



Physics is an ever young science, Varna, October, 27 – 29, 2017
Физиката – вечно млада наука, Варна, 27 – 29 октомври 2017 г.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЗЕМНОТО УСКОРЕНИЕ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА

Мариана Анастасова

Профилирана природо-математическа гимназия „Акад. Никола Обрешков“ – Бургас

Резюме. В предложената експериментална задача се изисква от учениците да приложат добре познатите им от училищния курс по физика закони за равноускорително движение, въртливо движение и закона за запазване на пълната механична енергия към движението на махало на Максвел, да конструират вариант на махало на Максвел, да извършат стандартни измервания на линейни размери и време и на базата на съставен модел, използвайки графичен метод, да определят стойността на земното ускорение.

Keywords: experimental task; Earth acceleration

Увод

Конструираме вариант на махало на Максвел, показан на фиг.1 (Роров, 1996).

При движение на махалото пълната му механична енергия се запазва, тъй като пренебрегваме съпротивлението на въздуха и триенето между нишката и оста, т.е. имаме

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = mgH \quad (1)$$

Прилагайки връзката между линейната скорост v и ъгловата скорост $\omega - v = \omega r$ към (1), получаваме

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{Iv^2}{2r^2} = mgH \quad (2)$$

Движението на махалото е равноускорително без начална скорост. Следователно

$$\begin{aligned} v = gt \quad \text{и} \quad H = \frac{gt^2}{2} \quad \Rightarrow \quad gt = v = \frac{2H}{t} \\ \Rightarrow \quad v^2 = \frac{4H^2}{t^2} \end{aligned} \quad (3)$$

От уравнения (2) и (3) следва

$$\frac{m4H^2}{2t^2} + \frac{I4H^2}{2r^2t^2} = mgH \quad (4)$$

Инерционният момент на махалото (с пренебрегване на инерционния момент на оста) е

$$I = \frac{ma^2}{6} \quad (5)$$

От уравнения (4) и (5) следва

$$\begin{aligned} \frac{m2H^2}{t^2} + \frac{m \cdot a^2 H^2}{3 \cdot r^2 t^2} &= mgH \frac{m2H^2}{t^2} + \frac{m \cdot a^2 H^2}{3 \cdot r^2 t^2} = mgH \quad | : mH \\ \frac{2H}{t^2} + \frac{Ha^2}{3r^2 t^2} &= g \\ \frac{1}{t^2} \left(2H + \frac{Ha^2}{3r^2} \right) &= g \\ t^2 &= \frac{1}{g} \left(1 + \frac{a^2}{6r^2} \right) \cdot 2H \end{aligned} \quad (6)$$

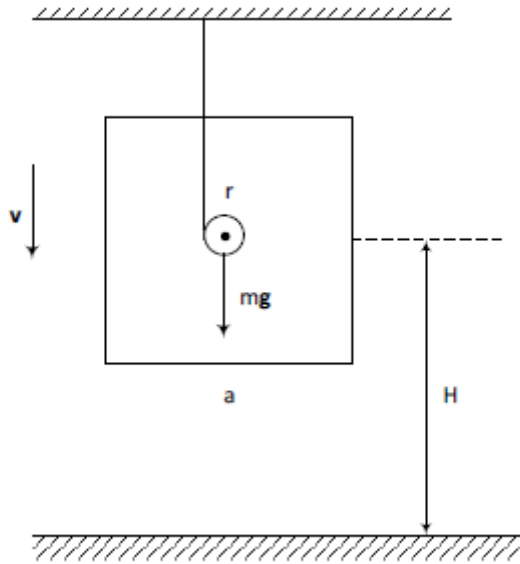
Но

$$a \gg r \Rightarrow \frac{a^2}{6r^2} \gg 1 \Rightarrow 1 + \frac{a^2}{6r^2} \approx \frac{a^2}{6r^2} \quad (7)$$

Следователно

$$t^2 = \frac{1}{g} \left(\frac{Ha^2}{3r^2} \right) \frac{1}{g} \left(\frac{Ha^2}{3r^2} \right) \quad (8)$$

Както се вижда, t^2 е линейна функция на израза $\left(\frac{Ha^2}{3r^2} \right)$ с коефициент $k = \frac{1}{g}$.



Фигура 1. Опитна постановка

Формулировка на задачата

Разполагате с две еднакви квадратни плочки, пробити в центъра, тънка ос, чиято маса е пренебрежима спрямо масата на плочките, шублер, конец, статив и хронометър.

Направете такива измервания, че резултатите графично да се представят чрез права линия, и от нея определете стойността на земното ускорение g .¹⁾

Експериментални резултати и изводи

С шублер измерваме: (1) страната на квадратната плочка: $a = 10 \text{ cm}$;
(2) радиуса на тънката ос: $r = 2,7 \text{ mm}$.

Върху конеца нанасяме отметки през равни разстояния – например 10 cm .

От двете квадратни плочки, тънката ос и конеца конструираме вариант на махало на Максвел, както е показано на фиг. 2.



Фигура 2. Опитът

Навиваме конеца около оста и пускаме махалото без начална скорост от различни височини, измервайки времето t за падане на махалото. Експерименталните резултати нанасяме в таблица 1.

От така получените данни построяваме графика на зависимостта $t^2 = f(x)$ (фиг. 3).

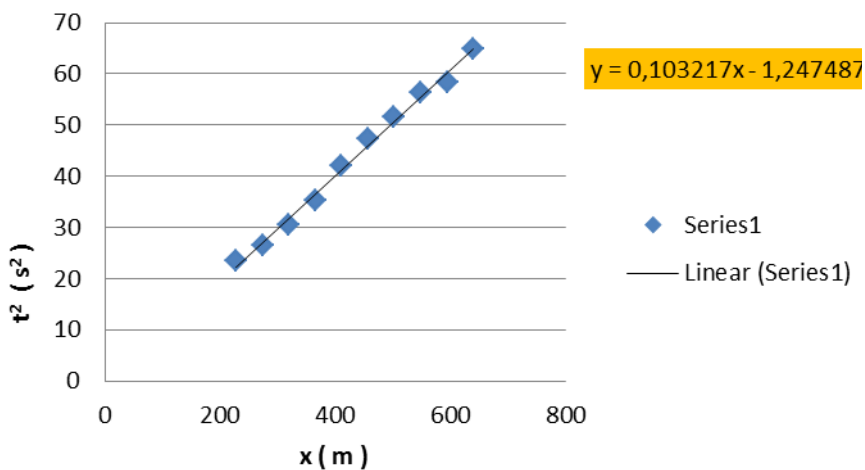
От графиката определяме ъгловия коефициент: $k = 0.103217$

Тогава

$$g = \frac{1}{k} = \frac{1}{0.103217}$$
$$g \approx 9,69 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Таблица 1. Стойности на височината H , времето за падане t и величината $x = \left(\frac{Ha^2}{3r^2} \right)$

| a=10cm=0,1m | | | r=2,7mm=2,7.10 ⁻³ m | |
|-------------|-------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| № | H (m) | $x = \frac{a^2 H}{3r^2}$ | t (s) | t ² (s ²) |
| 1 | 0,5 | 228,6237 | 4,84 | 23,4256 |
| 2 | 0,6 | 274,3484 | 5,15 | 26,5225 |
| 3 | 0,7 | 320,0732 | 5,52 | 30,4704 |
| 4 | 0,8 | 365,7979 | 5,93 | 35,1649 |
| 5 | 0,9 | 411,5226 | 6,48 | 41,9904 |
| 6 | 1 | 457,2474 | 6,88 | 47,3344 |
| 7 | 1,1 | 502,9721 | 7,18 | 51,5524 |
| 8 | 1,2 | 548,6968 | 7,5 | 56,25 |
| 9 | 1,3 | 594,4216 | 7,64 | 58,3696 |
| 10 | 1,4 | 640,1463 | 8,05 | 64,8025 |



Фигура 3. Зависимост $t^2 = f(x)$

Оценка на грешката (Andreev & Lyudskanov, 1975):

Относителната грешка, с която измерваме земното ускорение g , е

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta H}{H} + 2 \frac{\Delta a}{a} - 2 \frac{\Delta r}{r} - 2 \frac{\Delta t}{t}$$
$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.5 * 10^{-3}}{1.4} + 2 \frac{0.5 * 10^{-3}}{0.1} - 2 \frac{0.05 * 10^{-3}}{2.7 * 10^{-3}} - 2 \frac{0.005}{8.05} = 2\%$$
$$\Delta g = 0.02 * 9.69$$
$$\Delta g \approx 0.19 \text{ m/s}^2$$

Окончателен резултат:

$$g = (9.69 \pm 0.19) \text{ m/s}^2$$

БЕЛЕЖКИ

1. Нямайте право да използвате зависимостите при математичното махало; инерционният момент I на квадратна плочка с маса m и страна a спрямо ос на въртене, която е перпендикулярна на страната на квадрата и преминава през центъра на тежестта му, е $I = \frac{m \cdot a^2}{6}$, а на цилиндър с радиус r и маса m спрямо ос на въртене, преминаваща през центъра на тежестта му и перпендикулярна на основите му, е $I = \frac{m \cdot r^2}{2}$.

REFERENCES/ЛИТЕРАТУРА

- Andreev, M. & Lyudskanov, V. (1975). *Laboratorna fizika*. Sofia: Nauka i izkustvo [Андреев, М. & Людсканов, В. (1975). *Лабораторна дизика*. София: Наука и изкуство].
- Popov, T. (1996). Reshenia na eksperimentalnite zadachi pt podbornia kryg na olimpiadata po fizika. *Fizika*. No. 5, 49 – 56 [Попов, Ц. (1996). Решения на експерименталните задачи от подборния кръг на олимпиадата по физика. *Физика*, № 5, 49 – 56].

DETERMINATION OF EARTH ACCELERATION: AN EXPERIMENTAL TASK

Abstract. Easy way for experimental determination of the Earth acceleration g is described.

✉ **Ms. Mariana Anastassova, teacher**
Akademik Obreshkov Secondary School
19, Stefan Stambolov Blvd.
8000 Burgas, Bulgaria
E-mail: pmgbs@abv.bg