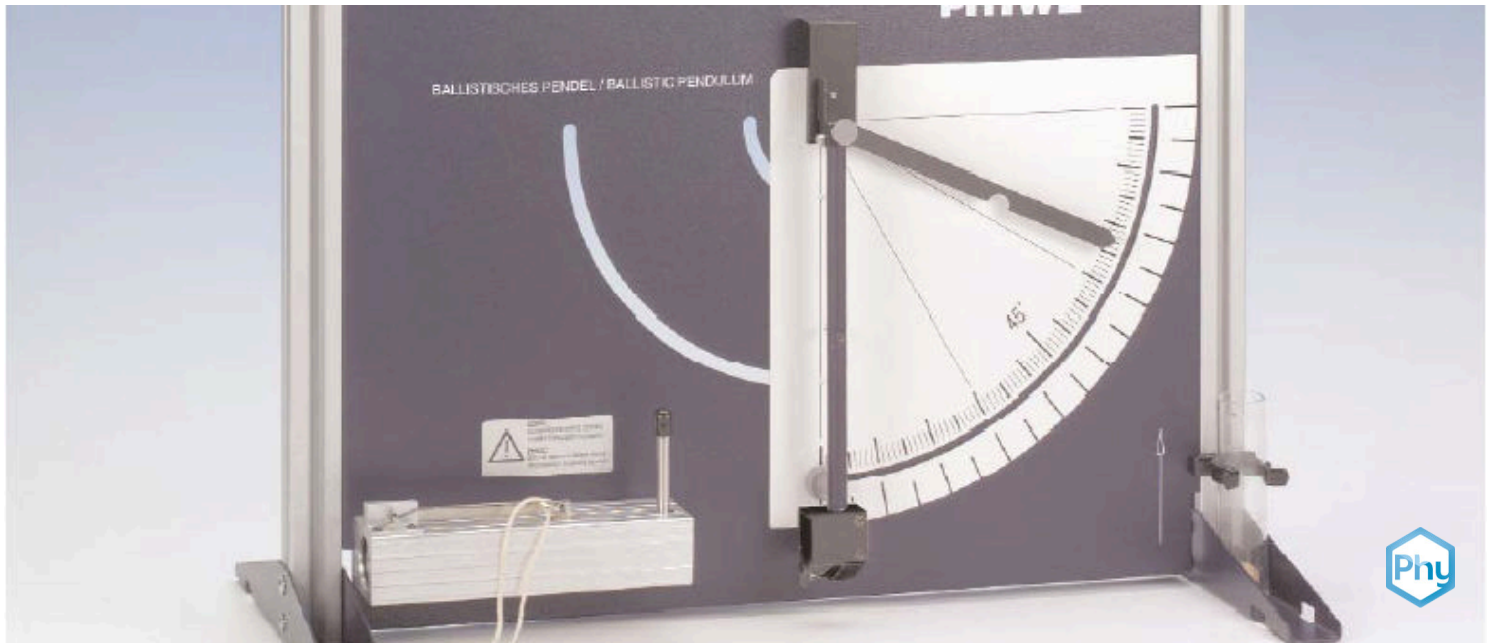


Балістичний маятник



Мета цього експерименту - зрозуміти загальні закони руху маятника.

Physics

Mechanics

Dynamics & Motion



Рівень складності

важко



Розмір групи

2



Час підготовки

45+ хвилини



Час виконання

45+ хвилини

This content can also be found online at:



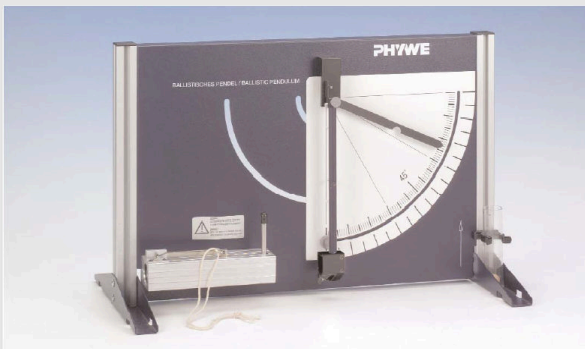
<https://www.curriculab.de/c/64e05df05f431b0002d9f3e8>

PHYWE

Загальна інформація

Опис

PHYWE



Експериментальна установка

Класичний спосіб визначення швидкості руху кулі полягає в тому, що куля потрапляє в нерухоме тіло, яке є більшим за масу кульки і підвішене у вигляді маятника. Кулька залишається в маятникові і коливається разом з ним. Це непружне зіткнення, при якому імпульс залишається незмінним. Якщо відомі механічні характеристики маятника, то за амплітудою коливань маятника можна визначити швидкість маятника (включаючи масу кульки) в найнижчій точці коливань маятника. Таким чином, імпульс двох тіл (кульки і маятника) у цій фазі коливань повинен дорівнювати імпульсу кульки до того, як вона влучила в маятник. Якщо відомі маси маятника і кульки, можна обчислити швидкість

Додаткова інформація (1/2)

PHYWE

Попередн знання



Попередніх знань не потрібно.

Основний принцип



Для того, щоб мати можливість безпечно використовувати цей принцип вимірювання, в цьому експерименті використовується така установка: За допомогою пружинної катапульти (спускового механізму) в маятникову масу стріляють сталеву кулькою. Маса маятника має порожнечу, в якій утримується сталеву кулька.

Якщо додатково є два світлові бар'єри і пристрій для вимірювання часу, то можна провести незалежне пряме вимірювання початкової швидкості

Додаткова інформація (2/2)

PHYWE

Мета навчання



Мета цього експерименту - зрозуміти загальні закони руху маятника.

Завдання



1. Виміряйте амплітуди коливань балістичного маятника після захоплення сталеву кульки для трьох можливих енергій натягу спускового механізму балістичної установки.
2. Розрахуйте початкові швидкості кульки за виміряними амплітудами коливань.
3. Побудуйте графік залежності швидкості v сталеву кульки від максимального прогину φ ($0 \dots 90^\circ$) маятника.
4. Визначте поправочний коефіцієнт f_{cor} .
5. Виміряйте початкові швидкості, що відповідають трьом ступеням натягу спускового механізму, виконавши по 10 вимірювань з подальшим

Теорія (1/3)

PHYWE

Для оцінки ми виходимо з наближення, що маса M маятника і маса m спійманої кульки рухаються як одна точка маси в місці їхнього спільного центру тяжіння. Якщо прирівняти потенціальну енергію маятника в положенні рівноваги до нуля, то для потенціальної енергії в найвищій точці коливань справедливо наступне:

$$E_{\text{pot}} = (m + M) \cdot g \cdot \Delta h$$

де g — прискорення вільного падіння, а Δh — висота, на яку було піднято центр тяжіння.

На рис. 1 видно, що з урахуванням r як відстанні між центром обертання і центром тяжіння, цю формулу можна записати також у вигляді:

$$E_{\text{pot}} = (m + M) \cdot g \cdot (1 - \cos \varphi) \quad (1)$$

Теорія (2/3)

PHYWE

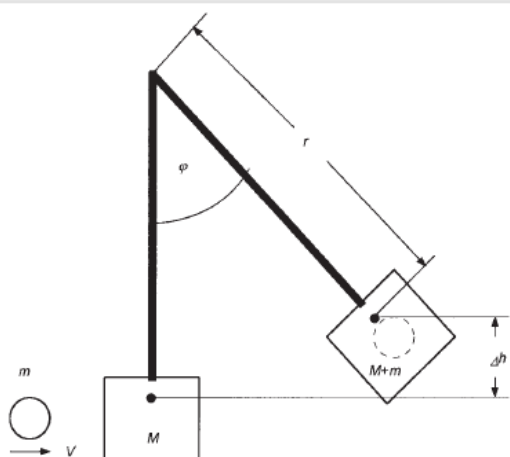


Рис. 1: Діаграма з вивчення теорії балістичного маятника

Потенційна енергія системи повинна дорівнювати кінетичній енергії E_{kin} одразу після зіткнення:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot (m + M) \cdot v_p^2 \quad (2)$$

де v_p — це швидкість маси маятника (включаючи кульку) одразу після зіткнення.

Якщо замінити в цьому рівнянні імпульс $p = (m + M) \cdot v_p$, то отримуємо наступне:

$$E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2 \cdot (m + M)}$$

$$\text{або } p = \sqrt{2 \cdot (m + M) \cdot E_{\text{kin}}}$$

Теорія (3/3)

PHYWE

До зіткнення маятник перебував у стані рівноваги. За законом збереження імпульсу, імпульс $p = m \cdot v$ має дорівнювати за величиною імпульсу кульки до зіткнення. Для швидкості v кульки перед початком руху, тобто для параметра, який потрібно визначити, отримуємо наступне:

$$v = \frac{m+M}{m} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi)} \quad (3)$$

Обладнання

PHYWE

Позиція	Матеріал	Пункт №.	Кількість
1	Балістична установка	11229-10	1
2	Балістичний маятник для балістичної установки	11229-20	1
3	Сталева кулька, d = 19 мм	02502-01	2
4	Приставка для вимірювання швидкості кульки	11229-99	1
5	Джерело живлення, 5 В / 4 А,	12651-99	1

PHYWE

Підготовка та виконання роботи



Підготовка та виконання роботи (1/2)

PHYWE

Зберіть експериментальну установку як показано на рис. 1. Під час проведення вимірювань установка повинна стояти на стійкому столі.

Інформацію про роботу балістичного маятника можна отримати з відповідної інструкції з експлуатації.



Експериментальна установка

Підготовка та виконання роботи

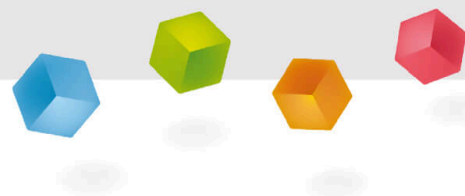
PHYWE

Перед тим, як розтягнути пружину спускового механізму, прикріпіть сталеву кульку до утримуючого магніту затвора. Потім відтягніть затвор назад, доки не буде досягнуто бажаного положення фіксатора. Тепер, не торкаючись стрижня маятника, переконайтеся, що маятник перебуває в стані спокою, а стрілка показчика знаходиться майже на нульовій позначці. Після завершення цих приготувань зробіть постріл, потягнувши за спусковий механізм. Амплітуду коливань маятника можна зчитати по показчику.

Примітка: Через тертя, пов'язане з роботою кінцевого показчика, виміряна амплітуда може бути дещо заниженою. Тому рекомендується зробити постріл по маятнику, що перебуває в стані спокою, з тим самим натягом пружини вдруге і втретє, не обнуляючи показчик маятника, що відстежує. Якщо стрілка не переміщується далі, можна вважати, що показаний кут не був спотворений тертям.

PHYWE

Оцінка



Оцінка (1/6)

PHYWE

На рис. 2 показана функція $v(\varphi)$. Між 0 і 90° крива лише трохи відхиляється від прямої лінії, тобто відхилення маятника, в хорошому наближенні, пропорційне швидкості кульки.

Для оцінки визначте масу m кульки. Положення центру тяжіння із закріпленою сталевую кулькою позначено на корпусі маятника. Масу M маятника можна визначити тільки разом з його кріпленням. Точне значення є дещо меншим і може бути отримане з інструкції з експлуатації.

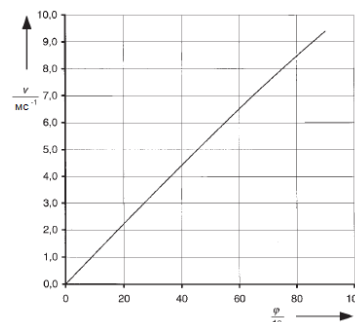


Рис. 2: Теоретична калібрувальна крива для вимірювання швидкості за допомогою балістичного маятника. Це лише приклад кривої, оскільки виробник залишає за собою право вносити технічні зміни щодо

Оцінка (2/6)

PHYWE

Інформація для точної оцінки експерименту

Теоретичне трактування процесів, що відбуваються на балістичному маятнику, наведене вище, ґрунтується в певній мірі на ідеалізації. Тому формула (3) справедлива лише приблизно, але дуже корисна для практичних цілей. Наразі ми хочемо лише коротко показати, як можна досягти точної оцінки. Почнемо з того, що рівняння (2) для кінетичної енергії замінимо на рівняння для енергії обертання фізичного маятника:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (2a)$$

де I — момент інерції маятника із захопленою кулькою, а ω — кутова швидкість. Якщо підставити кутовий момент $L = I \cdot \omega$, то отримаємо наступне.

Оцінка (3/6)

PHYWE

$$E_{\text{kin}} = \frac{L^2}{2I} \quad \text{або} \quad L = \sqrt{2I \cdot E_{\text{kin}}}$$

Цей кутовий момент повинен дорівнювати кутовому моменту L_b кульки до зіткнення відносно точки повороту маятника. Якщо r_b — відстань кульки від точки повороту в момент захоплення, то

$$L_b = m \cdot r_b^2 \cdot \omega_b = m \cdot r_b \cdot v.$$

Прирівнявши два кутові моменти один до одного, отримуємо:

$$v = \frac{1}{m \cdot r_b} \cdot \sqrt{2 \cdot I \cdot (m + M) \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \varphi)}.$$

Оцінка (4/6)

PHYWE

Визначення моменту інерції I фізичного маятника досягається шляхом вимірювання періоду його коливань T . Для нашого маятника отримаємо наступні результати:

$$I = \frac{(m+M) \cdot g \cdot r \cdot T^2}{4\pi^2},$$

$$\text{а отже: } \frac{m+M}{m} \cdot \left(\frac{r}{r_b}\right) \cdot \left(\frac{g \cdot T}{2\pi}\right) \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \varphi)} \quad (3a)$$

Якщо тепер позначити швидкість, обчислену за наближеною формулою (3) як v_{app} , а точне значення, розраховане за формулою (3a) як v_{ex} , можна побачити, що значення швидкостей відрізняються відповідно до $v_{\text{ex}} = f_{\text{cor}} \cdot v_{\text{app}}$ на поправочний коефіцієнт:

$$f_{\text{cor}} = \frac{T}{2\pi \cdot r_b} \cdot \sqrt{r \cdot g}.$$

Оцінка (5/6)

PHYWE

Ця формула стає більш наочною, якщо замість T підставити наступний вираз, в якому r_m — довжина математичного маятника з періодом коливань T :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{r_m}{g}}$$

Наразі отримано наступний результат:

$$f_{\text{cor}} = \frac{\sqrt{r \cdot r_m}}{r_b} \quad (4)$$

Оцінка (6/6)

PHYWE

Якщо вважати кульку за матеріальну точку, яка непружно зіштовхується з маятником у положенні рівноваги, три довжини, що використовуються у формулі (4), є рівними, тобто $f_{\text{cor}} = 1$.

Вимірюючи r та r_b для фізичного маятника, а також шляхом обчислення r_m з виміряного періоду коливань можна легко визначити поправочний коефіцієнт f_{cor} для швидкостей, отриманих за допомогою рівняння (3) з рівняння (4).



Рис 3: Експериментальна установка з додатковим обладнанням для прямого вимірювання початкової швидкості кульки.