

# Динамика. Метод кинетостатики

*Динамикой* называется раздел механики, в котором изучается движение материальных тел под действием приложенных к ним сил.

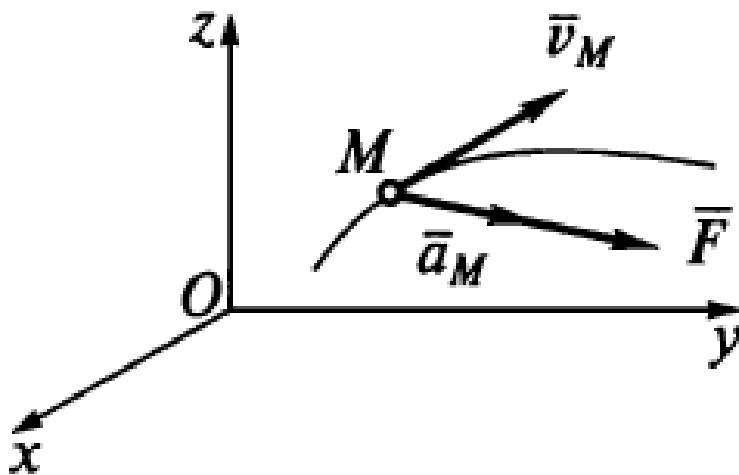
*В основе динамики лежат законы, сформулированные Ньютоном.*

# Законы динамики

**Первый закон** - закон инерции, установленный Галилеем, гласит: материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие других тел не изменит это состояние.

**Второй закон** - основной закон динамики - устанавливает связь между ускорением  $a$ , массой  $m$  материальной точки  $M$  и силой  $F$ :

ускорение материальной точки пропорционально приложенной к ней силе и имеет одинаковое с ней направление.



$$m\bar{a} = \bar{F}.$$

**Третий закон** формулируется следующим образом: **всякому действию соответствует равное и противоположно направленное противодействие.**

Этот закон устанавливает, что при взаимодействии двух тел, в каком бы кинематическом состоянии они не находились, силы, приложенные к каждому из них, равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

**Четвертый закон** не был сформулирован Ньютоном как отдельный закон механики, но таковым можно считать сделанное им обобщение правила параллелограмма сил: **несколько одновременно действующих сил сообщают точке такое ускорение, какое сообщала бы одна сила, равная их геометрической сумме.**

# Метод кинетостатики

Представим себе материальную точку массой  $m$ , движущуюся с ускорением  $a$  под действием какой-то системы активных и реактивных сил, равнодействующая которых равна  $F$ .

Воспользуемся одной из известных нам формул (основным уравнением динамики) для того, чтобы уравнения движения записать в форме уравнений равновесия (метод кинетостатики):

$$F = ma.$$

Перепишем это уравнение в следующем виде:

$$F + (-ma) = 0.$$

Выражение, стоящее в скобках, обозначается  $F^{\text{ин}}$  и называется *силой инерции*:

$$F^{\text{ин}} = -ma.$$

*Сила инерции есть вектор, равный произведению массы точки на ее ускорение и направленный в сторону, противоположную ускорению.* Тогда

$$F + F^{\text{ин}} = 0 \text{ или } \sum (F, F^{\text{ин}}) = 0.$$

Это равенство, являющееся математическим выражением принципа, который носит имя французского ученого Ж. Д'Аламбера (1717 — 1783), можно рассматривать как уравнение равновесия материальной точки. Следует подчеркнуть, что полученное равенство, хотя и названо уравнением равновесия, в действительности является видоизмененным уравнением движения материальной точки.

Принцип Д'Аламбера формулируется так:  
активные и реактивные силы,  
действующие на материальную точку,  
вместе с силами инерции образуют систему  
взаимно уравновешенных сил,  
удовлетворяющую всем условиям  
равновесия.

Такое состояние точки (или тела) называется  
*относительным механическим равновесием.*

**Принципом Д'Аламбера называют общий метод, с помощью которого уравнениям динамики по форме придается вид уравнений статики.**

Для этого вводится понятие **силы инерции** материальной точки - силы, равной произведению массы точки на ее ускорение и направленной противоположно ускорению:

$$\bar{F}_{\text{ин}} = -m\bar{a}.$$

Следует помнить, что сила инерции приложена к рассматриваемой материальной точке *условно*, но для связи, вызывающей ускорение, она в определенном смысле является *реальной*.

Обладая свойством инерции, всякое тело стремится сохранять свою скорость по модулю и направлению неизменной, в результате чего оно будет действовать на связь, вызывающую ускорение, с силой, равной силе инерции.

*В качестве примера действия сил инерции можно привести случаи разрушения маховиков при достижении ими критической угловой скорости.*

Во всяком вращающемся теле действуют силы инерции, так как каждая частица этого тела имеет ускорение, а соседние частицы являются для нее связями.



Пусть к телу (см. рис.), лежащему на горизонтальной плоскости, привязана нить, способная выдерживать силу тяжести  $G$  этого тела.

Если к нити приложить силу  $R$  статически (постепенно), то тело будет поднято вверх и нить не оборвется.

Если силу  $R$  приложить динамически (внезапно, рывком), то нить оборвется.

Это явление объясняется следующим образом.

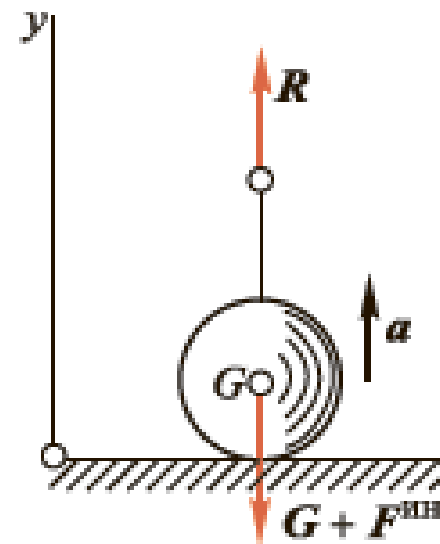
Чтобы поднять груз, нужно сообщить ему какое-то ускорение  $a$ .

Для определения величины натяжения нити применим принцип Д'Аламбера и составим уравнение равновесия:

$$\sum Y = 0; \quad R - G - F^{\text{ин}} = 0,$$

откуда

$$R = G + F^{\text{ин}} = G + ma.$$





В первом случае грузу сообщается небольшое ускорение и сила инерции, увеличивающая натяжение нити, невелика; во втором случае ускорение, сообщаемое телу, значительное и сила инерции соответственно возрастает.

В обоих случаях сила инерции не увеличивает давление на опору, так как приложена к телу условно.

Отметим, что *весом тела* называется сила, с которой тело вследствие притяжения Земли действует на опору (или подвес), удерживающую его от свободного падения.

*Если тело и опора неподвижны, то вес тела равен его силе тяжести.*

**Пример.** В поднимающейся кабине лифта взвешивается тело на пружинных весах (сила тяжести тела  $G = 50$  Н), натяжение  $R$  пружины весов (т.е. вес тела) равно 51 Н. Найти ускорение кабины.

**Решение.** Применим к телу принцип освобожденности, отбросим пружинные весы и заменим их реакцией  $R$ , равной натяжению пружины.

Для решения задачи применим метод кинестатики, т.е. приложим к телу силу инерции  $F^{\text{ин}}$ . Составим уравнение равновесия взвешиваемого тела, спроецировав все силы на вертикальную ось  $y$ ; предполагаем, что ускорение  $a$  кабины направлено вверх и, следовательно, сила инерции направлена вниз (расположение векторов сил см. на рис. ):

$$\sum Y = 0; R - G - F^{\text{ин}} = 0.$$

Модуль силы инерции определяем по формуле

$$F^{\text{ин}} = ma = \frac{G}{g}a.$$

Подставив это выражение в уравнение, определим ускорение

$$a = (R - G) \frac{g}{G} = (51 - 50) \frac{9,8}{50} = 0,196 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение получилось положительным, следовательно, как и предполагалось, оно направлено вверх.

