

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

## Механическое движение. Траектория. Путь. Перемещение

1. Механическим движением называют изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Существуют различные виды механического движения. Если все точки тела движутся одинаково и любая прямая, проведённая в теле, при его движении остаётся параллельной самой себе, то такое движение называется **поступательным** (рис. 1).

Точки вращающегося колеса описывают окружности относительно оси этого колеса. Колесо как целое и все его точки совершают **вращательное** движение (рис. 2).

Если тело, например шарик, подвешенный на нити, отклоняется от вертикального положения то в одну, то в другую сторону, то его движение является **колебательным** (рис. 3).

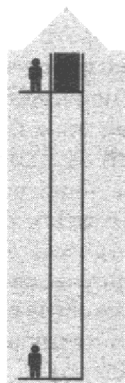


Рис. 1  
Кабина лифта  
движется  
поступательно

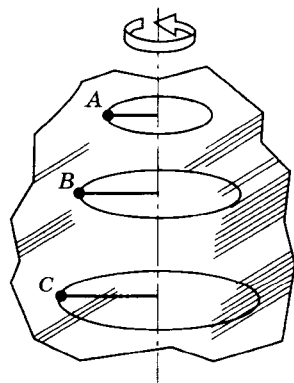


Рис. 2.  
Вращательное  
движение

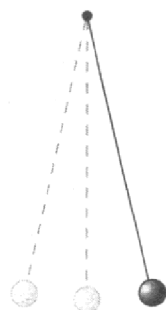


Рис. 3.  
Колеблющийся  
маятник



Рис. 4. Пассажир, сидящий в автобусе, движется относительно деревьев, но покоится относительно автобуса

2. В определение понятия механического движения входят слова «относительно других тел». Они означают, что данное тело может покоиться относительно одних тел и двигаться относительно других тел. Так, пассажир, сидящий в автобусе, движущемся относительно зданий, тоже движется относительно них, но покоится относительно автобуса. Плот, плывущий по течению реки, неподвижен относительно воды, но движется относительно берега (рис. 4). Таким образом, говоря о механическом движении тела, необходимо указывать тело, относительно которого данное тело движется или покоится. Такое тело называют **телом отсчёта**. В приведённом примере с движущимся автобусом в качестве тела отсчёта может быть выбран какой-либо дом, или дерево, или столб около автобусной остановки.

Для определения положения тела в пространстве вводят **систему координат**, которую связывают с телом отсчёта. При рассмотрении движения тела вдоль прямой линии используют одномерную систему координат, т.е. с телом отсчёта связывают одну координатную ось, например ось  $Ox$  (рис. 5).

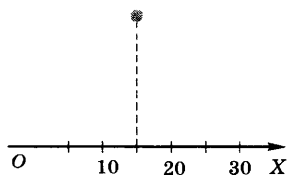


Рис. 5

Если тело движется по криволинейной траектории, то система координат будет уже двухмерной, поскольку положение тела харак-

теризуют две координаты  $X$  и  $Y$  (рис. 6). Таким движением является, например, движение мяча от удара футболиста или стрелы, выпущенной из лука.

Если рассматривается движение тела в пространстве, например движение летящего самолёта, то система координат, связанная с телом отсчёта, будет состоять из трёх взаимно перпендикулярных координатных осей ( $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$ ) (рис. 7).

Поскольку при движении тела его положение в пространстве, т.е. его координаты, изменяются с течением времени, то необходим прибор (часы), который позволяет измерять время и определить, какому моменту времени соответствует та или иная координата.

Таким образом, для определения положения тела в пространстве и изменения этого положения с течением времени необходимы тело отсчёта, связанная с ним система координат и способ измерения времени, т.е. часы, которые все вместе представляют собой систему отсчёта (рис. 7).

**3. Изучить движение тела — это значит определить, как изменяется его положение, т.е. координата, с течением времени.**

Если известно, как изменяется координата со временем, можно определить положение (координату) тела в любой момент времени.

*Основная задача механики состоит в определении положения (координаты) тела в любой момент времени.*

Чтобы указать, как изменяется положение тела с течением времени, нужно установить связь между величинами, характеризующими это движение, т.е. найти математическое описание движения или, иными словами, записать уравнение движения тела.

Раздел механики, изучающий способы описания движения тел, называют **кинематикой**.

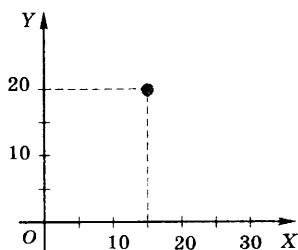


Рис. 6

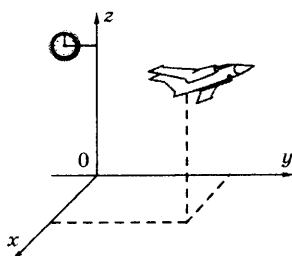


Рис. 7

4. Любое движущееся тело имеет определённые размеры, и его различные части занимают разные положения в пространстве. Возникает вопрос, как в таком случае определить положение тела в пространстве. В целом ряде случаев нет необходимости указывать положение каждой точки тела и для каждой точки записывать уравнение движения.

Так, поскольку при поступательном движении все точки тела движутся одинаково, то нет необходимости описывать движение каждой точки тела.

Движение каждой точки тела не нужно описывать и при решении таких задач, когда размерами тела можно пренебречь. Например, если нас интересует, с какой скоростью пловец проплывает свою дистанцию, то рассматривать движение каждой точки пловца нет необходимости. Если же необходимо определить действующую на мяч выталкивающую силу, то пренебречь размерами пловца уже нельзя. Если мы хотим вычислить время движения космического корабля от Земли до космической станции, то корабль можно считать единым целым и представить в виде некоторой точки. Если же рассчитывается режим стыковки корабля со станцией, то, представив корабль в виде точки, решить эту задачу невозможно.

Таким образом, для решения ряда задач, связанных с движением тел, вводят понятие *материальной точки*.

**Материальной точкой называют тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.**

В приведённых выше примерах материальной точкой можно считать пловца при расчёте скорости его движения, космический корабль при определении времени его движения.

Материальная точка — это модель реальных объектов, реальных тел. Считая тело материальной точкой, мы отвлекаемся от несущественных для решения конкретной задачи признаков, в частности, от размеров тела.

5. При перемещении тело последовательно проходит точки пространства, соединив которые, можно получить линию. Эта линия, вдоль которой движется тело, называется **траекторией**. Траектория может быть видимой или невидимой. Видимую траекторию описывают трамвай при движении по рельсам, лыжник, скользя по лыжне, мел, которым пишут на доске. Траектория летящего самолёта

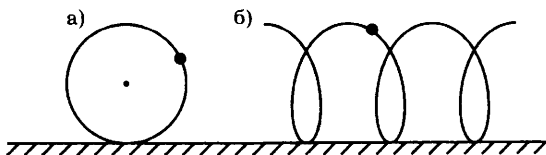


Рис. 8

в большинстве случаев невидима, невидимой является траектория ползущего насекомого.

Траектория движения тела относительна: её форма зависит от выбора системы отсчёта. Так, траекторией точек обода колеса велосипеда, движущегося по прямой дороге, относительно оси колеса является окружность, а относительно Земли — винтовая линия (рис. 8 а, б).

**6.** Одной из характеристик механического движения является путь, пройденный телом. **Путём называют физическую величину, равную расстоянию, пройденному телом вдоль траектории.**

Если известны траектория тела, его начальное положение и пройденный им путь за время  $t$ , то можно найти положение тела в момент времени  $t$ . (рис. 9)

Путь обозначают буквой  $l$  (иногда  $s$ ), основная единица пути 1 м:  $[l] = 1\text{ м}$ . Кратная единица пути — километр ( $1\text{ км} = 1000\text{ м}$ ); дольные единицы — дециметр ( $1\text{ дм} = 0,1\text{ м}$ ), сантиметр ( $1\text{ см} = 0,01\text{ м}$ ) и миллиметр ( $1\text{ мм} = 0,001\text{ м}$ ).

Путь — величина относительная, значение пути зависит от выбора системы отсчёта. Так, путь пассажира, переходящего из конца движущегося автобуса к его передней двери, равен длине автобуса в системе отсчёта, связанной с автобусом. В системе отсчёта, связанной с Землёй, он равен сумме длины автобуса и пути, который проехал автобус относительно Земли.

**7.** Если траектория движения тела неизвестна, то значение пути не позволит установить его положение в любой момент времени, поскольку направление движения тела

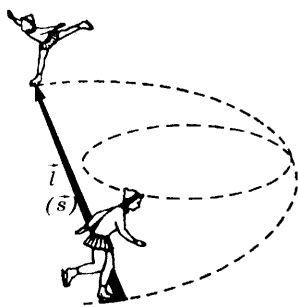


Рис. 9. Криволинейная траектория

не определено. В этом случае используют другую характеристику механического движения — **перемещение**.

**Перемещение** — вектор, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением (рис. 10)

Перемещение — векторная физическая величина, имеет направление и числовое значение, обозначается  $\vec{s}$ . Единица перемещения  $[s] = 1 \text{ м}$ .

Зная начальное положение тела, его перемещение (направление и модуль) за некоторый промежуток времени, можно определить положение тела в конце этого промежутка времени.

Следует иметь в виду, что перемещение в общем случае не совпадает с траекторией, а модуль перемещения — с пройденным путём. Это совпадение имеет место лишь при движении тела по прямолинейной траектории в одну сторону. Например, если пловец проплыл 100-метровую дистанцию в бассейне, длина дорожки которого 50 м, то его путь равен 100 м, а модуль перемещения равен нулю.

Перемещение, так же как и путь, величина относительная, зависит от выбора системы отсчёта.

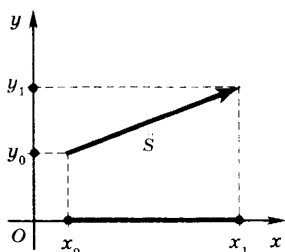


Рис. 10. Вектор перемещения в системе координат  $ХОУ$

При решении задач пользуются проекциями вектора перемещения. На рисунке 10 изображены система координат и вектор перемещения в этой системе координат.

Координаты начала перемещения —  $x_0, y_0$ ; координаты конца перемещения —  $x_1, y_1$ . Проекция вектора перемещения на ось  $OX$  равна:  $s_x = x_1 - x_0$ . Проекция вектора перемещения на ось  $OY$  равна:  $s_y = y_1 - y_0$ .

Модуль вектора перемещения равен:  $s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$ .

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. В состав системы отсчёта входят
  - 1) только тело отсчёта
  - 2) только тело отсчёта и система координат



8. Мяч падает с высоты 2 м и после удара о пол поднимается на высоту 1,3 м. Чему равны путь  $l$  и модуль перемещения  $s$  мяча за всё время движения?

- 1)  $l = 3,3$  м,  $s = 3,3$  м      3)  $l = 0,7$  м,  $s = 0,7$  м  
2)  $l = 3,3$  м,  $s = 0,7$  м      4)  $l = 0,7$  м,  $s = 3,3$  м

9. Решают две задачи. 1. Рассчитывают скорость движения поезда между двумя станциями. 2. Определяют силу трения, действующую на поезд. При решении какой задачи поезд можно считать материальной точкой?

- 1) только первой  
2) только второй  
3) и первой, и второй  
4) ни первой, ни второй

10. Точка обода колеса при движении велосипеда описывает половину окружности радиуса  $R$ . Чему равны при этом путь  $l$  и модуль перемещения  $s$  точки обода?

- 1)  $l = 2R$ ,  $s = 2R$       3)  $l = 2R$ ,  $s = \pi R$   
2)  $l = \pi R$ ,  $s = 2R$       4)  $l = \pi R$ ,  $s = \pi R$

11. Установите соответствие между элементами знаний в левом столбце и понятиями в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами понятия правого столбца.

ЭЛЕМЕНТ ЗНАНИЙ	ПОНЯТИЕ
А) физическая величина	1) траектория
Б) единица величины	2) путь
В) измерительный прибор	3) секундомер
	4) километр
	5) система отсчёта

12. Установите соответствие между величинами в левом столбце и характером величины в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами понятия правого столбца.

ВЕЛИЧИНА	ХАРАКТЕР ВЕЛИЧИНЫ
А) путь	1) скалярная
Б) перемещение	2) векторная
В) проекция перемещения	



## Часть 2

13. Автомобиль свернул на дорогу, составляющую угол  $30^\circ$  с главной дорогой, и совершил по ней перемещение, модуль которого равен 20 м. Определите проекцию перемещения автомобиля на главную дорогу и на дорогу, перпендикулярную главной дороге.

### Равномерное прямолинейное движение

**1. Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором тело за **любые равные** промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Слова «**любые равные**» означают, что за каждый час, за каждую минуту, за каждые 30 минут, за каждую секунду, за каждую долю секунды тело совершает одинаковые перемещения.

Равномерное движение — идеализация, поскольку практически невозможно создать такие условия, чтобы движение тела было равномерным в течение достаточно большого промежутка времени. Реальное движение может лишь приближаться к равномерному движению с той или иной степенью точности.

**2. Изменение положения тела в пространстве при равномерном движении** может происходить с разной быстротой. Это свойство движения — его «быстрота» характеризуется физической величиной, называемой скоростью.

**Скоростью равномерного прямолинейного движения** называют векторную физическую величину, равную отношению перемещения ко времени, за которое это перемещение произошло.

Если за время  $t$  тело совершило перемещение  $\vec{s}$ , то скорость его движения  $\vec{v}$  равна  $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$ .

Единица скорости:  $[v] = \frac{[s]}{[t]}$ ;  $[v] = \frac{1\text{ м}}{1\text{ с}} = 1\text{ м/с}$ . За единицу скорости принимается 1 м/с — скорость такого равномерного движения, при котором тело за 1 с совершает перемещение 1 м.

Зная скорость равномерного движения, можно найти перемещение за любой промежуток времени:  $\vec{s} = \vec{v}t$  Вектор скорости и вектор перемещения направлены в одну сторону — в сторону движения тела.

3. Поскольку основной задачей механики является определение в любой момент времени положения тела, т.е. его координаты, необходимо записать уравнение зависимости координаты тела от времени при равномерном движении.

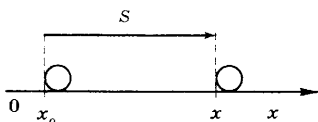


Рис. 11

Пусть  $\vec{s}$  — перемещение тела (рис. 11). Направим координатную ось  $OX$  по направлению перемещения. Найдем проекцию перемещения на координатную ось  $OX$ . На рисунке  $x_0$  — координата начальной точки перемещения,  $x$  — координата конечной точки перемещения. Проекция перемещения равна разности координат конечной и начальной точек:  $\vec{s}_x = x - x_0$ . С другой стороны, проекция перемещения равна проекции скорости, умноженной на время, т.е.  $\vec{s}_x = \vec{v}_x t$ . Откуда  $x - x_0 = \vec{v}_x t$  или  $x = x_0 + \vec{v}_x t$ . Если начальная координата  $x_0 = 0$ , то  $x = \vec{v}_x t$ .

Полученная формула позволяет определить координату тела при равномерном движении в любой момент времени, если известны начальная координата и проекция скорости движения.

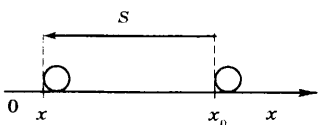


Рис. 12

Проекция скорости может быть как положительной, так и отрицательной. Проекция скорости положительна, если направление движения совпадает с положительным направлением оси  $OX$  (рис. 12). В этом случае  $x > x_0$ . Проекция скорости отрицательна, если тело движется против положительного направления оси  $OX$  (рис. 12). В этом случае  $x < x_0$ .

4. Зависимость координаты от времени можно представить графически.

Предположим, что тело движется из начала координат вдоль положительного направления оси  $OX$  с постоянной скоростью. Проекция скорости на ось  $OX$  равна 4 м/с. Уравнение движения в этом случае имеет вид:  $x = 4 \text{ м/с} \cdot t$ . Зависимость координаты от времени — линейная. Графиком такой зависимости является прямая линия, проходящая через начало координат (рис. 13).

Для того чтобы её построить, необходимо иметь две точки: одна из них  $t = 0$  и  $x = 0$ , а другая  $t = 1$  с,  $x = 4$  м. На рисунке приведён график зависимости координаты от времени, соответствующий данному уравнению движения.

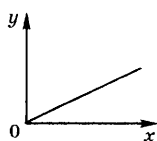


Рис. 13

Если в начальный момент времени координата тела  $x_0 = 2$  м, а проекция его скорости  $v_x = 4$  м/с, то уравнение движения имеет вид:  $x = 2$  м +  $4$  м/с  $\cdot t$ . Это тоже линейная зависимость координаты от скорости, и её графиком является прямая линия, проходящая через точку, для которой  $t = 0$ ,  $x = 2$  м (рис. 14).

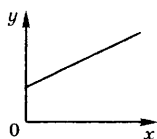


Рис. 14

В том случае, если проекция скорости отрицательна, уравнение движения имеет вид:  $x = 2$  м -  $4$  м/с  $\cdot t$ . График зависимости координаты такого движения от времени представлен на рисунке 15.

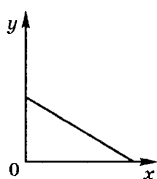


Рис. 15

Таким образом, движение тела может быть описано аналитически, т.е. с помощью уравнения движения (уравнения зависимости координаты тела от времени), и графически, т.е. с помощью графика зависимости координаты тела от времени.

График зависимости проекции скорости равномерного прямолинейного движения от времени представлен на рисунке 16.

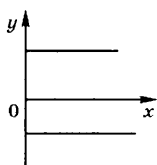


Рис. 16

5. Ниже приведён пример решения основной задачи кинематики — определения положения тела в некоторый момент времени.

*Задача. Два автомобиля движутся навстречу друг другу равномерно и прямолинейно: один со скоростью 15 м/с, другой — со скоростью 12 м/с. Определите время и место встречи автомобилей, если в начальный момент времени расстояние между ними равно 270 м.*

При решении задачи целесообразно придерживаться следующей последовательности действий:

1. Кратко записать условие задачи.

2. Проанализировать ситуацию, описанную в условии задачи:

— выяснить, можно ли принять движущиеся тела за материальные точки;

— сделать рисунок, изобразив на нём векторы скорости;

— выбрать систему отсчёта — тело отсчёта, направления координатных осей, начало отсчёта координат, начало отсчёта времени; записать начальные условия (значения координат в начальный момент времени) для каждого тела.

1. Записать в общем виде уравнение движения в векторной форме и для проекций на координатные оси.

2. Записать уравнение движения для каждого тела с учётом начальных условий и знаков проекций скорости.

3. Решить задачу в общем виде.

4. Подставить в формулу значения величин и выполнить вычисления.

5. Проанализировать ответ.

Применим эту последовательность действий к приведённой выше задаче.

Дано:

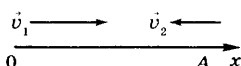
$$v_1 = 15 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 12 \text{ м/с}$$

$$l = 270 \text{ м}$$

$$t - ? \quad x - ?$$

Автомобили можно считать материальными точками, поскольку расстояние между ними много больше их размеров и размерами автомобилей можно пренебречь



Система отсчёта связана с Землёй, ось  $Ox$  направлена в сторону движения первого тела, начало отсчёта координаты — т.  $O$  — положение первого тела в начальный момент времени.

Начальные условия:  $t = 0$ ;  $x_{01} = 0$ ;  $x_{02} = 270$ .

Уравнение в общем виде:  $\vec{s} = \vec{v}t$ ;  $x = x_0 + v_x t$ .

Уравнения для каждого тела с учётом начальных условий:  $x_1 = v_1 t$ ;  $x_2 = l - v_2 t$ . В месте встречи тел  $x_1 = x_2$ ;

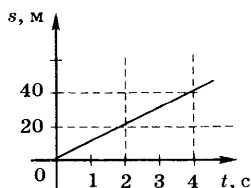
следовательно:  $v_1 t = l - v_2 t$ . Откуда  $t = \frac{l}{v_1 + v_2} \cdot t = 10 \text{ с}$ .

Подставив значение времени в уравнение для координаты первого автомобиля, получим значение координаты места встречи автомобилей:  $x = 150 \text{ м}$ .



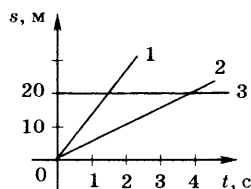
6. На рисунке приведён график зависимости пути, пройденного телом при равномерном движении от времени. Модуль скорости тела равен

- 1) 0,1 м/с                      3) 20 м/с  
2) 10 м/с                      4) 40 м/с



7. На рисунке приведены графики зависимости пути от времени для трёх тел. Сравните значения скорости  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$  движения этих тел.

- 1)  $v_1 = v_2 = v_3$   
2)  $v_1 > v_2 > v_3$   
3)  $v_1 < v_2 < v_3$   
4)  $v_1 = v_2, v_3 < v_1$



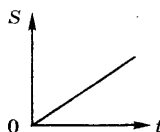
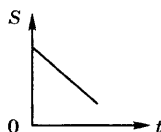
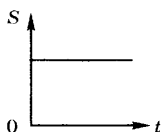
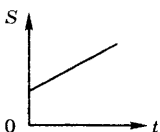
8. Какой из приведённых ниже графиков представляет собой график зависимости пути от времени при равномерном движении тела?

1)

2)

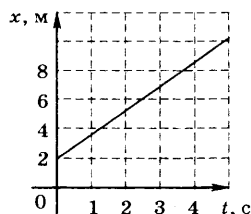
3)

4)



9. На рисунке приведён график зависимости координаты тела от времени. Чему равна координата тела в момент времени 6 с?

- 1) 9,8 м  
2) 6 м  
3) 4 м  
4) 2 м



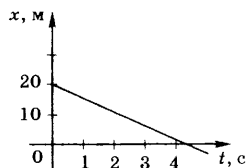
10. Уравнение движения тела, соответствующее приведённому в задаче 9 графику, имеет вид

- 1)  $x = 1t$  (м)                      3)  $x = 2 - 1t$  (м)  
2)  $x = 2 + 3t$  (м)                      4)  $x = 4 + 2t$  (м)

11. Установите соответствие между величинами в левом столбце и зависимостью значения величины от выбора системы отсчёта в правом столбце. В таблице под номером элемента знаний левого столбца запишите соответствующий номер выбранного вами элемента правого столбца.

ВЕЛИЧИНА	ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА
А) перемещение	1) зависит
Б) время	2) не зависит
В) скорость	

12. На рисунке приведён график зависимости координаты тела от времени. Какие выводы можно сделать из анализа графика? Укажите два правильных ответа.



- 1) тело двигалось все время в одну сторону
- 2) в течение четырёх секунд модуль скорости тела уменьшался, а затем увеличивался
- 3) проекция скорости тела все время была положительной
- 4) проекция скорости тела в течение четырёх секунд была положительной, а затем — отрицательной
- 5) в момент времени 4 с тело остановилось

## Часть 2

13. Два автомобиля движутся друг за другом равномерно и прямолинейно: один со скоростью 20 м/с, другой — со скоростью 15 м/с. Через какое время второй автомобиль догонит первый, если в начальный момент времени расстояние между ними равно 100 м?

## Скорость. Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение

1. Реальное механическое движение — это движение с изменяющейся скоростью. Движение, скорость которого с течением времени изменяется, называют *неравномерным движением*.

При неравномерном движении координату тела уже нельзя определить по формуле  $x = x_0 + v_x t$ , так как значение скорости движения не является постоянным. Поэтому для характеристики быстроты изменения положения тела с течением времени при неравномерном движении вводят величину, называемую *средней скоростью*.

**Средней скоростью  $\vec{v}_{ср.}$  неравномерного движения называют физическую величину, равную отношению перемещения  $\vec{s}$  тела ко времени  $t$ , за которое оно произошло:**

$$\vec{v}_{ср.} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

Записанная формула определяет среднюю скорость как векторную величину. В практических целях этой формулой можно воспользоваться для определения модуля средней скорости лишь в том случае, когда тело движется вдоль прямой в одну сторону. Если же нужно определить среднюю скорость движения автомобиля от Москвы до Санкт-Петербурга и обратно, чтобы рассчитать расход бензина, то эту формулу применить нельзя, поскольку перемещение в этом случае равно нулю и средняя скорость тоже равна нулю. Поэтому на практике при определении средней скорости пользуются величиной, равной отношению пути  $l$  ко времени  $t$ , за которое этот путь пройден:  $v_{ср.} = \frac{l}{t}$ . Эта скорость обычно называется *средней путевой скоростью*.

2. Важно, что, зная среднюю скорость неравномерного движения на каком-либо участке траектории, нельзя определить положение тела на этой траектории в любой момент времени. Например, если средняя скорость движения автомобиля за 2 часа 50 км/ч, то мы не можем сказать, где он находился через 0,5 часа от начала движения, через 1 час, 1,5 часа и т.п., поскольку он мог первые полчаса двигаться со скоростью 80 км/ч, затем какое-то время стоять, а какое-то время ехать в пробке со скоростью 20 км/ч.

3. Двигаясь по траектории, тело проходит последовательно все её точки. В каждой точке траектории оно находится в определённые моменты времени и имеет какую-то скорость.

Мгновенной скоростью называют скорость тела в данный момент времени в данной точке траектории.



Предположим, некоторое тело совершает неравномерное прямолинейное движение (рис. 17), его скорость в точке  $O$  можно определить следующим образом: выделим на траектории участок  $AB$ , внутри которого находится точка  $O$ . Перемещение тела на этом участке —  $\vec{s}_1$  совершено за время  $t_1$ . Средняя скорость движения на этом участке —

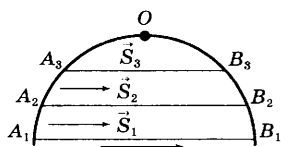


Рис. 17

$\vec{v}_{cp.1} = \frac{s_1}{t_1}$ . Уменьшим перемещение тела. Пусть оно равно  $\vec{s}_2$ , а время движения —  $t_2$ . Тогда средняя скорость за это время:

$\vec{v}_{cp.2} = \frac{s_2}{t_2}$ . Ещё уменьшим перемещение, средняя скорость на этом участке:

$\vec{v}_{cp.3} = \frac{s_3}{t_3}$ .

При дальнейшем уменьшении перемещения и соответственно времени движения тела они станут такими маленькими, что прибор, например спидометр, перестанет фиксировать изменение скорости, и движение за этот малый промежуток времени можно считать равномерным. Средняя скорость на этом участке и есть мгновенная скорость тела в т.О.

Таким образом, **мгновенной скоростью называют векторную физическую величину, равную отношению малого перемещения ( $\Delta\vec{s}$ ) к малому промежутку времени  $\Delta t$ , за которое это перемещение произошло:**

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}.$$

4. Одним из видов неравномерного движения является равноускоренное движение. **Равноускоренным движением называют движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одно и то же значение.**

Слова «любые равные промежутки времени» означают, что какие бы равные промежутки времени (2 с, 1 с, доли секунды и т.п.) мы ни взяли, скорость всегда будет изменяться одинаково. При этом её модуль может как увеличиваться, так и уменьшаться.

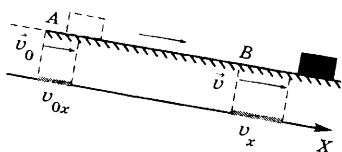


Рис. 18

5. Характеристикой равноускоренного движения, помимо скорости и перемещения, является ускорение.

Пусть в начальный момент времени  $t_0 = 0$  скорость тела равна  $\vec{v}_0$ . В некоторый момент времени  $t$  она стала равной  $\vec{v}$ . Изменение скорости за промежуток времени  $t - t_0 = t$  равно  $\vec{v} - \vec{v}_0$  (рис. 18). Изменение скорости за единицу времени равно:  $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ . Эта величина и есть ускорение тела, она характеризует быстроту изменения скорости  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ .

Ускорение тела при равноускоренном движении — векторная физическая величина, равная отношению изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло.

Единица ускорения  $[a] = [v]/[t]$ ;  $[a] = 1 \text{ м/с}/1 \text{ с} = 1 \text{ м/с}^2$ .  $1 \text{ м/с}^2$  — это такое ускорение, при котором скорость тела изменяется за 1 с на 1 м/с.

Направление ускорения совпадает с направлением скорости движения, если модуль скорости увеличивается, ускорение направлено противоположно скорости движения, если модуль скорости уменьшается.

6. Преобразовав формулу ускорения, можно получить выражение для скорости тела при равноускоренном движении:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ . Если начальная скорость тела  $v_0 = 0$ , то  $\vec{v} = \vec{a}t$ .

Чтобы определить значение скорости равноускоренного движения в любой момент времени, следует записать уравнение для проекции скорости на ось OX. Оно имеет вид:  $v_x = v_{0x} + a_x t$ ; если  $v_{0x} = 0$ , то  $v_x = a_x t$ .

7. Как видно из формулы скорости равноускоренного движения, она линейно зависит от времени. Графиком зависимости модуля скорости от времени является прямая, составляющая некоторый угол с осью абсцисс (осью времени).

На рисунке 19 приведены графики зависимости модуля скорости от времени.

График 1 соответствует движению без начальной скорости с ускорением, направленным так же, как и скорость; график 2 — движению с начальной скоростью  $v_{02}$  и с ускорением, направленным так же, как и скорость; график 3 — движению с начальной скоростью  $v_{03}$  и с ускорением, направленным в сторону, противоположную направлению скорости.

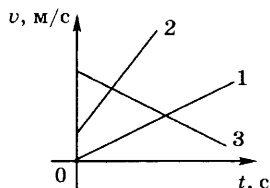


Рис. 19

8. На рисунке приведены графики зависимости проекции скорости равноускоренного движения от времени (рис. 20).

График 1 соответствует движению без начальной скорости с ускорением, направленным вдоль положительного направления оси X; график 2 — движению с начальной скоростью  $v_{02}$ , с ускорением и скоростью, направленными вдоль положительного направления оси X; график 3 — движению с начальной скоростью  $v_{03}$ : до момента времени  $t_0$  направление скорости совпадает с положительным направлением оси X, ускорение направлено в противоположную сторону. В момент времени  $t_0$  скорость равна нулю, а затем и скорость, и ускорение направлены в сторону, противоположную положительному направлению оси X.

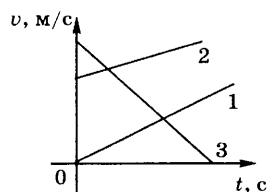


Рис. 20

9. На рисунке 21 приведены графики зависимости проекции ускорения равноускоренного движения от времени.

График 1 соответствует движению, проекция ускорения которого положительна, график 2 — движению, проекция ускорения которого отрицательна.

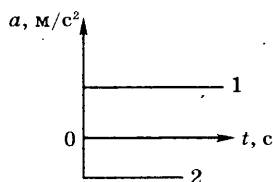


Рис. 21

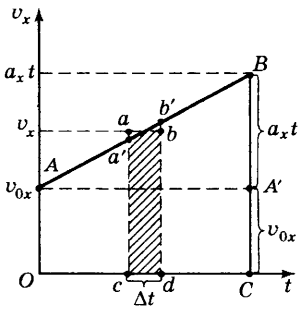


Рис. 22

10. Формулу перемещения тела при равноускоренном движении можно получить, используя график зависимости проекции скорости этого движения от времени (рис. 22).

Выделим на графике малый участок  $ab$  и опустим перпендикуляры из точек  $a$  и  $b$  на ось абсцисс. Если промежуток времени  $\Delta t$ , соответствующий участку  $cd$  на оси абсцисс мал, то можно считать, что скорость в течение этого промежутка времени не изменяется и тело движется равномерно. В этом случае фигура  $cabd$  мало отличается от прямоугольника и её площадь численно равна проекции перемещения тела за время, соответствующее отрезку  $cd$ .

На такие полоски можно разбить всю фигуру  $OABC$ , и её площадь равна сумме площадей всех полосок. Следовательно, проекция перемещения тела за время  $t$  численно равна площади трапеции  $OABC$ . Площадь трапеции равна произведению полусуммы её оснований на высоту:

$$S_x = \frac{1}{2} (OA + BC)OC.$$

Как видно из рисунка,  $OA = v_{0x}$ ,  $BC = v_x$ ,  $OC = t$ . Отсюда следует, что проекция перемещения выражается формулой:

$$S_x = \frac{1}{2} (v_x + v_{0x})t. \text{ Так как } v_x = v_{0x} + a_x t, \text{ то } S_x = \frac{1}{2} (2v_{0x} + a_x t)t,$$

отсюда:  $S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ . Если начальная скорость равна

нулю, то формула имеет вид:  $S_x = \frac{at^2}{2}$ . Проекция пере-

мещения равна разности координат  $S_x = x - x_0$ , поэтому:

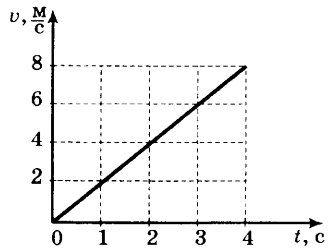
$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{at^2}{2}, \text{ или } x = x_{0x} + v_{0x}t + \frac{at^2}{2}.$$

Полученная формула позволяет определить положение (координату) тела в любой момент времени, если известны начальная скорость, начальная координата и ускорение.





7. Используя график зависимости скорости движения тела от времени, определите его ускорение.



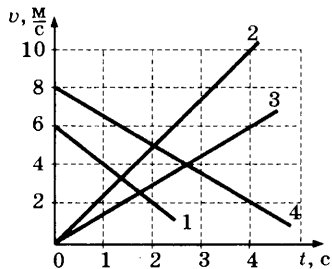
- 1)  $1 \text{ м/с}^2$
- 2)  $-1 \text{ м/с}^2$
- 3)  $2 \text{ м/с}^2$
- 4)  $-2 \text{ м/с}^2$

8. При изучении равноускоренного движения измеряли скорость тела в определённые моменты времени. Полученные данные, приведённые в таблице. Чему равна скорость тела в момент времени 3 с?

Время, с	0	1	3
Скорость, м/с	8	6	?

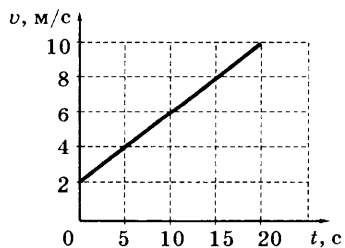
- 1)  $0 \text{ м/с}$
- 2)  $2 \text{ м/с}$
- 3)  $4 \text{ м/с}$
- 4)  $14 \text{ м/с}$

9. На рисунке приведены графики зависимости скорости движения четырёх тел от времени. Ускорение какого из тел равно  $-1,5 \text{ м/с}^2$ ?



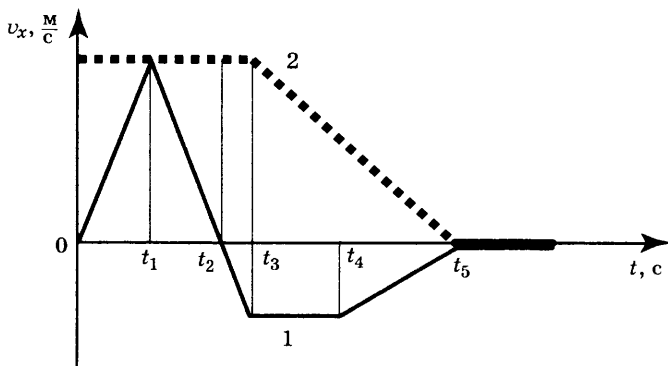
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

10. Используя график зависимости скорости движения тела от времени, определите скорость тела в конце 30-й секунды. Считать, что характер движения тела не изменился.



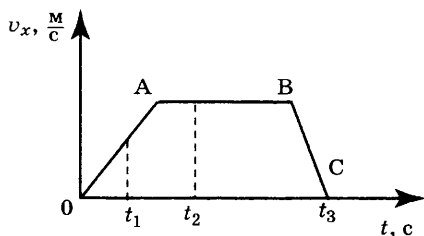
- 1)  $14 \text{ м/с}$
- 2)  $20 \text{ м/с}$
- 3)  $62 \text{ м/с}$
- 4)  $69,5 \text{ м/с}$

11. Два тела движутся по оси  $Ox$ . На рисунке представлены графики зависимости проекции скорости движения тел 1 и 2 от времени.



Используя данные графика, выберите из предложенного перечня **два** верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) В промежутке времени  $t_3 - t_5$  тело 2 движется равноускоренно.
  - 2) К моменту времени  $t_2$  от начала движения тела прошли одинаковые пути.
  - 3) В промежутке времени  $0 - t_3$  тело 2 находится в покое.
  - 4) В момент времени  $t_5$  тело 1 останавливается.
  - 5) В промежутке времени  $t_3 - t_4$  ускорение  $a_x$  тела 1 отрицательно.
12. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости от времени для тела, движущегося вдоль оси  $Ox$ .





Используя данные графика, выберите из предложенного перечня *два* верных утверждения. Укажите их номера.

- 1) Участок OA соответствует ускоренному движению тела.
- 2) Участок АВ соответствует состоянию покоя тела.
- 3) В момент времени  $t_1$  тело имело максимальное по модулю ускорение.
- 4) Момент времени  $t_3$  соответствует остановке тела.
- 5) В момент времени  $t_2$  тело имело максимальное по модулю ускорение.

## Часть 2

13. Зависимость координаты от времени для некоторого тела описывается уравнением  $x = 12t - t^2$ . В какой момент времени скорость движения равна нулю?

### Свободное падение

1. **Свободное падение** — падение тел в безвоздушном пространстве под действием притяжения к Земле. Наблюдения свидетельствуют о том, что скорость свободно падающего тела увеличивается с течением времени. Поскольку на свободно падающее тело действует единственная сила — сила тяжести, то его ускорение постоянно, т.е. свободное падение — движение равноускоренное.

2. Опыт показывает, что все свободно падающие тела движутся с одинаковым ускорением. Так, если вертикально расположенную трубку, в которой находятся три тела, имеющие разную массу: пёрышко, кусочек пробки и дробинку, перевернуть, то эти тела будут падать на дно трубки. При этом, если в трубке есть воздух, то из-за сопротивления воздуха они упадут не одновременно: дробинка упадёт раньше всех, а пёрышко позже всех тел. Если же воздух из трубки откачать, то тела упадут на дно одновременно.

3. Ускорение свободного падения обозначается буквой  $g$ , оно имеет одинаковое для всех тел значение при одинаковых условиях. Для широты Москвы оно равно  $9,81 \text{ м/с}^2$  или  $10 \text{ м/с}^2$ .

Значение ускорения свободного падения зависит от географической широты местности. Это объясняется тем, что

сила тяжести, действующая на данное тело на экваторе, меньше, чем сила тяжести, действующая на него на полюсе. Поэтому ускорение свободного падения на полюсе равно  $9,83 \text{ м/с}^2$ , а на экваторе —  $9,78 \text{ м/с}^2$ .

Ускорение свободного падения зависит от высоты тела над поверхностью Земли. Чем выше поднято тело, тем слабее оно притягивается к Земле, тем меньше ускорение свободного падения.

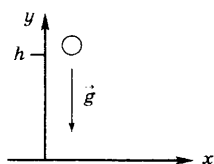


Рис. 23

4. Уравнения зависимости от времени модуля скорости, пути и модуля перемещения свободно падающего тела с высоты  $h$  (рис. 23).

$$v = gt; l = gt^2/2; s = gt^2/2.$$

Уравнения зависимости от времени проекции скорости и координаты свободно падающего тела с некоторой высоты тела:

$$v_y = g_y t; y = y_0 + g_y t^2/2.$$

Знаки проекций зависят от направления оси координат и начала координат. В соответствии с рисунком

$$v_y = -gt; y = h - gt^2/2.$$

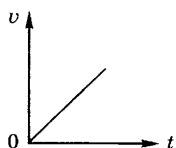


Рис. 24

5. График зависимости модуля скорости от времени при свободном падении приведён на рисунке (рис. 24)

6. График зависимости проекции скорости от времени при свободном падении приведены на рисунке (ось Y направлена вертикально вверх) (рис. 25).

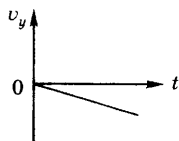


Рис. 25

7. Тело, брошенное вертикально вверх, тоже движется равноускоренно с ускорением  $g$ , которое направлено вертикально вниз. В этом случае, в отличие от свободного падения, скорость и ускорение движения направлены в противоположные стороны (рис. 26).

8. Уравнения зависимости от времени модуля скорости, пути и модуля перемещения тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ :

$$v = v_0 - gt; l = v_0 t - gt^2/2; s = v_0 t - gt^2/2.$$

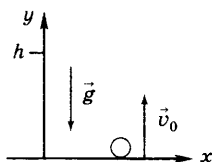


Рис. 26

Записанная формула зависимости пути от времени может быть использована только при движении тела в одну сторону (в данном случае вверх).

Уравнения зависимости от времени проекции скорости и координаты тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$  (ось  $Y$  направлена вертикально вверх):

$v_y = v_{0y} + g_y t$ ;  $y = y_0 + v_{0y} t + g_y t^2/2$ . Если тело брошено из начала координат, то  $y_0 = 0$  и  $y = v_0 t - gt^2/2$ ,  $v_y = v_0 - gt$ .

9. График зависимости модуля скорости от времени при движении тела вертикально вверх приведён на рисунке (рис. 27).

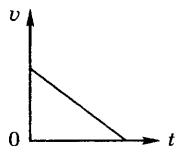


Рис. 27

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

- Свободное падение — это
  - любое движение тела в безвоздушном пространстве
  - движение тела вертикально вверх в безвоздушном пространстве
  - падение тела в безвоздушном пространстве
  - падение тела в как безвоздушном пространстве, так и в воздухе
- В трубке, из которой откачали воздух, одновременно с одной высоты начали падать три шарика: пенопластовый, пластилиновый и железный. Какой из шариков раньше коснется дна трубки?
  - пенопластовый
  - пластилиновый
  - железный
  - все шарики коснутся дна одновременно
- Значение ускорения свободного падения зависит от
  - Массы тела.
  - Широты местности.Верными являются ответы:
  - только А
  - только Б
  - и А, и Б
  - ни А, ни Б

4. Мяч падает с одинаковой высоты на поверхность Земли из состояния покоя на экваторе и на широте Москвы. В отсутствие сопротивления воздуха время падения мяча на экваторе

- 1) равно времени его падения на широте Москвы
- 2) больше времени его падения на широте Москвы
- 3) меньше времени его падения на широте Москвы
- 4) ответ может быть любым в зависимости от объёма мяча

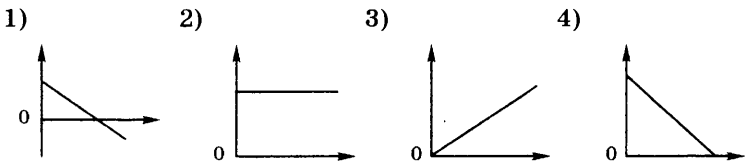
5. Мяч падает с одинаковой высоты на поверхность Земли из состояния покоя на экваторе и на широте Москвы. В отсутствие сопротивления воздуха скорость мяча у поверхности Земли на экваторе

- 1) равна его скорости на широте Москвы
- 2) больше его скорости на широте Москвы
- 3) меньше его скорости на широте Москвы
- 4) ответ может быть любым в зависимости от объёма мяча

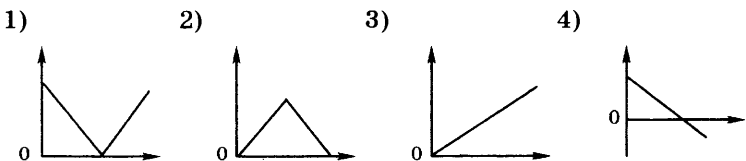
6. По какой формуле рассчитывается модуль скорости тела, брошенного вертикально вверх с поверхности Земли

- 1)  $v = v_0 + gt$
- 2)  $v = v_0 - gt$
- 3)  $v = v_0 + gt/2$
- 4)  $v = gt$

7. Какой из приведённых ниже графиков является графиком зависимости модуля скорости от времени свободного падения тела?



8. Какой из приведённых ниже графиков является графиком зависимости от времени проекции скорости тела, брошенного вертикально вверх, достигшего верхней точки и затем упавшего на Землю?





## Равномерное движение тела по окружности

1. Движением тела по окружности называют движение, траекторией которого является окружность. По окружности движутся, например, конец стрелки часов, точки лопасти вращающейся турбины, вращающегося вала двигателя и др.

При движении по окружности направление скорости непрерывно изменяется. При этом модуль скорости тела может изменяться, а может оставаться неизменным. Движение, при котором изменяется только направление скорости, а её модуль сохраняется постоянным, называется **равномерным движением тела по окружности**. Под телом в данном случае имеют в виду материальную точку.

2. Движение тела по окружности характеризуется определёнными величинами. К ним относятся, прежде всего, период и частота обращения. **Период обращения тела по окружности  $T$**  — время, в течение которого тело совершает один полный оборот. Единица периода —  $[T] = 1 \text{ с}$ .

**Частота обращения ( $n$ )** — число полных оборотов тела за одну секунду:  $n = N/t$ . Единица частоты обращения —  $[n] = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$  (герц). Один герц — это такая частота, при которой тело совершает один оборот за одну секунду.

Связь между частотой и периодом обращения выражается формулой:  $n = 1/T$ .

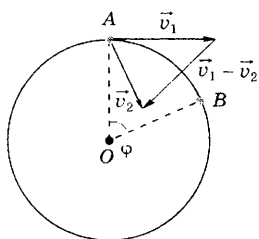


Рис. 28

Пусть некоторое тело, движущееся по окружности, за время  $t$  переместилось из точки А в точку В. Радиус, соединяющий центр окружности с точкой А, называют **радиусом-вектором**. При перемещении тела из точки А в точку В радиус-вектор повернётся на угол  $\varphi$ .

Быстроту обращения тела характеризуют **угловая и линейная скорости**.

**Угловая скорость  $\omega$**  — физическая величина, равная отношению угла поворота радиуса-вектора к промежутку времени, за которое этот поворот произошёл:  $\omega = \varphi/t$ . Единица угловой скорости — радиан в секунду, т.е.  $[\omega] = 1 \text{ рад/с}$ . За время, равное периоду обращения, угол поворота радиуса-вектора равен  $2\pi$ . Поэтому  $\omega = 2\pi/T$ .

**Линейная скорость тела  $v$**  — скорость, с которой тело движется вдоль траектории. Линейная скорость при равномерном движении по окружности постоянна по модулю, меняется по направлению и направлена по касательной к траектории.

**Линейная скорость** равна отношению пути, пройденному телом вдоль траектории, ко времени, за которое этот путь пройден:  $\vec{v} = l/t$ . За один оборот точка проходит путь, равный длине окружности. Поэтому  $\vec{v} = 2\pi R/T$ . Связь между линейной и угловой скоростью выражается формулой:  $v = \omega R$ .

Из этого равенства следует, что чем дальше от центра окружности расположена точка вращающегося тела, тем больше её линейная скорость.

4. Ускорение тела равно отношению изменения его скорости ко времени, за которое оно произошло. При движении тела по окружности изменяется направление скорости, следовательно, разность скоростей не равна нулю, т.е. тело движется с ускорением. Оно определяется по формуле:

$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$  и направлено так же, как вектор изменения скорости. Это ускорение называется **центростремительным ускорением**.

**Центростремительное ускорение** при равномерном движении тела по окружности — физическая величина, равная отношению квадрата линейной скорости к радиусу

окружности:  $a = \frac{v^2}{R}$ . Так как  $v = \omega R$ , то  $a = \omega^2 R$ .

При движении тела по окружности его центростремительное ускорение постоянно по модулю и направлено к центру окружности.

## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ

### Часть 1

1. При равномерном движении тела по окружности
  - 1) изменяется только модуль его скорости
  - 2) изменяется только направление его скорости
  - 3) изменяются и модуль, и направление его скорости
  - 4) не изменяется ни модуль, ни направление его скорости





