درس نموذجي مجاني

# البندول البسيط

حزمة الدروس التمهيدية في الاهتزازات

01

البندول البسيط

البندول البسيط · 45 دقيقة

أوراق عمل الطلاب | روابط التجارب | أسئلة التنبؤ | جداول البيانات | شرح الإجابات | دليل المعلم

© 2026 PSL · مختبر محاكاة الفيزياء · pslsimulations.com. الترخيص لمعلم واحد: يمكنك طباعة هذه الصفحات وتوزيعها على طلابك أو مشاركتها في صفحة صفية محمية بكلمة مرور. يُرجى عدم نشرها للعموم أو توزيعها على معلمين آخرين. المحاكاة مجانية ومتاحة في أي وقت.

العربية · ترجمة عربية. النسخة الإنجليزية هي المرجع.

# الدرس· 1ورقة عمل الطالب · البندول البسيط

**المحاكاة:** البندول البسيط  **المدة:** نحو 45 دقيقة  **المستوى:** الصفوف · 12–9 مدخل جامعي

الاسم  التاريخ  الصف

**افتح التجربة:** ابحث في PSL عن «البندول البسيط (Simple pendulum)».
pslsimulations.com/#/lab/mechanics-lab/pendulum

### أهداف التعلم

- قس كيف يعتمد الزمن الدوري للبندول على طوله.
- حدد زاوية الإفلات التي لا تعود عندها معادلة الزاوية الصغيرة $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$ دقيقة.

الزمن الدوري T هو زمن تأرجح البندول ذهابًا وإيابًا مرة كاملة. للتأرجحات الصغيرة نتوقع $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$، حيث L هو الطول وتسارع الجاذبية $g = 9.81\ m/s^2$. تعرض المحاكاة هذا «الزمن الدوري عند الزوايا الصغيرة»، لكنها تحاكي التأرجح كاملًا عند أي زاوية. مهمتك اكتشاف متى تفقد القراءة دقتها.

**أدوات التحكم التي ستستخدمها:** الطول (· 0.5–3 m) زاوية الإفلات (· 5–150°) القراءة: الزمن الدوري عند الزوايا الصغيرة

## · 1 تنبأ

قبل تشغيل المحاكاة

**P1 إذا زدت طول البندول إلى أربعة أمثاله، فإن زمنه الدوري...**

☐يبقى كما هو  ☐يتضاعف  ☐يصبح أربعة أمثاله  ☐ينخفض إلى النصف

ما مدى ثقتك بإجابتك؟ ① ② ③ ④ ⑤ (= 1 تخمين، = 5 يقين)

**P2 هل تغير زاوية الإفلات الزمن الدوري؟ تنبأ بالزمن عند 10° وعند 120° لبندول طوله 1.5 m.**

**P3 عند أي زاوية تقريبًا تتوقع أن يتجاوز خطأ المعادلة 5%؟**

## · 2 استقصِ

غيّر شيئًا واحدًا في كل مرة

### الجزء أ · الطول

1. اضبط زاوية الإفلات على 10°. أبقِ سرعة التشغيل عند ×1.
2. لكل طول، اقرأ الزمن الدوري عند الزوايا الصغيرة. ثم قس بساعة إيقاف زمن 5 تأرجحات كاملة واقسمه على 5.

| الطول (m) L | قراءة (s) T | زمن 5 تأرجحات (s) | القيمة المقاسة لـ T (s) | $T^2$ ($s^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | | | | |
| 1.0 | | | | |
| 1.5 | | | | |
| 2.0 | | | | |
| 3.0 | | | | |

### الجزء ب · الزاوية

1. اضبط الطول على 1.5 m. يُفترض أن تظهر القراءة 2.46 s.
2. لكل زاوية إفلات، قس زمن 5 تأرجحات كاملة واحسب الزمن الدوري. ثم احسب نسبة الفرق: (القيمة المقاسة ناقص 2.46) مقسومة على 2.46 ومضروبة في 100.

| زاوية الإفلات | زمن 5 تأرجحات (s) | القيمة المقاسة لـ T (s) | نسبة الفرق عن 2.46 s |
|---|---|---|---|
| 10° | | | |
| 35° | | | |
| 60° | | | |
| 90° | | | |
| 120° | | | |
| 150° | | | |

## 3 · فسّر

استعن ببياناتك

**E1 من بيانات الجزء أ، ماذا حدث للزمن الدوري عندما زاد الطول من 0.5 m إلى 2.0 m، أي أربعة أمثاله؟ هل صح تنبؤك في السؤال P1؟**

**E2 ارسم على المحور الرأسي $T^2$ وعلى المحور الأفقي L. صف الرسم واحسب ميله. استخدم علاقة الميل $= 4\pi^2/g$ لإيجاد g.**

**E3 في الجزء ب، عند أي زاوية تجاوز الفرق بين الزمن المقاس والقراءة 5% لأول مرة؟**

**E4 تفترض المعادلة أن $\sin\theta \approx \theta$. فسّر لماذا يستغرق البندول عند إفلاته بزاوية كبيرة وقتًا أطول مما تتنبأ به المعادلة.**

**سؤال ختامي**

طول بندول ساعة أرضية ) .1.0 mأ) احسب زمنه الدوري. (ب) إذا صار تأرجحه أوسع، فهل تتقدم الساعة أم تتأخر؟ ولماذا؟

# الدرس· 1دليل المعلم · البندول البسيط

**المحاكاة:** البندول البسيط **المدة:** نحو 45 دقيقة **الرياضيات:** الجبر والجذور التربيعية (الرسم البياني اختياري)

**رابط التجربة:** pslsimulations.com/#/lab/mechanics-lab/pendulum

### نظرة عامة

يتحقق الطلاب من أن $T \propto \sqrt{L}$، ثم يكتشفون أن المعادلة المعروفة تقريب يفقد دقته عند التأرجحات الواسعة. تحسب المحاكاة الحركة بتكامل المعادلة غير الخطية الكاملة: $d^2\theta/dt^2 = -(g/L)\sin\theta$، لذا فإن الأزمنة الدورية المقاسة عند زوايا كبيرة أطول فعلًا من القراءة. عند سرعة ×1 تسير الحركة في الزمن الحقيقي. عند $L = 1.5\ m$ قسنا $2.47\ s$ لزاوية $10°$ و$3.37\ s$ لزاوية $120°$.

### قبل الحصة

افتح المحاكاة مرة قبل الحصة. يحتاج الطلاب إلى ساعة إيقاف (الهاتف مناسب). في كل زوج يطلق طالب البندول بزر إعادة الضبط ويقيس الآخر الزمن.

### مفاهيم خاطئة شائعة

- الكرات الأثقل تتأرجح أسرع. (لا تظهر الكتلة في المعادلة؛ والمحاكاة تفترض كتلة نقطية.)
- مضاعفة الطول تضاعف الزمن الدوري. (يصبح الزمن الدوري أكبر بمعامل $\sqrt{2} \approx 1.41$.)
- السعة لا تؤثر أبدًا. (تؤثر عند الزوايا الكبيرة، وهذا ما يوضحه الجزء ب.)

## مفتاح الإجابات مع الشرح

**P1**

يتضاعف. بما أن $T \propto \sqrt{L}$، فإن زيادة الطول إلى أربعة أمثاله تزيد الزمن الدوري بمعامل $\sqrt{4} = 2$.

**P2**

عند $10°$ يبلغ الزمن الدوري نحو $2.46\ s$، مثل القراءة. وعند $120°$ يبلغ نحو $3.37\ s$، أي أطول بنحو 37%.

**P3**

تُقبل أيّ توقعات معقولة. قارنوها بنتائج التجارب في الجزء ب.

**الجزء أ**

الأطوال والأزمنة بالترتيب: $0.5\ m$ و$1.42\ s$؛ $1.0\ m$ و$2.01\ s$؛ $1.5\ m$ و$2.46\ s$؛ $2.0\ m$ و$2.84\ s$؛ $3.0\ m$ و$3.47\ s$. يُتوقع اتفاق القياسات في حدود نحو $0.1\ s$. قيم $T^2$ هي 2.01 و4.03 و6.04 و8.05 و12.1، بوحدة $s^2$.

**الجزء ب**

الأزمنة الدورية المتوقعة عند طول $1.5\ m$: $10°$: $2.46\ s$ (+0.2%)؛ $35°$: $2.52\ s$ (+2.4%)؛ $60°$: $2.64\ s$ (+7.3%)؛ $90°$: $2.90\ s$ (+18%)؛ $120°$: $3.37\ s$ (+37%)؛ $150°$: $4.33\ s$ (+76%).

**E1**

تضاعف الزمن الدوري من $1.42\ s$ إلى $2.84\ s$. فزيادة الطول إلى أربعة أمثاله تضاعف الزمن الدوري لأن $T \propto \sqrt{L}$.

**E2**

خط مستقيم يمر بنقطة الأصل، ميله نحو $4.02 \approx 9.8\ m/s^2$. $g = 4\pi^2 \div 4.0\ s^2/m$. تُقبل قيم الطلاب في حدود 5% تقريبًا.

**E3**

من بين الزوايا المختبرة، كانت أول زاوية تجاوز فيها الفرق 5% هي $60°$. بلغ الفرق 2.4% عند $35°$ وبلغ 7.3% عند $60°$.

**E4**

مقدار قوة الإرجاع هو $mg\sin\theta$. عند الزوايا الكبيرة يكون $\sin\theta$ أصغر بوضوح من $\theta$ بالراديان: مثلًا $\sin 90° = 1$، في حين أن $90°$ تعادل $1.57\ rad$. لذلك يكون السحب نحو المركز أضعف مما تفترضه المعادلة. وضعف قوة الإرجاع يعني عودة أبطأ وزمنًا دوريًا أطول.

**ختام الدرس**

(أ) $T = 2\pi\sqrt{(1.0/9.81)} \approx 2.01\ s$. (ب) تتأخر. للتأرجحات الواسعة زمن دوري أطول، فيُكمل البندول عددًا أقل من التأرجحات في الساعة.

**نشاط إضافي**

تثبت المحاكاة تسارع الجاذبية عند $g = 9.81\ m/s^2$، فلا يمكنها إظهار عالم آخر مباشرة. اطلب من الطلاب حساب الزمن الدوري لبندول طوله $1.5\ m$ على القمر، حيث $g = 1.62\ m/s^2$): $T = 2\pi\sqrt{(1.5/1.62)} \approx 6.05\ s$، أي نحو 2.5 ضعف الزمن على الأرض.

**مراعاة الفروق الفردية**

للدعم: قدم العمود المملوء مسبقًا لـ $T^2$ ولا تطلب حساب الميل. للتحدي: قارن نتائج الجزء ب بمتسلسلة التقريب $T \approx T_0(1 + \theta_0^2/16)$، حيث الزاوية $\theta_0$ بالراديان، وحدد متى يفقد التقريب دقته.

PSL

# حزمة الدروس التمهيدية في الاهتزازات / حزمة دروس الاهتزازات والموجات

## حزمة الدروس التمهيدية في الاهتزازات · 19 USD

- البندول البسيط
- الرنين في نابض تحت تأثير قوة دورية
- بندولان مقترنان وانتقال الطاقة

## حزمة دروس الاهتزازات والموجات · 49 USD

- البندول البسيط
- الرنين في نابض تحت تأثير قوة دورية
- بندولان مقترنان وانتقال الطاقة
- الموجات الواقفة على الأوتار وفي الأنابيب
- أنماط الرنين على غشاء طبل
- أنماط كلادني والتناظر

تقييم الوحدة ومفتاح الإجابة · 12 سؤالًا

دليل توزيع الدروس على أسبوعين وقائمة المصطلحات