



С. Д. Гапоченко, О. А. Любченко

Методичні вказівки

до виконання індивідуального домашнього завдання

з елементами гейміфікації

«ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД

КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ»

з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

С. Д. Гапochenко, О. А. Любченко

**Методичні вказівки до виконання
індивідуального домашнього завдання з елементами гейміфікації
«Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до
горизонту»
з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей**

Затверджено
Редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 24 жовтня 2024 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

УДК 531.1

Г 19

Рецензенти:

С. В. Малихін, завідувач кафедри фізики металів та напівпровідників
Національного технічного університету «ХПІ», доктор фіз.-мат. наук, професор

К. О. Мінакова, професорка кафедри мікро- та наноелектроніки
Національного технічного університету «ХПІ», кандидатка фіз.-мат. наук,
доцентка

Гапochenко С. Д., Любченко О. А.

Г 19 Методичні вказівки до виконання індивідуального домашнього завдання з елементами гейміфікації «Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту» з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей / С. Д. Гапochenко, О. А. Любченко – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 46 с.

В методичних вказівках наведена розробка і приклад виконання індивідуального домашнього завдання «Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту» з елементами гейміфікації. Розробка сприяє індивідуалізації навчання та формуванню і розвитку навичок студентів до самостійної роботи, активізує їхню навчально-пізнавальну діяльність.

Призначено для студентів усіх спеціальностей.

Іл. 18. Табл. 12. Бібліогр. 6 назв.

УДК 531.1

© С. Д. Гапochenко, О. А. Любченко, 2024

ВСТУП

Фізика – наука, яка вивчає найпростіші й разом з тим найбільш загальні закономірності природних явищ, властивості та будову матерії та закони її руху. Будь-яка технічна дисципліна у своїй основі має певні закони фізики. Тому курс фізики є однією з базових дисциплін фундаментальної підготовки майбутніх інженерів.

Сучасний етап розвитку науки та техніки характеризується вибуховим зростанням кількості спеціальної науково-технічної літератури, складного дослідницького інструментарію, відмиранням чи трансформацією чинних спеціальностей і виникненням нових спеціальностей. Все це зумовлює необхідність адаптації системи інженерної освіти до потреб сьогодення, розробки більш гнучких методів навчання. До навчального процесу необхідно залучати методи, які б сприяли формуванню у студентів навичок до самостійного мислення, здатності до формулювання і розв'язання складних задач.

Зазначимо також, скорочення кількості навчальних годин на вивчення предметів загального циклу, що значно зменшує їхній навчально-пізнавальний потенціал.

З огляду на це актуальним і перспективним є залучення симуляторів для дослідження основних закономірностей фізичних явищ і процесів, тобто використання гейміфікації на заняттях з фізики, що сприяє вирішенню задачі розвитку навичок самостійної роботи студентів, активізації їхньої навчально-пізнавальної діяльності.

Нами були розроблені індивідуальні домашні завдання для самостійної роботи студентів на базі симулятора PHET Interactive simulations, створеного колективом Колорадського Університету в Боулдері (University of Colorado at Boulder). У даному виданні наведена розробка індивідуального домашнього завдання за темою «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту», яке передбачає широкі можливості для самостійної роботи студента під керівництвом викладача.

1. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

«ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ»

(Приклад)

Посилання на симуляцію:

<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/projectile-motion>

МЕТА: дослідження закономірностей руху тіл, кинутих під кутом до горизонту.

ЦІЛІ РОБОТИ:

1. Дослідити за допомогою симулятора вплив на кінематичні характеристики руху тіл: час руху, форму траєкторії, дальність льоту, максимальну висоту підйому тіла

а) маси і діаметра тіл;

б) початкових умов: початкової швидкості тіла; початкового кута – кута, під яким кидають тіло; початкової висоти – висоти над поверхнею Землі, на якій розташоване досліджуване тіло в момент кидання;

в) сили опору повітря.

2. Дослідити, як змінюються

а) швидкість руху та її складові;

б) прискорення та його складові

тіла під час падіння.

1.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Тіло кинули під кутом α до горизонту із швидкістю v_0 з висоти h_0 (рисунок 1.1). Визначити **час руху, дальність льоту, максимальну висоту підйому, абсцису точки максимального підйому, рівняння траєкторії, швидкість тіла в момент падіння,**

Аналіз



Вважаємо тіло за матеріальну точку. У даному випадку траєкторія тіла – крива лінія, усі точки якої знаходяться в одній площині, що перпендикулярна до поверхні Землі, тобто рух тіла плоский (див. рис. 1.1).

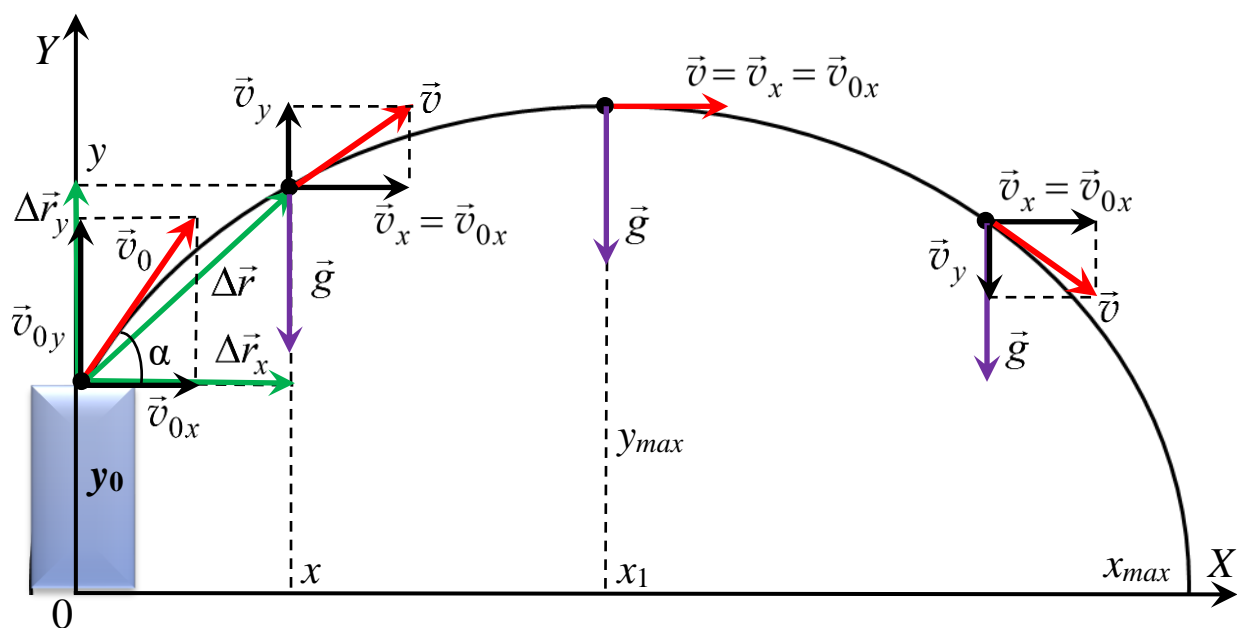


Рисунок 1.1

Пов'яжемо систему відліку із Землею. Направимо вісь OX уздовж поверхні Землі, а вісь OY – перпендикулярно до поверхні Землі вгору.

За *принципом незалежності рухів*, будь-який складний рух можна надати у вигляді суперпозиції (накладання) простих рухів. Застосуємо цей принцип у випадку, що розглядається.

У будь-який момент руху t швидкість \vec{v} тіла можна надати у вигляді

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y, \quad (1.1)$$

де \vec{v}_x – складова швидкості вздовж осі OX ; \vec{v}_y – складова швидкості вздовж осі OY .

Якщо знехтувати силою опору повітря, тоді тіло не матиме прискорення вздовж осі OX , тобто рух тіла буде *рівномірним прямолінійним рухом* із швидкістю

$$\vec{v}_x = \vec{v}_{0x} = \text{const}, \quad (1.2)$$

де \vec{v}_{0x} – початкова швидкість тіла вздовж осі OX .

Напишемо вираз (1.2) у проєкціях на вісь OX (див. рис. 1.1)

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad (1.3)$$

де v_{0x} – проєкція початкової швидкості на вісь OX ; v_0 – модуль початкової швидкості; α – кут між \vec{v}_0 і віссю OX (горизонтом).

Уздовж осі OY тіло рухається під дією сили тяжіння із прискоренням вільного падіння \vec{g} , напрямленим вертикально вниз. Зазначимо, що спочатку тіло рухається вгору рівносповільнено, а потім вниз рівноприскорено. Отже рух тіла *вздовж осі OY буде рівнозмінним прямолінійним рухом із швидкістю*

$$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g}t, \quad (1.4)$$

де \vec{v}_{0y} – початкова швидкість уздовж осі OY ; t – час.

Напишемо вираз (1.4) у проєкціях на вісь OY

$$v_y = v_{0y} + g_y t. \quad (1.5)$$

Із рис. 1.1

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \quad (1.6)$$

тоді

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \quad (1.7)$$

Таким чином, за відсутності опору повітря рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, можна надати як суперпозицію (накладання) двох незалежних рухів: *рівномірного прямолінійного руху вздовж осі OX із швидкістю \vec{v}_x та рівнозмінного прямолінійного руху вздовж осі OY із швидкістю \vec{v}_y і прискоренням вільного падіння \vec{g} .*



Примітка: Прискорення вільного падіння \vec{g} залежить від широти місцевості і висоти над рівнем моря.

Враховавши вирази (1.3) і (1.7), напишемо модуль v швидкості в момент часу t

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha - gt)^2}. \quad (1.8)$$

Переміщення тіла в момент часу t

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_x + \Delta \vec{r}_y, \quad (1.9)$$

де $\Delta \vec{r}_x$ – переміщення тіла вздовж осі OX ; $\Delta \vec{r}_y$ – переміщення тіла вздовж осі OY .

Переміщення вздовж осі OX за час t від початку руху

$$\Delta \vec{r}_x = \vec{v}_{0x} t. \quad (1.10)$$

Напишемо співвідношення (1.10) у проєкціях на вісь OX , враховавши (1.3)

$$\Delta r_x = v_{0x}t = v_0 t \cos \alpha . \quad (1.11)$$

Проекція

$$\Delta r_x = x - x_0 , \quad (1.12)$$

де x_0 – початкова координата тіла; x – координата тіла в момент часу t .

Оскільки $x_0 = 0$, тоді із (1.11) і (1.12) **координата тіла на осі OX** в момент часу t

$$x = v_0 t \cos \alpha . \quad (1.13)$$

Переміщення тіла вздовж осі OY

$$\Delta \vec{r}_y = \vec{v}_{0y}t + \frac{\vec{g}t^2}{2} . \quad (1.14)$$

Напишемо вираз (1.14) у проєкціях на вісь OY , врахувавши (1.6)

$$\Delta r_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} . \quad (1.15)$$

Проекція

$$\Delta r_y = y - y_0 , \quad (1.16)$$

де y_0 – початкова координата тіла; y – координата тіла на осі OY в момент часу t .

Із (1.15) і (1.16) **координата тіла на осі OY** в момент часу t

$$y = y_0 + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} . \quad (1.17)$$

Із (1.13) і (1.17) отримаємо **рівняння траєкторії тіла**

$$y = y_0 + x \frac{v_0 \sin \alpha}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 = y_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 ,$$

$$\boxed{y = y_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}} . \quad (1.18)$$

Траєкторія тіла – перевернута парабола, вершина якої зміщена відносно початку осі координат OX . Далі ми визначимо координати x_1 і y_{\max} вершини параболи – максимальної точки підйому тіла (див. рис. 1.1).

Час руху t_p тіла визначимо із умови, що в момент падіння тіла, $y = 0$. Тоді із (1.17)

$$\frac{gt_p^2}{2} - v_0 t_p \sin \alpha - y_0 = 0 . \quad (1.19)$$

Звідси

$$t_{p(1-2)} = \frac{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0}}{g}. \quad (1.20)$$

Оскільки час – величина додатна, то

$$\boxed{t_p = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0}}{g}}. \quad (1.21)$$

Далекість льоту тіла визначимо із (1.13) і (1.21)

$$L = x_{max} = v_0 t_p \cos \alpha = \frac{v_0 \cos \alpha \left(v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g},$$

$$\boxed{L = x_{max} = \frac{v_0 \cos \alpha \left(v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g}}. \quad (1.22)$$

Час t_1 руху тіла вгору визначимо із умови

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0, \quad (1.23)$$

звідси

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (1.24)$$

Висоту підйому $h = y_{max}$ (y-координату вершини параболи) визначимо із (1.17), враховуючи (1.24)

$$h = y_{max} = y_0 + v_0 t_1 \sin \alpha - \frac{gt_1^2}{2} = y_0 + \frac{v_0 v_0 \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{g} - \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g} = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g},$$

$$\boxed{h = y_{max} = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}}. \quad (1.25)$$

Координату x_1 тіла на осі OX в точці максимального підйому (абсцису точки максимального підйому – x-координату вершини параболи) визначимо із (1.13) і (1.24)

$$x_1 = v_0 t_1 \cos\alpha = \frac{v_0 v_0 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g},$$

$$\boxed{x_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}}. \quad (1.26)$$

Швидкість тіла в момент падіння визначимо із (1.8) і (1.21)

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + (v_0 \sin\alpha - gt_p)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + \left(v_0 \sin\alpha - g \frac{\left(v_0 \sin\alpha + \sqrt{(v_0 \sin\alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g} \right)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + \left(v_0 \sin\alpha - v_0 \sin\alpha + \sqrt{(v_0 \sin\alpha)^2 + 2gy_0} \right)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + (v_0 \sin\alpha)^2 + 2gy_0} = \sqrt{v_0^2 + 2gy_0} \end{aligned}$$

$$\boxed{v = \sqrt{v_0^2 + 2gy_0}}. \quad (1.27)$$

1.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 1

активувати віконце ЛАБОРАТОРІЯ (рисунок 1.2)

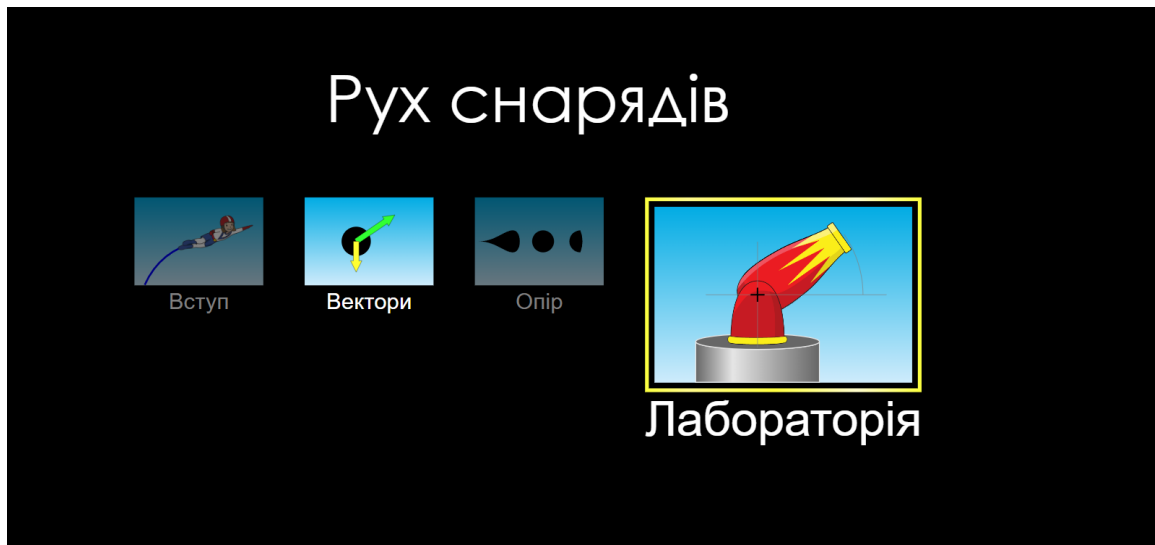


Рисунок 1.2



Примітка: на рисунку 1.3 показано призначення кнопок на екрані симулятора.



Примітка: Розміри активного поля можна змінювати кнопками + і – (зліва вгорі).

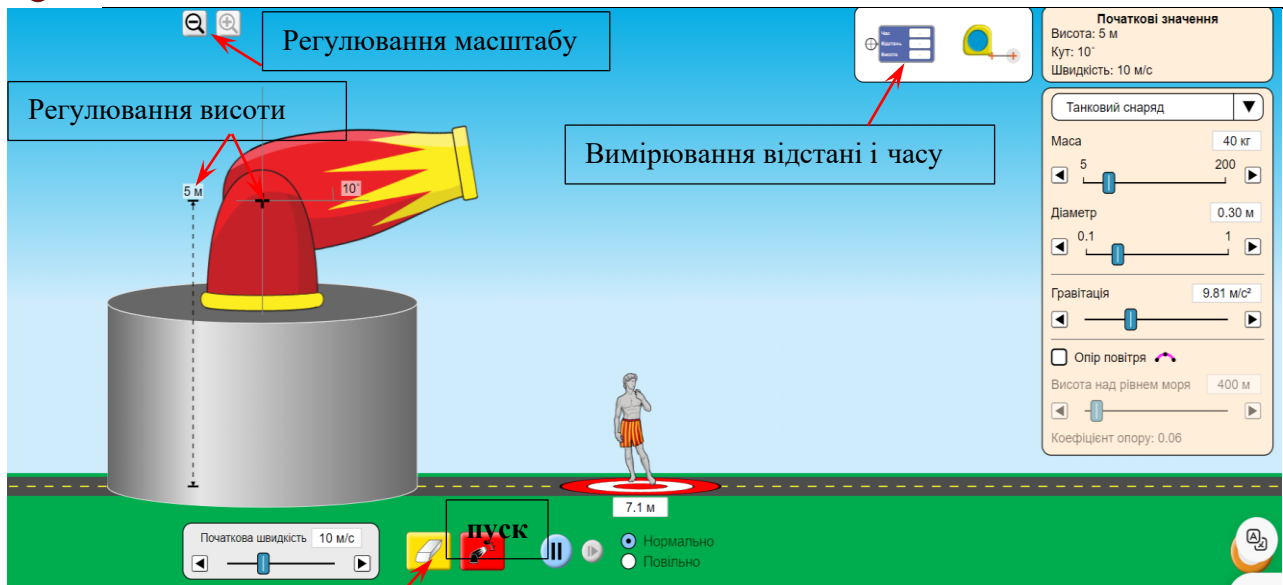


Рисунок 1.3

Видалення траєкторії

1.2.1. Переміщуючи знак + на гарматі виставити **початкову висоту h_0** , задану викладачем. Наприклад, **Початкова висота 5 м**.

1.2.2. Виставити **початкову швидкість v_0** , задану викладачем. Наприклад, **Початкова швидкість 10 м/с**.

1.2.3. Переміщуючи стовбур гармати виставити **початковий кут φ_0 вильоту тіла**, заданий викладачем. Наприклад, $\varphi_0 = 10^\circ$.

1.2.4. На панелі справа вгорі вибрати тіло, задане викладачем. Наприклад, **Танковий снаряд**.

1.2.5. Виставити **масу і діаметр тіла**, задані викладачем. Наприклад, $m = 40$ кг; $d = 0,3$ м. Написати масу і діаметр тіла до таблиці 1.1.

1.2.6. Повзунком «Гравітація» виставити прискорення вільного падіння, задане викладачем. Наприклад, $g = 9,81$ м/с².

1.2.7. Виставити силу опору повітря – **відсутня** (зняти галочку у віконці «Опір повітря»).

1.2.8. Вистрілити з гармати, натиснувши відповідну кнопку (червона кнопка з гарматою внизу). Зачепивши мишею синій прямокутник «Відстань, Час, Висота» перемістити в точку падіння так, щоб значок + збігався з точкою

падіння. Визначити **далекість льоту** і **час падіння** тіла. Написати дані до табл. 1.1.



Примітка: траєкторія тіла видаляється за допомогою кнопки «гумка».

1.2.9. Увімкнути силу опору повітря.

1.2.10. Повзунком виставити висоту над рівнем моря, задану викладачем.

Наприклад, **400 м**.



Примітка: сила опору повітря залежить від висоти над рівнем моря.

Задаючи висоту над рівнем моря, ми задаємо величину сили опору повітря.

1.2.11. Повторити п. 1.2.8. Результати написати до табл. 1.1.

1.2.12. Залишаючи незмінними діаметр d тіла, початкову висоту h_0 , початковий кут вильоту φ_0 , початкову швидкість v_0 , прискорення вільного падіння g , **змінювати масу m тіла** (взяти 4 ÷ 5 значень у доступному діапазоні мас). Для кожного значення маси тіла повторити **пп. 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.10, 1.2.11**. Результати написати до табл. 1.1. Зробити скріншоти траєкторій для тіла однієї маси (із заданих мас) за відсутності та за наявності сили опору повітря (рисунки 1.4, 1.5).

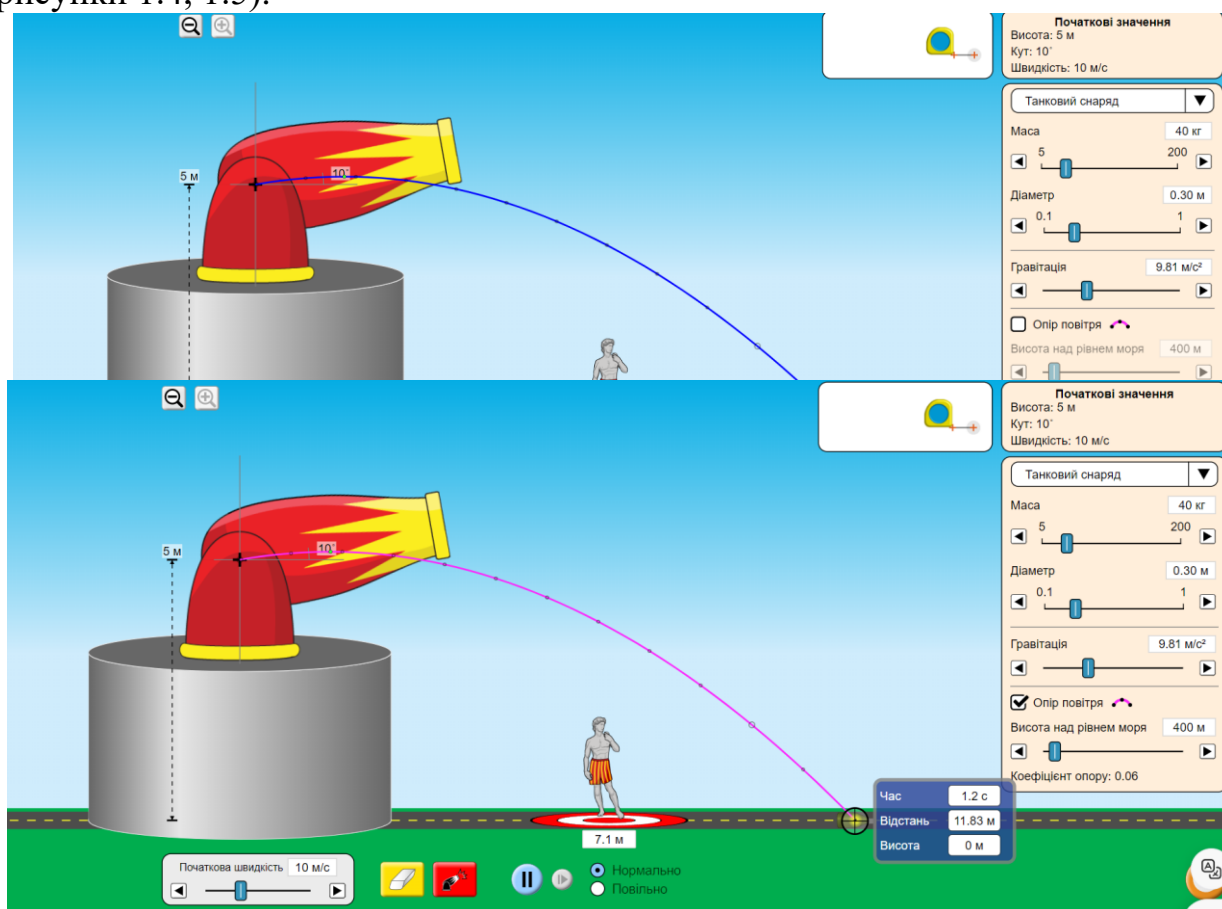


Рисунок 1.5

1.2.13. Проаналізувати отримані результати: як впливає *маса тіла* на його далекість льоту і час руху а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати і зробити висновок.

1.2.14. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 1.2.

1.2.15. Залишаючи незмінними масу тіла, початкову висоту, початкову швидкість, початковий кут вильоту, прискорення вільного падіння, **змінювати діаметр d тіла** (взяти 4 ÷ 5 значень в доступному діапазоні діаметрів). Для кожного значення діаметра тіла повторити пп. 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.10, 1.2.11. Результати написати до табл. 1.2.

1.2.16. Зробити скріни траєкторій для тіла одного діаметра (із заданих діаметрів) за відсутності та за наявності сили опору повітря (рисунки 1.6, 1.7).

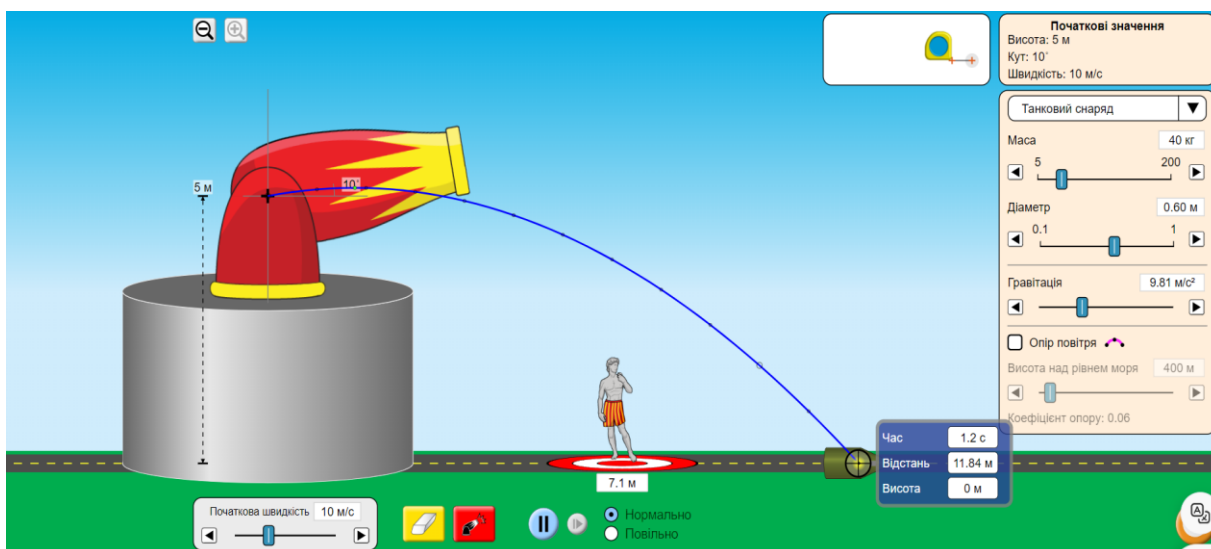


Рисунок 1.6

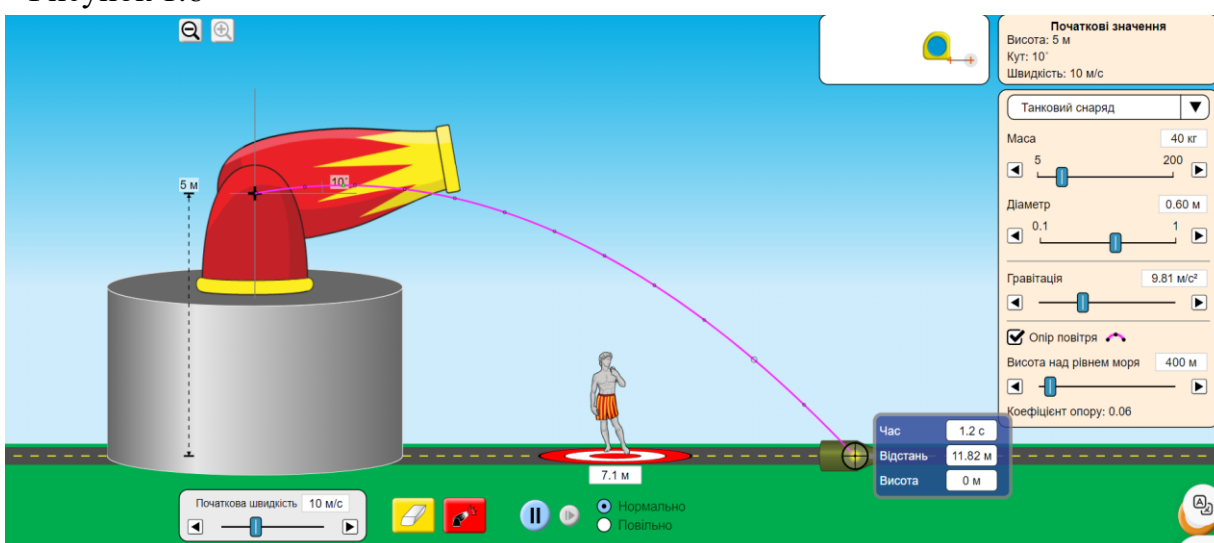


Рисунок 1.7

1.2.17. Проаналізувати отримані результати: як впливає *діаметр тіла* на його далекість льоту і час руху а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати і зробити висновок.

1.2.18. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 1.3.

1.2.19. Залишаючи незмінними масу і діаметр тіла, початкову висоту, початковий кут вильоту, прискорення вільного падіння, **змінювати початкову швидкість v_0** із кроком 5 м/с (4 ÷ 5 значень). Для кожного значення початкової швидкості тіла повторити **пп. 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.10, 1.2.11**. Для кожного значення початкової швидкості тіла виміряти також максимальну висоту підйому h_{max} і абсцису x_1 максимальної точки підйому (відстань уздовж осі Ox від точки вильоту тіла до точки максимального підйому).



Примітка: Висота підйому і абсциса максимуму траєкторії (відстань уздовж осі Ox від точки вильоту до максимальної точки підйому) вимірюються за допомогою прямокутника «Відстань, Час, Висота».

Звернути увагу на те, що висота вимірюється відносно Землі.

Результати написати до табл. 1.3.

1.2.20. Зробити скріншоти траєкторій для тіла, що має будь-яку швидкість із заданих, за відсутності та за наявності сили опору повітря (рисунки 1.8, 1.9).

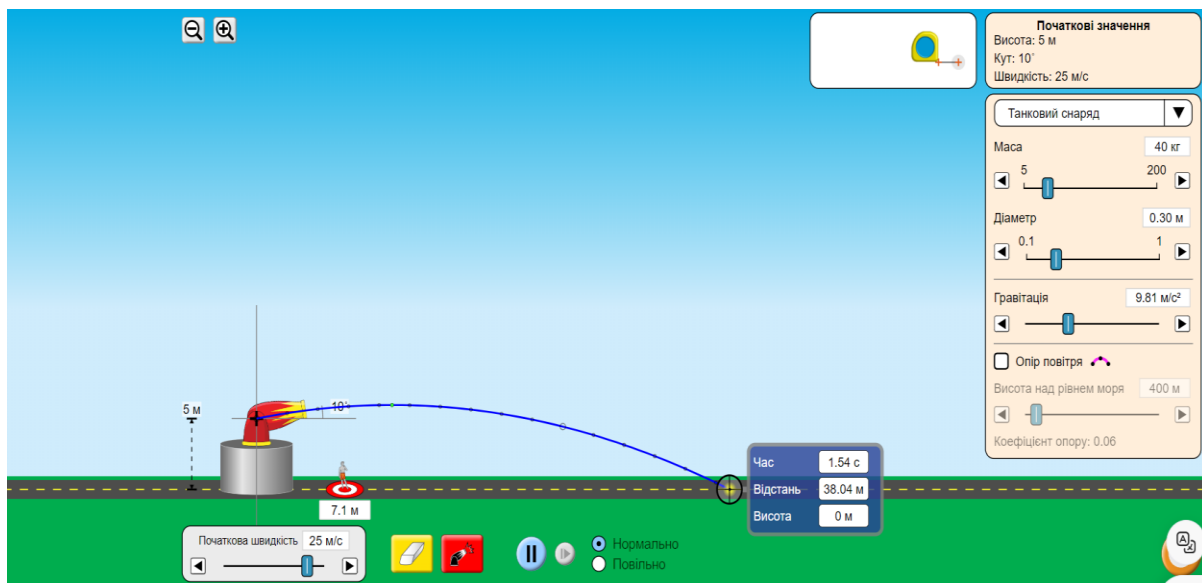


Рисунок 1.8

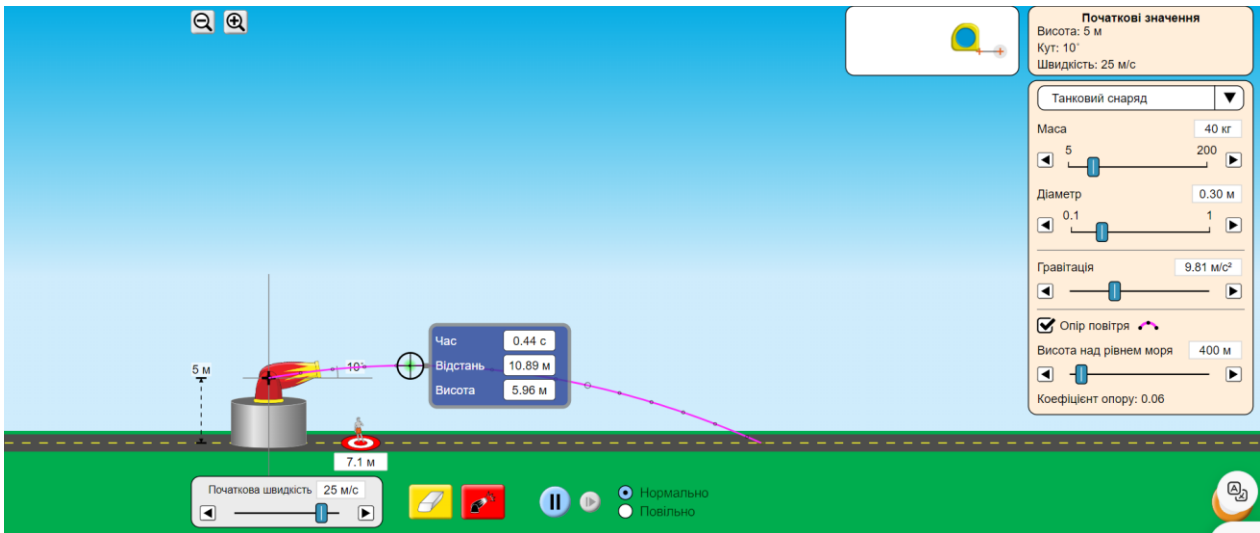


Рисунок 1.9

1.2.21. Проаналізувати отримані результати: як впливає *початкова швидкість* тіла на його далькість льоту, час руху, максимальну висоту підйому і абсцису точки максимального підйому а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати. Зробити висновок.

1.2.22. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 1.4.

1.2.23. Залишаючи незмінними масу і діаметр тіла, початкову висоту, початкову швидкість, прискорення вільного падіння, **змінювати початковий кут φ** із кроком 10° (5 значень). Для кожного значення початкового кута вильоту тіла повторити **пп. 1.2.7, 1.2.8, 1.2.9, 1.2.10, 1.2.11**. Виміряти також максимальну висоту підйому h_{max} і абсцису x_1 максимуму траєкторії (відстань від точки вильоту тіла до точки максимального підйому вздовж осі Ox).

Результати написати до табл. 1.4.

1.2.24. Зробити скрінні траєкторій для тіла, що кинуте під будь-яким початковим кутом вильоту із заданих, за відсутності та за наявності сили опору повітря (рисунок 1.10, 1.11).

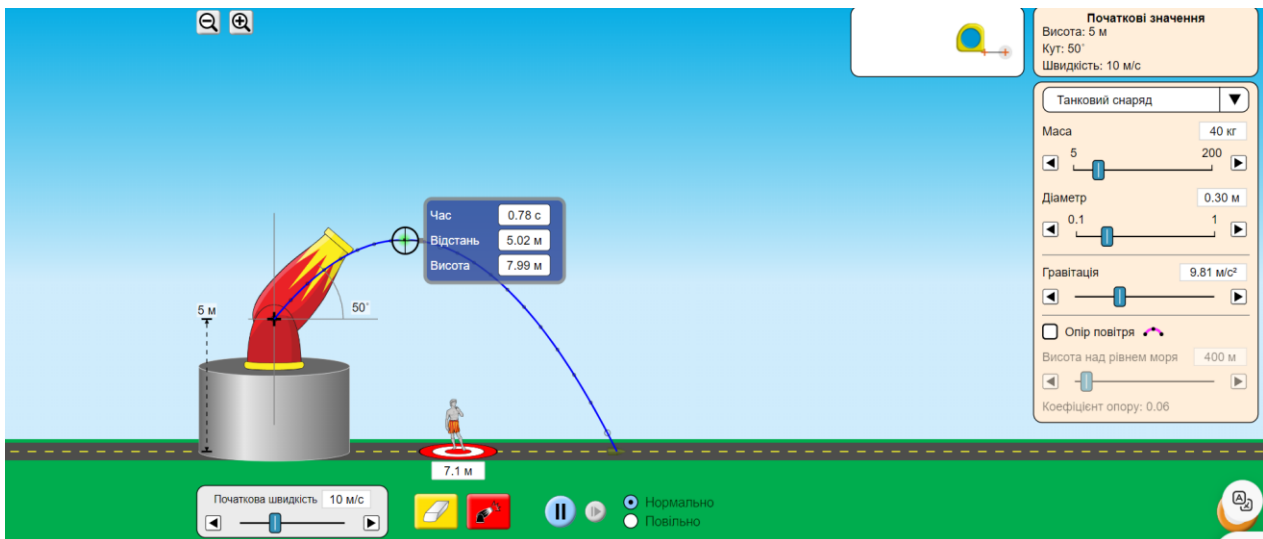


Рисунок 1.10

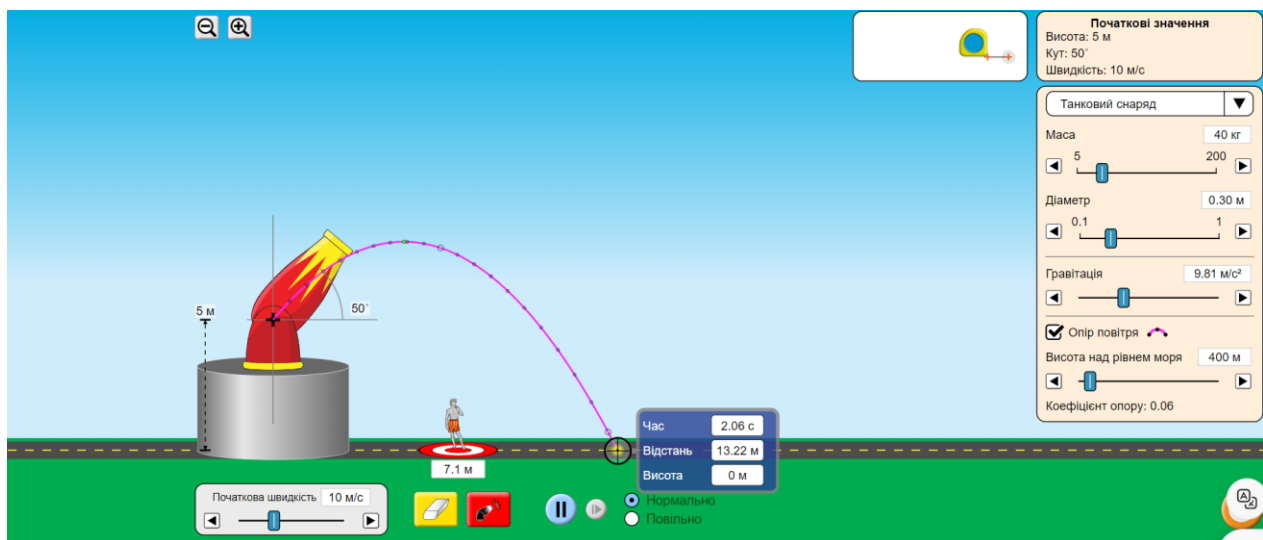


Рисунок 1.11

1.2.25. Проаналізувати отримані результати: як впливає *початковий кут* вильоту тіла на його *далекість льоту*, *час руху*, *максимальну висоту підйому* і *абсцису x_1 максимальної точки траєкторії* а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати. Зробити висновок.

1.2.26. Підсумувати усі результати і зробити **остаточний висновок**: як впливають *маса* і *діаметр* тіла, *початковий кут вильоту* і *початкова швидкість* на *далекість льоту*, *час руху*, *максимальну висоту підйому h_{max}* , *абсцису x_1 максимальної точки траєкторії* а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Чи впливає на перераховані параметри сила опору повітря? Якщо впливає, тоді в чому полягає її вплив?

Таблиця 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початкова швидкість v_0 , м/с	Початковий кут, φ°	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Час руху t_p , с	
Танковий снаряд	9,81	40	0,30	5	10	10	немає		11,84	1,2	
							є	400	11,84	1,2	
		60	0,30	5	10	10	10	немає		11,84	1,2
								є	400	11,84	1,2
		80	0,30	5	10	10	10	немає		11,84	1,2
								є	400	11,84	1,2
		100	0,30	5	10	10	10	немає		11,84	1,2
								є	400	11,84	1,2

ВИСНОВОК:

Таблиця 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початкова швидкість v_0 , м/с	Початковий кут, φ°	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Час руху t_p , с
Танковий снаряд	9,81	40	0,30	5	10	10	немає		11,84	1,2
							є	400	11,83	1,2
			0,45	5	10	10	немає		11,84	1,2
							є	400	11,83	1,2
			0,60	5	10	10	немає		11,84	1,2
							є	400	11,83	1,2
			0,75	5	10	10	немає		11,84	1,2
							є	400	11,82	1,2

ВИСНОВОК:

Таблиця 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початковий кут, φ°	Початкова швидкість v_0 , м/с	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Максимальна висота підйому h_{max} , м	Абсциса максимуму траєкторії x_1 , м	Час руху t_p , с	
Танковий снаряд	9,81	40	0,30	5	10	10	немає		11,84	1,74	5,15	1,2	
							є	400	11,83	1,74	5,15	1,2	
							15	немає		19,34	3,92	5,35	1,31
								є	400	19,33	3,92	5,35	1,31
							20	немає		28,05	6,97	5,61	1,42
								є	400	28,02	6,97	5,61	1,42
							25	немає		38,04	10,9	5,96	1,54
								є	400	37,99	10,89	5,96	1,54

ВИСНОВОК:

Таблиця 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Об'єкт	Прискорення вільного падіння, g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початкова швидкість v_0 , м/с	Початковий кут, φ°	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Максимальна висота підйому h , м	Абсциса максимуму траєкторії x_1 , м	Час руху t_p , с
Танковий снаряд	9,81	40	0,30	5	10	10	немає		11,84	5,15	1,74	1,2
							є	400	11,83	5,15	1,74	1,2
						20	немає		13,31	5,6	3,28	1,42
							є	400	13,30	5,6	3,28	1,42
						30	немає		14,21	6,27	4,41	1,64
							є	400	14,2	6,27	4,41	1,64
						40	немає		14,24	7,11	5,02	1,86
							є	400	14,23	7,1	5,02	1,86
						50	немає		13,22	7,99	5,02	2,06
							є	400	13,22	7,99	5,02	2,06

ВИСНОВОК:

1.3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 2

(активувати віконце ВЕКТОРИ)

1.3.1. Для ГАРМАТНОЇ КУЛІ, встановити значення маси і діаметра кулі, початкової швидкості, початкової висоти, початкового кута, що задані викладачем. Написати дані до таблиці 1.5.

1.3.2. Вимкнути опір повітря.

1.3.3. Активувати (поставити галочки) віконця «Результуючий», «Вектор швидкості».

1.3.4. Дослідити і написати до табл. 1.5 (позиції 7 – 11, стовпчик 3), як змінюється під час руху швидкість тіла. Зробити скрін екрану (рисунок 1.12).

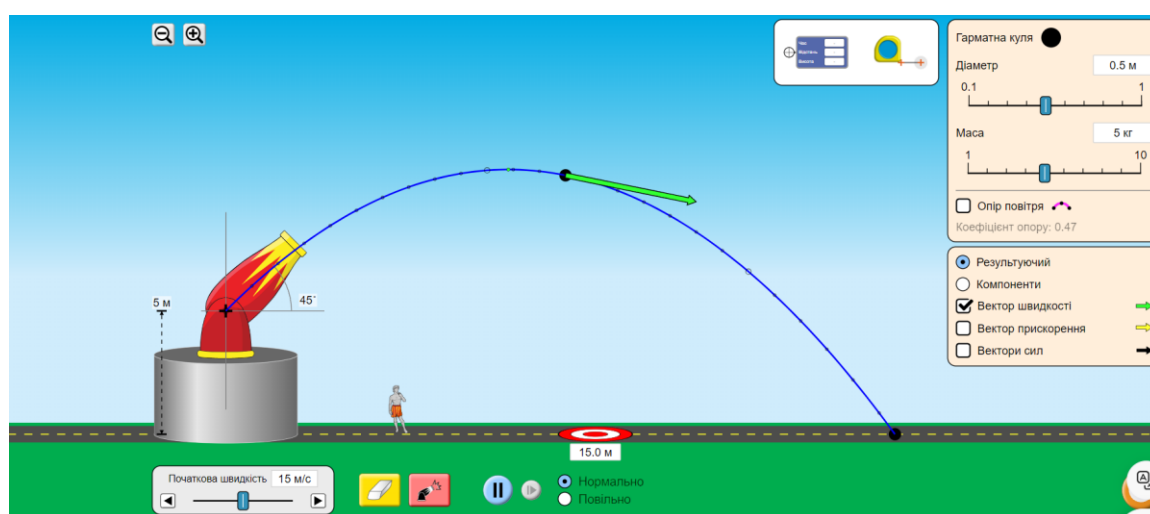


Рисунок 1.12

1.3.5. Активувати (поставити галочки) віконця «Компоненти», «Вектор швидкості».

1.3.6. Дослідити і написати до табл. 1.5 (позиції 12 – 19, стовпчик 3), як змінюються під час руху вертикальна і горизонтальна складові (компоненти) швидкості тіла. Зробити скрін екрану (рисунок 1.13).

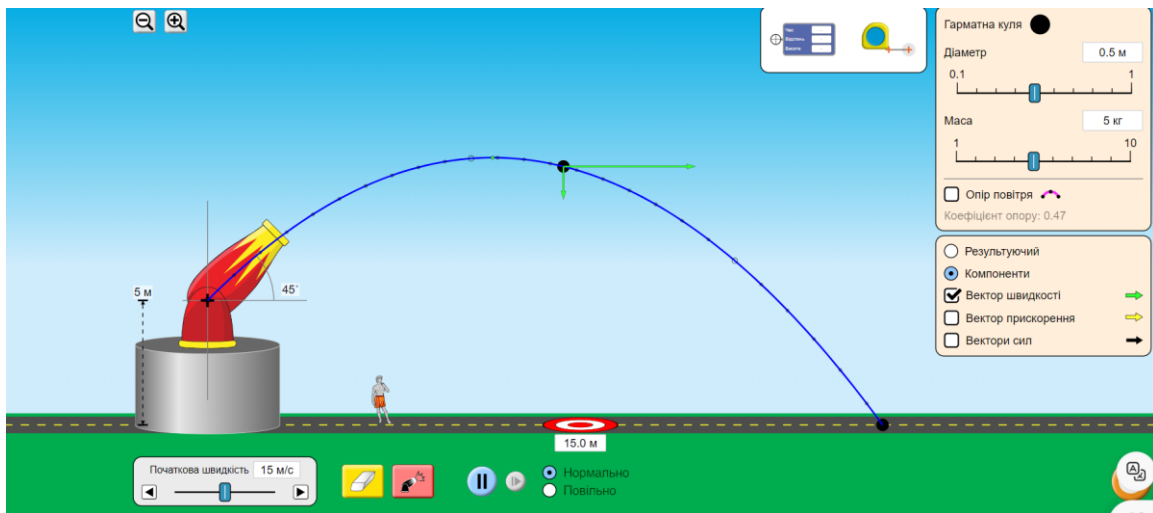


Рисунок 1.13

1.3.7. Увімкнути опір повітря. Повторити пп. 1.3.3, 1.3.4, 1.3.5, 1.3.6.

Результати написати до табл. 1.5 (позиції 7 – 19, стовпчик 4).

1.3.8. Вимкнути опір повітря.

1.3.9. Активувати (поставити галочки) віконця «Результуючий», «Вектор прискорення».

1.3.10. Дослідити і записати до табл. 1.5 (позиції 20 – 23, стовпчик 3), як змінюється під час руху прискорення тіла. Зробити скрін екрану (рисунок 1.14).

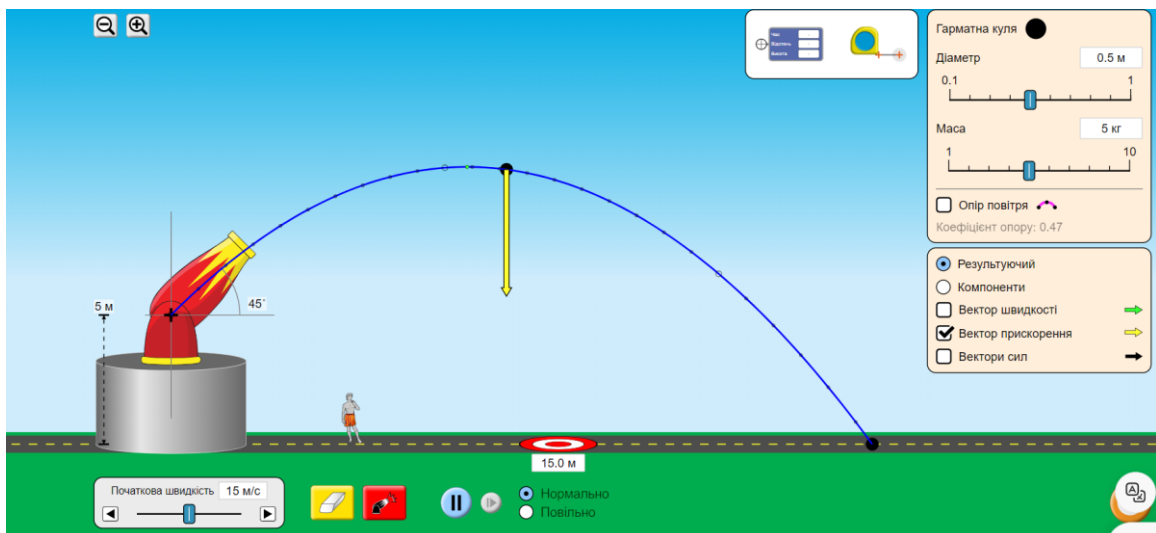


Рисунок 1.14

1.3.11. Активувати (поставити галочки) віконця «Компоненти», «Вектор прискорення».

1.3.12. Дослідити і написати до табл. 1.5 (позиції 24 – 25, стовпчик 3), як змінюються під час руху складові (компоненти) прискорення тіла. Зробити скрін екрану (рисунок 1.15).

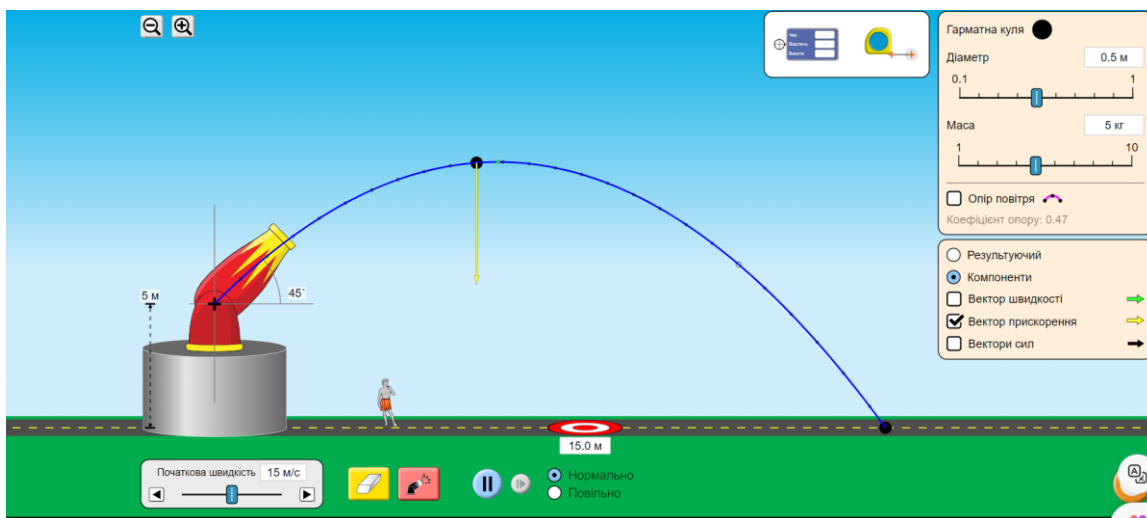


Рисунок 1.15

1.3.13. Увімкнути опір повітря. Повторити пп. 1.3.9, 1.3.10, 1.3.11, 1.3.12.

Результати написати до табл. 1.5 (позиції 20 – 25, стовпчик 4).

Таблиця 1.5

1	2	3	4
№	Сила опору	відсутня	присутня
1	h_0 , м	5	5
2	v_0 , м/с	15	15
3	φ_0 , град	45	45
4	Об'єкт	Гарматна куля	Гарматна куля
5	Діаметр, м	0,5	0,5
6	Маса, кг	5	5
7	Напрямок швидкості \vec{v} до максимуму траєкторії	по дотичній до траєкторії під гострим кутом до осі OX	по дотичній до траєкторії під гострим кутом OX
8	Модуль швидкості v до максимуму траєкторії	зменшується	зменшується
9	Напрямок швидкості \vec{v} в точці максимуму траєкторії	горизонтально	горизонтально
10	Напрямок швидкості \vec{v} після максимуму траєкторії	по дотичній до траєкторії під тупим кутом до осі OX	по дотичній до траєкторії під тупим кутом до осі OX
11	Модуль швидкості v після максимуму траєкторії	зростає	зростає
12	Напрямок складової швидкості вздовж осі OY \vec{v}_y до максимуму траєкторії	вертикально вгору	вертикально вгору

1	2	3	4
13	Модуль складової швидкості вздовж осі OY v_y до максимуму траєкторії	зменшується	зменшується
14	Напрямок складової швидкості вздовж осі OY \vec{v}_y після максимуму траєкторії	вертикально вниз	вертикально вниз
15	Модуль складової швидкості вздовж осі OY v_y після максимуму траєкторії	зростає	зростає
16	Напрямок складової швидкості вздовж осі OX \vec{v}_x до максимуму траєкторії	не змінюється	не змінюється
17	Модуль складової швидкості вздовж осі OX v_x до максимуму траєкторії	не змінюється	зменшується
18	Напрямок складової швидкості вздовж осі OX \vec{v}_x після максимуму траєкторії	не змінюється	не змінюється
19	Модуль складової швидкості вздовж осі OX v_x після максимуму траєкторії	не змінюється	зменшується
20	Напрямок прискорення \vec{a} до максимуму траєкторії	$\vec{a} = \vec{g}$ – вертикально вниз	під кутом до напрямку прискорення вільного падіння \vec{g} в напрямку точки вильоту
21	Напрямок прискорення \vec{a} після максимуму траєкторії	$\vec{a} = \vec{g}$ – вертикально вниз	під кутом до напрямку прискорення вільного падіння \vec{g} в напрямку точки вильоту
22	Модуль прискорення a до максимуму траєкторії	$a = g$ – не змінюється	зменшується
23	Модуль прискорення a після максимуму траєкторії	$a = g$ – не змінюється	зменшується
24	Напрямок складової прискорення вздовж осі OX \vec{a}_x до максимуму	відсутня	в напрямку, протилежному осі OX (в напрямку сили опору повітря)

1	2	3	4
25	Напрямок складової прискорення вздовж горизонтальної осі \vec{a}_x після максимуму траєкторії	відсутня	в напрямку, протилежному осі Ox (в напрямку сили опору повітря)

1.3.14. Проаналізувати дані табл. 1.5: а) як напрямлена швидкість тіла відносно його траєкторії; б) чи змінюється модуль швидкості протягом руху тіла; в) якщо модуль швидкості змінюється, тоді як змінюється; г) чи змінюється напрямок прискорення протягом руху; д) чи змінюється модуль прискорення протягом руху; е) чи впливає сила опору повітря на швидкість і прискорення тіла? Якщо впливає, тоді як впливає?

ВИСНОВОК:

Підсумувавши висновки, зроблені в розділах 1.2 і 1.3, зробити остаточний висновок:

- а) які чинники впливають на характеристики руху тіла, кинутого під кутом до горизонту;
- б) чи можна розглядати горизонтальний і вертикальний рухи незалежними один від іншого?

ВИСНОВОК:

1.4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 3

1.4.1. Взяти із табл. 1.3 надані викладачем значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, а також виміряні значення далькості льоту, максимальної висоти підйому, абсциси максимуму траєкторії і часу руху тіла. Написати дані до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початковий кут, φ°	Початкова швидкість v_0 , м/с	Опір повітря	Далекість льоту L , м симулятор/теорія	Максимальна висота підйому h_{max} , м симулятор/теорія	Абсциса максимуму траєкторії x_1 , м симулятор/теорія	Час руху t_p , с симулятор/теорія
Танковий снаряд	9,81	40	0,30	5	10	10	відсутній	11,84/ 11,84	5,15 / 5,15	1,74/ 1,74	1,2 / 1,2

1.4.2. Розрахувати за даними 1) час руху; 2) далькість льоту; 3) максимальну висоту підйому; 4) абсцису максимуму траєкторії (див. розділ 1.1).

1.4.3. Порівняти отримані результати з даними, отриманими на симуляторі. Зробити висновок.

ВИСНОВОК:

2. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ «ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ»

(Приклад)

Посилання на симуляцію:

<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/projectile-motion>

МЕТА: дослідження закономірностей руху тіл, кинутих під кутом до горизонту.

ЦІЛІ РОБОТИ:

1. Дослідити за допомогою симулятора вплив на кінематичні характеристики руху тіл: час руху, форму траєкторії, далькість льоту, максимальну висоту підйому тіла

а) маси і діаметра тіл;

б) початкових умов: початкової швидкості тіла; початкового кута – кута, під яким кидають тіло; початкової висоти – висоти над поверхнею Землі, на якій розташоване досліджуване тіло в момент кидання;

в) сили опору повітря.

2. Дослідити, як змінюються

а) швидкість руху та її складові;

б) прискорення та його складові

тіла під час падіння.

2.1. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Тіло кинули під кутом α до горизонту із швидкістю v_0 з висоти h_0 (рисунок 2.1). Визначити **час руху, далькість льоту, максимальну висоту підйому, абсцису точки максимального підйому, рівняння траєкторії, швидкість тіла в момент падіння,**

Аналіз



Вважаємо тіло за матеріальну точку. У даному випадку траєкторія тіла – крива лінія, усі точки якої знаходяться в одній площині, що перпендикулярна до поверхні Землі, тобто рух тіла плоский (див. рис. 2.1).

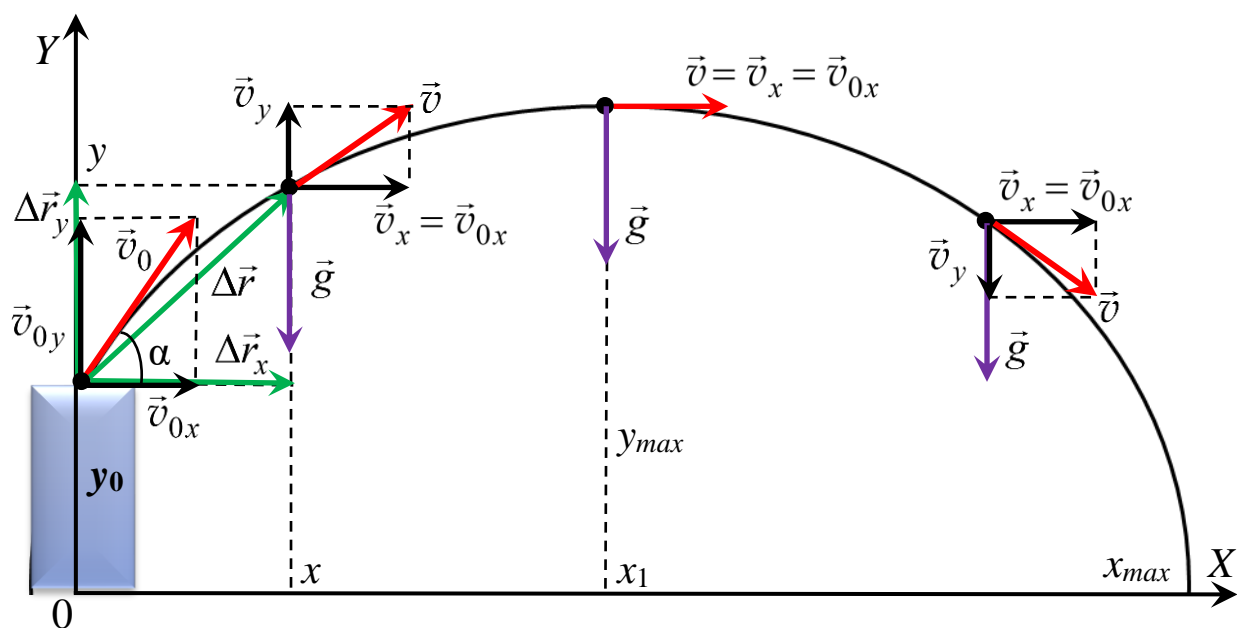


Рисунок 2.1

Пов'яжемо систему відліку із Землею. Направимо вісь OX уздовж поверхні Землі, а вісь OY – перпендикулярно до поверхні Землі вгору.

За *принципом незалежності рухів*, будь-який складний рух можна надати у вигляді суперпозиції (накладання) простих рухів. Застосуємо цей принцип у випадку, що розглядається.

У будь-який момент руху t швидкість \vec{v} тіла можна надати у вигляді

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y, \quad (2.1)$$

де \vec{v}_x – складова швидкості вздовж осі OX ; \vec{v}_y – складова швидкості вздовж осі OY .

Якщо знехтувати силою опору повітря, тоді тіло не матиме прискорення вздовж осі OX , тобто рух тіла буде *рівномірним прямолінійним рухом* із швидкістю

$$\vec{v}_x = \vec{v}_{0x} = \text{const}, \quad (2.2)$$

де \vec{v}_{0x} – початкова швидкість тіла вздовж осі OX .

Напишемо вираз (2.2) у проєкціях на вісь OX (див. рис. 2.1)

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad (2.3)$$

де v_{0x} – проєкція початкової швидкості на вісь OX ; v_0 – модуль початкової швидкості; α – кут між \vec{v}_0 і віссю OX (горизонтом).

Уздовж осі OY тіло рухається під дією сили тяжіння із прискоренням вільного падіння \vec{g} , напрямленим вертикально вниз. Зазначимо, що спочатку тіло рухається вгору рівносповільнено, а потім вниз рівноприскорено. Отже рух тіла *вздовж осі OY буде рівнозмінним прямолінійним рухом із швидкістю*

$$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g}t, \quad (2.4)$$

де \vec{v}_{0y} – початкова швидкість уздовж осі OY ; t – час.

Напишемо вираз (2.4) у проєкціях на вісь OY

$$v_y = v_{0y} + g_y t. \quad (2.5)$$

Із рис. 2.1

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \quad (2.6)$$

тоді

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \quad (2.7)$$

Таким чином, за відсутності опору повітря рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, можна надати як суперпозицію (накладання) двох незалежних рухів: *рівномірного прямолінійного руху вздовж осі OX із швидкістю \vec{v}_x та рівнозмінного прямолінійного руху вздовж осі OY із швидкістю \vec{v}_y і прискоренням вільного падіння \vec{g} .*



Примітка: Прискорення вільного падіння \vec{g} залежить від широти місцевості і висоти над рівнем моря.

Враховавши вирази (2.3) і (2.7), напишемо модуль v швидкості в момент часу t

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha - gt)^2}. \quad (2.8)$$

Переміщення тіла в момент часу t

$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}_x + \Delta \vec{r}_y, \quad (2.9)$$

де $\Delta \vec{r}_x$ – переміщення тіла вздовж осі OX ; $\Delta \vec{r}_y$ – переміщення тіла вздовж осі OY .

Переміщення вздовж осі OX за час t від початку руху

$$\Delta \vec{r}_x = \vec{v}_{0x} t. \quad (2.10)$$

Напишемо співвідношення (2.10) у проєкціях на вісь OX , враховавши (2.3)

$$\Delta r_x = v_{0x}t = v_0 t \cos \alpha . \quad (2.11)$$

Проекція

$$\Delta r_x = x - x_0 , \quad (2.12)$$

де x_0 – початкова координата тіла; x – координата тіла в момент часу t .

Оскільки $x_0 = 0$, тоді із (2.11) і (2.12) **координата тіла на осі OX** в момент часу t

$$x = v_0 t \cos \alpha . \quad (2.13)$$

Переміщення тіла вздовж осі OY

$$\Delta \vec{r}_y = \vec{v}_{0y}t + \frac{\vec{g}t^2}{2} . \quad (2.14)$$

Напишемо вираз (2.14) у проєкціях на вісь OY , врахувавши (2.6)

$$\Delta r_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} . \quad (2.15)$$

Проекція

$$\Delta r_y = y - y_0 , \quad (2.16)$$

де y_0 – початкова координата тіла; y – координата тіла на осі OY в момент часу t .

Із (2.15) і (2.16) **координата тіла на осі OY** в момент часу t

$$y = y_0 + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} . \quad (2.17)$$

Із (2.13) і (2.17) отримаємо **рівняння траєкторії тіла**

$$y = y_0 + x \frac{v_0 \sin \alpha}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 = y_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 ,$$

$$\boxed{y = y_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}} . \quad (2.18)$$

Траєкторія тіла – перевернута парабола, вершина якої зміщена відносно початку осі координат OX . Далі ми визначимо координати x_1 і y_{\max} вершини параболи – максимальної точки підйому тіла (див. рис. 2.1).

Час руху t_p тіла визначимо із умови, що в момент падіння тіла, $y = 0$, тоді із (2.17)

$$\frac{gt_p^2}{2} - v_0 t_p \sin \alpha - y_0 = 0 . \quad (2.19)$$

Звідси

$$t_{p(1-2)} = \frac{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0}}{g}. \quad (2.20)$$

Оскільки час – величина додатна, тоді

$$\boxed{t_p = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0}}{g}}. \quad (2.21)$$

Далекість льоту тіла визначимо із (2.13) і (2.21)

$$L = x_{max} = v_0 t_p \cos \alpha = \frac{v_0 \cos \alpha \left(v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g},$$

$$\boxed{L = x_{max} = \frac{v_0 \cos \alpha \left(v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g}}. \quad (2.22)$$

Час t_1 руху вгору визначимо із умови

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0, \quad (2.23)$$

звідси

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (2.24)$$

Висоту підйому $h = y_{max}$ (у-координату вершини параболи) визначимо із (2.17), враховуючи (2.24)

$$h = y_{max} = y_0 + v_0 t_1 \sin \alpha - \frac{gt_1^2}{2} = y_0 + \frac{v_0 v_0 \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{g} - \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g} = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g},$$

$$\boxed{h = y_{max} = y_0 + \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}}. \quad (2.25)$$

Координату x_1 тіла на осі OX в точці максимального підйому (абсцису точки максимального підйому – х-координату вершини параболи) визначимо із (2.13) і (2.24)

$$x_1 = v_0 t_1 \cos \alpha = \frac{v_0 v_0 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g},$$

$$\boxed{x_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}}. \quad (2.26)$$

Швидкість тіла в момент падіння визначимо із (2.8) і (2.21)

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha - g t_p)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + \left(v_0 \sin \alpha - g \frac{\left(v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)}{g} \right)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + \left(v_0 \sin \alpha - v_0 \sin \alpha + \sqrt{(v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} \right)^2} = \\ &= \sqrt{(v_0 \cos \alpha)^2 + (v_0 \sin \alpha)^2 + 2gy_0} = \sqrt{v_0^2 + 2gy_0} \end{aligned}$$

$$\boxed{v = \sqrt{v_0^2 + 2gy_0}}. \quad (2.27)$$

2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 1

активувати віконце ЛАБОРАТОРІЯ (рисунок 2.2)

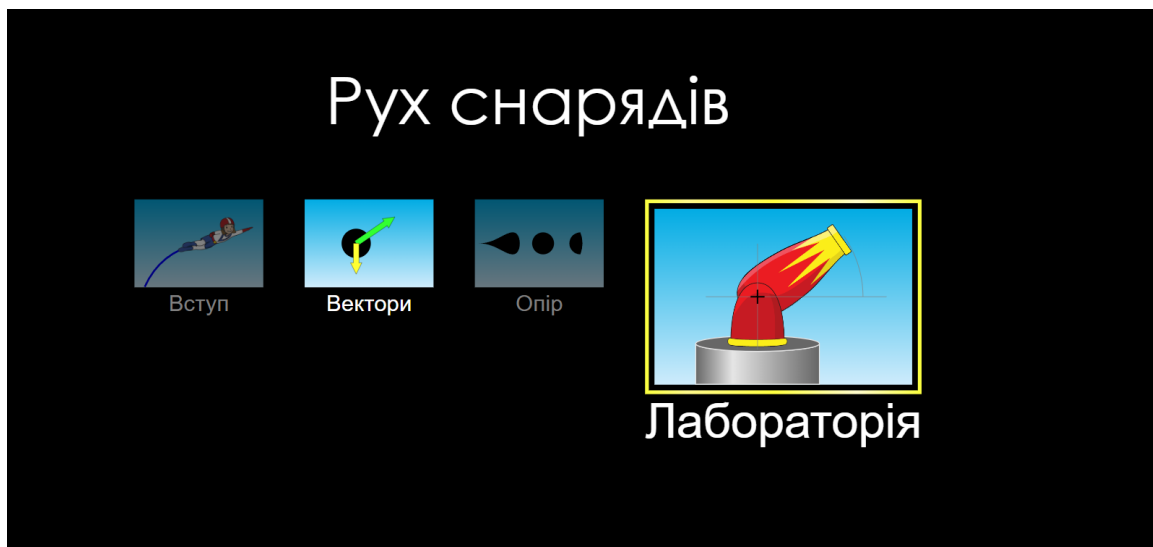


Рисунок 2.2



Примітка: на рисунку 2.3 показано призначення кнопок на екрані симулятора.

Примітка: Розміри активного поля можна змінювати кнопками + і – (зліва вгорі).



Рисунок 2.3

Віддалення траєкторії

2.2.1. Переміщуючи знак + на гарматі виставити **початкову висоту** h_0 , задану викладачем.

2.2.2. Виставити **початкову швидкість** v_0 , задану викладачем.

2.2.3. Переміщуючи стовбур гармати виставити **початковий кут** φ_0 **вильоту тіла**, заданий викладачем.

2.2.4. На панелі справа вгорі вибрати тіло, задане викладачем.

2.2.5. Виставити **масу** і **діаметр** тіла, задані викладачем. Написати масу і діаметр тіла до таблиці 2.1.

2.2.6. Повзунком «Гравітація» виставити прискорення вільного падіння, задане викладачем.

2.2.7. Виставити силу опору повітря – **відсутня** (зняти галочку у віконці «Опір повітря»).

2.2.8. Вистрілити з гармати, натиснувши відповідну кнопку (червона кнопка з гарматою внизу). Зачепивши мишею синій прямокутник «Відстань, Час, Висота» перемістити в точку падіння так, щоб значок + збігався з точкою падіння. Визначити **далекість льоту** і **час падіння** тіла. Написати дані до табл. 2.1.



Примітка: траєкторія тіла видаляється за допомогою кнопки «гумка».

2.2.9. Увімкнути силу опору повітря.

2.2.10. Повзунком виставити висоту над рівнем моря, задану викладачем.



Примітка: сила опору повітря залежить від висоти над рівнем моря. Задаючи висоту над рівнем моря, ми задаємо величину сили опору повітря.

2.2.11. Повторити п. **2.2.8.** Результати написати до табл. 2.1.

2.2.12. Залишаючи незмінними діаметр d тіла, початкову висоту h_0 , початковий кут вильоту φ_0 , початкову швидкість v_0 , прискорення вільного падіння g , **змінювати масу m тіла** (взяти 4 ÷ 5 значень у доступному діапазоні мас). Для кожного значення маси тіла повторити **пп. 2.2.7, 2.2.8, 2.2.9, 2.2.10, 2.2.11.** Результати написати до табл. 2.1. Зробити скріни траєкторій для тіла однієї маси (із заданих мас) за відсутності та за наявності сили опору повітря.

2.2.13. Проаналізувати отримані результати: як впливає *маса тіла* на його далькість льоту і час руху а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати і зробити висновок.

2.2.14. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 2.2.

2.2.15. Залишаючи незмінними масу тіла, початкову висоту, початкову швидкість, початковий кут вильоту, прискорення вільного падіння, **змінювати діаметр d тіла** (взяти 4 ÷ 5 значень в доступному діапазоні діаметрів). Для кожного значення діаметра тіла повторити **пп. 2.2.7, 2.2.8, 2.2.9, 2.2.10, 2.2.11.** Результати написати до табл. 2.2.

2.2.16. Зробити скріни траєкторій для тіла одного діаметра (із заданих діаметрів) за відсутності та за наявності сили опору повітря.

2.2.17. Проаналізувати отримані результати: як впливає *діаметр тіла* на його далькість льоту і час руху а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати і зробити висновок.

2.2.18. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 2.3.

2.2.19. Залишаючи незмінними масу і діаметр тіла, початкову висоту, початковий кут вильоту, прискорення вільного падіння, **змінювати початкову швидкість v_0** із кроком 5 м/с (4 ÷ 5 значень). Для кожного значення початкової швидкості тіла повторити **пп. 2.2.7, 2.2.8, 2.2.9, 2.2.10, 2.2.11.** Для кожного значення початкової швидкості тіла виміряти також максимальну висоту підйому h_{max} і абсцису x_1 максимальної точки підйому (відстань уздовж осі Ox від точки вильоту тіла до точки максимального підйому).



Примітка: Висота підйому і абсциса максимуму траєкторії (відстань уздовж осі OX від точки вильоту до максимальної точки підйому) вимірюються за допомогою прямокутника «Відстань, Час, Висота». Звернути увагу на те, що висота вимірюється відносно Землі.

Результати написати до табл. 2.3.

2.2.20. Зробити скріни траєкторій для тіла, що має будь-яку швидкість із заданих, за відсутності та за наявності сили опору повітря.

2.2.21. Проаналізувати отримані результати: як впливає *початкова швидкість* тіла на його далькість льоту, час руху, максимальну висоту підйому і абсцису точки максимального підйому а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати. Зробити висновок.

2.2.22. Встановити значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, що задані викладачем. Дані написати до таблиці 2.4.

2.2.23. Залишаючи незмінними масу і діаметр тіла, початкову висоту, початкову швидкість, прискорення вільного падіння, **змінювати початковий кут φ** із кроком 10° (5 значень). Для кожного значення початкового кута вильоту тіла повторити **пп. 2.2.7, 2.2.8, 2.2.9, 2.2.10, 2.2.11**. Виміряти також максимальну висоту підйому h_{max} і абсцису x_1 максимуму траєкторії (відстань від точки вильоту тіла до точки максимального підйому вздовж осі OX). Результати написати до табл. 2.4.

2.2.24. Зробити скріни траєкторій для тіла, що кинуте під будь-яким початковим кутом вильоту із заданих, за відсутності та за наявності сили опору повітря.

2.2.25. Проаналізувати отримані результати: як впливає *початковий кут* вильоту тіла на його далькість льоту, час руху, максимальну висоту підйому і абсцису x_1 максимальної точки траєкторії а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Пояснити результати. Зробити висновок.

2.2.26. Підсумувати усі результати і зробити остаточний висновок: як впливають маса і діаметр тіла, початковий кут вильоту і початкова швидкість на далькість льоту, час руху, максимальну висоту підйому h_{max} , абсцису x_1 максимальної точки траєкторії а) без врахування сили опору повітря, б) із врахуванням сили опору повітря. Чи впливає на перераховані параметри сила опору повітря? Якщо впливає, тоді в чому полягає її вплив?

Таблиця 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початкова швидкість v_0 , м/с	Початковий кут, φ°	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Час руху t_p , с

ВИСНОВОК:

Таблиця 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початкова швидкість v_0 , м/с	Початковий кут, φ°	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Час руху t_p , с

ВИСНОВОК:

Таблиця 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початковий кут, φ°	Початкова швидкість v_0 , м/с	Опір повітря	Висота над рівнем моря, м	Далекість льоту L , м	Максимальна висота підйому h_{max} , м	Абсциса максимуму траєкторії x_1 , м	Час руху t_p , с

ВИСНОВОК:

2.3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 2

(активувати віконце ВЕКТОРИ)

2.3.1. Для ГАРМАТНОЇ КУЛІ, встановити значення маси і діаметра кулі, початкової швидкості, початкової висоти, початкового кута, що задані викладачем. Написати дані до таблиці 2.5.

2.3.2. Вимкнути опір повітря.

2.3.3. Активувати (поставити галочки) віконця «Результуючий», «Вектор швидкості».

2.3.4. Дослідити і написати до табл. 2.5 (позиції 7 – 11, стовпчик 3), як змінюється під час руху швидкість тіла. Зробити скрін екрану.

2.3.5. Активувати (поставити галочки) віконця «Компоненти», «Вектор швидкості».

2.3.6. Дослідити і написати до табл. 2.5 (позиції 12 – 19, стовпчик 3), як змінюються під час руху вертикальна і горизонтальна складові (компоненти) швидкості тіла. Зробити скрін екрану.

2.3.7. Увімкнути опір повітря. Повторити пп. 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6. Результати написати до табл. 2.5 (позиції 7 – 19, стовпчик 4).

2.3.8. Вимкнути опір повітря.

2.3.9. Активувати (поставити галочки) віконця «Результуючий», «Вектор прискорення».

2.3.10. Дослідити і записати до табл. 2.5 (позиції 20 – 23, стовпчик 3), як змінюється під час руху прискорення тіла. Зробити скрін екрану.

2.3.11. Активувати (поставити галочки) віконця «Компоненти», «Вектор прискорення».

2.3.12. Дослідити і написати до табл. 2.5 (позиції 24 – 25, стовпчик 3), як змінюються під час руху складові (компоненти) прискорення тіла. Зробити скрін екрану.

2.3.13. Увімкнути опір повітря. Повторити пп. 2.3.9, 2.3.10, 2.3.11, 2.3.12. Результати написати до табл. 2.5 (позиції 20 – 25, стовпчик 4).

Таблиця 2.5

1	2	3	4
№	Сила опору	відсутня	присутня
1	h_0 , м		
2	v_0 , м/с		
3	φ_0 , град		
4	Об'єкт	Гарматна куля	Гарматна куля
5	Діаметр, м		
6	Маса, кг		
7	Напрямок швидкості \vec{v} до максимуму траєкторії		
8	Модуль швидкості v до максимуму траєкторії		
9	Напрямок швидкості \vec{v} в точці максимуму траєкторії		
10	Напрямок швидкості \vec{v} після максимуму траєкторії		
11	Модуль швидкості v після максимуму траєкторії		
12	Напрямок складової швидкості вздовж осі OY \vec{v}_y до максимуму траєкторії		
13	Модуль складової швидкості вздовж осі OY v_y до максимуму траєкторії		
14	Напрямок складової швидкості вздовж осі OY \vec{v}_y після максимуму траєкторії		
15	Модуль складової швидкості вздовж осі OY v_y після максимуму траєкторії		
16	Напрямок складової швидкості вздовж осі Ox \vec{v}_x до максимуму траєкторії		

1	2	3	4
17	Модуль складової швидкості вздовж осі Ox v_x до максимуму траєкторії		
18	Напрямок складової швидкості вздовж осі Ox \vec{v}_x після максимуму траєкторії		
19	Модуль складової швидкості вздовж осі Ox v_x після максимуму траєкторії		
20	Напрямок прискорення \vec{a} до максимуму траєкторії		
21	Напрямок прискорення \vec{a} після максимуму траєкторії		
22	Модуль прискорення a до максимуму траєкторії		
23	Модуль прискорення a після максимуму траєкторії		
24	Напрямок складової прискорення вздовж осі Ox \vec{a}_x до максимуму		
25	Напрямок складової прискорення вздовж горизонтальної осі \vec{a}_x після максимуму траєкторії		

2.3.14. Проаналізувати дані табл. 2.5: а) як напрямлена швидкість тіла відносно його траєкторії; б) чи змінюється модуль швидкості протягом руху тіла; в) якщо модуль швидкості змінюється, тоді як змінюється; г) чи змінюється напрямок прискорення протягом руху; д) чи змінюється модуль прискорення протягом руху; е) чи впливає сила опору повітря на швидкість і прискорення тіла? Якщо впливає, тоді як впливає?

ВИСНОВОК:

Підсумувавши висновки, зроблені в розділах 2.2 і 2.3, зробити остаточний висновок:

а) які чинники впливають на характеристики руху тіла, кинутого під кутом до горизонту;

б) чи можна розглядати горизонтальний і вертикальний рухи незалежними один від іншого?

ВИСНОВОК:

2.4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 3

2.4.1. Взяти із табл. 2.3 надані викладачем значення маси і діаметра тіла, початкової швидкості, початкового кута вильоту, початкової висоти, прискорення вільного падіння, а також виміряні значення далькості льоту, максимальної висоти підйому, абсциси максимуму траєкторії і часу руху тіла. Написати дані до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Об'єкт	Прискорення вільного падіння g , м/с ²	Маса m , кг	Діаметр d , м	Початкова висота h_0 , м	Початковий кут, φ°	Початкова швидкість v_0 , м/с	Опір повітря	Далекість льоту L , м симулятор/теорія	Максимальна висота підйому h_{max} , м симулятор/теорія	Абсциса максимуму траєкторії x_1 , м симулятор/теорія	Час руху t_p , с симулятор/теорія
							відсутній				

2.4.2. Розрахувати за даними 1) час руху; 2) далькість льоту; 3) максимальну висоту підйому; 4) абсцису максимуму траєкторії (див. розділ 2.1).

2.4.3. Порівняти отримані результати з даними, отриманими на симуляторі. Зробити висновок.

ВИСНОВОК:

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гапochenко С.Д. Механіка. Навчально-методичний посібник для самостійної роботи з дисципліни «Фізика» – Харків : ТОВ «В СПРАВИ», 2021. – 116 с. – URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53032>.
2. Фатъянова Н. Б., Шелест Т. М., Галуццак І. В., Меньшов Ю. В. Фізика. Навчально-методичний посібник для дистанційного навчання – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 164 с. – URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/49895>.
3. Скіцько І. Ф., Скіцько О. І. / за заг. ред. Скіцька І. Ф. Фізичний практикум : навч. посібник. – 2-видання перероблене, доповнене – К. : Вид-во «КП ім. Ігоря Сікорського», 2020. – 614 с.
4. Interactive simulations. University of Colirado Boulder. URI: <https://phet.colorado.edu/uk/>

ЗМІСТ		Стор.
ВСТУП.....		3
1 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ «ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ» (Приклад).....		4
1.1. Короткі теоретичні відомості.....		4
1.2. Практична частина 1.....		9
1.3. Практична частина 2.....		20
1.4. Практична частина 3.....		25
2 ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ «ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ»		26
2.1. Короткі теоретичні відомості.....		26
2.2. Практична частина 1.....		31
2.3. Практична частина 2.....		39
2.4. Практична частина 3.....		43
ЛІТЕРАТУРА.....		44

Навчальне видання

ГАПОЧЕНКО Світлана Дмитрівна

ЛЮБЧЕНКО Олена Анатоліївна

Методичні вказівки до виконання
індивідуального домашнього завдання з елементами гейміфікації
«Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту»
з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей

Роботу до видання рекомендувала *Шипкова Ірина Геннадіївна*

В авторській редакції

План 2024 р., поз 897

Підп. до друку: 8.11.2024

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 5,3.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул.Кирпичова, 2.

Електронне видання