

Наука о механическом
движении - МЕХАНИКА

ТОЧЕЧНОЕ ТЕЛО– объект,
размерами которого можно
пренебречь по сравнению с
характерными масштабами
решаемой задачи.

Чтобы описать
механическое движение,
нужно научиться отвечать
на вопросы
ГДЕ?
и
КОГДА?

Совокупность тела отсчета,
связанной с ним системы
координат и часов называют

СИСТЕМОЙ ОТСЧЕТА

После выбора системы отсчета
можно описать механическое
движение.

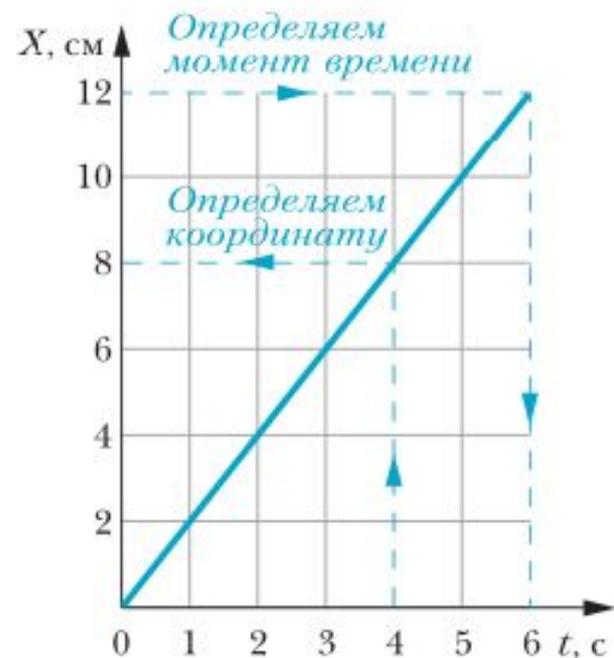
Для этого необходимо привести
законы движения –
зависимости координат от
времени
 $x(t), y(t)$ и $z(t)$

Законы движения
могут быть представлены в
- табличном

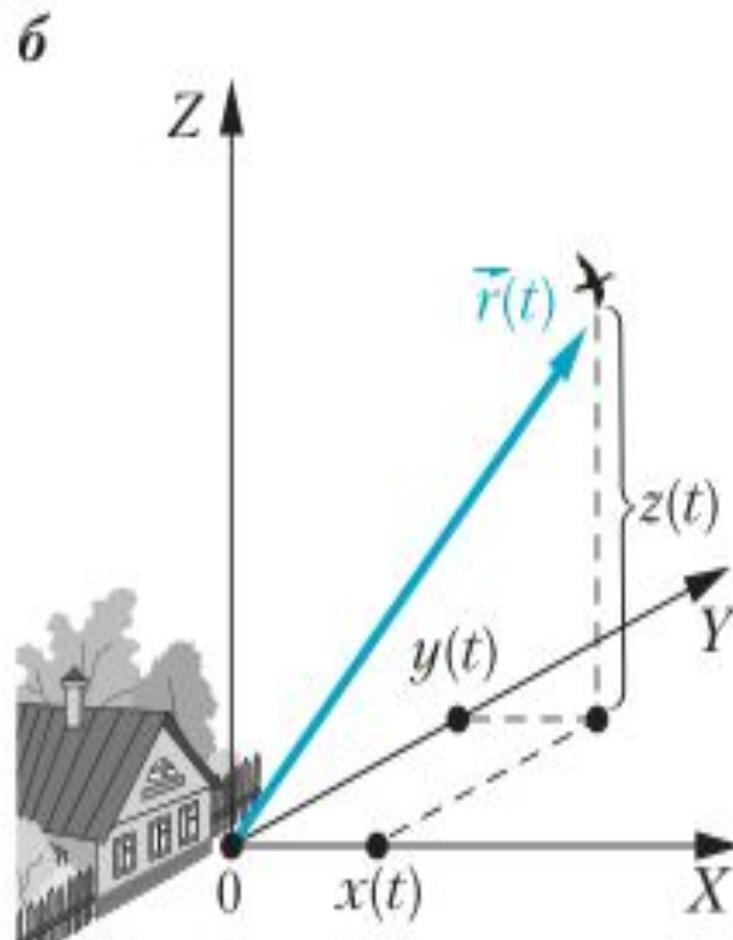
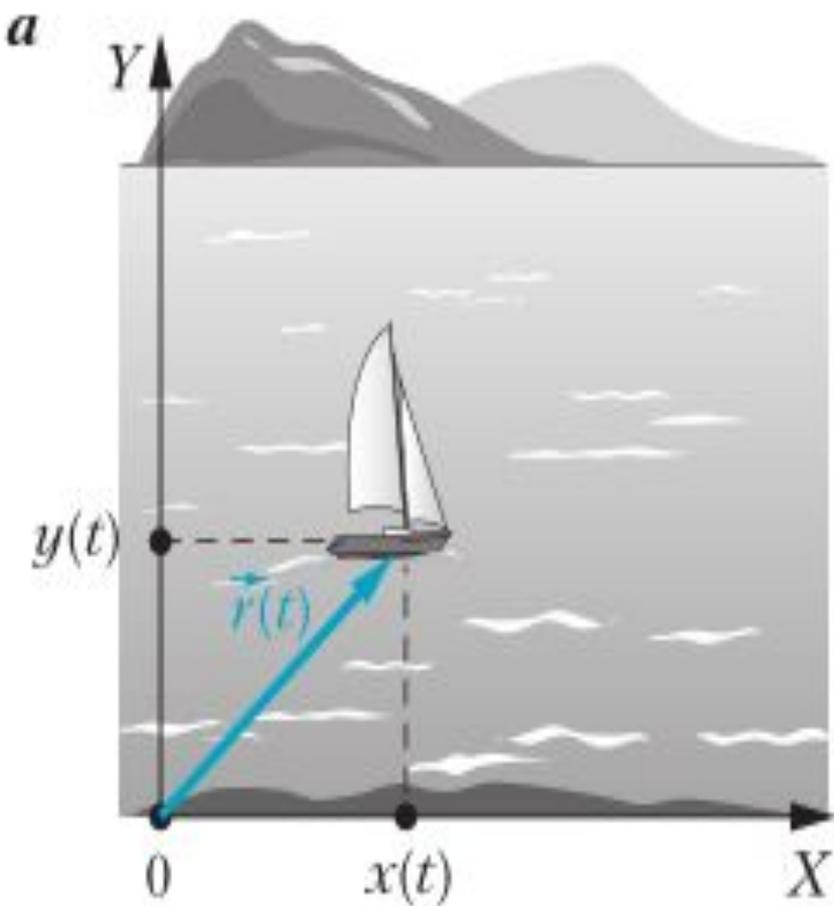
Таблица 1

Станция	Дубки	Ёлочки	Солнечная	Луговая	Весёлое
Прибытие	7.15	7.28	7.45	8.10	8.22
Отправление	7.18	7.30	7.48	8.12	8.24

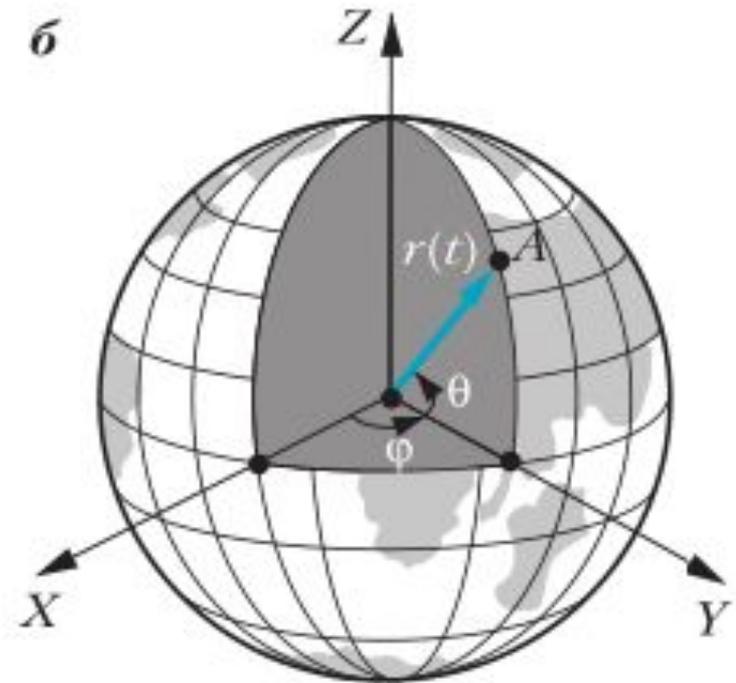
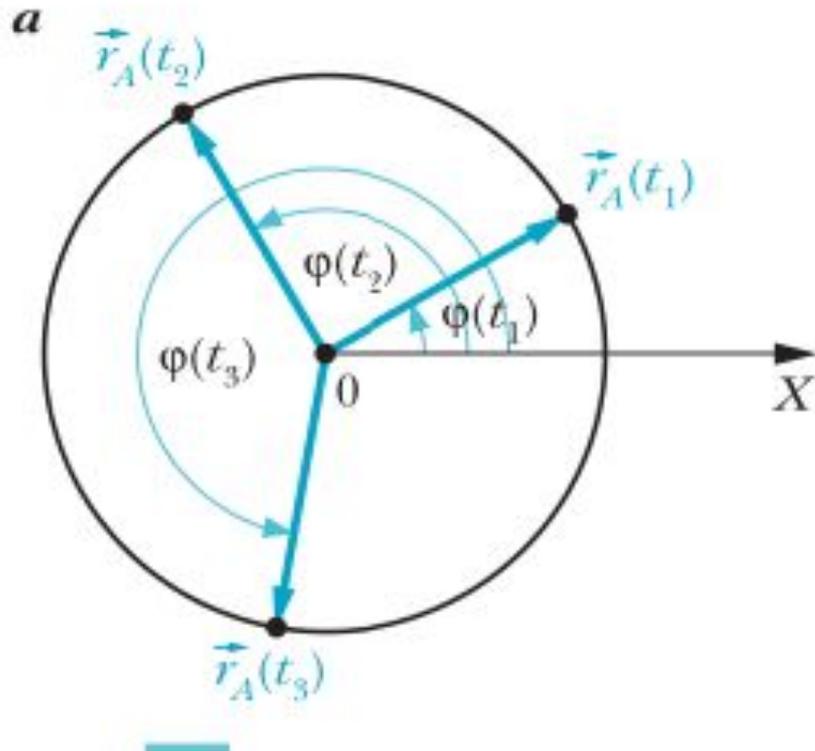
-аналитическом $x(t)$
- графическом виде



Положение тела в пространстве в любой момент времени можно задать радиусом-вектором



С помощью радиуса-вектора
удобно описывать движение
точечного тела по окружности или
земной сфере



**Линию, в каждой точке
которой последовательно
находилось, находится или
будет находиться
движущееся тело называют**

...

ТРАЕКТОРИЕЙ этого тела

Вид траектории зависит от
выбора системы отсчета

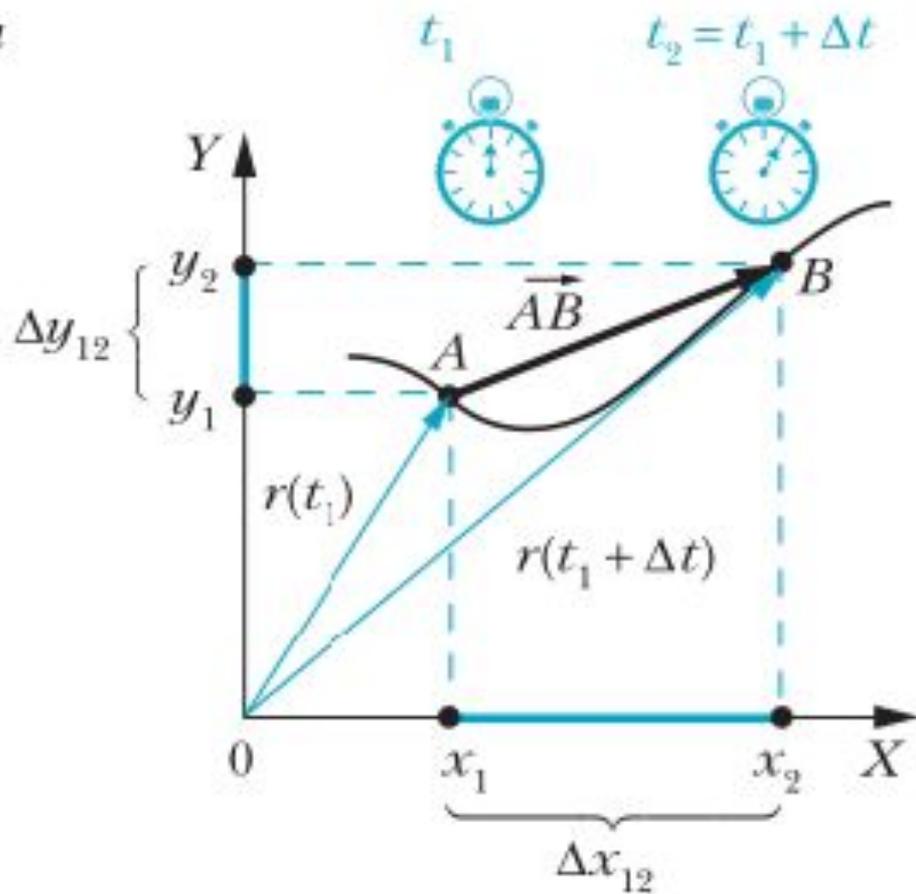


ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

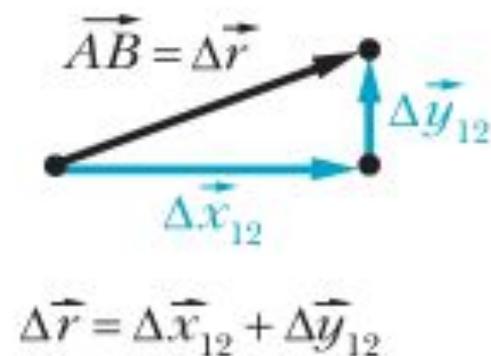
- Вектор, начало которого совпадает с начальным положением тела, а конец – с его конечным положением.

Вектор перемещения показывает, в каком направлении и на какое расстояние перемещается тело за рассматриваемый промежуток времени Δt

a



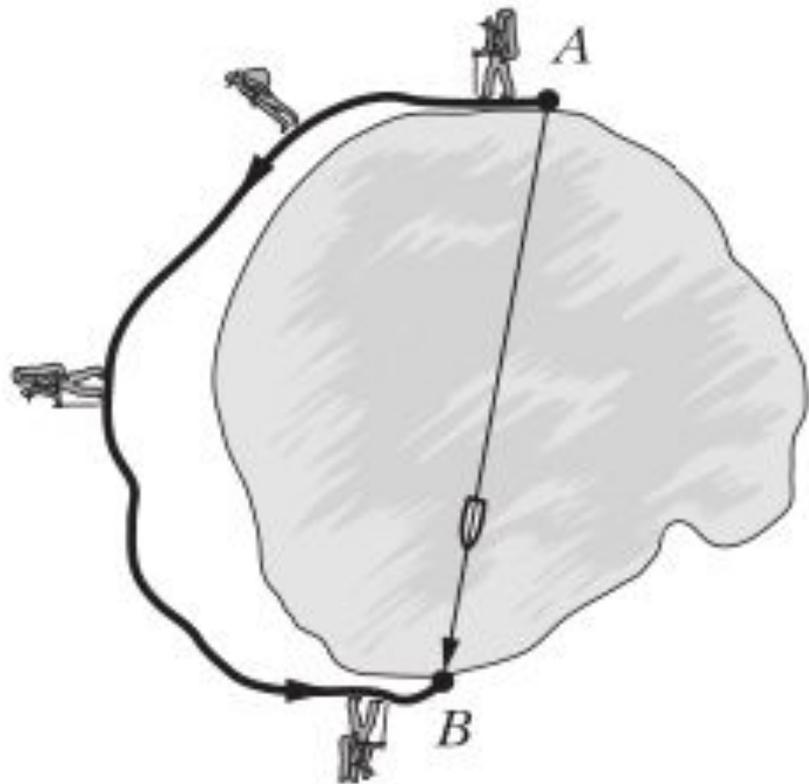
б



ПУТЬ

Это все расстояние ,
пройденное телом за
рассматриваемый промежуток
времени

Путь по криволинейной траектории между двумя точками всегда больше модуля перемещения между этими точками.



СКОРОСТЬ

1) СРЕДНЯЯ ПУТЕВАЯ
СКОРОСТЬ

2) СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ

3) СКОРОСТЬ (МГНОВЕННАЯ
СКОРОСТЬ) ТЕЛА В ДАННЫЙ
МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

Средней путевой скоростью тела называют физическую величину, равную отношению пути S , пройденного телом за рассматриваемый промежуток времени Δt , к длительности этого промежутка.

$$v_{\text{ср. п}} = \frac{S}{\Delta t}$$

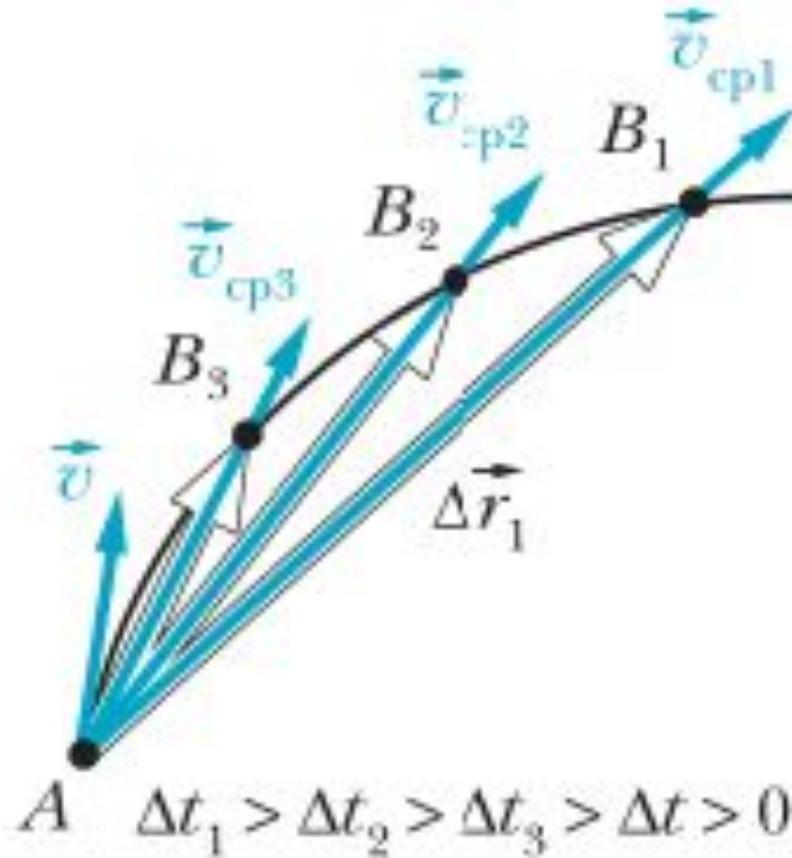
Средней скоростью тела называют физическую величину, равную отношению перемещения $\Delta \vec{r}$, совершённого телом за рассматриваемый промежуток времени Δt , к длительности этого промежутка.

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Скоростью (мгновенной скоростью) тела в данный момент времени t называют физическую величину, равную отношению перемещения $\Delta\vec{r}$ тела за достаточно малый промежуток времени Δt , начинающийся сразу после момента времени t , к длительности этого промежутка.

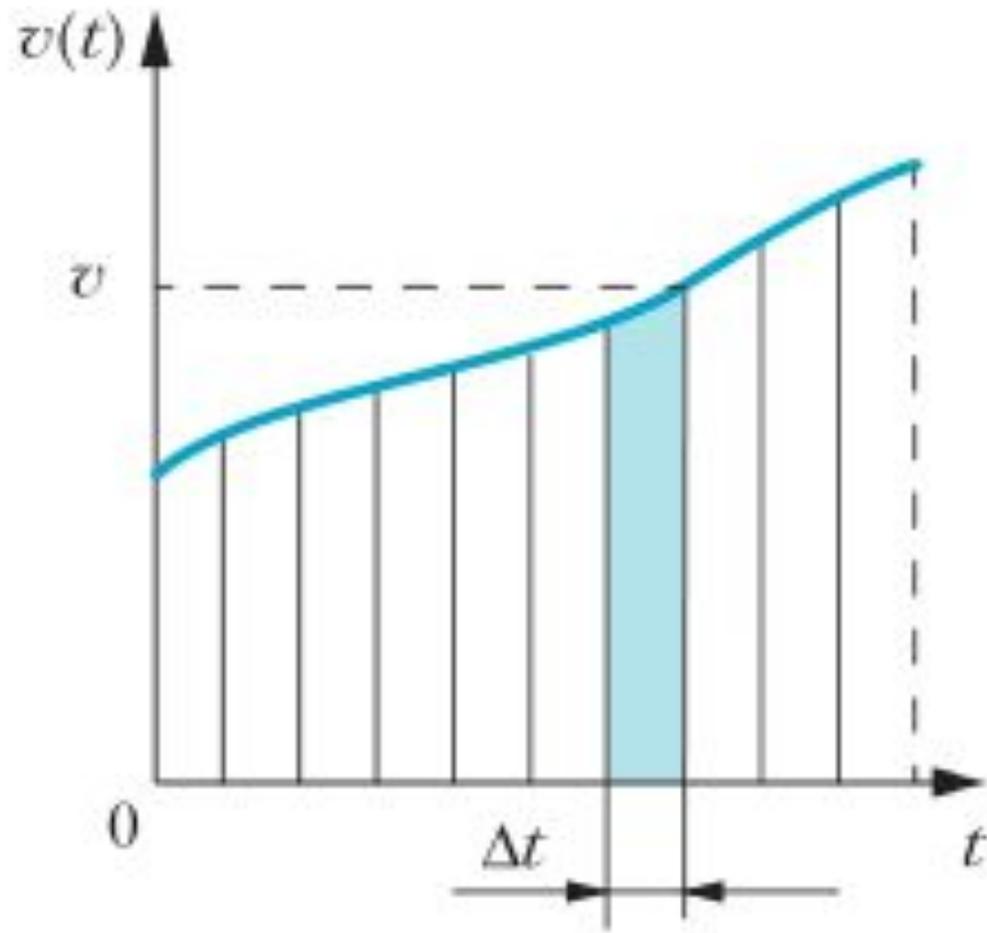
$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \rightarrow 0.$$

МГНОВЕННАЯ СКОРОСТЬ ВСЕГДА НАПРАВЛЕНА ПО КАСАТЕЛЬНОЙ К ТРАЕКТОРИИ В ТОЙ ЕЕ ТОЧКЕ, ГДЕ НАХОДИТСЯ ТЕЛО



Представьте, что утром вы
выехали со стоянки на
автомобиле, проехав 600 км за
10 часов вы вечером вернулись
на стоянку, припарковав
автомобиль на том же самом
месте....

Путь S , пройденный телом, всегда численно равен площади под графиком зависимости модуля скорости от времени $v(t)$



Вопросы

1. Что называют механическим движением?
2. Что изучает кинематика?
3. Что называют системой отсчёта?
- *4. Может ли тело отсчёта быть точечным?
5. Что называют законами движения?
6. Сколько способов описания механического движения вам известно? Перечислите их.
7. Что называют траекторией точечного тела?
8. Какое движение тела называют прямолинейным? Какое — криволинейным?
9. Что означает утверждение, что движение тела относительно?

- 1 Сформулируйте определения средней путевой скорости, средней скорости и скорости. Какие из этих величин скалярные, а какие — векторные?
- 2 Сравните единицы модуля скорости тела и средней путевой скорости в СИ.
- 3 Как определить направление средней скорости, если известны положения тела в начальный и конечный моменты времени?
- 4 Куда направлена скорость тела при криволинейном движении?
- 5 Как по графику зависимости модуля скорости точечного тела от времени определить путь, пройденный телом?
- *6 Что показывает спидометр движущегося автомобиля?

СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

- Перемещение, скорость и законы движения зависят от выбора системы отсчета

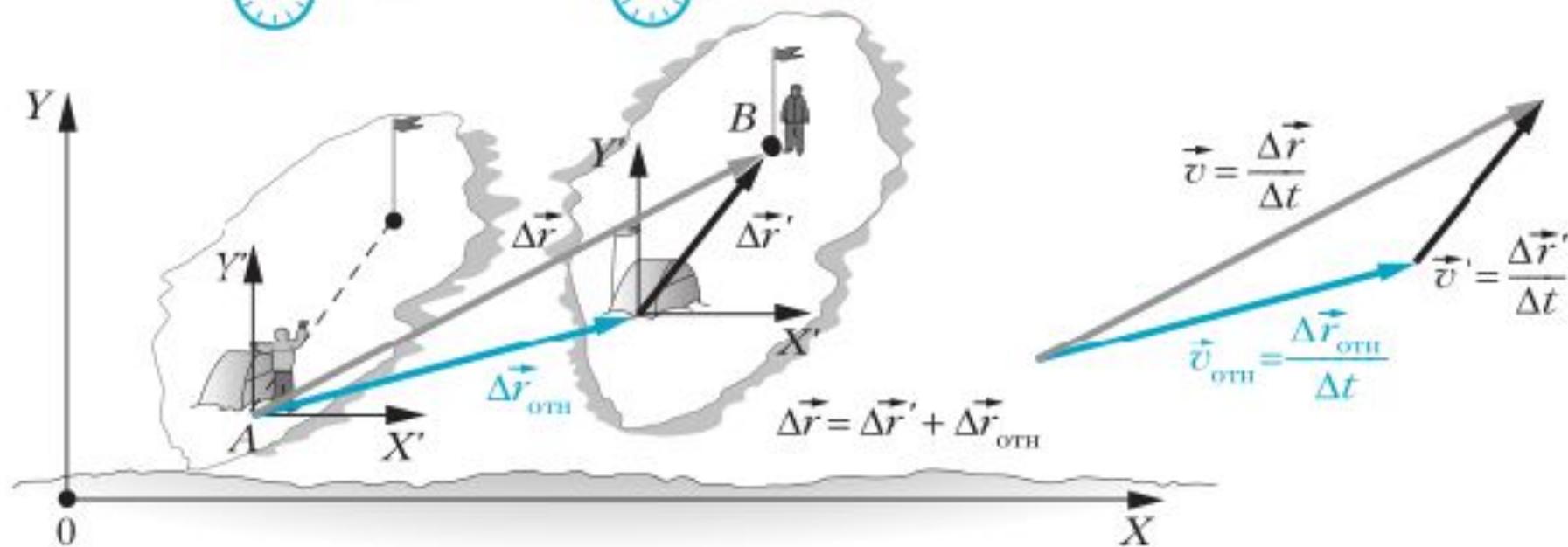
$$\Delta \vec{r} = \Delta \vec{r}' + \Delta \vec{r}_{\text{отн}}$$



$t=0$



$t=\Delta t > 0$



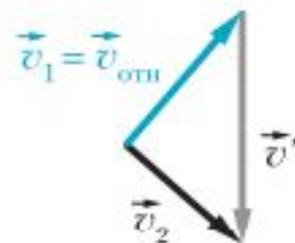
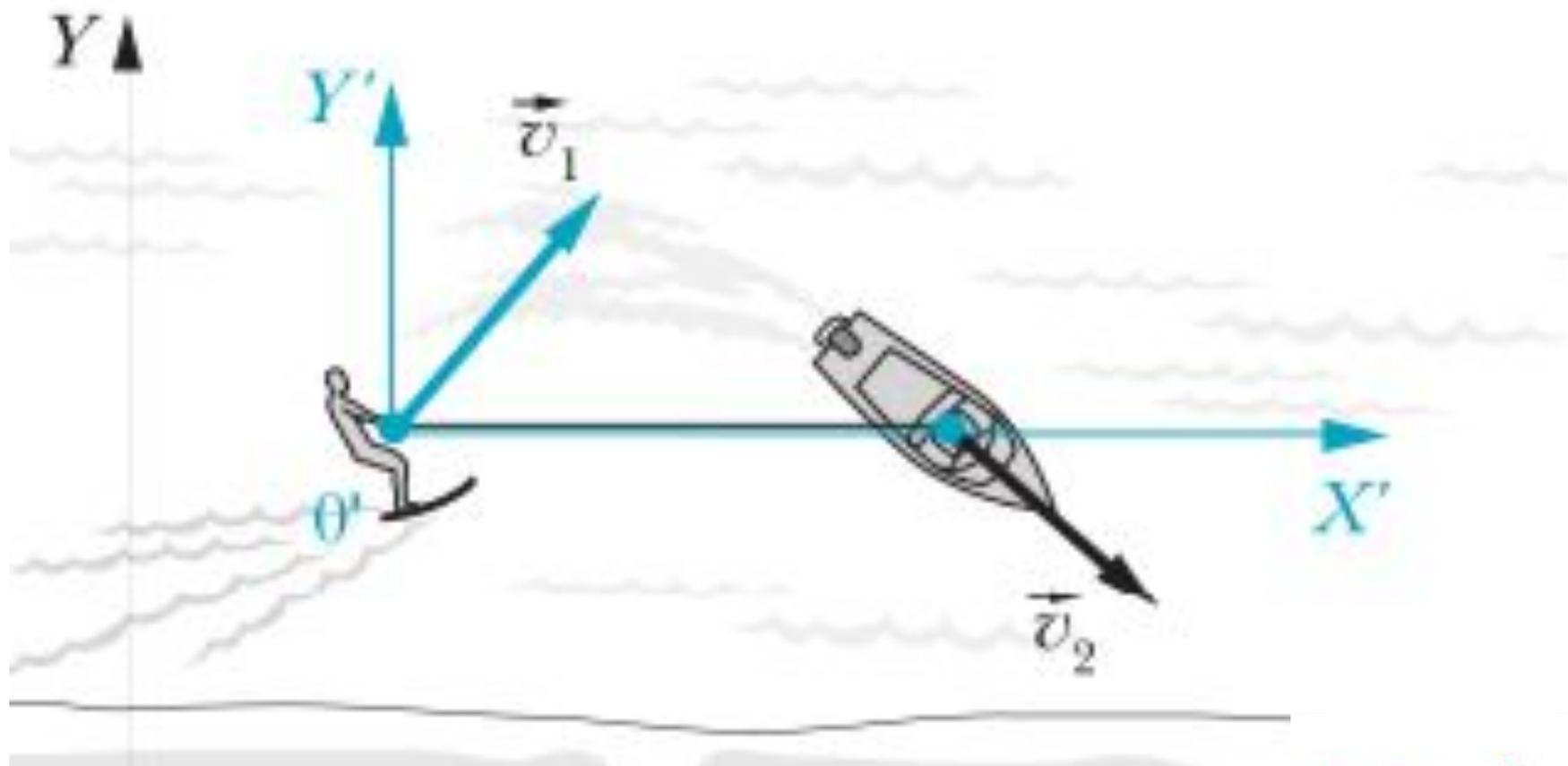
Рассмотрим перемещения за достаточно малый промежуток времени

- Тогда получим,

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_{\text{отн}},$$

- ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
- ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Пусть по морю движется катер со скоростью \vec{v}_2 относительно воды и берега. С берегом связана система отсчёта XY (рис. 30, a). К катеру прикреплён трос, за другой конец которого держится спортсмен на водных лыжах. Скорость спортсмена относительно воды равна v_1 . Определим скорость \vec{v}' движения катера относительно спортсмена.



Если расстояние между двумя движущимися телами не изменяется с течением времени, то проекции скоростей этих тел на ось, которая параллельна прямой, соединяющей эти тела, равны друг другу.



Вопросы

1. Сформулируйте закон сложения перемещений.
2. Сформулируйте закон сложения скоростей.
3. Какую систему отсчёта принято называть лабораторной?
4. Какую систему отсчёта принято называть движущейся?
5. Чему равен модуль скорости сближения двух движущихся навстречу друг другу тел?

УСКОРЕНИЕ.
ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ
РАВНОУСКОРЕННОЕ
ДВИЖЕНИЕ. СВОБОДНОЕ
ПАДЕНИЕ.

СРЕДНЕЕ УСКОРЕНИЕ

МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ

Средним ускорением за промежуток времени Δt называют отношение изменения скорости $\Delta \vec{v}$ за промежуток времени Δt к длительности этого промежутка:

$$\vec{a}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Ускорением (мгновенным ускорением) тела в момент времени t называют физическую величину, равную отношению изменения $\Delta \vec{v}$ скорости тела за достаточно малый промежуток времени Δt , начинающийся сразу после момента времени t , к длительности этого промежутка.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \rightarrow 0. \quad \square$$

Если движение таково, что
ускорение не зависит от
времени, то

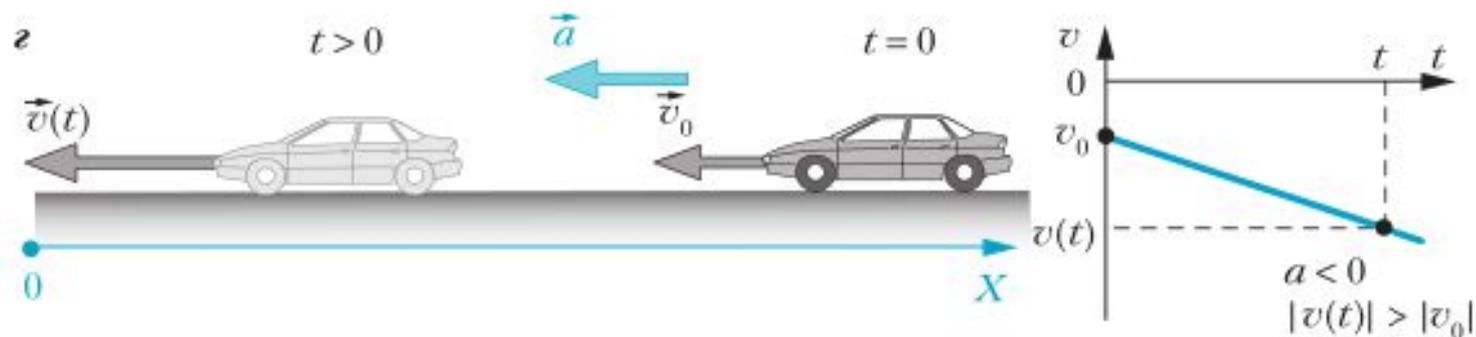
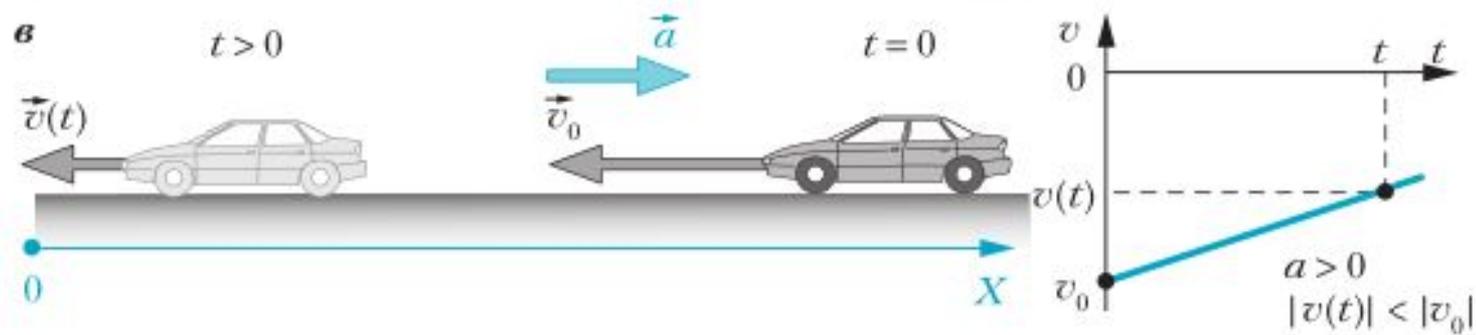
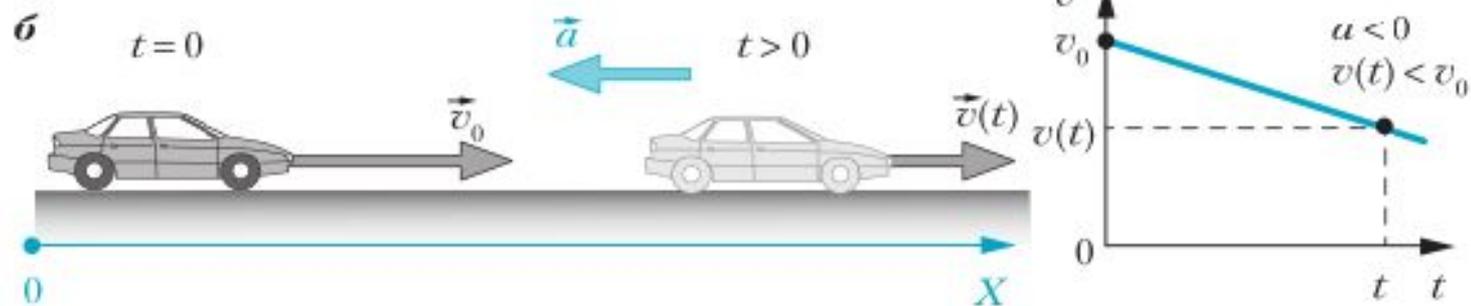
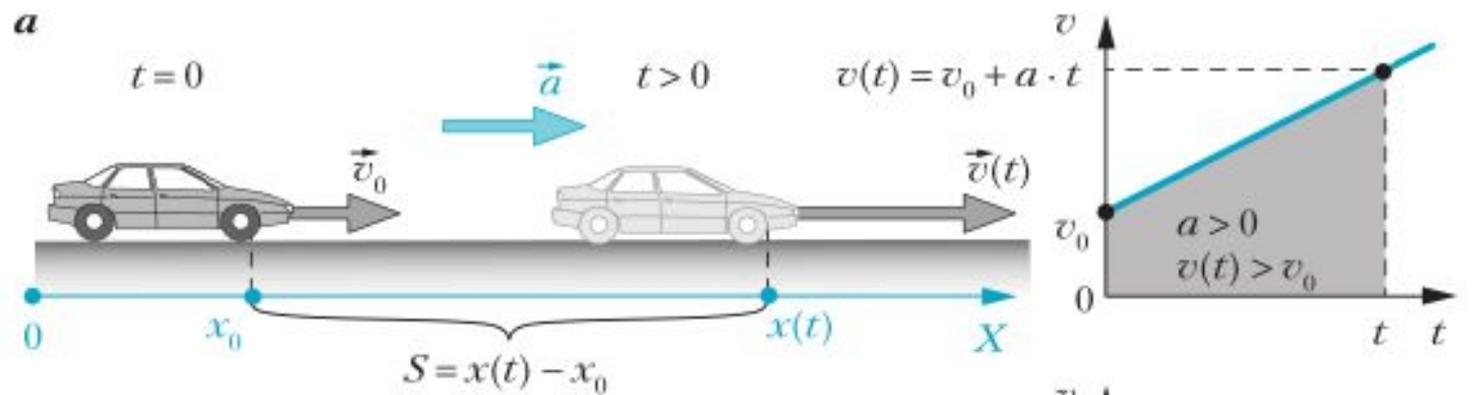
$$\vec{a} = \frac{\vec{v}(t) - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\vec{v}(t) - \vec{v}_0}{t}.$$

Следовательно,

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t.$$

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x \cdot t,$$

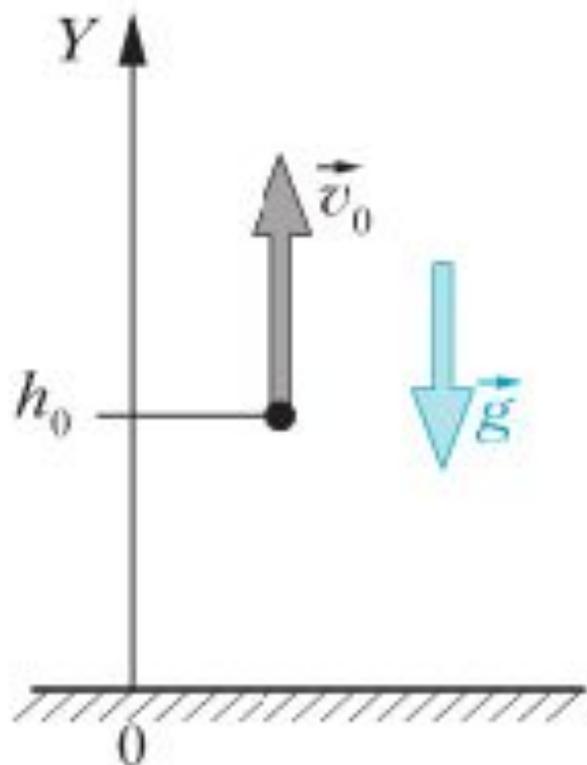


Если тело совершает прямолинейное равноускоренное движение всё время в положительном направлении оси X , имея значения начальной скорости v_0 и ускорения a , то пройденный телом за время t путь составляет

$$S = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}. \quad (5)$$

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}.$$

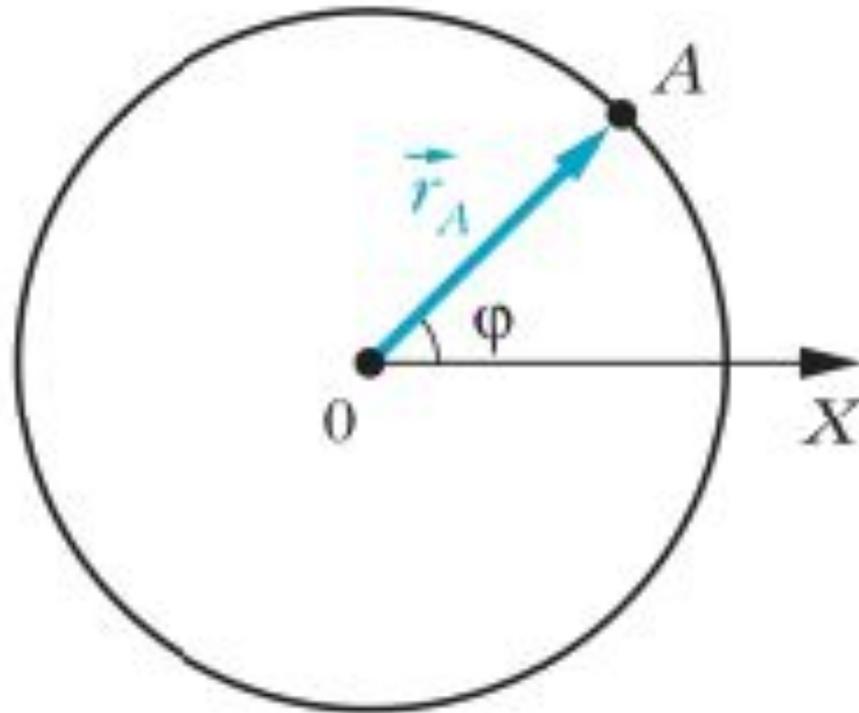
СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ



Вопросы

1. Что называют ускорением точечного тела?
2. В каких единицах СИ измеряют модуль ускорения?
3. Как соотносятся направления векторов скорости и ускорения тормозящего тела? Разгоняющегося тела?
4. Какое движение называют прямолинейным равноускоренным?
5. Запишите закон движения для прямолинейного равноускоренного движения.
6. Какое движение называют свободным падением?
7. Чему приблизительно равен модуль ускорения свободного падения вблизи поверхности Земли на широте Москвы?

РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ



Если задан закон $\varphi(t)$, то движение тела по окружности описано полностью.

Угловой скоростью движущегося по окружности точечного тела в момент времени t называют физическую величину, равную отношению угла поворота $\Delta\varphi$ его радиуса-вектора за достаточно малый промежуток времени Δt , начинающийся сразу после момента времени t , к длительности этого промежутка.

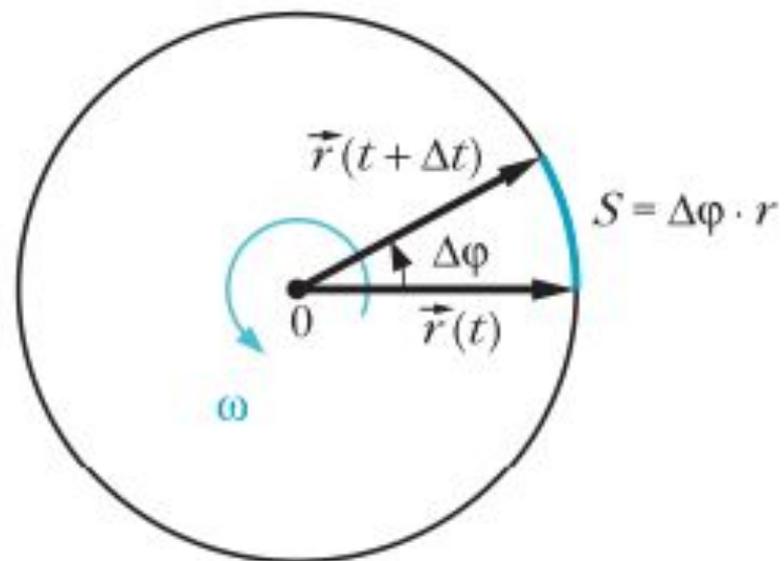
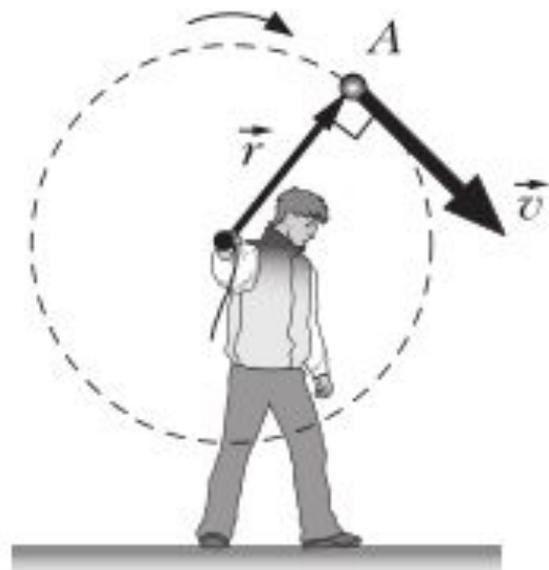
$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \rightarrow 0. \quad (1)$$

Движение точечного тела по окружности называют равномерным, если его угловая скорость не изменяется с течением времени.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi(t) - \varphi(t_0)}{t - t_0} = \frac{\varphi(t) - \varphi_0}{t} .$$

Следовательно,

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega \cdot t,$$

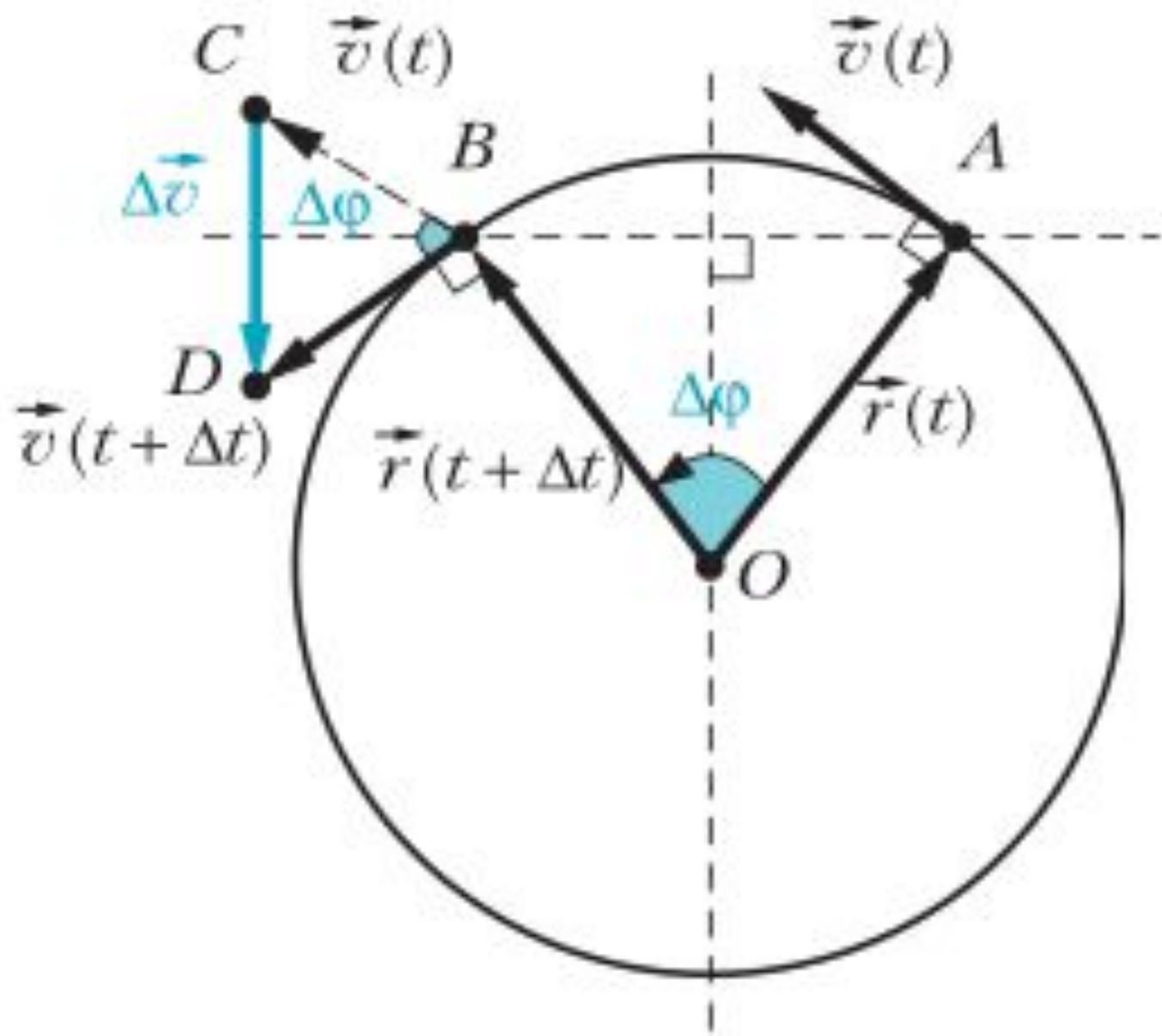


$$v_{\text{ср. п}} = \frac{S}{\Delta t} = \frac{\Delta\varphi \cdot r}{\Delta t} = \omega \cdot r.$$

ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ

ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ

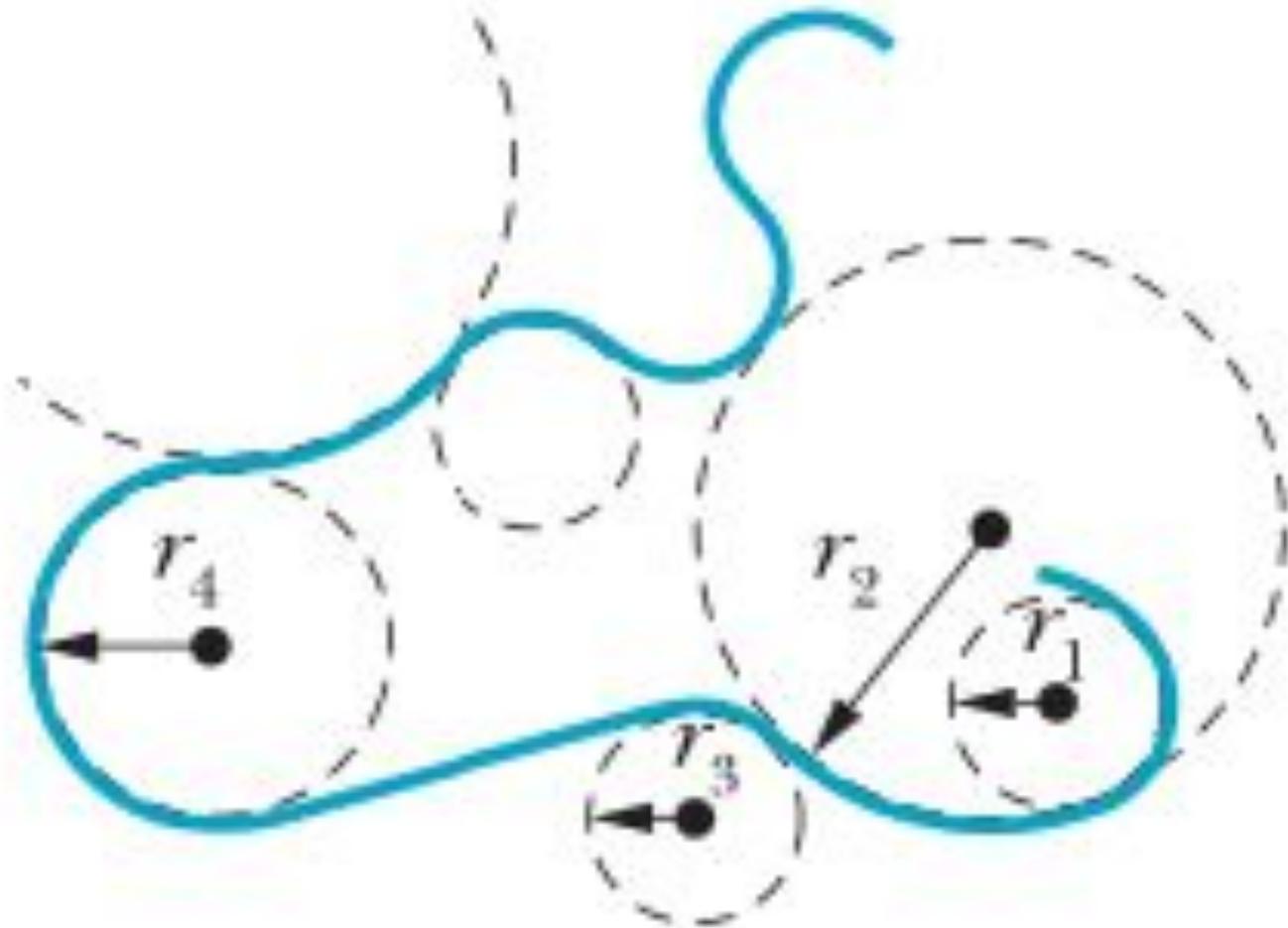
УСКОРЕНИЕ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ПО ОКРУЖНОСТИ



Модуль мгновенного центростремительного ускорения равен:

$$a_{\text{ис}} = \frac{v^2}{r}.$$

Криволинейное движение



1. Какое движение называют движением по окружности?
2. Куда направлена скорость движущегося по окружности тела?
3. Как соотносятся угловая скорость и модуль скорости тела, движущегося по окружности?
4. Почему тело, равномерно движущееся по окружности, движется с ускорением?
5. Куда направлен вектор центростремительного ускорения?
6. Что называют периодом вращения?
7. Что называют частотой вращения?
8. Как связаны период и частота вращения?

Упражнения

1. Определите модули скорости и центростремительного ускорения точки обода велосипедного колеса радиусом 40 см, вращающегося с угловой скоростью 4π рад/с.
2. Определите радиус R маховика, если при его вращении модуль скорости точки его обода равен 10 м/с, а модуль скорости точки, расположенной на 10 см ближе к оси, равен 8 м/с.
3. Определите модули скорости и центростремительного ускорения точек земной поверхности на широте $\varphi = 60^\circ$, обусловленные суточным вращением Земли вокруг своей оси. Радиус Земли считайте равным $R = 6400$ км.

РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Угловым ускорением движущегося по окружности точечного тела в момент времени t называют физическую величину, равную отношению изменения $\Delta\omega$ угловой скорости этого тела за достаточно малый промежуток времени Δt , начинающийся сразу после момента времени t , к длительности этого промежутка.

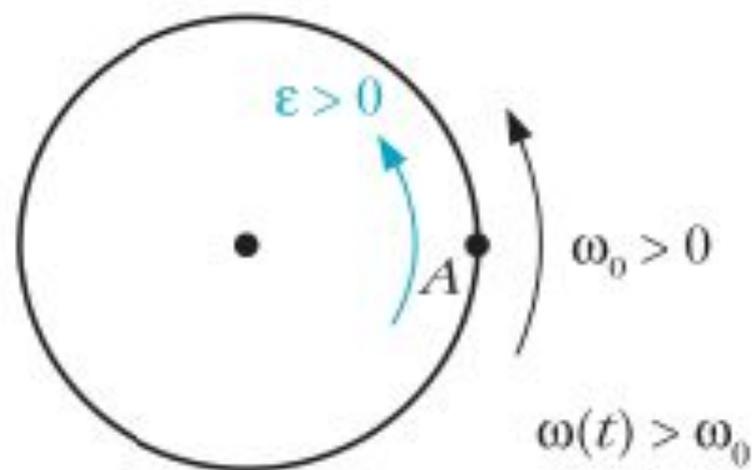
$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \rightarrow 0. \quad (1)$$

Движение точечного тела по окружности называют равноускоренным, если в процессе движения его угловое ускорение остаётся постоянным (не изменяется с течением времени).

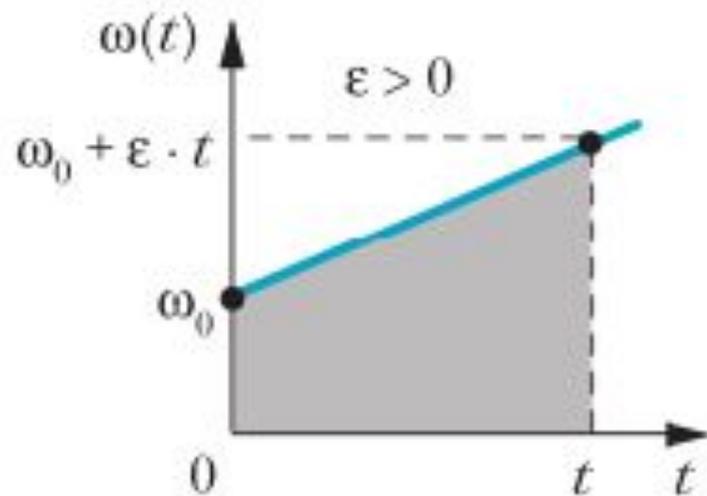
$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega(t) - \omega_0}{t}.$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon \cdot t,$$

a

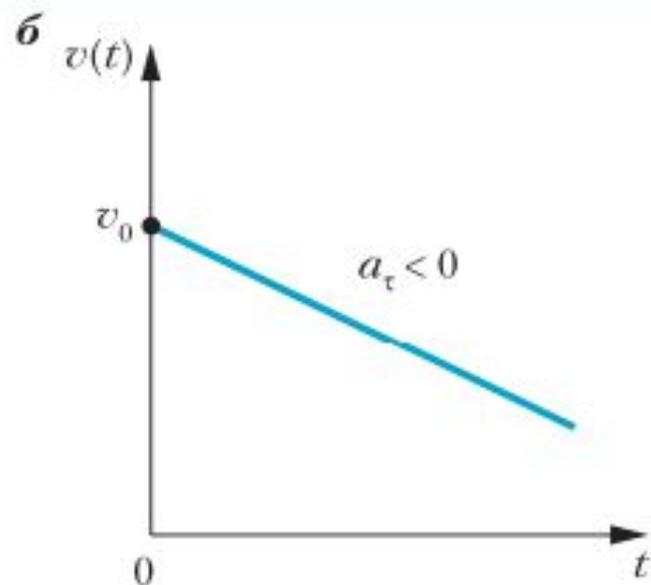
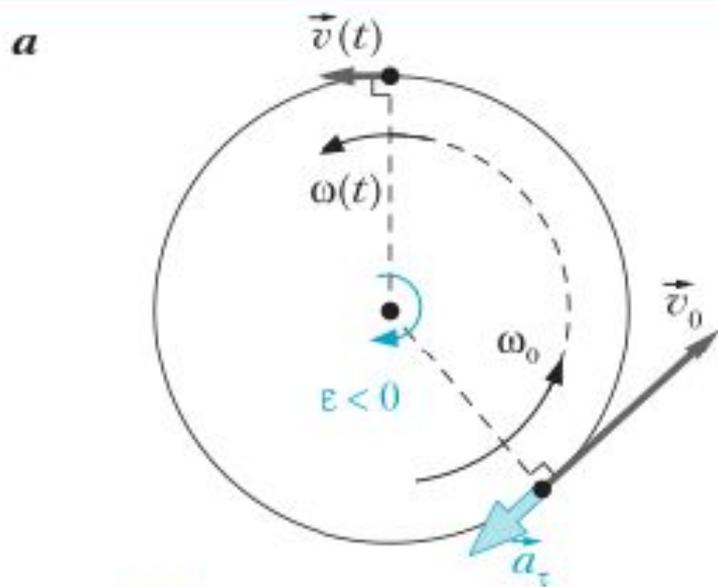
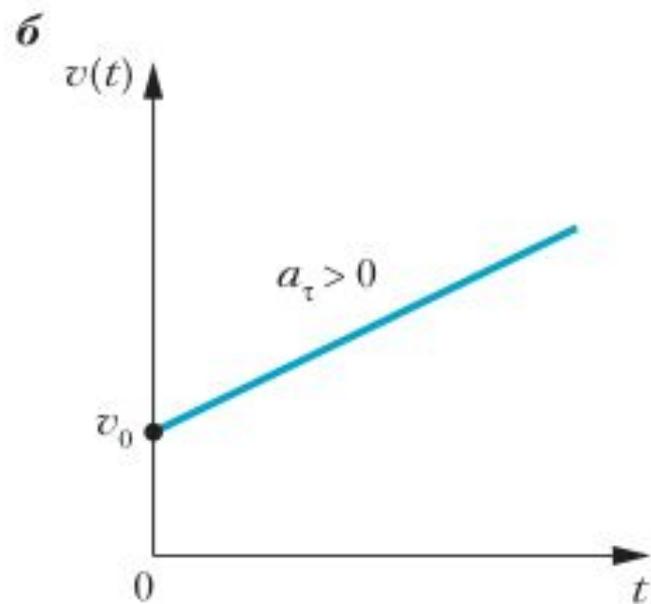
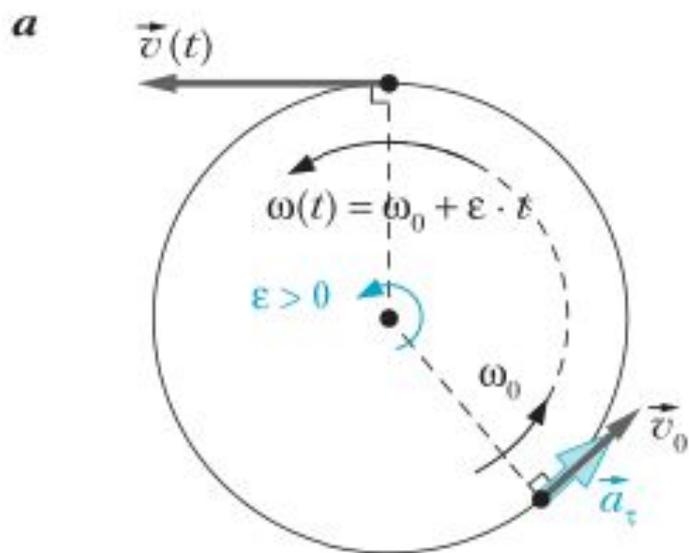


b



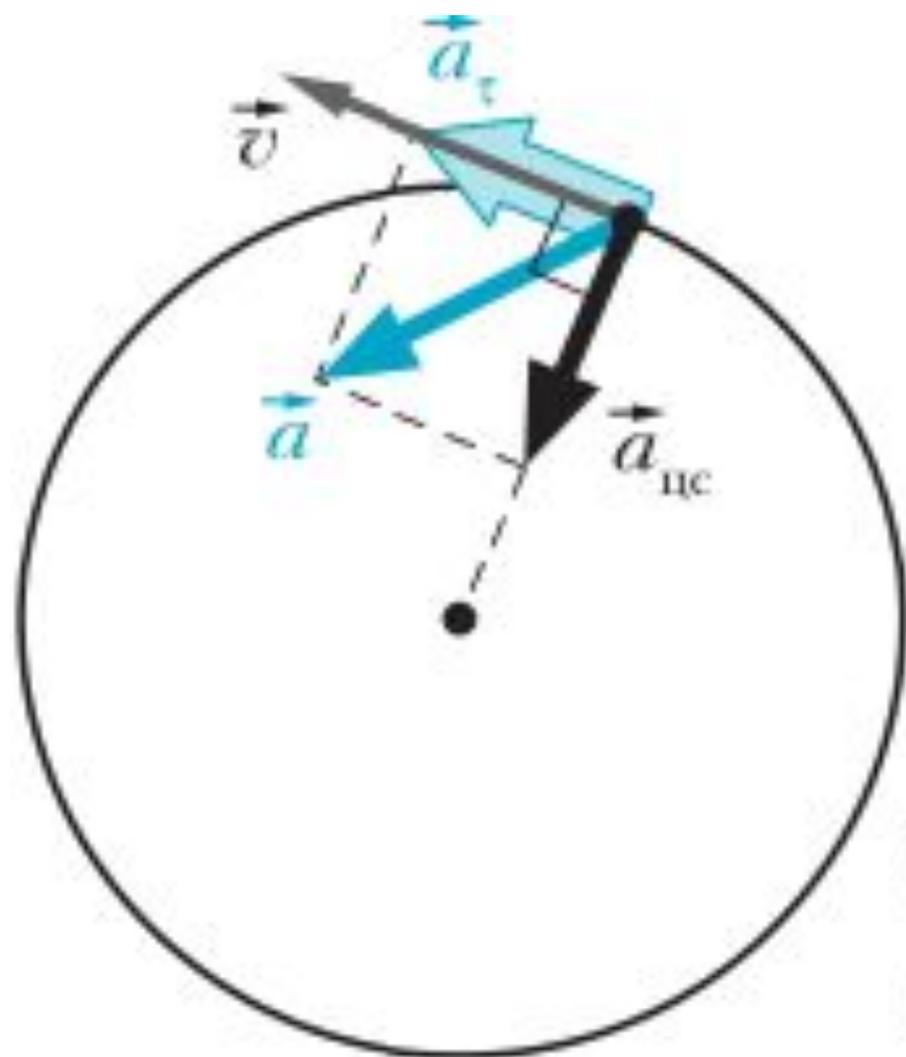
$$v(t) = r \cdot \omega_0 + r \cdot \varepsilon \cdot t.$$

$$v(t) = v_0 + a_\tau \cdot t,$$



Тангенциальным ускорением тела в момент времени t называют вектор, который параллелен вектору скорости тела и значение которого равно отношению Δv изменения значения скорости тела за достаточно малый промежуток времени Δt , начинающийся сразу после момента времени t , к длительности этого промежутка.

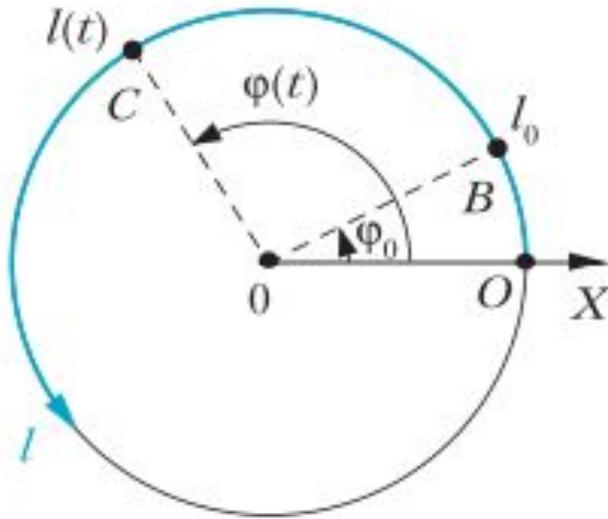
$$a_{\tau} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \rightarrow 0.$$



$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{нс}} + \vec{a}_{\tau}$$

$$a = \sqrt{a_{\text{нс}}^2 + a_{\tau}^2}$$

Траекторный способ описания движения по окружности



$$r \cdot \varphi(t) = r \cdot \varphi_0 + r \cdot \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot r \cdot t^2}{2}.$$

$$l(t) - l_0 = r \cdot \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot r \cdot t^2}{2} = v_0 \cdot t + \frac{a_\tau \cdot t^2}{2}.$$

$$l(t) = l_0 + v_0 \cdot t + \frac{a_\tau \cdot t^2}{2},$$

Вопросы

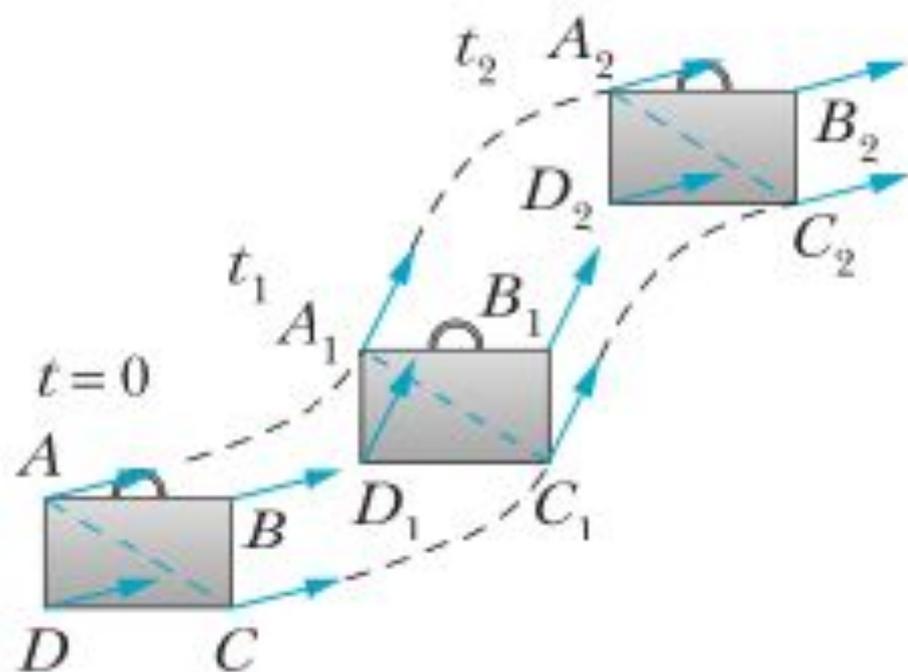
1. Что называют угловым ускорением тела?
2. Какое движение тела по окружности называют равноускоренным?
3. Что называют тангенциальным ускорением?
4. Куда может быть направлен вектор тангенциального ускорения?
5. Какое ускорение изменяет значение скорости тела, а какое — направление скорости?
6. Как рассчитать ускорение точечного тела, которое равноускоренно движется по окружности?

Упражнения

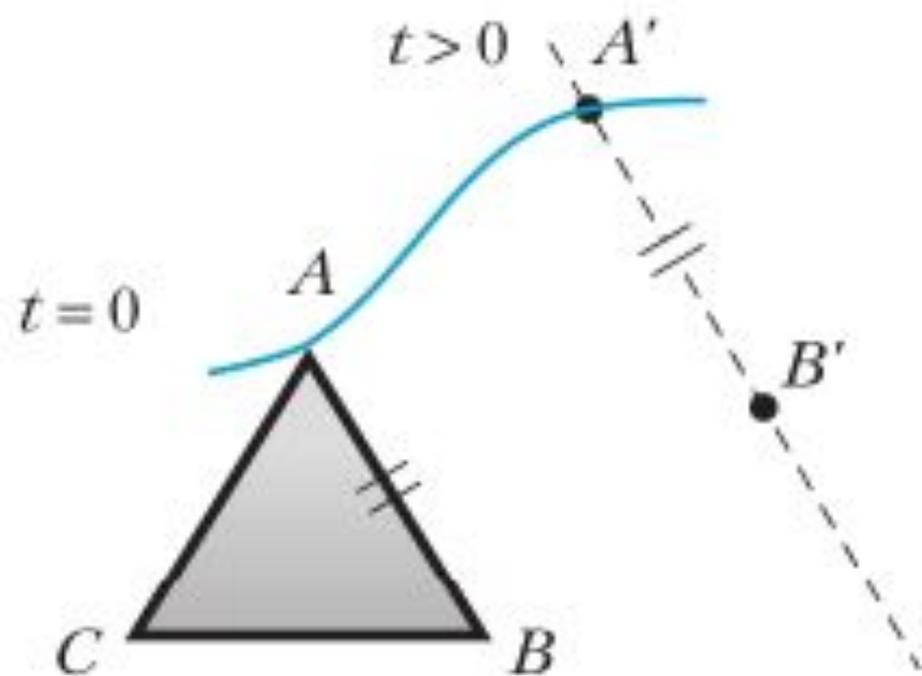
1. Точечное тело движется по окружности, равномерно увеличивая свою скорость. Начальная угловая координата равна 3 рад, значение начальной угловой скорости равно 5 рад/с, значение углового ускорения равно 2 рад/с². Запишите закон движения этого тела.
 2. Маховик, вращавшийся с частотой $\nu = 20$ с⁻¹, равнозамедленно останавливается за время $\Delta t = 1$ мин. Оцените число оборотов маховика за это время.
 3. Точечное тело начинает двигаться по окружности радиусом $r = 20$ см с постоянным тангенциальным ускорением, значение которого $a_t = 10$ см/с². Определите, через какое время τ модуль центростремительного ускорения тела станет больше модуля его тангенциального ускорения в три раза. Определите модуль скорости тела в этот момент времени.
 - *4. Камень бросили горизонтально с высокой башни со скоростью, модуль которой равен 10 м/с. Определите тангенциальное и центростремительное ускорения камня через 1 с после начала движения. Оцените радиус кривизны траектории камня в точке, где он находился в указанное время.
-

КИНЕМАТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Тело называют твёрдым (абсолютно твёрдым), если расстояние между любыми двумя точками тела не изменяется с течением времени.

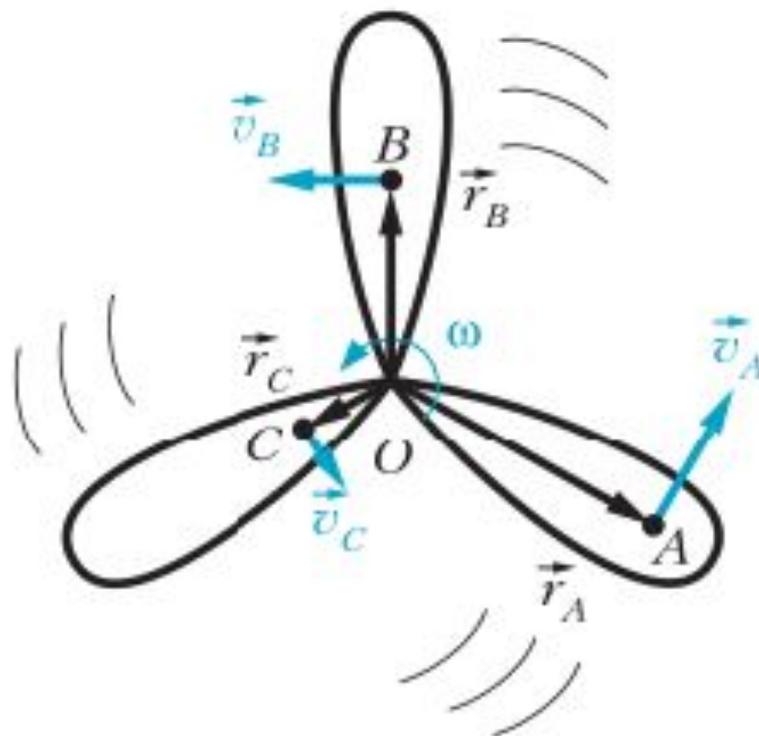


Движение твёрдого тела называют поступательным, если прямая, проведённая через любые две точки этого тела, в процессе движения не изменяет своей ориентации в пространстве (остаётся параллельной своему начальному положению).



Для описания поступательного движения твёрдого тела достаточно описать движение (задать закон движения) какой-либо одной его точки.

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

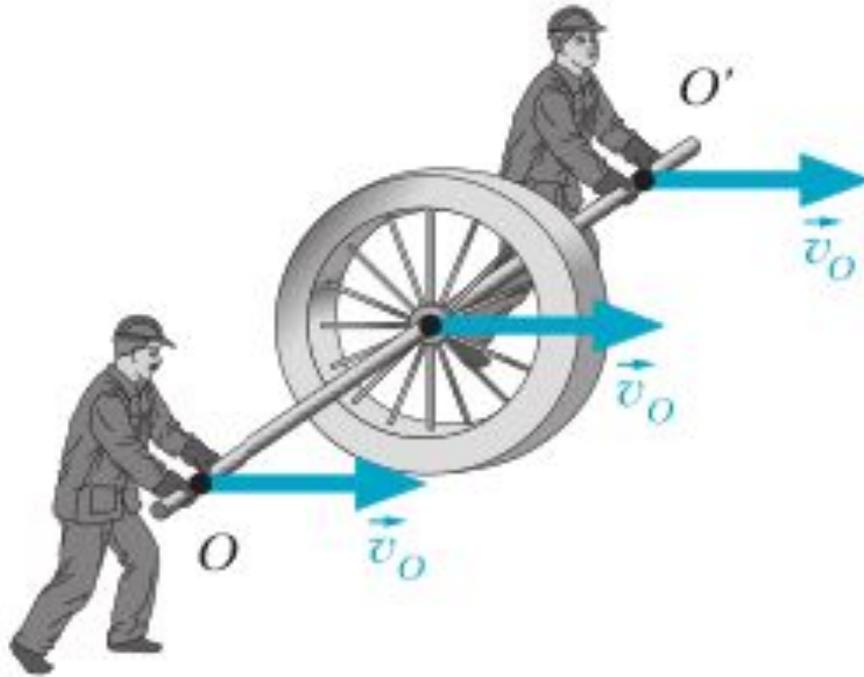


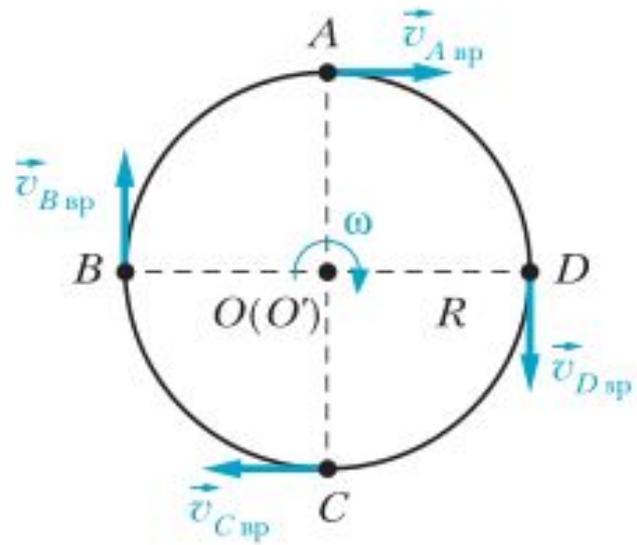
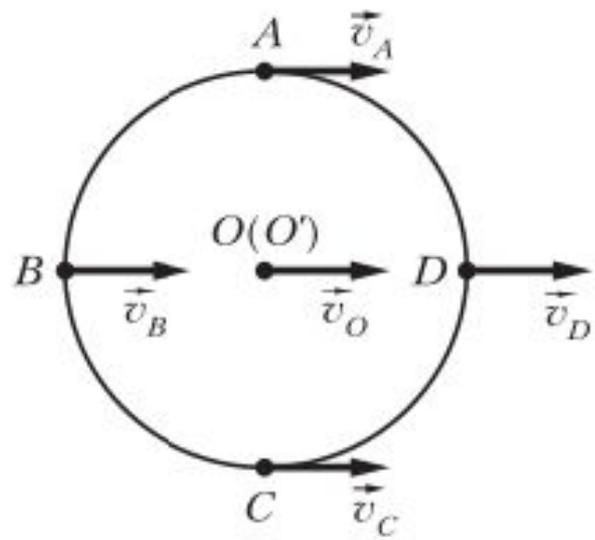
Движение твёрдого тела называют вращательным, если все точки этого тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной *неподвижной* прямой. Эту прямую называют осью вращения.

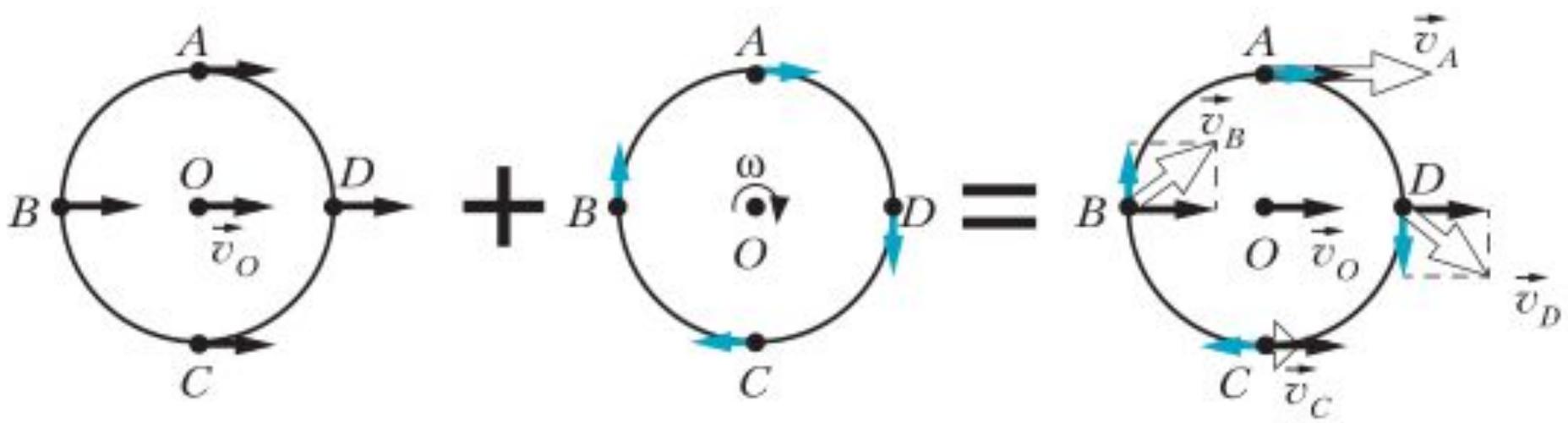
Упражнения

- 1 Колесо велосипеда вращается с частотой 3 об/с . Определите модуль скорости точки обода колеса относительно оси вращения. Радиус обода равен 80 см .
- 2 Точка обода катушки швейной машинки движется со скоростью, модуль которой равен $0,1 \text{ см/с}$. Определите угловую частоту вращения катушки, если её радиус равен $1,5 \text{ см}$.
-  3 Шестерёнка колеса велосипедного тренажёра вращается с частотой 2 об/с . Диаметр шестерёнки равен 15 см , а диаметр колеса — 1 м . Определите, на сколько модуль скорости точки обода колеса превышает максимальный модуль скорости движущихся точек шестерёнки.

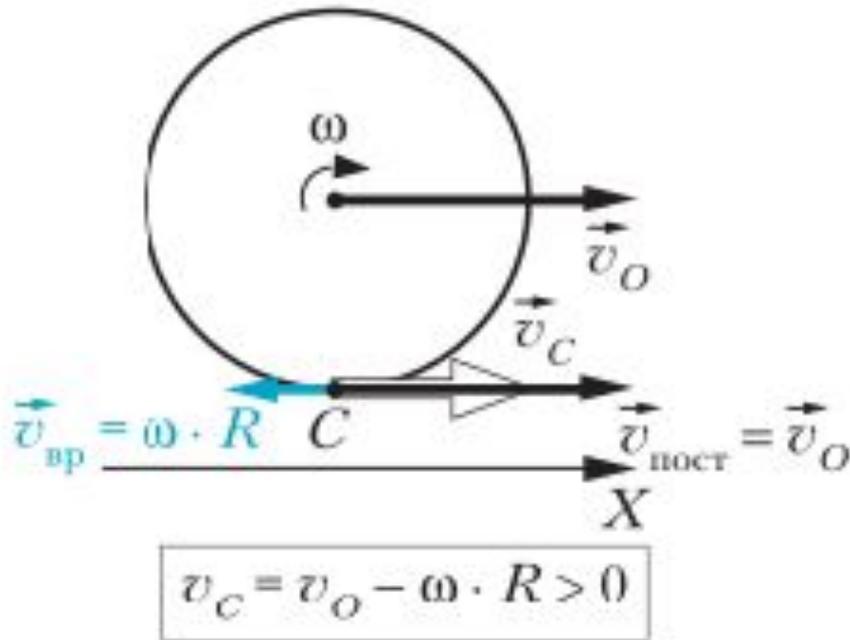
СЛОЖЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ



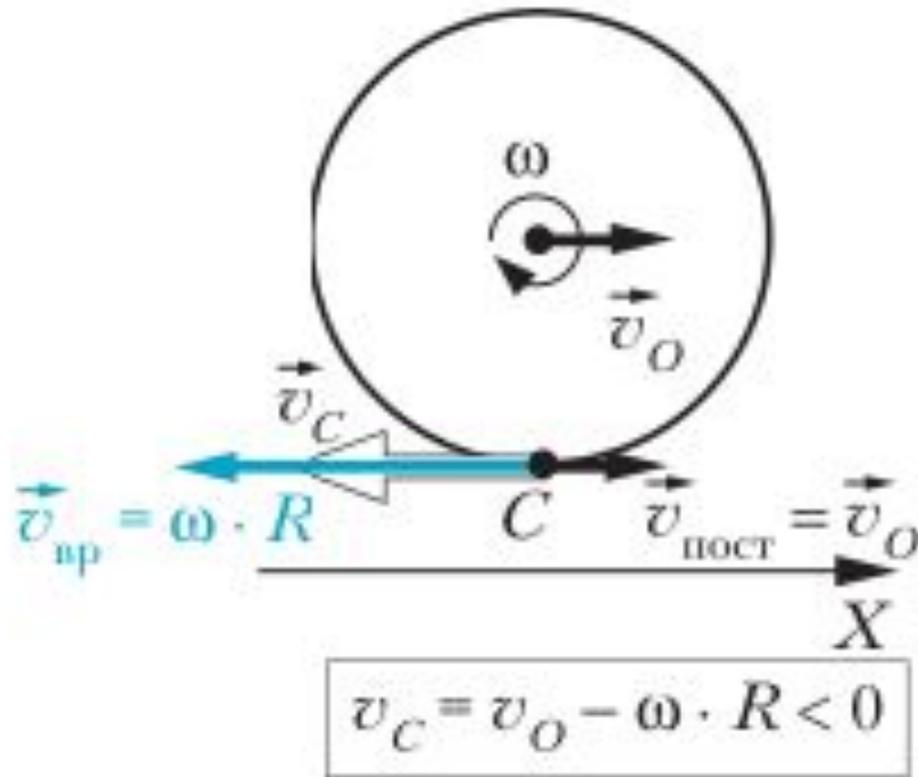




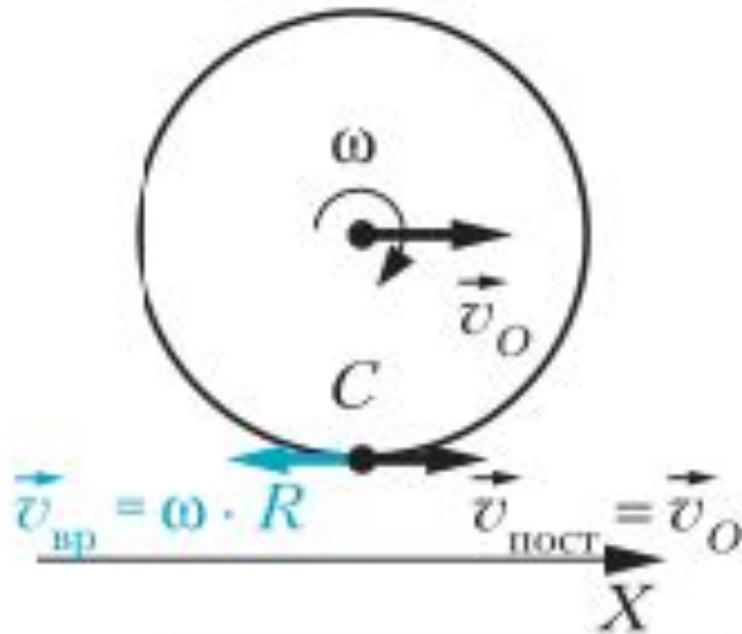
Торможение с проскальзыванием



Разгон с пробуксовкой



Движение без проскальзывания



$$v_C = v_O - \omega \cdot R = 0$$

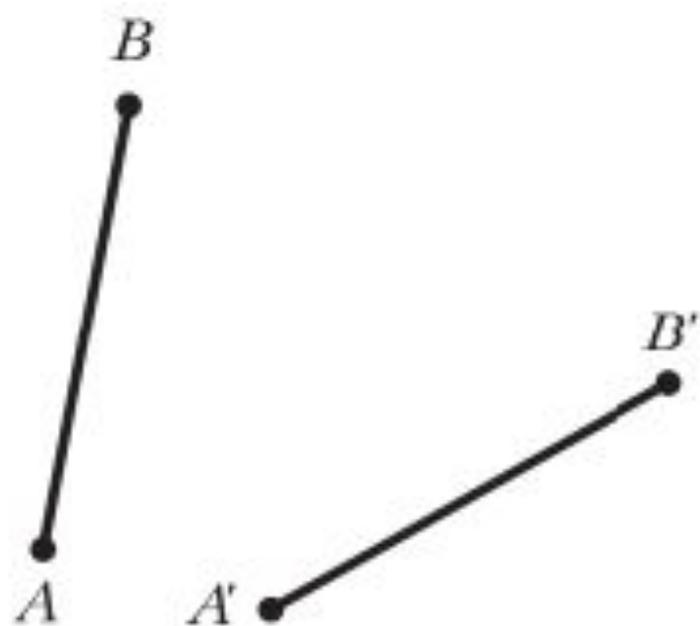
ПЛОСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Движение твёрдого тела называют плоским, если все точки этого тела движутся в параллельных друг другу плоскостях.

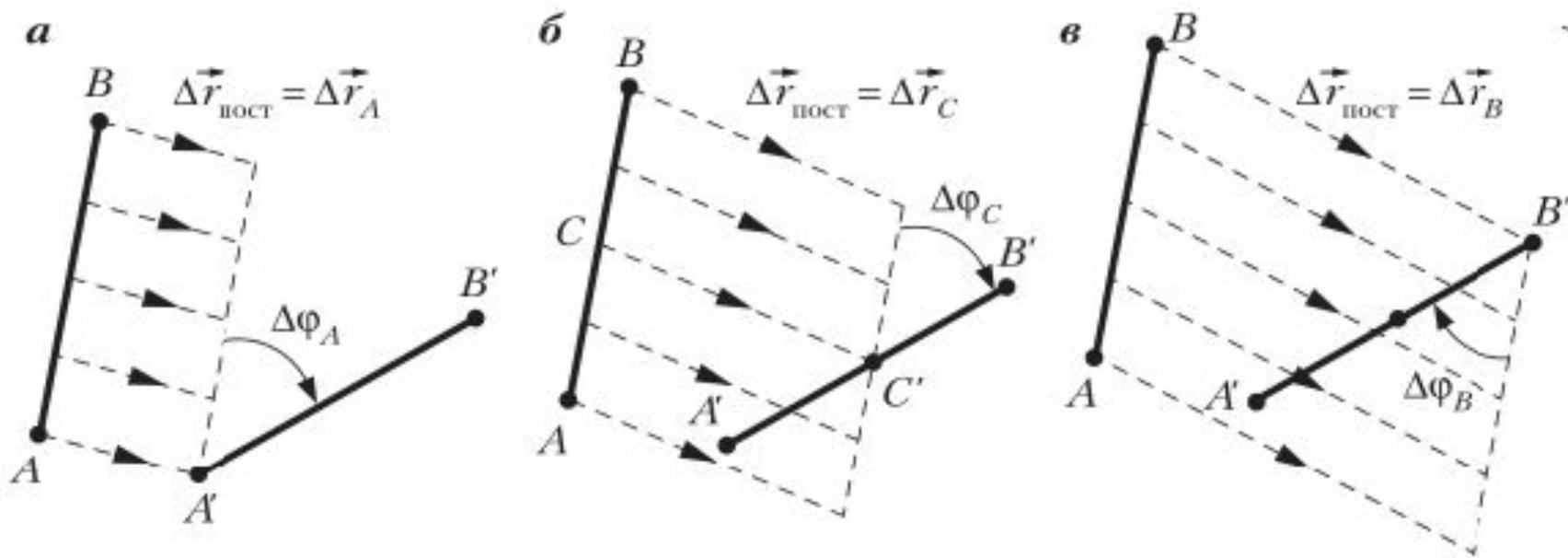
ПЛОСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

- 1) ОСЬ ВРАЩЕНИЯ НЕ МЕНЯЕТ СВОЕЙ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ И ДВИЖЕТСЯ ПОСТУПАТЕЛЬНО
- 2) ОСЬ, ВОКРУГ КОТОРОЙ ТЕЛО СОВЕРШАЕТ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ, ВСЕГДА **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА** ПЕРЕМЕЩЕНИЮ, СВЯЗАННОМУ С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ТЕЛА

Любое плоское движение твёрдого тела в каждый момент времени можно рассматривать как суперпозицию поступательного и вращательного движений.

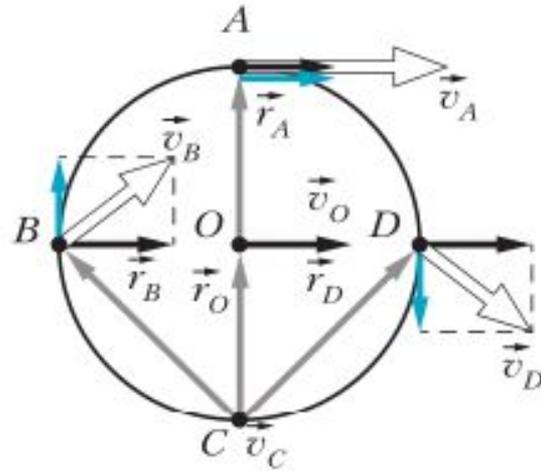


ВАРИАНТЫ ВАРИАНТЫ АНАЛИЗА ПЛОСКОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ И ВРАЩАТЕЛЬНОЕ



$$\frac{\Delta \varphi_A}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi_B}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi_C}{\Delta t} = \omega.$$

Плоское движение в любой момент времени можно представить как чисто вращательное вокруг мгновенной оси вращения



$$v_O = \omega \cdot R$$

$$v_A = v_O + \omega \cdot R = \omega \cdot 2R = \omega \cdot r_A$$

$$v_B = \omega \cdot \sqrt{2} \cdot R = \omega \cdot r_B$$

$$v_C = 0$$

$$v_D = \omega \cdot \sqrt{2} \cdot R = \omega \cdot r_D$$

Упражнения

1. По озеру движется катер. К катеру прикреплен трос, за другой конец которого держится спортсмен на водных лыжах. Угол между тросом и скоростью катера равен 30° , а угол между тросом и скоростью лыжника — 60° (рис. 76). Определите скорость лыжника, если модуль скорости катера равен 54 км/ч .
2. катушку, лежащую на горизонтальной крышке стола, тянут за конец A нерастяжимой нити, намотанной на её среднюю часть так, что катушка катится без проскальзывания и её ось не изменяет своей ориентации относительно стола (рис. 77). Скорость движения точки A нити постоянна и равна \vec{v}_A . Определите скорость движения оси O катушки, если радиус r её средней части в 3 раза меньше радиуса R её щёк.
3. Вырезанный из однородного листа металла равносторонний треугольник ABC движется по гладкой горизонтальной плоскости. В некоторый момент времени скорость \vec{v}_A вершины A этого треугольника оказалась перпендикулярной биссектрисе угла A , а скорость вершины B оказалась направленной вдоль стороны AB . Определите для этого момента времени направление и модуль скорости вершины C и центра O треугольника.

