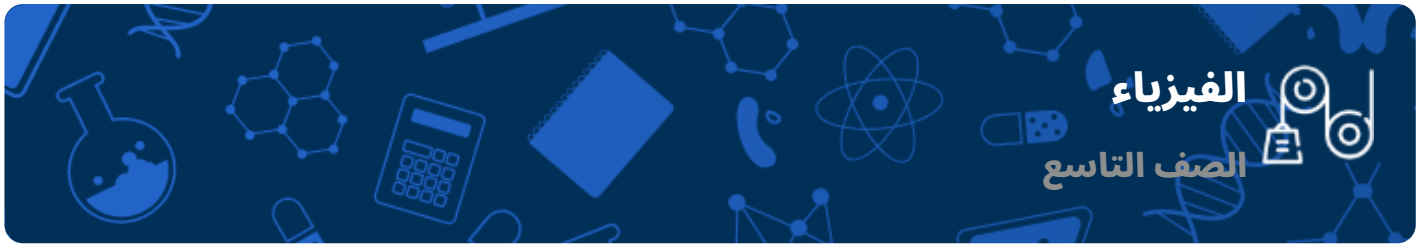


لاء القياسِس

س Measurment Errors

خلو أيُّ عمليَّة قياسٍ منَ الأخطاءِ، إذْ يوجدُ دائمًا عدمُ يقينٍ Uncertainty
درجةٍ ما في القياساتِ التي نحصلُ عليها، إذْ لا نستطيعُ أنْ نُؤكِّد بأنَّ
اتِنا دقيقةٌ تمامًا مهما بلغتْ دقَّة الأدواتِ المُستخدَمةِ في عمليَّة
سِ. وهذا يعودُ إلى أسبابٍ عدَّة يمكنُ إجمالُها بما يُسمَّى **الأخطاءَ التجريبيَّةَ .**

خطاءُ التجريبيَّةُ Experimental Errors

يشيرُ الخطأُ التجريبيُّ إلى الفرقِ بينَ
ةِ المقاسة والقيمة الحقيقيةِ (الصحيحةِ) للكميَّة الفيزيائيةِ. والأخطاءُ
ريبيةُ بوجهٍ عامٍّ تُقسمُ إلى عشوائيةٍ ومنتظمةٍ.

طاءُ العشوائيَّةُ Random Errors

ي الأخطاءُ التي لا تأخذُ نمطًا محدَّدا عندَ تكرارِ عمليةِ القياسِ تحتَ
روفِنفسِها، إذْ تكونُ بعضُ القيمِ (القياساتِ) أكبرَ منَ القيمةِ
يقيَّة، وبعضُها الآخرُ أقلَّ، ولا يتكرَّر مقدارُ الخطأِ نفسُه بتكرارِ
ربةِ (المحاولةِ) ومنْ مصادرِ الأخطاءِ العشوائيَّة، التذبذباتُ التقلُّبات
Fluctuatic في قراءاتِ أدواتِ القياسِ؛ مثلُ التذبذباتِ في قراءاتِ الأميترِ
مي عندَ استخدامِه في قياسِ التيارِ الكهربائيِّ في دارةٍ كهربائيَّة. وقدْ
مُ الأخطاءُ العشوائيَّة.عنْ عواملَ تتعلَّق بالبيئةِ المحيطةِ؛ مثلُ التباينِ
درجةِ حرارةِ المختبرِ في أثناءِ إجراءِ التجربةِ، أو الناجمةِ عن تكرارِ القياساتِ
الشخصِ الذي يقومُ بعمليَّة القياسِ، إذْ عندَما يُعيدُ الشخصُ قياسَ
يَّة فيزيائيَّة ما مرَّات عدَّة، فإنَّه في كلِّ مرَّة يحصلُ غالبًا على قياسٍ
لفٍ قليلاً عنِ الذي يسبقُه، مهما بلغتْ دقَّة الأداةِ التي يستخدمُها.

الشكل (
9): عد
انطباق
المؤشر
على
أحد
تدريجا
المقياس

الشكل (
10):
النظرُ إ
المقياسِ
زوايا
مختلفةٍ
يؤدي إ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

جمُ الأخطاءُ العشوائيُّة أيضًا عنْ تقديرِ قراءةِ أداةِ القياسِ، ولاسيَّما
أدواتِ القياسِ المُدرَّجةِ، إذْ لا ينطبقُ المؤشرُ أحيانًا على أحدِ تدريجاتِ
اسِ على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (9)، ما يضطرُنا إلى تقديرِ قراءةِ
ياس.ومنْ مصادرِ الأخطاءِ العشوائيّة أيضًا، ما يُسمَّى بخطأِ
ةِ النظرِ Parallax error ، عندَ أخذِ القراءاتِ المختلفةِ منْ جهتينِ
ظرتينِ، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (10)، إذْ يعتمدُ القياس
ي نحصلُ عليهِ على الزاويةِ التي ننظرُ منها إلى التقاءِ قاعدةِ
سطرةِ معَ حافةِ الورقةِ المرادِ قياسُ عرضِها. والأخطاءُ
سوائيُّة تلازمُ أيَّ عمليِّة قياسٍ، لكنْ يمكنُ التقليلُ من تأثيرِ هذهِ
خطاءِ عنْ طريقِ تكرارِ القياساتِ مرّات عدَّة، وأخذِ الوسطِ الحسابيِّ
ءِ القياساتِ.

خطاءُ المنتَظمةُ Systematic Errors

الأخطاءُ التي تؤثرُ في القياساتِ جميعِها بالمقدارِ نفسِه وباتجاهٍ واحدٍ، بحيث
نَ هذهِ القياساتُ أكبرَ منَ القيمةِ الحقيقيّة أو أصغرَ منها، لذا فهي أكثرُ
يَّة للتنبُّؤِ منَ الأخطاءِ العشوائيّة. ومنْ مصادرِ الأخطاءِ المنتظمةِ، ما
فُ **بالخطأِ الصفريِّ Zero Error** ، الذي ينجمُ عنْ عدمِ معايرةِ أدواتِ القياسِ
نميّة، أو ذاتِ التدريجِ التناظريِّ على الصفرِ قبلَ استخدامِها، على نحوِ ما
رُ في الشكلِ (11 /أ، ب) على الترتيبِ، أو استخدامِ مسطرةٍ طرفُها تالفٌ
، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (11 /ج) ، ما لم تُستخدمْ هذهِ المسطرةُ
جراءِ قياساتٍ بينَ جزأينِ لا يشتملانِ على الصفرِ. وقد ينشأُ الخطأُ المنتَظمُ
ا عندَما لا تُضبطُ المُتغيِّرات جميعُها التي تؤثِّر في نتائجِ تجربةٍ ما، مثلُ قياسِ
جالِ المغناطيسيِّ الناشئِ عن مغناطيسٍ دونَ الأخذِ في الحسبانِ المجالَ
ناطيسيَّ الناشئَ عنِ الأرضِ. ويمكنُ أنْ يكونَ خطأُ زاويةِ النظرِ منْ مصادرِ
طاءِ المنتَظمةِ عندَما تُؤخذُ القراءاتُ جميعُها منَ الموقعِ نفسِه.
رُ إلى أنَّ تكرارَ القياساتِ لا يقلِّل منْ تأثيرِ الأخطاءِ المنتَظمةِ كما هو الحال
خطاء العشوائيّة، لكنْ يمكنُ التقليلُ منَ الأخطاءِ
ظمةِ من خلالِ الضبطِ الدقيقِ للإجراءاتِ المُتَّبعَةِ.

ل محلول

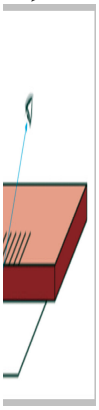
نوعَ الخطأِ في كلٍّ ممّا يأتي مبيِّنًا السببَ.

في تجربةٍ لقياسِ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ لم يُؤخذْ في الحسبانِ مقاومةُ الهواءِ.

عملَ خالدٌ مخلوطًا حراريًّا في إناءٍ غيرِ معزولٍ.

استخدمَتْ منى مِسطرتَها الخشبيَّة الجديدةَ في قياسِ طولِ قلمِ الرصاصِ.

خطأَ زا
النظرِ.



الشكل (
11):
أ . مقياس
رقميٌّ.
ب. مقيا
ذو تدري
تناظريٍّ
ج. مسط
طرفُها
تالفٌ.

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

كانَ أحمدُ يأخذُ قراءةَ ميزانِ الحرارةِ الزئبقيِّ المثبَّت عموديًّا في إناءِ التسخينِ كلَّ
سِ دقائقَ وهو جالسُ في مكانِه

:ُّ

منتَظمٌ؛ لأنَّ مقاومةَ الهواءِ تُعيقُ دائمًا حركةَ الأجسامِ، فهي تؤثرُ باتجاهٍ
احدٍ في نتائجِ التجربةِ.

منتَظمٌ؛ لأنَّ الإناءَ غيرَ المعزولِ يتبادلُ الحرارةَ معَ المحيطِ الخارجيِّ،
أثُّر درجةُ حرارةِ المخلوطِ النهائيِّة بالمحيطِ الخارجيِّ زيادةً أو نقصانًا
نا لدرجةِ حرارةِ المخلوطِ مقارنةً بدرجةِ حرارةِ المحيطِ)، أيْ باتجاهٍ واحدٍ).

عشوائيٌّ؛ لأنَّ القياسَ الذي تحصلُ عليهِ يمكنُ أن يكونَ أكبرَ أو أصغرَ
الطولِ الحقيقيِّ للقلمِ. يمكنُ أن تقعَ مُنى في خطأٍ منتَظمٍ، إضافةً إلى
طأِ العشوائيِّ، إذا لم تضبطْ مثلاً أحدَ طرفي القلمِ على صفرِ المسطرةِ).

يقعُ أحمدُ في خطأٍ عشوائيٍّ إذا كانَ مستوى نظرِه منطبقًا دائمًا معَ
ستوى الزئبقِ في ميزانِ الحرارةِ، ويقعُ في خطأٍ منتَظمٍ إذا كان مستوى
رِه يصنعُ زاويةً معَ مستوى الزئبقِ في ميزانِ الحرارةِ، وكانتْ زاويةُ النظرِ ثابتةً.

ين

تِ المعلمةُ من كلٍّ منْ سارةَ وسلمى استخدامَ مسطرتِها في قياسِ
ل كتابِ الفيزياءِ أربعَ مراتٍ متتاليةٍ، فحصلتْ كلٌّ منهما على القياساتِ
يةِ:

ة: 27.5 , 27.4 , 27.5 , 27.2
ى: 28.1 , 27.8 , 27.9 , 28.
نوعَ الخطأِ التجريبيِّ الذي وقعتْ فيهِ كلٌّ من سارةَ وسلمى،
ن السببَ (علمًا أنَّ طولَ كتابِ الفيزياءِ يساوي 28.0cm).

ةُ والضبطُ Accuracy and Precision

الشكل (

ُ دقَّةُ القياسِ مدى اقترابِ القيمةِ المقاسة منَ القيمةِ الحقيقيِّة
12):

يَّة الفيزيائيَّة. والقيمُ الحقيقيَّةُ للكميَّات الفيزيائيَّة لا يمكنُ معرفتُها
أ . قياس

ا بسببِ أخطاءِ القياسِ، لكنْتوجَدُ قيمٌ مقبولةٌ متعارَفٌ عليها وهي
دقيقةٌ

تمَدةٌ بوصفِها قيمًا حقيقيَّةً تحتَ ظروفٍ معيَّنةٍ. فمثلاً، متوسطُ
ومضبو

رعِ الجاذبيَّةِ الأرضيَّةِ (g) بالقربِ من سطحِ الأرضِ يساوي (9.81 m/s2)،
ب. قياس

ذهِ القيمةُ مقبولةٌ ومعتَمدةٌ لتسارعِ الجاذبيَّةِ الأرضيَّةِ تحتَ الظروفِ
مضبوط

ها. فإذا صَمَّمت تجربةً لقياسِ تسارعِ الجاذبيَّةِ الأرضيَّةِ وحَصَلْتُ
وغيرُ

ى قيمةٍ قريبةٍ منَ القيمةِ المقبولةِ، مثلً(9.80) في ظروفٍ مشابهةٍ،
دقيقةٍ.

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

هذهِ القيمةَ تُعَدُّ دقيقةً Accurate. أمّا الضبطُ Precision ،
يُظهِرُ مدى التوافقِ (الاتساقِ) بينَ القياساتِ عندَ تكرارِها تحتَ
روفِ نفسِها.فعندَما أُكرِّر قياسَ عرضِ كتابِ الفيزياءِ ثلاثَ مرّات مثلاً،
صلُ على القياساتِ (cm, 21.1 cm, 21.2 cm 20.9) ، فإنَّ هذهِ القياساتِ
مضبوطةً؛ لأنَّها متقاربةٌ فيما بينَها،فالفرقُ بينَ أكبرِ قياسٍ (21.2)
غرِ قياسٍ (20.9) يساوي (cm 0.3)، وهو مقدارٌ صغيرٌ بالنسبةِ إلى
الكتابِ، وهذا يدلُّ على أنَّ القياساتِ متقاربةٌ، وبوجهٍ عامٍّ، كلّما قلَّ
قُبينَ أكبرِ قياسٍ وأصغرِ قياسٍ كانَ القياسُ أكثرَ ضبطًا. ولنفترضْ
القيمةَ المقبولةَ لعرضِالكتابِ تساوي (cm 21.0)،فإنَّ هذهِ القياساتِ
م أيضًا بالدقّةِ لقربِها منَ القيمةِ المقبولةِ.لكنْ قد تكونُ القياساتُ
ةً وغيرَ مضبوطةٍ (قليلةَ الضبطِ)، أو مضبوطةً وغيرَ دقيقةٍ.
شكلُ (12) يلخصُ بعضَ هذهِ الحالاتِ، حيثُ تمثِّل البقعةُ الحمراءُ
كزُ الهدفِ) القيمةَ المقبولةَ.يعتمدُ ضبطُ القياساتِ اعتمادًا رئيسًا على
أدواتِ القياسِ المُستخدَمةِ، فمثلاً،بمقارنةِ المسطرةِ بالقَدمةِ ذاتِ
ْنيَّةِ أو الميكروميتر، نجدُ أنَّ الميكروميتر أكبرُهنَّ ضبطًا، لأنَّهُ يقيسُ لأقربِ
0. mm)،تليهِ القَدمةُ ذاتُ الوَرْنيةِ، إذْ تقيسُ لأقربِ (0.1 mm)، في حينِ أنَّ
سطرةَ تقيسُ لأقربِ (1mm)، فكلّما زادَ عددُ المنازلِ العشريّةِ التي تقرؤُها
اةُ زادَ ضبطُ القياسِ، وقلَّ في المقابلِ ما يُسمَّى بعدمِ اليقينِ (الشكِّ).
الشخصَ الذي يتَّبع المنهجَ العلميَّ في القياسِ أو التجريبِ يحصلُ على
ساتٍ أكثرَ دقَّةً منَ الشخصِ الأقلِّ التزامًا بهذا المنهجِ.

ج. قياس
غيرُ دقي
وغيرُ
مضبوط

أ

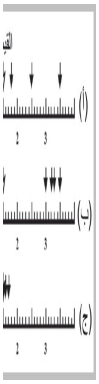
ب

ج

ل محلول

الشكلُ قياساتٍ لقُطرِ حلقةٍ فِلزيِّة قامَ بها ثلاثةُ طلاب (أ، ب، ج)،
، كرَّر كلٌّ منهم القياسَ أربعَ مرّاتٍ متتاليةٍ، وهي مُمثَّلةٌ بالأسهمِ.
ُ قياساتِ الطلابِ الثلاثةِ من حيثُ الدقَّة والضبطُ، علمًا بأنَّ القيمةَ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com



ولةَ لقُطرِ الحلقةِ يساوي (1.5 cm).

:

ظُ منَ الشكلِ أنَّ قياساتِ الطالبِ (أ): (0.5 , 1.8 , 2.5 , 3.5) cm على الترتيبِ،

، بعيدةٌ عنِ القيمةِ المقبولةِ باستثناءِ القياسِ (1.8 cm)، لذا فهي غيرُ دقيقةٍ.

، متباعدةٌ أيضًا بعضُها عنْ بعضٍ (غيرُ متّسقة)، لذا فهي غيرُ مضبوطةٍ. أمّا

اتُ الطالبِ (ب): (3.0 , 3.2 , 3.3 , 3.5)cm على الترتيبِ، فهي بعيدةٌ عنِ

ةِ المقبولةِ، لذا فهي غيرُ دقيقةٍ، ولكنَّها متقاربةٌ بعضُها من بعضٍ (متّسقة)،

هي مضبوطةٌ. في حينِ أنَّ قياساتِ الطالبِ(ج): (1.7 , 1.6 , 1.5 , 1.4) على الترتيبِ،

قريبةٌ منَ القيمةِ المقبولةِ، ومتّسقة فيما بينَها، لذا فهي دقيقةٌ ومضبوطةٌ

طأُ المطلقُ والخطأُ النسبيُّ Absolute Error and Relative Error

ـ الخطأُ المطلقُ Absolute Error بأنَّهُ: الفرقُ المطلقُ بينَ القيمةِ المقاسة

يمةِ الحقيقيّة (المقبولةِ). أيْ إنَّ:

خطأُ المطلقَ = |القيمةَ المقاسة– القيمةِ المقبولةِ|

ويُلاحَظُ منَ المعادلةِ السابقةِ أنَّهُ كلّما كانَ الفرقُ بينَ القيمةِ المقاسة

القيمةِ المقبولةِ صغيرًا كانَ الخطأُ المطلقُ صغيرًا، ولمّا كانتْ دقّة

القياسِ ترتبطُ بمدى اقترابِ القيمةِ المقاسةِ منَ القيمةِ المقبولةِ، فإنَّهُ

كلّما قلَّ الفرقُ بينَ القيمة المقاسة والقيمة المقبولةزادتْ دقّة القياسِ،

يْ كلّما قلَّ الخطأُ زادتْ دقّة القياسِ. أمّا الخطأُ النسبيُّ Relative Error فهو:

سبةُ بينَ الخطأِ المطلقِ والقيمةِ الحقيقيّة (المقبولةِ). أيْ إنَّ:

$$\text{الخطأَ النسبيَّ} = \frac{\text{الخطأ المطلق}}{\text{القيمة المقبولة}}$$

حصولِ على نسبةٍ مئويةٍ للخطأِ نضربُ المعادلةَ السابقةَ في: 100 % ،

لقُ على الناتجِ اسمَالخطأِ النسبيِّ المئويِّ Percentage Error . أيْ إنَّ:

$$\text{خطأَ النسبيَّ المئويَّ} = \frac{\text{الخطأ المطلق}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\% = \text{الخطأَ النسبيَّ} \times 100\%$$

سابِ الخطأِ المطلقِ أو الخطأِ النسبيِّ لأيِّ عمليةِ قياسٍ فإنَّهُ يجبُ معرفةُ

ةِ المقبولةِ، أمّا إذا كانتِ القيمةُ المقبولةُ غيرَ معروفةٍ، فلا بدَّ من تكرارِ

ساتٍ، ثمَّ حسابِ المتوسطِ الحسابيِّ Mean لهذهِ القياساتِ. ويُحسَبُ

وسطُ الحسابيُّ بجمعِ القياساتِ جميعِها، ثمَّ قسمةِ الناتجِ على عددِ هذهِ

ساتٍ، أيْ إنَّ:

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

$$\text{المتوسطَ الحسابيَّ} = \frac{\text{مجموعَ القياساتِ}}{\text{عددِ القياساتِ}}$$

كونُ المتوسطُ الحسابيُّ في هذهِ الحالةِ ممثلاً للقيمةِ المقبولةِ. وإذا كانتْ
ياتُنا مضبوطةً، أيْ كانتِ الأدواتُ المستخدمةُ دقيقةً (عددُ المنازلِ العشريّة
ي تعطيها هذهِ الأدواتُ كبيراً نسبيًّا)، وكانتِ الإجراءاتُ المُتَّبعةُ في القياسِ
سبطةً، كانَ المتوسطُ الحسابيُّ قريبًا جدًّا منَ القيمةِ المقبولةِ، فنعُدُّه مساويًا

أيْ إنَّ:

يمةَ المقبولةَ = المتوسطَ الحسابيَّ

عليٌّ أنْ يتأكدَ من أنَّ حجمَ كميّةِ ماءِ الشربِ الموجودةِ في إحدى العبوّاتِ
ستيكيةِ تساوي (200 ml)، على نحوِ ما هو مكتوبٌ عليها. فاستخدمَ
خبارَ المدرّجَ، وأفرغَ محتوياتِ العبوّةِ في المخبارِ مباشرةً دونَ الأخذِ في
سبانِ ضيقَ فوهّتِه، ما أدّى إلى انسكابِ كميّةٍ بسيطةٍ منَ الماءِ خارجَ المخبارِ،
كانَ حجمُ الماءِ الذي قاسَه عليٌّ (190 ml). أُجيبُ عمّا يأتي:

1 . أَحسُبُ ك منَ: الخطأِ المطلَقِ، الخطأِ النسبيِّ، الخطأِ النسبيِّ المئويِّ في قياسِ عليٍّ.

2 . أُبيّنُ نوعَ الخطأِ الذي وقعَ فيهِ عليٌّ عندَما سكبَ الماءَ في المخبارِ المُعطياتُ:

القيمةُ المقبولةُ لحجمِ الماءِ = 200 ml ،

القيمةُ المقاسة = 190 ml

المطلوبُ: الخطأُ المطلقُ، الخطأُ النسبيُّ، الخطأُ النسبيُّ المئويُّ، نوعُ الخطأِ.

الحلُّ:

1 . الخطأُ المطلقُ = | القيمة المقاسة - القيمة المقبولة |

=| ml = | 200 – 190 10

طأ النسبي = الخطأ المطلقالقيمة المقبولة = 10200= 0.05

طأُ النسبيُّ المئويُّ = الخطأَ النسبيَّ × 100% = 0.05 ×100%= 5 %

نوعُ الخطأِ الذي وقعَ فيهِ عليٌّ كانَ منتَظمًا، لأنَّه لو أعادَ قياسَ حجمِ الماءِ
مرّةً بعدَ مرّةٍ، لحصلَ دائمًا على قياسٍ أقلَّ منَ القيمةِ المقبولةِ (200 ml)؛
لأنَّ كميّةً منَ الماءِ قد فُقِدتْ في أثناءِ إفراغِ محتوى العبوّةِ في المخبارِ المدرّجِ.

ن

جربةٍ قامتْ بها بيانُ لقياسِ المقاومةِ الكهربائيّةِ لسلكٍ فلزيٍّ عمليًّا،
لتْ إلى أنَّ مقاومةَ السلكِ تساوي (0.6) أوم بخطأٍ نسبيٍّ مئويٍّ
ره (4%) .أَحسُبُ كلاً منَ الخطأِ المطلقِ في قياسِ المقاومةِ والقيمةِ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

ولةِ لمقاومةِ السلكِ.

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API
Printed with Pdfcrowd.com