزء الارتداد هو النسخة المنزلية.

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

الصلة بالكوكب: كان اختبار DART التابع لناسا تصادمًا مخططًا له؛ وقياس انتقال كمية الحركة في الاصطدامات هو أساس تصميم الدفاع الكوكبي. NASA: DART impact changed asteroid's motion in space (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroids-motion-in-space/)

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

المختبر D: سباق التدحرج

الأسبوع 11

الهدف: سابق بين كرة وعلبة ممتلئة وحلقة على المنحدر نفسه، وفسّر الترتيب باستخدام a = g sin θ/(1 + I/(mr²)).

$$a = \frac{g\sin\theta}{1 + I_G/(mr^2)}, \quad t = \sqrt{2L/a}$$

`a=(gθ)/(1+I_G/(mr^2)), t=2L/a`

التدحرج من السكون على طول L

الإجراء

1. اضبط لوحًا على 10° (مقياس الميل في الهاتف) وعلّم مسارًا طوله 1 m.
2. أطلق الأزواج معًا: كرة مصمتة مقابل علبة حساء ممتلئة، وعلبة ممتلئة مقابل حلقة أو علبة فارغة (رقيقة الجدار).
3. صوّر خطوط النهاية ووقّت كل جولة؛ كرر ثلاث مرات.
4. قارن مع الأزمنة المتوقعة.

جدول البيانات

الجسم	I/(mr²)	a (m/s²)	t على 1 m (s)
كرة مصمتة	0.4	1.22	1.28
أسطوانة مصمتة	0.5	1.14	1.33
حلقة	1.0	0.852	1.53

قيم محسوبة لـ θ = 10° وتدحرج دون انزلاق؛ علبة الحساء الممتلئة لا تتصرف إلا تقريبيًا كأسطوانة مصمتة لأن السائل قد يتحرك داخلها.

مثال حسابي

1. الكرة: a = 9.81 sin 10°/1.4 = 1.22 m/s²؛ t = √(2/1.22) = 1.28 s.
2. الحلقة: a = 9.81 sin 10°/2 = 0.852 m/s²؛ t = 1.53 s.
3. الكتلة ونصف القطر يُختصران: عامل الشكل وحده هو المهم.

السلامة

- التقط الأجسام عند الأسفل؛ وأبعد أصابعك عن أسفل العلب الثقيلة.

بديل منزلي أو افتراضي

- المختبر كله منزلي.

PhET: Torque (https://phet.colorado.edu/en/simulations/torque)

الصلة بالكوكب: موضع كتلة الدوّار يغيّر سرعة تسارعه، وهذا مهم لتوربينات الرياح والتوربينات المائية. U.S. DOE: Types of hydropower turbines (https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر E: دور البندول وg

الأسبوع 13

الهدف: قِس دور بندول بسيط عند عدة أطوال وأوجد g من التوفيق.

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \;\Rightarrow\; T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$$

T=2π/g\ \ T^2=(4π^2)/(g)L

ارسم T^2 مقابل L

الإجراء

1. اربط ثقلًا صغيرًا بخيط وعلّقه من إطار باب. اضبط L (حتى مركز الثقل) على 0.25 و0.50 و1.00 m.
2. أزحه نحو 10° ووقّت 10 تأرجحات؛ ثم اقسم على 10.
3. ارسم T^2 مقابل L ووفّق خطًا يمر بنقطة الأصل؛ الميل = $g = 4\pi^2/$.
4. تحقق في PhET Pendulum Lab أن الكتلة لا تغير الدور.

جدول البيانات

L (m)	T (s)
0.25	1.003
0.50	1.419
1.00	2.006

قيم محسوبة لـ $g = 9.81\ m/s^2$؛ معادلة الزوايا الصغيرة.

مثال حسابي

1. $T^2/L = 4.024\ s^2/m$ في كل صف، إذن $g = 4\pi^2/4.024 = 9.81\ m/s^2$.
2. مضاعفة L أربع مرات تضاعف T.

السلامة

- استخدم ثقلًا خفيفًا وأبعد التأرجح عن الوجوه.

بديل منزلي أو افتراضي

- المختبر كله منزلي.

PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab)

الصلة بالكوكب: لكل مبنى أيضًا دور طبيعي؛ وتطابقه مع اهتزاز الأرض هو ما يجعل الزلازل خطيرة. IRIS/EarthScope: Building resonance (https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/224)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر F: اهتزاز الكتلة-النابض والتخميد

الأسبوع 14

الهدف: قِس التردد الطبيعي مقابل الكتلة، وقدّر نسبة التخميد من القمم المتضائلة.

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{k/m}, \quad \zeta \approx \frac{\ln(x_1/x_2)}{2\pi}$$

`f=(1)/(2π)/m, ≈((x_1/x_2))/(2π)`

التردد الطبيعي والتناقص اللوغاريتمي

الإجراء

1. في PhET Masses and Springs، اضبط نابضًا 10 N/m وعلّق 100 و200 و400 g؛ ووقّت 10 تذبذبات لكل منها.
2. شغّل التخميد، وأطلق، واقرأ ثلاثة ارتفاعات قمم متتالية من المسطرة.
3. في المنزل: علّق كيسًا من العملات بشريط مطاطي أو نابض لين وكرر باستخدام ساعة إيقاف الهاتف.
4. ارسم f مقابل 1/√m.

جدول البيانات

m (kg)	f (Hz) عند k = 10 N/m
0.1	1.592
0.2	1.125
0.4	0.796

قيم محسوبة من المعادلة؛ وتُستخدم أدناه قمم تخميد توضيحية قدرها 10 و8 و6.4 cm.

مثال حسابي

1. مضاعفة m أربع مرات تنصّف f: 1.592 → 0.796 Hz.
2. القمم 10 → 8 → 6.4 cm: δ = ln 1.25 = 0.223، ζ ≈ 0.0355.
3. مع ζ = 0.0355، يكون التضخيم عند الرنين 1/(2ζ) = 14.1.

السلامة

- قد تنقطع الأشرطة المطاطية؛ ارتدِ نظارات وأبقِ الكتلة صغيرة.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوة الشريط المطاطي هي النسخة المنزلية.

PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs)

الصلة بالكوكب: تُظهر قياسات USGS أن المباني الشاهقة قليلة التخميد، لذا يضيف المهندسون مخمِّدات للحد من حركة الرنين. USGS: Natural periods and damping of tall buildings (Çelebi, 2022) (https://www.usgs.gov/publications/preliminary-study-correlation-natural-periods-and-damping-percentages-tall-buildings)

☐ **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 5–1)

1. سيارة تتسارع من السكون بمعدل 2.5 m/s² حتى 30 m/s. أوجد الزمن والمسافة.

.1 $t = v/a$; $x = v^2/(2a)$.

الإجابة: 12 s; 180 m.

2. تُقذف كرة بسرعة 25 m/s وبزاوية 40° فوق أرض مستوية. أوجد المدى.

.1 $R = v_0^2 \sin 80°/g$.

الإجابة: 62.7 m.

3. تُسحب كتلة 5 kg بقوة 40 N على أرضية $\mu_k = 0.2$. أوجد تسارعها.

.1 $a = (40 - 0.2 \times 49.05)/5$.

الإجابة: 6.04 m/s².

4. كتلة 1 kg تسقط 5 m على نابض ($k = 2000$ N/m). أوجد أقصى انضغاط.

.1 $mg(5 + x) = \tfrac{1}{2}kx^2$، إذن $1000x^2 - 9.81x - 49.05 = 0$.

الإجابة: 0.226 m.

5. كرة 0.06 kg بسرعة 50 m/s تتوقف خلال 0.005 s. أوجد متوسط القوة.

.1 $F = m\Delta v/\Delta t$.

الإجابة: 600 N.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. مرحلة لها $v_e = 2800$ m/s و$m_0/m_f = 3$. أوجد Δv المثالية.

.1 $\Delta v = v_e \ln 3$.

الإجابة: 3,076 m/s.

2. عجلة نصف قطرها 0.4 m تتدحرج دون انزلاق بسرعة 20 m/s. أوجد ω.

   1. ω = v/r.

الإجابة: 50 rad/s.

3. قرص مصمت كتلته 4 kg ونصف قطره 0.25 m يتعرض لعزم 2 N·m. أوجد α.

   1. I = ½mr² = 0.125 kg·m².

الإجابة: 16 rad/s².

4. حلقة تتدحرج دون انزلاق من السكون نازلةً ارتفاع 1.5 m. أوجد سرعتها.

   1. mgh = mv² للحلقة، v = √(gh).

الإجابة: 3.84 m/s.

5. كتلة 5 kg على نابض k = 1250 N/m. أوجد ω_n وf.

   1. ω_n = √(k/m).

الإجابة: 15.8 rad/s؛ 2.52 Hz.

6. أوجد التضخيم عند الرنين لـ ζ = 0.05.

   1. 1/(2ζ).

الإجابة: 10.

ورقة الصيغ

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

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

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

$$a_n = v^2/\rho,\ a_t = \dot{v}$$

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2,\ a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$$

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

$$T_1 + \sum U = T_2,\ P = \vec{F}\cdot\vec{v}$$

$$m\vec{v}_1 + \int \vec{F}dt = m\vec{v}_2,\ e = (v_2' - v_1')/(v_1 - v_2)$$

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

$$v = r\omega,\ a_t = r\alpha,\ a_n = r\omega^2$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$$

$$\sum M_G = I_G\alpha,\ I = I_G + md^2$$

$$T = \tfrac{1}{2}mv_G^2 + \tfrac{1}{2}I_G\omega^2,\ P = M\omega$$

$$\omega_n = \sqrt{k/m},\ \zeta = c/(2\sqrt{km})$$

$$X = (F_0/k)/\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}$$

الثوابت

الثابت	القيمة
تسارع الجاذبية القياسي، g	9.80665 m/s² (نستخدم 9.81 m/s²)
ثابت الجاذبية الأرضي، GM (مقرّب)	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
متوسط نصف قطر الأرض (مقرّب)	6371 km
1 دورة في الدقيقة	2π/60 = 0.1047 rad/s
1 كيلوواط ساعة	3.6 × 10⁶ J
1 ميل	1.609 km

المصدر: NIST: Standard acceleration of gravity (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn)

نصوص ومحاكاة مجانية

استخدم هذه الكتب والمحاضرات والمحاكاة المجانية إلى جانب المقرر.

- OpenStax University Physics Volume 1 (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): كتاب مجاني للجانب الفيزيائي من المقرر.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): محاضرات MIT ومجموعات المسائل والامتحانات، مجانًا.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (بالإنجليزية) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): محاضرات ميكانيكا مجانية من MIT.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): المسارات.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): كمية الحركة والاصطدامات.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): الاهتزاز والتخميد.

مسرد المصطلحات

كمية الحركة الزاوية
H = r × mv للجسيم؛ وI_Gω للجسم الجاسئ في الحركة المستوية.

معامل الارتداد
نسبة سرعة الانفصال إلى سرعة الاقتراب في الاصطدام.

تسارع كوريوليس
الحد $2\dot{r}\dot{\theta}$ في الإحداثيات القطبية.

نسبة التخميد
$\zeta = c/(2\sqrt{(km)})$؛ القيمة 1 هي الحرجة.

الدفع
تكامل القوة عبر الزمن.

المركز اللحظي
نقطة من الجسم سرعتها صفر في لحظة ما.

المخطط الحركي
رسم يبين ma_G و$I_G\alpha$.

التناقص اللوغاريتمي
$\ln$ لنسبة قمتين متتاليتين.

عزم القصور الذاتي الكتلي
$I = \int r^2\, dm$.

التردد الطبيعي
تردد الاهتزاز الحر، $\sqrt{(k/m)}$.

التسارع العمودي
v^2/ρ، نحو مركز الانحناء.

القدرة
معدل بذل الشغل، $F\cdot v$ أو $M\omega$.

المقذوف
جسم يتحرك تحت تأثير الجاذبية وحدها.

الرنين
استجابة كبيرة حين تطابق الإثارة ترددًا طبيعيًا.

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

التدحرج دون انزلاق
$v_G = r\omega$؛ ونقطة التماس ساكنة.

التسارع المماسي
dv/dt على امتداد المسار.

مبدأ الشغل–الطاقة
$T_1 + \Sigma U = T_2$.

معايير التقييم الذاتي

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

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يختار الإحداثيات وأفضل طريقة (القوى أو الطاقة أو كمية الحركة)، ويرسم مخططات الجسم الحر والمخططات الحركية، ويتحقق من الوحدات والحالات الحدية.
3 · متمكن	يحل مسائل التدريب مع أخطاء عرضية في الإشارة أو الوحدات.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يخلط بين الطرق أو ينسى حدود الدوران.
1 · مبتدئ	يعوّض الأرقام في المعادلات دون مخططات؛ ويحتاج إلى مراجعة الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	25%
المختبرات	20%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%
مجموعة التدريب النهائية	30%

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

دورات ذات صلة

- الاستاتيكا ENGR 211
- ميكانيكا المواد ENGR 213
- التفاضل والتكامل 3 MATH 210
- كل الدورات