

**Прочитайте вступление к учебной лекции.**

**Если читали ранее – можно пропустить этот блок информации.**

Учебная лекция в ДО – это учебный материал для конспектирования

Инструкция для работы с учебным материалом (для конспектирования):

1. Первый раз прочитайте всю лекцию, ничего не записывая.
2. Ответьте мысленно на вопрос, что главное в лекции, из скольких основных частей лекция состоит (*на сколько частей ее можно мысленно разбить*), придумайте название для каждой части – это будет план конспекта.
3. Откройте тетрадь для лекций и запишите в тетради тему, дату лекции и план конспекта.
4. Второй раз начинайте читать лекцию и приступайте к конспектированию: в соответствии с планом – в каждой части плана пишите определения величин, формулы законов, формулировки законов, делайте рисунки к разбираемым примерам или другому. Чем больше будет ваших записей, поясняющих о чем идет речь, тем лучше вы поймете и запомните учебный материал.

Внимание! Важно обращать внимание на то, что вы описываете – явление, закон, величину или другое понятие (например, модель объекта).

Руководствуйтесь правилами:

А) если описываете явление – запишите особенности рассматриваемого явления (*в чем заключается явление, каковы условия его возникновения, какие законы и величины используются для исследования явления*)

В) если описываете величину – запишите определение величины (*укажите физическая скалярная или векторная величина, формулу/ы для определения величины, единицу величины, поясните, что характеризует и, если векторная величина, то она как направлена*),

С) если описываете понятие (не величину) – запишите одно предложение, которое раскрывает смысл понятия (*для примера см. система отсчета, материальная точка, система материальных точек и др.*),

Д) если описываете закон – название, формулу, формулировку, физический смысл запишите закона. **Помните, что при записи формулы надо расшифровать названия величин, входящих в данную формулу.**

## СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ

**Виды движений твердого тела. Характеристики и законы  
поступательного и вращательного движений.**

### Введение

Данная лекция является очень важной, так как в ней мы рассмотрим, как подходить к исследованию любого сложного движения тел. Такие движения

часто встречаются в технике (см. видео\_СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ). Особенность этих движений в том, что любое сложное движение можно представить состоящим из простых движений – поступательных и(или) вращательных. Поэтому главное – научиться «разделять» сложное движение на эти простые движения (видеть, различать их) и научиться «накладывать» эти движения при исследовании (складывать скорости, угловые скорости и т.п.). Какие законы можно при этом использовать? Все законы механики, которые мы разобрали на предыдущих лекциях. Например, поступательное движение подчиняется таким законам динамики как *второй закон Ньютона*, который показывает, что для того, чтобы изменить скорость поступательно движущегося тела, необходимо приложить к телу силу  $F$ . Вращательное движение подчиняется, например, таким законам как *основной закон динамики вращательного движения*, который показывает, что для того, чтобы изменить угловую скорость вращающегося тела необходимо выполнить два условия: надо не только приложить силу  $F$ , но и момент этой силы  $M$  должен быть отличен от нуля.

### Сложное движение

Рассмотрим произвольное движение твердого тела (ТТ). В этом случае твердое тело (ТТ) одновременно участвует в двух движениях: все точки тела (например, точка  $A$  и точка  $B$ ) движутся поступательно и при этом все точки тела вращаются вокруг точки центра масс  $C$ . Случай произвольного движения можно наблюдать, например, когда гаечный ключ скользит по гладкой поверхности.

*Поступательное движение ТТ (в сложном движении)* – такое движение, при котором прямая, соединяющая любые две точки ТТ, остается параллельна сама себе при движении. Математически можно описать движение точек  $A$  и  $B$  с помощью таких характеристик, как перемещение и скорость. При этом, если линия, соединяющая эти точки остается параллельна сама себе, то перемещения этих точек равны:

$$d\vec{r}_A = d\vec{r}_B !$$

Если равны перемещения, то равны и скорости этих точек (как и всех точек ТТ):

$$\vec{V}_A = \frac{d\vec{r}_A}{dt} = \frac{d\vec{r}_B}{dt} = \vec{V}_B$$

Если равны скорости, то равны и ускорения этих точек (как и всех точек ТТ).

Заметим, если надо найти положение, например, точки  $B$ , то достаточно найти положение точки  $A$  и определить положение точки  $B$  с помощью вектора, соединяющего эти две точки:

$$\vec{r}_B = \vec{r}_A + A\vec{B}$$

Обобщим:

1) если ТТ участвует в поступательном движении, то для исследования этого движения можно выделить любую точку ТТ, исследовать ее движение и затем определить положение всех остальных точек ТТ. Для исследования поступательного движения чаще всего выбирают точку центра масс тела.

2) Скорость и ускорение поступательного движения любых точек ТТ равны.

*Вращательное движение ТТ (в сложном движении)* – такое движение, при котором все точки ТТ вращаются вокруг оси, проходящей через центр масс  $C$ . Уравнение моментов для этого случая будет следующим:

$$\frac{d\vec{L}_C}{dt} = \vec{M}_C$$

Определение момента импульса

$$\vec{L}_C = J_C \vec{\omega}$$

Можно подставить в уравнение моментов

$$\frac{d(J_C \vec{\omega})}{dt} = \vec{M}_C$$

Далее, если момент инерции тела относительно точки центра масс  $C$  – величина постоянная

$$J_C = const,$$

можно вынести момент инерции из под знака дифференциала

$$J_C \frac{d(\vec{\omega})}{dt} = \vec{M}_C$$

и увидеть, что получена производная от угловой скорости по времени, которая определяет угловое ускорение.

Теперь можно вместо уравнения моментов записать основной закон динамики вращательного движения для этого случая:

$$\vec{M}_C = J_C \cdot \vec{\varepsilon}$$

Все эти характеристики и два закона могут быть использованы для исследования вращательного движения тела тогда, когда вращение является частью сложного движения тела.

*Произвольное движение ТТ* – это такое движение, при котором точка центра масс совершает поступательное движение, а все остальные точки ТТ совершают вращательное движение вокруг нее.

Учтем рассмотренные выше характеристики, законы, свойства поступательного и вращательного движений тела. В качестве основной точки для рассмотрения движения возьмем точку  $C$  – точку центра масс. Тогда положение (радиус-вектор) любой точки, например, точки  $A$ , в любой момент времени можно определить, если известно положение (радиус-вектор) точки центра масс  $C$ :

$$\vec{r}_F = \vec{r}_C + C\vec{A}$$

Перечислим кинематические и динамические характеристики поступательного движения для точки центра масс  $C$ :

- 1)  $\vec{r}_C, \vec{V}_C, \vec{a}_C, d\varphi_A, \omega_A, \vec{\varepsilon}_A$  — кинематические характеристики движения точки  $C$
- 2)  $\vec{p}_C, \vec{L}, W_{кин.}$  — динамические характеристики движения точки  $C$

Обратите внимание, что такие характеристики поступательного движения, как скорость и ускорение, будут одинаковыми для любых точек ТТ!

Кинематическое уравнение движения точки  $C$ :

$$\vec{r}_C = \vec{r}_{OC} + \vec{V}_{OC}t + \frac{a_C t^2}{2}$$

$$\vec{V}_C = \vec{V}_{OC} + \vec{a}_C t$$

Законы динамики для точки C:

$$\frac{d\vec{p}_C}{dt} = \vec{F}$$

- второй закон Ньютона в дифференциальной форме,

$$\vec{F} = m\vec{a}_C$$

- второй закон Ньютона для случая  $m = const$ ,

$$\vec{F} = 0 \text{ и } \vec{p}_C = const$$

- закон сохранения импульса.

К этим законам необходимо добавить первый и третий законы Ньютона.

На языке энергий действие сил в случае поступательного и вращательного движений отражают теорема об изменении кинетической энергии

$$A = \Delta W_{кин}$$

И закон сохранения механической энергии

$$W_{полн.мех.} = const \quad \text{если} \quad A_{ин} = 0,$$

в котором необходимо учесть «наложение» двух движений – поступательного и вращательного. Учитывает это кинетическая энергия ТТ:

$$W_{кин} = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$

Вращательное движение ТТ описывают в случае сложного движения:

2а) кинематические уравнения движения

$$\Delta\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$$

2а) законы динамики

$$\frac{d\vec{L}_C}{dt} = \vec{M}_C$$

– уравнение моментов;

$$\vec{M}_C = J_C \cdot \vec{\varepsilon}$$

– основной закон динамики вращательного движения;

если  $\vec{M} = 0$ , то  $\vec{L} = const$  – закон сохранения момента импульса.

**Рассмотренное произвольное движение приводит к важному выводу: любое сложное движение ТТ можно представить как результат наложения нескольких простых движений.**

### Механическая картина мира

Подведем итог всему нашему путешествию в мир механических явлений. Что мы использовали для исследования в первую очередь? Физические модели. Какие? Такие физические модели, как МТ, ТТ, СМТ. Этих моделей достаточно, чтобы исследовать большинство движений. За пределами рассмотрения осталась только одна модель – сплошная среда, которую используют при исследовании движения жидкостей, изучает это движение гидродинамика.

Механическая картина мира предстает картиной механического движения, равновесия и механического взаимодействия физических моделей механики. Следовательно, механические явления - это движение, равновесие и механическое взаимодействие тел. Для исследования механических явлений используют законы механики, в которых отражены закономерности явлений. При этом, как мы увидели, используются законы кинематики (без учета сил) и законы динамики (силовой и энергетический подходы).

Уточним только одну деталь. Механическое взаимодействие исследуют не только с помощью 3-го закона Ньютона, существуют дополнительные законы, такие, например, как принцип наименьшего принуждения, с которыми можно познакомиться самостоятельно.