جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية العلوم

قسم الفيزياء

الحقوق الفكرية للملزمة خاصة بـ مختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم

ملزمة تجارب
مختبر الميكانيك وخواص المادة

إعداد

د. ليث طالب هادي

د. حسين حاكم عبد بريسم

د. سيف محمد نعمه

ر. ف. محمد صباح مهدي

(1447-1446) هـ

(2026-2025) م

تجربة (9)

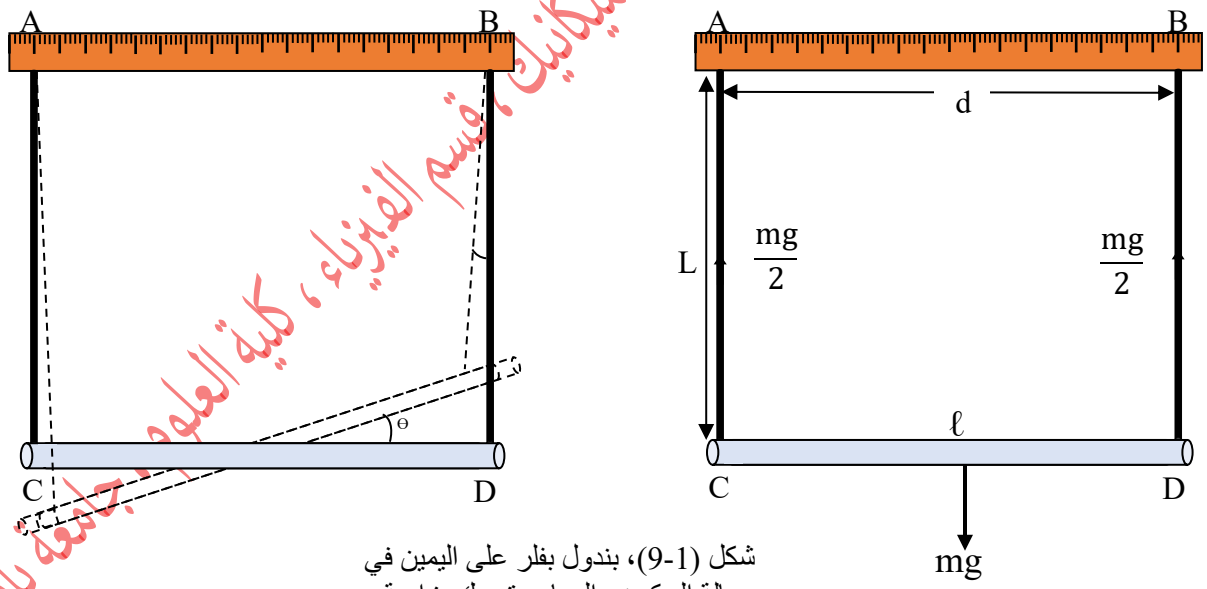
بندول بفلر

الغرض من التجربة : دراسة بندول بفلر وايجاد عزم القصور الذاتي لساق معدنية تدور حول مركزها.

الأجهزة المستخدمة : بندول بفلر وهو يتكون في ابسط اشكاله من ساق منتظمة على شكل متوازي المستطيلات او اسطوانة طولها حوالي نصف متر معلقة بخيطين متساويين في الطول بصورة شاقولية (ان يقع مركز ثقل الساق بين نقطتين تاثير شد الخيطين اي نقطتي التعليق)، مسطرة مترية، ساعة توقيت، ماسكان حاملان، ميزان الستوية.

الأساس النظري للتجربة:

بندول بفلر ليس الا بندول بسيط، ولكن يتذبذب دورانيا (زاوية)، بدلا من ان يتحرك خطيا ولذا فانه من الضروري ان تكون زاوية الازاحة صغيرة جدا والذبذبة تعمل في هذه الحالة نتيجة للتبادل بين الطاقة الحركية والطاقة الدورانية. فعند ازاحة البندول بزاوية صغيرة (θ) في مستوى افقي عن موضع استقراره فانه سيتذبذب دورانيا حول محور شاقولي كما وان كل من الخيطين سيعرضان عن الوضع الشاقولي بزاوية صغيرة أيضا (ϕ) وبما ان الزاويتين (θ) و (ϕ) صغيرتان فان:



شكل (1-9)، بندول بفلر على اليمين في حالة السكون واليسار متحرك بزاوية.

$$L\phi = \frac{1}{2\ell\theta} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$\phi = \left(\frac{1}{2L}\right)\ell\theta \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث (ℓ) يمثل طول الساق بين نقطتي التعليق(L) يمثل طول الخيط.

الحقوق الفكرية للمادة خاصة بمختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بابل.

تتكون في كل من النقطتين (C) و(D) قوة مرجعة تحاول ان تعيد الساق الى موضع استقراره حيث تتحلل قوة الشد (F) في الخيط الى مركبتين افقية وشاقولية وتعطى المركبة الشاقولية بالمعادلة التالية :

$$2F\cos\varphi = mg \quad \ldots\ldots(3)$$

ولما كانت الزاوية (ϕ) صغيرة جدا فان:

$$F = \frac{1}{2}mg \qquad \ldots(4)$$

حيث (m) تمثل كتلة الساق. أما المركبة الأفقية فتعطى بالعلاقة التالية:

$$F = \frac{1}{2}mg\sin\phi \qquad ..(5)$$

وتحت نفس الشروط المذكورة أعلاه فان:

$$F = \frac{1}{2}mg\varphi \qquad \ldots\ldots(6)$$

ومن المعادلتين (2)، (6) نجد ان:

$$F = \tfrac{1}{2}mg\left(\tfrac{L}{2\ell}\theta\right) \qquad \ldots\ldots(7)$$

$$F = \left(\frac{Lmg\theta}{4\ell}\right) \qquad \ldots\ldots(8)$$

ولهذا يكون العزم الكلي المرجع (C) مساويا لحاصل ضرب القوة في البعد العمودي اي ان:

$$C = FL$$

$$C = \left(\frac{Lmg\theta}{4\ell}\right)L \qquad \ldots(9)$$

$$C = \left(\frac{L^2mg\theta}{4\ell}\right). \qquad \ldots(10)$$

وحسب قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية. وبملاحظة ان الازاحة باتجاه معاكس للعزم فان

$$\frac{1}{4}\left(\frac{L^2mg\theta}{\ell}\right) = -\alpha I\ldots\ldots(11)$$

الحقوق الفكرية للملزمة خاصة بمختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بابل.

حيث (I) يمثل عزم القصور الذاتي للساق حول محور الذبذبة و(α) ويمثل تعجيله الزاوي ويظهر من المعادلة (11) ان الحركة هي توافقية بسيطة وان مدة ذبذبتها في هذه الحالة تعطى بالعلاقة التالية:

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{4\ell I}{mgL^2}} \quad \ldots\ldots\ldots(12)$$

$$t = \left(2\pi\frac{1}{L}\sqrt{\frac{4\ell I}{mg}}\right). \quad \ldots\ldots(13)$$

ومنها يمكن استخراج (I) او(g) اذا علمنا قيم المجاهيل الاخرى.

عملي التجربة :

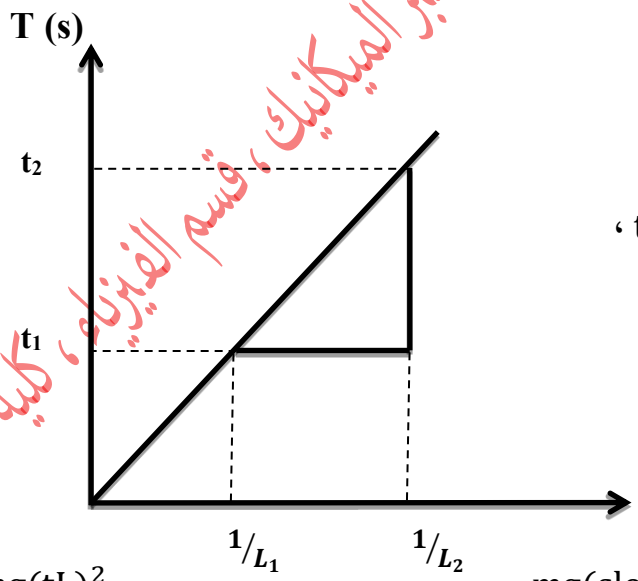
1. علق الساق بصورة افقية بين خيطين شاقولين متماثلين في الطول تماما بحيث يكون مركز ثقل الساق في منتصف المسافة بين نقطتي التعليق واجعل محل نقطة التعليق بعيدا قليلا من نهاية الساق بحوالي سنتيمترين.
2. خذ قياس طول جزء الساق بين نقطتي التعليق (L) وكذلك طول كل من الخيطين (ℓ).
3. دع الساق يتذبذب حول محور شاقولي وفي مستوى افقي وذلك بازاحته بزاوية صغيرة ، ثم احسب زمن اكبر عدد ممكن من الذبذبات. اعد هذه الخطوة اكثر من مرة ، ثم جد معدل زمن الذبذبة الواحدة (t).
4. غير المسافة بين نقطتي التعليق في خطوات وفي كل خطوة سجل طول الساق وزمن عدد معين من الذبذبات ، ثم اوجد لكل حالة معدل زمن الذبذبة الواحدة.
5. اوجد كتلة الساق(m) بوحدات الكيلوا.
6. قس المسافة الفاصلة بين خيطي التعليق ، نقطتي التعليق، L (cm) والذي سوف يكون العنصر المتغير الذي تتحكم فيه في هذه التجربة.
7. اوجد طول كل من الخيطين واوجد المعدل لهما (ℓ) بوحدات السنتمتر (cm).
8. اجعل الساق المعدني يتذبذب حول محور شاقولي وفي مستوى افقي وذلك بإزاحته بزاوية صغيرة ، ثم احسب زمن عشر ذبذبات t_1 (s)، اعد هذه الخطوة t_2 (s) ، ثم جد معدل للزمنيين t_{ave} وبعدها لذبذبة واحدة (T).
9. غير المسافة بين نقطتي التعليق وعد الخطوات السابقة وسجلها في الجدول.
10. اوجد كتلة الساق(m) بوحدات الغرام (gm).

الحقوق الفكرية للمادة خاصة بمختبر الميكانيك ، قسم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة بابل.

الجدول(1-9)، يمثل البيانات المستحصل عليها لتجربة بندول بفلر.

L (cm)	t_1 (s)	t_2 (s)	$t_{ave}=(t_1+t_2)/2$(s)	$T=t_{ave}/10$ (s)	1/L (cm^{-1})
44					
42					
40					
38					
36					
34					

1. ارسم بيانيا بين قيم (1/L) على المحور الافقي x-axis وقيم (T) على المحور الراسي y-axis فالرسم البياني يكون خطا مستقيما يمثل الميل (Slope).
2. عوض الميل Slope في المعادلة ليجاد عزم القصور الذاتي للساق المعدني.



شكل (2-9)، الرسم البياني بين الزمن على المحور الصادي (y-axis)، ومقلوب المسافة الفاصلة بين الخيطيين على المحور السيني (x-axis).

$$Slope = \frac{\Delta(t)}{\Delta(\frac{1}{L})} \quad ، \quad tL = Slope$$

$$I = \frac{mg(tL)^2}{16\pi^2\ell} \quad ، \quad I = \frac{mg(slope)^2}{16\pi^2\ell} \quad (gm.cm^2)$$

أسئلة للمناقشة :

1. ماالمقصود بعزم القصور الذاتي ؟ وماهوالمقصود بحساب عزم القصور الذاتي للقيمة النظرية ؟

الحقوق الفكرية للمادة خاصة بمختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بابل.

2. هل من الممكن جعل المسافة (L) ثابتة وتغير كل من طولي الخيطين، وكيف اتعامل مع هذه الحالة بالنسبة للنتائج ؟
3. هل يمكن استخدام هذا البندول كبندول بسيط؟ أي يتذبذب في مستوى الخيطين.
4. لماذا نستخدم شرط أن تكون زاوية الإزاحة صغيرة جداً ؟
5. لماذا يجب أن يكون طول الخيطين متساويًا تمامًا ؟
6. ما الفرق بين بندول بفلر والبندول البسيط ؟
7. كيف يمكن من هذه التجربة حساب التعجيل الأرضي g ؟
8. هل يؤثر موضع نقطتي التعليق على النتائج ؟
9. ما مصادر الخطأ المحتملة في التجربة ؟
10. إلى أي حد يمكن زيادة المسافة بين نقطتي التعليق (L) ؟

المصادر :

1. الأسدي، عاطف .مختبر الفيزياء العامة .عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع، 2016.
2. شفيق، عدنان .أساسيات الفيزياء العملية .بغداد: مطبعة جامعة بغداد، 2014.
3. هاليداي، ديفيد؛ ريزنيك، روبرت؛ ووكر، جيرل .الفيزياء العامة (الجزء الميكانيكي). ترجمة: مجموعة من أساتذة الجامعات العربية. عمّان: الأكاديميون للنشر، 2018.
4. الجامعة المستنصرية – كلية العلوم .مختبر الميكانيك: تجربة بندول بفلر .بغداد: منشورات قسم الفيزياء، 2020 (ملف تجريبي داخلي).
5. جامعة دمشق – كلية العلوم .تجارب في الميكانيك الكلاسيكي .دمشق: مطبوعات الجامعة، 2019.
6. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. **Fundamentals of Physics** (10th Ed.). Wiley, 2014.
7. Tipler, P., & Mosca, G. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed.). W. H. Freeman, 2008.
8. Serway, R. A., & Jewett, J. W. Physics for Scientists and Engineers (9th Ed.). Cengage Learning, 2013.
9. “Bifilar Suspension for Determining the Moment of Inertia,” American Journal of Physics, Vol. 52, 1984.

الحقوق الفكرية للمادة خاصة بمختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة ...

10. University Physics Laboratory Manual. Bifilar Pendulum Experiment. Department of Physics, Various Universities, 2010–2020.

الحقوق الفكرية للملزمة خاصة بمختبر الميكانيك، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بابل.