

Методична розробка (10 клас, I курс коледжу). Фізичний практикум – «Визначення руху тіла кинутого горизонтально»

Мета роботи: досліджувати залежність дальності польоту тіла, кинутого горизонтально, від висоти, з якої воно почало рух. Якщо тіло кинути з деякою висоти горизонтально, його рух можна розглядати, як рух по інерції по горизонталі і рівноприскорений рух по вертикалі. По горизонталі тіло рухається за інерцією відповідно до першого закону Ньютона, оскільки, крім сили опору з боку повітря, яку не враховують, у цьому напрямку на нього жодні інші сили не діють. Силою опору повітря можна знехтувати. По вертикалі на тіло діє сила тяжіння, яка надає йому прискорення g - прискорення вільного падіння. Розглядаючи переміщення тіла за таких умов як результат двох незалежних рухів по горизонталі та вертикалі, можна встановити залежність дальності польоту тіла від висоти, з якої його кидають. За формулою, з курсу фізики, можливо визначити початкову швидкість тіла, кинутого горизонтально V_0 .

Зазвичай, для такого досліду в кабінетах фізики використовують штатив з лапкою і металевий жолоб, який внизу перегинають щоб отримати горизонтальний відрізок, проте для виконання досліду в домашніх умовах простіше зробити пристрій з використанням водопровідної поліетиленової труби, довжиною 1 м (можливо взяти трубу і на 50 – 80 см). Конструкція пристрою показана на **фото 1**. Зробити такий пристрій зовсім не складно за 20 – 30 хвилин.

В принципі, конструкцію можливо зробити простішою – використати тільки рамку, або прямокутний трикутник з дерев'яних рейок.

Пристрій має вверху два металевих гачка і його можливо «навішувати» на металеву сітку на необхідній висоті, як це показано на **фото 1**.



Фото 1



Фото 2

Можливий і інший варіант – закріпити пристрій в лещатах, прикручених до табуретки, як це показано на **фото 2**. В даному варіанті для зміни висоти горизонтальної частини «трубки-жолоба», відносно полу, необхідно взяти

нижчу табуретку, або наявну табуретку перевернути, як це показано на **фото 4**.

Зазвичай, для цього лабораторного практикума в підручниках фізики рекомендують певні висоти: 3 см, 12 см, 27 см, 48 см, проте немає необхідності дотримуватись саме таких висот при виконанні дослідів – можливо взяти любі висоти горизонтальної частини «трубки-жолоба», відносно полу, що спрощує виконання лабораторного практикума в домашніх умовах. Як показує практика, досить двох варіантів – по п'ять дослідів в кожному.

Прилади та матеріали: фанера товщиною 3...4 мм (по довжині довша розміру аркуша А4 на 4-5 см), смужка фанери такої ж товщини, рулетка, металева кулька масою 14 г, папір білий (А4) 2 шт., копіювальний папір, пристрій для пускання кульки, висок, скотч, ножиці, кулькова ручка, лещата, табуретка.

Набір необхідних матеріалів показано на **фото 3** – на табуретці, і на полу.

1. Для проведення дослідів встановлюємо пристрій, зачепивши пристрій на сітку на певній висоті, як це показано на **фото 1**, або закріпивши в лещатах, як це показано на **фото 2, фото 3, фото 4**.



Фото 3



Фото 4

2. Щоб не псувати підлогу (стіл) від удару кульки, застелимо тканиною підлогу (стіл) - опускаємо кульку в трубку і фіксуємо орієнтовно місце падіння кульки.

3. Прикріплюємо аркуш паперу до фанери за допомогою скотчу і кладемо зверху аркушу копіювальний папір - копіювальним шаром до білого паперу.

4. Внизу, на підлозі під пристроєм ставимо смужку фанери (використавши висок - на смужці фанери ручкою ставимо мітку для відліку дальності польоту кульки), а далі в місці, де вірогідно впаде кулька при цій висоті кінця «трубки-жолоба» ставимо листок фанери з прикріпленим папером і копіювальним папером зверху.

5. Опускаємо кульку в «трубу-жолоб» по якій вона скочується і далі летить по траєкторії параболи з зниженням і падає на копіювальний папір – на білому папері залишається мітка від удару кульки.
6. Повторюємо дослід п'ять разів і вимірюємо дальність польоту кульки для п'яти дослідів - по горизонталі, не змінюючи висоту від поверхні смужки фанери до нижнього кінця «труби-жолоба». Визначаємо середнє значення дальності польоту кульки по горизонталі при даній висоті від поверхні смужки фанери до нижнього кінця «труби-жолоба», вимірявши дальності польоту для всіх п'яти дослідів (див. **рис. 1**).

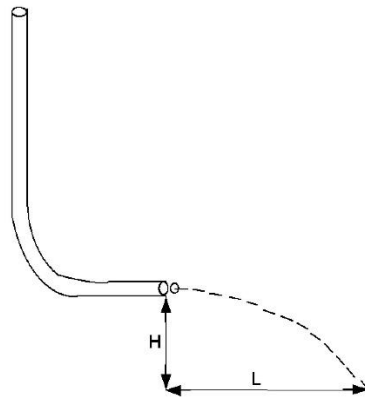


Рис. 1

7. Обчислюємо значення початкової швидкості кульки при заданій висоті і середньому значенню дальності польоту по формулі:

$$V_0 = L \sqrt{\frac{g}{2 \cdot H}}$$

де: V_0 – початкова швидкість кульки
 g – прискорення вільного падіння $9,8 \text{ м/с}^2$
 H – висота при вильоті кульки
 L – дальність польоту кульки

Приклад проведення дослідів по I варіанту (фото 3):

$$H_1 = 0,53 \text{ м}, L_{1\text{сеп.}} = 0,5514 \text{ м}. V_{01 \text{ розрах.}} = 1,676 \text{ м/с}$$

Розрахунок $L_{1\text{сеп.}}$ для першого варіанту:

$$L_{1\text{сеп.}} = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5)/5 = (545 \text{ мм} + 557 \text{ мм} + 555 \text{ мм} + 545 \text{ мм} + 555 \text{ мм})/5 = 551,4 \text{ мм}$$

Обчислемо середню абсолютну похибку для I варіанту:

$$\Delta_{L_{1\text{сеп.}}} = (\Delta_{L_1} + \Delta_{L_2} + \Delta_{L_3} + \Delta_{L_4} + \Delta_{L_5})/5 = (|L_{1\text{сеп.}} - L_1| + |L_{1\text{сеп.}} - L_2| + |L_{1\text{сеп.}} - L_3| + |L_{1\text{сеп.}} - L_4| + |L_{1\text{сеп.}} - L_5|)/5 = (|551,4 - 545| + |551,4 - 557| + |551,4 - 555| + |551,4 - 545| + |551,4 - 555|)/5 = 5,12 \text{ мм.}$$

$$\Delta H = 1 \text{ мм}, \Delta g = 0,02 \text{ м/с}^2 \text{ при } g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Обчислемо відносну похибку вимірювання швидкості за формулою:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{V_0} &= \varepsilon_{L_{1\text{сеп.}}} + 1/2\varepsilon_g + 1/2\varepsilon_H = \Delta_{L_{1\text{сеп.}}}/L_{1\text{сеп.}} + 1/2(\Delta g/g) + 1/2(\Delta H/H) = \\ &= 0,00512/0,551,4 + 1/2(0,02/9,8) + 1/2(0,001/0,53) = 0,009285 + 0,0010204 + 0,0009433 = 0,0112487 \end{aligned}$$

Обчислемо середню абсолютну похибку для початкової швидкості для I варіанту: $\Delta V_{01} = V_{01 \text{ розрах.}} \times \varepsilon_{V_0} = 1,676 \times 0,0112487 = 0,0188528$

$$V_{o1} = V_{o \text{ розрах.}} \pm \Delta V_{o1} = (1,676 \pm 0,0188528) \text{ м/с}$$

8. Змінюємо висоту від поверхні полу до нижнього кінця «труби-жолоба» і знову проводимо п'ять дослідів – вимірюємо дальність польоту кульки при цій висоті і обчислюємо початкову швидкість кульки по даним другого варіанту, тобто повторюємо пункти 2), 3), 4), 5), 6), 7) при новому значенні висоти Н.

Приклад проведення досліду по II варіанту (фото 4):

$$H_2 = 0,36 \text{ м, } L_{2\text{сер.}} = 0,4556 \text{ м. } V_{o2 \text{ розрах.}} = 1,68 \text{ м/с}$$

$$L_{II\text{сер.}} = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5)/5 = (454 \text{ мм} + 458 \text{ мм} + 455 \text{ мм} + 456 \text{ мм} + 455 \text{ мм})/5 = 455,6 \text{ мм}$$

$$\Delta L_{\text{сер.}} = (\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5)/5 = (|L_{1\text{сер.}} - L_1| + |L_{1\text{сер.}} - L_2| + |L_{1\text{сер.}} - L_3| + |L_{1\text{сер.}} - L_4| + |L_{1\text{сер.}} - L_5|)/5 = (|455,6 - 454| + |455,6 - 458| + |455,6 - 455| + |455,6 - 456| + |455,6 - 455|)/5 = 1,12 \text{ мм.}$$

$$\Delta H = 1 \text{ мм, } \Delta g = 0,02 \text{ м/с}^2 \text{ при } g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Обчислемо відносну похибку вимірювання швидкості за формулою:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{II V_o} &= \varepsilon_{II L_{\text{сер.}}} + 1/2\varepsilon_g + 1/2\varepsilon_H = \Delta L_{\text{сер.}}/L_{II\text{сер.}} + 1/2(\Delta g/g) + 1/2(\Delta H/H) = \\ &= 0,00112/0,4556 + 1/2(0,02/9,8) + 1/2(0,001/0,53) = 0,0024582 + \\ &0,0010204 + 0,0009433 = 0,0044219 \end{aligned}$$

Обчислемо середню абсолютну похибку для початкової швидкості для II варіанту: $\Delta V_{IIo} = V_{o2} \times \varepsilon_{V_{o2}} = 1,68 \times 0,0044219 = 0,0074297$

$$V_{oII} = V_{o \text{ розрах.}} \pm \Delta V_{o1} = (1,68 \pm 0,007) \text{ м/с}$$

Початкова швидкість V_o для обох варіантів повинна бути однаковою, незалежно від висоти Н.

Розбіжність величин початкової швидкості обох варіантів незначна – досліди проведені вдало.

Вдале виконання дослідів можливо також перевірити по рівності відношень висот під квадратним коренем і відношення дальності польоту кульки по формулах:

$$\sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = K1 \quad \frac{L_{1\text{сер.}}}{L_{2\text{сер.}}} = K2$$

Підставивши значення H_1 і H_2 знаходимо $K1 = 1,213$

Підставивши значення $L_{1\text{сер.}}$ і $L_{2\text{сер.}}$ знаходимо $K2 = 1,21$

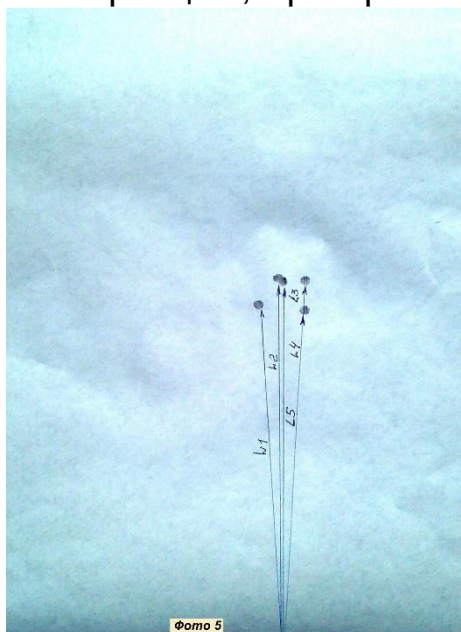
Розбіжність величин $K1$ і $K2$ незначна – досліди проведені вдало.

Лабораторний практикум учнями (студентами) слід проводити при інших значеннях Н і результативних значеннях $L_{\text{сер.}}$, а початкова швидкість розрахована по формулі повинна бути така ж як в приведеному вище прикладі, якщо виконувати лабораторний практикум на цьому ж пристрої.

Початкова швидкість кульки залежить від конструкції пристрою, тобто залежить від довжини «трубки-жолоба» – від шляху скочування кульки.

В принципі водопровідну трубу можливо поставити і похило, а не вертикально, але при цьому габарити пристрою будуть значно більшими. Варіанти отримання міток для першого варіанту показані на **фото 5** – при $L_1 = 545$ мм, $L_2 = 557$ мм, $L_3 = 555$ мм, $L_4 = 545$ мм, $L_5 = 555$ мм, $L_{\text{сер.}} = 551,4$ мм. Копіювальний папір забирається після п'яти дослідів – позначки L – умовні.

В принципі, пристрій можливо в домашніх умовах не зачіплювати на решітку (проте на решітці легко змінювати висоту H), а закріпити в лещатах на певній висоті, як це показано на **фото 2**, **фото 3** і **фото 4**.



Важливо щоб у всіх дослідах пристрій був у нерухомому стані, при цьому кулька буде «приземляється» - «кучно» при повторенні дослідів. Як видно на **фото 5** кулька два рази майже попала в одне й те саме місце.

Внутрішній діаметр труби 24 мм, а діаметр металевої кульки 16 мм, в зв'язку з чим горизонтальну частину труби бажано трохи стиснути, щоб вона мала вихідний отвір у вигляді вертикального еліпса – це покращить «кучність» при проведенні дослідів.

Приклад міток при «приземленні» кульок по I варіанту показано на **фото 5**.

При повторенні виготовлення пристрою початкова швидкість може бути іншою, проте при різних значеннях H , при дослідах вона має бути сталою величиною для виготовленого пристрою, якщо початкове місце руху кульки однакове у всіх дослідах.

Виконати фізичний практикум: «Визначення руху тіла кинутого горизонтально» в домашніх умовах цілком реально.

Автор: Бабин Дмитро Святославович

