

УДК 372.853

Запорожець Олег В'ячеславович, аспірант, інженер I категорії Науково-дослідного центру навчально-наукових приладів Інституту прикладної фізики Національної академії наук України

СУЧАСНІ ДЕМОНСТРАЦІЙНІ ПРИЛАДИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ В СТАРШІЙ ШКОЛІ: МАЯТНИК ЗІ ЗМІННОЮ ПЛОЩИНОЮ КОЛИВАНЬ

Анотація

В статті розглядається проблема, яка виникає при демонстрації в лабораторних умовах залежності періоду коливань маятника від прискорення вільного падіння, а також шлях вирішення цієї проблеми за допомогою маятника зі змінною площиною коливань.

Ключові слова: маятник, змінна площина коливань, прискорення вільного падіння.

Основи коливального процесу наочно можна вивчити за допомогою фізичного маятника. В програмах МОН України з фізики для загальноосвітніх навчальних закладів [1] передбачено вивчення маятника з демонстрацією періоду його коливань (T), що не залежить від маси вантажу (m), але залежить від довжини нитки (l) та прискорення вільного падіння (g).

Вплив зміни відстані від осі підвісу до вантажу на період коливань продемонструвати досить легко, однак труднощі виникають при демонструванні залежності періоду від прискорення вільного падіння [2]. Зменшити вплив g можна, якщо примусити маятник коливатися в площині, яка нахилена відносно вертикального положення.

Провідні світові фірми-виробники навчального обладнання приділяють велику увагу розробці приладів для демонстрації механічних коливань, зокрема – "Маятнику зі змінним g ". Розглянемо основні переваги та недоліки цих приладів.



Рис. 1. Маятник зі змінним g фірми PHYWE SYSTEME GmbH (Німеччина)

Німецька фірма PHYWE SYSTEME GmbH виготовляє установку для вимірювання періоду коливань, що залежить від кута нахилу площини коливання (рис. 1) [3]. Прилад безпосередньо закріплюється на стрижні штатива. Кут нахилу площини коливань змінюється від 0° до 90° . Для визначення періоду використовуються "світлові ворота", підключені до приладу вимірювання часу, що живиться від мережі 220 В. Повний період коливання маятника вимірюється за таким принципом: таймер починає відлік, коли промінь світла в "світлових воротах" переривається вперше; друге переривання не дасть ніякого ефекту; третє переривання закінчить вимірювання часу.



Рис. 2. Маятник зі змінним g фірми *3B Scientific GmbH* (Німеччина)

На рис. 2 показано маятник німецької фірми *3B Scientific GmbH* [4], в якому також можна змінювати площину коливань маятника від 0° до 90° . Відмінна риса даного приладу полягає у тому, що вимірювання періоду відбувається приблизно, за допомогою секундоміра, це досить незручно.



Рис. 3. Маятник зі змінним g фірми *PASCO scientific* (США)

Фірма *PASCO Scientific* виготовляє комп'ютеризований прилад (рис. 3) [5]. Маятник безпосередньо пов'язаний з датчиком обертання і закріплений на стрижні штатива, прилад має шкалу, за допомогою якої можна визначити кут нахилу площини коливання щодо вертикального положення. Для проведення експерименту з визначення впливу прискорення вільного падіння на період коливань використовується датчик обертання з універсальною приставкою "*DataStudio*" (фірми *PASCO Scientific*), яка виводить дані на комп'ютер. Даний прилад досить складний в виготовленні і на порядок дорожчий від інших.

В лабораторії Науково-дослідного центру навчально-наукових приладів ІПФ НАН України розроблено маятник, за допомогою якого можна досліджувати період коливання, змінюючи нахил площини коливань і відстань від осі підвісу до вантажу, а також змінювати масу вантажу.



Рис. 4. Маятник, розроблений в Науково-дослідному центрі навчально-наукових приладів ІПФ НАН України, м. Суми

На рис. 4 показано повну експериментальну установку для вимірювання періоду коливань в залежності від кута нахилу площини коливання (α).

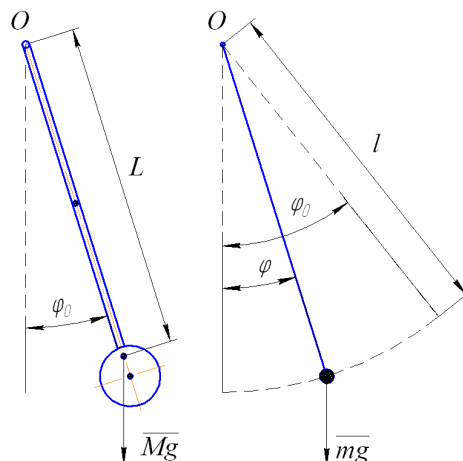
Прилад має 2 стрижні, на одному з яких знаходиться рухомий вантаж, а на іншому закріплено "світлові ворота".

Маятник утримується в необхідному положенні за допомогою спеціального кріпильного механізму, таким чином можна безперервно регулювати положення площини коливання між вертикальною і горизонтальною позицією. Використовуючи шкалу, можна встановити будь-який кут від 0° (вертикальне положення) до 90° (горизонтальне положення). Отже вплив прискорення вільного падіння на період коливань може бути зменшено на необхідну величину.

У даному приладі тривалість періоду коливань визначається за допомогою лічильника з індикатором, який працює як від елементів живлення, так і від мережі 220 В. Закріплюється індикатор на стрижні штатива.

Розглянемо теорію, яку можна застосувати до розробленого маятника.

Фізичний маятник – це тверде тіло довільної форми, що здійснює коливання навколо певної осі, яка не проходить через центр інерції, під дією механічних сил. У нашому випадку це масивний вантаж, жорстко з'єднаний зі стрижнем, який коливається під дією сили тяжіння (рис. 5, а). Точка перетину горизонтальної осі з вертикальною площиною, яка проходить через центр інерції маятника, називається точкою підвісу маятника (т. O). Положення маятника в довільний момент часу можна охарактеризувати кутом φ відхилення осі маятника від положення рівноваги [6].



а) б)

Рис. 5. Схематичне зображення маятника: а) – фізичного, б) – математичного

Рівняння моментів відносно горизонтальної осі, яка проходить через точку підвісу фізичного маятника, має такий вигляд:

$$J_m \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -MgL \sin \varphi \quad (1)$$

J_m – момент інерції маятника, що складається з суми моментів інерції вантажу і стрижня маятника, відносно осі, що проходить через точку O ;

M – сума мас вантажу і стрижня.

L – відстань від осі підвісу до центру тяжіння (центру мас) маятника.

Знак мінус вказує на те, що момент сили тяжіння викликає обертання зворотне напрямку зростання кута відхилення φ .

Разклавши $\sin \varphi$ в ряд Тейлора, та обмежившись лінійним членом цього розкладення, запишемо формулу (1) у вигляді

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0, \quad (2)$$

де

$$\omega_0^2 = MgL / J_m \quad (3)$$

Отже, незбурений рух фізичного маятника являє собою гармонійні коливання з періодом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{MgL}} \quad (4)$$

Усі наведені роздуми справедливі також в тому випадку, якщо ми маємо матеріальну точку масою m , підвішену на нерозтяжній невагомій нитці завдовжки l (рис. 5,б). Така система називається математичним маятником, для якого момент інерції дорівнює $J_m = ml^2$ та, внаслідок, для визначення періоду її коливання з формули (4) отримаємо

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (5)$$

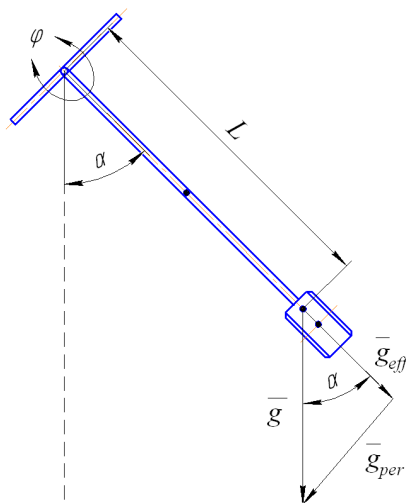


Рис. 6. Схематичне зображення маятника з площиною коливань, яка повернута на кут α

При повороті площини коливання відносно вертикального положення на певний кут вектор прискорення вільного падіння розкладається на дві складові – перпендикулярну g_{per} і ефективну g_{eff} (рис. б). Ефективну

складову можна обчислити за таким рівнянням:

$$g_{\text{eff}} = g \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

де α – кут нахилу площини коливання відносно вертикального положення.

Враховуючи рівняння (4) та (6), одержимо формулу для періоду коливань, який залежить від кута повороту α :

$$T(\alpha) = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{M \cdot L \cdot g_{\text{eff}}}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{M \cdot L \cdot g \cdot \cos \alpha}} \quad (7)$$

Таким чином, збільшення періоду коливань маятника при збільшенні кута нахилу відносно горизонту відбувається за рахунок зменшення значення ефективної складової прискорення вільного падіння.

Відомо, що g на планеті Земля в середньому дорівнює $9,807 \text{ м/с}^2$ (дане значення може змінюватися від екватора до полюсів), але інші планети Сонячної системи мають інші значення прискорення вільного падіння, вони наведені в табл. 1:

Таблиця 1

Прискорення вільних падінь планет Сонячної системи і супутника Землі

№ п/п	Назва планети	Значення прискорення вільного падіння, м/с^2
1	Меркурій	3,707
2	Венера	8,894
3	Місяць	1,622
4	Марс	3,697
5	Юпітер	25,0
6	Уран	8,71

За допомогою розробленого приладу можна одержати коливання з періодом, що дорівнює періоду коливань звичайного математичного маятника на різних планетах Сонячної системи. Для цього необхідно обчислити кут нахилу площини коливань маятника α , використовуючи формулу (6):

$$\alpha = \arccos \frac{g_i}{g}, \quad (8)$$

де $i = 1 \dots 6$ – прискорення вільного падіння відповідних планет, поданих в табл.1.

Нижче приведені значення кутів нахилу площини коливання (табл. 2), обчислених за формулою (8):

Таблиця 2

Значення кута α для різних планет і супутника Землі

№ п/п	Назва планети	Значення кута нахилу площини коливань, в градусах
1	Меркурій	67,79
2	Венера	24,91
3	Місяць	80,50
4	Марс	67,85
5	Юпітер	–
6	Уран	27,36

Також відмінністю даного приладу є те, що на протилежній стороні шкали (рис. 7) відмічені кути для планет, прискорення вільного падіння на яких менше, ніж на Землі. Але за допомогою даного приладу можна продемонструвати коливання з періодом, рівним періоду коливань на планеті Юпітер, g у якого в 2,5 разів більше, ніж на Землі. Для цього необхідно покласти під вантаж маятника, площина коливання якого знаходиться у вертикальному положенні, постійний магніт [7], наприклад, розміром $120 \times 80 \times 15 \text{ мм}$. Регулюючи відстань від магніту до ваги маятника, можна досягти величини періоду коливань, який відповідає Юпітеру.

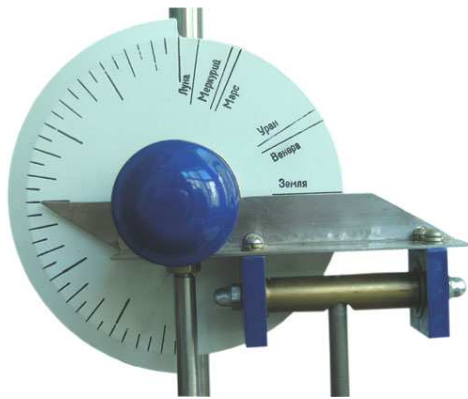


Рис. 7. Шкала з нанесеними на ній планетами

Маятник обладнано простим приладом для вимірювання періоду коливань, схема якого показана на рис. 8. Робота схеми заснована на реєстрації кількості імпульсів генератора струмової частоти (мікросхема D1.4) за вимірюваний період часу.

Генератор імпульсів частотою 100 Гц (0,01 с) зібрано на мікросхемі K561ТЛ2 (D1.4). Період коливань вихідної напруги цього генератора складається з тривалості позитивного імпульсу T_1 , сформованої елементами ланцюга зворотного зв'язку VD1, R6 і C3 і періоду проходження цих імпульсів T_2 , сформованого елементами ланцюга зворотного зв'язку R4, R5 і C3:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{1}{2}(R_{VDO} + R6) \cdot C3 + \frac{1}{2}(R4 + R6) \cdot C3 + \frac{C3}{2}(R_{VDO} + R6 + R4 + R5), \quad (9)$$

де R_{VDO} – активний опір діода VD1 в "відкритому" стані (~ 100 Ом).

Конденсатор C2 і резистор R3 формують імпульс початкової установки для лічильника періоду.

Період коливань маятника формується з двох періодів між трьома послідовними спрацюваннями датчика проходження маятника через точку рівноважного положення (D1). В даному випадку використовується світлодіод і фотодіод інфрачервоного діапазону хвиль.

Імпульси датчика D1 надходять на вхід формувача рахункових імпульсів (D1.1, C1, R1, R2). З виходу D1.1 імпульси потрапляють на формувач періодів вимірювання та індикації.

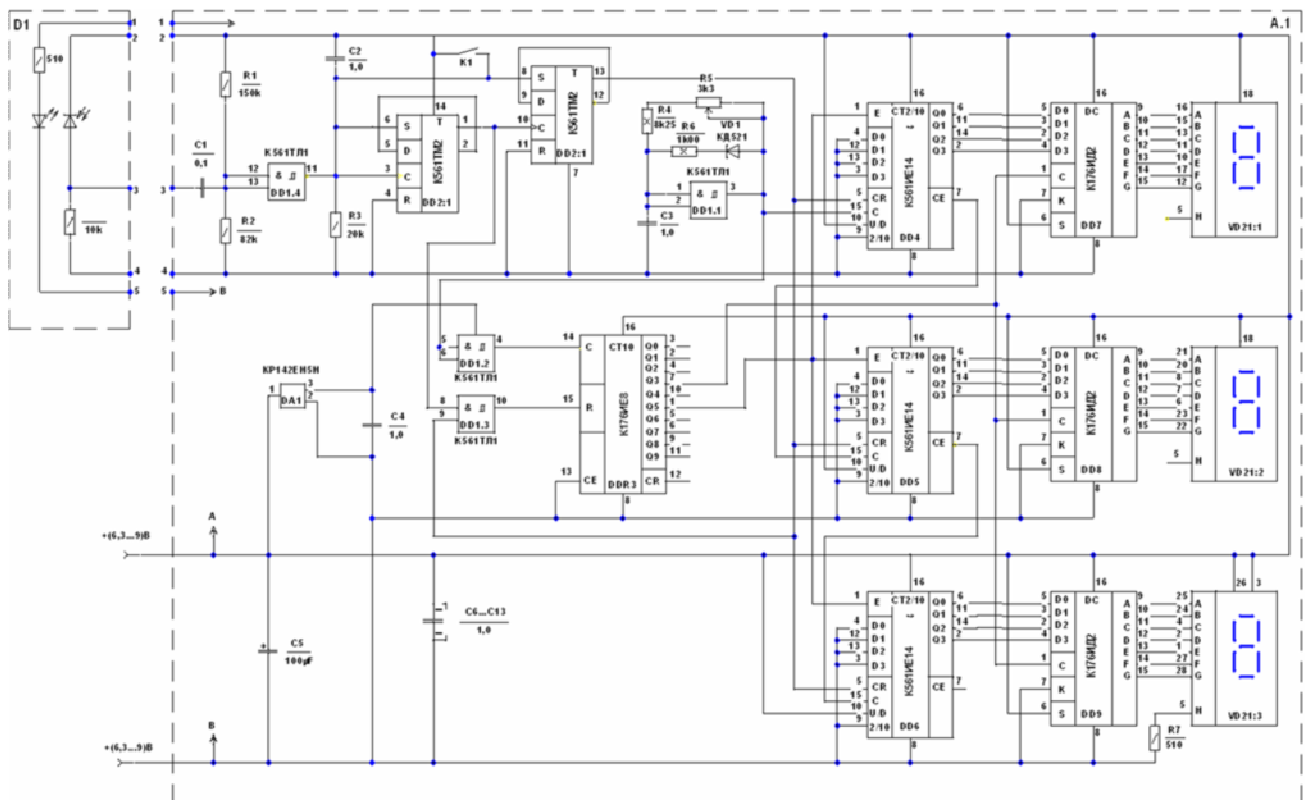


Рис. 8. Схема вимірника періоду коливань приладу

Ця схема керує часом обчислення кількості імпульсів генератора тактової частоти 100 Гц (D4, D5, D6) з індикацією одержаного результату (VD2) і "обнуляє" лічильники імпульсів частоти 100 Гц. Функції управління заповненням дешифраторів і "обнуленням" лічильників виконує мікросхема D3. Для примусового "скидання" лічильника в схему введено герметичний контакт K1. Стабільність частоти 100 Гц (або в кінцевому випадку вимірювання періоду коливань маятника) забезпечується елементами генератора (R4, R5, R6, C3), які мають підвищену стабільність параметрів при зміні температури і часу. При цьому опір відкритого діода VD1 не має підвищеної стабільності, але його внесок у формування періоду коливань частоти складає менше 1%, що є цілком допустимим для трьохрозрядного лічильника.

Додаткову стабільність генератору тактової частоти коливань 100 Гц додає стабілізатор живлення +5В (DA1) мікросхеми D1.

Датчик D1 підключається до лічильника через роз'єм за допомогою кабелю. Живлення здійснюється від елементів живлення напругою 1,5 В або мережі 220В. Споживаний струм $\leq 0,12$ А при напрузі живлення 6,5 В.

Для підключення приладу до комп'ютера можна застосовувати універсальні комплекси, розроблені різними фірмами, в яких використовуються датчики переміщення. За допомогою програмного забезпечення, яке поставляється в комплекті з такими комплексами, можна визначати параметри L , g , T , кут α та будувати графіки їх залежностей.

Список використаних джерел

1. Фізика. Астрономія. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів 7 – 12 класи, О.І. Ляшенко, М.І. Дзюбенко. – К.: "Перун", 2005, 2006. – 79 с.
2. Гончаренко С.У Фізика: Проб. учеб. для 9 кл. сред. общеобраз. шк., гимназий и кл. гуманитар. профиля. – Пер. с укр. – К.: Освіта, 1998. – 442 с.
3. Каталог фірма RHYWE SYSTEME GmbH. D-37070, Gottingen, Germany, 2005. – 816 с.
4. Каталог фірма 3B Scientific GmbH. Rudorffweg 8, 21031 Hamburg, Germany, 2006. – 32 с.
5. Каталог фірма PASCO Scientific. USA, 2005. – 384 с.
6. Описание лабораторных работ по физике. Измерительный практикум. Часть 2. – Новосибирск.: Новосибирский государственный университет, 1998. – 53 с.
7. Демонстраційний експеримент з фізики: Навч. посібник. За ред. док. фіз-мат. наук, професора Шутра М.І. та докт. техн. наук, професора Бикова В.Ю. – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2003. – 237 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ НА УРОКАХ ФИЗИКИ В СТАРШЕЙ ШКОЛЕ: МАЯТНИК С ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОСКОСТЬЮ КОЛЕБАНИЙ

Запорожец О.В.

Аннотация

В статье рассмотрена проблема, которая возникает при демонстрации в лабораторных условиях зависимости периода колебаний маятника от ускорения свободного падения, а также решение этой проблемы при помощи маятника с изменяющейся плоскостью колебаний.

Ключевые слова: маятник, изменяющаяся плоскость колебаний, ускорение свободного падения.

MODERN DEMONSTRATION DEVICES AT LESSONS OF PHYSICS IN SENIOR SCHOOL: THE PENDULUM WITH VARIABLE G

Zaporozhetc O.V.

Resume

The articles handles with the issue raised in demonstration of relationship between the oscillation period and acceleration of gravity at the laboratory environment and it's solution with the pendulum with variable g involved is suggested here.

Keywords: pendulum, variable g, acceleration of gravity.