



# Кинематика твёрдого тела

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

Для возраста

**9-11 класс**



[htweek.ru](http://htweek.ru)

При решении ряда задач механики и, в частности, динамики вращения твердого тела, важно знать кинематические параметры твердого тела. Целью урока по теме «Кинематика твердого тела» является изучение учащимися движения твердого тела как совокупности элементарных движений.

**ТЕМА УРОКА:** «Кинематика твердого тела».

**ЦЕЛИ УРОКА:**

- Знакомство с понятием сложного движения на примере движения твердого тела.

**НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ:** рабочая тетрадь.

**РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ:** задания к уроку в рабочей тетради.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА:** компьютер, проектор, экран.

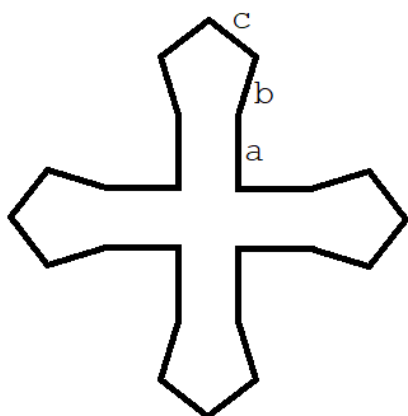
**ВИД УРОКА:** урок «открытия» нового знания.

**ХОД УРОКА:**

#### I. ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МОМЕНТ

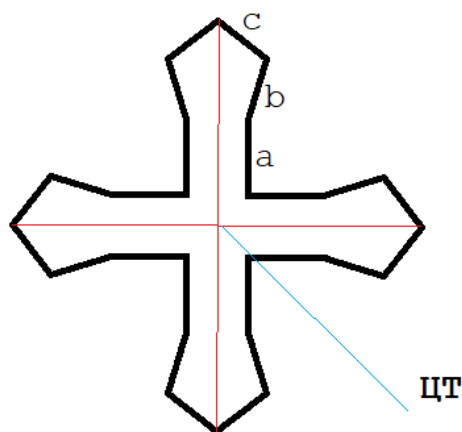
Учитель произносит приветственное слово, отмечает отсутствующих. Проходит этап мотивации к учебной деятельности.

Задача-Вопрос: Учитель просит определить координату центра тяжести фигуры, представленной на рисунке.



Геометрические размеры  $a, b, c$  считать известными.

Ответ: Учащиеся не должны рассчитывать координату центра тяжести, хотя это возможно сделать. Так как фигура обладает симметрией, то центр тяжести – это пересечение осей симметрии



Проверяет усвоение учащимися понятий, необходимых для проведения урока. Возможно проведение тематического диктанта, когда называется понятие, а учащийся пишет его определение или формулу для определенной величины, с помощью которой описывается механическое движение.

## II. *подведение К ЗУЧЕНИЮ НОВОГО МАТЕРИАЛА*

Учитель рассуждает о том, что рассматривать тело как материальную точку можно не во всех задачах. Например, при стыковки космического корабля и орбитальной станции модель материальной точки хороша до тех пор, пока объекты сближаются, но при самой стыковке требуется дополнительная коррекция в виде ориентации космического корабля. Этим рассказом учитель должен подвести, а учащиеся должны сформулировать тему урока и цель урока – изучение движения твердых тел.

## III. *ИЗУЧЕНИЕ НОВОГО МАТЕРИАЛА*

Движение твердого тела можно представить, как поступательное движение центра масс тела, на которое накладывается вращательное движение относительно центра масс.

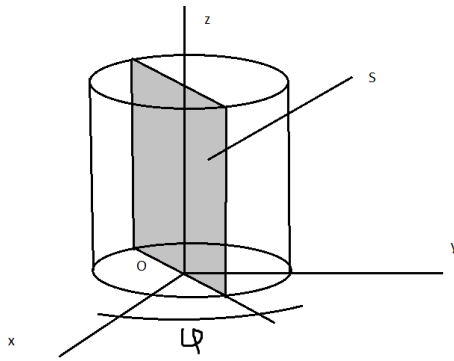
В данном случае модель материальной точки к телу не применима.

Можно рассматривать несколько случаев движения:

- 1) Движение тела вокруг неподвижной оси.
- 2) Движение тела, вокруг оси, совершающей поступательное движение.
- 3) Движение тела вокруг точки.
- 4) Движение тела вокруг неподвижной оси

В этом случае траектории точек тела являются окружностями. Кинематическими характеристиками движения являются: угловая скорость  $\omega$ , центростремительное  $\vec{a}_n$  и тангенциальное  $\vec{a}_\tau$  ускорения.

Рассмотрим вращение тела в инерциальной системе отсчета



Мысленно выделенная плоскость  $S$  вращается вокруг оси  $z$ . За промежуток времени от  $t$  до  $t + \Delta t$  она повернется на угол  $\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)$

По аналогии с ранее рассмотренной скоростью можно получить:

$$\text{Среднюю угловую скорость } \omega_{\text{cp}} = \frac{\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t}$$

$$\text{Угловую скорость (при равномерном движении) } \omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

$$\text{Мгновенную угловую скорость } \omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t}$$

Быстроту изменения угловой скорости в времени характеризует угловое ускорение  $\vec{\varepsilon}$ . При равнопеременном движении  $\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$

$$\text{Среднее угловое ускорение } \varepsilon_{\text{cp}} = \frac{\omega(t + \Delta t) - \omega(t)}{\Delta t}$$

$$\text{Мгновенное угловое ускорение } \varepsilon(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\omega(t + \Delta t) - \omega(t)}{\Delta t}$$

Рассмотренные характеристики описывают вращение тела в целом и каждой его точки в частности. Поэтому точка, находящаяся на расстоянии  $R$  от оси опишет дугу окружности  $\Delta L = [\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)]R$

$$\text{Очевидно, что } v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta t} = \left[ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\varphi(t + \Delta t) - \varphi(t)}{\Delta t} \right] R = \omega(t)R$$

$$\text{Аналогично } a_\tau(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \left[ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\omega(t + \Delta t) - \omega(t)}{\Delta t} \right] R = \varepsilon(t)R$$

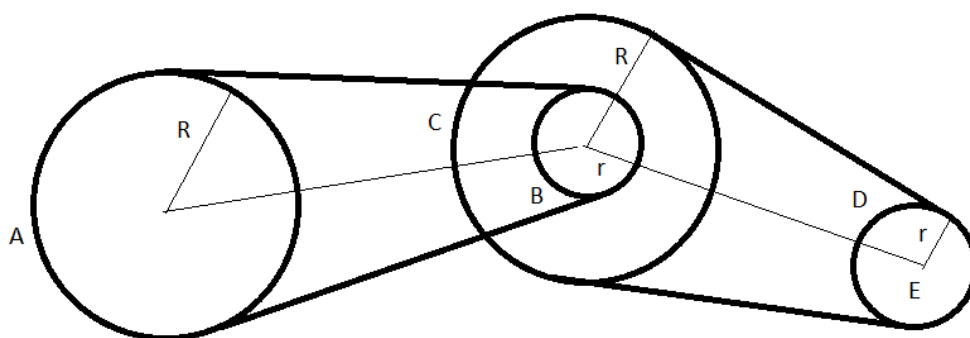
$$a_n(t) = \frac{v^2(t)}{R} = \omega^2(t)R$$

#### IV. Закрепление изученного материала

##### Задача № 1

Шкив 1 радиусом  $R$ , изображённый на рис, вращается равномерно, делая  $n$  оборотов за время  $T$ .

Он соединён ременной передачей со шкивом 2 радиуса  $r$ . Со шкивом 2 жёстко соединён шкив 3 радиусом  $R$ . Шкиф 3 соединён ременной передачей со шкивом 4 радиуса  $r$ . Ремни не проскальзывают.



Требуется найти угловую скорость шкива 4, а также модули скорости и центростремительного ускорения точки  $E$  на расстоянии  $r/2$  от центра шкива 4

Сделав  $n$  оборотов за время  $T$ , шкив повернулся на угол  $2\pi n$  (в радианах). Значит, угловая скорость  $\omega_1$  шкива 1 есть  $\omega_1 = \frac{2\pi n}{T}$ . Модуль  $v_A$  скорости точки  $A$  равен  $v_A = \omega_1 R$ .

Таков же модуль  $v_B$  скорости точки  $B$  на шкиве 2, поскольку ремни не проскальзывают. Следовательно, угловая скорость шкива 2 есть

$$\omega_2 = \frac{v_B}{r} = \frac{v_A}{r} = \frac{\omega_1 R}{r}$$

Угловая скорость шкива 3 равна угловой скорости шкива 2:

$$\omega_3 = \omega_2 = \frac{\omega_1 R}{r}$$

Модуль  $v_C$  скорости точки  $C$  на шкиве 3:

$$v_C = \omega_3 R = \frac{\omega_1 R^2}{r}$$

Таков же модуль  $v_D$  скорости точки  $D$  на шкиве 4:

$$v_D = \frac{\omega_1 R^2}{r}$$

Отсюда находим угловую скорость шкива 4:

$$\omega_4 = \frac{v_D}{r} = \frac{\omega_1 R^2}{r^2} = \frac{2\pi n R^2}{T r^2}$$

Модуль  $v_E$  скорости точки  $E$

$$v_E = \frac{1}{2} \omega_4 r = \frac{\omega_1 R^2}{2r} = \frac{\pi n R^2}{T r}$$

Модуль центростремительного ускорения точки  $E$ :

$$a_n = \frac{1}{2} \omega_4^2 r = \frac{\omega_1^2 R^4}{2r^3} = \frac{2\pi^2 n^2 R^4}{T^2 r^3}$$

## V. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

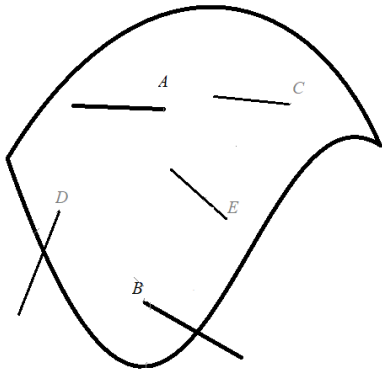
Учащиеся выполняют практическую работу (задание для практической работы представлены на отдельном документе)

## VI. Домашнее задание

Этап рефлексии учебной деятельности на уроке.

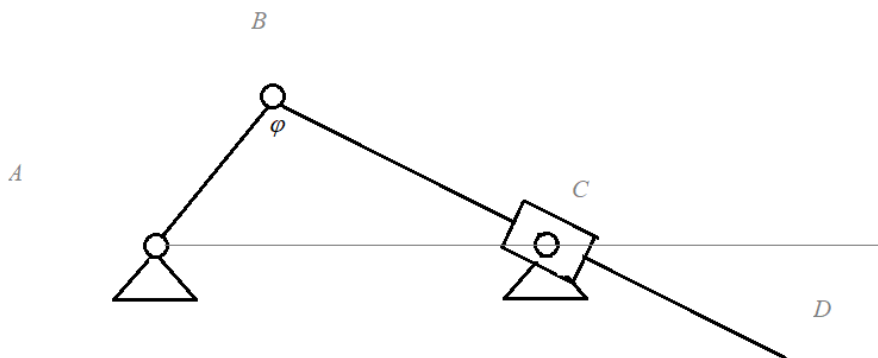
По завершению урока учитель акцентирует внимание на поставленных учащимися целях, уточняет, достигли ли учащиеся этих целей, и объясняет особенности выполнения домашнего задания.

Задача: представлено плоское тело, совершающее движение. Заданы скорости точек  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ . Скорости точек  $A$  и  $B$  определены правильно. Выясните какие из скоростей точек  $C$ ,  $D$ ,  $E$  определены верно?



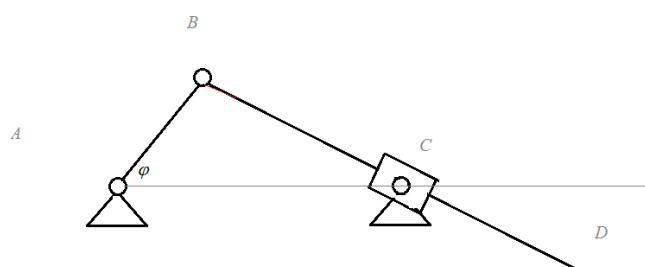
Ответ: Е.

1. Дан механизм, представленный на рисунке. Найти МЦС звена BD при угле  $\varphi$ , равном 90 градусов

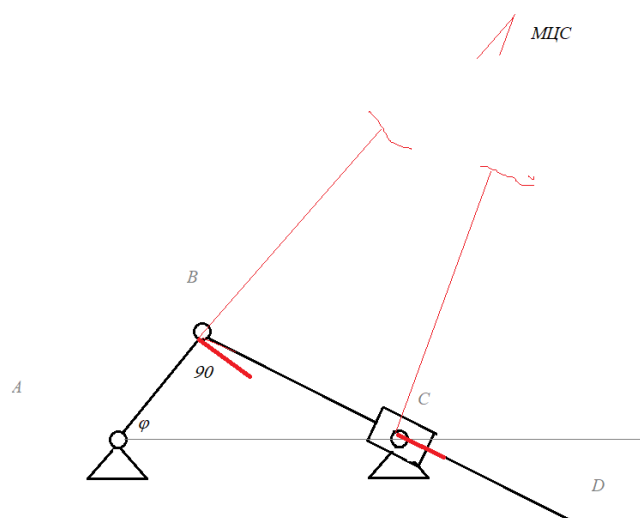


Ответ: Звено BD продето в качающейся элемент C. Точка C неподвижна. Поэтому скорость точки C звена BD направлена вдоль звена. Скорость точки B также направлена вдоль звена. МЦС уходит в бесконечность. Линейные скорости точек звена все одинаковы. Угловые скорости равны нулю.

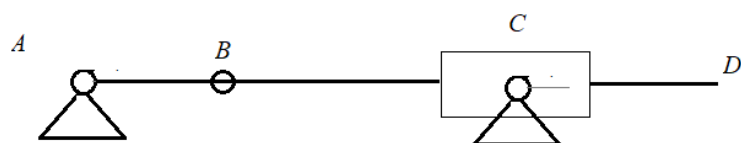
2. Дан механизм, представленный на рисунке. Найти МЦС звена BD при угле  $\varphi$ , равном 45 градусов



Ответ:

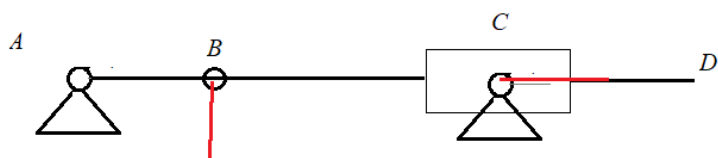


3. Дан механизм, представленный на рисунке. Найти МЦС звена BD при угле  $\varphi$ , равном 0 градусов



Ответ: Точка C - МЦС





**Ответьте на вопрос:** наблюдатель из Млечного пути смотрит на движение Земли. На какие элементарные движения он может разложить его?

**Список литературы:**

1. Тарасов Л.В. Механика: Продвинутый курс. Для старшеклассников и студентов. – М.: ЛЕНАНД, 2017.
2. Начала физики: Учебник/ Ю.Г. Павленко. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство «Экзамен», 2005.
3. Физика. 10–11 классы: пособие для учащихся и абитуриентов. В 2 ч. Ч. 1./ С.М. Козел. – М.: Мнемозина, 2010.
4. Методы решения задач в общем курсе физики. Механика: Учеб. Пособие/ В.П. Корявов. – М.: Высш. Шк., 2007.