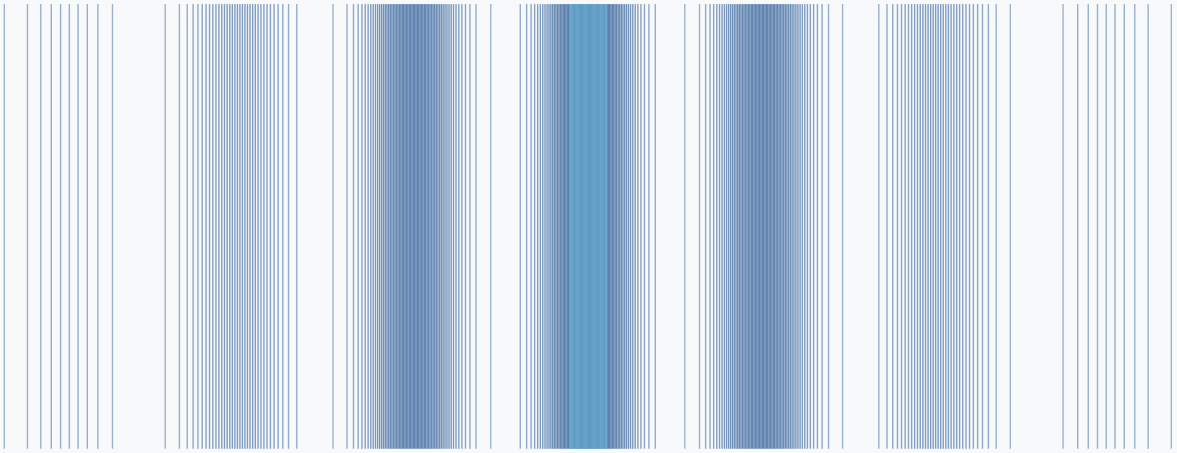
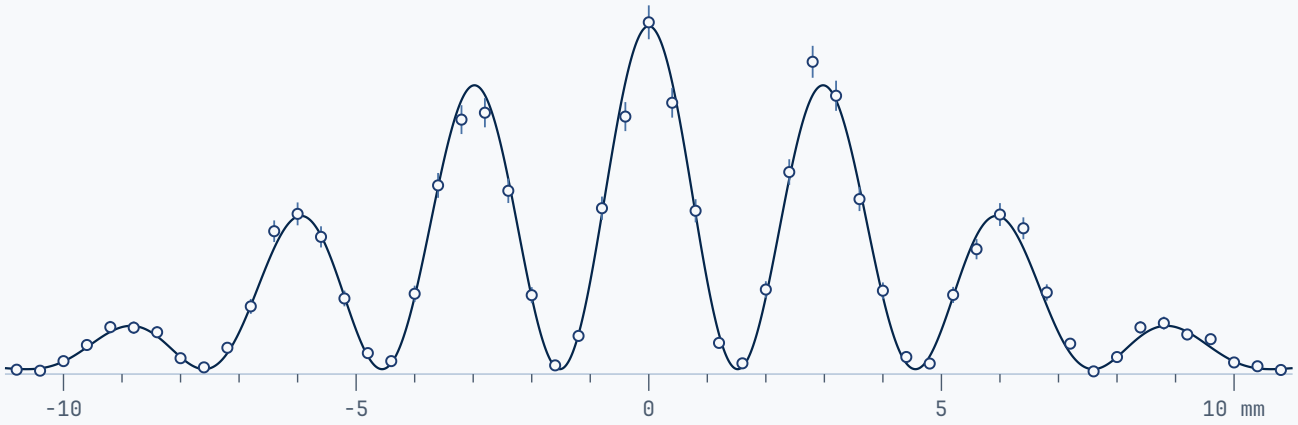
مَعَامِلُ الْفِيْزِيَاء
PHY-LAB





λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · scan Δx = 0.40 mm, σ = √N

أدوات مساعدة · طلاب البكالوريوس

التمثيل البياني وتحليل عدم اليقين في القياسات الفيزيائية

دليل عملي لطلاب المختبرات الفيزيائية

الفئة	الأقسام	المحاور
طلاب البكالوريوس	8 أقسام	الرسم · التحليل · الارتياب

قبل البداية

00 لماذا نستخدم التمثيل البياني؟



TEM_{00} · λ = 632.8 nm · w = 1.00 mm · no aperture

الرسم البياني هو أفضل وسيلة لتلخيص البيانات وتوضيح العلاقة الوظيفية بين المتغيرات بشكل يجذب الانتباه. هو لغة الفيزياء لرؤية الأنماط.

والرسم البياني ليس مجرد تمثيل بصري للبيانات، بل هو أداة تحليلية قوية تسمح لنا باستخلاص العلاقات الرياضية الكامنة بين الظواهر الفيزيائية. من خلاله يمكننا التحقق من صحة النظرية، وحساب الثوابت الفيزيائية بدقة، وتقدير الأخطاء التجريبية بشكل منهجي. إنه يترجم أرقاماً مجردة إلى قصة فيزيائية واضحة.

- **توضيح العلاقات:** يُظهر كيف يتغير المتغير التابع بتغير المتغير المستقل.
- **كشف الأخطاء:** يكشف القياسات الشاذة التي لا تقع على مسار المنحنى.
- **المحور السيني** `(x-axis)`**:** للمتغير المستقل.
- **المحور الصادي** `(y-axis)`**:** للمتغير التابع.

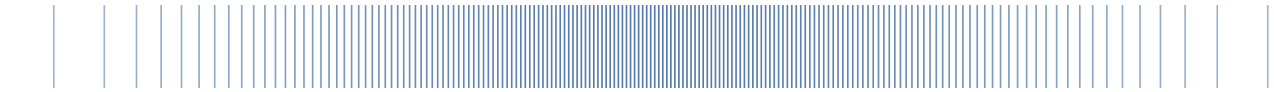
محتويات الدليل

CONTENTS

01	تنظيم البيانات ودقتها	p. 03
02	قواعد الرسم البياني الصحيح	p. 03
03	تحليل العلاقات الخطية: الميل والجزء المقطوع	p. 04
04	التحويل الخطي للعلاقات غير الخطية	p. 06
05	تحليل المنحنيات مباشرة	p. 08
06	حقيقة القياسات العلمية: الدقة والإحكام	p. 09
07	تصنيف الأخطاء ومصادرها	p. 10
08	حساب الارتياب وكتابة الخطأ	p. 11

القسم الأول

01 تنظيم البيانات ودقتها



N = 1 · λ = 632.8 nm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

قبل التفكير في الرسم، يجب أن تكون البيانات منظمة بشكل صحيح. الرسم الجيد يبدأ من جدول جيد.

01

جداول البيانات

سجّل كل القراءات في جدول، مع تحديد اسم الكمية ووحدتها في رأس كل عمود.

02

الأرقام المعنوية

حافظ على عدد ثابت من الخانات العشرية في كل عمود لضمان الدقة المتسقة.

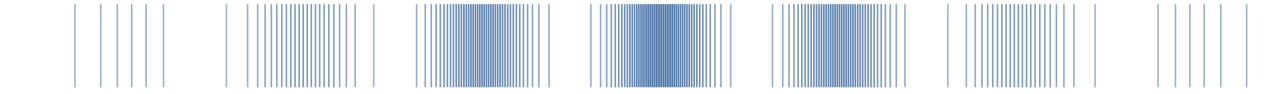
03

عدم اليقين

كل قياس له عدم يقين مرتبط به (مثلاً ±0.1 cm). سجّله دائماً، فهو أساس رسم «أشرطة الخطأ» لاحقاً.

القسم الثاني

02 قواعد الرسم البياني الصحيح



N = 2 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

01

العنوان

يجب أن يكون وصفياً (مثل: المسافة مقابل الزمن).

02

المتغيرات على المحاور

المستقل (الذي تتحكم فيه) على المحور الأفقي x، والتابع (الذي تقيسه) على المحور الرأسي y.

03

تسمية المحاور

الكمية + الوحدة. مثال: Time (s)، الجهد (V).

04

مقياس الرسم

اختر أرقاماً صحيحة (1, 2, 5) وتجنب الكسور المعقدة.

05

النقاط

حددها بوضوح باستخدام رموز مثل (⊙ ,×).

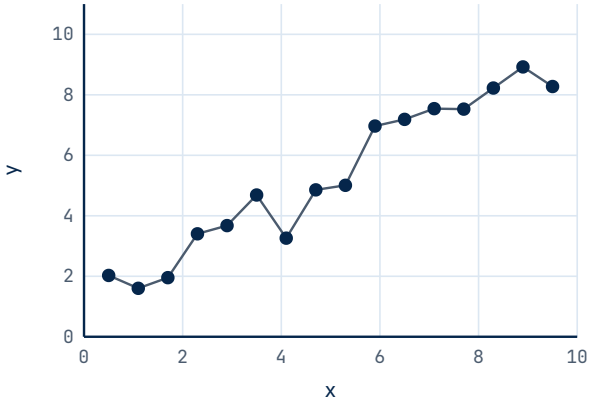
06

أشرطة الخطأ

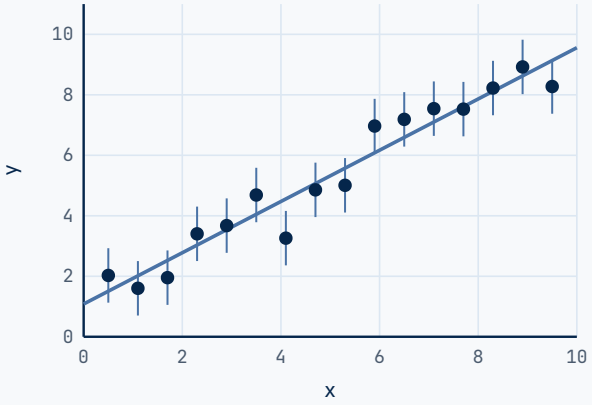
ارسم لكل نقطة شريطاً رأسياً (وأفقياً إذا لزم الأمر) يمثل عدم اليقين في قياسها.

رسم خط أفضل مطابقة

لا تصل النقاط ببعضها مباشرة. ارسم خطاً مستقيماً واحداً يمر عبر «مركز» النقاط، بحيث يكون عدد النقاط فوق الخط مساوياً تقريباً لعدد النقاط تحته، ويمر عبر معظم أشرطة الخطأ.



خطأ: توصيل النقاط. الخط البياني ليس لعبة توصيل نقاط.



صحيح: خط التوافق الأفضل. الخط يمثل متوسط المسار العام للنقاط.

ملاحظة هامة

لا تجبر الخط على المرور بنقطة الأصل (0, 0) إلا إذا كان ذلك متوافقاً مع البيانات والنظرية.

القسم الثالث

03 تحليل العلاقات الخطية: الميل والجزء المقطوع

N = 3 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

بعد رسم خط أفضل مطابقة، نستخدم المعادلة العامة للخط المستقيم:

$$y = m x + b$$

الميل m (Slope)

يحدد انحدار الخط: ميل موجب (+) أو ميل سالب (−). يمثل معدل تغير y بالنسبة لتغير x، وله دلالة فيزيائية هامة.

الجزء المقطوع b (Intercept)

النقطة التي يقطع فيها الخط محور y، أي قيمة y عندما $x = 0$. وله أيضاً دلالة فيزيائية مهمة.

كيفية حساب الميل رياضياً

$$m = \Delta y / \Delta x = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$$

Δy: الارتفاع (Rise) · Δx: الإزاحة الأفقية (Run)

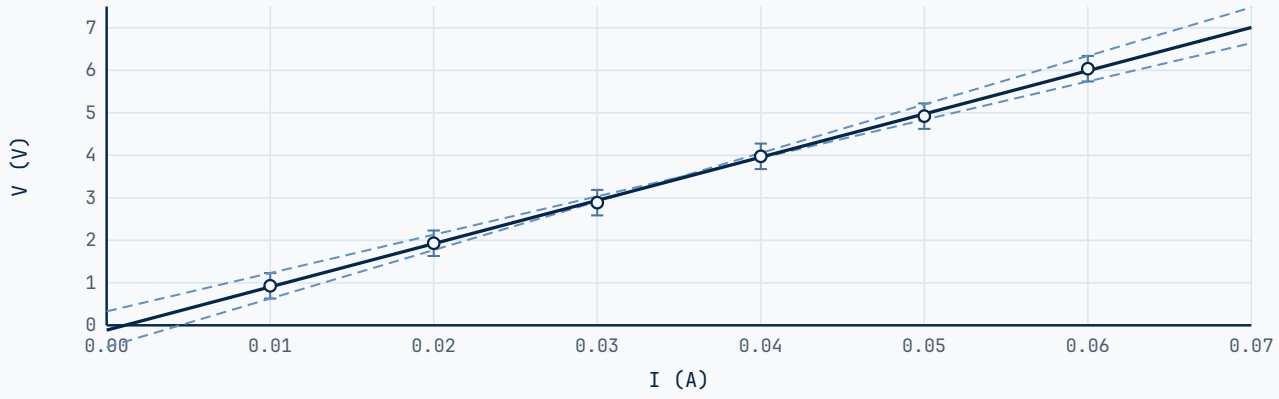
01 اختر نقطتين $P(x_1, y_1)$ و$Q(x_2, y_2)$ على الخط نفسه.

02 اجعل المسافة بين النقطتين كبيرة لزيادة الدقة.

03 لا تنسَ الوحدات! (مثلاً: m/s).

عدم اليقين في الميل والجزء المقطوع

يمكن تقدير عدم اليقين في قيمتي الميل والجزء المقطوع برسم خطّي «أقصى ميل» و«أدنى ميل» الممكنين اللذين لا يزالان يمرّان عبر أشرطة الخطأ.



best fit: R = 101.7 Ω, b = -0.11 V · max/min slopes: 114.2 / 90.2 Ω → R = (102 ± 12) Ω, b = (-0.11 ± 0.42) V · ΔV = ±0.3 V

شكل: الجهد مقابل التيار لمقاوم، مع أشرطة الخطأ وخط أفضل مطابقة (متصل) وخطّي أقصى وأدنى ميل (متقطعان).

الدلالة الفيزيائية للميل

التجربة	الرسم	الميل يساوي
قانون أوم	V vs. I	المقاومة الكهربائية R
قانون هوك	F vs. x	ثابت النابض k
البندول البسيط	T^2 vs. L	$4\pi^2/g$، ومنه نستخلص g

مثال على دلالة الجزء المقطوع

في رسم الجهد مقابل التيار (V vs. I)، إذا كان الجزء المقطوع b لا يساوي صفراً، فقد يشير إلى وجود جهد خارجي في الدائرة لم يُؤخذ في الحسبان، أو إلى خطأ صفري في المعايرة (Calibration).

القسم الرابع

04 التحويل الخطي للعلاقات غير الخطية



N = 4 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

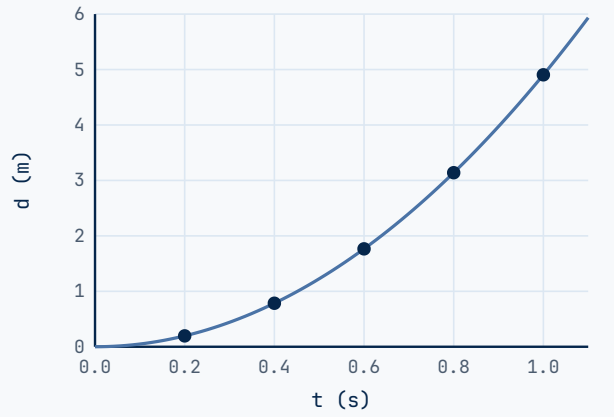
العديد من العلاقات الفيزيائية ليست خطية. لتحليلها بسهولة نقوم بـ«تحويلها خطياً» (Linearization) عن طريق تغيير المتغيرات التي نرسمها للحصول على خط مستقيم.

جدول التحويلات الشائعة

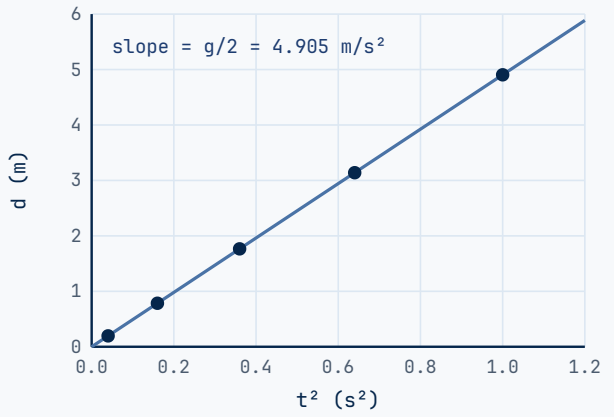
العلاقة الأصلية	ارسم	المعادلة الخطية	الميل	المقطوع
$y = a\,x^2$ الحركة المتسارعة $s \propto t^2$	y مقابل x^2	$y = a\,(x^2)$	a	0
$y = a / x$ قانون بويل $P \propto 1/V$	y مقابل $1/x$	$y = a\,(1/x)$	a	0
$y = A\,e^{bx}$ تفريغ المكثف $V = V_0\,e^{-t/RC}$	$\ln y$ مقابل x	$\ln y = b\,x + \ln A$	b	$\ln A$
$y = A\,x^b$ قوانين القوى العامة	$\ln y$ مقابل $\ln x$	$\ln y = b\,\ln x + \ln A$	b	$\ln A$

القواعد الأسية: مثال السقوط الحر

$$d = \tfrac{1}{2}\, g\, t^2$$



علاقة غير خطية (Curve): الإزاحة مقابل الزمن.



علاقة خطية (Linear): الإزاحة مقابل مربع الزمن.

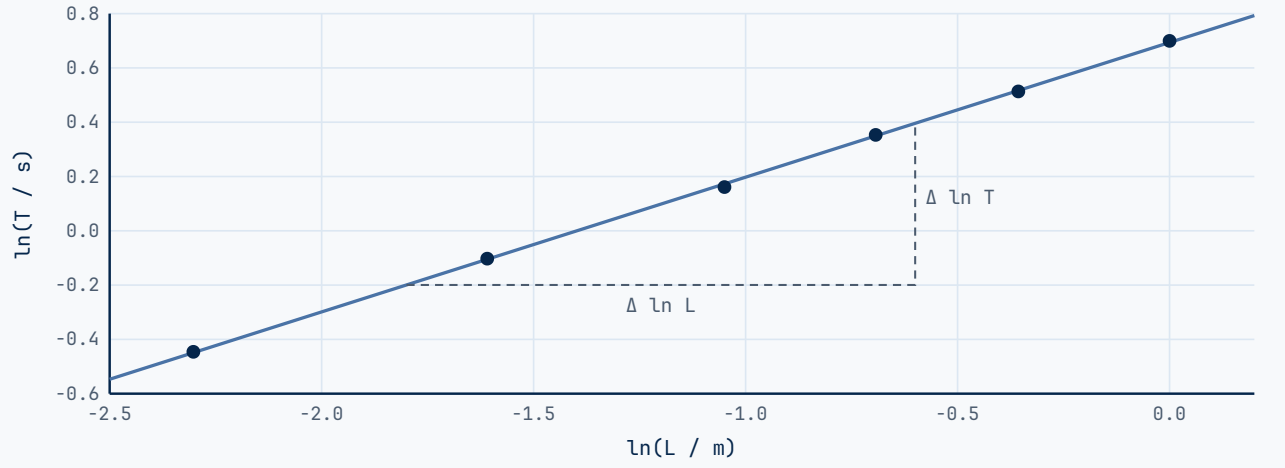
عندما نرسم d مقابل t^2، يصبح الميل مساوياً لـ $\frac{1}{2}g$.

استخدام اللوغاريتمات في التحليل

تُستخدم عندما يكون الأس (power) مجهولاً:

$$y = k\, x^n \rightarrow \ln(y) = n\, \ln(x) + \ln(k)$$

يتحول الأس n إلى الميل (slope)، ويصبح $\ln k$ هو الجزء المقطوع.



fit: n = 0.496 (theory 0.500) · ln k = 0.694 → k = 2.001 s·m^-1/2 (theory 2π/√g = 2.006) · σ_T/T = 0.6 %

شكل: مثال البندول البسيط $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ على محاور لوغاريتمية؛ الميل يعطي الأس n.

القسم الخامس

05 تحليل المنحنيات مباشرة



N = 5 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

أحياناً لا نرغب في تحويل المنحنى إلى خط مستقيم، بل نريد تحليله كما هو. هذا يمنحنا معلومات أعمق عن النظام الفيزيائي.

الميل اللحظي (المماس)

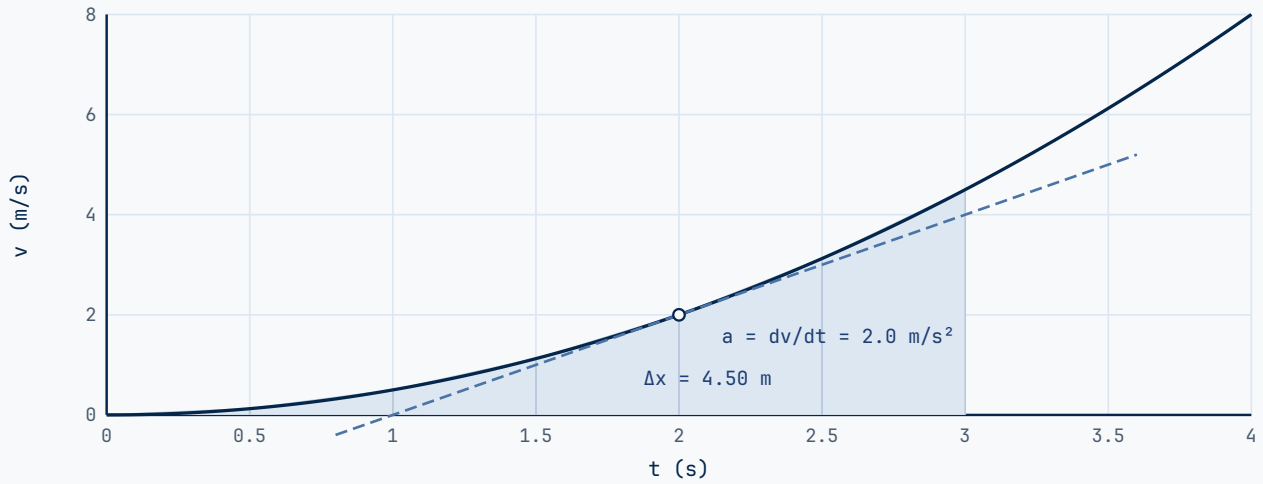
الميل عند أي نقطة على المنحنى هو ميل الخط المماس (Tangent) عند تلك النقطة، ويمثل **معدل التغير اللحظي**.

- **مثال حركي (منحنى السرعة-الزمن):** ميل المماس عند أي زمن t يساوي **التسارع اللحظي** عند ذلك الزمن ($a = dv/dt$).
- **كيفية الحساب يدوياً:** ارسم خطاً مستقيماً يمس المنحنى عند النقطة المطلوبة، بحيث لا يقطع المنحنى في مكان قريب، ثم احسب ميل هذا الخط.

المساحة تحت المنحنى

المساحة الكلية تحت المنحنى بين نقطتين على المحور السيني تمثل **التراكم أو التكامل** للمتغير الصادي بالنسبة للمتغير السيني.

- **مثال حركي:** المساحة تحت منحنى السرعة-الزمن بين زمنين t_1 وt_2 تساوي **الإزاحة الكلية** خلال هذه الفترة.
- **مثال ميكانيكي:** المساحة تحت منحنى القوة-الإزاحة تساوي **الشغل المبذول** ($W = \int F\,dx$).
- **كيفية التقدير يدوياً:** قسّم المساحة إلى أشكال هندسية بسيطة (مستطيلات وأشباه منحرف) واجمع مساحاتها. تسمى هذه الطريقة **قاعدة شبه المنحرف** (Trapezoidal Rule).



v = 0.5 t² (m/s) · tangent at t = 2 s: a = 2.0 m/s² · area 0–3 s: exact ∫v dt = 4.500 m, trapezoidal (Δt = 0.5 s) = 4.563 m (+1.4 %)

شكل: منحنى السرعة-الزمن لجسم متسارع $v = 0.5\ t^2$: المماس عند $t = 2\ s$ يعطي التسارع اللحظي، والمساحة المظللة بين 0 و3 s تعطي الإزاحة.

القسم السادس

06 حقيقة القياسات العلمية: الدقة والإحكام



N = 6 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

اللورد كلفن

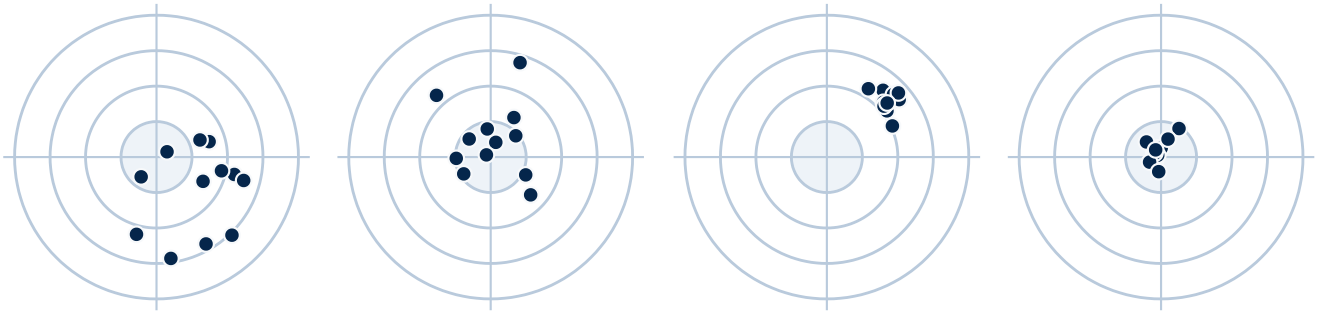
«عندما تستطيع قياس ما تتحدث عنه وتعبّر عنه بالأرقام، فإنك تعرف شيئاً عنه.»

When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it.

$$\text{Measurement} = (\text{Best Estimate} \pm \text{Uncertainty})\ \text{Unit}$$

القياس = (أفضل تقدير ± الارتياب) الوحدة

الدقة مقابل الإحكام (Accuracy vs. Precision)



دقة عالية، إحكام عالٍ
High Acc. · High Prec.

دقة منخفضة، إحكام عالٍ
Low Acc. · High Prec.

دقة عالية، إحكام منخفض
High Acc. · Low Prec.

دقة منخفضة، إحكام منخفض
Low Acc. · Low Prec.

الدقة (Accuracy)

القرب من القيمة الحقيقية.

الإحكام (Precision)

توافق القياسات مع بعضها (التكرارية).

القسم السابع

07 تصنيف الأخطاء ومصادرها



N = 7 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

عشوائية أم منهجية؟

	أخطاء عشوائية (Random)	أخطاء منهجية (Systematic)
الوصف	تذبذبات غير متوقعة في كلا الاتجاهين.	أخطاء متكررة في اتجاه واحد (دائماً تزيد أو دائماً تنقص).
السبب	الضوضاء، تقدير القراءة.	المعايرة، الخطأ الصفري.
الإصلاح	تكرار القياسات وأخذ المتوسط.	إعادة المعايرة (لا يمكن إصلاحها بالتكرار).

مصادر الأخطاء الشائعة في المختبر

01
زمن رد الفعل
Reaction Time · التأخر في الاستجابة عند أخذ قياس يعتمد على التوقيت.

02
خطأ النظر
Parallax · خطأ في القراءة عندما لا تكون العين متعامدة مع المقياس.

03
الخطأ الصفري
Zero Offset · قراءة غير صحيحة عندما لا تكون الأداة مضبوطة على الصفر عند عدم الاستخدام.

04
معايرة الأجهزة
Calibration · أخطاء ناتجة عن عدم فحص الأجهزة ومقارنتها بمعيار معروف.

05
دقة الأداة
Resolution · قدرة الأداة المحدودة على التمييز بين القيم المقاسة الصغيرة.

06
العوامل البيئية
تأثيرات غير مرغوب فيها مثل التغير في درجة الحرارة أو الاهتزازات.

القسم الثامن

08 حساب الارتياب وكتابة الخطأ

N = 8 · λ = 632.8 nm · d = 0.25 mm · a = 0.06 mm · L = 1.20 m · ±11 mm

الارتياب في القياسات المتكررة

01 **حساب المتوسط** (Mean)

$$\bar{x} = \Sigma x_i \; / \; n$$

02 **حساب الانحراف** (Deviation)

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$$

03 **تربيع الانحرافات وجمعها**

$$\Sigma \; (\Delta x_i)^2$$

04 **الانحراف المعياري** (Standard Deviation)

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{[\; \Sigma(\Delta x_i)^2 \; / \; (n - 1) \;]}$$

05 الخطأ المعياري للمتوسط (Standard Error)

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{n-1} / \sqrt{n}$$

النتيجة النهائية

$\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$ — أفضل تقدير هو المتوسط، وارتيابه هو الخطأ المعياري للمتوسط. أما σ_{n-1} فيصف تشتت القراءة الواحدة.

الخطأ المطلق والنسبي

النوع	القانون	مثال
الخطأ المطلق (Absolute)	$\Delta x = \lvert x_{measured} - x_{true} \rvert$	$L = 600 \pm 10$ mm
الخطأ النسبي (Relative)	$R\% = (\Delta x / x) \times 100$	$m = 75.5 \pm 0.5$ g $0.5 / 75.5 = 0.0066 \rightarrow 0.7\ \%$

أدوات رقمية ونصائح متقدمة

الرسم اليدوي أساسي لفهم المبادئ، لكن الأدوات الرقمية توفر دقة وسرعة لا مثيل لهما:

- **Microsoft Excel / Google Sheets:** ممتازان للرسم السريع، وحساب الميل، وإضافة أشرطة الخطأ بسهولة.
- **Logger Pro / Capstone:** برامج متخصصة في جمع البيانات مباشرة من المستشعرات وتحليلها، وهي شائعة في مختبرات الفيزياء.
- **Python (Matplotlib, NumPy):** للمستخدمين المتقدمين، يوفر تحكماً كاملاً في كل جانب من جوانب الرسم والتحليل الإحصائي.

> **ملاحظة**
>
> حساب الميل من نقطتين تقديرٌ مبسّط. في الممارسة العملية تستخدم البرامج المتخصصة «الانحدار الخطي» (Linear Regression) للحصول على ميل أدق.

نصائح أخيرة:

- اسأل نفسك دائماً: «ماذا يمثل الميل والجزء المقطوع فيزيائياً؟»
- لا تجبر الخط على المرور بنقطة الأصل (0, 0) إلا إذا كان ذلك منطقياً من الناحية الفيزيائية.
- الرسم البياني الجيد أداة إقناع قوية في تقريرك المعملي.

خارطة طريق التحليل

01 **نظّم:** جهّز جدول بيانات دقيقاً مع الوحدات وعدم اليقين.

02 **ارسم:** أنشئ رسماً بيانياً احترافياً مع أشرطة خطأ وخط أفضل مطابقة.

03 **اختر طريقة التحليل:** للعلاقات الخطية احسب الميل والجزء المقطوع؛ وللعلاقات غير الخطية استخدم التحويل الخطي أو حلّل المنحنى مباشرة (الميل اللحظي والمساحة).

04 **حلّل:** فسّر النتائج فيزيائياً.

05 **استنتج:** استخدم نتائجك للتحقق من النظرية أو حساب ثابت فيزيائي.

ملخص القوانين

القانون	الصيغة
معادلة الخط (Line)	$y = m\,x + b$
الميل (Slope)	$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$
الانحراف المعياري (Std Dev)	$\sigma_{n-1} = \sqrt{[\ \Sigma(\Delta x_i)^2 / (n - 1)\ ]}$
الخطأ النسبي (Relative)	$(\Delta x / x) \times 100$

خاتمة

phy-lab.com



«الدقة في التحليل لا تقل أهمية عن الدقة في القياس.»