

Введение в техническую механику



Краткий исторический очерк

- Механика, наряду с астрономией и математикой, является одной из самых древних наук.
- Термин механика происходит от греческого слова «механе» - ухищрение, машина



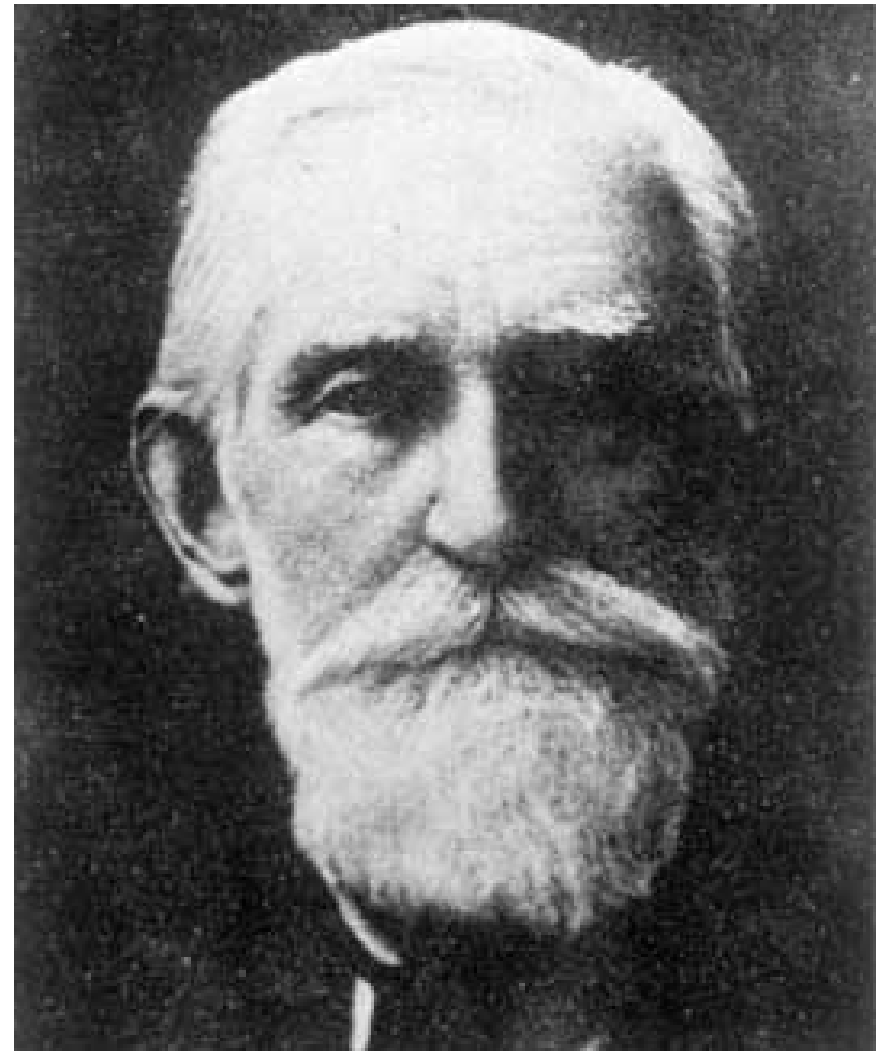
Архимед- основоположник механики как точной науки

- Архимед — величайший математик и механик древней Греции (287 – 212гг до н.э.) Архимед дал точное решение задачи о рычаге и создал учение о центре тяжести.
- Архимед совмещал гениальные теоретические открытия с замечательными изобретениями. Некоторые из них не потеряли своего значения и в наше время.



Крупнейший вклад в развитие механики внесли русские ученые

- П.Л. Чебышев (1821- 1894)- положил начало всемирно известной русской школе теории механизмов и машин.



Знаменитые русские механики

- С.А. Чаплыгин (1869- 1942).
Чаплыгин разработал ряд вопросов аэродинамики, имеющих огромное значение для современной скоростной авиации.

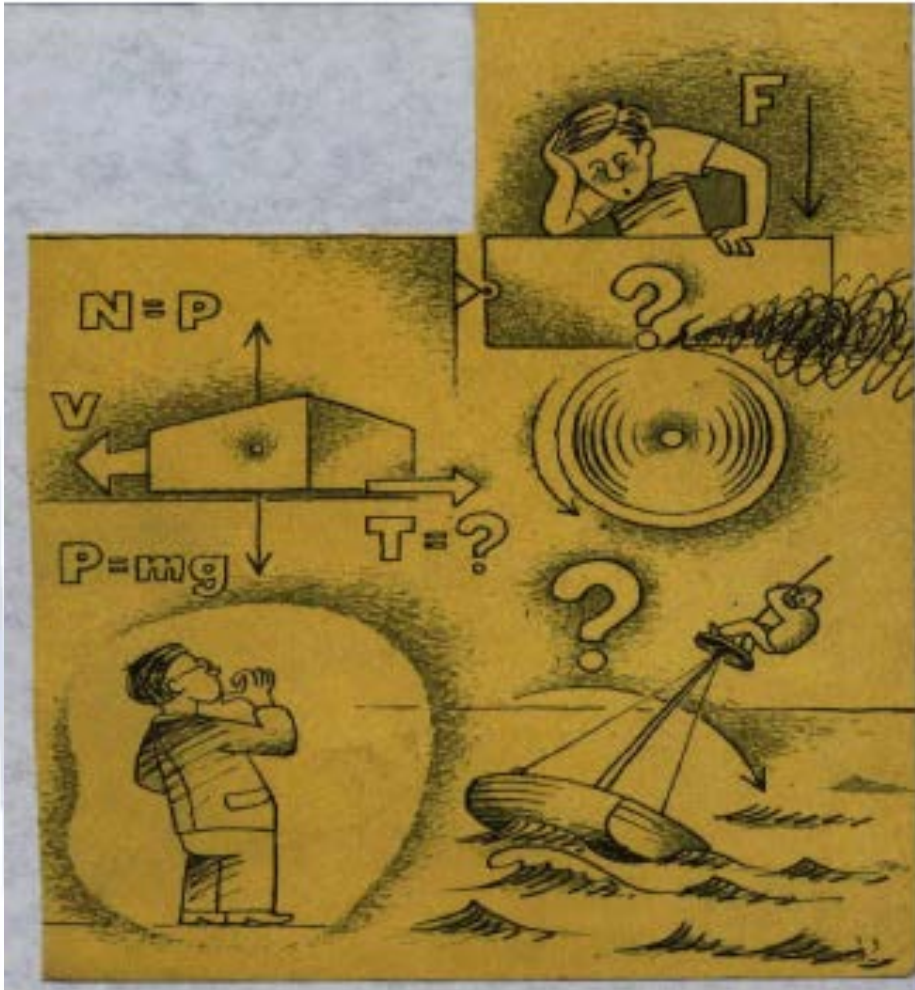


Техническая механика

Механика – наука о движении материальных тел в пространстве и силах, вызывающих это движение.

Предметом изучения учебной дисциплины **«Техническая механика»** является изучение законов движения и равновесия материальных тел, их взаимодействие между собой и результаты этого взаимодействия.

Разделы технической механики



- Теоретическая механика (статика, кинематика, динамика)
- Сопротивление материалов
- Детали машин

Теоретическая механика

Раздел первый

Статика

Что такое статика?

Статика – это один из разделов технической механики, в котором рассматриваются законы равновесия тел при действии на них сил.

Основные понятия статики

Механическое взаимодействие материальных тел – это взаимодействие, в результате которого с течением времени происходит изменение взаимного положения тел в пространстве или изменяются их формы, т.е. меняется взаимное положение составляющих их частиц.

Все материальные тела подвержены деформациям. Материальные тела в своем объеме содержат определенное количество вещества. Если тела подвергать механическому воздействию, то содержащееся в их объеме вещество перераспределяется и тем самым изменяется форма тел. **Деформация тела** – это изменение первоначальной формы тела.

Основные понятия статики

Для упрощения расчетов и доказательств при рассмотрении взаимодействия материальных тел применяют абстрактные модели, в которых считают тела либо абсолютно твердыми (недеформируемыми), либо представляют их в виде материальных точек.

Абстрактные (математические) модели тел отбрасывают не существенные факторы, учет которых усложняет расчеты, но существенно не влияет на конечный результат.

Абсолютно твердое тело – это абстрактная модель, в которой тело считается недеформируемым.

Считают, что абсолютно твердое тело при механическом взаимодействии с другими телами не изменяет своих размеров и формы. Расстояния между любыми точками абсолютно твердого тела как до, так и после механического воздействия остаются неизменными. Подобная модель допустима тогда, когда деформациями тел можно пренебречь.

Основные понятия статики

Если не имеют существенного значения размеры тела, оно может рассматриваться как **материальная точка**, т.е. тело представляет без объема в виде точки, в которой сосредоточена вся его масса.

Подобное допущение часто применяют при рассмотрении движения тел в космосе, например, движение спутников вокруг Земли. Размеры, а также форма спутников практически не имеют значения, так как они малы по сравнению с размерами Земли, и взаимодействие Земли и спутников определяется в основном их массами.

Основные понятия статики

1. Что называется абсолютно твердым телом?
2. Для чего в расчетах реальные тела заменяют абстрактными моделями?
3. Как называется изменение первоначальной формы тела?
4. Чем реальное тело отличается от абсолютно твердого тела?

Понятие силы в механике

- Ощущения, которые появляются у человека при подъеме груза, при приведении в движение окружающих тел и своего собственного тела, легли в основу понимания силы в механике.
- Иными словами – сила есть мера взаимодействия двух или нескольких тел.

Сила

«Сила» в повседневной речи.

Сила в механике

Разнообразиие смыслов, в которых употребляется слово сила

- Физическая сила
- Сила убеждения
- Лошадиная сила
- Сила пара
- Стихийная сила
- Сила страсти
- Сила привычки
- И. т.д. Сила воли

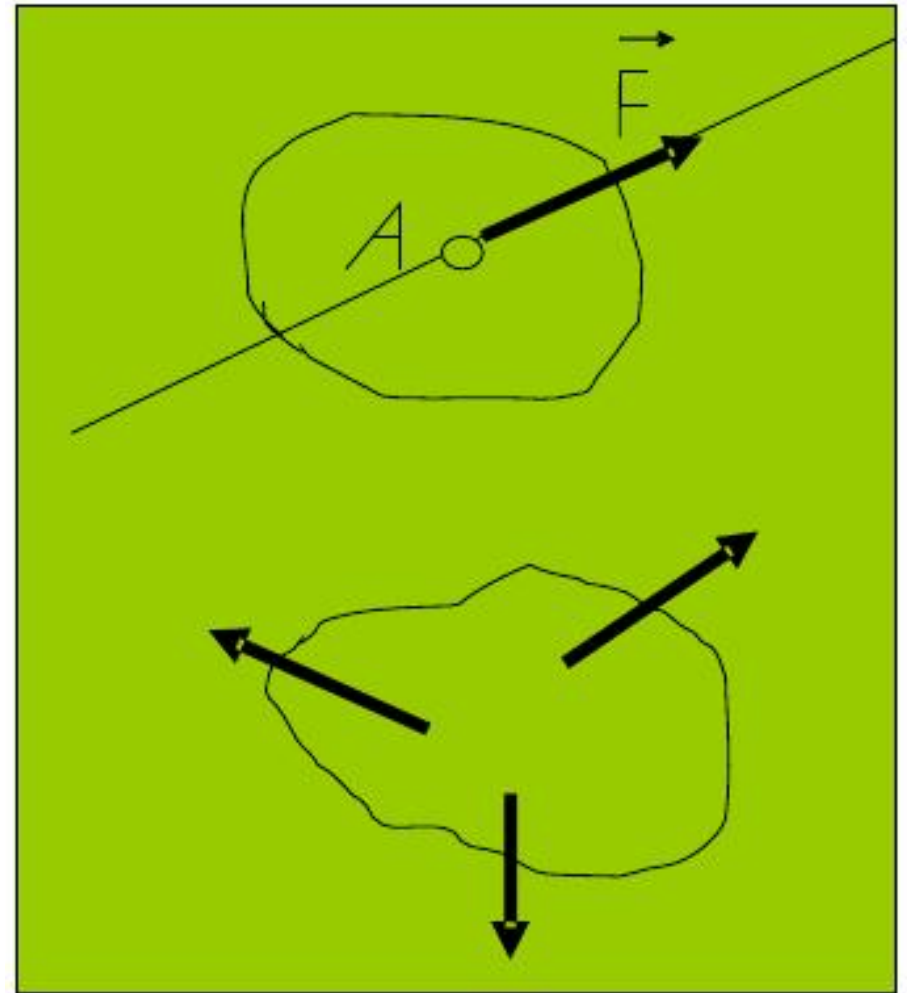


СИЛА – это мера механического взаимодействия материальных тел между собой

Сила – величина векторная так как она определяется тремя элементами:

- численным значением;
- направлением;
- точкой приложения.

Единица измерения силы – ньютон(Н).



Рассматривая тело, которое взаимодействует с другими телами, мы можем представить, что со стороны других материальных тел на него действуют внешние или активные силы, в результате в теле возникают внутренние силы (усилия).

Внутренние силы противодействуют внешним силам, они стремятся сохранить первоначальную форму тела. Внутренние силы растут до тех пор, пока не уравновесят внешнее воздействие, а в случае если материал тела не способен уравновесить внешние силы происходит его разрушение.

Например, вес человека оказывает силовое (механическое) воздействие на доску, и в результате она прогибается (деформируется), возникают деформации и в теле человека.

В приведенном выше примере вес человека является внешней силой, действующей на доску. Внутренние силы, возникающие в доске, мы не можем увидеть, но видим результат – доска прогибается, также мы не видим и вес человека, а видим только результат взаимодействия двух тел.



Сила – величина векторная, она характеризуется направлением воздействия, численным значением (модулем силы) и точкой приложения к телу. В зависимости от направления вектора силы меняется характер воздействия на тело, например, она может сжимать или растягивать тело.

Модуль силы измеряют в ньютонах (Н) или в кратных единицах: килоньютонах ($1 \text{ кН} = 1000 \text{ Н} = 10^3 \text{ Н}$); меганьютонах ($1 \text{ МН} = 1000000 \text{ Н} = 10^6 \text{ Н}$). Сила, равная одному ньютону, численно равна механическому воздействию, оказываемому телом массой в один килограмм и имеющему ускорение в один метр в секунду за секунду:

$$F = ma = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2 = 1 \text{ Н}.$$

Когда тело массой в один килограмм лежит на плоскости и притягивается Землей, на него воздействует ускорение свободного падения $g = 9,81 \approx 10 \text{ м/сек}^2$. Соответственно, такое тело воздействует на удерживающие его тела силой (весом) $F = mg = 1 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/сек}^2 = 9,81 \text{ Н} \approx 10 \text{ Н}$.

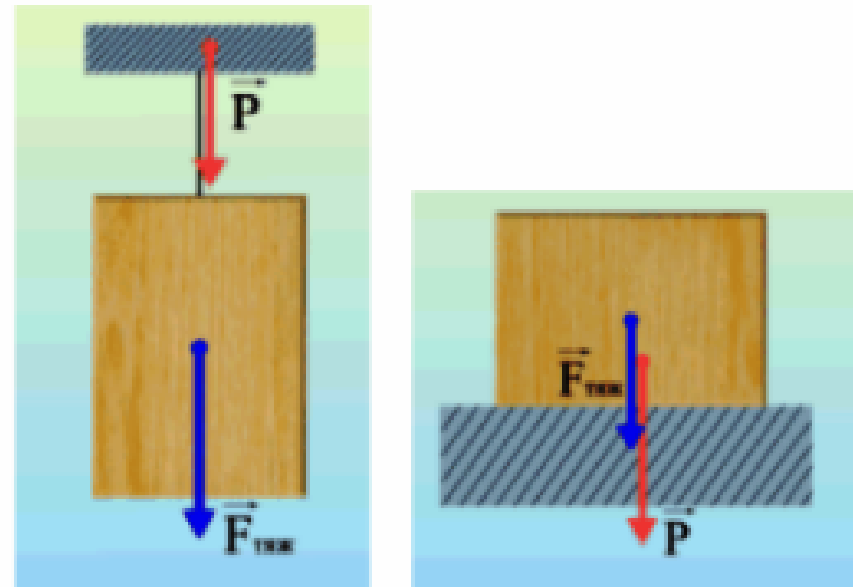
Вес тела—сила, с которой тело действует на опору или подвес вследствие притяжения Земли

Сила тяжести – гравитационная сила, с которой Земля притягивает к себе тела.

$\vec{F}_{\text{тяж}}$ – действует на любую материальную точку, находящуюся вблизи земной поверхности, всегда направлена в сторону планеты

$$P = F_{\text{тяж}} = mg$$

Сила тяжести приложена в центре тяжести предмета, вес – сила, которая приложена на опору



В технике в качестве единицы измерения силы часто используют килограмм-силы.

1 кгс = 9,80665 ньютон (точно) \approx 10 Н.

1 Н \approx 0,10197162 кгс \approx 0,1 кгс.

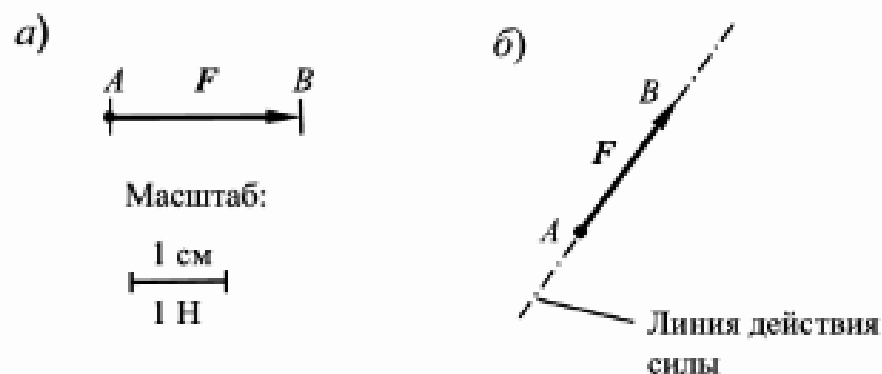


Рис. 1.1. Векторы сил:

- а) сила F и масштабная линейка для определения модуля силы F ;
 б) сила F и линия действия силы

Графически сила изображается вектором, т.е. отрезком прямой в виде стрелки, показывающей направление действия силы. При необходимости силовой вектор изображают в масштабе. Масштаб принимают удобный для графического изображения силы. Например, модуль силы $F = 2$ Н, принимаем масштаб: 1 см длины равен 1 Н и изображаем вектор (рис. 1.1а) длиной 2 см. Точка A (рис. 1.1а, б) является началом вектора F , а точка B концом.

Прямая линия, проведенная через точки начала и конца вектора силы, называется **линией действия силы** (рис. 1.1б).

Здесь и далее для упрощения написания и для того, чтобы отличать векторы сил от их модулей, приняты следующие обозначения: **векторы сил выделены полужирным шрифтом (F)**, а **модули сил обозначены обычным шрифтом (F)**.

Задача 1.1. Используя разные масштабы, начертите векторы сил:

а) модуль силы $F_1 = 26$ Н, сила направлена горизонтально слева направо. Примите масштаб: 1 мм – 2 Н;

б) модуль силы $F_2 = 12$ кН, сила направлена вертикально вверх. Примите масштаб: 1 см – 5 кН;

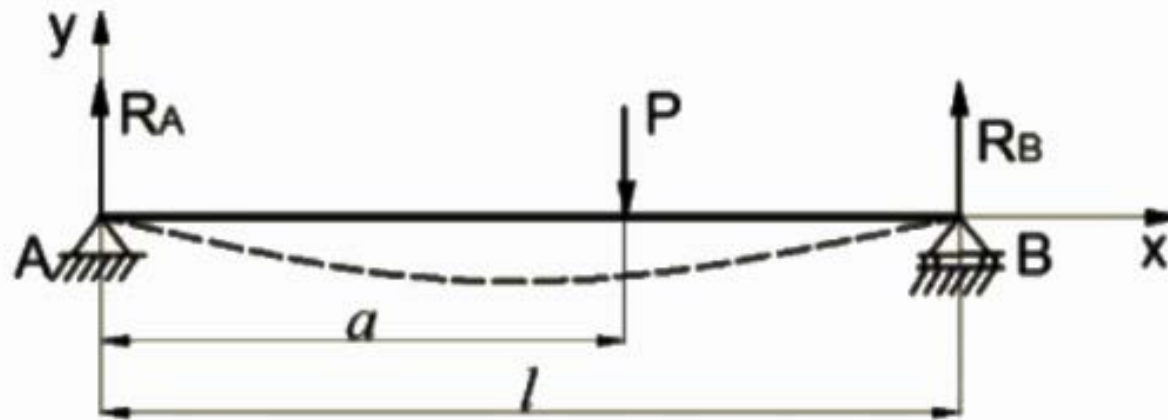
в) модуль силы $F_3 = 210$ кН, сила направлена под углом 45° сверху вниз. Примите масштаб: 1 мм – 7 кН.

Задача 1.2. Бетонный блок массой 30 кг лежит на плите. Определите значение реакции, возникающей в плите.

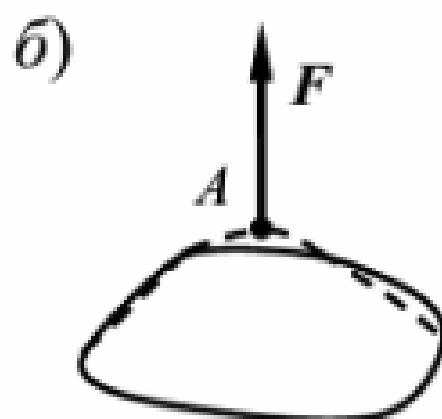
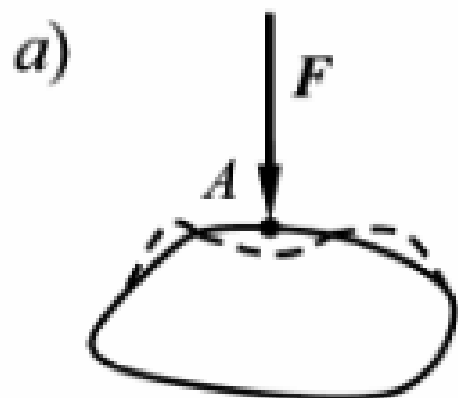
Сосредоточенные и распределенные силы

Обычно при механическом взаимодействии тел между собой контакт тел всегда осуществляется через некоторую площадь. Если площадь контакта небольшая, в расчетах удобней считать, что передача силового взаимодействия происходит в точке, и такие силы называют сосредоточенными, т.е. приложенными к точке тела.

Сосредоточенная сила – это сила, приложенная к точке тела.



Сосредоточенные и распределенные силы



Сосредоточенная сила, приложенная к деформируемым телам: *a)* деформация сжатия; *б)* деформация растяжения

Сосредоточенные и распределенные силы

Силы могут быть приложены на некоторой длине поверхности тела, тогда их называют распределенными. Различают силы, распределенные по длине и по площади.

Распределенная по длине сила (погонная сила) – это сила, действующая на каждую точку тела по всей линии своего действия.

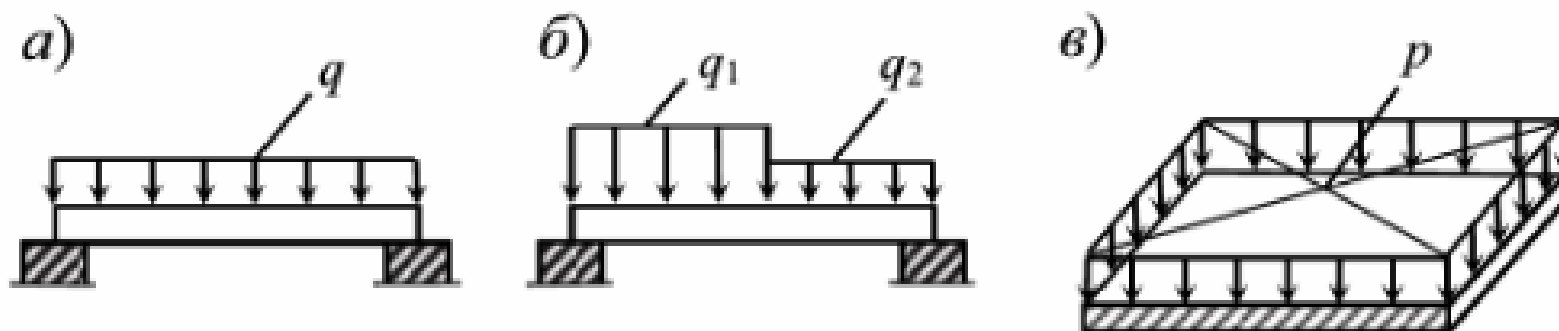
Воздействие таких сил на тела определяется их интенсивностью, приходящейся на единицу длины. Интенсивность действия распределенных сил обозначается прописными буквами, например q , и имеет размерность ньютон на метр, килоньютон на метр и т.д. (Н/м; кН/м; Н/см; кН/см).

Распределенные по длине силы действуют на многие линейные конструкции, например, балки, на которые опираются плиты перекрытия. Нагрузки от опорной поверхности плит передаются на балку и действуют по всей ее длине.

Силы также могут распределяться по площади тела, в этом случае говорят, что на тело действует давление.

Давление – это сила, распределенная по площади и действующая на каждую точку тела в пределах площади действия.

Сосредоточенные и распределенные силы

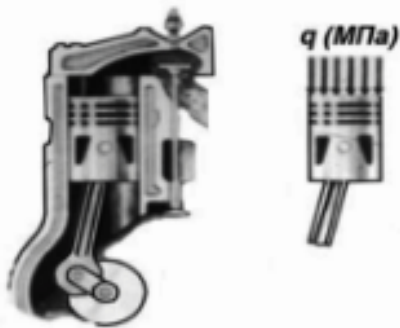


Нагрузки, распределенные по длине и по площади конструкции: а) распределенные по длине нагрузки постоянной интенсивности q ; б) распределенные по длине нагрузки переменной интенсивности q_1, q_2 ; в) нагрузки, распределенные по площади (давление p)

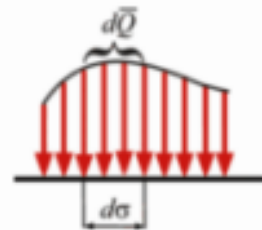
За единицу измерения интенсивности давления принят паскаль, чаще используют кратные значения: килопаскаль (кПа), мегапаскаль (МПа). Соответственно: $1 \text{ кН/м}^2 = 1 \text{ кПа}$, $1 \text{ кН/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$. Давление на конструкции оказывают жидкости, сыпучие материалы, снег, ветер и др.

Сосредоточенные и распределенные силы

Распределенная сила действует на все точки объекта.

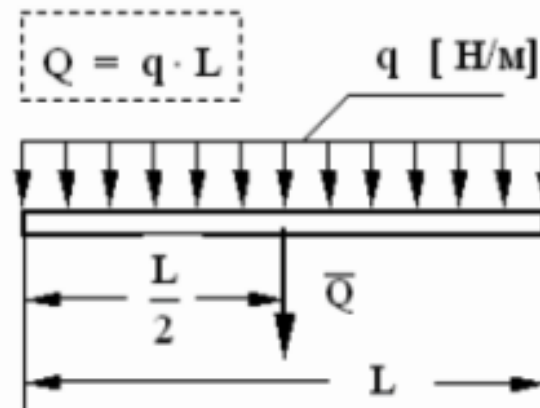


Интенсивность распределения нагрузки q – значение силы, приходящейся на единицу



объема: $\vec{q} = \frac{d\vec{Q}}{d\sigma}$

Для равномерно распределенной нагрузки $q = \text{const}$



Сосредоточенные и распределенные силы

1 МПа = 10.197162 кгс/см².

1 мегапаскаль = 10.197162 килограмм силы на квадратный сантиметр.

Равнодействующая сила

Силы, распределенные по длине элемента, а также давление для удобства расчетов можно заменять одной сосредоточенной силой, которая называется равнодействующей.

Равнодействующая – это сосредоточенная сила, по своему воздействию на тело эквивалентная нескольким заменяемым силам.

Равнодействующая R прикладывается в точке, совпадающей с центром распределенной нагрузки. Модуль равнодействующей равномерно распределенных по длине l сил определяется по формуле

$$R = ql,$$

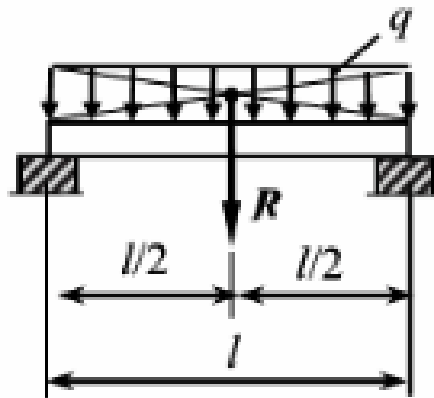
где q – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

Модуль равнодействующей от давления p , действующего по площади A , определяется по формуле

$$R = pA.$$

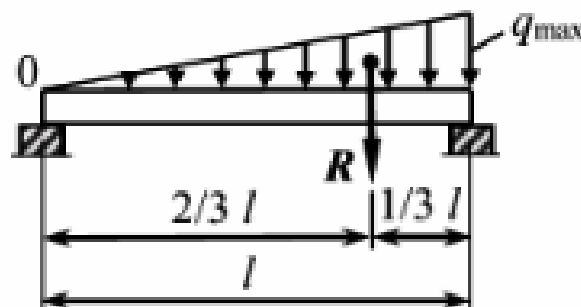
Если интенсивность распределенных сил меняется по длине элемента, можно установить несколько равнодействующих, свои для каждого отдельного участка с одинаковой интенсивностью.

Равнодействующая сила



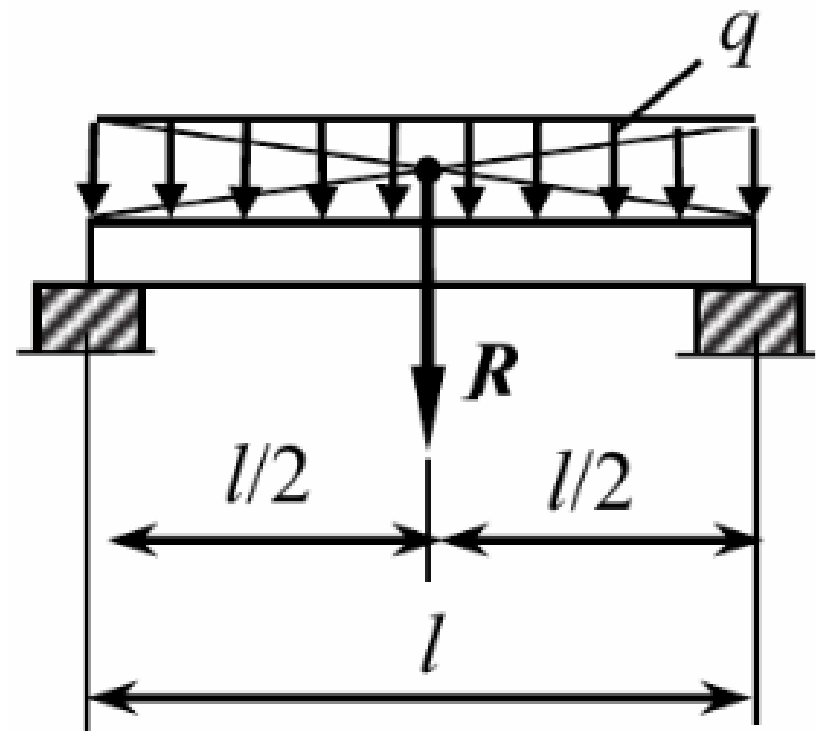
Замена распределенной нагрузки на ее равнодействующую

Возможны более сложные варианты, например, если интенсивность нагрузок изменяется от нуля до максимального значения (рис. 1.5). При распределении нагрузки по треугольнику модуль равнодействующей определится как площадь этого треугольника – $R = 1/2 q_{max} l$, место приложения равнодействующей совпадает с центром тяжести треугольника, образованного нагрузкой.



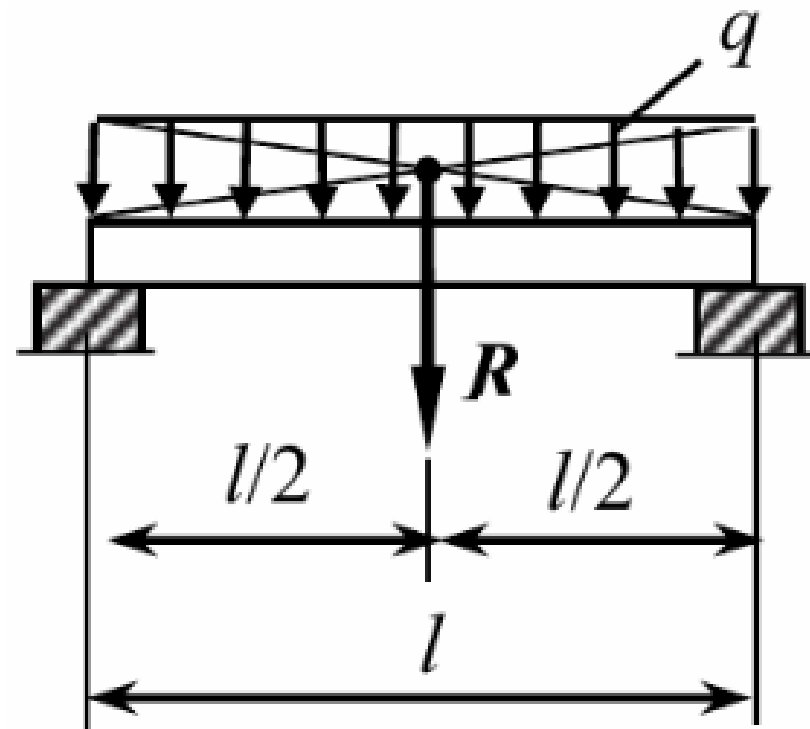
Распределенная по длине нагрузка переменной интенсивности и ее равнодействующая

Равнодействующая сила



Пример 1. Определить равнодействующую равномерно распределенных сил, действующих на балку с интенсивностью $q = 23$ кН/м по длине $l = 4$ м

Равнодействующая сила



Решение. 1. По формуле определяем величину модуля равнодействующей: $R = ql = 23 \cdot 4 = 92$ кН.

2. Прикладываем равнодействующую в середине длины действия распределенных нагрузок.

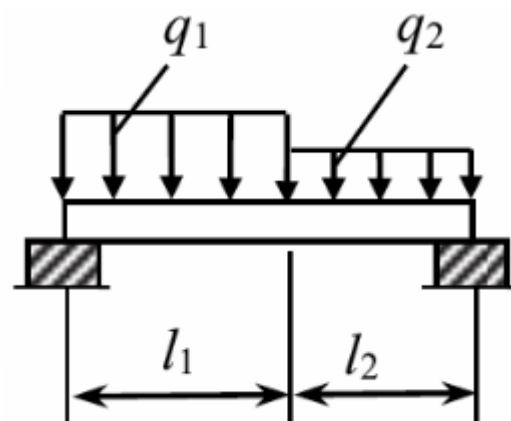
Равнодействующая сила

Пример 2. На балку длиной $l = 6$ м через одинаковые интервалы действуют четыре сосредоточенные силы $F = 35$ кН, требуется заменить их распределенной по длине нагрузкой и определить ее интенсивность.

Решение. Складываем модули всех четырех сил и делим полученную сумму на длину балки $q = 4F : l = 4 \cdot 35 : 6 = 23,7$ кН/м.

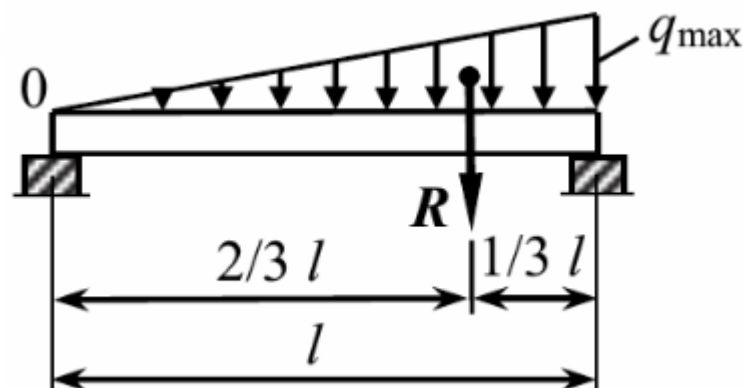
Равнодействующая сила

Задача 1.3. Определите равнодействующие для различных участков распределенных нагрузок. Интенсивности распределенных нагрузок $q_1 = 24$ кН/м, $q_2 = 11$ кН/м. Длины участков: $l_1 = 2,5$ м; $l_2 = 3,0$ м.



Задача 1.4. На балку длиной $l = 3$ м через одинаковые интервалы действуют пять сосредоточенных сил $F = 12$ кН. Требуется заменить их действие распределенной по длине нагрузкой и определить ее интенсивность.

Задача 1.5. Определить равнодействующую распределенной нагрузки. Интенсивность распределенной нагрузки меняется от нуля до $q_{max} = 45$ кН, длина балки $l = 4$ м



АКСИОМЫ СТАТИКИ

Все теоремы и уравнения статики выводятся из нескольких исходных положений, принимаемых без доказательств и являющихся обобщением опытов и наблюдений за поведением тел, находящихся в равновесии.

Эти положения, неоднократно подтвержденные практикой, называются аксиомами статики.

АКСИОМА 1



Первая аксиома — «уравновешенная система сил». Система сил, приложенная к телу (материальной точке), считается уравновешенной, если тело под ее действием будет находиться в состоянии покоя или двигаться по инерции. Равновесие тела возможно, если сумма всех воздействующих на него сил равна нулю, или говорят, что уравновешенная система сил эквивалентна нулю. Тело, находясь под действием уравновешенной системы сил, может по инерции равномерно и прямолинейно двигаться (закон инерции).

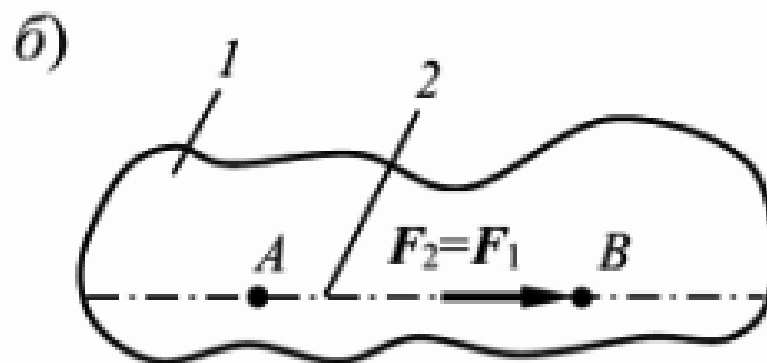
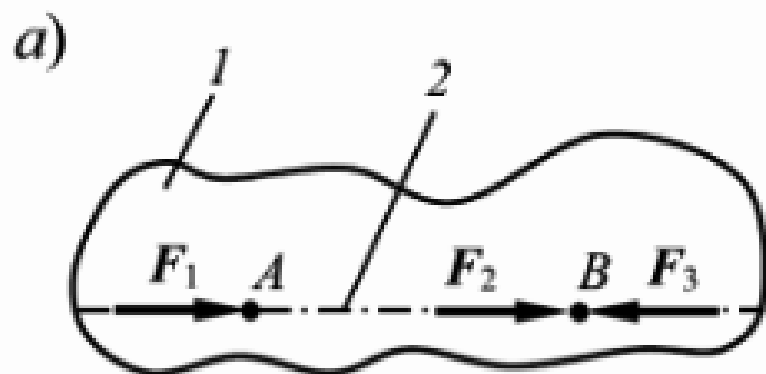
АКСИОМА 3



Третья аксиома —
«преобразование
системы сил».

*Не нарушая
механического
состояния абсолютно
твёрдого тела, к нему
можно приложить или
отбросить
уравновешенную
систему сил.*

Следствие. Из второй и третьей аксиом следует, что, не изменяя механического состояния абсолютно твердого тела, *силу можно передвигать в любую произвольно взятую точку, лежащую на линии ее действия.*



Перемещение силы F_1 из точки A в точку B по ее линии действия: а), б) эквивалентные системы сил:

1 – абсолютно твердое тело; 2 – линия действия силы F_1

АКСИОМА 4

Четвертая аксиома – «суммирование двух сил».

Равнодействующая двух сил, приложенных к одной точке под углом друг к другу, приложена в этой же точке и является диагональю параллелограмма, построенного на данных силах как на сторонах.

Сложение двух сил

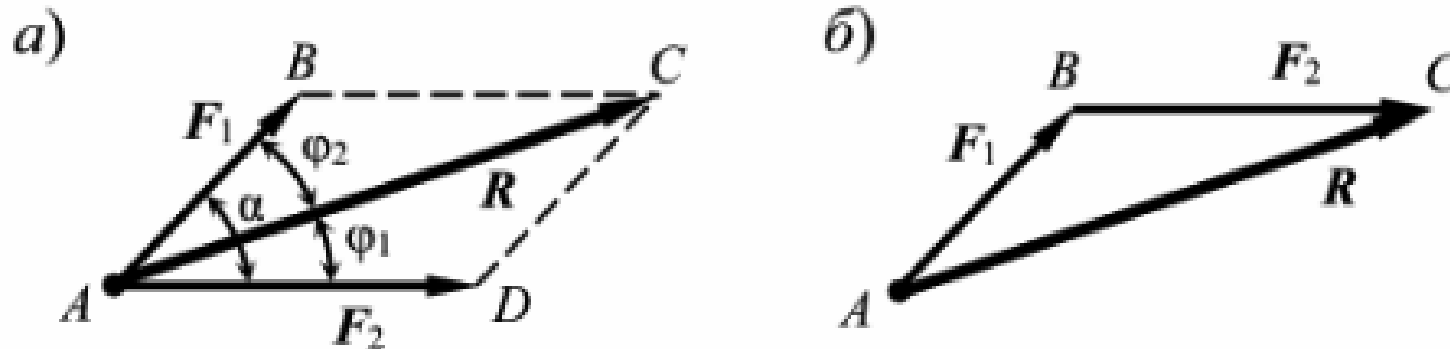
$F_1 = 10 \text{ кН}$
 $F_2 = 15 \text{ кН}$
 $\alpha = 50^\circ$

Ответ:
 $R = 22,7 \text{ кН}$
 $\gamma = 19^\circ 45'$

Определить равнодействующую по величине:
 $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha} = \dots$

Определить равнодействующую по направлению:
 $\frac{F_1}{\sin \gamma} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \alpha}$
 $\sin \gamma = \frac{F_2}{R} \sin \alpha = \dots$

АКСИОМА 4



Сложение двух сил: *a)* по правилу параллелограмма;
б) по правилу треугольника:

R – равнодействующая двух сил F_1 и F_2 , приложенных в точке A

Равнодействующей сил F_1 и F_2 (рис. 1.10*a*) является вектор R , направленный из точки A по диагонали параллелограмма. Направление действия равнодействующей совпадает с общим направлением действия сил.

$$R = F_1 + F_2.$$

АКСИОМА 4

Значение модуля равнодействующей двух сил можно определить аналитически по формуле:

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

Направление равнодействующей можно определить через синусы углов (рис. 1.10).

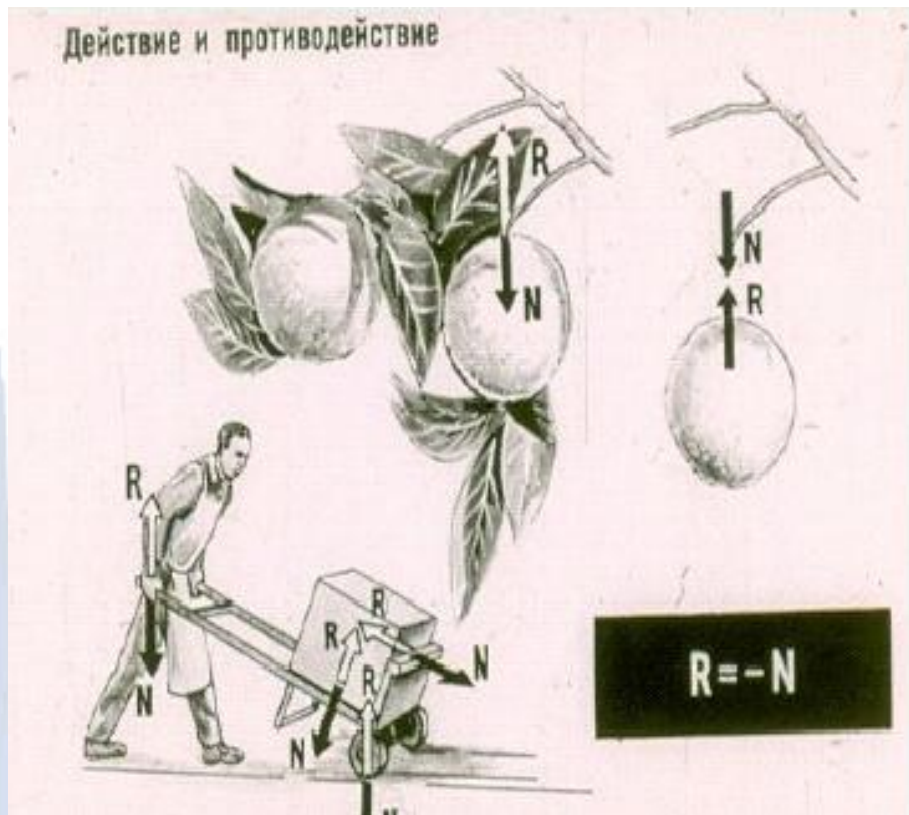
$$\sin \varphi_1 = \frac{F_2 \sin \alpha}{R}; \quad \sin \varphi_2 = \frac{F_1 \sin \alpha}{R}.$$

Если угол α между силами равен 90° , равнодействующая равна диагонали прямоугольного треугольника ($\cos 90^\circ = 0$) и значение модуля определяют по формуле:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$

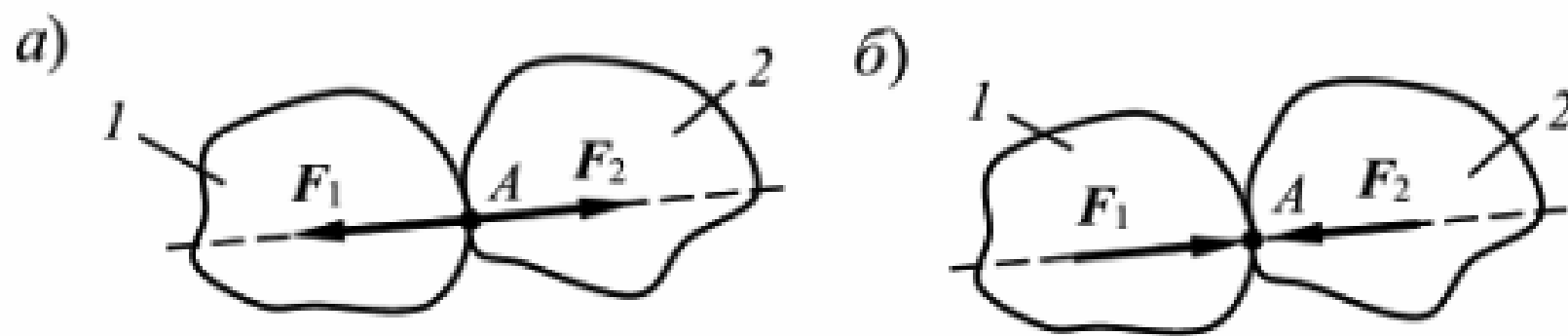
Следствие. Следствием четвертой аксиомы является то, что любую силу (представив ее как равнодействующую) можно разложить на составляющие ее векторы.

АКСИОМА 5



Пятая аксиома – «равенство действия и противодействия». При взаимодействии тел между собой всякому действию соответствует равное и противоположно направленное противодействие.

АКСИОМА 5



Взаимодействие двух тел: *а)* при растяжении, если тела соединены в точке *A*; *б)* при сжатии, с контактом в точке *A*: *1, 2* – взаимодействующие между собой тела

В физике пятая аксиома статики носит название третьего закона Ньютона. Она устанавливает положение, что **не может быть одностороннего действия силы. Силы одновременно возникают во всех взаимодействующих телах.**

Эти силы направлены противоположно, а их модули равны $F_1 = F_2$.

Связи и их реакции

Твердые тела, перемещения которых в пространстве ничем не ограничены, называют *свободными*.

Если перемещения тел ограничены другими телами (связями) хотя бы в одном направлении, их считают *несвободными*.

Связи – это тела, ограничивающие перемещения других тел.

Любая опора под конструкцией является связью, так как ограничивает ее перемещение. В статике рассматривают несвободные тела, которые находятся в равновесии. Например, балка опирается на стены. Балка по отношению к стенам находится в равновесии и рассматривается как несвободное тело, так как стены ограничивают ее перемещение, для балки они являются связями.

Связи и их реакции

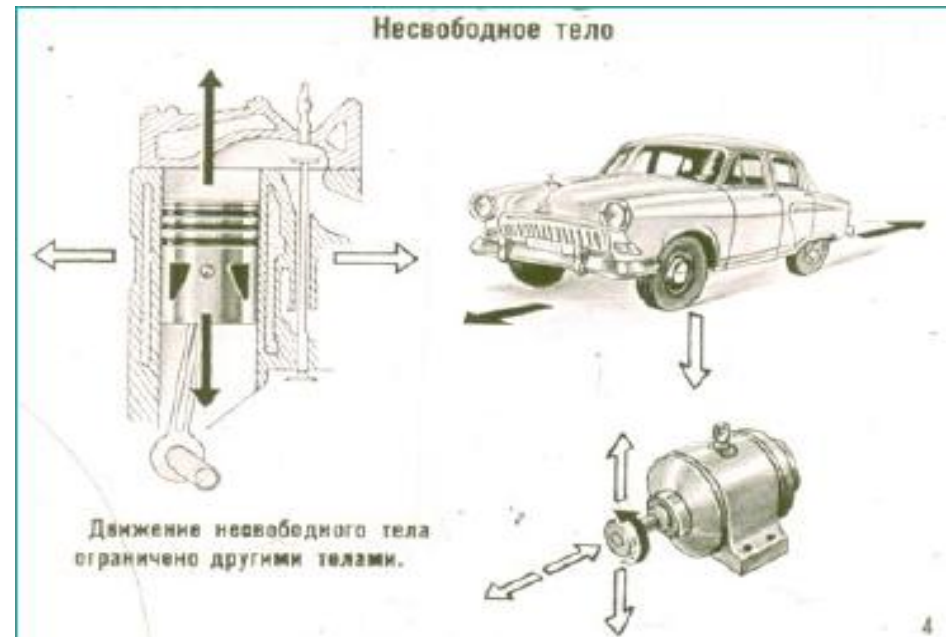


1. Аксиомы статики

Свободное тело

Движение свободного тела не ограничено другими телами.

3



Несвободное тело

Движение несвободного тела ограничено другими телами.

4

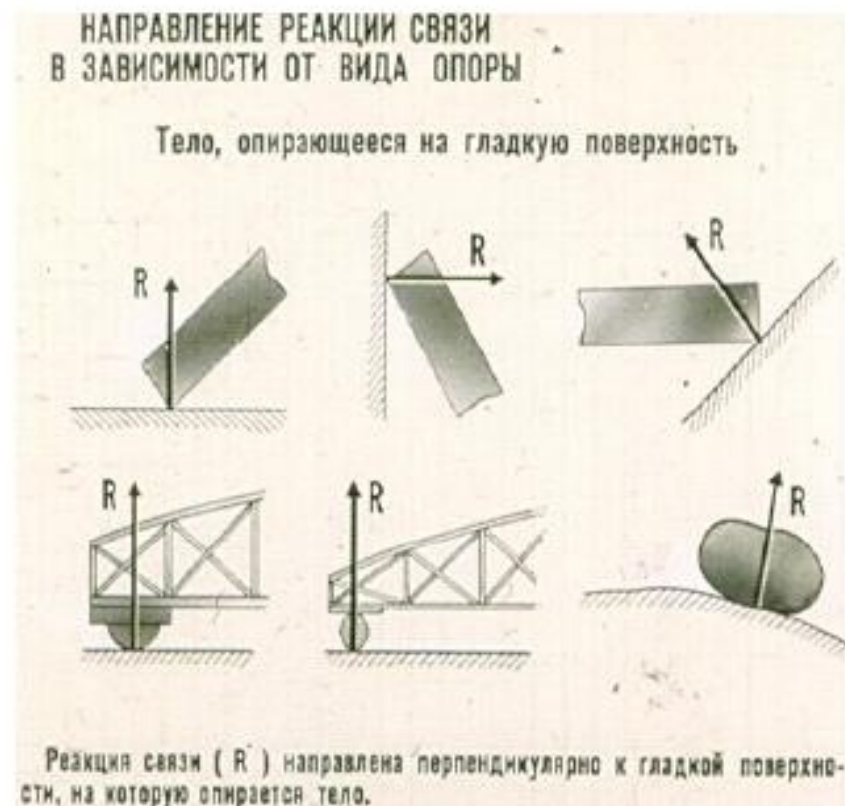
Связь – это тело, которое ограничивает движение других тел в пространстве.

- Силы, возникающие в связях, называются реакциями связей.
- Задача определения реакций связей – одна из основных задач статики.

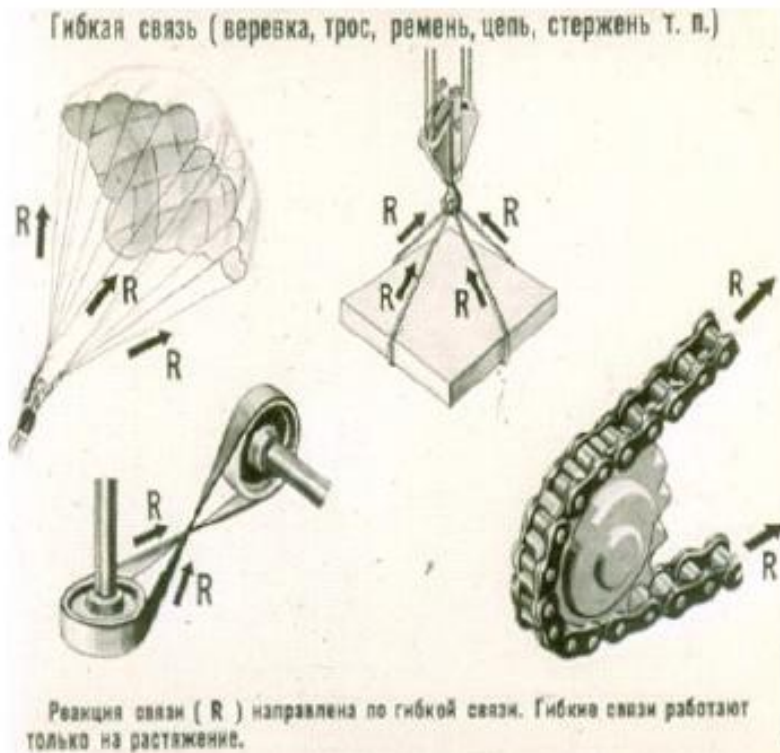


ГЛАДКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

- Реакция гладкой поверхности должна быть всегда перпендикулярна к опорной поверхности или к касательной, проведенной к этой поверхности



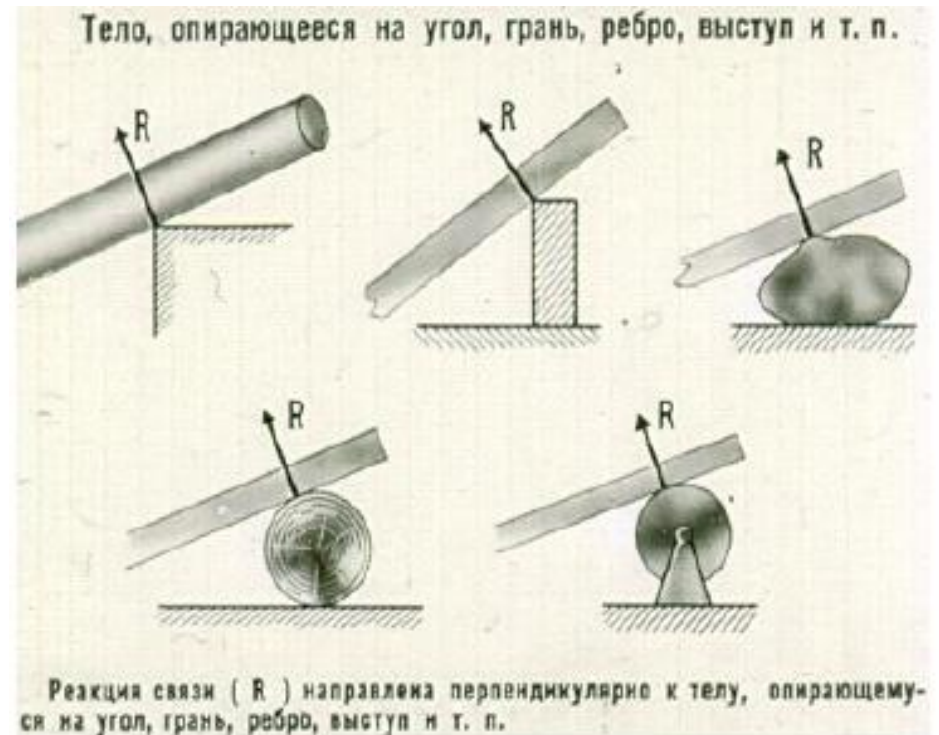
ГИБКАЯ СВЯЗЬ



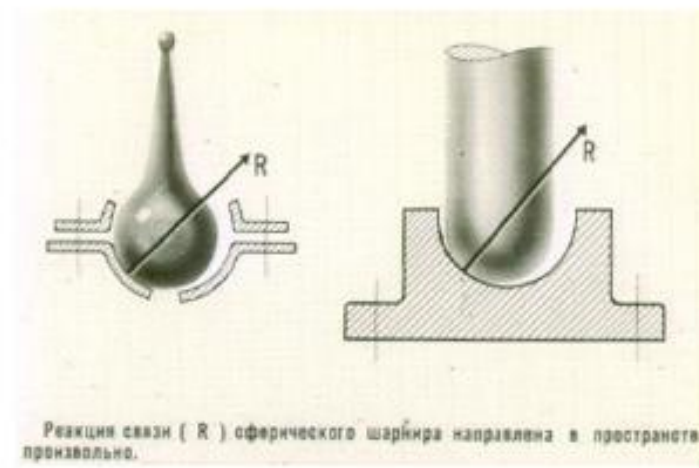
- Реакция гибкой связи расположена непосредственно в самой связи.
- Гибкая связь может только растягиваться.

ТОЧЕЧНАЯ ОПОРА

- Реакция точечной опоры всегда перпендикулярна к опирающейся поверхности или к касательной, проведенной к этой поверхности.



Виды связей и реакции в них



Реакция – это сила противодействия, возникающая в связи при воздействии на нее других тел (сил).

Силы, не зависящие от связей, т.е. **силы, вызывающие реакции в связях, называют активными**. К ним, например, относят силу тяжести.

Реакции в связях препятствуют перемещению тела и направлены в противоположную сторону от направления его возможного движения. Равновесие тела обеспечивается совместным действием всех реакций.

Реальные тела и реальные связи под действием активных сил деформируются, и в местах контакта таких тел со связями возникают силы трения, кроме того, в реальных связях внешние силы распределяются по площади опоры. Учет этих факторов может значительно усложнять расчеты. Поэтому для расчетов принимают не реальные связи, а их модели – так называемые **идеальные связи**.

Идеальная связь считается недеформируемой (абсолютно твердой), и обычно отбрасывают возникающие в месте контакта тел силы трения как не имеющие существенного значения, а реакции представляют в виде сосредоточенных сил.

При решении задач статики тела представляют без связей, находящиеся в равновесии только под действием сил. Для этого используют принцип освобождения от связей.

Принцип освобождения от связей – всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если отбросить удерживающие его связи, а их действие на тело заменить силами – реакциями связей.

При применении принципа освобождения от связей состояние тела не изменяется, оно по-прежнему будет находиться в равновесии, равновесие будут обеспечивать реакции.

Рассмотрим наиболее распространенные **виды идеализированных связей** и возникающие в них реакции.

Связи – материальные тела, ограничивающие перемещение тела в пространстве

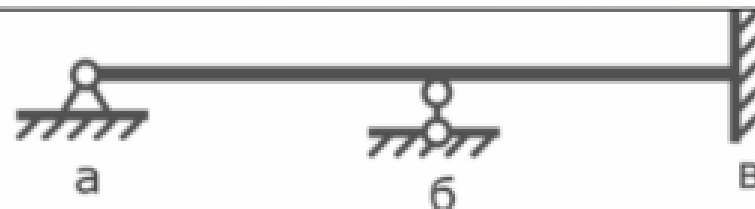


связи

Опоры – специальные, как правило, статичные объекты или их фрагменты, налагающие **определенные связи** на рассматриваемые системы.



опоры моста



а – неподвижная шарнирная опора

б – подвижная шарнирная опора

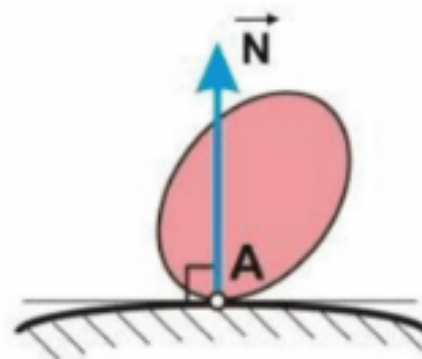
в – жесткая заделка **балки**.

Вид и расположение опор показывают схему закрепления конструкции.

Опоры считаются абсолютно неподвижными объектами, поэтому к их изображению добавляется наклонная штриховка

Реакция связи — это сила, выражающая механическое действие связи на тело.

Направлена в сторону, противоположную той, куда связь не дает перемещаться телу

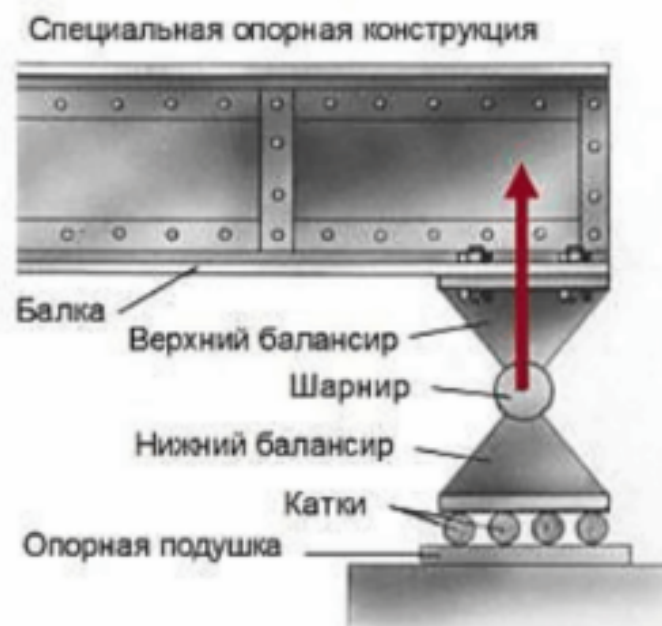


Связь - точечная опора

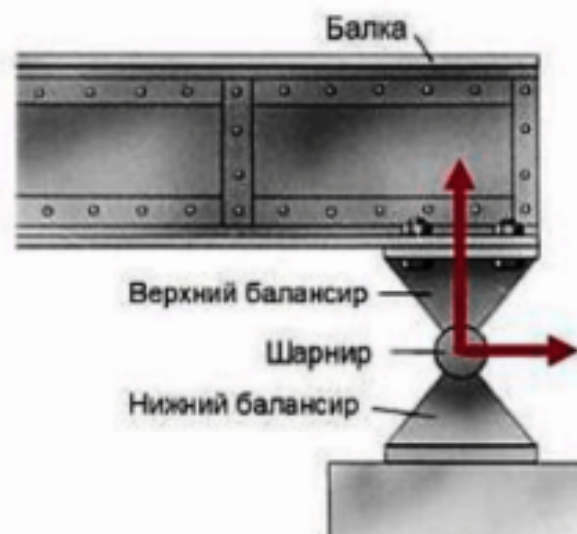
Реакция – вектор \vec{N}

Подвижная шарнирная опора исключает вертикальные перемещения (вверх-вниз), но разрешает горизонтальные перемещения (вправо-влево).

Имеет одну реакцию, направленную перпендикулярно поверхности, на которую опираются катки

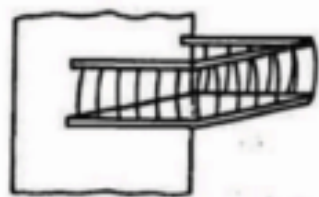


Неподвижная шарнирная опора исключает как вертикальные перемещения (вверх-вниз), так и горизонтальные перемещения (влево-вправо)



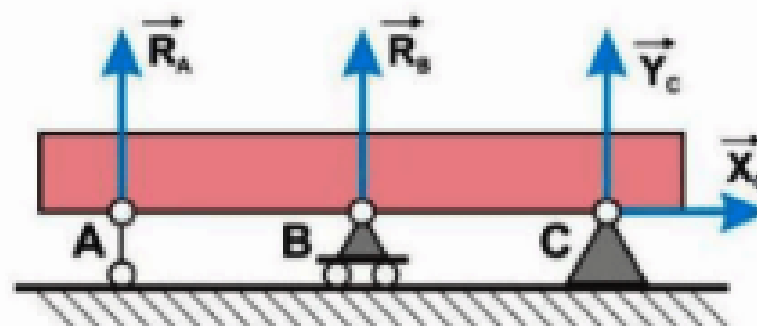
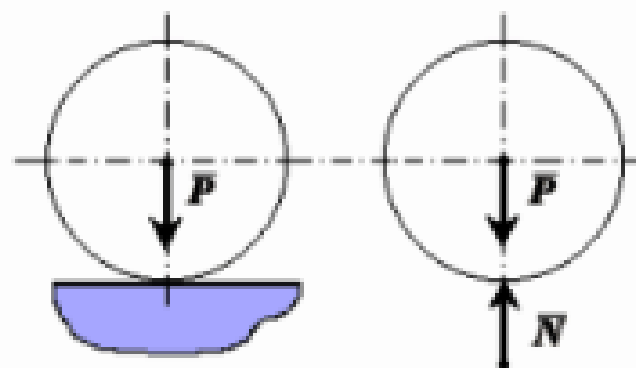
Жесткая заделка (защемление) исключает любые перемещения.

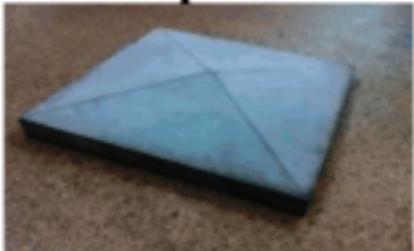
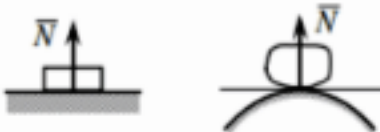

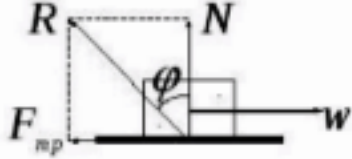
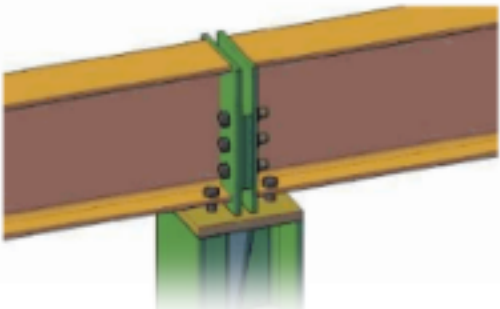
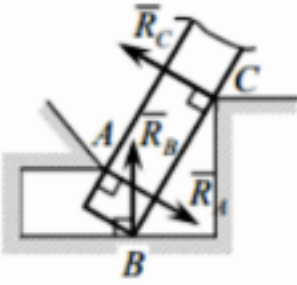
Под действием внешних сил в опоре возникает реактивная сила и реактивный момент, препятствующий повороту.



Аксиома связей (принцип освобождения от связей).

Всякое несвободное тело можно освободить от связей, заменив их реакциями, после чего можно рассматривать тело как свободное, находящееся под действием заданных сил и реакций связей.

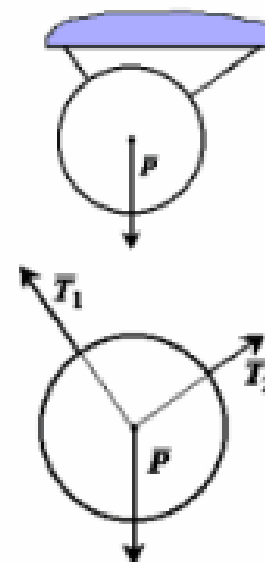


Связи	Направление реакций связей	Схемы
<p data-bbox="521 225 789 320">Гладкая поверхность</p> 	<p data-bbox="966 225 1332 480">Реакция направлена по общей нормали к поверхностям соприкасающихся тел</p>	
<p data-bbox="421 584 885 679">Шероховатая поверхность</p> 	<p data-bbox="957 584 1349 807">Реакция поверхности направлена в направлении вектора $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}$</p>	
<p data-bbox="491 995 810 1043">Опорное ребро</p> 	<p data-bbox="953 995 1349 1251">Реакция направлена по нормали к той поверхности, которая не имеет ребра</p>	

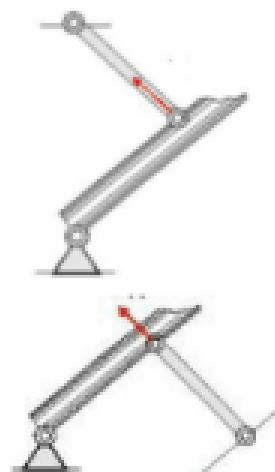
Гибкая связь (нить, веревка, трос, цепь)



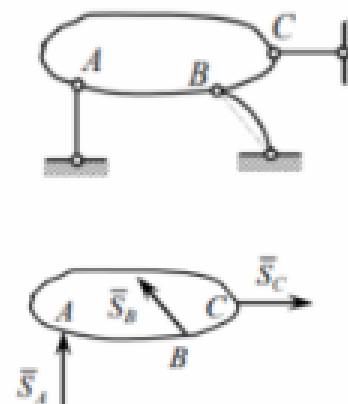
Реакция направлена вдоль нити от тела (нить работает только на растяжение)



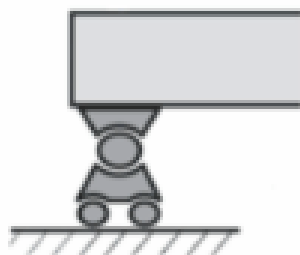
Невесомый стержень с шарнирами на концах



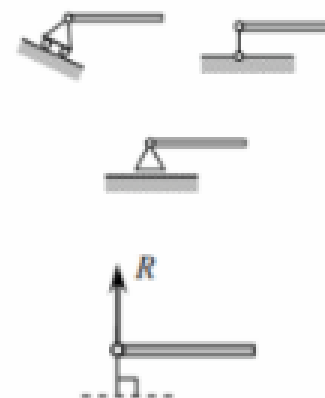
Сила реакции стержня направлена вдоль него от точки крепления либо к точке крепления.



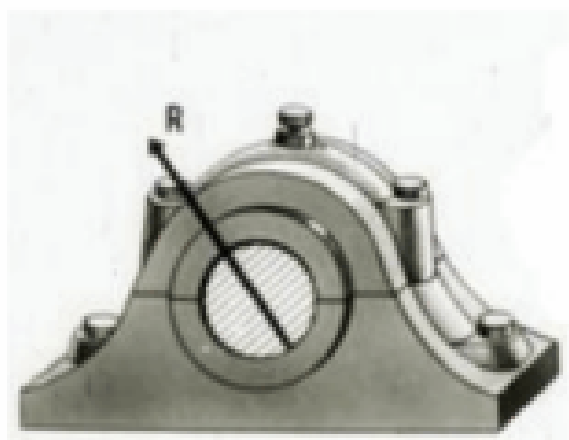
Подвижный цилиндрический шарнир (каток)



Односвязная опора препятствует перемещению опорной точки по линии действия связи. Реакция направлена перпендикулярно опорной плоскости



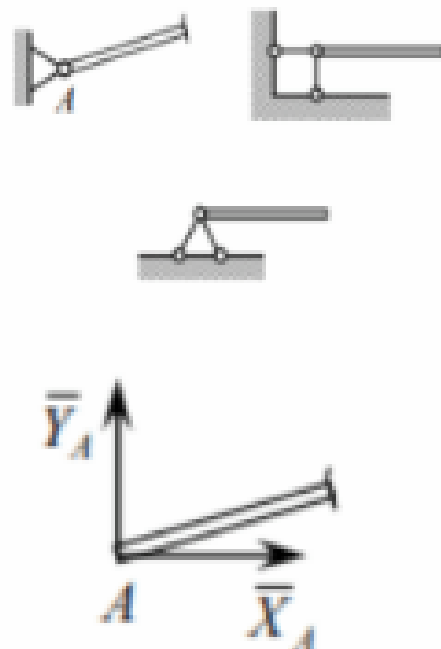
Неподвижный цилиндрический шарнир



ПОДШИПНИК

Двухсвязная опора препятствует линейным перемещениям одной точки. A – ось подшипника перпендикулярна чертежу

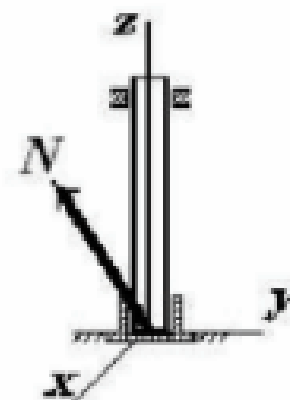
Реакция опоры проходит через ось шарнира, но неизвестна по направлению. Ее изображают в виде двух составляющих: вертикальной и горизонтальной.



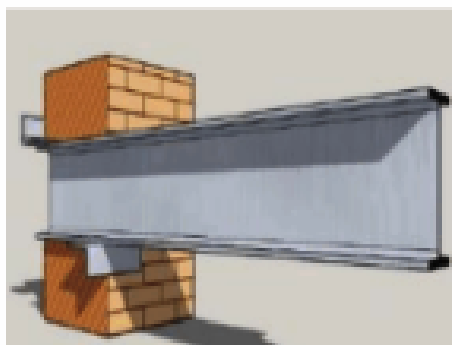
Подпятник (подшипник с упором)



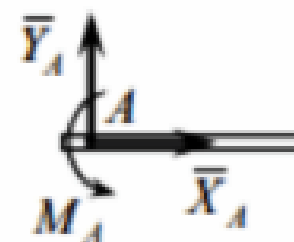
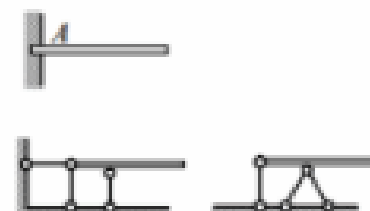
Направление в пространстве силы реакции заранее неизвестно, однако составляющая реакции вдоль оси z положительна.



Плоская жесткая заделка



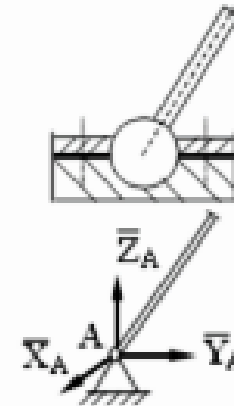
Опора препятствует линейным и угловому смещению конца стержня. Под действием внешних сил в опоре возникает реактивная сила и реактивный момент, препятствующий повороту



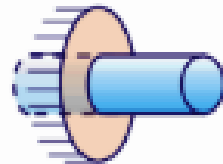
Шаровой шарнир



Неподвижный сферический шарнир позволяет телу вращаться вокруг точки крепления. Шарниру запрещены поступательные движения вдоль осей. Направление реакции не определено, но она может быть представлена тремя взаимно перпендикулярными составляющими.



Пространственная жесткая заделка



Связь способна создавать удерживающую опорную реакцию любого направления в пространстве и удерживающий реактивный момент также любого направления. Пространственная заделка обеспечивает отсутствие перемещения точки A в любом направлении, а также невозможность поворота вокруг любой оси, проходящей через эту точку.

