تعليمات حول سير الأعمال التطبيقية

تمهيد: أبنائي الطلبة اسمحوا لي أن أخاطب ضمائركم لأنها أنجع طريقة لسلوك الخير. أعلموا أن هذه الأجهزة جد ثمينة و حساسة، فهي أمانة في أعناقكم تجاه من سيخلفكم فيها.

الفصل الأول: طريقة تحرير التقرير:

لابد أن يشمل التقرير ما يلي:

1- هدف التجربة.
2- الدراسة النظرية وتكون ملخصة من المطبوعة.
3- وصف الأجهزة المستعملة.
4- وصف التركيبات ورسمها.
5- ملئ الجداول المطلوبة مع الحرص في كتابة النتائج على عدد أرقام الدلالة.
6- رسم المنحنيات مع رسم حواجز الأخطاء كما ينبغي.
7- الإجابة على الأسئلة المطروحة بوضوح تام.
8- الاستنتاجات والخلاصة.

الفصل الثاني: الانضباط

1- حمل المئزر داخل المخبر إجباري.
2- يجب أن يكون الوصول إلى المخبر في الوقت المحدد (لا يسمح بأي تأخر).
3- كل غياب يجب أن يبرر بتقديم شهادة تبرير الغياب تسلم من طرف الإدارة كي يسمح باستدراك الحصة التطبيقية الضائعة.
4- لا يسمح بالدخول إلى المخبر لأي شخص كان دون طلب الإذن من مسؤول المخبر
5- لا يسمح بالخروج منه إلا عند الضرورة وبعد طلب الإذن من مسؤول المخبر.
6- يجب على كل طالب أن يكون حاملا معه أدوات المخبر الخاصة بالأعمال التطبيقية (آلة حاسبة، أوراق مليمترية، أقلام، ...).
7- قبل الشروع في كل عمل تطبيقي على الطالب أن يتأكد من وجود كل الأجهزة فوق الطاولة مع مراعاة ما يلي:
   أ)- ضرورة الاعتناء بها ولا يسمح بإتلافها.
   ب)- كل طالب يتحمل المسؤولية الكاملة على سلامتها (أي خلل يبلغ للأستاذ المشرف على الفور).
   ج)- على كل فوج مصغر أن يقوم بالتجربة لوحده (الأستاذ يقوم بالتوجيه فقط).
8- لا توصل الأجهزة بمنابع التوتر قبل معاينة التركيبية من طرف الأستاذ المشرف.

8- لا توصل الأجهزة بمنابع التوتر قبل معاينة التركيبة من طرف الأستاذ المشرف.
9- أثناء التجربة قم بتحريك الأزرار بالتأني وإذا لاحظت أي عطب أو رائحة حريق في الأجهزة أقطع بسرعة التيار الكهربائي واستدعي فورا الأستاذ المشرف.
10- الهدوء مطلوب طيلة الحصة التطبيقية.
11- عدم احترام تعليمات الأستاذ المشرف أو القيام بتصرف غير لائق يعد مخالفة.
12- عند نهاية التجربة ارجع أزرار المولدات الكهربائية في وضعية الصفر، اقطع التيار الكهربائي، فك التركيبة ثم رتب الأجهزة و الأسلاك الكهربائية.
13- يسلم المحضر في نهاية كل حصة تطبيقية إلى الأستاذ المشرف ولا يسمح أبدا بإخراجه من المخبر أو تأجيل تسليمه.
14- عند مغادرة المخبر يجب ترك الطاولات والقاعة نظيفة.
15- كل مخالفة تبلغ كتابيا من طرف الأستاذ المشرف بتقديم تقرير مفصل إلى مسؤول المخابر وكل مخالفة غير معلنة تحمله ما ينجم عنها.
16- على مسؤول المخبر أن يسهر على السير الحسن للأعمال التطبيقية باعتباره المسؤول الأول و الأخير.

بالتوفيق

مدخل إلى الأعمال التطبيقية

تهدف الأعمال التطبيقية في المخبر إلى توضيح وفهم الظواهر الفيزيائية والتحقق من قوانينها النظرية التي تعترض الطالب في الدروس النظرية، كما تمكنه من مآلفة أجهزة القياس و التمرن على كيفية القيام بقياسات تجريبية و طريقة التعبير عنها بصورة حسنة.

تحتوي هذه المطبوعة على عدة أعمال تطبيقية يمكن القيام بها في معهد التكنولوجيا، و تنقسم إلى جزئين:

- **الجزء الأول** : الميكانيك العامة
- **الجزء الثاني**: الكهرباء

لا يمكن أن تكون النتائج مضبوطة فكلها مريبة مهما كان نوعها و درجة الارتياب تتعلق بدقة وسائل القياس و الكيفية التي عرف بها المقدار المقاس. كما تتعلق بالشروط التي أجري فيها القياس و بكفاءة الشخص الذي يقوم به.

لهذا رأينا من المفيد أن تعطى للطالب في هذا المدخل مفاهيم ضرورية تساعده على فهم و حساب الخطأ بالإضافة إلى طريقة تمثيل نتائجه على شكل منحنى.

أخـــطاء القياسات

ا) - تعـــــاريـف : يمكن التمييز بين نوعين من الأخطاء:

ا-1) - الأخطاء النظامية:

تنجم عن عيب في الجهاز أو الطريقة المتبعة. كما أنها تحدث في اتجاه واحد و تبقى قيمتها المطلقة و إشارتها ثابتة عندما نعيد القياس في نفس الشروط. و يمكن إرجاعها إلى دقة الأجهزة المستعملة.

مثال 1- في حالة العداد الإلكتروني فإن هذه الدقة تتعلق بالمعيار المستعمل. إذا أخذنا مثلا المعيار 10^3 فإن هذا الأخير (الجهاز) يحسب بدقة 0.1s أما إذا أخذنا المعيار 10 فإنه يحسب بدقة 0.001s .

مثال 2- في حالة مسطرة مدرجة، الخطأ المرتكب يرجع إلى دقة التدريج على المسطرة و مدى تطابق إشارة الزالق على المسطرة.

ا-2) - الأخطاء العشوائية:

هي أخطاء تحدث عن طريق المصادفة دون معرفة سببها و تبين التجربة أنها تحدث دوما عند إجراء القياسات الدقيقة. و عندما نقوم بتكرار القياس مرات عديدة في نفس الظروف نجد أن النتائج المتحصل عليها تتبع قوانين إحصائية والتي تصاغ عادة انطلاقا من مبادئ الاحتمال.

و لتقليص من شدة هذه الأخطاء نأخذ معدل هذه القيم حسب العلاقة التالية:

$$X_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

حيث n هو عدد القياسات.

و نعبر عن الخطأ بما يلي : يسمى الخطأ المطلق و يمثل القيمة المطلقة للفرق الموجود بين القيمة الحقيقية X_r و القيمة المقاسة X_m .

أي

$$\Delta X = |X_r - X_m|$$

ملاحظة : حساب الخطأ المطلق لا يسمح بمعرفة دقة القياس ولهذا نقوم بحساب النسبة $\frac{\Delta X}{X_m}$ و التي تعطينا فعلا دقة القياس و يسمى بالخطأ النسبي.

II)- أســــباب الأخــــطاء :

في غالب الأحيان مصدر الأخطاء ينجم عن جهاز القياس المستعمل و كذلك عن الشخص الذي يقوم بالتجربة.

II-1)- الأخطاء النظامية الناجمة عن الأجهزة عند استعمالها (أخطاء الاستهلاك) :

هي أخطاء تؤدي إلى وجود فرق بين القيمة الحقيقية للمقدار المقاس و القيمة المطبقة على الجهاز.

مثال : لحساب التيار الكهربائي I الذي يمر في مقاومة R نستعمل مولد قوته الكهرومحركة E . القيمة الحقيقية للتيار I هي :

$$I = \frac{E}{R}$$

لكن بعد توصيل جهاز الأمبرمتر في الدارة الكهربائية التيار الكهربائي المقاس يصبح:

$$I^* = \frac{E}{R+r} \cong \frac{E}{R}\left(1 - \frac{r}{R}\right)$$

حيث r تمثل المقاومة الداخلية لجهاز الأمبرمتر و تكون صغيرة جدا أمام المقاومة R .

لكن وصل هذا الجهاز يتسبب في خطأ نظامي قيمته:

$$\Delta I = \left(\frac{r}{R}\right) I$$

II-2)- الأخطاء الناجمة عن نقص في الحساسية أو في الإخلاص :

إن الأخطاء الناجمة عن الجهاز تتمثل في الفرق الموجود بين القيمة المطبقة عليه و القيمة التي يعطيها. ويضم هذا الفرق جزئا نظاميا و آخر عشوائيا، مرد غالبية هذه الأخطاء يعود إلى نقص في حساسية الجهاز و في إخلاصه.غير أن مجمع هذه الأخطاء غير معروفة ومع ذلك فإن صانع الجهاز يضمن لنا حدا أعلى لهذه الأخطاء هو ما نسميه بصنف الجهاز.

II-3)- الأخطاء التي لا تتعلق بالجهاز :

تنجم هذه الأخطاء غالبا من المجرب و تؤدي إلى وجود فرق بين القيمة التي يبينها الجهاز و القيمة التي يقرؤها المجرب وهي في الحقيقة تنقسم إلى نوعين :

أ) - أخطاء الميل المحوري : و تنجم عن الموضع الذي يوجد فيه الملاحظ بالنسبة للإبرة و التدريج إلا أنها تنعدم حينما يكون بالجهاز مرآة حيث يقرأ الملاحظ نتيجة القياس عندما تنطبق الإبرة مع صورتها في المرآة.

ب)- أخطاء التقدير : و تحدث عند عدم استطاعة الملاحظ قراءة أقل من ربع التدريجة d فإنه يرتكب خطأ مطلقا قدره : $\Delta X = 0.25\, d$

و خطأ نسبي قدره : $\varepsilon = \dfrac{0.25}{n}$ حيث n يمثل عدد التدريجات و تزول هذه الأخطاء عندما نستعمل أجهزة عددية.

III) - حســـــاب الأخــــطاء:

يجب حذف الأخطاء الكبيرة قبل كل قياس و منها :

- أخطاء الانحناء المحوري (باستعمال المرآة)
- أخطاء الضبط (إعادة معايرة الأجهزة)
- إلخ ...

زيادة على ذلك يجب أن يكون التركيب محكما، درجة الحرارة ثابتة كما يجب اختيار عيارا مناسبا و الذي يسمح بالقراءة الحسنة.

III-1) - الطريقة الأولى :

تكمن هذه الطريقة في تقدير الخطأ انطلاقا من عجز أجهزة القياس و عناصر الإدراك، عندئذ تكون أمامنا حالتين:

أ) - الحالة الأولى :

يقاس المقدار X مباشرة بجهاز فيعطي انحرافا، عندئذ نجد أن الحد الأعلى للخطأ المترتب عن قياس المقدار X هو:

$$\Delta X = |\Delta X_S| + |\Delta X_I| + |\Delta X_L|$$

حيث ΔX_S يمثل الخطأ النظامي

ΔX_I يمثل الخطأ الآلي ويحسب انطلاقا من صنف الجهاز
و ΔX_L يمثل خطأ القراءة.
بعد الحساب تعطى نتيجة القياس على الشكل:

$$X = (X_m \pm \Delta X)\, u$$

حيث u يمثل وحدة القياس.

ب) - <u>الحالة الثانية</u> :

في هذه الحالة يستنتج المقدار G من قياس مقدار آخر (x, y, z) بصفة غير مباشرة ويكون انطلاقا من علاقة تكون على الشكل :

$$G = f(x, y, z)$$

تعين الأخطاء حينئذ على حدا: Δx ، Δy و Δz و بما أن هذه الكميات صغيرة جدا بالنسبة لـ x ، y و z على التوالي و لحساب الخطأ المطلق ΔG المرتكب على الدالة G ننطلق من حساب التفاضل الكلي لـ G أي :

$$dG = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) dx + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) dy + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right) dz$$

ثم نرجع إلى الخطأ ΔG بأخذ أكبر قيمة ممكنة له.

أي

$$\Delta G = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| \Delta x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right| \Delta y + \left|\frac{\partial f}{\partial z}\right| \Delta z$$

<u>ملاحظة</u> : إذا كانت القياسات غير مستقلة فإن إشارة بعض الأخطاء تتعلق ببعضها البعض لذلك لا يجب المرور إلى الأخطاء المطلقة Δx ، Δy و Δz و إلى القيم المطلقة للمعادلات إلا بعد أن تجمع الحدود المتشابهة.

ب-1)- <u>خطأ الجمع</u> :

لتكن الدالة

$$g = x_1 + x_2 + \cdots + x_n$$

الخطأ المطلق المترتب على g يكون كالآتي:

$$\Delta g = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n$$

و هو مجموع الأخطاء المطلقة لكل قيمة.

ب-2)- <u>خطأ الطرح</u> :

لتكن الدالة

$$g = x_1 - x_2$$

تفاضل الدالة g يكتب $dg = dx_1 - dx_2$

و الخطأ المطلق لـ g هو $\Delta g = \Delta x_1 + \Delta x_2$

ب-3)- خطأ الجداء :

لتكن الدالة

$$g = x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n$$

الدالة اللوغارتمية لـ g هي :

$$Lng = Lnx_1 + Lnx_2 + \cdots + Lnx_n$$

تفاضل Lng يكتب :

$$\frac{dg}{g} = \frac{dx_1}{x_1} + \frac{dx_2}{x_2} + \cdots + \frac{dx_n}{x_n}$$

الخطأ النسبي لـ g هو:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \cdots + \frac{\Delta x_n}{x_n}$$

و الخطأ المطلق هو:

$$\Delta g = \left(\frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \cdots + \frac{\Delta x_n}{x_n}\right) g$$

ب-4)- خطأ القسمة :

لتكن الدالة

$$g = \frac{x}{y}$$

الدالة اللوغارتمية لـ g هي :

$$Lng = Lnx - Lny$$

تفاضل Lng يكتب :

$$\frac{dg}{g} = \frac{dx}{x} - \frac{dy}{y}$$

الخطأ النسبي يكتب :

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

و الخطأ المطلق هو:

$$\Delta g = \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}\right) g$$

III-2) - الطريقة الثانية :

نقدر الأخطاء العشوائية اعتمادا على طريقة إحصائية يعاد فيها القياس n مرة : x_1، x_2، ...، x_n ثم نحسب القيمة الوسطى :

$$X_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

كل قياس يبعد عن X بالقيمة :

$$\Delta X_i = |X_i - X_{moy}|$$

و الابتعاد الوسطي هو:

$$\Delta X_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |X_i - X_{moy}|}{n}$$

ثم تكتب النتيجة على الشكل :

$$X = (X_{moy} \pm \Delta X_{moy})\, u$$

و تعطى النتيجة بشكل أكثر تشاؤما حيث يؤخذ أكبر ابتعاد سجل ($\Delta X_{\max}$) و تكتب النتيجة في النهاية على الشكل:

$$X = (X_{moy} \pm \Delta X_{max})\, u$$

IV) - **التقريبـــــــــات** :

IV-1) - تعريف الأرقام ذات الدلالة :

كل الأصفار التابعة لعدد مقرب والتي تعين فقط الرتبة العشرية ليست بأعداد ذات الدلالة.

مثال : بالنسبة للعدد 0.002080 الثلاثة أصفار الأولى ليست ذات الدلالة فهي تعين فقط الرتبة العشرية، أما الأصفار الأخرى فهي ذات الدلالة. ونقول أن هذا العدد متكون من أربع أرقام ذات الدلالة.

IV-2) - تقريب الأعداد :

لتقريب عدد إلى n أرقام ذات الدلالة نقوم بحذف الأرقام التي هي عن يمين الـ $n^{ième}$ رقم ذات الدلالة متبعا القاعدة التالية :

أ - إذا كان أول رقم محذوف أصغر من 5 يبقى العدد غير متغير.
مثلا : العدد 2.5241 يكتب 2.52 .

ب - إذا كان أول رقم محذوف أكبر من 5 نقوم بإضافة الرقم 1 إلى آخر رقم ذات الدلالة.
مثلا : العدد 2.5272 يكتب 2.53 .

ج - إذا كان أول رقم محذوف يساوي 5 و الأرقام المحذوفة الأخرى غير منعدمة، نقوم بإضافة الرقم 1 إلى آخر رقم ذات الدلالة.

د - إذا كان أول رقم محذوف يساوي 5 والأرقام المحذوفة الأخرى منعدمة، يبقى العدد غير متغير.
مثلا : العدد 2.5250 يكتب 2.52 .

IV-3) – تقريب الخطأ ΔX :

بالنسبة للخطأ فإننا نضيف دائما حدا أعلى لقيمته، إذن لا يجب أن نتبع القاعدة العامة لتقريب الأعداد. أي لتقريب الخطأ نقوم بتكبير الرقم الأخير ولو كان الرقم الذي يليه أقل من الرقم 5.

مثلا : إذا كان الخطأ $\Delta X = 0.0436$ نكتب $\Delta X = 0.05$

و إذا كان الخطأ $\Delta X = 123$ نكتب $\Delta X = 130$

IV-4) - كتابة النتيجة التجريبية :

الكتابة الأخيرة للنتيجة تكون على الشكل :

$$(X \pm \Delta X)\, u$$

لكن قبل هذه الكتابة نقوم بما يلي :

أ - نحدد من الأعلى الخطأ المطلق ΔX

ب - بالنسبة لكتابة X نحتفظ بنفس الترتيب العشري لـΔX مع القيام بالتقريب العددي حسب القاعدة العامة.

- **مثال1** : تجربة أعطت لنا خطأ مطلقا قدر بـ :

$X = 12.73567$ و لدينا $\Delta X = 0.0787$

تكتب النتيجة بعد التقريب كما يلي :

$$X = (12.74 \pm 0.08)\, u$$

- **مثال2** : تجربة أخرى أعطت لنا :

$X = 6748.80$ و لدينا $\Delta X = 124$

تكتب النتيجة بعد التقريب كما يلي :

$$X = (6749 \pm 130\,)u$$

كيفية رسم المنحنيات البيانية

من المهم أن نرسم المنحنيات بعناية فائقة ودقة بالغة لأن البيان عموما يوضح لنا تطور ظاهرة فيزيائية ما ويسمح لنا بالفهم العام لها. فمن الأفضل رسم المنحنى أثناء التجربة لأن ذلك يمكننا بتحديد بعض القيم التي لا نستطيع الوصول إليها تجريبيا سواء بطريقة الاستكمال أي تمديد المنحنى مع الحفاظ على المسار (القيمة A) أو الحصر أي بالقراءة بين النقاط (القيمة B). كذلك سيسمح لنا بالكشف عن بعض النقاط الخاطئة و إعادة قياسها (القيمة C)(النقاط الثلاثة A ، B و C توجد على الشكل $1_{أ}$).

الطريقة المتبعة لرسم المنحنى تكون كالآتي :

1- اختيار السلم :

لا بد من اختيار سلم القياس و نقطة الأصل (المبدأ) فوق كل محور بحيث يكون المنحنى ممتدا بصفة كلية فوق ورقة الرسم (الشكل1). إذن ينبغي اختيار أكبر سلم ممكنا لكي نحصل على دقة جيدة في الرسم. كما أنه في بعض الحالات يجب أخذ مبدأ المحور لا يساوي صفر.

كما لا تنس أن تضع وحدات القياس على المحورين ووسائط القياس وكل توضيح آخر يسمح بقراءة الرسم دون اللجوء إلى النص.

2- تدريج المحاور :

نبين على المحاور التدريجات الأساسية فقط (الوحدات، العشرات، المئات) ولا نعين قيم القياسات التجريبية.

3- تعيين النقاط :

نعين النقاط بخطين متعامدين " + " موازيين للمحاور أو بدوائر " o " إلخ...

4- الارتياب :

قبل رسم البيان يجب وضع على كل نقطة تجريبية حواجز الأخطاء وهي عبارة عن مجال الارتياب، قد يكون الارتياب معتبرا في أحد المقدارين X أو Y فقط حينئذ يمثل بقطعة مستقيمة منتصفها نقطة القياس وطولها $2\Delta x$ أو $2\Delta y$ وقد يكون معتبرا في المقدارين X و Y على السواء، حينئذ يمثل بقطعتين قائمتين متقاطعتين في نقطة القياس طول كل منهما $2\Delta x$ و $2\Delta y$ وقد يمثل بمستطيل حول نقطة القياس، ضلعاه $2\Delta x$ و $2\Delta y$.

ملاحظة :

إدا كانت القياسات حسنة فإن المنحنى يقطع كل حواجز الأخطاء (الشكل 1 ب).

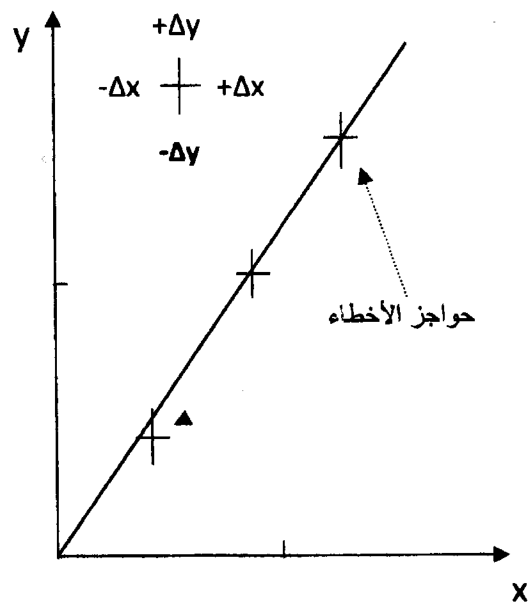
5- ورق الرسم :

نستطيع التمييز بين عدة أوراق للرسم فمنها المليمترية ومنها النصف لوغارتمية أو اللوغارتمية.

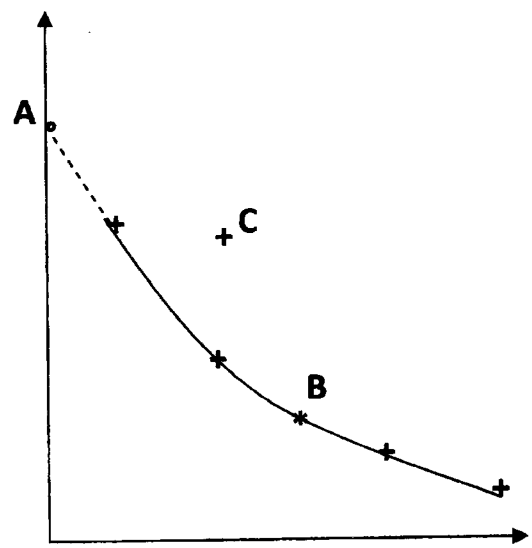
كثيرا ما نجد بعض المقادير التابعة لبعضها البعض حسب تابع لوغارتمي أو أسي:

$$y = y_0 e^{kx} \Leftrightarrow Lny = Lny_0 + kx$$

ولذلك فإن رسم Lny بدلالة x يعطي مستقيما ميله k يقطع المحور Lny عند Lny_0.



الشكل 1 ب



الشكل 1 أ

التطبيق - 1

السقـــــــوط الحر(تطبيق نظري)

أجريت تجربة السقوط الحر فأعطتنا النتائج التالية:

$h\,(m)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$t_{moy}(s)$	0.144	0.203	0.247	0.286	0.320	0.350	0.378
$t_{moy}^2(s^2)$							
$\Delta t\,(s)$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
$\Delta h\,(m)$	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
$g\ \ (m/s^2)$							
$\Delta t^2\ (s^2)$							
$\Delta g/g\ \ (\%)$							
$\Delta g\ \ \ (m/s^2)$							
$g \pm \Delta g\ \ (m/s^2)$							

حسب الدراسة النظرية للسقوط الحر فإن الارتفاع h يتعلق بالزمن t وفق العلاقة التالية:

$h = \frac{1}{2}gt^2$ حيث g تمثل جاذبية الأرض

أسئلة:

1- أكتب العبارة النظرية لـ $\Delta g/g$.

2- أكمل جدول القياسات.

3- ارسم المنحنيين $h = f(t)$ ثم $h = f(t^2)$ مع وضع في كل نقطة حواجز الأخطاء.

4- استنتج g_{exp} من البيان.

5- أكتب النتيجة النهائية لـ g على الشكل: $g = g_{exp} \pm \Delta g$.

التطبيق - 2

قانـــــــــون نيـــــــــوتن

I) - هــــدف التجربة:

الهدف من التجربة هو التحقق من القانون الأساسي للتحريك $F = m\gamma$ و ذالك بدراسة حركة جسم يتحرك بانتظام على خط مستقيم و بدون احتكاك.
يطلب في هذا العمل القيام بدراسة :
أ - المسافة المقطوعة بدلالة الزمن $L = f(t)$
ب - السرعة بدلالة الزمن $v = f(t)$

II)- المبدأ النظــــري:

تتحرك عربة كتلتها m_2 بدون احتكاك على سكة أفقية، تجر هذه الأخيرة بواسطة خيط عديم التمدد يمر على بكرة و يحمل في نهايته كتل m_1 (الشكل 1).
بتطبيق المبدأ الأساسي للتحريك (القانون الثاني لنيوتن) مع إهمال قوة الاحتكاك وكتلة البكرة نحصل على ما يلي:
بالنسبة للكتلة m_2 :

$$F = m_2 y$$

حيث γ يمثل تسارع العربة و يساوي: $\gamma = \frac{d^2r}{dt^2}$ مع r هي المسافة.

أما سرعة العربة وانطلاقا من السكون:

$$v(t) = \gamma t = \frac{F}{m_2} t$$

كما تكتب المسافة (t) على الشكل:

$$r(t) = \frac{1}{2}\gamma t^2 = \frac{1}{2}\,\frac{F}{m_2} t^2$$

مع أخذ $r(0) = 0$

بالنسبة للكتلة m_1 :

$$\gamma = \frac{m_1}{m_1+m_2} g$$

حيث g هو تسارع الجاذبية.

وبالتعويض تصبح السرعة:

$$v(t) = \frac{m_1}{m_1+m_2} gt$$

و المسافة

$$r(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{m_1}{m_1+m_2}\right) gt^2$$

أما العلاقة التي تربط السرعة والمسافة فهي: $v^2 = 2\gamma r$

III) - التطبـــــيق:

الأجهزة المستعملة في التجربة موضحة في الشكل (2) وهي تتكون من:

1- **ناسف الهواء**: هو عبارة عن جهاز يعطينا هواء مضغوط

2- **السكة الهوائية**:

هي سكة مدرجة مليمتريا في الجزء السفلي وفي الجزء العلوي توجد عدة ثقب صغيرة حيث يخرج منها الهواء المضغوط لكي يرفع الجسم المتحرك عن سطح السكة وبالتالي يستطيع أن يتحرك بدون احتكاك.

3- **جهاز الانطلاق**:

يوجد الجهاز في بداية السكة وهو عبارة عن قاطع كهربائي ويحتوي في نفس الوقت على مغناطيس صغير. قبل انطلاق الحركة يكون المغناطيس ملامسا الجسم المتحرك وتكون الدارة الكهربائية مغلقة. عندما نضغط على الزر ينفصل المغناطيس عن الجسم المتحرك وتصبح الدارة الكهربائية مفتوحة، حينئذ تبدأ الحركة و تزامنا معها يبدأ العداد الإلكتروني بالاشتغال. الشكل(3) يبين كيفية التوصيل مع العداد الإلكتروني.

4- **الحاجز الضوئي**:

كيفية توصيله مع العداد الالكتروني موضحة قي الشكل(3).

5- **العداد الإلكتروني**: هو جهاز لحساب الزمن.

6- **البكرة** (نعتبر كتلتها مهملة).

III-1) - قياس المسافة المقطوعة بدلالة الزمن:

أ)- <u>خطوات العمل:</u>

- صل جهاز الانطلاق بالحاجز الضوئي كما هو مبين في الشكل(3).
- ضع الكتل $2 \times 10g$ على حامل الكتل وبالتالي تصبح $m_1 = 30g$.
- ضع الستار على المتحرك.

- اختر المسافة $L = L_f - L_i$ بوضع المتحرك في الوضعية المختارة (القراءة تؤخذ بالتوازي مع نهاية المتحرك). ثم زح الحاجز الضوئي إلى تلك الوضعية حتى ينطفئ الشاهد الضوئي.
- شغل جهاز ناسف الهواء مع اختيار الوضعية أقل من الرقم 3 وثبت المتحرك بجهاز الانطلاق.
- ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر.
- أضغط على الزر الذي يسمح بتحرير الحركة واقرأ الزمن المسجل لقطع المسافة المختارة.
- أعد نفس القياس ثلاث (3) مرات (قبل إعادة القياس، ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر) مع تجنب القيم الشاذة.
- وقف جهاز ناسف الهواء.
- أختر مسافة جديدة وأعد نقس العمل.
- ضع كل النتائج في الجدول.
- أخيرا زن الكتلة m_2 بواسطة الميزان.

ب)- الأسئلة:
1- أملأ الجدولين Ia و Ib.
2- ارسم على ورق مليمتري بيان L بدلالة t^2_{moy}.
3- ضع حواجز الأخطاء ΔL و Δt^2_{moy} عند كل نقطة تجريبية من المنحنى.
4- استنتج من البيان قيمة g_{exp} الخاصة بمدينة قسنطينة.
5- اكتب بطريقة صحيحة قيمة g على الشكل: $g = g_{exp} + \Delta g$ (مركزا على الأرقام ذات الدلالة وكذلك على القيمة المختارة بالنسبة لـ Δg مع استعمال وحدات النظام الدولي (MKSA.
6- هل المسافات الطويلة هي التي تعطينا أكبر دقة أم العكس، ولماذا ؟
7- ما هي استنتاجاتك الخاصة ؟

العلاقات المستعملة لحساب الأخطاء أو الارتيابات

$$\Delta g = g_{exp}\left(2\frac{\Delta m_1}{m_1+m_2} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + 2\frac{\Delta t}{t_{moy}} + \frac{\Delta L}{L}\right)$$
$$\Delta L = 2\Delta Ls_i = 2\Delta L_f$$
$$\Delta t^2_{moy} = 2t_{moy}\Delta t$$

معطيات: $\Delta L = 2mm$ ، $\Delta t = 1ms$ و $\Delta m = 0.01g$.

ملاحظة: يستحسن قياس المسافة والسرعة على التوازي ومنه القيام بملء الجداول I و II بالتوازي أيضا عند كل مسافة. يكفي أن نغير التركيبة الكهربائية وإعادتها في كل مرة.

III-2) - قياس السرعة بدلالة الزمن:

أ) - خطوات العمل:

لقياس السرعة نتبع ما يلي: نقيس الزمن ∂t لمقاطعة الحاجز الضوئي لما يمر به الجسم المتحرك (أي الستار ذو العرض $\partial L = 25mm$).

حسب التعريف للسرعة:

$$v = \frac{\partial L}{\partial t}$$

الطريقة المتبعة هي:

- ضع الحاجز الضوئي في المسافات المختارة في التجربة الأولى.
- صل الحاجز الضوئي مع العداد الإلكتروني كما هو موضح في الشكل(4).
- أضغط على الزر $stop\ invert$ في العداد الإلكتروني.
- حرر الحركة وسجل زمن العبور مباشرة على العداد.
- أعد نفس القياس ثلاث (3) مرات. (قبل إعادة القياس، ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر) مع تجنب القيم الشاذة.
- ضع كل القياسات في الجدول(2).

ب)- الأسئلة:

1- أملأ الجدولين IIa و IIb.

2- ارسم على ورق مليمتري بيان v بدلالة t_{moy}.

3- ضع حواجز الأخطاء Δv و Δt_{moy} عند كل نقطة تجريبية من المنحنى.

4- استنتج من البيان قيمة g_{exp} الخاصة بمدينة قسنطينة.

5- اكتب بطريقة صحيحة قيمة g على الشكل: $g = g_{exp} \pm \Delta g$ (مركزا على الأرقام ذات الدلالة وكذلك على القيمة المختارة بالنسبة لـ Δg مع استعمال وحدات النظام الدولي MKSA).

6- لماذا اخترنا ستارا صغيرا عوض عن ستارا كبيرا لحساب السرعة ؟

ما هو نوع الحركة في هذه الحالة أي خلال مرور الستار؟

7- هل التجربة الثانية أدق من التجربة الأولى بالنسبة لقياس قيمة g_{exp} ؟ علل إجابتك ؟

8- ما هي استنتاجاتك الخاصة ؟

العلاقات المستعملة لحساب الأخطاء أو الارتيابات

$$\Delta g = g_{exp}\left(2\frac{\Delta m_1}{m_1+m_2} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta t}{t_{moy}} + \frac{\Delta(\partial L)}{\partial L} + \frac{\Delta(\partial t)}{\partial t}\right)$$

$$\Delta v = v\left(\frac{\Delta(\partial L)}{\partial L} + \frac{\Delta(\partial t)}{\partial t}\right)$$

معطيات: $\Delta m = 0.01g$ ، $\Delta t = 1ms$ ، $\Delta(\partial L) = 1mm$

و $\Delta(\partial t) = 1ms$.

$L\,(cm)$	20	35	50	65
$t_1(s)$				
$t_2(s)$				
$t_3(s)$				
$t_{moy}(s)$				
$t_{moy}^2(s^2)$				

الجدول Ia

$L\ (cm)$	20	35	50	65
$\Delta L\ (cm)$				
$\Delta L/L\ (\%)$				
$t_{moy}(s)$				
$\Delta t/t_{moy}\ (\%)$				
$t_{moy}^2(s^2)$				
$\gamma_{moy}\ (m/s^2)$				
$\Delta t_{moy}^2(s^2)$				
$\Delta g/g_{exp}\ (\%)$				
$\Delta g\ (m/s^2)$				

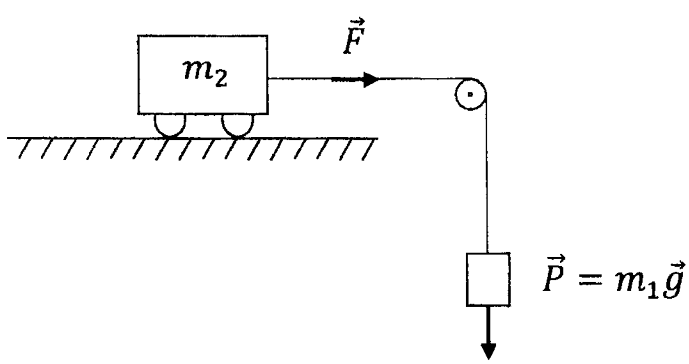
الجدول Ib

$L\ (cm)$	20	35	50	65
$\partial t_1(s)$				
$\partial t_2(s)$				
$\partial t_3(s)$				
$\partial t_{moy}(s)$				

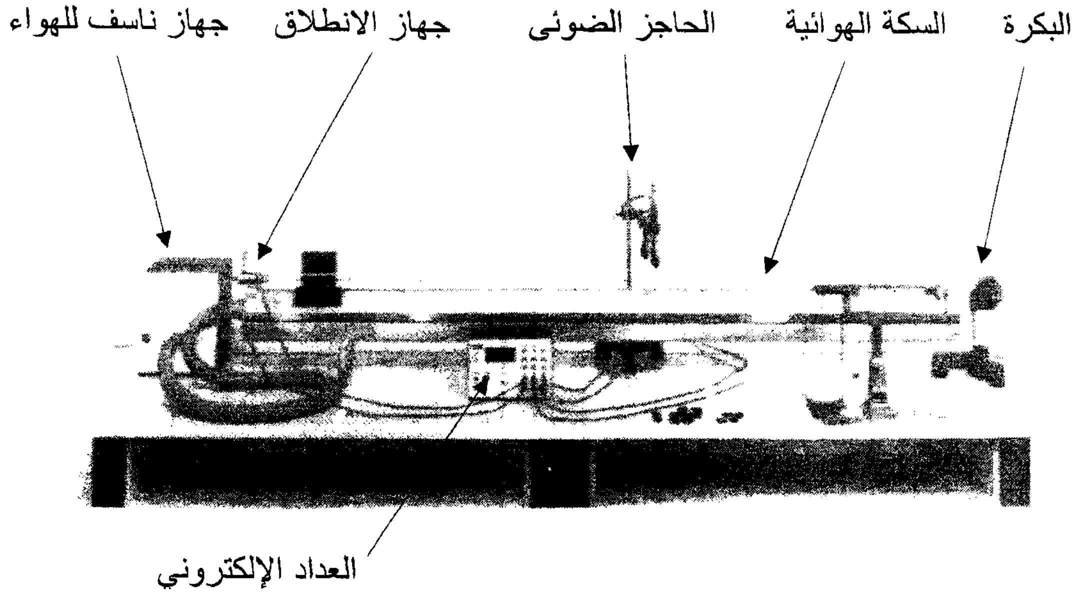
الجدول IIa

$L\ (cm)$	20	35	50	65
$t_{moy}(s)$				
$\Delta t/t_{moy}$ (%)				
$\partial t_{moy}(s)$				
$\Delta(\partial t)/\partial t_{moy}$ (%)				
$v = \partial L/\partial t\ (m/s)$				
$\Delta v/v$ (%)				
$\Delta v\ (m/s)$				
$\Delta g/g_{exp}$ (%)				
$\Delta g\ (m/s^2)$				

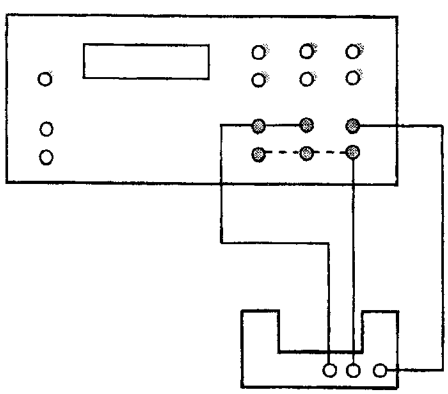
الجدول IIb

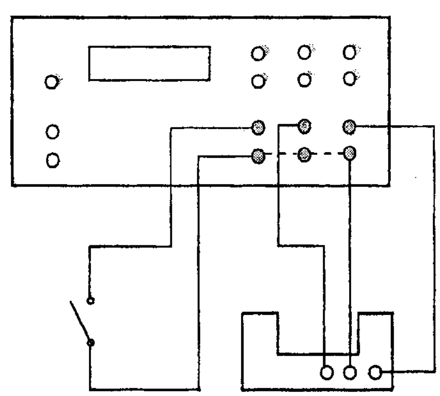


الشكل-1-



الشكل-2-





الشكل-4- الشكل-3-

التطبيق - 3

التســـارع الزاوي وعزم العطـــالة

I) - هـــدف التجربة:

الهدف من هذه التجربة هو أولا التحقق من تطبيق المبدأ الأساسي للتحريك الدوراني وذلك بدراسة حركة قرص. الحركة دورانية متسارعة بانتظام وتتم تحت تأثير القوة الجاذبية الأرضية و ثانيا الوصول تجريبيا إلى قيمة عزم العطالة .أخيرا نقارن النتيجة بالمعادلة النظرية من خلال دراسة:

أ - زاوية الدوران $\emptyset = f(t)$

ب - السرعة الزاوية $\omega = f(t)$

ج - عزم العطالة J

II)- المبدأ النظـــري:

العلاقة التي تربط العزم الحركي $\vec{L}$ وعزم القوى الخارجية $\vec{M}$ هي:

$$\vec{M} = \frac{\vec{dL}}{dt} \qquad \text{(1)}$$

حيث

$$\vec{M} = J\vec{\omega} \qquad \text{(2)}$$

J هو عزم العطالة و ω السرعة الزاوية.

إذا كانت $\vec{\omega} = \omega\vec{k}$ فإن $\vec{L} = L_z\vec{k} = J_z\omega\vec{k}$ حيث J_z هي مركبة عزم العطالة وفق المحور OZ.

في هذه الحالة تكتب المعادلة (1) كما يلي:

$$M_z = \frac{dL_z}{dt} = \frac{d(J_z\omega)}{dt}$$

كما يكتب عزم القوة F (الشكل1) على الشكل: $\vec{M} = \vec{r} \wedge \vec{F}$

حيث القوة $\vec{F}$ تكون عمودية على ($|\vec{F}| = \frac{mM}{m+M} g$) ويمكننا أخذ $|\vec{F}| = mg$ لأن $.m \ll M$

ومنه
$$M_z = mrg$$

تكتب إذن المعادلة (1) على الشكل:

$$mrg = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z a \qquad (3)$$

حيث a هو التسارع الزاوي.

<u>الجزء الأول</u>: **حساب زاوية الدوران:**

بما أن التسارع الزاوي ثابت الحركة إذن متسارعة بانتظام وبتكامل العلاقة (3) ومن أجل الشرط الابتدائي $\omega(0) = 0$ (يشرع القرص في الدوران بدون سرعة ابتدائية) نحصل على السرعة الزاوية:

$$\omega(t) = \frac{mrg}{J_z} t$$

ومنه نحصل على زاوية الدوران

$$\emptyset(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{mrg}{J_z}\right) t^2$$

<u>الجزء الثاني</u>: **حساب عزم العطالة:**

من معادلة زاوية الدوران نحصل على $J_z = \frac{mrg}{a}$ كما أنه يكتب عزم العطالة لأي جسم صلب ذو كتلة حجمية $\rho(x,y,z)$ كما يلي:

$$J_z = \iiint (x^2 + y^2)\rho(x,y,z)dxdydz$$

ومن أجل قرص مملوء نصف قطره R وكتلته M يكتب عزم العطالة كما يلي:

$$J_{z\,th} = \frac{1}{2} MR^2$$

III) - التطبــــــيق:

الأجهزة المستعملة في التجربة موضحة في الشكل(2) وهي تتكون من:

1- **جهاز ناسف للهواء**

2- **حامل القرص**:

يحتوي هذا الأخير على عدة ثقب صغيرة حيث يخرج منها الهواء المضغوط لكي يرفع القرص وبالتالي يستطيع أن يتحرك بدون احتكاك.

3- **جهاز الانطلاق**:

وهو عبارة عن قاطع كهربائي ويحتوي على مسمار صغير. قبل انطلاق الحركة يكون المسمار مرتفعا وملامسا للقرص في هذه الحالة تكون الدارة الكهربائية مغلقة، عندما نضغط على الزر يسقط المسمار وتصبح الدارة الكهربائية مفتوحة، حينئذ تبدأ الحركة ويبدأ العداد الالكتروني عملية حساب الزمن.

4- **حاجز ضوئي**:

كيفية توصيله مع العداد الالكتروني موضحة في الشكل(3).

5- **العداد الإلكتروني**

6- **البكرة** (نعتبر كتلتها مهملة).

III-1) - قياس زاوية الدوران بدلالة الزمن:

أ)- <u>خطوات العمل:</u>

- ضع الحاجز الضوئي في مكان الزاوية المختارة (حتى نحصل على الدقة في اختيار الزاوية، يستحسن هنا استعمال مسطرة و المصباح الشاهد الذي يوجد في الحاجز الضوئي).
- صل جهاز الانطلاق والحاجز الضوئي كما هو موضح في الشكل(3).
- شغل جهاز الناسف للهواء (اختر الوضعية بين 2.5 و3).
- ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر ثم استعمل المعيار $10s$.
- حرر القرص واقرأ مباشرة النتيجة المسجلة على العداد الالكتروني.
- أعد نفس القياس ثلاث (3) مرات (قبل إعادة القياس، ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر) مع تجنب القيم الشاذة.
- ضع كل النتائج في الجدول (1) مع العلم أن $m = 40\ g$ و $r = 15\ mm$.
- وقف جهاز الناسف للهواء.
- اختر زاوية أخرى وأعد نفس العمل.

ب)- <u>الأسئلة:</u>

1- أملأ الجدولين Ia و Ib.

2- ارسم على ورق مليمتري بيان $\emptyset$ بدلالة t_{moy}^2.
3- ضع حواجز الأخطاء $\Delta\emptyset$ و Δt_{moy}^2 عند كل نقطة تجريبية من المنحنى.
4- استنتج من البيان قيمة J_{exp} .
5- اكتب بطريقة صحيحة قيمة J على الشكل: $J = J_{exp} + \Delta J$ (مركزا على الأرقام ذات الدلالة وكذلك على القيمة المختارة بالنسبة لـ ΔJ مع استعمال وحدات النظام الدولي MKSA).
6- هل الزوايا الكبيرة هي التي تعطينا أكبر دقة أم العكس، ولماذا ؟
7- ما هي استنتاجاتك الخاصة ؟

العلاقات المستعملة لحساب الأخطاء أو الارتيابات

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta\emptyset}{\emptyset} + \frac{2\Delta t}{t_{moy}}$$

$$\frac{\Delta t^2}{t^2} = 2\frac{\Delta t}{t}$$

معطيات: $\Delta m = 0.01\ g$ ، $\Delta g = 0.01\ (\mathrm{m}/s^2)$ ، $\Delta r = 1\ mm$ ، $\Delta\emptyset = 1°$ و $\Delta t = 1\,ms$.

III-2) - قياس السرعة الزاوية بدلالة الزمن:

أ) - خطوات العمل:

لقياس السرعة الزاوية بدلالة الزمن نتبع ما يلي: نقيس الزمن ∂t لمقاطعة الحاجز الضوئي لما يمر به قوس الستار الموجود مع القرص (زاوية قوس الستار $\partial\emptyset = 15°$).

حسب التعريف للسرعة الزاوية:

$$\omega = \frac{\partial\emptyset}{\partial t}$$

الطريقة المتبعة هي:
- يجب وضع الحاجز الضوئي على نفس الزوايا المختارة في التجربة الأولى.
- صل الحاجز الضوئي الثاني مع العداد الإلكتروني كما هو موضح في الشكل(4).
- أضغط على الزر *stop invert* في العداد الإلكتروني.
- حرر الحركة وسجل زمن العبور مباشرة على العداد.

- أعد نفس القياس ثلاث (3) مرات (قبل إعادة القياس، ضع العداد الالكتروني في وضعية الصفر) و اجتنب القيم الشاذة.
- ضع كل القياسات في الجدول(2).

ب)- الأسئلة:

1- أملأ الجدولين IIa و IIb .

2- ارسم على ورق مليمتري بيان ω بدلالة t_{moy}.

3- ضع حواجز الأخطاء Δω و Δt_{moy} عند كل نقطة تجريبية من المنحنى.

4- استنتج من البيان قيمة J_{exp} .

5- اكتب بطريقة صحيحة قيمة J على الشكل: $J = J_{exp} + \Delta J$ (مركزا على الأرقام ذات الدلالة وكذلك على القيمة المختارة بالنسبة لـ ΔJ مع استعمال وحدات النظام الدولي MKSA).

6- لمذا اخترنا قوس الستار صغيرا جدا ؟ ما هو نوع الحركة في هذه الحالة أي خلال مرور قوس الستار؟

7- هل التجربة الثانية أدق من التجربة الأولى بالنسبة لقياس قيمة J_{exp} ؟ علل إجابتك؟

8- ما هي استنتاجاتك الخاصة ؟

العلاقات المستعملة لحساب الأخطاء أو الارتيابات

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t_{moy}} + \frac{\Delta \omega}{\omega}$$

$$\frac{\Delta \omega}{\omega} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta t}{t_{moy}}$$

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta \emptyset}{\emptyset} + \frac{2\Delta t}{t_{moy}}$$

$\emptyset$ (deg)	60	130	200	270
$t_1(s)$				
$t_2(s)$				
$t_3(s)$				
$t_{moy}(s)$				
$t_{moy}^2(s^2)$				

<u>الجدول Ia</u>

$\emptyset$ (deg)	60	130	200	270
$\Delta\emptyset$ (deg)				
$\Delta\emptyset/\emptyset$ (%)				
$t_{moy}(s)$				
$\Delta t/t_{moy}$ (%)				
$t_{moy}^2(s^2)$				
a_{moy} (m/s^2)				
$\Delta t_{moy}^2(s^2)$				
$\Delta J/J_{exp}$ (%)				
ΔJ (kgm^2)				

<u>الجدول Ib</u>

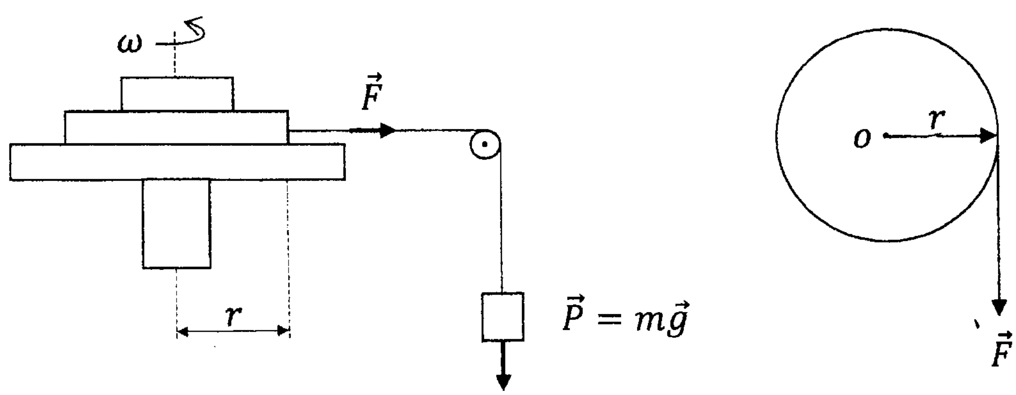
$\emptyset$ (deg)	60	130	200	270
$\partial t_1(s)$				
$\partial t_2(s)$				
$\partial t_3(s)$				
$\partial t_{moy}(s)$				

<u>الجدول IIa</u>

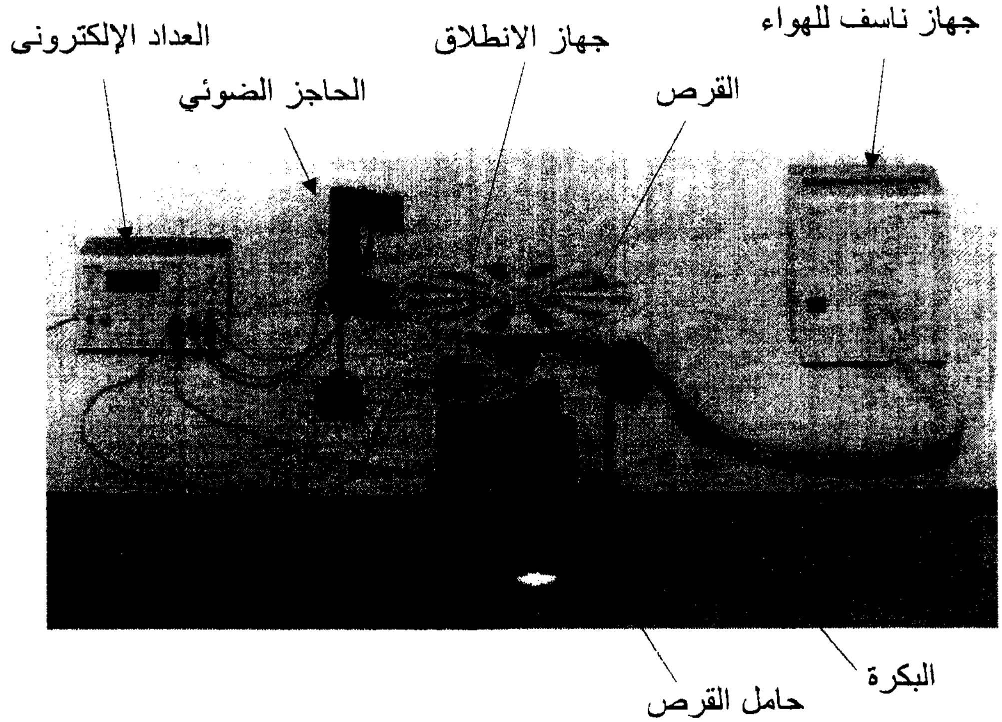
$\emptyset\ (deg)$	60	130	200	270
$t_{moy}(s)$				
$\Delta t/t_{moy}$ (%)				
$\partial t_{moy}(s)$				
$\Delta(\partial t)/\partial t_{moy}$ (%)				
$\omega = \partial\emptyset/\partial t\ (rd/s)$				
$\Delta\omega/\omega$ (%)				
$\Delta\omega\ (rd/s)$				
$\Delta J/J_{exp}$ (%)				
$\Delta J\ (kgm^2)$				

الجدول IIb

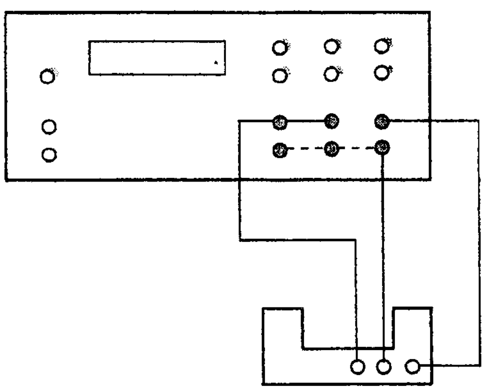
ملاحظة: الحساب النظري لعزم العطالة J_{th} للقرص ذو الكتلة M $(M = 0.829\ kg)$ ونصف القطر R $(R = 17.5\ cm)$ يكون كالآتي:



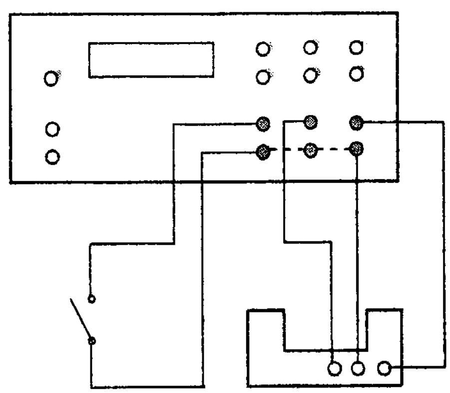
الشكل-1-



الشكل-2-



الشكل-4-



الشكل-3-

التطبيق - 4

إنحفـــــاظ الطـــاقة الميكـــانيكية

I) - هـــدف التجربة:

الهدف من التجربة هو التحقق من إنحفاظ الطاقة الميكانيكية لدى نظام خاضعا لمجال إنحفاظي (عجلة ماكسوال في مجال الجاذبية). المطلوب أساسا في التطبيق هو دراسة تحول الطاقة الكامنة E_p لعجلة ماكسوال أثناء سقوطها إلى طاقة حركية دورانية E_{CT} وطاقة حركية إزاحية E_{CR}.

II)- المبدأ النظـــــري:

لتكن عجلة معلقة بحبلين متوازيين ملفوفين حول محورها عند الارتفاع h. نحرر العجلة فتتحرك (تهبط) تحت تأثير جاذبية الأرض. إذا كانت كتلة العجلة m وعزمها العطالي I_o حول محور الدوران، يكون لديها طاقة كلية E متكونة من الطاقة الكامنة E_p، الطاقة الحركية الإزاحية E_{CT} والطاقة الحركية الدورانية E_{CR} بحيث:

$$E = E_P + E_{CT} + E_{CR}$$

$$E = m\vec{g}\vec{h} + \frac{1}{2}m\vec{v}^2 + \frac{1}{2}I_o\vec{\omega}^2$$

حيث ω هي السرعة الزاوية، v السرعة الخطية (الإزاحية)، g هو تسارع الجاذبية و h يمثل الارتفاع. إذا أهملنا أي إتلاف طفيف في الطاقة أثناء هبوط العجلة فإن الطاقة الميكانيكية E تكون ثابتة $(E = C)$. في هذه الحالة لدينا $v = \omega r$ حيث r يمثل نصف قطر المحور الذي يلف حوله الخيط.

الطاقة الميكانيكية بعد الإسقاط تصبح:

$$E = -mgh(t) + \frac{1}{2}mv_{(t)}^2 + \frac{I_o}{2r^2}v_{(t)}^2$$

أي

$$E = -mgh(t) + \frac{1}{2}\left(m + \frac{I_o}{r^2}\right)v_{(t)}^2 = C$$

اشتقاق هذه المعادلة بالنسبة للزمن يعطينا:

$$\frac{dE}{dt} = -mgv(t) + \left(m + \frac{I_o}{r^2}\right)v(t)\frac{dv(t)}{dt} = 0$$

ومنه
$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{1+\frac{I_o}{mr^2}}$$

وإذا اعتبرنا $h(t=0)=0$ و $v(t=0)=0$ فإننا نحصل على:

$$v(t) = \frac{dh}{dt} = at = \frac{g}{1+\frac{I_0}{mr^2}}t$$

حيث
$$a = \frac{g}{1+\frac{I_0}{mr^2}} \quad \text{و} \quad h(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{g}{1+\frac{I_0}{mr^2}}\right)t^2$$

و منه نستنتج كل من E_P ، E_{CT} و E_{CR} بدلالة الزمن.

III) - التطبـــــيق:

الأجهزة المستعملة في التجربة موضحة في الشكل(1) وهي تتكون من:

1- **عجلة ماكسوال** كتلتها $m = 0.526\ Kg$ و نصف قطر محورها $r = 2.5\ mm$.

2- **عداد إلكتروني رقمي** (لقياس الزمن).

3- **حاجز ضوئي**:

كيفية توصيله مع العداد الالكتروني وجهاز الانطلاق موضحة في الشكل(2).

4- **مسطرة** عمودية لقياس الارتفاع h.

5- **جهاز الانطلاق**:

وهو عبارة عن قاطع كهربائي ويحتوي على مسمار صغير. قبل انطلاق الحركة يكون المسمار مرتفعا وملامسا للقرص، في هذه الحالة تكون الدارة الكهربائية مغلقة. عندما نضغط على الزر يسقط المسمار وتصبح الدارة الكهربائية مفتوحة، حينئذ تبدأ الحركة ويبدأ العداد الالكتروني في عملية حساب الزمن.

<u>التركيب</u> : بالنسبة لتركيب التجربة، يكون على النحو الممثل في الشكل(3).

- يوضع محور عجلة ماكسوال أفقيا قبل أن يلف الخيط حوله وذلك باستعمال برغي التعديل.

- يوضع محور عجلة ماكسوال أفقيا قبل أن يلف الخيط حوله وذلك باستعمال برغي التعديل.
- يجب أن يكون اللف في الاتجاه الداخلي وأن تكون كثافة الخيط الملفوفة متساوية تقريبا في الجهتين.
- يستعمل زر الانطلاق لتحرير العجلة ميكانيكيا ولانطلاق العداد الإلكتروني في حالة قياس المسافة والزمن.
- يجب ضبط زر الانطلاق حتى لا تتدحرج العجلة ولا تهتز بعد انطلاقها.
- يجب أن يلف الخيط في نفس الاتجاه طيلة التجربة كلها.
- يستخدم الحاجز الضوئي لإيقاف العداد آليا عند قياس الزمن والمسافة.

ملاحظة: يمكن كذلك قياس السرعة اللحظية آليا إذا كان الحاجز الضوئي موصولا بالعداد الإلكتروني كما هو موضح في الشكل(4) مع الضغط على الزر *stop-invert*. في هذه الحالة نحصل على الزمن Δt والذي يمثل زمن عبور محور العجلة على الحزمة الضوئية.
ومنه فإن:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

حيث v هي السرعة اللحظية للعجلة،
Δs هو قطر محور العجلة $(\Delta s = 2r)$
و Δt زمن مرور هذا المحور عبر الحاجز الضوئي.

لكن لحساب عزم العطالة I_o فالمعادلة $h(t)$ هي الأنسب لأن قياس السرعة يكون بأقل دقة.

<u>القياسات</u>:
- صل الحاجز الضوئي بجهاز الانطلاق والعداد الإلكتروني كما هو موضح في الشكل(3) لقياس زمن هبوط العجلة من الارتفاع h. هناك مواقع مختلفة لـ h كما هو موضح في الجدول(1).
- ضع المتحرك في الموضع المختار ثم زح الحاجز الضوئي إلى ذلك الموقع حتى ينطفئ الشاهد الضوئي.
- أعد نفس القياس ثلاث مرات ولا تأخذ القيم الشاذة. (قبل إعادة القياس ضع العداد الإلكتروني في الصفر).
- ضع كل القياسات في الجدول(1).
- ارسم المنحنى $h(t^2)$ على ورق مليمتري واستنتج التسارع التجريبي a_{exp} وقارنه مع التسارع a المحسوب من $h(t^2)$.

- أوجد القيمة التجريبية لعزم العطالة $I_{o\,exp}$ للعجلة من المنحنى وقارنها مع عزم العطالة المتوسط $\overline{I_o}$ المحسوب من $h(t^2)$.
- أكتب I_o بطريقة صحيحة على الشكل: $I_o = I_{o\,exp} \pm \Delta I_o$ (اختر ΔI_o المناسب مع التركيز على أرقام الدلالة).
- أملء الجدول(2) بعد حساب السرعة v ، الطاقة الحركية الإزاحية E_{CT}، الطاقة الحركية الدورانية E_{CR} والطاقة الكامنة E_P باستعمال كل من قيمتي التسارع التجريبي a_{exp} وعزم العطالة $I_{o\,exp}$.
- ارسم المنحنيات $E_P(t^2)$ ، $E_{CT}(t^2)$ و $E_{CR}(t^2)$ مع وضع حواجز الأخطاء على الرسم.
- ماذا تستنتج فيزيائيا من هذه المنحنيات الثلاثة ؟
- علل إجاباتك بإعطاء أمثلة واضحة (ثلاثة على الأقل).
- علق على مختلف العوامل التي تحد من دقة التجربة.

العلاقات المستعملة لحساب الأخطاء أو الارتيابات

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta t}{t}$$

$$\frac{\Delta I_o}{I_o} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta(g-a)}{g-a} = \frac{\Delta a}{a}\left(\frac{g}{g-a}\right) + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta g}{g-a}$$

ومنه

$$\Delta I_o = I_o \left\{\frac{\Delta a}{a}\left(\frac{g}{g-a}\right) + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta g}{g-a}\right\}$$

كذلك لدينا:

$$\frac{\Delta E_P}{E_P} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$\frac{\Delta E_{CT}}{E_{CT}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta a}{a} + \frac{2\Delta t}{t}$$

$$\frac{\Delta E_{CR}}{E_{CR}} = \frac{2\Delta a}{a} + \frac{2\Delta t}{t} + \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta I_o}{I_o}$$

معطيات: $\Delta t = 1\,ms$ ،$\Delta h = 2\,mm$ ،$\Delta m = 0.01\,g$ ،$\Delta g = 0.01\,{}^{m}/_{s^2}$ و $\Delta r = 0.01\,mm$.

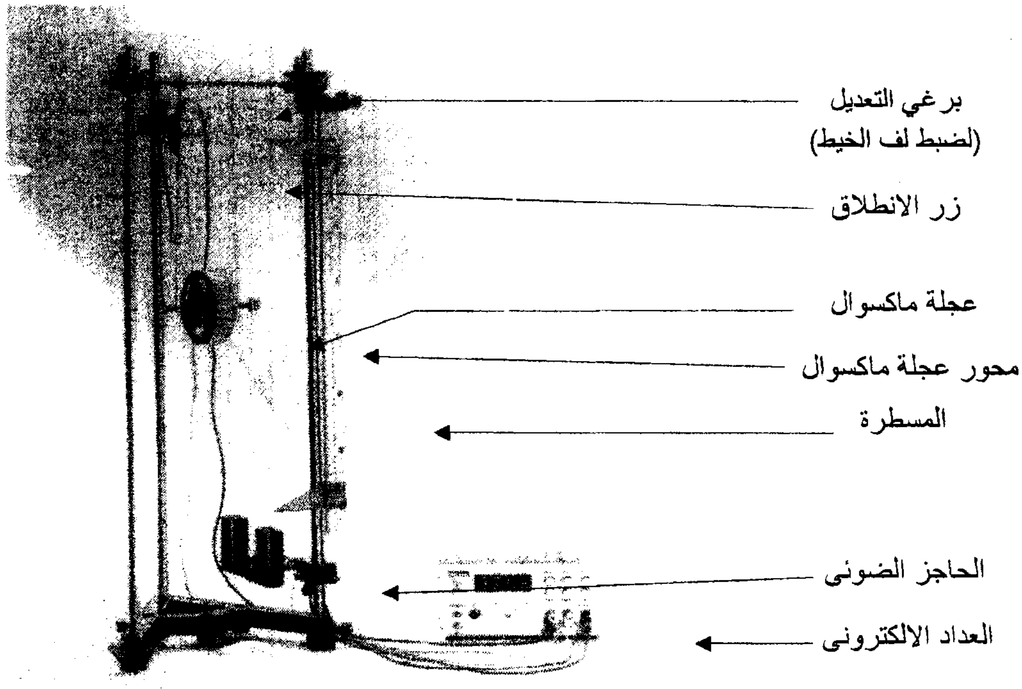
$h(cm)$	15	30	45	60
$t_1(s)$				
$t_2(s)$				
$t_3(s)$				
$t_{moy}(s)$				
$t_{moy}^2(s^2)$				
$a = 2h/t^2\,(m/s^2)$				
$I_0\,(kgm^2)$				
$\Delta t/t_{moy}\,(\%)$				
$\Delta h/h\,(\%)$				
$\Delta a/a\,(\%)$				
$\Delta I_0/I_0\,(\%)$				

جدول-1-

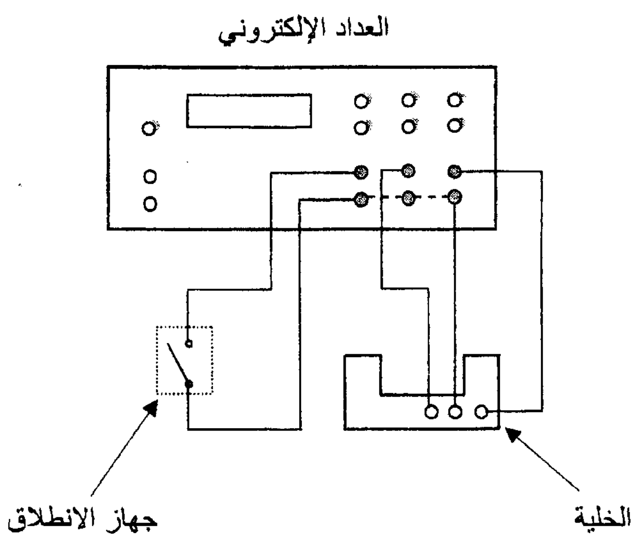
(المواقع المذكورة هي تقريبية فقط وتعتمد على وضعية المسمار الماسك للعجلة)

$h(cm)$	15	30	45	60
$t_{moy}(s)$				
$t_{moy}^2(s^2)$				
$E_P(kgm^2/s^2)$				
$\Delta E_P/E_P(\%)$				
$\Delta E_P(kgm^2/s^2)$				
$E_{CT}(kgm^2/s^2)$				
$\Delta E_{CT}/E_{CT}(\%)$				
$\Delta E_{CT}(kgm^2/s^2)$				
$E_{CR}(kgm^2/s^2)$				
$\Delta E_{CR}/E_{CR}(\%)$				
$\Delta E_{CR}(kgm^2/s^2)$				

جدول-1-



الشكل-1- أو-3-



الشكل-2-