



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Естественные науки»

## **Учебное пособие**

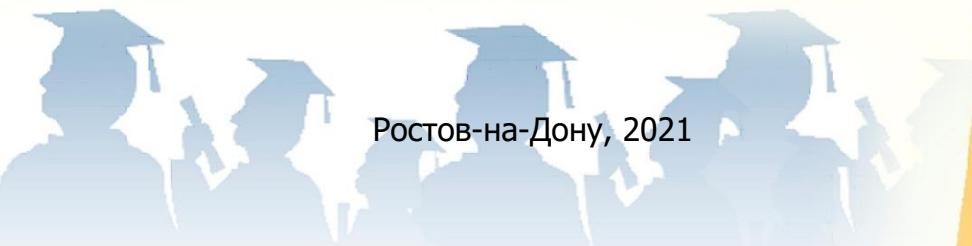
по физике для иностранных слушателей дополни-  
тельных общеобразовательных  
программ

### **Физика.**

### **Движение тела под действием силы тяжести**

Автор  
Цветковская С.М.

Ростов-на-Дону, 2021





## Аннотация

Учебное пособие соответствует программе по физике для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям. Содержит краткую теорию, примеры решения задач. Снабжено таблицами, пояснительными рисунками

Рекомендуется для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Учебное пособие «Физика. Движение тела под действие силы тяжести» предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ.

## Автор



доцент, кандидат физико-математических наук,  
доцент, кафедра  
«Естественные науки»  
Цветковская С.М.



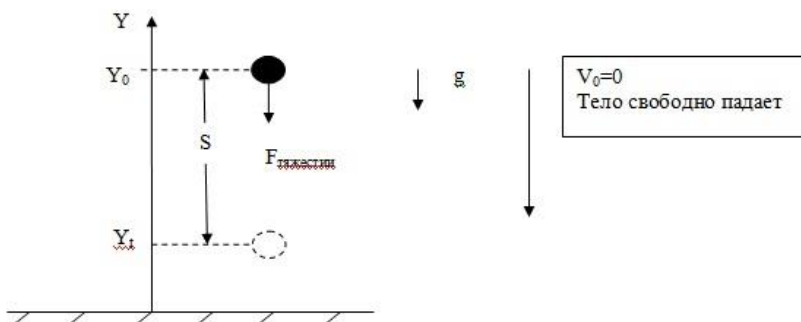


<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>1.Свободное падение тела.....</b>	<b>4</b>
<b>2.Движение тела, которое бросили вертикально вниз с начальной скоростью <math>V_0</math> .....</b>	<b>5</b>
<b>3.Движение тела, которое бросили вертикально вверх с начальной скоростью <math>V_0</math> .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Баллистическое движение .....</b>	<b>7</b>
<b>5.Примеры решения задач .....</b>	<b>8</b>
5.1 Задача 1.....	8
5.2 Задача 2.....	9
5.3 Задача 3.....	11
5.4 Задача 4.....	13
<b>6. Задачи для решения на практических занятиях и для самостоятельной работы .....</b>	<b>14</b>
Литература .....	18

## ВВЕДЕНИЕ

Опытным путём установлено, что все тела в вакууме падают с постоянным ускорением, которое называется ускорением свободного падения и обозначается латинской буквой «**g**». Ускорение свободного падения является постоянной величиной для точек, которые находятся на одной и той же географической широте. Ускорение свободного падения изменяется от значения  $9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсе до значения  $9,83 \text{ м/с}^2$  на экваторе. Для решения задач можно использовать значение  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

### 1. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛА



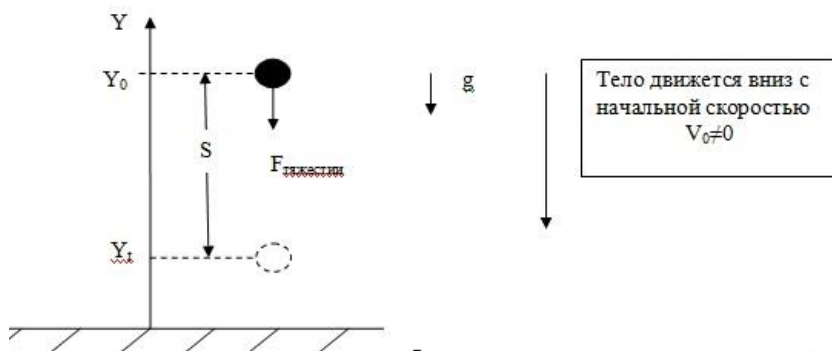
Свободным падением называется движение тела из состояния покоя под действием силы тяжести в вакууме.

$$V_t = g \cdot t;$$

$$S = \frac{g \cdot t^2}{2};$$

$$Y = Y_0 - S = Y_0 - \frac{g \cdot t^2}{2}.$$

## 2. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, КОТОРОЕ БРОСИЛИ ВЕРТИКАЛЬНО ВНИЗ С НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ $V_0$



$$V = V_0 + g \cdot t;$$

$$S = V_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2};$$

$$Y = Y_0 - S = Y_0 - \left( V_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \right).$$

Тело, которое бросили вертикально вниз с начальной скоростью  $V_0$ , движется равноускоренно.

### 3. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, КОТОРОЕ БРОСИЛИ ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ С НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ $V_0$



Тело, которое бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$ , движется равнозамедленно.

$$V = V_0 - g \cdot t;$$

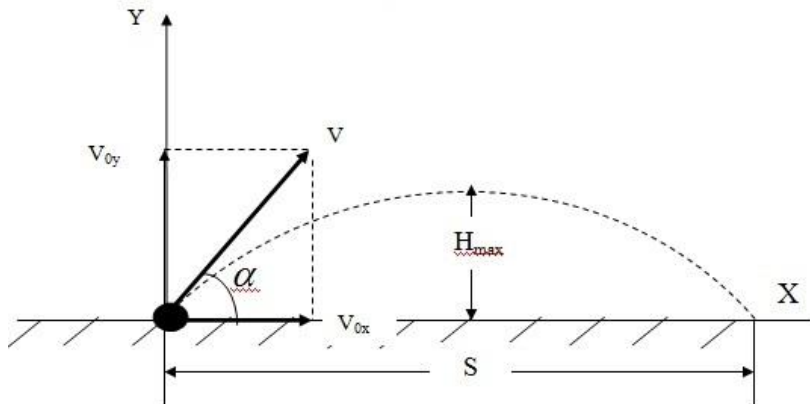
$$S = V_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2};$$

$$Y = Y_0 - S = Y_0 + (V_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}).$$

Тело, которое бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$ , движется равнозамедленно до максимальной высоты  $H_{\max}$ . На максимальной высоте скорость тела равна нулю  $V=0$ . С максимальной высоты  $H_{\max}$  тело свободно падает.

## 4. БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Движение тела, которое бросили под углом к горизонту



где

$\alpha$  – угол, под которым бросили тело

$V_0$  – начальная скорость

$V_{0x}$  – проекция начальной скорости  $V_0$  на ось X

$V_{0y}$  – проекция начальной скорости  $V_0$  на ось Y

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_{0x} + \vec{V}_{0y}$$

$$V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha \quad V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha$$

$H_{\max}$  – максимальная высота подъёма тела

$S$  – дальность полёта

**Уравнения координат** для тела, которое бросили под углом к горизонту

$$x = V_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$$

$$y = V_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Вдоль оси X тело движется равномерно с постоянной скоростью.

Вдоль оси Y тело движется сначала равнозамедленно до высоты  $H_{\max}$ , затем свободно падает с высоты  $H_{\max}$ .

## 5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### 5.1 Задача 1

Тело, которое находится на земле, бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$ .

Дано:

$$V_0, Y_0=0$$

Найти:

1. максимальную высоту  $H_{\max}$ , на которую тело поднялось;
2. время подъёма тела  $t_{\text{up}}$  на максимальную высоту  $H_{\max}$ ;
3. время падения тела  $t_{\text{down}}$  с максимальной высоты  $H_{\max}$ ;
4. время  $t$  возврата тела на землю после начала движения.

Решение:

Когда тело достигает максимальной высоты  $H_{\max}$ , то его скорость равна нулю:

$$V_t = 0; \quad Y = H_{\max}; \quad t = t_{\text{up}}.$$

Следовательно,

$$0 = V_0 - g \cdot t_{\text{up}} \quad \text{или} \quad t_{\text{up}} = \frac{V_0}{g}.$$

В результате подстановки значения  $t_{\text{up}}$  в уравнение  $H_{\max}$  получим

$$H_{\max} = V_0 \cdot \frac{V_0}{g} - \left( \frac{V_0}{g} \right)^2 = \frac{V_0^2}{2 \cdot g};$$
$$H_{\max} = \frac{V_0^2}{2 \cdot g}.$$

Когда тело падает с высоты  $H_{\max}$ , то это будет свободное падение:

Уравнение движения имеет вид:

$$Y = H_{\max} - \frac{g \cdot t^2}{2}.$$

Когда тело достигает земли, то  $Y=0$ ;  $t = t_{\text{down}}$ .



Тогда уравнение движение имеет вид :

$$0 = H_{\max} - \frac{g \cdot (t_{\text{down}})^2}{2};$$

$$H_{\max} = \frac{g \cdot (t_{\text{down}})^2}{2};$$

$$t_{\text{down}} = \sqrt{\frac{2 \cdot H_{\max}}{g}} = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{V_0^2}{2 \cdot g}} = \frac{V_0}{g};$$

$$t_{\text{down}} = \frac{V_0}{g};$$

$$t_{\text{up}} = t_{\text{down}} = \frac{V_0}{g}.$$

$$t = t_{\text{up}} + t_{\text{down}} = \frac{2 \cdot V_0}{g}.$$

Ответ:

$$H_{\max} = \frac{V_0^2}{2 \cdot g};$$

$$t_{\text{up}} = t_{\text{down}} = \frac{V_0}{g};$$

$$t = t_{\text{up}} + t_{\text{down}} = \frac{2 \cdot V_0}{g}.$$

## 5.2 Задача 2

Тело бросили под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $V_0$ .

Дано:

$V_0, Y_0=0$

$\alpha$

Физика. Движение тела под действием силы тяжести

Найти:  $H_{\max} = ?$   $t_{\text{up}} = ?$   $t_{\text{down}} = ?$   
 $t = ?$   $S = ?$

Найти:

1. максимальную высоту  $H_{\max}$ , на которую тело поднялось;
2. время подъёма тела  $t_{\text{up}}$  на максимальную высоту  $H_{\max}$ ;
3. время падения тела  $t_{\text{down}}$  с максимальной высоты  $H_{\max}$ ;
4. время  $t$  полёта (возврата тела на землю после начала движения).
5. дальность полёта  $S$

Решение:

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_{0x} + \vec{V}_{0y};$$

$$V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha; \quad V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha;$$

Уравнение движения для данного движения имеет вид:

$$\begin{cases} X = V_{0x} \cdot t = V_0 \cdot t \cdot \cos \alpha & (1) \\ Y = V_{0y} \cdot t = V_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{g \cdot t^2}{2} & (2) \end{cases}$$

Из уравнения (2) определим время полёта тела  $t_{\text{полёта}}$ . Если  $t = t_{\text{полёта}}$ , то  $Y = 0$  (тело достигло земли). Тогда уравнение (2) имеет вид:

$$0 = V_0 \cdot t_{\text{полёта}} \cdot \sin \alpha - \frac{g \cdot (t_{\text{полёта}})^2}{2}$$

$$t_{\text{полёта}} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (3)$$

Из уравнения (1) определим дальность полёта  $S$ . Если  $t = t_{\text{полёта}}$ , то  $X = S$ . Тогда уравнение (1) с учётом формулы (3) можно записать в виде:

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

$$S = \frac{2 \cdot V_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}$$

$$S = \frac{V_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g} \quad (4)$$

Из уравнения (2) определим максимальную высоту подъёма тела  $H_{\max}$ . Известно, что время подъёма тела равно времени его падения  $t_{\text{подъёма}} = t_{\text{падения}} = t_{\text{полёта}}/2$ .

$$t_{\text{подъёма}} = \frac{t_{\text{полёта}}}{2} = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g}.$$

Когда  $t = t_{\text{подъёма}}$ , то  $Y = H_{\max}$ . Тогда уравнение движения (2) можно записать в виде

$$\begin{aligned} H_{\max} &= V_0 \cdot \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \cdot \sin \alpha - \frac{g}{2} \cdot \left( \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \right)^2 = \\ &= \frac{V_0^2}{g} \cdot (\sin \alpha)^2 - \frac{g}{2} \cdot \left( \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} \\ H_{\max} &= \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} \quad (5). \end{aligned}$$

Ответ:

$$t_{\text{полёта}} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

$$t_{\text{подъёма}} = t_{\text{падения}} = \frac{t_{\text{полёта}}}{2} = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

$$H_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}$$

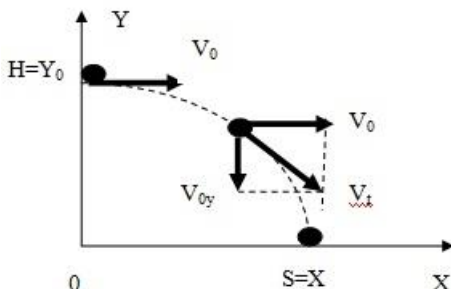
$$S = \frac{V_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}$$

### 5.3 Задача 3

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

Тело бросили горизонтально со скоростью  $V_{0x}$  с некоторой высоты  $H$ .

Движение тела, которое бросили горизонтально, - это сложное движение. Тело участвует одновременно в двух движениях: по горизонтали вдоль оси  $X$  и по вертикали по оси  $Y$ . По горизонтали тело движется равномерно, по вертикали тело свободно падает.



Дано:  
 $V_0, Y_0=H$   
 $\alpha = 0$

Решение:  
 Уравнения движения для данного движения имеет вид:

Найти:  
 $H_{\max} = ?$   
 $t_{\text{up}} = ?$   
 $t_{\text{down}} = ?$   
 $t = ?$   
 $S = ?$

$$\left\{ \begin{array}{l} X = V_{0x} \cdot t \quad (1) \\ Y = H - \frac{g \cdot t^2}{2} = H - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (2) \end{array} \right.$$

Из уравнения (2) определим время полёта тела  $t_{\text{полёта}}$ . Если  $t = t_{\text{полёта}}$ , то  $Y = 0$  (тело достигло земли). Тогда уравнение (2) имеет вид:

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

$$0 = H - \frac{g \cdot (t_{\text{полёта}})^2}{2}$$

$$t_{\text{полёта}} = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \quad (3)$$

Из уравнения (1) определим дальность полёта  $S$ . Если  $t = t_{\text{полёта}}$ , то  $X = S$ . Тогда уравнение (1) с учётом формулы (3) можно записать в виде:

$$S = v_{0x} \cdot t_{\text{полёта}} = v_{0x} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

$$S = v_{0x} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \quad (4)$$

Ответ:

$$t_{\text{полёта}} = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

$$S = v_{0x} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

### 5.4 Задача 4

Тело бросили горизонтально со скоростью  $v_{0x}$ . Найти высоту  $H$ , с которой бросили тело, если известно, что тело пролетело расстояние  $S$  в  $n$  раз большее, чем высота  $H$ ,  $S = n \cdot H$ .

Дано:  $v_{0x}$ ,  $n$ ,  $n = S/H$

Найти:  $H = ?$

Решение:

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

$$H = \frac{S}{n} = \frac{V_{0x}}{n} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}};$$

$$H = \frac{2 \cdot V_{0x}^2}{n^2 \cdot g}$$

Ответ:  $H = \frac{2 \cdot V_{0x}^2}{n^2 \cdot g}$ .

## 6. ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ И ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Тело свободно падает на землю с высоты 20 метров. Определить время падения и скорость тела в момент удара о землю.
2. Тело свободно падает на землю с высоты  $H$  в течение времени  $t$ . В момент удара о землю его скорость равна 39,2 м/с. Найти высоту  $h$  и время падения  $t$ .
3. Тело свободно падает на землю в течение 5 секунд с высоты  $H$ . Найти высоту  $H$  и скорость тела  $V_t$  в момент удара о землю.
4. Тело, которое бросили вниз с высоты 240 м, упало на землю через 6 секунд. Найти начальную скорость  $V_0$  и конечную скорость  $V_t$  в момент удара о землю., которую может достигнуть это тело, бросают вертикально вниз второе тело с той же начальной скоростью ( $V$
5. Тело, которое бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$ , упало на землю через 3 с. Найти начальную скорость тела  $V_0$  и максимальную высоту  $H_{\max}$ , на которую тело поднялось.
6. Тело бросили вертикально вверх на высоту 110 см с начальной скоростью  $V_0$ . Найти начальную скорость  $V_0$  и время подъёма  $t$ .
7. Тело, которое бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$ , упало на землю через 6 с. Найти начальную скорость  $V_0$  и высоту  $H_{\max}$ , на которую тело подня-

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

- лось.
8. Тело свободно падает с высоты 80 м. Какой путь проходит тело в последнюю секунду своего падения.
  9. Тело свободно падает с высоты 125 метров. Какой путь проходит тело в последнюю секунду своего падения?
  10. Сколько времени свободно падало тело, если за последние 2 секунды оно прошло 60 метров?
  11. С какой высоты падало тело, если за последнюю секунду своего падения оно прошло 25 метров?
  12. Тело свободно падает на землю с высоты  $H$  в течение времени  $t$ . В последнюю секунду своего падения (перед ударом о землю тело проходит половину всего пути. Найти высоту  $H$  и время падения  $t$ .
  13. С какой высоты падало тело, если в последнюю секунду своего падения оно прошло  $2/3$  своего пути?
  14. Тело свободно падает с высоты 2000 метров. Какой путь пройдёт тело за последнюю секунду своего падения? За какое время тело пройдёт последние 100 метров своего пути?
  15. Чему равен путь свободно падающего тела в  $n$ -ю секунду своего падения.
  16. Тело падает с высоты  $H$  и последние 196 метров пути проходит за 4 секунды. Сколько времени падало тело? С какой высоты падало тело?
  17. Тело свободно падает с высоты  $H$  и последние 185 метров проходит за 2 секунды. Определить, с какой высоты падало тело.
  18. С какой высоты падало тело, если за последнюю секунду оно проходит путь 75 метров?
  19. Тело свободно падает с высоты 180 метров. Через 1 секунду с этой же высоты вертикально вниз бросили второе тело с начальной скоростью  $V_{02}$ . Найти начальную скорость второго тела  $V_{02}$ , если известно, что оба тела достигли земли одновременно.
  20. Тело бросают вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с с высоты 20 м. Одновременно с высоты 200 метров бросают вертикально вниз другое тело с начальной скоростью 40 м/с. Определить, на какой высоте и через сколько времени они встретятся.
  21. Тело бросили вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Одновременно с предельной высоты  $H_{\max}$ , которую

## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

- может достигнуть это тело, бросают вниз второе тело с той же начальной скоростью ( $V_{01} = V_{02}$ ). Определить, на какой высоте и через сколько времени тела встретятся.
22. Тело свободно падает с высоты 160 м. Одновременно с поверхности земли вертикально вверх бросают другое тело с начальной скоростью 40 м/с. Определить, на какой высоте и через сколько времени тела встретятся.
  23. С поверхности земли вертикально вверх бросают два тела с начальными скоростями  $V_{01} = V_{02} = 40$  м/с. Сначала бросают первое тело, потом через 2 секунды после первого тела бросают второе тело. Определить, на какой высоте и через сколько времени тела встретятся.
  24. Тело свободно падает с высоты 140 м. Через 2 секунды после начала движения первого тела с поверхности земли бросают вертикально вверх второе тело с начальной скоростью 40 м/с. Определить, на какой высоте и через сколько времени тела встретятся?
  25. Тело бросили вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Через 1 секунду после первого тела с высоты 85 метров начинает свободно падать второе тело. Определить, на какой высоте и через сколько времени тела встретятся..
  26. Тело бросают вертикально вниз с высоты  $H$  с начальной скоростью 20 м/с. Одновременно с первым телом с высоты  $3/4 H$  свободно падает другое тело. Определить высоту  $H$ , если тела встретятся на высоте  $H/2$ .
  27. Тело свободно падает с высоты 46 метров. Одновременно с высоты 4 метра вертикально вверх бросают второе тело. Определить, с какой начальной скоростью бросили второе тело, если тела встретились на высоте 1 метр над землёй.
  28. Тело бросили вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0$  с высоты 60 метров. Одновременно вертикально вниз с высоты 300 м бросили другое тело с той же начальной скоростью. Определить начальные скорости тел, если известно, что тела достигли земли одновременно.
  29. Человек стреляет из пистолета вертикально вверх по мишени, которая находится на высоте 600 метров. Найти начальную скорость, с которой пуля вылетает из пистолета, если известно, что пуля и звук выстрела достигают мишени одновременно.
  30. Камень свободно падает с высоты  $H$  метров. Через 6 секунд



## Физика. Движение тела под действием силы тяжести

после начала падения камня человек, который находился на высоте  $H$ , слышит звук от удара камня о землю. Найти высоту  $H$ .

31. Два тела начинают свободно падать с одинаковой высоты не одновременно: сначала первое тело, потом, через интервал времени  $\Delta t$ , второе тело. Найти интервал времени  $\Delta t$ , если известно, что через 2 с после начала падения второго тела, расстояние между телами было 25 м.
32. Два тела начинают свободно падать с одной высоты не одновременно: сначала первое тело, потом, через  $t$  секунд, второе. Через сколько времени от начала движения первого тела расстояние между телами будет равно  $L$ .

**д****Литература**

1. Физика: учеб. пособие для студ.-иностранцев. подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шутенко Л.Д. – М.: Высш. Шк. 1983. – 392 с.

2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.

3. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. Для общеобразоват. учеб. заведений. – 4-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2002. – 416 с.: ил

4. Цветковская С.М. Физика. Кинематика: Учеб. пособие для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ [Электронный ресурс] URL: <http://skif.donstu.ru> (дата обращения 23.06.2021)

5. Цветковская С.М. Физика. Динамика: Учеб. пособие для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ [Электронный ресурс] URL: <http://skif.donstu.ru> (дата обращения 23.06.2021)