

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

А.Г. Четверикова, П.П. Неясов

ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ ЗЕМЛИ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Оренбург
2019

УДК 531.3(о76.5)
ББК 22.21я7
Ч52

Рецензент – доктор физико-математических наук, доцент Т.М. Чмерева

Четверикова, А.Г.

Ч52 Движение твердого тела в поле тяжести земли: методические указания / А.Г. Четверикова, П.П. Неясов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.

Методические указания к лабораторной работе по физике включают в себя описание основных теоретических сведений задачи о движении тела, брошенного под углом к горизонту и закона сохранения энергии.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки».

Авторы выражают благодарность доцентам Ф.А. Казачковой и В.Г. Казачкову, разработавшим экспериментальную часть работы.

УДК 531.3(о76.5)
ББК 22.21я7

© Четверикова А.Г.,
Неясов П.П., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Цель работы	4
1 Теоретическое введение	4
2 Порядок выполнения работы и методика математической обработки результатов	8
3 Дополнительные задания.....	9
4 Контрольные вопросы.....	10
5 Литература, рекомендуемая для изучения	10

Цель работы

1. Изучение законов кинематики поступательного движения.
2. Экспериментальная проверка выполнимости закона сохранения механической энергии тела, брошенного под углом к горизонту.

1 Теоретическое введение

Рассмотрим задачу о движении шарика в наклонном желобе произвольной формы. Поскольку закон изменения составляющей силы тяжести вдоль желоба в данном случае неизвестен, поставленную задачу решим, опираясь на закон сохранения механической энергии.

В данной лабораторной работе рассматривается движение шарика по гладкому желобу, схематично представленному на рисунке 1. Будем считать, что шарик катится без трения и проскальзывания ($F_{mp.} = 0$).

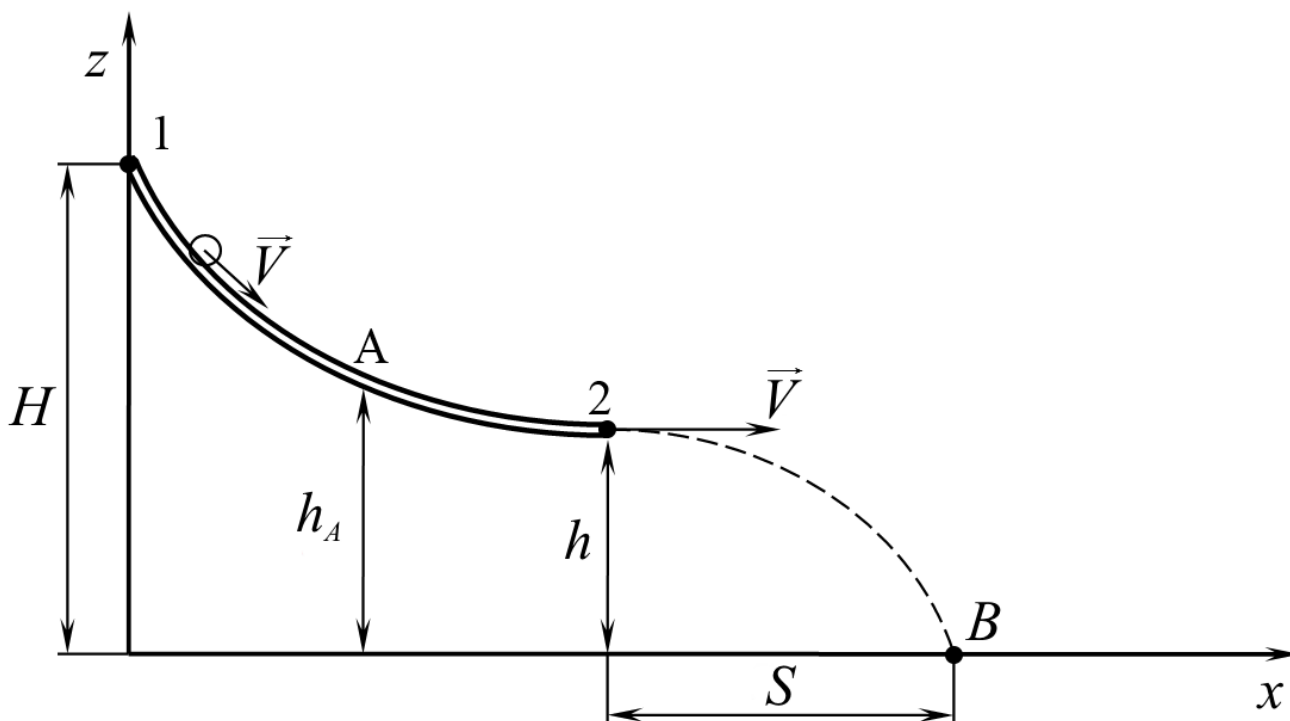


Рисунок 1

На рисунке 1 двойной линией обозначен наклонный желоб, пунктирной –

траектория полета шарика, 1 – начальная точка движения по желобу, 2 – конечная точка движения по желобу, S – дальность полета шарика, H – высота верхней точки желоба, h – высота нижней точки желоба (точки отрыва шарика от желоба), V – скорость поступательного движения любой точки шарика.

Полная энергия катящегося шарика постоянна и складывается из кинетической энергии поступательного движения шарика $E_{\text{пост.}} = \frac{mV^2}{2}$,

кинетической энергии вращательного движения $E_{\text{вр.}} = \frac{I\omega^2}{2}$ и потенциальной энергии гравитационного взаимодействия $E_{\text{гр.}} = mgh_A$. Здесь ω – угловая скорость вращения шарика, I – момент инерции шарика.

Закон сохранения механической энергии для шарика в произвольной точке A наклонного желоба в этом случае принимает вид:

$$E = \frac{mV^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + mgh_A = \text{const.} \quad (1)$$

Для шарика, находящегося в начальной (1) и конечной (2) точках желоба можно записать выражение:

$$mgH = mgh + \frac{mV^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2},$$

из которого следует, что

$$mg(H - h) = \frac{mV^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}. \quad (2)$$

Если шарик скатывается без скольжения, то скорость V_A в точке A (в любой точке соприкосновения шарика и желоба) равна нулю, так как эта скорость складывается из скорости V поступательного перемещения (вниз вдоль желоба) шарика в целом и направленной в обратную сторону (вверх вдоль желоба) линейной скорости вращения шарика $V' = \omega R$ (рисунок 2).

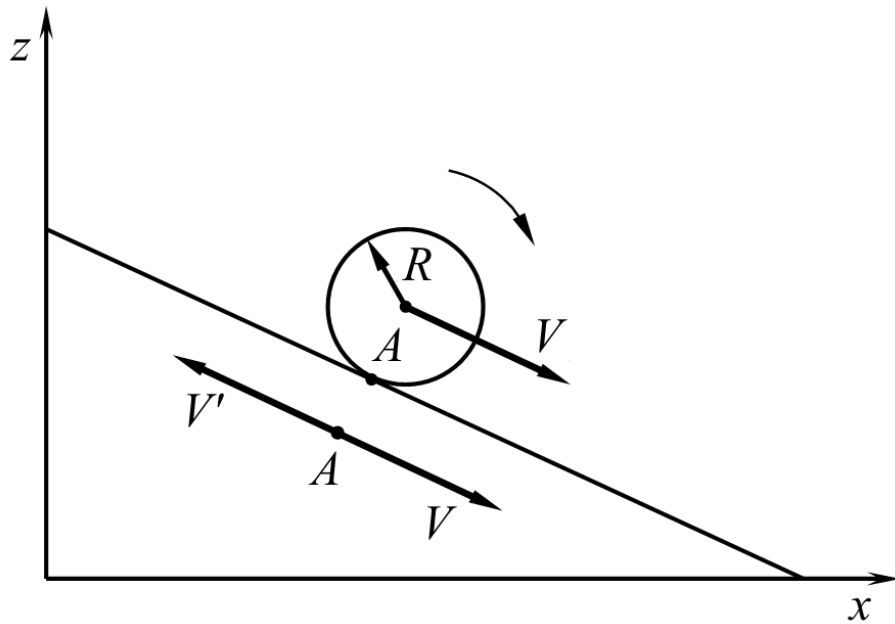


Рисунок 2

Из сказанного ясно, что

$$V_A = V - V' = V - \omega R = 0,$$

следовательно

$$\omega = \frac{V}{R}.$$

Момент инерции I любого шара радиусом R равен:

$$I = \frac{2}{5} m R^2,$$

подставив это выражение в формулу (2), получаем:

$$mg(H - h) = \frac{mV^2}{2} + \frac{2mR^2V^2}{10R^2},$$

$$mg(H - h) = 0,7 \cdot mV^2.$$

Из данной формулы следует, что в момент вылета шарика из желоба скорость его поступательного движения равна

$$V = \sqrt{\frac{g(H - h)}{0,7}}. \quad (3)$$

Дальнейшее изучение движения шарика сводится к задаче движения тела, брошенного под углом к горизонту (рисунок 3).

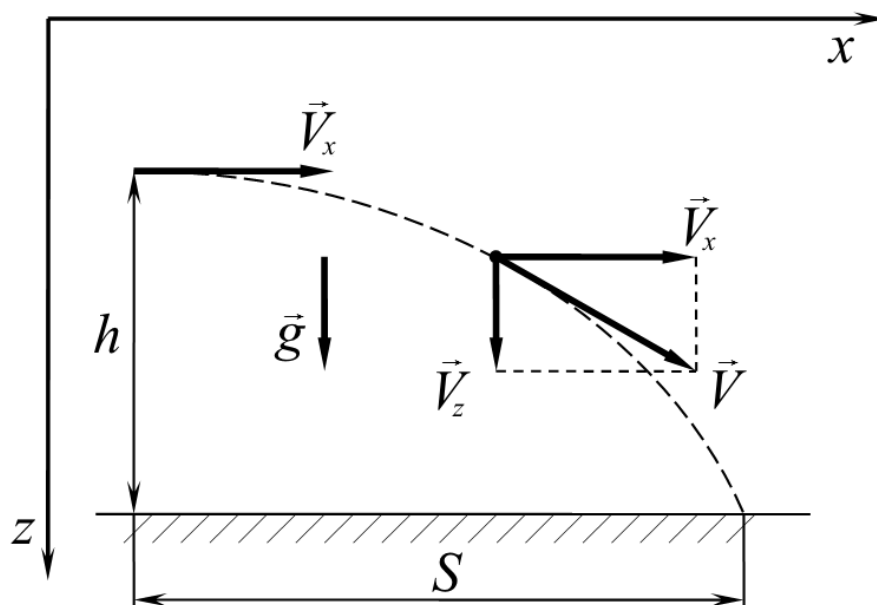


Рисунок 3

Сформулируем условие задачи: шарик брошен с высоты h в горизонтальном направлении, как показано на рисунке 3, со скоростью $V = V_x$. Будем считать, что желоб оканчивается траекторией параллельной поверхности Земли. Необходимо определить дальность полета шарика S .

Горизонтально брошенный шарик, движется под действием силы тяжести с постоянным ускорением $\vec{g}$ по параболе. Такое движение можно разложить на две составляющие: горизонтальное движение с постоянной скоростью V_x и вертикальное ускоренное – со скоростью $V_z = gt$. Используя принцип независимости движения, интегрируя V_z по времени t , получим:

$$h = \frac{gt^2}{2} . \quad (4)$$

Дальность полета шарика определяется выражением:

$$S = V_x t . \quad (5)$$

Выразим время из формулы (4) и подставим его в формулу (5). Получим

$$S = V_x \sqrt{\frac{2h}{g}} .$$

Подставляя в эту формулу значение $V = V_x$ из выражения (3), получим

окончательное выражение для дальности полета шарика

$$S = \sqrt{\frac{2hg(H-h)}{0,7g}},$$

$$S = 1,69 \cdot \sqrt{h(H-h)}. \quad (6)$$

2 Порядок выполнения работы и методика математической обработки результатов

1. Внимательно изучите теоретическую часть работы.

2. Пустите один из шариков по желобу без начальной скорости и измерьте с помощью линейки дальность полета шарика S . Прodelайте данный опыт 10 раз, результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_i, м$										
$(S_i - \bar{S}), м$										
$(S_i - \bar{S})^2, м^2$										

3. Определите среднее значение $\bar{S}$ по формуле

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (7)$$

4. Занесите результаты промежуточных расчётов в таблицу 1, с помощью которых определите среднеквадратичную ошибку прямого измерения по формуле

$$\Delta S' = 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n(n-1)}}.$$

5. Определите абсолютную ошибку ΔS измерения

$$\Delta S = \sqrt{\sigma_{np}^2 + (\Delta S')^2}, \quad (8)$$

приборную ошибку σ_{np} принять равной половине цены деления линейки.

6. Запишите результаты эксперимента в виде доверительного интервала

$$S = \bar{S} \pm \Delta S. \quad (9)$$

7. Рассчитайте дальность полета шарика S по формуле (6):

$$S = 1,69 \cdot \sqrt{h(H-h)}$$

и убедитесь, что это значение входит в доверительный интервал (9).

8. Рассчитайте скорость шарика V в момент его отрыва от желоба по формуле (3)

$$V = \sqrt{\frac{g(H-h)}{0,7}}.$$

9. Рассчитайте относительную ошибку косвенного измерения скорости

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta H}{H-h} + \frac{\Delta h}{H-h} \right),$$

по ней определите абсолютную ошибку ΔV .

10. Запишите результаты определения скорости в виде доверительного интервала

$$V = \bar{V} \pm \Delta V.$$

11. Используя результаты измерений скорости и массы шарика, рассчитайте величину его импульса $\vec{p}$ в точке В (рисунок 1).

12. Повторите этапы 2-11 эксперимента со вторым шариком. Сделайте общий вывод по кинематическим и динамическим характеристикам.

3 Дополнительные задания

Дополнительные задания даются по указанию преподавателя.

1. Выведите формулу для ошибки косвенного измерения S и с помощью нее рассчитайте ошибку. Сравните полученный результат с результатом прямых измерений S . Какой из результатов более точен и почему?

2. Используя результаты измерений, укажите направление импульса $\vec{p}$ шарика в точке B (рисунок 1), сделайте чертеж.

3. Используя результаты измерений, определите среднюю мощность, развиваемую силой тяжести за время полета шарика, и мгновенную мощность этой силы как функцию времени.

4 Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон сохранения механической энергии для движущегося твердого тела.

2. Запишите выражения для кинетической энергии поступательного и вращательного движений твердого тела.

3. Запишите связь между угловой и линейной скоростями.

4. Поясните, в каких двух движениях участвует тело, брошенное под углом к горизонту?

5. Что называется свободным падением?

6. Почему земной шар сообщает всем без исключения телам одинаковое ускорение?

7. Сделайте вывод формул для определения дальности и времени полета тела, брошенного под углом к горизонту.

8. Опыты, выполненные еще в середине XIX, показали, что тело, упавшее без начальной скорости с высоты 100 м, отклоняется к востоку на величину 1,2 см. Почему? *Указание. Необходимо принять во внимание вращение Земли вокруг своей оси.*

5 Литература, рекомендуемая для изучения

1. Механика. Основные законы [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов.- 10-е изд. - М. : Бином, 2009. - 310 с. - (Технический университет. Общая физика). - Прил.: с. 293-303. - Предм. указ.: с. 304-309. - ISBN 978-5-

9963-0063-1

2. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова - М.: Высш. шк., 2001. – 542 с.

3. Движение твердого тела в поле тяжести Земли [Текст] : метод. указания к лаб. работе № 115 / Ф. А. Казачкова, В. Г. Казачков, Е. В. Волков; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. физики. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. - 8 с.

4. Кинематика точки. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B8

5. Кинетическая и потенциальная энергии. – Режим доступа: <https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter1/section/paragraph19/theory.html#.XW4jaC4zaUk>