免費示範課

單擺

振動入門課程包

01 單擺
單擺 · 45 分鐘

學生學習單 | 實驗連結 | 預測問題 | 資料表 | 答案解析 | 教師指南

© 2026 PSL · Physics Simulations Lab · pslsimulations.com。單一教師授權：您可以列印這些頁面並與自己的學生分享，也可以放在有密碼保護的班級網頁上。請勿公開發布或轉交其他教師。所有模擬皆可隨時免費使用。

繁體中文 · 機器輔助翻譯。英文版為參考版本。

第 1 課 · 學生學習單 · 單擺

模擬： 單擺　**時間：** 約 45 分鐘　**程度：** 9–12 年級 · 大學入門程度

姓名　　日期　　班級

開啟實驗： 在 PSL 中搜尋「單擺」。
pslsimulations.com/#/lab/mechanics-lab/pendulum

學習目標

- 測量單擺的週期如何隨擺長改變。
- 找出從哪個釋放角度開始，小角度公式 $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$ 不再準確。

單擺的週期 T 是完成一次完整往返擺動所需的時間。小幅擺動時，物理理論預測 $T = 2\pi\sqrt{(L/g)}$，其中 L 是擺長，$g = 9.81\ m/s^2$。模擬會顯示這個「小角度週期」的讀值，但實際上會計算任意角度下的完整擺動。你的任務是找出讀值何時開始偏離實際情況。

本課使用的控制項： 擺長（0.5–3 m） · 釋放角度（5–150°） · 讀值：小角度週期

1 · 預測

操作模擬前先思考

P1 如果把擺長增加為原來的 4 倍，週期會……

☐ 保持不變　☐ 增加為原來的兩倍　☐ 增加為原來的 4 倍　☐ 減為原來的一半

你有多大把握？ ① ② ③ ④ ⑤ （1 = 猜測，5 = 非常確定）

P2 釋放角度會改變週期嗎？預測長 1.5 m 的單擺在 10° 與 120° 時的週期。

P3 你認為角度大約達到多少時，公式的誤差會超過 5%？

2 · 探究

每次只改變一個因素

A 部分 · 擺長

1. 將釋放角度設為 10°，播放速度保持在 1×。
2. 對每個擺長，先讀取「小角度週期」，再用碼錶測量 5 次完整擺動的時間，除以 5。

擺長 L（m）	週期讀值 T（s）	5 次擺動的時間（s）	實測週期 T（s）	T^2 (s^2)
0.5				
1.0				
1.5				
2.0				
3.0				

B 部分· 角度

1. 將擺長設為 1.5 m，週期讀值應為 2.46 s。
2. 對每個釋放角度，測量 5 次完整擺動的時間並求出實測週期，再計算百分比差異：（實測值 − 2.46）÷ 2.46 × 100。

釋放角度	5 次擺動的時間（s）	實測週期 T（s）	相對於 2.46 s 的百分比差異
10°			
35°			
60°			
90°			
120°			
150°			

3· 解釋

運用你的資料

E1 運用 A 部分的資料：擺長從 0.5 m 增加到 2.0 m（原來的 4 倍）時，週期有何變化？你在 P1 的預測正確嗎？

E2 繪製 T^2 對 L 的關係圖。描述圖形並求出斜率，再利用斜率 = $4\pi^2/g$ 計算 g。

E3 在 B 部分，實測週期首次與讀值相差超過 5% 的角度是多少？

E4 公式假設 $\sin\theta \approx \theta$。請解釋為何單擺從大角度釋放時，完成擺動所需的時間比公式預測的更長。

課末檢核

一座落地鐘的擺長為 1.0 m。（a）計算其週期。（b）若讓單擺以更大的幅度擺動，時鐘會走得偏快還是偏慢？為什麼？

第 1 課 · 教師指南 · 單擺

模擬： 單擺 **時間：** 約 45 分鐘 **數學：** 代數、平方根（可選擇繪圖）

實驗連結： pslsimulations.com/#/lab/mechanics-lab/pendulum

課程概述

學生先驗證 $T \propto \sqrt{L}$，再發現熟悉的公式其實是近似式，在大幅擺動時會失準。模擬會對完整的非線性方程式進行數值積分：$d^2\theta/dt^2 = -(g/L)\sin\theta$，因此大角度下實測的週期確實會比讀值更長。播放速度為 1× 時，擺動以實際時間進行：L = 1.5 m 時，我們測得 10° 的週期為 2.47 s，120° 為 3.37 s。

課前準備

課前先開啟一次模擬。學生需要碼錶（可使用手機）。建議兩人一組：一人按「重設」釋放單擺，另一人計時。

常見迷思

- 較重的擺錘擺得較快。（質量不出現在公式中；模擬使用質點模型。）
- 擺長加倍，週期也加倍。（實際上週期變為原來的 $\sqrt{2} \approx 1.41$ 倍。）
- 振幅永遠不影響週期。（大角度時會影響，這正是 B 部分的重點。）

參考答案與解析

P1

增加為原來的兩倍。因為 $T \propto \sqrt{L}$，擺長變為 4× 時，週期變為 $\sqrt{4} = 2\times$。

P2

10° 時的週期約為 2.46 s，與讀值相同；120° 時約為 3.37 s，約增加 37%。

P3

接受任何合理的預測，並與 B 部分的實驗結果比較。

A 部分

讀值：0.5 m → 1.42 s、1.0 m → 2.01 s、1.5 m → 2.46 s、2.0 m → 2.84 s、3.0 m → 3.47 s。實測值應與讀值相符，差異約在 0.1 s 以內。T^2 的數值：2.01、4.03、6.04、8.05、12.1 s^2.

B 部分

L = 1.5 m 時的預期實測週期：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

週期加倍了（1.42 s → 2.84 s）。擺長變為原來的四倍，週期變為兩倍，因為 $T \propto \sqrt{L}$。

E2

通過原點的直線，斜率 $\approx 4.0\ s^2/m$. $g = 4\pi^2 \div 4.02 \approx 9.8\ m/s^2$。學生的計算結果若誤差約在 5% 以內，即可接受。

E3

在測試的角度中，60° 是偏差首次超過 5% 的角度：35° 時偏差為 2.4%，60° 時為 7.3%。

E4

回復力為 $mg\sin\theta$。大角度時，$\sin\theta$ 明顯小於 θ（$\sin 90° = 1$，而 $90° = 1.57$ rad），所以將單擺拉回中央的作用比公式假設的更弱。回復力較弱，回程較慢，週期也較長。

課末檢核

（a）$T = 2\pi\sqrt{(1.0/9.81)} \approx 2.01$ s。（b）偏慢。大幅擺動的週期較長，因此單擺每小時完成的擺動次數較少，時鐘便會落後。

延伸活動

模擬將 g 固定為 9.81 m/s²，因此無法直接呈現其他天體的情況。請學生利用公式，計算月球上長 1.5 m 的單擺週期（月球 g = 1.62 m/s²）：$T = 2\pi\sqrt{(1.5/1.62)} \approx 6.05$ s，約為地球上的 2.5 倍。

差異化教學

支持：預先填好 T^2 這一欄，並略過斜率計算。挑戰：將 B 部分的結果與級數 $T \approx T_0(1 + \theta_0^2/16)$ 比較，其中 θ_0 以弧度表示，找出此近似式從何時開始失準。

PSL

振動入門課程包 / 振動與波主題套裝

振動入門課程包 · 19 USD

- 單擺
- 受迫彈簧振子的共振
- 耦合擺與能量傳遞

振動與波主題套裝 · 49 USD

- 單擺
- 受迫彈簧振子的共振
- 耦合擺與能量傳遞
- 弦與管中的駐波
- 鼓膜的共振圖樣
- 克拉尼圖形與對稱性

單元評量與參考答案 · 12 題

兩週教學進度指南 與詞彙表