I. Введение

1. Введение в механику. Разделы теоретической механики. Предмет теоретической механики

Современная техника ставит перед инженерами множество задач, решение которых связано с исследованием так называемого механического движения и механического взаимодействия материальных тел.

Теоретическая механика – это наука, в которой изучаются общие законы механического движения и механического взаимодействия. [μεχανη]

Механическим движением называется перемещение тела по отношению к другому телу происходящее в пространстве и во времени.

Под механическим взаимодействием понимают те действия материальных тел друг на друга, в результате которых происходит изменение движения этих тел или изменение их формы.

Курс теоретической механики делится на три раздела: статика, кинематика и динамика.

Статика – это раздел механики, в котором изучаются методы преобразования систем сил в эквивалентные системы сил и устанавливаются условия равновесия сил, приложенных к твердому телу.

Кинематика – это раздел теоретической механики, в котором изучается движение материальных тел в пространстве с геометрической точки зрения, вне связи с силами, определяющими это движение.

Динамика – раздел механики, в котором изучается движение материальных тел в пространстве в зависимости от действующих на них сил.

Круг проблем, рассматриваемых в механике, очень велик и с развитием этой науки в ней появился целый ряд областей. К этим областям относятся: теория упругости, теория пластичности, гидро- и аэромеханика и ряд других областей. Во всех этих областях методы исследования опираются на ряд основных законов или принципов и используют многие понятия и методы, общие для всех областей механики.

Рассмотрение этих общих понятий, законов и методов и составляет предмет так называемой теоретической механики.

СТАТИКА

II. Введение в статику

1. Основные понятия и аксиомы статики

Материальное тело, размеры которого в рассматриваемых конкретных условиях можно не учитывать, называется материальной точкой.

Материальная точка обладает массой и способностью взаимодействовать с другими телами.

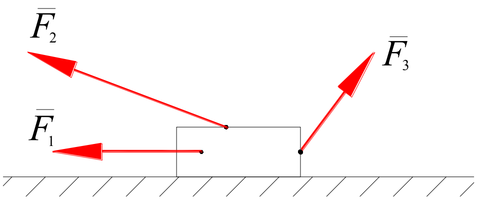
Системой материальных точек или механической системой, называется такая совокупность материальных точек, в которой положение и движение каждой точки зависит от положения и движения других точек этой системы.

Абсолютно твердым, называется тело, у которого расстояние между любыми двумя точками остается неизменным.

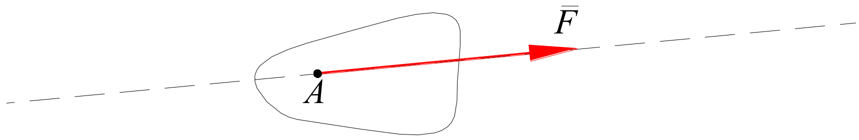
Твердое тело может находиться в состоянии покоя или движения определенного характера. Каждое из этих состояний условимся называть кинематическим состоянием тела.

Сила – это мера механического взаимодействия тел, определяющая интенсивность и направление этого взаимодействия.

Сила характеризуется: модулем, направлением, точкой приложения и линией действия.



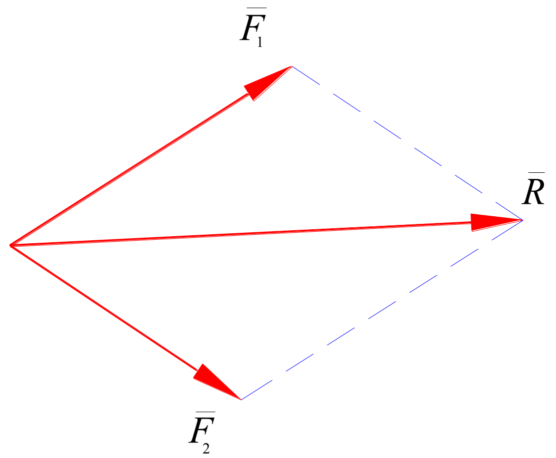
Прямая вдоль которой направлена сила, называется линией действия силы.



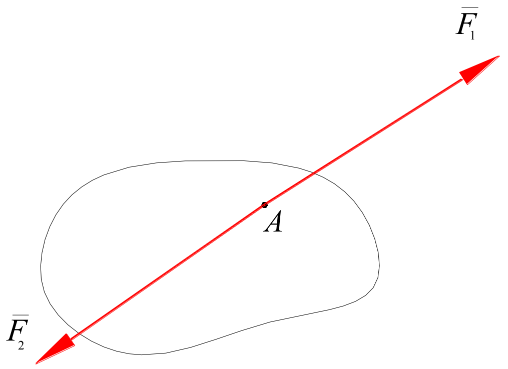
Совокупность нескольких сил, действующих на тело, называется системой сил.

Системы сил, под действием каждой из которых твердое тело находится в одинаковом кинематическом состоянии, называются эквивалентными.

Сила эквивалентная некоторой системе сил, называется равнодействующей.



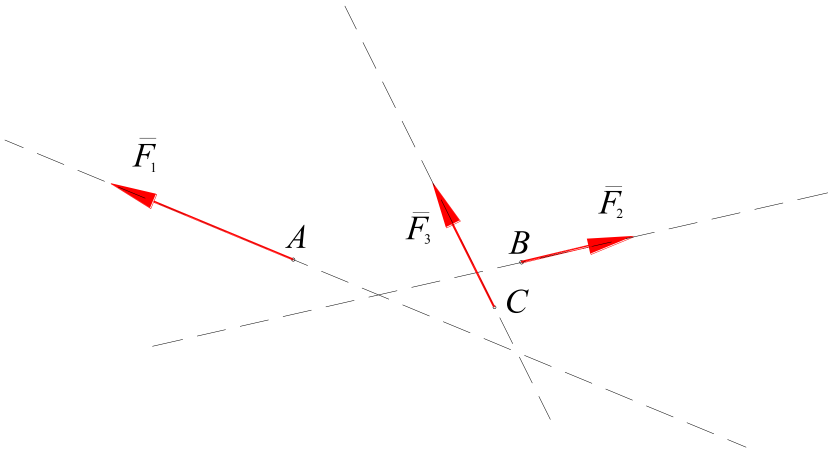
Сила равная по модулю равнодействующей и направленная по линии ее действия в противоположную сторону, называется уравновешивающей силой.



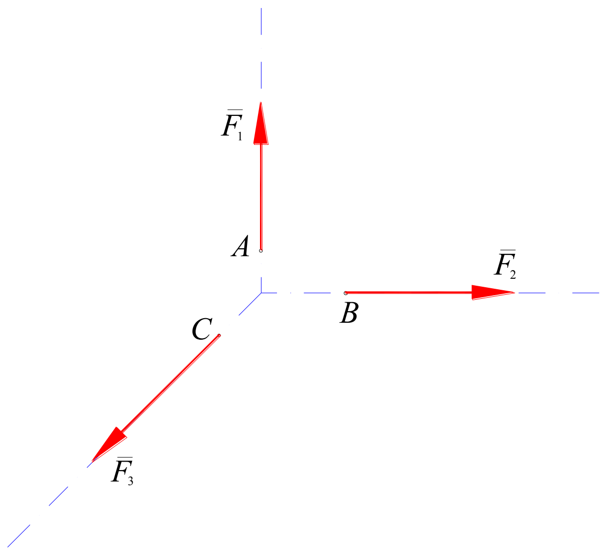
$$\overline{F}_1 = -\overline{F}_2$$

Система сил, которая, будучи приложенной к твердому телу, находящемуся в покое, не выводит его из этого состояния, называется системой взаимно уравновешивающихся сил.

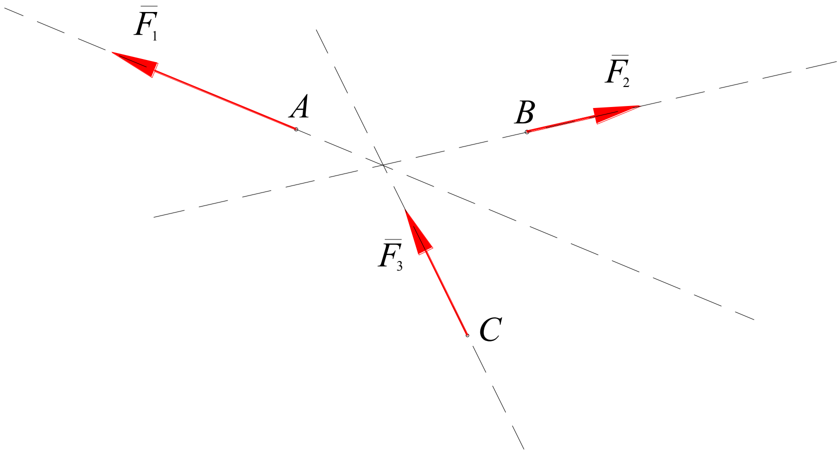
Если линии действия всех сил лежат в одной плоскости, то система сил называется плоской.



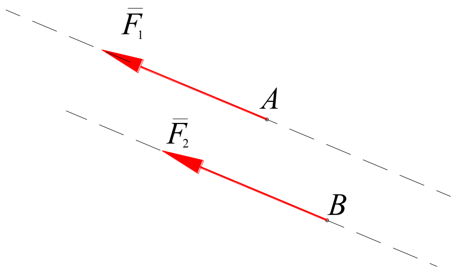
Если линии действия сил не лежат в одной плоскости, то система сил называется пространственной.



Силы, линии действия которых пересекаются в одной точке, называются сходящимися.



Силы, линии действия которых параллельны, называются параллельными.



Сила, приложенная к твердому телу в какой-нибудь одной его точке, называется сосредоточенной.

Силы, действующие на все точки данного объема или данной части поверхности твердого тела, называются распределенными.

Задачи статики

1. преобразование систем сил, действующих на твердое тело, в системы им эквивалентные;
2. определение условий равновесия систем сил, действующих на твердое тело.

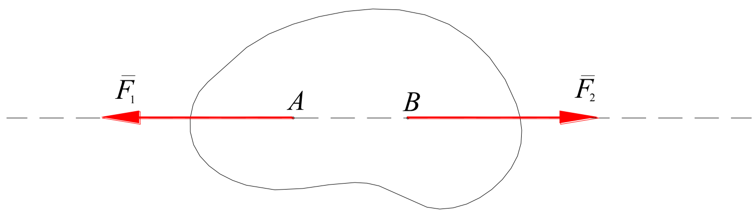
Аксиомы статики

1. АКСИОМА ИНЕРЦИИ

Под действием системы взаимно уравновешивающихся сил твердое тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно.

2. АКСИОМА РАВНОВЕСИЯ ДВУХ СИЛ

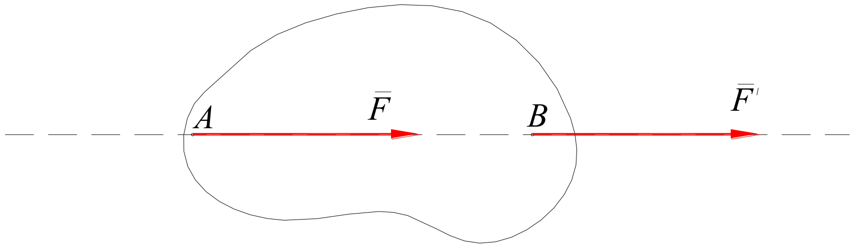
Две силы, приложенные к твердому телу, взаимно уравновешиваются только в том случае, если их модули равны и они направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны,



3. АКСИОМА ПРИСОЕДИНЕНИЯ И ИСКЛЮЧЕНИЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ СИЛ

Действие системы сил на твердое тело не изменится, если к ней присоединить или из нее исключить систему взаимно уравновешивающих сил.

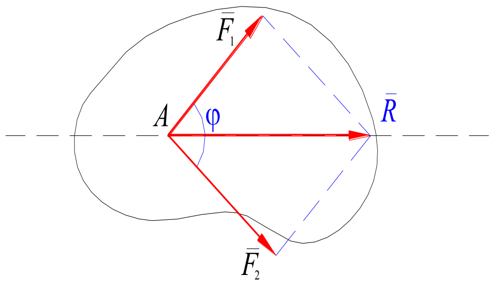
СЛЕДСТВИЕ: не изменяя кинематического состояния абсолютно твердого тела, силу можно переносить вдоль линии ее действия, сохраняя неизменным ее модуль и направление.



В статике твердого тела сила рассматривается как скользящий вектор.

4. АКСИОМА ПАРАЛЛЕЛОГРАММА СИЛ

Равнодействующая двух пересекающихся сил приложена в точке их пересечения и изображается диагональю параллелограмма, построенного на этих силах.



$$\overline{R} = \overline{F_1} + \overline{F_2}$$

$$R = \sqrt{F_1^{\,2} + F_1^{\,2} - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \varphi)}$$

$$R = \sqrt{F_1^{\,2} + F_1^{\,2} + 2F_1F_2\cos\varphi}$$

5. АКСИОМА РАВЕНСТВА ДЕЙСТВИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Всякому действию соответствует равное противоположно направленное противодействие.

6. ПРИНЦИП ОТВЕРДЕВАНИЯ

Равновесие сил приложенных к деформирующемуся телу, сохраняется при его затвердевании.

7. АКСИОМА СВЯЗИ

Несвободное твердое тело можно рассматривать как свободное, на которое, кроме задаваемых сил, действуют реакции связи.

Связи и их реакции

Твердое тело называется свободным, если оно может перемещаться в пространстве в любом направлении.

Твердое тело, свобода движения которого ограничена наложенными на него связями, называется несвободным.

Тело, ограничивающее свободу движения данного тела, является по отношению к нему связью.

Все силы, действующие на несвободное твердое тело можно разделить на задаваемые (активные) силы и реакции связей.

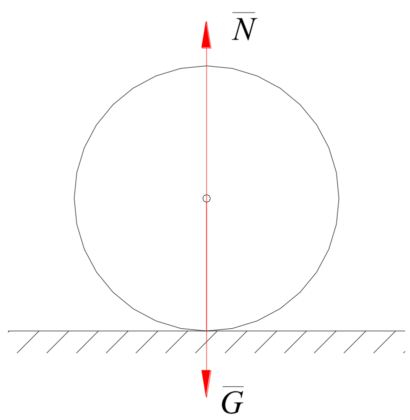
Активные силы выражают действие на твердое тело других тел, вызывающих или способных вызвать изменение его кинематического состояния.

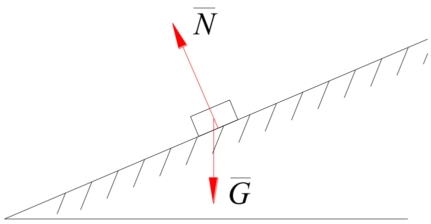
Реакцией связи называется сила или система сил, выражающая механическое действие связей на тело.

Типы связей и их реакции

1. Гладкая плоскость

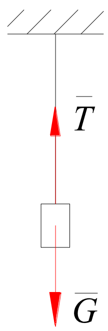
Реакция гладкой плоскости направлена перпендикулярно к плоскости.





2. Нить

Реакция нити направлена вдоль нити.



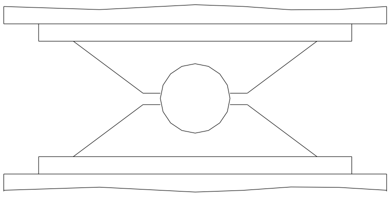
Для определения каждой реакции нужно знать три ее элемента: модуль, направление и точку приложения.

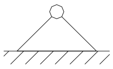
Точка приложения, как правило, известна. Направление же реакций известно лишь для некоторых типов связей.

Если существует два взаимно перпендикулярных направления на плоскости, в одном из которых связь препятствует перемещению тела, а в другом нет, то направление ее реакции противоположно первому направлению.

3. Шарнирно-неподвижная опора

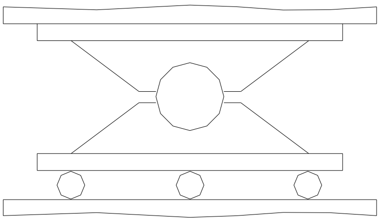
Препятствует любому поступательному движению тела, но дает ей возможность поворачиваться вокруг оси шарнира.

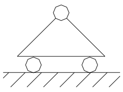


схематически изображается: 

Известна точка приложения реакции, неизвестны модуль и направление.

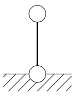
4. Шарнирно-подвижная опора



схематически изображается: 

Известна точка приложения реакции и ее направление, неизвестен модуль этой реакции.

5. Невесомый стержень



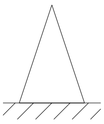
Реакция невесомого стержня направлена вдоль стержня.

Неизвестен модуль этой реакции.

6. Упор

Реакция упора перпендикулярна оси балки опертой на него.

Неизвестен модуль этой реакции.



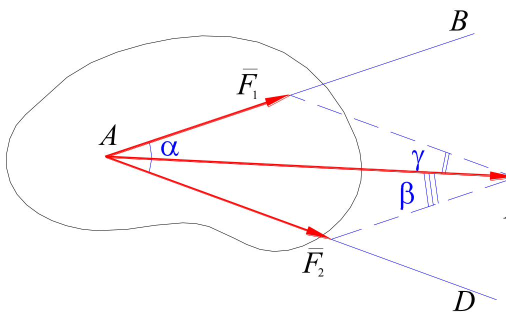
III. Система сходящихся сил

1. Задачи сложения системы сходящихся сил

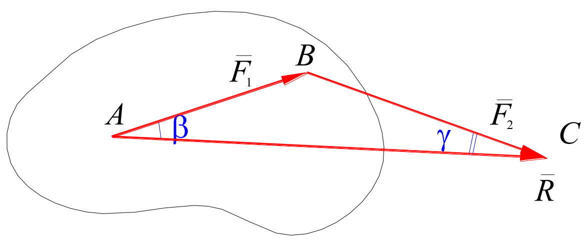
Сложение сил. Геометрический способ сложения сил.

Величина, равная геометрической сумме сил какой-нибудь системы называется главным вектором этой системы сил.

a) Сложение двух сил



(правило параллелограмма)



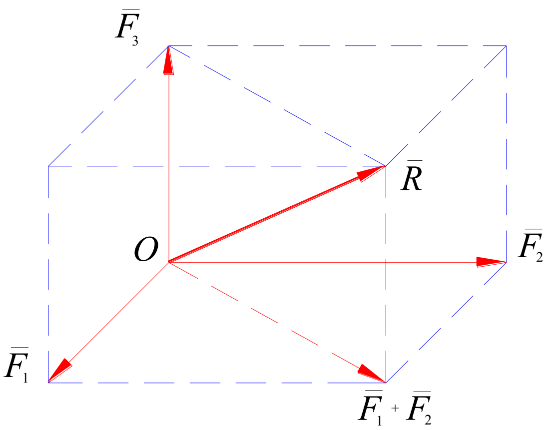
(правило треугольника)

$$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\alpha}$$

$$\frac{F_1}{\sin\gamma} = \frac{F_2}{\sin\beta} = \frac{R}{\sin\alpha}.$$

b) Сложение трех сил, не лежащих в одной плоскости

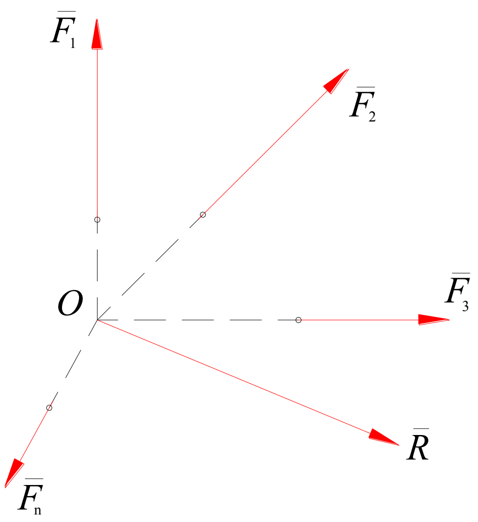


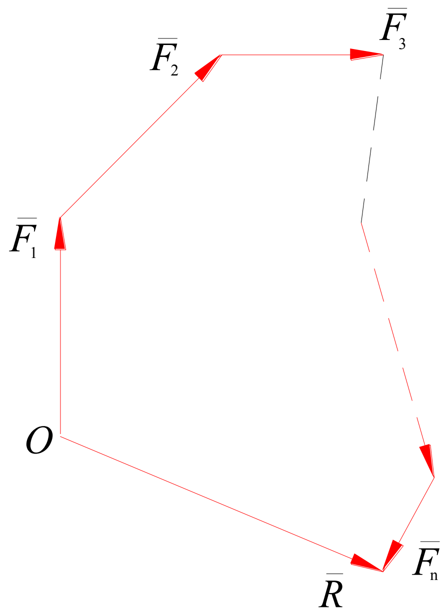
$$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2 + \overline{F}_3$$

(правило параллелепипеда)

c) Сложение системы сил

При сложении системы сил построение силового многоугольника более удобно.





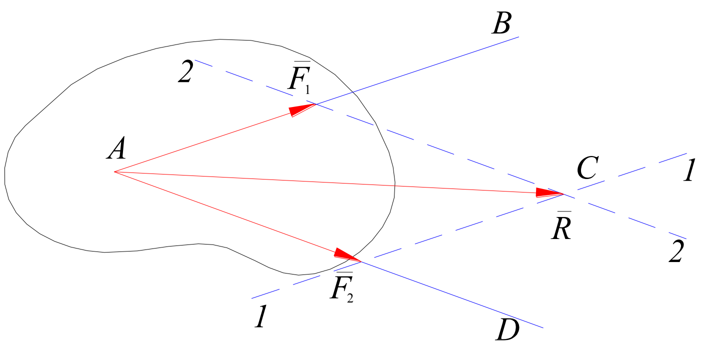
$$\overline{R}=\overline{F_1}+\overline{F_2}+\overline{F_3}+\ldots+\overline{F_n}=\sum_{k=1}^{n}\overline{F_k}$$

Разложение сил

Разложить данную силу на несколько составляющих это значит найти такую систему нескольких сил, для которых данная сила является равнодействующей.

Эта задача является неопределенной и имеет однозначное решение при задании дополнительных условий:

a) Разложение по двум заданным направлениям



1-1 параллелльна AB

2-2 параллельна AD

(параллелограмм)

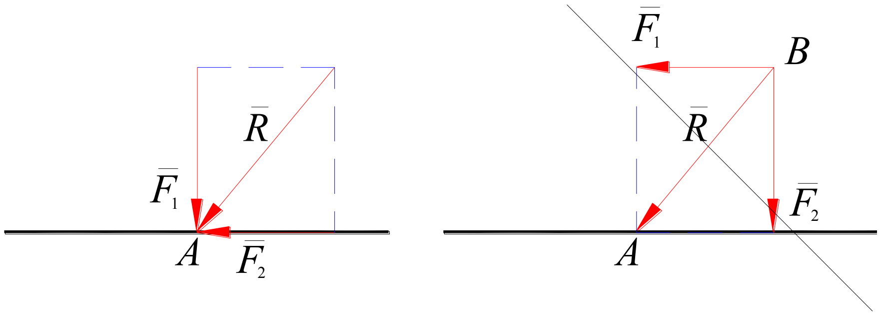
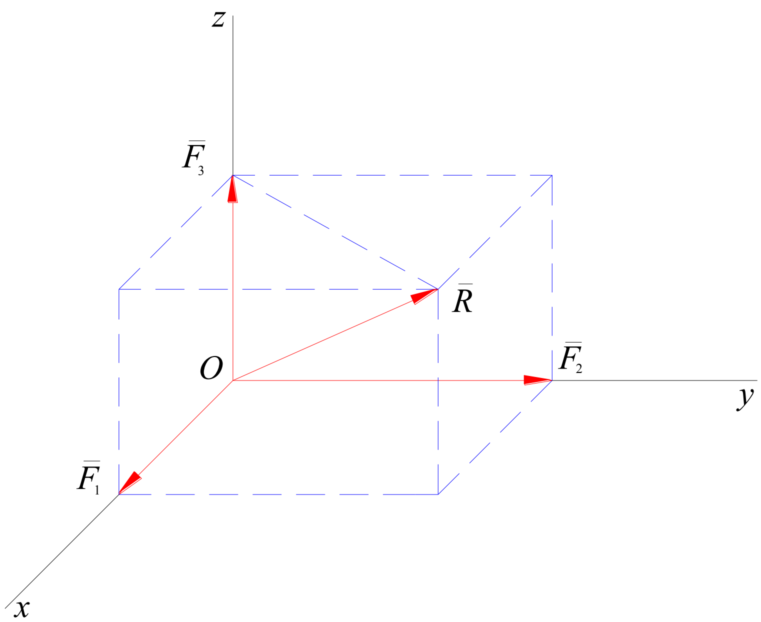


Рис. 1.

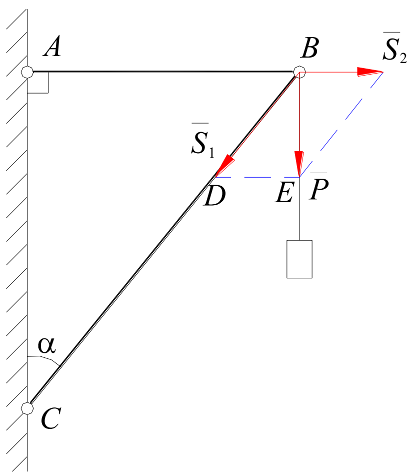
На (рис. 1) показано как следует раскладывать силу $\overline{R}$ в декартовой системе координат и как этого выполнять нельзя.

b) Разложение по трем заданным направлениям



(параллелепипед)

Пример



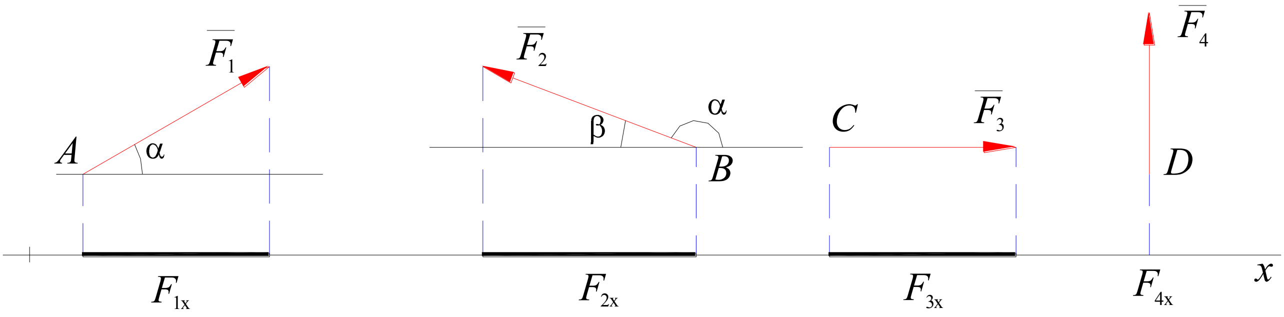
Кронштейн прикреплен с стене в точках А и С. Так как система является уравновешенной, то усилия возникающие в стержнях в сумме должны быть равны внешней силе $\overline{P}$. Разложим силу $\overline{P}$ по двум направлениям АВ и ВС.

$\overline{S}_1$ и $\overline{S}_2$ – усилия в стержнях.

$$S_1 = \frac{P}{cos\alpha}; \qquad S_2 = P \cdot tg\alpha$$

Проекция силы на ось

Проекция силы на ось, есть алгебраическая величина, равная произведению модуля силы на косинус угла между силой и положительным направлением оси.



$$F_{1x} = F_1 \cos\alpha \qquad F_{2x} = F_2 \cos\alpha \qquad F_{3x} = F_3 \qquad F_{4x} = 0$$

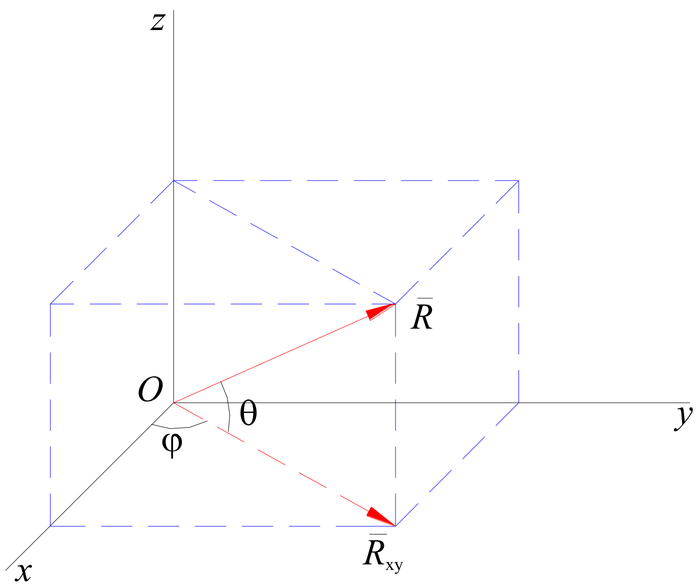
$$F_{2x} = F_2 \cos(180^{\circ} - \beta)$$

$$F_{2x} = -F_2 \cos\beta$$

Если линия действия силы параллельна данной оси, то проекция силы на эту ось равна модулю силы.

Если линия действия силы перпендикулярна данной оси, то проекция силы на ось равна нулю.

Проекция силы на плоскость



Проекция вектора силы на плоскость величина векторная.

$$R_{xy} = R\cos\theta$$

Запишем выражения для проекций вектора $\overline{R}$ на оси:

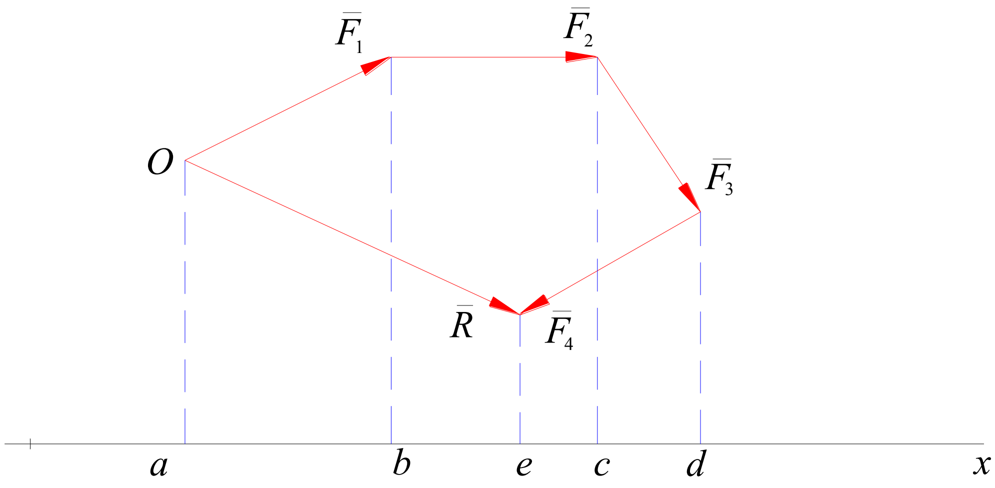
$$R_x = R_{xy}\cos\varphi = R\cos\theta\cos\varphi$$

$$R_y = R_{xy}\sin\varphi = R\cos\theta\sin\varphi$$

$$R_z = R\sin\theta$$

Аналитический способ сложения сил

Теорема: Проекция вектора суммы на какую-нибудь ось равна алгебраической сумме проекций слагаемых векторов на ту же ось.



$$ae = ab + bc + cd - de$$

$$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2 + \overline{F}_3 + \overline{F}_4$$

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x}$$

Для произвольной системы сил $\overline{F}_1, \overline{F}_2, \overline{F}_3, \ldots, \overline{F}_n$ имеем:

$$\overline{R} = \sum_{k=1}^{n} \overline{F}_k$$

$$\left.\begin{array}{l} R_x = \sum\limits_{k=1}^{n} F_{kx}, \quad R_y = \sum\limits_{k=1}^{n} F_{ky}, \quad R_z = \sum\limits_{k=1}^{n} F_{kz} \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \\ \cos\alpha = \dfrac{R_x}{R}, \quad \cos\beta = \dfrac{R_y}{R}, \quad \cos\gamma = \dfrac{R_z}{R} \end{array}\right\} \qquad (1)$$

Формулы (1) позволяют решить задачу о сложении сил аналитически.

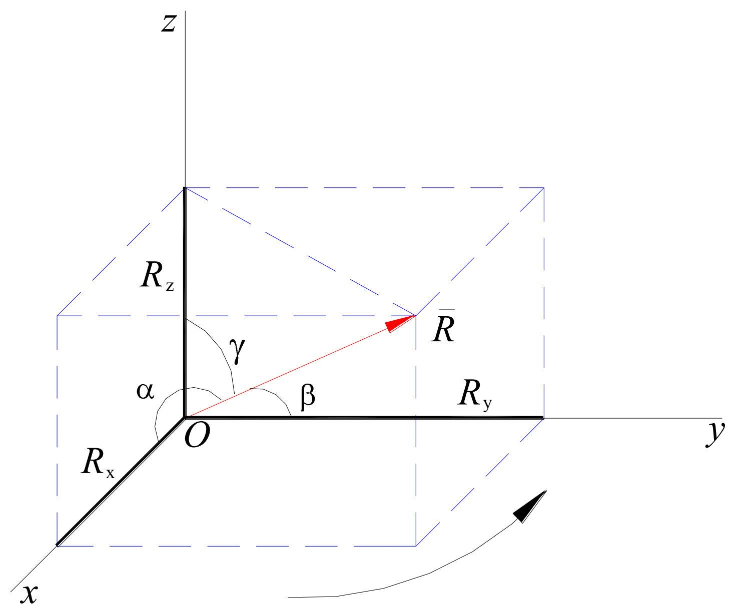
Аналитический способ задания сил

Правой системой координат называется такая система, в которой кратчайшее совмещение оси Ох с осью Оу происходит, если смотреть с положительного конца оси Оz, против хода часовой стрелки.

Задают силу проекциями на координатные оси.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

$$cos\alpha = \frac{R_x}{R}, \quad cos\beta = \frac{R_y}{R}, \quad cos\gamma = \frac{R_z}{R}$$



2. Определение условий равновесия системы сходящихся сил

Равнодействующая системы сходящихся сил

Система сходящихся сил имеет равнодействующую равную геометрической сумме (главному вектору) этих сил и приложенную в точке пересечения их линий действия.

Равновесие системы сходящихся сил

Равнодействующая, а следовательно и главный вектор системы сходящихся сил равны нулю.

$$\bar{R} = 0 \qquad (2)$$

Это условие является необходимым и достаточным.

а) Геометрическое условие равновесия

Для равновесия системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы силовой многоугольник, построенный из этих сил был замкнут.

b) Аналитическое условие равновесия

Условие $\overline{R} = 0$, выполняется тогда когда

$$R_x = 0 \qquad R_y = 0 \qquad R_z = 0,$$

т.е.

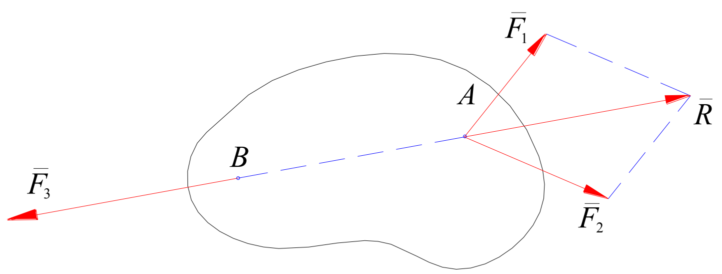
$$\left.\begin{aligned} \sum_{k=1}^{n} F_{kx} = 0 \\ \sum_{k=1}^{n} F_{ky} = 0 \\ \sum_{k=1}^{n} F_{kz} = 0 \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Уравнения (3) выражают аналитическую форму условий равновесия.

Для равновесия системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций этих сил на каждую из трех координатных осей были равны нулю.

Теорема о трех силах

Теорема: Если твердое тело находится в равновесии под действием трех непараллельных сил, лежащих в одной плоскости, то линии действия этих сил пересекаются в одной точке.



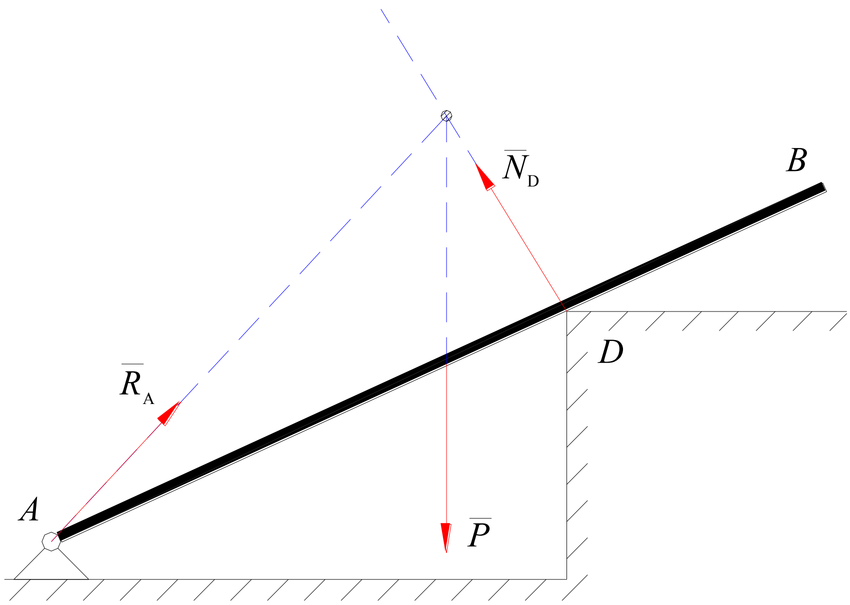
$$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2$$

$$\overline{F}_3 = -\overline{R}$$

Данная теорема выражает необходимое условие равновесия тела под действием трех сил.

Обратная теорема не имеет места.

Пример



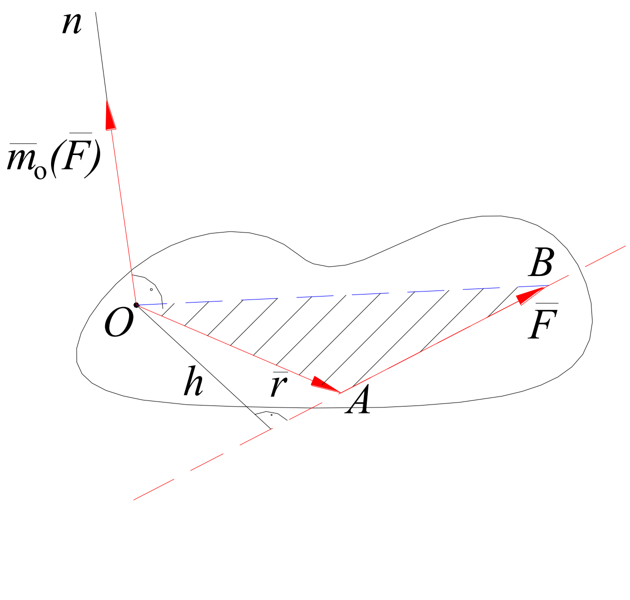
3. Момент силы относительно точки. Теорема Вариньона. Сложение параллельных сил

Точка, относительно которой берется момент, называется центром момента.

Момент силы относительно этой точки называется моментом относительно центра.

Если тело под действием некоторой силы может совершать вращение вокруг некоторой точки, то момент характеризует вращательный эффект силы.

Перпендикуляр, опущенный из центра на линию действия силы $\overline{F}$, называется плечом силы $\overline{F}$ (т.е. это есть кратчайшее расстояние от центра до линии действия силы).



Момент силы относительно центра О определяется:

1) Модулем момента, (F·h);
2) Положением в пространстве плоскости ОАВ (плоскости поворота) проходящей через центр О и силу $\overline{F}$;
3) Направлением поворота в этой плоскости.

Моментом силы $\overline{F}$ относительно центра О называется, приложенный в центре О вектор $\overline{m}_o(\overline{F})$, модуль которого равен произведению модуля силы $\overline{F}$ на ее плечо h и который направлен перпендикулярно плоскости, проходящей через точку О (центр) и силу, в ту сторону, откуда сила видна стремящейся повернуть тело вокруг центра О против хода часовой стрелки.

Единица измерения момента силы $[m_o(\overline{F})]$ = [Н·м]

$$\left|\overline{m}_o(\overline{F})\right| = F \cdot h = 2S_{\Delta OAB} \qquad (4)$$

$\overline{m}_o(\overline{F}) =$ [redacted] $,\overline{F}$ (5)

$$\left|\overline{m}_o(\overline{F})\right| = \overline{r} \cdot \overline{F} \cdot sin(\widehat{\overline{r},\overline{F}}) = 2S_{\Delta OAB},$$

где $\overline{r}$ – радиус вектор точки А.

Т.о. момент силы $\overline{F}$ относительно центра О равен векторному произведению радиус-вектора $\overline{r}$, проведенного из центра О в точку А приложения силы $\overline{F}$, на саму силу.

Свойства момента силы

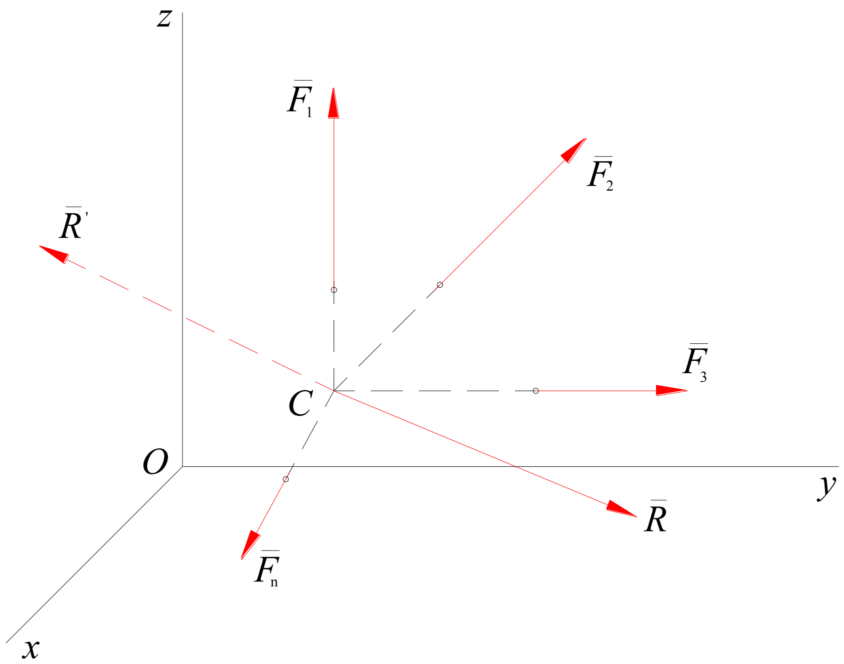
1) Момент силы не изменится при переносе точки приложения силы вдоль линии ее действия;
2) Момент силы равен нулю когда сила равна нулю;
3) Момент силы равен нулю когда линия действия силы проходит через точку О (центр), т.е. плечо равно нулю.

Теорема о моменте равнодействующей (Вариньона)

Теорема: Если данная система сил имеет равнодействующую, то момент равнодействующей относительно любого центра О равен сумме моментов сил системы относительно того же центра.

Доказательство

Пусть система сил $\overline{F}_1, \overline{F}_2, \overline{F}_3, \ldots, \overline{F}_n$ имеет равнодействующую $\overline{R}$ проход через некоторую точку С.



Приложим в точке C силу $\overline{R'} = -\overline{R}$, тогда система сил $\overline{F}_1, \overline{F}_2, \overline{F}_3, ..., \overline{F}_n, \overline{R'}$ будет находиться в равновесии. Т.е. должно выполнятся условие $\overline{M_o} = 0$.

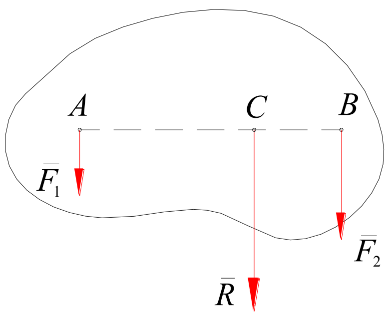
$$\sum_{k=1}^{n} \overline{m_o}(\overline{F}_k) + \overline{m_o}(\overline{R'}) = 0$$

Так как $\overline{R'} = -\overline{R}$, то $\overline{m_o}(\overline{R'}) = -\overline{m_o}(\overline{R})$ и следовательно

$$\overline{m_o}(\overline{R}) = \sum_{k=1}^{n} \overline{m_o}(\overline{F}_k)$$

Сложение параллельных сил

Равнодействующая $\overline{R}$ двух параллельных сил $\overline{F}_1$ *и* $\overline{F}_2$ одного направления, имеет такое же направление, а ее модуль равен сумме модулей слагаемых сил.



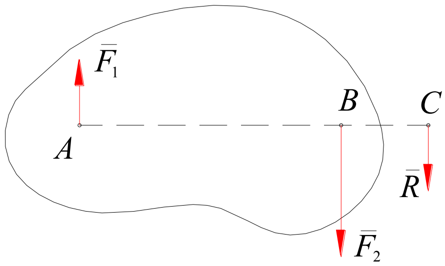
Точка приложения равнодействующей C делит отрезок между точками приложения сил A и B на части, обратно пропорциональные модулям сил.

$$R = F_1 + F_2$$

$$\frac{AC}{BC} = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\frac{AC}{F_2} = \frac{BC}{F_1} = \frac{AC + BC}{F_2 + F_1} = \frac{AB}{R}$$

Равнодействующая $\overline{R}$ двух параллельных сил $\overline{F_1}$ и $\overline{F_2}$ противоположного направления, имеет направление силы, большей по модулю, и модуль равный разности модулей этих сил.



Точка приложения равнодействующей С лежит на продолжении отрезка АВ за точкой приложения большей силы, на расстояниях от точек А и В, обратно пропорциональных модулям приложенных к ним сил.

$$R = F_2 - F_1$$

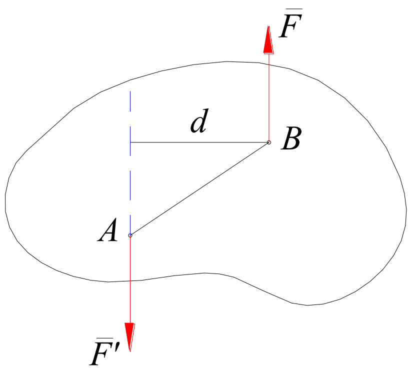
$$\frac{AC}{BC} = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\frac{AC}{F_2} = \frac{BC}{F_1} = \frac{AB}{R}$$

IV. Теория пар сил, расположенных в одной плоскости

1. Момент пары сил

Парой сил называется система двух равных по модулю, параллельных и направленных в противоположные стороны сил, действующих на абсолютно твердое тело.



Система сил $\overline{F}$ и $\overline{F'}$ не находится в равновесии, т.к. F и F' не лежат на одной прямой.

Следовательно, пара сил не имеет равнодействующей:

$$\overline{R} = \overline{F} + \overline{F'} = 0$$

Плоскость, проходящая через линии действия сил пары, называется плоскостью действия пары.

Расстояние d называется плечом пары. (длина перпендикуляра между линиями действия сил пары).

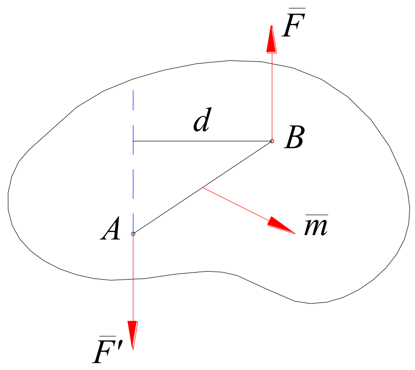
Действие пары сводится к некоторому вращательному движению, которое характеризуется величиной называемой моментом пары.

Этот момент определяется:

1. модулем, равным $F{\cdot}d$;
2. положением в пространстве плоскости действия сил пары;
3. направлением поворота пары в этой плоскости.

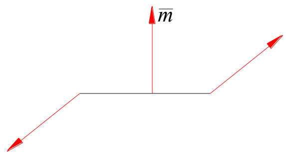
Таким образом, момент пары величина векторная.

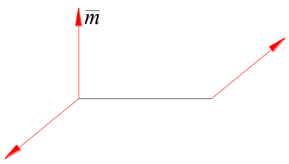
Моментом пары сил называется вектор $\overline{m}$, модуль которого равен произведению модуля одной из сил пары на ее плечо и который направлен перпендикулярно плоскости действия сил пары, в ту сторону, откуда пара видна стремящейся повернуть тело против хода часовой стрелки.



$\overline{m} \perp$ плоскости пары.

В отличие от вектора момента силы вектор $\overline{m}$ может быть приложен в любой точке плоскости действия пары.

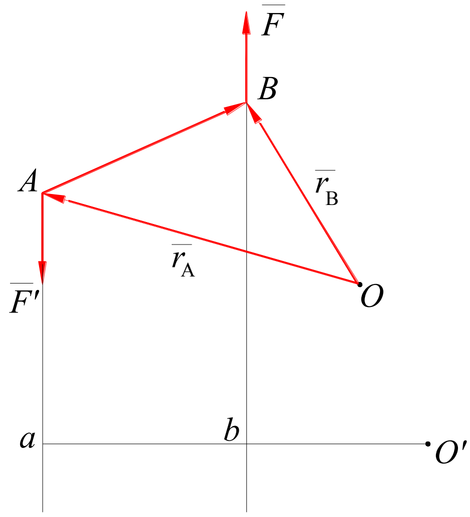




Такой вектор называется свободным.

Единица измерения момента $[\,\overline{m}\,]$ = [Н·м].

Покажем, что момент пары сил равен сумме моментов относительно любого центра О сил, образующих пару:



$$\overline{m} = \overline{m}_o(\overline{F}) + \overline{m}_o(\overline{F}')$$

Доказательство

Проведем из произвольной точки О радиус-векторы $\overline{r}_A = \overline{OA}$ и $\overline{r}_B = \overline{OB}$

Учитывая, что $\overline{F}' = -\overline{F}$

$$\overline{m}_o(\overline{F}) = [\overline{r}_B, \overline{F}]$$

$$\overline{m}_o(\overline{F}') = [\overline{r}_A, \overline{F}'] = -[\overline{r}_A, \overline{F}]$$

$$\overline{m}_o(\overline{F}) + \overline{m}_o(\overline{F}') = [\overline{r}_B - \overline{r}_A, \overline{F}]$$

$$\overline{m}_o(\overline{F}) + \overline{m}_o(\overline{F}') = [\overline{AB}, \overline{F}]$$

Т.к. $\overline{m} = [\overline{AB}, \overline{F}]$, то ч.т.д.

Другое доказательство

$$m = -F \cdot O'b + F' \cdot O'a = F(O'a - O'b)$$

$$m = F \cdot ab \qquad \text{ч.т.д.}$$

Отсюда следует, что:

$$\overline{m} = [\overline{AB}, \overline{F}] = \overline{m}_A(\overline{F}) \quad \text{или} \quad \overline{m} = \overline{m}_B(\overline{F}')$$

т.е., что момент пары равен моменту одной из сил пары относительно точки приложения другой силы.

Т.к. выбор центра О произволен, то вектор $\overline{m}$ можно считать приложенным в любой точке плоскости.

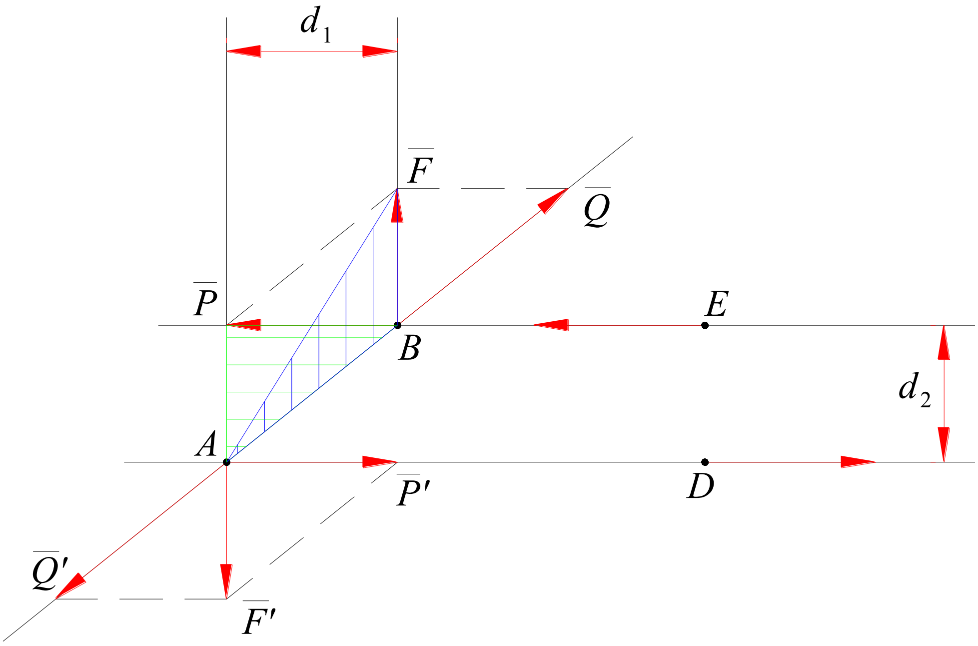
Если на тело действует несколько пар с моментами $\overline{m}_1, \overline{m}_2, \overline{m}_3, \ldots, \overline{m}_n$, то сумма моментов всех сил, образующих эти пары, относительно любого центра равна

$\overline{m}_1 + \overline{m}_2 + \overline{m}_3 + ... + \overline{m}_n$, т.е. вся совокупность этих пар эквивалентна одной паре с моментом $\overline{M} = \sum_{k=1}^{n} \overline{m}_k$.

Этот результат выражает теорему о сложении пар.

2. Теорема об эквивалентности пар

Рассмотрим пару сил $\overline{F}$ и $\overline{F'}$ действующую на твердое тело. Проведем в плоскости действии пары две параллельные прямые через точки D и E до пересечения их с линиями действия сил $\overline{F}$ и $\overline{F'}$ в точках A и B. приложим силы $\overline{F}$ и $\overline{F'}$ в этих точках.



Разложим силу $\overline{F}$ по направлениям AB и BE на силы $\overline{Q}$ и $\overline{P}$, а силу $\overline{F'}$ по направлениям AB и DA на силы $\overline{Q'}$ и $\overline{P'}$. При этом $\overline{P'} = -\overline{P}$ $\overline{Q'} = -\overline{Q}$.

Силы $\overline{Q}$ и $\overline{Q'}$ как уравновешивающие отбрасываем. Т.о. пара сил $\overline{F}$ и $\overline{F'}$ будет заменена парой $\overline{P}$ и $\overline{P'}$ с другим плечом и другими силами, которые можно приложить в точках D и E на их линиях действия.

Покажем, что пары $\overline{F}$, $\overline{F'}$ и $\overline{P}$, $\overline{P'}$ имеют одинаковые моменты $\overline{m}_1$ и $\overline{m}_2$:

$$\overline{m}_1 = [\overline{AB}, \overline{F}], \qquad \overline{m}_2 = [\overline{AB}, \overline{P}]$$

Т.к. $\overline{F} = \overline{P} + \overline{Q}$, то $[\overline{AB}, \overline{F}] = [\overline{AB}, \overline{P}] + [\overline{AB}, \overline{Q}]$, но $[\overline{AB}, \overline{Q}] = 0$ т.к. $\overline{AB} \parallel \overline{Q}$

Следовательно $\overline{m}_1 = \overline{m}_2$ ч.т.д.

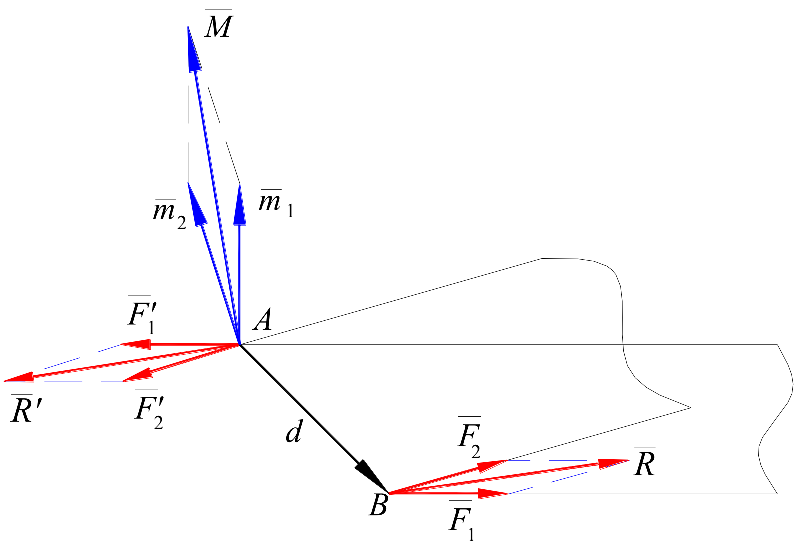
Свойства пары:

- пару можно переносить куда угодно в плоскости действия пары;
- у данной пары можно произвольно менять модули сил или длину плеча, сохраняя неизменным ее момент;
- пару можно перенести из данной плоскости в любую другую плоскость параллельную данной.

Теорема: Т.о. две пары сил, имеющие одинаковые моменты, эквивалентны друг другу.

3. Сложение пар сил

Теорема: Система пар, действующих на абсолютно твердое тело, эквивалентна одной паре с моментом, равным геометрической сумме моментов слагаемых пар.



Силы $\overline{F_1}$, $\overline{F_1'}$ образуют пары с моментом $\overline{m_1}$.

Силы $\overline{F_2}$, $\overline{F_2'}$ образуют пары с моментом $\overline{m_2}$.

$$\overline{m_1} = F_1 \cdot d, \qquad \overline{m_2} = F_2 \cdot d$$

$$\overline{F_1} + \overline{F_2} = \overline{R}, \qquad \overline{F_1'} + \overline{F_2'} = \overline{R'}$$

$$\left[\overline{AB}, \overline{R}\right] = \left[\overline{AB}, \overline{F_1}\right] + \left[\overline{AB}, \overline{F_2}\right]$$

Таким образом $\overline{M} = \overline{m_1} + \overline{m_2}$

Если на тело действует система пар сил с моментами $\overline{m_1}$, $\overline{m_2}$, $\overline{m_3}, \ldots, \overline{m_n}$, то

$$\overline{M} = \overline{m_1} + \overline{m_2} + \overline{m_3} + \ldots + \overline{m_n} = \sum_{k=1}^{n} \overline{m_k} .$$

При равновесии должно быть $\overline{M} = 0$, следовательно

$$\sum_{k=1}^{n} \overline{m_k} = 0 \qquad (6)$$

Выражение (6) называется условием равновесия системы пар сил.

V. Произвольная плоская система сил

Теорема Пуансо. Случаи приведения плоской системы сил к простейшему виду. Условие равновесия плоской системы сил.

Плоской системой сил называется система сил как угодно расположенных в одной плоскости.

Теорема Пуансо

Теорема: Силу, приложенную к абсолютно твердому телу, можно, не изменяя оказываемого ею действия, переносить из данной точки в любую другую точку тела, прибавляя при этом пару сил с моментом, равным моменту переносимой силы относительно точки, куда сила переносится.

Доказательство