

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ
ПО КИНЕМАТИКЕ

Куйбышев 1981

УДК 530(075.8)

В настоящих методических указаниях значительное внимание уделяется координатному методу решения задач и решению задач в разных системах отсчета как одним из основных методов решения задач по физике. Приведены основные типы тренировочных упражнений, способствующих овладению слушателями этими методами и подготовке их к выполнению заданий.

Указания предназначены для слушателей подготовительного отделения и подготовительных курсов КуАИ, могут быть применены и для заочных курсов подготовки к поступлению в КуАИ.

Составители: К.Н. В л а с о в а, Л.А. К р ю к о в а,
Г.И. К а р х а н и н а

Рецензент Н.М. Р о г а ч е в

Рассмотрены и утверждены редакционно-издательским советом института 12.12.1980 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания содержат два задания по кинематике в четырех вариантах и примеры решения задач. В процессе выполнения заданий используются знания основных законов равномерного и равнопеременного движений и умение применять их для решения конкретных задач. Кроме того, при изучении кинематики необходимо овладеть координатным методом решения задач и решением задач в разных системах отсчета.

В каждое задание включается 12 задач. Первое задание состоит из трех задач на алгебраическую и графическую запись механического движения; трех задач на применение координатного метода к прямолинейному равномерному движению; шести задач на умение представлять механическое движение в разных инерциальных системах отсчета и выбирать для решения конкретной задачи удобную систему отсчета.

Второе задание состоит из пяти задач на вертикальное движение тел в поле силы тяжести; четырех задач на криволинейное движение в поле силы тяжести и трех задач на равномерное движение тел по окружности. При решении этих задач нужно использовать координатный метод и выбор предпочтительных систем отсчета.

В каждом из пяти предлагаемых разделов задачи расположены по возрастанию трудности их решения. Абсолютно подобных задач в указаниях очень мало.

После проработки теоретического материала нужно выработать у себя умение "видеть" изучаемое явление в алгебраической и графической записи. Для закрепления соответствующих навыков полезно использовать следующий комплекс тренировочных упражнений.

I. По заданным параметрам движения представить график пути, график скорости этого движения.

2. По графику скорости (пути) движения охарактеризовать движение с определением его основных параметров.

3. По графику скорости равномерного движения представить график пути.

4. По графику пути равномерного движения представить график скорости.

5. По заданным параметрам движения записать уравнение движения.

6. По заданному уравнению движения представить и охарактеризовать движение.

7. По графику пути (скорости) движения записать уравнения движения.

8. По заданному уравнению движения изобразить график пути(скорости) движения.

Подготовка к решению задач в разных системах отсчета заключается в выработке умения по описанию движения в одной системе отсчета (словесному, алгебраическому или графическому) описать это движение в другой системе, движущейся относительно первой с заданной скоростью. Это умение вырабатывается с помощью следующей системы упражнений.

1. По заданным параметрам движения в исходной системе отсчета K описать это движение в системе K' , движущейся с постоянной заданной скоростью относительно K .

2. По уравнению движения в системе отсчета K записать уравнение этого движения в инерциальной системе K' *.

3. По уравнениям движения тела в системах отсчета K и K' определить относительную скорость движения этих систем отсчета.

4. По заданным параметрам движения в системе отсчета K записать уравнение движения в системе K' .

5. По заданным параметрам движения в системе K изобразить графически движение в системе K' .

6. По заданному графику скорости (перемещения) в исходной системе отсчета охарактеризовать это движение в системе K' .

7. По заданному графику скорости (перемещения) в исходной системе отсчета изобразить график перемещения (скорости) в системе отсчета K' .

* В упражнениях 2, 4-10 относительная скорость движения систем отсчета K и K' задается.

8. По уравнению движения в системе отсчета K записать уравнение движения в системе отсчета K' .

9. По графику скорости (перемещения) в системе отсчета K записать уравнение движения в системе отсчета K' .

10. По уравнению движения в системе отсчета K изобразить график скорости (перемещения) в системе отсчета K' .

При решении задач рекомендуется придерживаться следующей системы действий.

Внимательно прочитать задачу и определить, какой процесс в ней описан.

При вторичном чтении выписать слева столбиком условие задачи, обозначив данные и искомые величины соответствующими буквами.

Выписать соответствующие формулы, описывающие данное движение. Прикинуть, какими из них и в какой последовательности нужно пользоваться для решения задачи.

Записать решение задачи в общем виде.

Подставить в полученные конечные формулы числовые данные из условия задачи, проследив, чтобы все величины были в системе СИ.

Помните, что на первых порах с наименованиями величин надо работать при вычислениях, как с числами. Получение правильной размерности искомой величины может быть использовано как проверка правильности решения задачи.

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ И ГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ
МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Примеры решения задач

I. Движение автомобиля задано уравнением $x = 150 + 10t$. С какой скоростью и в каком направлении двигался автомобиль? Где он будет через 12 с? Когда пройдет точку, координата которой 300 м?

Дано:

$$x = 150 + 10t,$$

$$t_1 = 12 \text{ с},$$

$$x_2 = 300 \text{ м}$$

$$v - ?$$

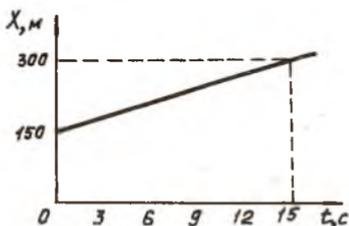
$$x_1 - ?$$

$$t_2 - ?$$

где x_0 - начальное положение точки,
 v - скорость движения.

Решение. Из уравнения движения видно, что координата x линейно зависит от времени. Это означает, что движение равномерное. Для равномерного движения положение координаты в любой момент времени определяется уравнением

$$x = x_0 + vt,$$



Р и с. I.

Сравнивая уравнение равномерного движения с заданным, определяем, что $x_0 = 150$ м, $v = 10$ м/с. Т.е. автомобиль на начальный момент времени находился на расстоянии 150 м от начала отсчета и продолжал удаляться от него со скоростью 10 м/с (рис. I). Через 12 с автомобиль будет на расстоянии $x_1 = 150 \text{ м} + 10 \text{ м/с} \cdot 12 \text{ с} = 270 \text{ м}$ от начала отсчета.

А момент времени, в который координата автомобиля $x_2 = 300$ м, определим из уравнения

$$300\text{ м} = 150\text{ м} + 10\text{ м/с} \cdot t_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow t_2 = \frac{300\text{ м} - 150\text{ м}}{10\text{ м/с}} = 15\text{ с}.$$

О т в е т. $v = 10$ м/с; $x_1 = 270$ м; $t_2 = 15$ с.

2. Самолет в момент начала наблюдения находился в точке с начальными координатами $x_0 = 400$ м, $y_0 = 200$ м и двигался равномерно и прямолинейно со скоростью 100 м/с под углом 30° к горизонту. Найти координаты самолета через 3 с.

Дано:

$$x_0 = 400\text{ м},$$

$$y_0 = 200\text{ м},$$

$$v = 100\text{ м/с},$$

$$\alpha = 30^\circ,$$

$$t = 3\text{ с}$$

$$x = ?$$

$$y = ?$$

Р е ш е н и е. Самолет движется равномерно, поэтому его координаты линейно зависят от времени:

$$x = x_0 + v_x t; \quad (1)$$

$$y = y_0 + v_y t, \quad (2)$$

где v_x и v_y - проекции скорости на оси X и Y (рис.2)

Подставив в равенства (1) и (2) значения

$$v_x = v \cos \alpha; \quad (3)$$

$$v_y = v \sin \alpha, \quad (4)$$

получим

$$x = x_0 + v \cos \alpha t; \quad (5)$$

$$y = y_0 + v \sin \alpha t. \quad (6)$$

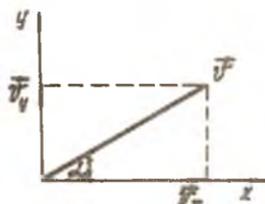
Таким образом, через три секунды местоположение самолета определится координатами

$$x = 400\text{ м} + 100\text{ м/с} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3\text{ с} = 660\text{ м};$$

$$y = 200\text{ м} + 100\text{ м/с} \cdot \frac{1}{2} \cdot 3\text{ с} = 350\text{ м}.$$

О т в е т. $x = 660$ м; $y = 350$ м.

3. Уравнение движения тела $x = 5 + 4t + 0,6t^2$ (м). Охарактеризовать движение. Каковы его начальная скорость и ускорение? За-



Р и с. 2.

писать зависимость $v = v(t)$. Чему равно перемещение тела за 3 с от начала движения?

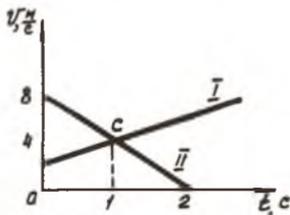
Решение. По уравнению движения определяем, что движение равноускоренное. Сравнивая данное в условии задачи уравнение с уравнением равноускоренного движения $x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$, определяем: $x_0 = 5$ м; $v_0 = 4$ м/с; $a = 1,2$ м/с². Так как при равноускоренном движении скорость в общем виде изменяется по уравнению $v = v_0 + at$, то, подставив значения v_0 и a , получим уравнение скорости: $v = (4 + 1,2t)$ м/с.

Перемещение тела S найдем из условия:

$$S = x - x_0 = v_0 t + \frac{at^2}{2};$$

$$S = 4 \text{ м/с} \cdot 3 \text{ с} + 0,6 \text{ м/с}^2 \cdot 9 \text{ с}^2 = 17,4 \text{ м}.$$

О т в е т. $v = (4 + 1,2t)$ м/с; $S = 17,4$ м.



Р и с. 3.

4. Пользуясь графиком (рис. 3), определить:

а) характер движения тел,
б) ускорения, с которыми движутся тела,

в) через какое время от начала движения скорости тел сравниваются?

Записать уравнения движения тел:

$$v = v(t) \text{ и } S = S(t).$$

Решение:

а) по графикам видно, что скорость первого и второго движений линейно зависит от времени. Значит, оба движения являются равнопеременными. В первом движении скорость возрастает, т.е. ускорение положительно. Второе движение можно назвать равнозамедленным или движением с постоянным отрицательным ускорением. Из графика видно, что $v_{01} = 2$ м/с; $v_{02} = 8$ м/с;

$$\text{б) } a_1 = \frac{v_1 - v_{01}}{\Delta t} = \frac{4 \text{ м/с} - 2 \text{ м/с}}{1 \text{ с}} = 2 \text{ м/с}^2,$$

$$a_2 = \frac{(0 - 8) \text{ м/с}}{2 \text{ с}} = -4 \text{ м/с}^2;$$

в) скорости тел сравниваются через одну секунду после начала отсчета (точка C на рис. 3).

Уравнения движения тел:

$$v_1 = (2 + 2t) \text{ м/с}; \quad S_1 = (2t + t^2) \text{ м};$$

$$v_2 = (8 - 4t) \text{ м/с}; \quad S_2 = (8t - 2t^2) \text{ м}.$$

Задачи для решения

5. Самолет поднимается с аэродрома под углом 20° к горизонту со скоростью 216 км/ч . Найти вертикальную и горизонтальную составляющие скорости самолета.

Какой высоты он достигнет за 20 с ?

0 т в е т. $v_{\text{гор}} = 73,9 \text{ км/ч}$; $v_{\text{вер}} = 203 \text{ км/ч}$; $h = 1,128 \text{ км}$.

6. Найти место и время встречи двух материальных точек, уравнения движения которых: $x_1 = (2 + 2t) \text{ м}$; $x_2 = (1 + t) \text{ м}$.

Задачу решить алгебраически и графически.

0 т в е т. Материальные точки встретились в точке начала отсчета за одну секунду до того, как начался отсчет времени.

7. Уравнения движения двух велосипедистов заданы выражениями $x_1 = 4t \text{ м}$; $x_2 = (10 - 2t) \text{ м}$.

Построить графики зависимости $x = x(t)$.

Найти место и время их встречи.

0 т в е т. $1,7 \text{ с}$; $6,7 \text{ м}$.

8. Уравнение движения материальной точки имеет вид

$$x = (10 + 15t - 0,5t^2) \text{ м}.$$

Описать это движение. Записать зависимость $v = v(t)$.

Какую скорость будет иметь материальная точка в конце 10 -й секунды движения?

0 т в е т. Равноускоренное; $v = (15 - t) \text{ м/с}$; 5 м/с .

9. Велосипедист начал свое движение из состояния покоя и в течение первых четырех секунд двигался с ускорением 1 м/с^2 , затем в течение $0,1 \text{ мин}$ он двигался равномерно, и последние 20 м - равномерно замедленно до остановки. Найти среднюю скорость за все время движения.

Построить график $v = v(t)$.

0 т в е т. $2,6 \text{ м/с}$.

10. Зависимость скорости материальной точки от времени задана уравнением $v = (6t + 6)$ м/с. Написать зависимость $x = x(t)$, если в начальный момент времени движущаяся точка находилась в начале координат.

Вычислить путь, пройденный материальной точкой за 10 секунд.

О т в е т. $x = (6t + 3t^2)$ м; $S = 360$ м.

11. Уравнение движения материальной точки имеет вид $x = 0,4t^2$ м. Написать зависимость $v = v(t)$ и построить ее график.

Показать на графике штриховкой площадь, численно равную пути, пройденному точкой за 4 с, и вычислить этот путь.

О т в е т. $v = 0,8t$ м/с; $6,4$ м.

12. Заданы уравнения движения по шоссе различных тел:

а) $x_1 = -0,4t^2$ м - для велосипедиста,

б) $x_2 = (-200 + 16t - 1,5t^2)$ м - для грузового автомобиля,

в) $x_3 = (800 - 0,6t)$ м - для пешехода,

г) $x_4 = 150$ м - для бензовоза.

Описать картину движения (из какой точки, в какую сторону, с какой начальной скоростью, с каким ускорением, каким является движение).

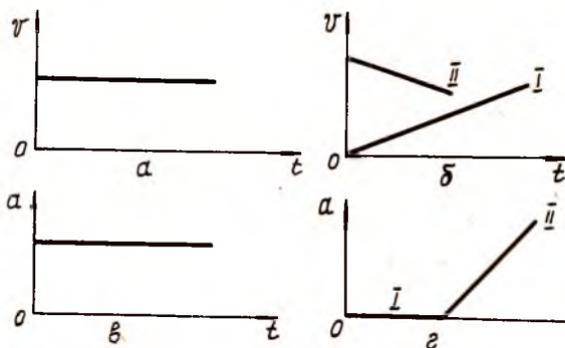
О т в е т. а) 0; влево; 0; $-0,8$ м/с²; ускоренное.

б) -200 м; вправо; 16 м/с²; -3 м/с²; замедленное.

в) 800 м; влево; $0,6$ м/с; 0; равномерное.

г) -150 м; покой.

13. Определить по графикам (рис. 4) характер движения тел

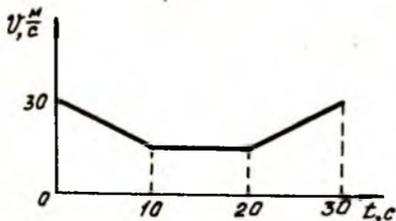


Р и с. 4.

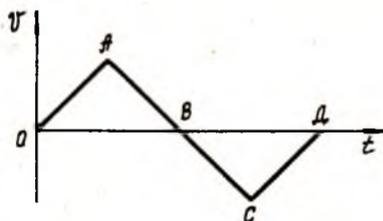
14. Объяснить характер движения тела на отдельных участках (рис. 5).

Записать зависимость $v = v(t)$ для каждого участка графика. Построить график зависимости ускорения от времени ($a = a(t)$) на каждом участке движения тела.

15. На рис. 6 дан график скорости тела, движущегося прямолинейно. Построить соответствующий ему график ускорения.



Р и с. 5.



Р и с. 6.

16. По графикам движений (рис. 7) определить:

а) чем отличаются движения первого и второго тела?

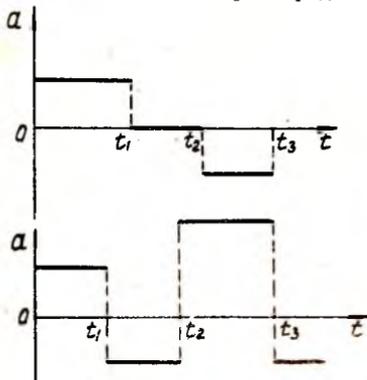
б) каково ускорение в каждом движении?

в) какую скорость имеют тела в момент времени, соответствующий точке B?

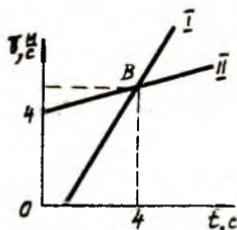
Записать уравнения движения этих тел

$$v = v(t), \quad s = s(t).$$

17. Объяснить характер движения тела



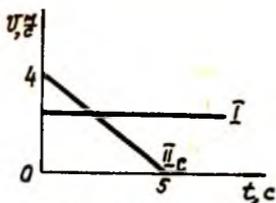
Р и с. 8.



Р и с. 7.

на отдельных участках графика (рис. 8). Построить графики скорости на каждом участке.

18. Определить по графику (рис. 9): Каковы начальные скорости в том и другом движении? С каким ускорением движется каждое тело?



Р и с. 9.

Что происходит со вторым телом в момент времени, соответствующий точке С?

Записать уравнения движения этих тел:

$$v = v(t) \text{ и } S = S(t).$$

О т в е т. $v_1 = 2,5 \text{ м/с};$

$$S_1 = 2,5 t \text{ м}; \quad v_2 = (4 - 0,8 t) \text{ м/с};$$

$$S_2 = (4t - 0,4 t^2) \text{ м}.$$

Средняя скорость неравномерного движения. Равноускоренное движение

19. Первую четверть пути поезд прошел со скоростью 60 км/ч. Средняя скорость на всем пути оказалась равной 40 м/с. С какой скоростью прошел поезд оставшаяся часть пути?

Анализ и решение задачи

Д а н о:

$$S_1 = 1/4 S,$$

$$v_1 = 60 \text{ км/ч} = 16,7 \text{ м/с},$$

$$v_{cp} = 40 \text{ м/с}$$

$$v_2 = ?$$

Средняя скорость $v_{cp} = \frac{S}{t_1 + t_2}$,
 где S - пройденный поездом путь,
 $t_1 = \frac{S}{4v_1}$ - время, за которое поезд
 прошел первую четверть пути; $t_2 =$
 $= \frac{3}{4} \frac{S}{v_2}$ - время, за которое поезд про-
 шел оставшуюся часть пути. Таким об-
 разом,

$$v_{cp} = \frac{S}{\frac{S}{4v_1} + \frac{3}{4} \frac{S}{v_2}} = \frac{4v_1 v_2}{v_2 + 3v_1},$$

откуда

$$v_2 = \frac{3v_1 v_{cp}}{4v_1 - v_{cp}}; \quad v_2 = 74 \text{ м/с}.$$

О т в е т. $v_2 = 74 \text{ м/с}.$

20. Тело, двигаясь равноускоренно, проходит два одинаковых отрезка пути в 15 м соответственно в течение 2 и 1 с. Определить ускорение и скорость тела в начале первого отрезка пути.

Анализ и решение задачи

Д а н о:

$$S_1 = S_2 = 15 \text{ м,}$$

$$t_1 = 2 \text{ с,}$$

$$t_2 = 1 \text{ с.}$$

$$a - ?$$

$$v_0 - ?$$

Уравнение движения первого участка

$$S_1 = v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2}.$$

Для всего участка $S = S_1 + S_2$; $t = t_1 + t_2$

$$\text{и } S = v_0 t + \frac{a t^2}{2}.$$

Выразим из первого уравнения начальную скорость

$$v_0 = \frac{S_1 - \frac{a t_1^2}{2}}{t_1} = \frac{2S_1 - a t_1^2}{2t_1} = \frac{S - a t_1^2}{2t_1}.$$

Подставив ее значение во второе уравнение, получим

$$S = \frac{S - a t_1^2}{2t_1} t + \frac{a t^2}{2},$$

$$\text{откуда } a = \frac{S(\frac{2}{t} - t/t_1)}{t(t - t_1)}.$$

После расчетов получим $v_0 = 2,5 \text{ м/с}$; $a = 5 \text{ м/с}^2$.

О т в е т. $2,5 \text{ м/с}$; 5 м/с^2 .

21. Два велосипедиста едут навстречу друг другу. Первый, имея скорость 27 км/ч , поднимается в гору с ускорением $0,15 \text{ м/с}^2$, а второй, имея скорость 9 км/ч , спускается с горы с ускорением $0,25 \text{ м/с}^2$. Через сколько времени они встретятся, если известно, что встреча произошла на середине пути?

Анализ и решение задачи

Д а н о:

$$v_{01} = 27 \text{ км/ч} = 7,5 \text{ м/с,}$$

$$a_1 = -0,15 \text{ м/с}^2,$$

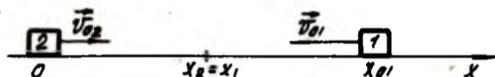
$$v_{02} = 9 \text{ км/ч} = 2,5 \text{ м/с,}$$

$$a_2 = 0,25 \text{ м/с}^2,$$

$$x_1 = x_2$$

$$t = t_1 = t_2 - ?$$

Начало координат совместим с положением второго велосипедиста в начальный момент времени $t_0 = 0$, а ось Ox направим вниз, вдоль спуска с горы (рис. 10).



Р и с. 10.

Тогда уравнения движения велосипедистов запишутся так:

$$x_1 = x_{01} - v_{01} t - \frac{a_1 t^2}{2}, \quad (I)$$

где x_{01} - координата первого велосипедиста в начальный момент времени:

$$x_2 = v_{02}t + \frac{a_2 t^2}{2}. \quad (2)$$

Встреча произошла на середине пути, т.е. $x_1 = \frac{1}{2}x_{01}$, и равенство (1) можно переписать как

$$x_1 = v_{01}t + \frac{a_1 t^2}{2}.$$

В момент встречи $x_1 = x_2$

или

$$v_{01}t + \frac{a_1 t^2}{2} = v_{02}t + \frac{a_2 t^2}{2}.$$

Откуда

$$t = \frac{2(v_{01} - v_{02})}{a_2 - a_1} = 25 \text{ с.}$$

О т в е т. 25 с.

Задачи для решения

22. За первые два часа велосипедист проехал 30 км, за последние два часа - 25 км, и за последний час - 18 км. Определить среднюю скорость на всем пути.

О т в е т. 4,05 м/с.

23. Автомобиль проехал первую половину пути со скоростью 16 м/с, вторую половину - со скоростью 20 м/с. Найти среднюю скорость на всем пути.

О т в е т. $\approx 17,8$ м/с.

24. Поезд первую половину пути шел со скоростью в 1,5 раза большей, чем вторую половину пути. Какова скорость автомобиля на каждом участке, если средняя скорость прохождения всего пути 12 м/с?

О т в е т. 15 м/с; 10 м/с.

25. Расстояние между двумя станциями, равное 18 км, поезд прошел со средней скоростью 54 км/ч, причем на разгон он тратил 2 мин, затем двигался равномерно, и последнюю минуту до остановки двигался равнозамедленно. Определить наибольшую скорость движения поезда. Построить график скорости.

О т в е т. 16,1 м/с.

26. Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, за пятую секунду прошло путь 18 м. Чему равно ускорение и какой путь тело прошло за 5 секунд от начала движения?

О т в е т. 4 м/с^2 ; 50 м.

27. За какую секунду от начала движения путь, пройденный телом в равноускоренном движении, втрое больше пути, пройденного в предыдущую секунду, если движение происходит без начальной скорости?

О т в е т. За вторую секунду.

28. Поезд, двигаясь под уклон, прошел за 20 с путь 340 м и развил скорость 19 м/с. С каким ускорением двигался поезд и какой была его скорость в начале уклона?

О т в е т. $0,2 \text{ м/с}^2$; 15 м/с.

29. При равноускоренном движении из состояния покоя тело проходит за пятую секунду 90 см. Определить перемещение тела за седьмую секунду движения.

О т в е т. 1,3 м.

30. Тело, движущееся равноускоренно с начальной скоростью 1 м/с, приобретает, пройдя некоторое расстояние, скорость 7 м/с. Какова была скорость тела на половине этого расстояния?

О т в е т. 5 м/с.

31. Поезд отошел от станции с ускорением 20 см/с^2 . Достигнув скорости 36 км/ч, он двигался равномерно в течение 2 мин, затем, затормозив, прошел до остановки 100 м. Найти среднюю скорость поезда на всем пути. Построить график скорости.

О т в е т. 8,16 м/с.

32. Автомобиль, движущийся со скоростью 28,8 км/ч, при торможении останавливается в течение 4 с. Считая движение автомобиля равнопеременным, найти уравнение мгновенной скорости, построить график скорости и по графику определить скорость автомобиля в конце третьей секунды от начала отсчета времени.

Написать уравнение движения автомобиля.

О т в е т. $v = 8 - 2t$; $s = 8t - t^2$; 2 м/с.

33. При равноускоренном движении точка проходит в первые два равных последовательных промежутка времени, по 4 с каждый, путь 24 и 64 м. Определить начальную скорость и ускорение движущейся точки.

О т в е т. 1 м/с; $2,5 \text{ м/с}^2$.

34. По одному направлению из одной точки одновременно начали двигаться два тела: одно равномерно со скоростью 980 см/с, а другое равноускоренно без начальной скорости с ускорением 9,8 см/с². Через какое время второе тело догонит первое?

О т в е т. 200 с.

35. Из двух точек, расстояние между которыми равно 6,9 м, одновременно в одном направлении начали движение две материальные точки. Первая движется из состояния покоя равноускоренно с ускорением 0,2 м/с². Вторая движется вслед за первой с начальной скоростью 2 м/с и ускорением 0,4 м/с². Написать уравнение зависимости координат движущихся точек от времени в системе отсчета, в которой при $t = 0$ координаты принимают значения $x_2 = 0$, $x_1 = 6,9$ м.

Найти место и время встречи точек.

О т в е т. $x_1 = 6,9 + 0,1t^2$; $x_2 = 7,8$ м; $t = 3$ с;
 $x_2 = 2t + 0,2t^2$.

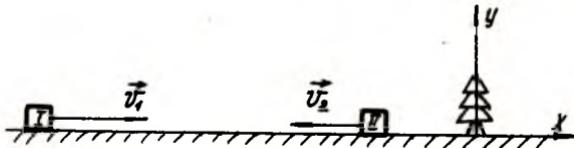
М е х а н и ч е с к о е д в и ж е н и е
в р а з н ы х с и с т е м а х о т с ч е т а

Примеры решения задач

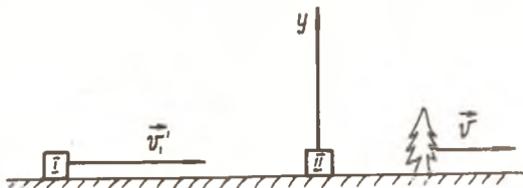
36. Скорость первого автомобиля относительно второго 110 км/ч. Автомобили движутся навстречу друг другу. Определить скорость второго автомобиля относительно Земли, если скорость первого автомобиля относительно Земли 70 км/ч.

Анализ и решение задачи

В системе отсчета, связанной с поверхностью Земли, оба автомобиля движутся навстречу друг друга (рис. II). Скорость первого



Р и с. II.



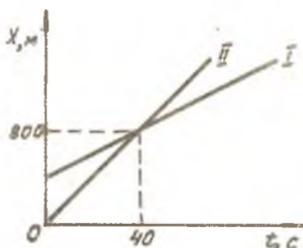
Р и с. 12.

автомобиля в системе отсчета "Второй автомобиль" (рис. 12) $\vec{v}_2' = \vec{v}_2 + \vec{v}_1$ где \vec{v}_1 - скорость первого автомобиля относительно поверхности Земли, \vec{v}_2 - скорость системы отсчета "Земля" в системе отсчета "Второй автомобиль".

Направим ось OX в сторону движения первого автомобиля (рис. 12). Тогда в проекции на ось OX это равенство перепишется так: $v_2' = v_2 + v_1$

Направление скорости движения поверхности Земли относительно второго автомобиля совпадает с направлением оси. Откуда $v = v_2' - v_1 = -40$ км/ч и скорость второго автомобиля $v_2 = -v = -40$ км/ч.

37. На рис. 13 изображены графики движения велосипедиста (I) и мотоциклиста (II) в системе отсчета, связанной с Землей. Написать уравнение движения велосипедиста в системе отсчета, связанной с мотоциклистом, и построить график его движения в этой системе отсчета.



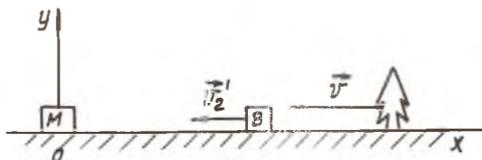
Р и с. 13.

Анализ и решение задачи

Ось OX направлена в сторону движения велосипедиста и мотоциклиста относительно поверхности Земли. В системе отсчета "Земля" скорость велосипедиста $v_1 = \frac{800\text{ м} - 400\text{ м}}{40\text{ с}} = 10\text{ м/с}$, а скорость мотоциклиста $v_2 = \frac{800\text{ м}}{40\text{ с}} = 20\text{ м/с}$

Скорость велосипедиста в системе отсчета "Мотоциклист" $\vec{v}_1' = \vec{v}_1 + \vec{v}$, где \vec{v} - скорость движения системы отсчета "Земля" в системе "Мотоциклист". Направлена \vec{v} в сторону, противоположную направлению оси OX (рис. 14).

В проекции на ось OX это равенство запишется так: $v_1' = v_1 - v$.



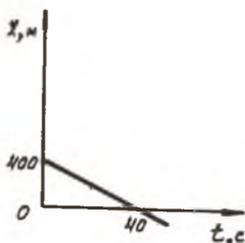
Р и с. 14.

Так как $|\vec{v}| = |\vec{v}_2'| = 20$ м/с, то $v_1' = -10$ м/с.

Велосипедист относительно мотоциклиста движется со скоростью 10 м/с в сторону, противоположную направлению оси ОХ. Связав начало отсчета с начальным положением мотоциклиста, получим следующее уравнение и график движения велосипедиста в системе отсчета "Мотоциклист" (рис. 15):

$$x_1' = 400 - 10t.$$

Довольно часто решение задачи выглядит проще не в системе отсчета, связанной с поверхностью Земли, а в какой-то другой системе отсчета. Сопоставим, например, решения следующей задачи в разных системах отсчета.



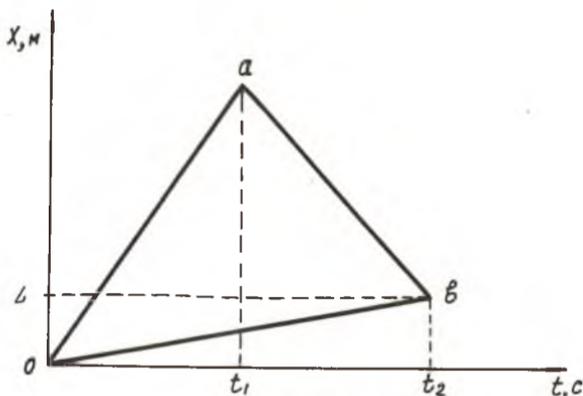
Р и с. 15.

38. Скорость движения лодки в стоячей воде \vec{u} , скорость течения реки \vec{v} . Проплывая под мостом, лодочник уронил багор и обнаружил пропажу через промежуток времени t_1 после потери. Развернув лодку и двигаясь в обратном направлении с той же по величине скоростью по отношению к воде, лодочник через время t_2 после поворота встретился с багром. Определить время встречи лодки с багром и расстояние l от моста до места встречи. Задачу решить для двух случаев: первый – лодка вначале двигалась по течению реки; второй – лодка вначале двигалась против течения.

Решение в системе отсчета "Земля"

Начало отсчета совместим с какой-нибудь точкой моста, ось ОХ направим в направлении течения реки.

Случай первый: За время t_1 лодочник, двигаясь по течению реки, перемещается в положительном направлении оси ОХ на расстояние $(u+v)t_1$. После обнаружения пропажи лодочник за время t_2 перемещается в противоположном направлении на расстояние $(u-v)t_2$. Таким образом, в момент встречи с багром положение лодочника определяется координатой (рис. 16) $x = (u+v)t_1 - (u-v)t_2$.



Р и с. 16.

Положение багра, движущегося равномерно вдоль оси ОХ через промежуток времени $t_1 + t_2$ определяется координатой $x = vt_1 + vt_2$. Так как эта координата одной и той же точки (место встречи лодочника и багра), то

$$ut_1 + vt_1 - ut_2 + vt_2 = vt_1 + vt_2,$$

откуда $t_1 = t_2$ и $x = v2t_1$.

Т.е. лодка и багор встретятся на расстоянии $L = v2t_1$ от моста.

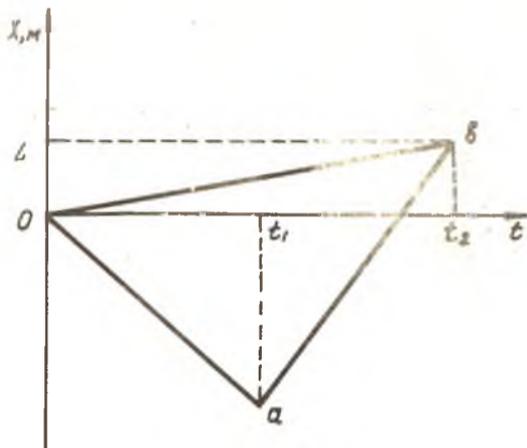
Случай второй: Перемещаясь против течения за время t_1 , лодочник проехал расстояние $(u-v)t_1$. После поворота за время t_2 лодочник перемещается вдоль направления течения реки на расстояние $(u+v)t_2$. Таким образом, координата лодочника и багра в момент их встречи

$$x = -(u-v)t_1 + (u+v)t_2;$$

$$x = vt_1 + vt_2$$

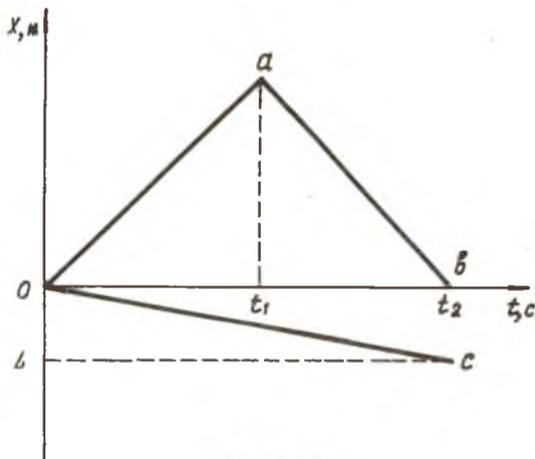
находится на том же расстоянии $L = v_2 t_1$ от моста, что и в первом случае (рис. 17).

от моста, что и в



Р и с. 17.

Гораздо проще решение этой задачи выглядит в системе отсчета "Река", связанной с водой. В этой системе в обоих случаях багор покоится (рис. 18). Лодочник сначала удаляется от багра, а затем



Р и с. 18.

возвращается к нему с той же по величине скоростью, т.е. его координата $x = ut_1 - ut_2 = 0$, откуда $t_1 = t_2$.

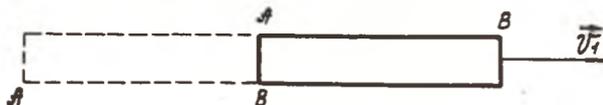
За время $t_1 + t_2$ мост, двигаясь в направлении, противоположном направлению оси ОХ, удаляется от багра на расстояние $l = v_1 t_1$. Скорость моста по абсолютной величине равна скорости течения реки в системе отсчета "Земля".

Нередко в процессе решения одной и той же задачи бывает удобно перейти от одной системы к другой. Например:

39. Поезд проходит за 15 с мимо телеграфного столба и за 45 с — тоннель длиной 450 м. При встрече с поездом длиной 300 м оба поезда идут один мимо другого в течение 21 с. Найти скорость второго поезда относительно поверхности Земли.

Анализ и решение задачи

Вначале решаем задачу в системе отсчета, связанной с поверхностью Земли. Направим ось ОХ в сторону движения первого поезда. За время $t_1 = 15$ с первый поезд переместился на расстояние l_1 , равное его длине (рис. 19).

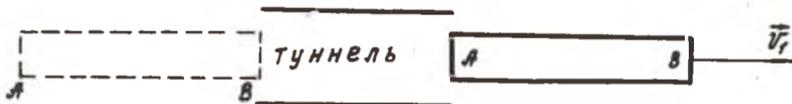


Р и с. 19.

Т.е. скорость его движения вдоль оси ОХ

$$v_1 = \frac{l_1}{t_1}. \quad (I)$$

За время $t_2 = 45$ с этот поезд перемещается на расстояние $450 \text{ м} + l_1$ (рис. 20).



Р и с. 20.

Следовательно,

$$v_1 = \frac{450 \text{ м} + l_1}{t_2} \quad (2)$$

Из равенств (1) и (2) находим длину первого поезда:

$$l_1 = \frac{450 \text{ м} \cdot t_1}{t_2 - t_1} = 225 \text{ м}$$

и его скорость $v_1 = 15 \text{ м/с}$.

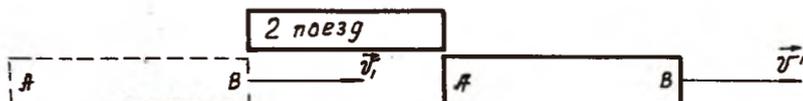
Дальнейшее решение задачи удобно провести в системе отсчета, связанной с одним из поездов.

Рассмотрим движение первого поезда в системе отсчета "Второй поезд" (рис. 21). В этой системе отсчета первый поезд, двигаясь со скоростью $v_1' = v_1 + v_2$ (скорость системы отсчета "Земля" по абсолютной величине равна скорости движения второго поезда в системе отсчета "Земля"), за время $t_2 = 2 \text{ с}$ перемещается на расстояние $l_1 + l_2$. Таким образом,

$$v_1 + v_2 = \frac{l_1 + l_2}{t_2},$$

откуда

$$v_2 = \frac{l_1 + l_2}{t_2} - v_1 = 10 \text{ м/с}.$$



Р и с. 21.

Решение задачи в любой системе отсчета дает один и тот же результат. Поэтому решение в другой системе отсчета может быть применено как проверка правильности решения задачи.

40. С аэростата, поднимающегося вертикально вверх со скоростью 10 м/с , на высоте 200 м от поверхности Земли уронили балластный груз. Через какое время груз упадет на Землю? Принять, что ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение в системе отсчета "Земля"

Момент времени начала движения балласта под действием силы тяжести примем за нулевой. Начало системы отсчета совместим с какой-нибудь точкой поверхности Земли. Ось OY , вдоль которой происходит

движение балласта и аэростата, направим вертикально вверх (рис. 22).

Положение выпавшего из аэростата груза в любой момент времени t определится координатой

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2},$$

где $y_0 = 200$ м, $v_0 = 10$ м/с - соответственно координата и начальная скорость груза.

В момент падения груза на Землю $y = 0$,

$$y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2} = 0,$$

откуда $t_{1,2} = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gy_0}}{g}$; $t = 7,6$ с.



Р и с. 22.

Решение в системе отсчета "Аэростат"

Начало отсчета совместим с аэростатом. Ось OY направим вертикально вниз. В начальный момент времени груз находился в начале координат, а координата точки поверхности Земли под грузом $y_{\text{земли}} = 200$ м (рис. 23). После того как груз покидает аэростат, координата груза меняется по закону $y = \frac{gt^2}{2}$, а поверхность Земли равномерно удаляется от аэростата $y_{\text{земли}} = 200 + v_0 t$.

В любой момент времени расстояние груза от поверхности Земли $\Delta y = 200 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$.

В момент падения на Землю $\Delta y = 0$ и

$$200 + v_0 t - \frac{gt^2}{2} = 0.$$

Т.е. мы получили точно такое же уравнение, как и при решении задачи в системе отсчета "Земля".

Иной раз решение выглядит рациональнее в системе отсчета, движущейся с ускорением. Например:

41. Два тела падают с одинаковой высоты. Второе тело начало свое падение на τ секунд позже первого. Каким будет падение первого тела относительно второго?

При решении этой задачи целесообразно вначале получить уравнения движения тел в системе отсчета "Земля", а затем перейти в систему отсчета, связанной со вторым телом.

Анализ и решение задачи

Отсчет времени будем производить от момента начала падения первого тела. Начало отсчета совместим с положением второго и первого тел в начальный момент времени. Ось OY , вдоль которой происходит движение тел, направим вертикально вниз (рис. 24).



у

Р и с. 24.

Уравнения движения тел в системе отсчета "Земля":

Для первого тела $y_1 = \frac{gt^2}{2}$; $v_1 = gt$ (рис. 25).

Для второго тела в промежутке $0 < t < \tau$

$$y_2 = 0; \quad v_2 = 0,$$

а для любых других значений $t > \tau$

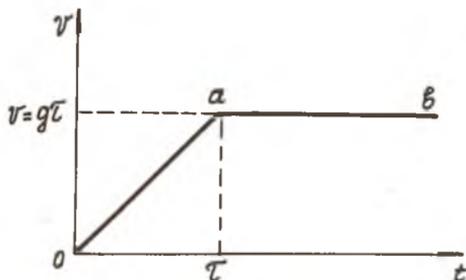
$$y_2 = \frac{g(t-\tau)^2}{2}; \quad v_2 = g(t-\tau).$$

Таким образом, в системе отсчета, связанной со вторым телом, в течение времени от 0 до τ $y_1 = \frac{gt^2}{2}$, а затем координату первого тела можно определить по формуле

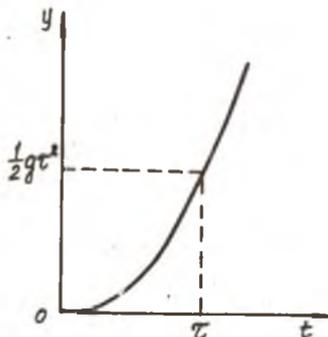
$$y_1 = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-\tau)^2}{2} = g\tau\left(t - \frac{\tau}{2}\right).$$

Как видим, для $t > \tau$ координата первого тела в этой системе отсчета меняется по линейному закону.

Скорость первого тела в системе отсчета "Второе тело" на первой стадии движения $v_1 = gt$, а на второй (рис. 26)



Р и с. 26.



Р и с. 25.

$$v_1 = gt - g(t-\tau) = g\tau.$$

Итак, относительно второго тела первое тело до момента времени $t = \tau$ совершает равноускоренное движение с ускорением g , а затем движется равномерно.

Задачи для решения

42. Два автомобиля движутся навстречу друг другу со скоростями 90 км/ч и 60 км/ч относительно Земли. Определить:

- скорость второго автомобиля относительно первого,
- скорость первого автомобиля относительно второго.

О т в е т. $-41,7$ м/с; $41,7$ м/с (если ось Ox направлена в направлении движения первого автомобиля).

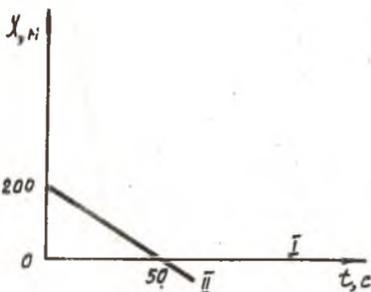
43. Два поезда движутся в одном направлении со скоростями 70 и 50 км/ч относительно Земли. Определить:

- скорость первого поезда относительно второго,
- скорость второго поезда относительно первого.

О т в е т. $5,5$ м/с; $-5,5$ м/с.

44. На рис. 27 изображен график движения второго автомобиля в системе отсчета, связанной с первым автомобилем. Написать уравнения движений и построить графики в системе отсчета, связанной с Землей (начало координат расположить в месте нахождения первого автомобиля в начальный момент времени), если скорость первого автомобиля относительно Земли:

а) 2 м/с; б) 6 м/с; в) -2 м/с.



Описать картину движения в

каждом случае.

Р и с. 27.

О т в е т: а) $x_1 = 2t$, $x_2 = 200 - 2t$; б) $x_1 = 6t$, $x_2 = 200 + 2t$;

в) $x_1 = -2t$, $x_2 = 200 - 6t$.

45. Из двух пунктов А и В, расположенных на расстоянии 90 м друг от друга, одновременно в одном направлении начали движение два тела, одно, имея скорость 5 м/с, второе -2 м/с. Написать уравнения движения тел, построить графики зависимости $x = x(t)$. Через какое время первое тело нагонит второе и где? Начало координат поместить в пункте А, где находится первое тело.

Написать уравнение движения второго тела для системы отсчета, связанной с другим телом.

О т в е т. $x_1 = 5t$; $x_2 = 90 - 2t$; 30 с; 150 м;

$x_2' = 90 - 3t$

46. Две материальные точки, расстояние между которыми в начальный момент времени равно 2 м, движутся навстречу друг другу со скоростями 0,4 м/с. Написать уравнение движения одной материальной точки для системы отсчета, связанной с другой точкой, и вычислить, через сколько времени они встретятся.

О т в е т. $x_2' = 2 - 0,8t$; 2,25 с.

47. В течение какого времени пассажир, сидящий у окна поезда, следующего со скоростью 54 км/ч, будет видеть проходящий мимо него встречный поезд, скорость которого 36 км/ч, а длина 150 м?

О т в е т. 6 с.

48. Автоколонна длиной 2 км движется со скоростью 40 км/ч. Мотоциклист выехал из хвоста колонны со скоростью 60 км/ч. За какое время он достигнет головной машины?

О т в е т. 0,1 ч = 6 мин = 360 с.

49. На расстоянии 200 м охотничья собака заметила зайца. Через сколько времени она догонит его, если заяц убегает со скоростью 40 км/ч, а собака догоняет его со скоростью 60 км/ч (решить задачу в трех системах отсчета, связанных: а - с зайцем, б - собакой, в - землей).

О т в е т. 6 мин.

50. Пароход идет по реке от пункта А до пункта В со скоростью 10 км/ч, а обратно со скоростью 16 км/ч. Найти среднюю скорость парохода и скорость течения реки.

О т в е т. 3,6 м/с; 0,83 м/с.

51. Катер идет по течению реки 3 ч, а обратно это же расстояние проходит за 6 ч. Подсчитать, сколько времени потребовалось бы катеру для того, чтобы проплыть это расстояние по течению реки с выключенным мотором?

О т в е т. 12 ч = $43,2 \cdot 10^3$ с.

52. Одинаковое ли время потребуется для проезда расстояния в 1 км на катере туда и обратно по реке (скорость течения 2 км/ч) и по озеру, если скорость катера относительно воды в обоих случаях равна 8 км/ч?

О т в е т. Нет. По озеру катер проедет быстрее.

53. Спортсмен ехал на лодке по реке. В момент, когда он проехал под мостом, из лодки выпала эстафетная палочка. Обнаружив это через 10 мин, он повернул назад и догнал палочку в 888 м ниже моста. Какова скорость течения реки, если принять, что спортсмен

греб все время одинаково? Время разворота не учитывать.

О т в е т. $44,4 \text{ м/мин} = 0,74 \text{ м/с}$.

54. Эскалатор метро поднимает неподвижно стоящего на нем пассажира в течение 1,5 мин. По неподвижному эскалатору пассажир мог бы подняться за 6 мин. Сколько времени затратит пассажир, если будет подниматься по движущемуся эскалатору?

О т в е т. 72 с.

55. Идущая по реке моторная лодка встретила сплавляемые по течению реки плоты. Через час после встречи лодочный мотор заглох. Ремонт лодки продолжался 30 мин. В течение этого времени лодка свободно плыла по течению реки. После ремонта лодка поплыла вниз по течению с прежней относительно воды скоростью и нагнала плоты на расстоянии 7,5 км от места их первой встречи. Определить скорость течения реки, считая ее постоянной (решить задачу в системе отсчета "Вода").

О т в е т. $0,83 \text{ м/с}$.

56. Два катера с различными скоростями плыли в одном направлении по течению реки. Когда они поравнялись, с одного из катеров бросили спасательный круг. Через некоторое время после этого оба катера повернули обратно и с прежними скоростями относительно воды направились к кругу. Какой из катеров встретит круг раньше? (задачу решить в системе отсчета "Вода").

О т в е т. Одновременно.

57. Когда две лодки равномерно движутся навстречу друг другу, одна - вниз, другая - вверх по течению реки, то расстояние между ними сокращается на 20 м за каждые 10 с. Если же лодки с прежними по величине скоростями будут двигаться по течению реки, то расстояние между ними за то же время будет увеличиваться на 10 м. Каковы скорости лодок относительно воды? (Задачу решить в системе отсчета "Вода").

О т в е т. $0,5 \text{ м/с}$; 1,5 с.

58. Два тела начали свободно падать из одной и той же точки, причем второе тело начало падение спустя 2 с после первого. Через сколько секунд после начала падения первого тела расстояние между ними будет равно 39,2 м?

О т в е т. Через 3 с.

59. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 40 м/с. Вычислить, на какой высоте оно будет через 6 с после начала движе-

ния. Описать движение тела и решить задачу в системе отсчета "Земля" и в системе, связанной в начальный момент времени с телом и продолжающей двигаться с постоянной скоростью (ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2).

О т в е т. 60 м.

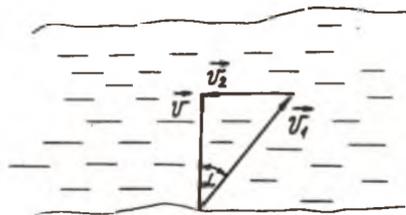
Задачи, в которых скорости направлены под углом друг к другу

60. На какой угол следует отклониться от нормали к течению реки, чтобы переплыть ее перпендикулярно течению, если скорость лодки относительно воды 3 м/с, скорость течения 1,5 м/с, а ширина реки 400 м?

Сколько времени займет переезд?

Анализ и решение задачи

Движение лодки является сложным. Лодка участвует одновременно в двух движениях: движется со скоростью \vec{v}_2 относительно берега



и со скоростью \vec{v}_1 относительно воды (рис. 28). Скорость перемещения лодки относительно берега является результирующей: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

Из рисунка видно, что $\sin \alpha = \frac{v_2}{v}$, т.е. $\sin \alpha = 0,5$ и $\alpha = 30^\circ$. Время переправы через реку определим из уравнения равномерного движения $S = vt$, т.е. $t = \frac{S}{v}$ (S -

ширина реки, а v - модуль скорости лодки относительно берега).

$$v = v_1 \cos \alpha, \quad \text{следовательно,} \quad t = \frac{S}{v_1 \cos \alpha},$$

$$t = \frac{400 \text{ м}}{3 \text{ м/с} \cos 30^\circ} = 155 \text{ с.}$$

О т в е т. Лодка должна двигаться под углом 30° к нормали к берегу; $t = 155 \text{ с.}$

61. Лодка движется перпендикулярно берегу со скоростью 7,2 км/ч. Течение относит ее на 150 м вниз по реке. Найти скорость

течения реки и время, затраченное на переезд через реку, если ширина реки 500 м.

О т в е т. 0,6 м/с; 250 с.

62. Самолет летит из пункта А в пункт В, расположенный на расстоянии 300 км к востоку. Определить продолжительность полета, если: а) ветер дует с юга на север; б) ветер дует с запада на восток. Скорость ветра 20 м/с, скорость самолета относительно воздуха 600 км/ч.

О т в е т. 1812 с; 1608 с.

63. Шар-зонд поднялся на высоту 800 м и при этом был отнесен ветром в горизонтальном направлении на 600 м за 20 с. Найти скорость подъема шара.

О т в е т. 50 м/с.

64. Два рыбака переправляются на лодках через реку шириной 280 м, держа курс перпендикулярно к берегу. Скорость течения реки 1 м/с. Скорости, сообщаемые лодкам усилиями каждого из рыбаков, 1,4 и 1,6 м/с (соответственно). На каком расстоянии друг от друга причалят лодки к берегу, если они вышли из одного пункта?

О т в е т. 25 м.

65. Капли дождя на окне неподвижного трамвая оставляют полосы, наклоненные под углом 30° к вертикали. При движении трамвая со скоростью 18 км/ч полосы от дождя вертикальны. Определить скорость капель $2\frac{1}{2}$ в безветренную погоду и скорость ветра $2\frac{1}{2}$.

О т в е т. 5 м/с; 8,5 м/с.

С в о б о д н о е п а д е н и е т е л .
Д в и ж е н и е т е л а ,
б р о ш е н н о г о в е р т и к а л ь н о

Решение типовых задач

66. Тело падает с высоты 2000 м. За какое время оно пройдет последние 100 м своего пути?

Анализ и решение задачи

Все время падения тела t легко найти из формулы свободного падения:

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; t \approx 20 \text{ с.}$$

Время падения тела на первые 100 м составляет

$$t' = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}; t' \approx 19,6 \text{ с.}$$

Таким образом, последние 100 м тело пролетит за

$$\Delta t = t - t'; \Delta t \approx 0,4 \text{ с.}$$

Задачу можно решить, воспользовавшись формулой скорости равноускоренного движения $v = v_0 + g\Delta t$, где v - скорость тела в момент падения, а v_0 - скорость на высоте 100 м от поверхности Земли.

Так как эти скорости можно найти через расстояния, пройденные телом от начала движения

$$v = \sqrt{2gh}; v_0 = \sqrt{2gh_1},$$

то искомое время

$$\Delta t = \frac{v - v_0}{g} = \frac{\sqrt{2gh} - \sqrt{2gh_1}}{g}; \Delta t \approx 0,4 \text{ с.}$$

О т в е т. 0,4 с.

67. С какой высоты упало тело, если за последнюю секунду падения оно прошло путь 24,5 м?

Анализ и решение задачи

Пусть тело падало t секунд. Тогда путь, пройденный за последнюю секунду свободного падения, можно записать как разность путей, пройденных за t и $(t - 1)$ с:

$$h_t = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-1)^2}{2} = gt - \frac{g}{2}; h_t = 24,5 \text{ м.}$$

Отсюда находим время падения тела $t = \frac{h_t + \frac{g}{2}}{g} = 3 \text{ с}$ и высоту, с которой оно упало $h = 44,1 \text{ м}$.

О т в е т. 44,1 м.

68. С балкона, расположенного на высоте 25 м над поверхностью Земли, бросили вертикально вверх мячик со скоростью 20 м/с. Написать уравнения $x = f(t)$, выбрав за начало отсчета: а) точку бросания, б) поверхность Земли.

Найти, через сколько времени мячик упадет на Землю.

Анализ и решение задачи

а) Начало отсчета совмещаем с точкой бросания мяча, ось Ox направим вертикально вверх (рис. 29, а).

Уравнение движения мяча

$$x = 20t - \frac{gt^2}{2}.$$

В момент падения на Землю координата мяча $x = -25$ м. Решая квадратное уравнение: $-25 = 20t - \frac{gt^2}{2}$, находим время, через которое мячик упадет на Землю:

$$t^2 - 4t - 5 = 0;$$

$$t_{1,2} = 2 \pm \sqrt{4+5} = 2 \pm 3; \quad t = 5 \text{ с}.$$

б) Начало отсчета поместим на поверхности Земли (рис. 29в). Уравнение движения тела $x = 25 + 20t - \frac{gt^2}{2}$. В момент падения тела на Землю $x = 0$, следовательно

$$\frac{gt^2}{2} - 20t - 25 = 0,$$

отсюда можно найти время t .

69. Камень брошен вертикально вверх. На высоте h камень побывал дважды с интервалом времени Δt . Определить начальную скорость бросания камня.

$$\text{О т в е т. } v_0 = \sqrt{\frac{g^2 \Delta t^2 + 8gh}{4}}.$$

Анализ и решение задачи

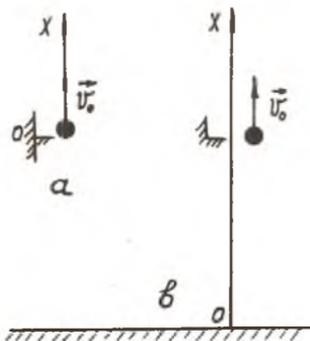
Начало отсчета совместим с положением камня в начальный момент времени, ось Ox направим вертикально вверх. Тогда уравнение движения камня

$$x = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

При $x = h$ получаем квадратное уравнение

$$\frac{gt^2}{2} - v_0 t + h = 0,$$

откуда находим время, в которое камень находится на высоте h :



Р и с. 29.

$$t_{1,2} = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2gh}}{g}.$$

Очевидно, интервал Δt можно записать как разность $t_1 - t_2$,

т.е.

$$\Delta t = \frac{2\sqrt{v_0^2 - 2gh}}{g},$$

откуда

$$v_0 = \frac{\sqrt{g^2 \Delta t^2 + 8gh}}{2}.$$

70. С воздушного шара, опускающегося вниз с постоянной скоростью $v_{ш} = 2$ м/с, бросили вертикально вверх камень со скоростью $v_{к} = 18$ м/с относительно Земли. Какое расстояние будет между шаром и камнем, когда камень достигнет высшей точки своего полета?

Через какое время камень пролетит мимо шара, падая вниз? Трением о воздух пренебречь.

Анализ и решение задачи

Начало координат совместим с положением воздушного шара в начальный момент времени, ось Ox направим вертикально вверх (рис.30,а). Тогда уравнения движения шара и камня запишутся так:

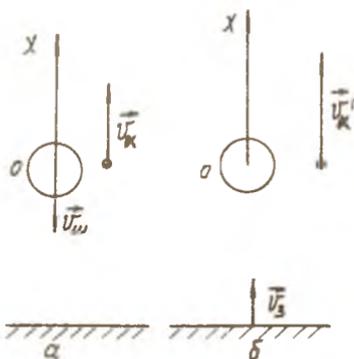
$$\begin{aligned} x_{ш} &= -2t; \\ x_{к} &= 18t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned}$$

В верхней точке ($x_{к} = x_{\max}$) скорость камня равна нулю. Так как $v_{к} = 18 - gt$, то шар достигнет верхней точки через время $t = \frac{18}{g}$; $t = 1,8$ с.

Расстояние между шаром и камнем в этот момент

$$\Delta x = x_{к} - x_{ш} = 18 \cdot 1,8 \text{ м} - \frac{9,8(1,8)^2}{2} \text{ м} = 19,8 \text{ м}.$$

При пролетании камня мимо шара $x_{ш} = x_{к}$,



Р и с. 30.

т.е.

$$-2t = 18t - \frac{gt^2}{2},$$

откуда $t \approx 4$ с.

Решим эту задачу в системе отсчета, связанной с воздушным шаром (рис. 30,б). Начальная скорость камня в этой системе $v_{\kappa}' = 20$ м/с. Уравнение движения камня $x = 20t - \frac{gt^2}{2}$. Вниз мимо шара камень пролетит через время, которое можно найти из уравнения движения камня, учитывая, что координата камня в этот момент равна нулю:

$$20t - \frac{gt^2}{2} = 0; t \approx 4 \text{ с.}$$

Уравнение скорости камня $v_{\kappa}' = 20 - gt$. В момент, когда камень достигнет высшей точки своего полета, его скорость в системе отсчета "Шар" $v_{\kappa}' = 2$ м/с.

Т.е. это произойдет в момент времени, который найдем из уравнения $2 = 20 - gt \Rightarrow t \approx 1,8$ с.

Расстояние между шаром и камнем в любой момент равно координате камня в рассматриваемой системе отсчета. Таким образом, искомое расстояние между камнем и шаром

$$x_{\kappa}' = 20 \cdot 1,8 \text{ м} - \frac{9,8 (1,8)^2}{2} \text{ м} \approx 19,8 \text{ м.}$$

Задачи для самостоятельного решения

71. При свободном падении одно тело находилось в полете в два раза больше времени, чем второе. Сравнить конечные скорости тел и пройденные ими пути.

О т в е т. $v_1 = 2v_2$; $h_1 = 4h_2$.

72. Тело свободно падает без начальной скорости с высоты 45 м. Найти среднюю скорость падения на нижней половине пути.

О т в е т. 25 м/с.

73. Камень падает в шахту. Через 6 с слышен звук камня о дно шахты. Определить глубину шахты, если скорость звука 330 м/с. Принять $g = 10$ м/с².

О т в е т. ≈ 165 м.

74. Свободно падающее без начальной скорости тело спустя промежуток времени t после начала падения находится на высоте

1100 м, а еще через $\Delta t = 10$ с на высоте 120 м над поверхностью Земли. С какой высоты падало тело?

О т в е т. 1225 м.

75. Мяч брошен вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какой высоте скорость мяча будет в два раза меньше, чем в начале движения?

О т в е т. 3,75 м.

76. Какой путь проходит свободно падающее тело в четвертую секунду? На сколько увеличится скорость тела за четвертую секунду?

О т в е т. 34,3 м; 9,8 м/с.

77. Тело свободно падает с высоты 490 м. Определить перемещение тела, совершаемое за последнюю секунду падения.

О т в е т. 93,1 м.

78. Тело свободно падает с высоты 540 м. Разделить эту высоту на такие три части, чтобы на прохождение каждой из них потребовалось одно и то же время.

О т в е т. 60 м; 180 м; 300 м.

79. Тело падало с некоторой высоты H и последние 196 м пути прошло за 4 с. Сколько времени падало тело и как велика высота H ?

О т в е т. 7 с; 240,1 м.

80. Свободно падающее без начальной скорости тело в последнюю секунду падения прошло $2/3$ своего пути. Найти путь, пройденный телом.

О т в е т. ≈ 28 м.

81. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Написать уравнение движения этого тела $x = f(t)$, выбрав за начало отсчета точку бросания и направив ось X вертикально вверх.

Найти, через сколько времени тело будет на высоте:

а) 15 м; б) 20 м; в) 25 м.

О т в е т. $x = 20t - 4,9t^2$; а) 3 с, 1 с; б) 2 с;

в) до высоты 25 м тело не долетит.

82. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 30 м/с. Через сколько секунд оно будет на высоте 25 м? Объяснить смысл двух ответов.

О т в е т. 1 с; 5 с.

83. Над колодезем глубиной 12 м бросают вертикально вверх камень с начальной скоростью 14 м/с. Через сколько времени камень достигнет дна колодезя?

О т в е т. 3,5 с.

84. С аэростата, находящегося на высоте 300 м, упал груз. Через сколько времени груз достигнет Земли, если: а) аэростат неподвижен; б) аэростат поднимается со скоростью 5 м/с; в) аэростат опускается со скоростью 5 м/с.

О т в е т. 7,72 с; 8,26 с; 7,26 с.

85. Аэростат поднимается без начальной скорости с поверхности Земли с ускорением $2,0 \text{ м/с}^2$. Через 5,0 с от начала подъема с него сброшен балласт без начальной скорости относительно аэростата. Через сколько времени после сбрасывания балласт упадет на Землю? Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 .

О т в е т. 3,45 с.

86. Два тела начинают одновременно падать с разной высоты и достигают Земли в один и тот же момент времени. Какую начальную скорость необходимо сообщить телу, падающему с большей высоты?

О т в е т. $(h_2 - h_1) \sqrt{\frac{g}{2h_1}}$.

87. С башни бросают тело со скоростью 1 м/с вертикально вверх. Через две секунды бросают другое тело со скоростью 1 м/с вертикально вниз. На каком расстоянии друг от друга будут тела через 5 с от момента бросания первого тела?

О т в е т. 70,4 м.

88. С какой начальной скоростью с высоты 19,9 м нужно бросить вертикально вниз тело, чтобы оно упало на 1 с раньше, чем при свободном падении?

О т в е т. 15 м/с.

89. Два тела свободно падают с разных высот и достигают Земли одновременно. Время падения первого тела 2 с, второго - 1 с. На какой высоте было первое тело, когда второе начало падать?

О т в е т. 14,7 м.

90. Аэростат поднимается с постоянной скоростью 5 м/с. К аэростату подвешен контейнер. В некоторый момент времени веревка перерезается и через 10 с контейнер падает на Землю. На какой высоте находился аэростат над Землей в момент падения контейнера, если начальная скорость контейнера относительно аэростата равна нулю, а скорость аэростата после отрыва контейнера не изменилась? Сопротивлением воздуха пренебречь.

О т в е т. 490 м.

91. Тело, находящееся на высоте 45 м от Земли, начинает падать без начальной скорости. Одновременно из точки, расположенной

на расстоянии на 21 м ниже первой, бросают тело вертикально вверх. Оба тела на Землю падают одновременно. Найти начальную скорость второго тела. Соппротивлением воздуха пренебречь. (Решить задачу в системе отсчета, связанной с первым телом, и в системе отсчета "Земля").

О т в е т. 7 м/с.

К и н е м а т и к а к р и в о л и н е й н о г о д в и ж е н и я

Примеры решения задач

92. Тело совершает 40 оборотов за 10 с. На каком расстоянии от оси вращения находится точка, движущаяся со скоростью 10 м/с?

О т в е т. $\approx 0,4$ м.

Анализ и решение задачи

Период вращения тела

$$T = \frac{10\text{с}}{40} = 0,25\text{с}.$$

Из формулы $T = \frac{2\pi R}{v}$, где v - линейная скорость движения точки, находим ее расстояние от оси вращения $R = \frac{Tv}{2\pi}$; $R = 0,4$ м.

93. Мальчик бросил горизонтально мяч из окна, расположенного на высоте 15 м. Сколько времени летел мяч до Земли и с какой скоростью он был брошен, если упал на расстоянии 5,3 м от основания дома?

О т в е т. 1,7 с; 3,1 м/с.

Анализ и решение задачи

Начало координат совместим с начальным положением тела. Ось ОХ совпадает по направлению с начальной скоростью, ось ОУ направлена вертикально вниз (рис. 31). Тогда движение тела опишется системой уравнений: $x = v_0 t$, $y = \frac{g t^2}{2}$.

Если в момент падения

$$x = 5,3\text{ м}; \quad y = 15\text{ м},$$

$$\text{то } \frac{gt^2}{2} = 15 \implies t = 1,7 \text{ с}$$

и

$$v_0 = \frac{x}{t}; v_0 = 3,1 \text{ м/с}$$

94. При горизонтальном бросании тела увеличение высоты на 6 м увеличило дальность его полета вдвое. Найдите высоту места бросания.

О т в е т. 2 м.

Анализ и решение задачи

Согласно условию

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{gt_2^2}{2} - \frac{gt_1^2}{2}, \quad (I)$$

где t_1 и t_2 - время падения тела соответственно с высоты h_1 и h_2 .

Начальная скорость в обоих случаях постоянна. Так как $\frac{v_0 t_2}{v_0 t_1} = 2$, то, подставив значение $t_2 = 2t_1$ в равенство (I), получим

$$\frac{g}{2} (4t_1^2 - t_1^2) = 6; \quad \frac{g}{2} 3t_1^2 = 6,$$

$$\text{откуда } t_1^2 = \frac{4}{g},$$

и высота места бросания

$$h_1 = \frac{gt_1^2}{2}; \quad h_1 = 2 \text{ м.}$$

95. Струя воды в гидромониторе вытекает из ствола со скоростью 50 м/с под углом 35° к горизанту. Найдите дальность полета и наибольшую высоту подъема струи.

О т в е т. 240 м; 42 м.

Анализ и решение задачи

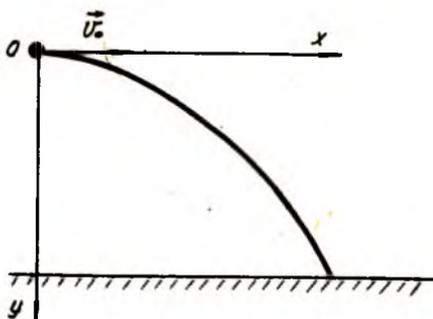
Совместим начало координат с положением элементарного объема воды в момент вылета из ствола. Ось OY направим вертикально вверх (рис. 32). Тогда составляющие начальной скорости $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$;

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$$

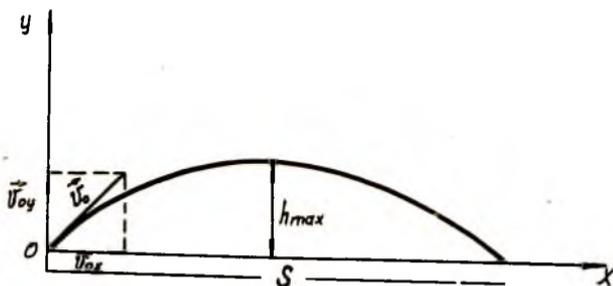
Запишем уравнения движения элементарного объема:

$$x = v_0 \cos \alpha t$$

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$



Р и с. 31.



Р и с. 32.

В момент падения на Землю $y = 0$ и время нахождения элементарного объема воды в воздухе найдем из уравнения

$$v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = 0; \quad t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

За это время элементарный объем воды переместится вдоль оси OX на расстояние

$$S = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g};$$

$$S = 240 \text{ м.}$$

Максимальной высоты подъема достигает за время

$$t' = \frac{t}{2} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Таким образом,

$$h = v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}; \quad h = 42 \text{ м.}$$

96. Тело брошено под углом 60° к горизонту со скоростью 20 м/с. Под каким углом к горизонту движется тело через 1,5 с после начала движения?

О т в е т. $14^\circ 35'$.

Анализ и решение задачи

Совместим начало координат с начальным положением тела, ось OY направим вертикально вверх, а ось OX - в сторону его горизонтального перемещения (рис. 33).

В любой момент времени $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}$,

где v_x и v_y - соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие скорости в

этот момент: $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0$,

$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha_0 - gt$,

где $\alpha_0 = 60^\circ$.

Таким образом,

$$tg \alpha = \frac{v_0 \sin \alpha_0 - gt}{v_0 \cos \alpha_0} = \frac{20 \frac{\sqrt{3}}{2} - 15}{20 \cdot 0,5} \approx 0,2,$$

$$\alpha \approx 14^\circ 35'.$$

97. Под каким углом к горизонту нужно направить струю воды, чтобы высота ее подъема была равна дальности полета?

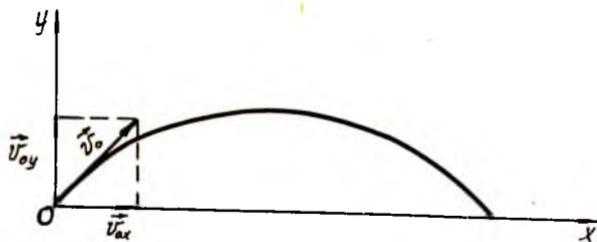
О т в е т. 76° .

Анализ и решение задачи

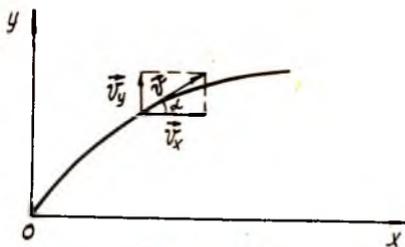
За начало отсчета времени выберем момент вылета струи воды. Совместим начало координат с начальным положением частиц воды (рис. 34). Ось Ox направим в сторону их горизонтального перемещения, а ось Oy - вертикально вверх. Тогда координаты тела в любой момент времени определяются уравнениями:

$$x = v_0 \cos \alpha t; \tag{1}$$

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}. \tag{2}$$



Р и с. 34.



Р и с. 33.

Из равенства (2) выразим время полета частиц воды: при $y = 0$

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

Подставив это значение в выражение (I), получим

$$x = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Высоту подъема струи воды определим из уравнения равноускоренного движения: $v^2 - v_0^2 = 2aS$. В рассматриваемом случае вода падает с высоты h с ускорением $a = g$. Вертикальная составляющая скорости падения воды в идеальном случае равна вертикальной составляющей ее начальной скорости, т.е. $v_0^2 \sin^2 \alpha = 2gh$ и $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$.

Согласно условию $x = h$,

$$\text{т.е. } \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

или $4 \cos \alpha = \sin \alpha$.

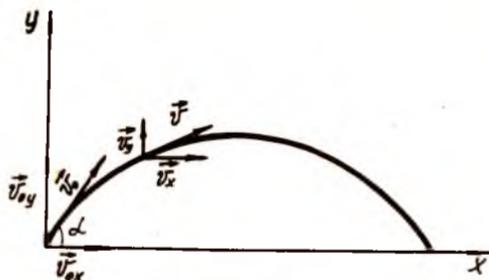
Поделив обе части равенства на $\cos \alpha$, получим $\operatorname{tg} \alpha = 4$, т.е. $\alpha = 76^\circ$.

98. Камень, брошенный со скоростью 10 м/с, имел, спустя 1 с, скорость 8 м/с. Под каким углом был брошен камень и на какую высоту над начальным уровнем он поднялся?

О т в е т. 42° ; 2,45 м.

Анализ и решение задачи

Начало координат совместим с положением камня в начальный момент времени (бросания). Оси Ox и Oy направим вдоль горизонтальной и вертикальной составляющих скорости камня (рис. 35).



Р и с. 35.

Для начального момента времени запишем соотношение

$$v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha + v_0^2 \sin^2 \alpha,$$

где α - угол, под которым камень был брошен. Подобное соотношение между величиной скорости и

ее составляющими через I с запишется так: $v_1^2 = v_x^2 + v_y^2$. Горизонтальная составляющая скорости остается неизменной: $v_x = v_0 \cos \alpha$, а вертикальная составляющая через I с $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$.

Таким образом,

$$v_1^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha + (v_0 \sin \alpha - gt)^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha + v_0^2 \sin^2 \alpha - 2v_0 \sin \alpha gt + g^2 t^2 = v_0^2 - 2v_0 \sin \alpha gt + g^2 t^2,$$

откуда

$$\sin \alpha = \frac{v_0^2 - v_1^2 + g^2 t^2}{2v_0 gt};$$

$$\sin \alpha = 0,68; \alpha = 42^\circ.$$

Максимальная высота, на которую поднялся камень,

$$h_{\max} = \frac{v_y^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g};$$

$$h_{\max} = 2,45 \text{ м}.$$

Задачи для решения

99. Минутная стрелка часов сделала 5 полных оборотов. Вычислить угол поворота стрелки в градусах, радианах; среднюю скорость в град/с, рад/с, об/с, об/мин; число оборотов стрелки в секунду, минуту, час.

0 т в е т. 1800°; 31,40 рад; 6 град/с; 0,105 рад/с;

0,0167 об/с; 1 об/мин.

100. Определить скорость и ускорение точки, находящейся на поверхности Земли в Минске, принимая во внимание только вращение Земли вокруг оси. Широта Минска - 54°, радиус Земли 6400 км.

0 т в е т. 274 м/с; $2 \cdot 10^{-2}$ м/с².

101. Искусственный спутник совершает круговой облет Земли за 1 ч 30 мин. С какой угловой скоростью движется спутник?

0 т в е т. $1,2 \cdot 10^{-3}$ рад/с.

102. Шкив электромотора диаметром 0,2 м делает $12 \cdot 10^3$ оборотов за 10 мин. Определить период и частоту вращения, линейную и угловую скорость точек, лежащих на ободу шкива.

0 т в е т. 0,05 с; 20 Гц; 12,56 м/с; 126,6 рад/с.

103. Минутная стрелка часов в три раза длиннее секундной. Найти отношение линейных скоростей концов стрелок.

О т в е т. 1:20.

104. Волчок, вращаясь с частотой 60 об/с, свободно падает с высоты 1,5 м. Сколько оборотов сделает он во время полета?

О т в е т. 33 об.

105. При каком радиусе вращения материальной точки по окружности ее линейная скорость (м/с) и угловая (рад/с) численно равны между собой?

О т в е т. 1 м.

106. Определить среднюю орбитальную скорость спутника, если средняя высота его орбиты над Землей 1200 км, а период обращения 105 мин?

О т в е т. $7,6 \cdot 10^3$ м/с.

107. На стенке производится сверление отверстия диаметром 20 мм при скорости внешних точек сверла 400 мм/с и подаче 0,50 мм на один оборот сверла. Сколько времени потребуется, чтобы просверлить отверстие в детали толщиной 150 мм?

О т в е т. 47 с.

108. С какой скоростью должен двигаться самолет на экваторе с востока на запад, чтобы пассажирам этого самолета Солнце казалось неподвижно стоящим на небе?

О т в е т. 461,1 м/с.

109. Найти линейную скорость и центростремительное ускорение точек на поверхности Земного шара: а) на экваторе, б) на широте 60° . Средний радиус Земного шара 6400 км.

О т в е т. а) 465 м/с; $0,34$ м/с²; б) 233 м/с; $0,017$ м/с².

110. Тело брошено со стола горизонтально. При падении на пол его скорость равна 7,8 м/с. Высота стола 1,5 м. Чему равна начальная скорость тела?

О т в е т. 5,6 м/с.

111. Дальность полета тела, брошенного в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с, равна высоте бросания. С какой высоты брошено тело?

О т в е т. 20 м.

112. Камень брошен горизонтально со скоростью 15 м/с. Через сколько времени его скорость будет направлена под углом 45° к горизонту?

О т в е т. 1,5 с.

II3. С высоты 45 м одновременно горизонтально в одном направлении брошены два тела со скоростью 5 и 10 м/с. Каково расстояние между ними в момент падения на Землю?

О т в е т. 15 м.

II4. Как изменится время и дальность полета тела, брошенного горизонтально, если скорость бросания увеличится вдвое?

О т в е т. Не изменится; увеличится в два раза.

II5. Камень, брошенный горизонтально с высоты 2,5 м, упал на расстоянии 10 м от места бросания (считая по горизонтали). Найдите его начальную и конечную скорости.

О т в е т. 14 м/с; 15,7 м/с.

II6. Снаряд вылетел из дальнобойной пушки с начальной скоростью 1000 м/с под углом 30° к горизонту. Сколько времени будет находиться снаряд в воздухе? На каком расстоянии от пушки он упадет на Землю? Пушка и точка падения снаряда находятся на одной горизонтали.

О т в е т. $88,7 \cdot 10^3$ м; 100 с.

II7. Камень брошен под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с. Через какое время камень будет на высоте 1 м?

О т в е т. 0,28 с; 0,75 с.

II8. Под каким углом к горизонту следует бросить камень со скоростью 14 м/с, чтобы дальность его полета была равна 10 м.

О т в е т. 15 или 75° .

II9. Камень брошен из начала координат со скоростью 14 м/с. Под каким углом к горизонту его нужно бросить, чтобы он попал в точку с координатами $x = 10$ м, $y = 7,5$ м.

О т в е т. 64° .

II20. Диск, брошенный под углом 45° к горизонту, достиг наибольшей высоты 14 м. Какова дальность полета диска?

О т в е т. 56 м.

II21. Тело, брошенное под углом 40° к горизонту, находилось в полете 4 с. С какой скоростью было брошено тело, какова дальность его полета и высота подъема?

О т в е т. 31 м/с; 95 м; 20 м.

II22. Из окна, расположенного на высоте 20 м, брошен мяч со скоростью 12 м/с под углом 30° вниз от горизонта. Где упадет мяч на землю?

О т в е т. 16 м.

123. Бомбардировщик пикирует на цель под углом 60° к горизонту со скоростью 540 км/ч и сбрасывает бомбу на высоте 600 м . На каком расстоянии от цели по горизонтальному направлению надо освободить бомбу, чтобы она попала в цель?

О т в е т. 300 м .

124. На сколько сила сопротивления воздуха уменьшает дальность полета снаряда, если при начальной скорости 700 м/с , направленной под углом 45° к горизонту, его дальность 10000 м ?

О т в е т. $39 \cdot 10^3 \text{ м}$.

125. Тело брошено под углом 45° к горизонту со скоростью 14 м/с . На какой высоте окажется тело в тот момент, когда его скорость будет составлять с горизонтом угол 30° ? Какова максимальная высота подъема тела? На каком расстоянии от места бросания оно упадет?

О т в е т. $3,33 \text{ м}$; 5 м ; на расстоянии 20 м .

126. Скорость теннисного мяча, отброшенного ракеткой под углом 30° к горизонту, равна $19,6 \text{ м/с}$. Через сколько времени и на каком расстоянии, считая по горизонтальному направлению от места удара ракеткой, мяч будет находиться на высоте 1 м ? Какова скорость мяча в высшей точке траектории? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

О т в е т. $0,11 \text{ с}$; $1,89 \text{ с}$; $1,86 \text{ м}$; $31,9 \text{ м}$; $16,9 \text{ м/с}$.

127. При рытье траншеи с глубины 2 м под углом 79° к горизонту выбрасывается земля со скоростью 7 м/с . Какое расстояние по горизонтали пролетает ком земли?

О т в е т. $1,31 \text{ м}$.

128. Самолет летит на высоте 1500 м с горизонтальной скоростью 200 м/с . Из орудия производят выстрел по самолету в момент, когда последний находился на одной вертикали с дулом орудия. Под каким углом следует произвести выстрел, чтобы попасть в самолет? Начальная скорость снаряда равна 900 м/с .

О т в е т. 77° .

З а д а н и е 1

Вариант	I	II	III	IV
№ задач	5, 10, 17, 22, 30, 33, 46, 48, 50, 55, 58, 62	6, 9, 18, 24, 28, 31, 45, 49, 51, 53, 59, 63	7, 11, 16, 25, 29, 32, 42, 44, 52, 57, 60, 64	8, 12, 15, 23, 27, 34, 43, 47, 54, 56, 61, 65

З а д а н и е 2

Вариант	I	II	III	IV
№ задач	72, 76, 83, 86, 88, 102, 105, 107, 110, 117, 120, 128	71, 77, 82, 87, 90, 101, 103, 108, 111, 118, 122, 126	73, 78, 80, 85, 89, 99, 104, 109, 112, 116, 123, 125	74, 79, 81, 84, 91, 100, 106, 108, 113, 119, 121, 124

С о д е р ж а н и е

П р е д и с л о в и е	3
Алгебраическая и графическая запись механического движения.....	6
Средняя скорость неравномерного движения. Равноускоренное движение.....	12
Механическое движение в разных системах отсчета..	16
Свободное падение тел. Движение тела, брошенного вертикально.....	29
Кинематика криволинейного движения.....	36

Составители: Кира Николаевна Власова,
Людмила Алексеевна Крюкова,
Галина Ивановна Карханина

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ПО КИНЕМАТИКЕ

Редактор Т.К. К р е т и н и н а
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректор Н.С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 22.12.81 г. Формат 60x84^I/₁₆

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.п.л. 2,7. Уч.-изд.л.2,0. Тираж 500 экз.

Заказ № 541 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги,
г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.