

# БИОФИЗИКА

Биофизика включает четыре раздела:

- *Молекулярная биофизика;*
- *Биофизика клетки ;*
- *Биофизика органов чувств;*
- *Биофизика сложных систем;*

*биомеханика*

*радиобиология*

# ОСНОВЫ БИОМЕХАНИКИ

Механические свойства биологических  
тканей.

**БИОМЕХАНИКА – это раздел биофизики, изучающий механические свойства живых тканей, органов и организма в целом, а также происходящие в них механические явления.**

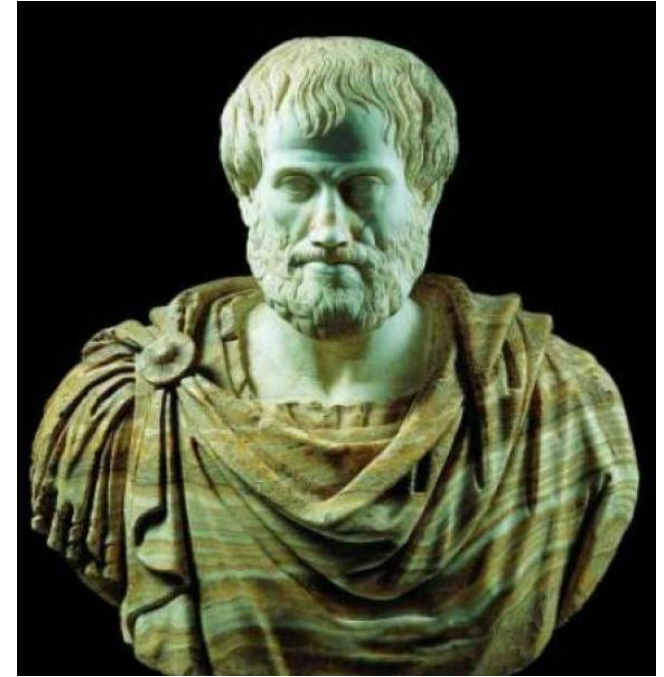
Основной механической характеристикой механической системы является число степеней свободы

*Свободное твердое тело  
может иметь как целое  
максимально 6 степеней  
свободы*

**ОБЩЕЕ ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ  
ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА - 240**

Движения живых существ интересовали человека с давних времен.

**Аристотель** (384-322 до н.э.) – выдающийся греческий ученый, мыслитель считается первым биомехаником, так как написал трактат: «De Motu Animalium» – «Движения животных».



**Клавдий Гален** (129 – 201 г.г. н. э.) – анатом, врач и естествоиспытатель, написал более 400 трактатов по медицине, среди которых есть труд о функциях человеческого тела. Он считал, что мозг является средоточием движения, чувствительности и душевной деятельности.

- В развитии биомеханики особенно велика роль **Леонардо да Винчи** (1452 – 1519) – выдающегося итальянского живописца, скульптора, архитектора, учёного и инженера. Как художник, Леонардо да Винчи большое внимание уделял изучению анатомии, особенно пропорций человеческого тела. Сохранилось огромное количество рисунков Леонардо да Винчи, посвященных исследованию расположения мышц и внутренних органов

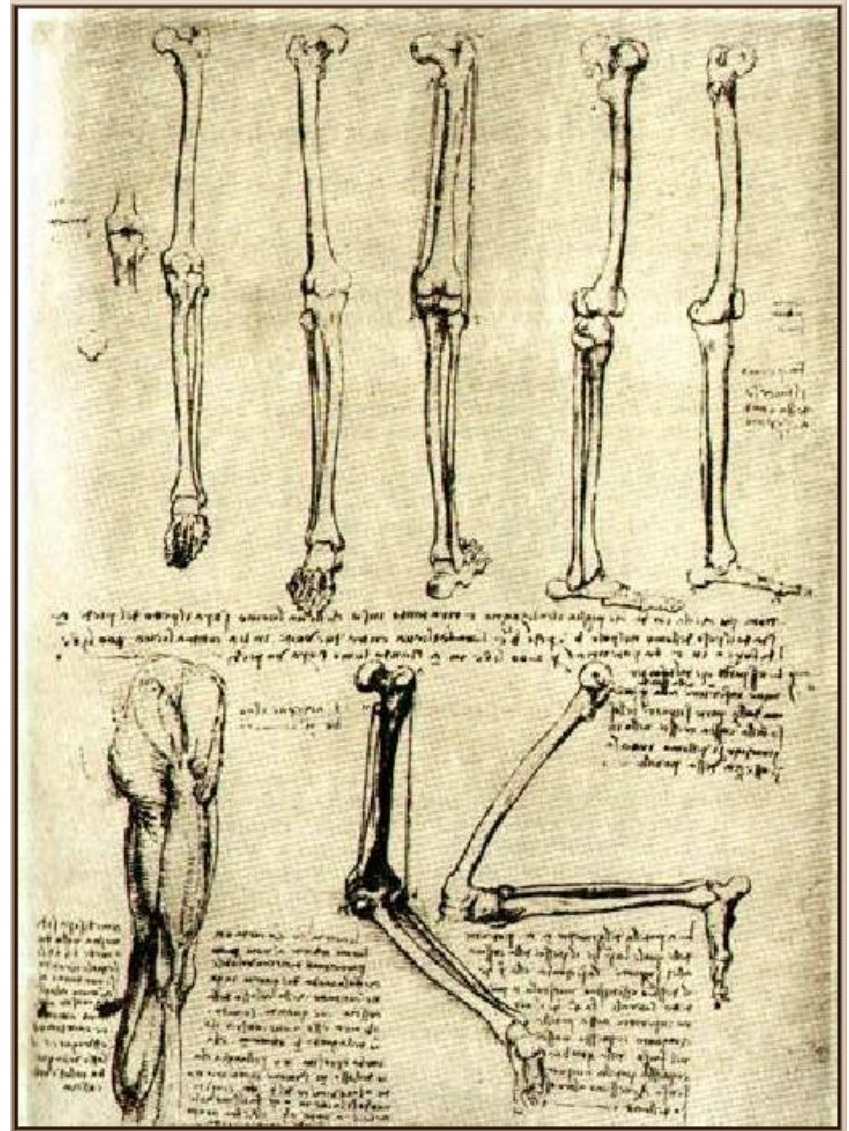


Рис. с тетради по анатомии.

- Итальянский астроном, математик и врач **Джованни Альфонсо Борелли** (1608-1679) внес большой вклад в развитие биомеханики как науки.

- немецкие исследователи братья

**Эдуард и Вильгельм Веберы.**

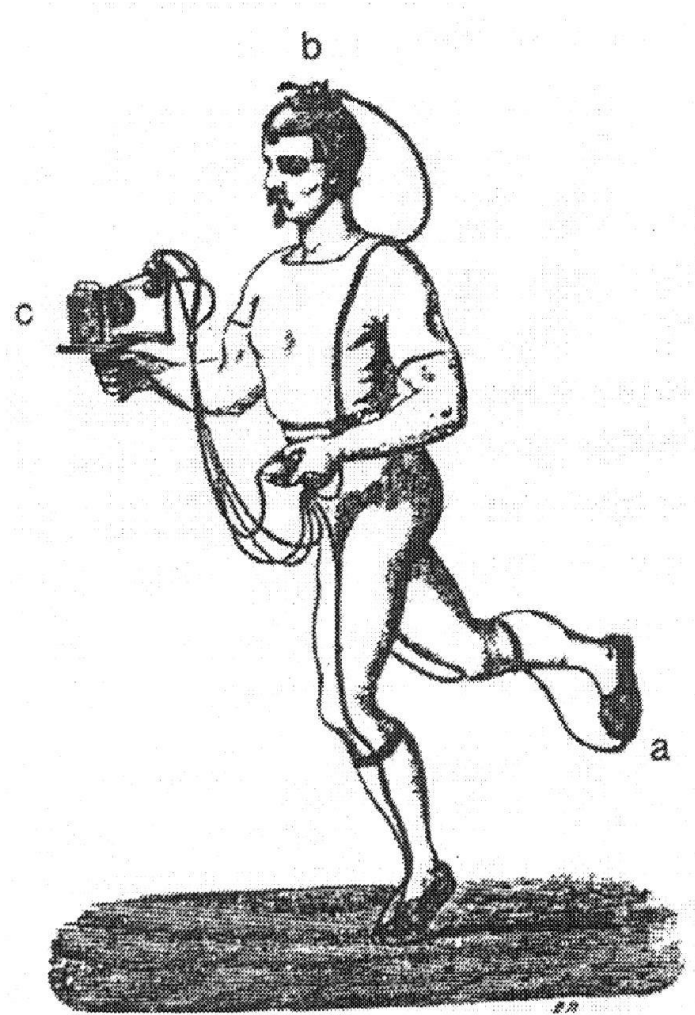
Эдуард Вебер был анатомом,

а Вильгельм – физиком

1836г. книга **«Механика ходьбы человека»**

*Э. Вебером: «Сила мышцы, при прочих равных условиях, пропорциональна ее поперечному сечению»*

- **Жак Луи Дагер**
- (1787 – 1851)
- в 1839 году им был разработан первый практический способ фотографии
- французский физиолог
- **Этьен-Жюль Маре (1830-1904)**
- Э.Ж. Маре разработал метод пневмографии — записи опорных реакций с помощью передачи давления воздуха.



- **Петр Францевич Лесгафт** (1837 – 1909) – известный анатом, педагог рассмотрел ряд проблем, смежных с биомеханикой: механические свойства биологических тканей; особенности строения и соединения костей в зависимости от действующих на них сил
- **Иван Михайлович Сеченов** (1829-1905) – известный русский физиолог. В 1901г. Написал книгу «Очерк рабочих движений человека», в которой подробно рассмотрел следующие вопросы: работу опорно-двигательного аппарата, биомеханические свойства мышцы, функции верхней и нижней конечностей человека.
- **Алексей Алексеевич Ухтомский** (1875 – 1942), профессор Ленинградского университета ,академик, написал книгу «Физиология двигательного аппарата», изданную в 1927.



- **Николай Александрович Бернштейн (1896 – 1966)** выдающийся русский физиолог и биомеханик



- используя методику *циклоъемки*, получил огромный фактический материал по кинематике и динамике ходьбы, бега и прыжка

- английский физиолог

- **Арчибалд Вивиен Хилл (1886-1977)**

- *В 1923 году он получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине «За открытия в области теплообразования в мышце»*



- *Биомеханика – смежная наука.*
- на «стыке» двух наук:
- **биологии** – науки о жизни;
- **механики** – науки о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между телами
- *В биомеханике широко используются механические характеристики движущегося тела*

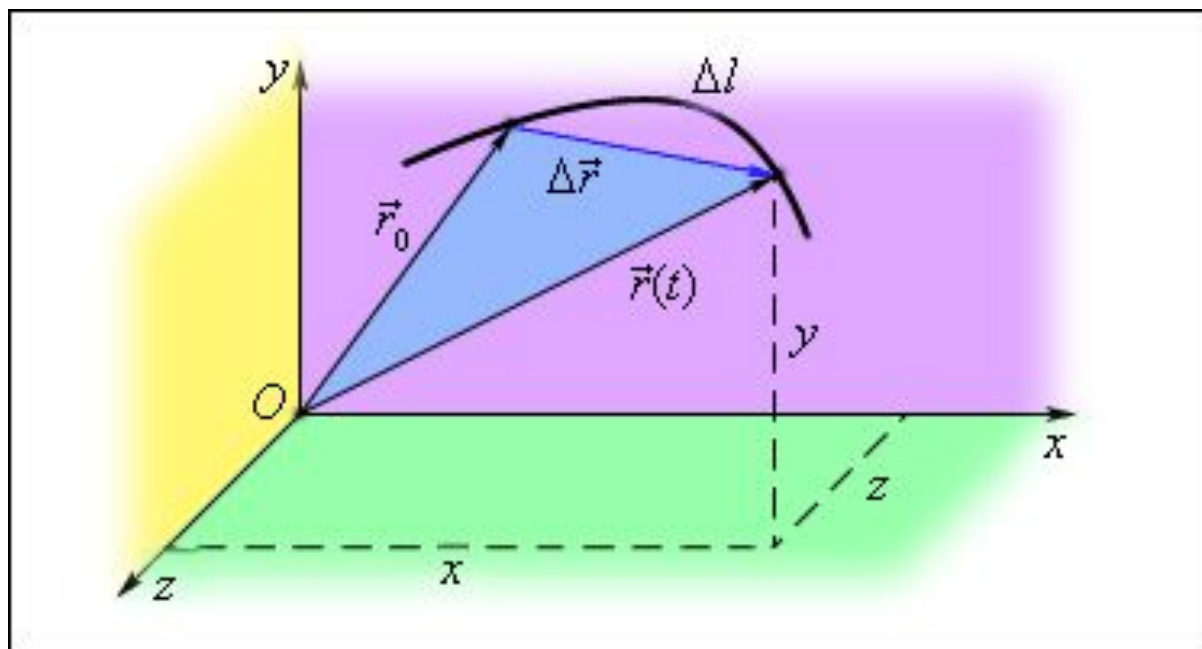
Простейшей формой движения материи является **механическое движение**, которое состоит в перемещении тел или частей тела друг относительно друга.

Тело, относительно которого определяется положение других (движущихся) тел, называется **телом отсчета**.

Тело отсчета, связанная с ним система координат, и отсчитывающие время часы образуют **систему отсчета**.

# КИНЕМАТИКА

Определение положения точки с помощью координат  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$  и  $z = z(t)$  и радиус-вектора  $\vec{r}(t)$ .  $\vec{r}_0$  – радиус-вектор положения точки в начальный момент времени.



## **Виды движения:**

**Поступательное движение** – это такое движение твёрдого тела, при котором прямая, соединяющая две любые точки тела, перемещается параллельно самой себе.

**Вращательное движение** – это такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

- Линию, которую описывает материальная точка при своем движении в пространстве, называют **траекторией**.
- В зависимости от формы траектории различают:
  - - прямолинейное движение;
  - - криволинейное движение.

- **Перемещение** - направленный отрезок (вектор), соединяющий начальное и конечное положение тела.
- **Пройденный путь** - длина участка траектории от начальной до конечной точки движения.



- **Скорость** это векторная величина, характеризующая быстроту изменения координаты тела с течением времени, или первая производная координаты по времени:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \boxtimes \quad v = \frac{dr^{\Delta}}{dt}$$

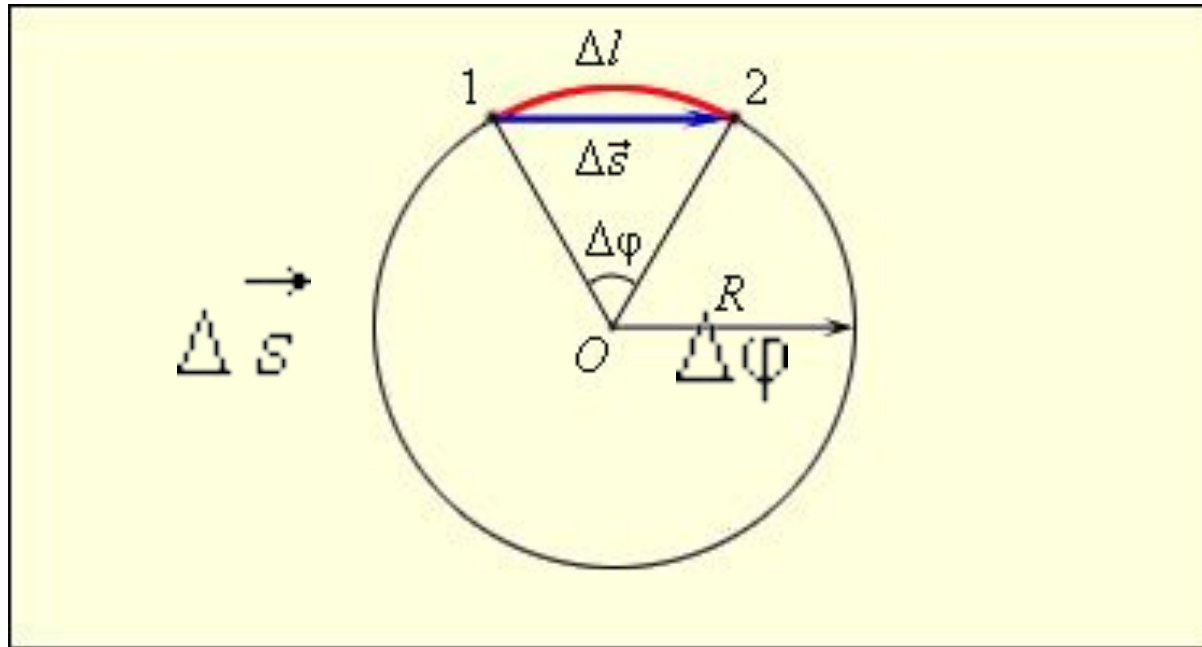
- **Ускорение** это величина, характеризующая быстроту изменения скорости, первая производная скорости по времени, или вторая производная координаты по времени:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{s}}{dt^2} \quad \boxtimes \quad a = \frac{dv^{\Delta}}{dt}$$



- **Движение тела по окружности является частным случаем криволинейного движения.**
- Наряду с вектором перемещения удобно рассматривать **угловое перемещение  $\Delta\varphi$  (или угол поворота)**, измеряемое в **радианах**.
- Длина дуги связана с углом поворота соотношением
$$\Delta l = R\Delta\varphi.$$
- При малых углах поворота  $\Delta l \approx \Delta s$ .

Линейное и угловое перемещения при  
движении тела по окружности.



**Угловой скоростью**  $\omega$  тел в данной точке круговой траектории называют предел (при  $\Delta t \rightarrow 0$ ) отношения малого углового перемещения  $\Delta\varphi$  к малому промежутку времени  $\Delta t$ :

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}; \quad (\Delta t \rightarrow 0).$$

Угловая скорость измеряется в **рад/с**.

Связь между модулем линейной скорости  $V$  и угловой скоростью  $\omega$ :

$$V = \omega R$$

- Таким образом, линейные скорости точек вращающегося тела пропорциональны их расстояниям от оси вращения (чем дальше удалена точка от оси вращения, тем большую линейную скорость она имеет).
- **Пример.**
- При выполнении гимнастом большого оборота на перекладине линейная скорость точки, расположенной в области тазобедренного сустава составляет 10,8 м/с,
- а точки, расположенной в области голеностопного сустава – 18,0 м/с.

При равномерном движении тела по окружности величины  $V$  и  $\omega$  остаются неизменными.

В этом случае при движении изменяется только направление вектора скорости  $\vec{V}$ .

$$\vec{a}_n = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}; \quad (\Delta t \rightarrow 0),$$

Ускорение направлено по радиусу к центру окружности. Его называют **нормальным**, или **центростремительным ускорением**.

Модуль центростремительного ускорения связан с линейной  $V$  и угловой  $\omega$  скоростями соотношениями:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

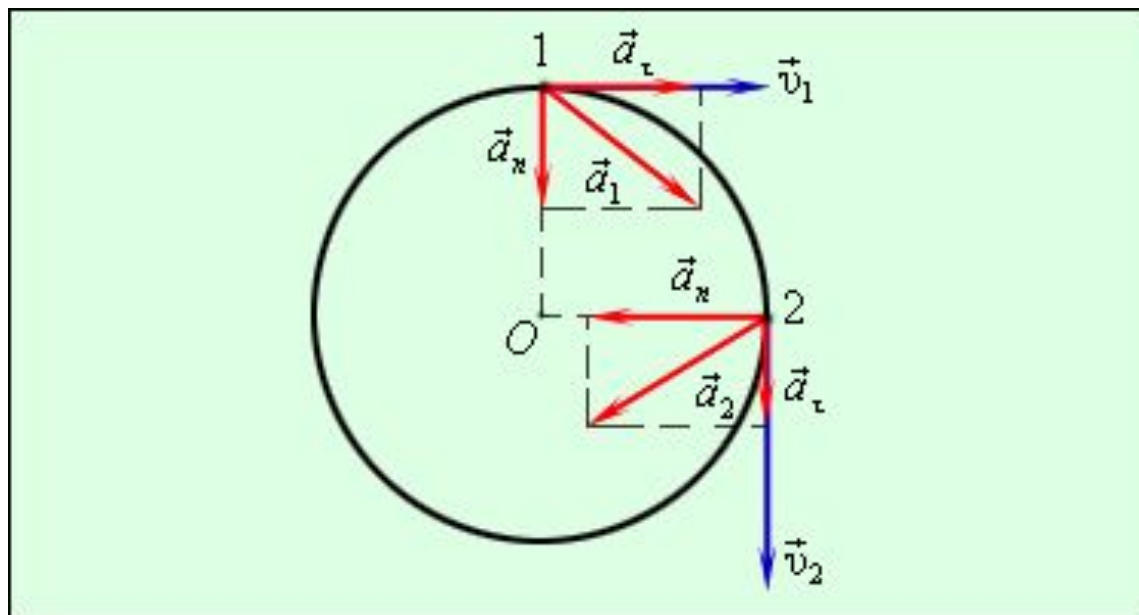
Если тело движется по окружности неравномерно, то появляется также **касательная** (или **тангенциальная**) составляющая ускорения.

$$a_\tau = \frac{\Delta v_\tau}{\Delta t}; \quad (\Delta t \rightarrow 0).$$

## Направление вектора полного ускорения

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

определяется в каждой точке круговой траектории величинами нормального и касательного ускорений



- **Масса тела ( $m$ )** — мера инертности тела при *поступательном* движении.
- **Момент инерции тела ( $J$ )** — мера инертности твердого тела при *вращательном* движении.
- Момент инерции зависит от распределения массы относительно оси вращения.



Положение тела при вращении:  
а) в «ласточке»; б) в «волчке»; в) стоя.



Группировка в пируэте «винт».



## • ДИНАМИКА

- Изменение *скорости движения тел* происходит под действием сил
- **Сила** — это физическая величина, характеризующая взаимодействие тел;
- **Работа** — это физическая величина, характеризующая динамическое взаимодействие;
- **Энергия** — это физическая величина, характеризующая способность системы совершать работу.

## Первый закон Ньютона :

Существуют такие системы отсчета, называемые **инерциальными**, относительно которых изолированные поступательно движущиеся тела сохраняют свою скорость неизменной по модулю и направлению.

**Второй закон Ньютона** – Поскольку масса тела есть величина постоянная, то можно записать предыдущее

выражение в виде уравнения движения материальной точки (**основной закон динамики**),

где векторная величина  $\vec{p} = m\vec{v}$  называется **импульсом** (**количеством движения**) материальной точки

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

$$\vec{F} = \frac{d m \vec{v}}{dt} = \frac{d \vec{p}}{dt}$$

Если на тело одновременно действуют несколько сил то под силой в формуле, выражающей второй закон Ньютона, нужно понимать **равнодействующую всех сил:**

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \quad \vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Механическая система, на которую не действуют внешние силы, называется **замкнутой (изолированной):**

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}_i = 0$$

Следовательно, для изолированной (замкнутой) системы имеем

$$\frac{dp}{dt} = 0$$

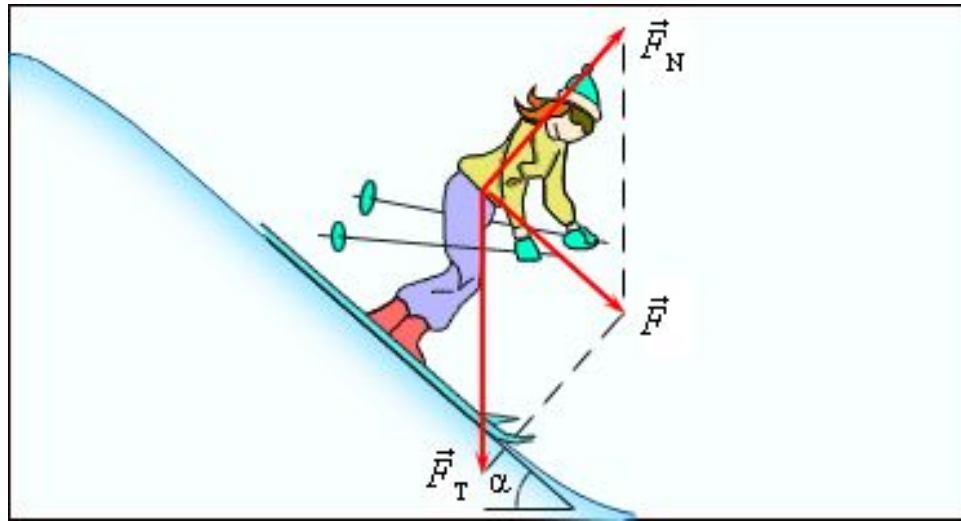
или 
$$p = \sum_{i=1}^{i=n} m_i v_i = const$$

которые выражают **закон сохранения импульса.**

## **Закон сохранения импульса:**

*импульс замкнутой (изолированной) системы не изменяется с течением времени.*

Закон сохранения импульса справедлив для любой замкнутой системы частиц, и он является фундаментальным законом природы.



Сила  $\vec{F}_R$  – равнодействующая силы тяжести и силы реакции опоры, действующих на лыжника на гладкой горе.

Сила  $\vec{F}_T$  вызывает ускорение лыжника.

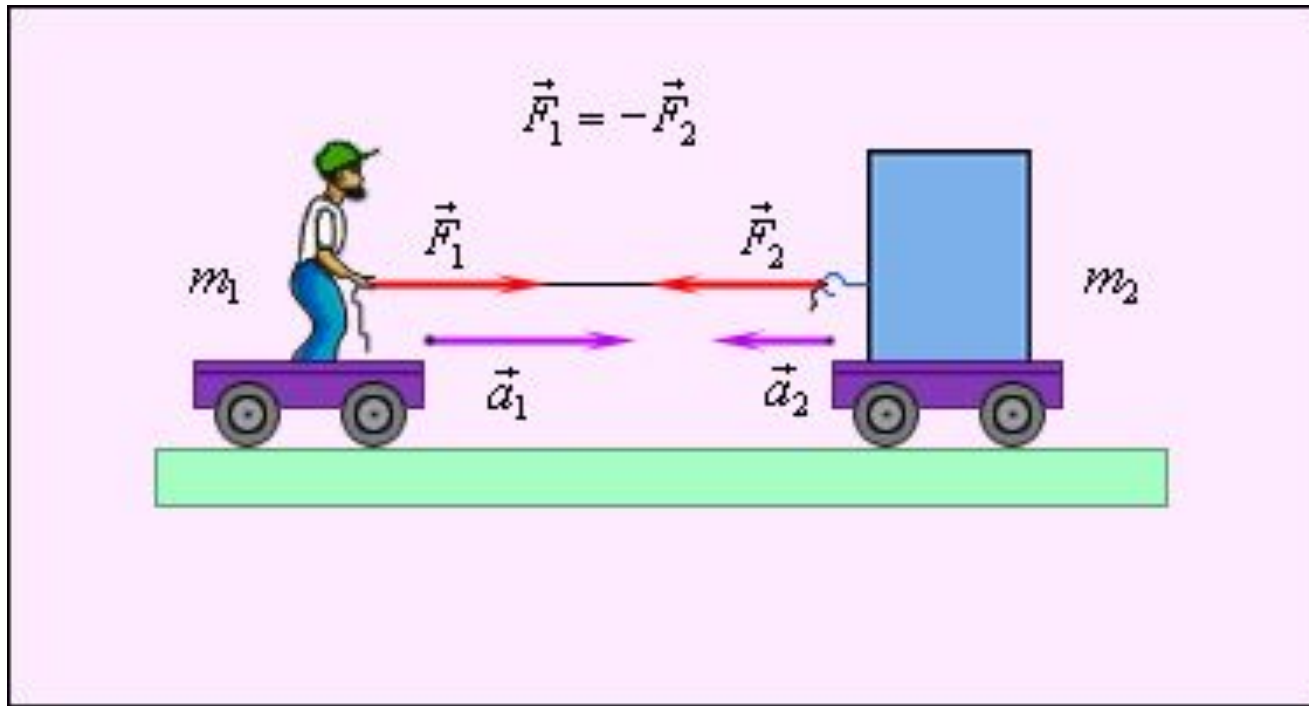
## Третий закон Ньютона.

Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Силы, возникающие при взаимодействии тел, всегда имеют одинаковую природу.

Они приложены к **разным телам** и поэтому не могут уравновешивать друг друга.



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad \vec{a}_1 = -\frac{m_2}{m_1} \vec{a}_2$$

Рис. иллюстрирует третий закон Ньютона.

Человек действует на груз с такой же по модулю силой, с какой груз действует на человека.

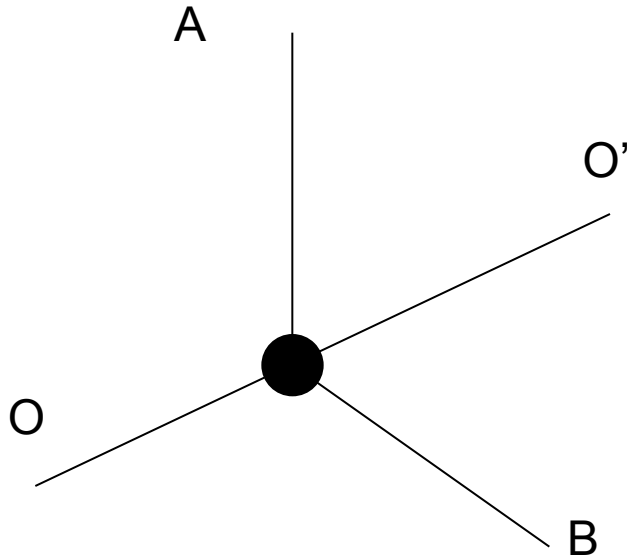
Эти силы направлены в противоположные стороны. Они имеют одну и ту же физическую природу – это упругие силы каната.

Сообщаемые обоим телам ускорения обратно пропорциональны массам тел.



# СОЕДИНЕНИЯ И РЫЧАГИ

# ОДНООСНОЕ ДВУХШАРНИРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



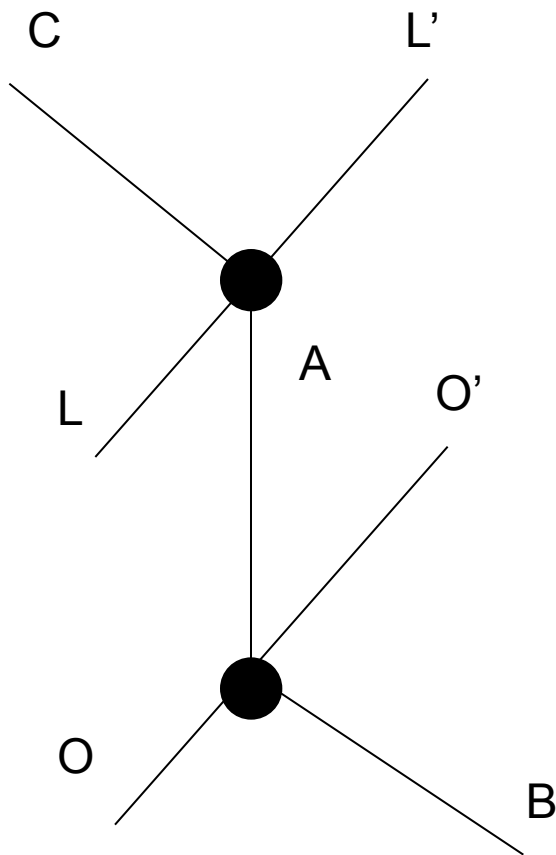
Система состоит из двух звеньев А и В, соединенных осью  $OO'$ .

При неподвижном звене В звено А имеет одну степень свободы как тело, вращающееся вокруг неподвижной оси.

Пример: плечелоктевое, фаланговое соединение.

1 степень свободы – сгибание и разгибание.

# ДВУОСНОЕ ТРЕХШАРНИРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



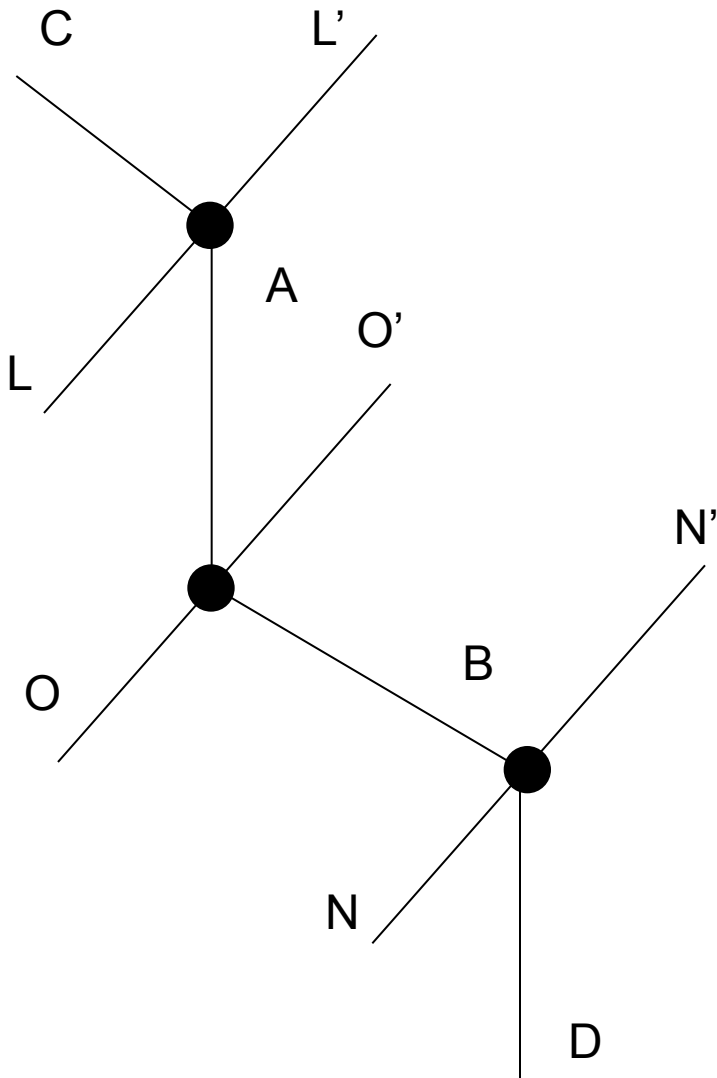
Система состоит из трех звеньев: А, В и С, соединенных осями  $OO'$  и  $LL'$ . Закрепленное звено В не имеет свободы перемещения, второе звено А – имеет одну степень свободы и третье – С – две степени свободы.

Пример: лучезапястный сустав.

1 степень свободы – сгибание, разгибание.

2 степень свободы – отведение, приведение.

# ТРЕХОСНОЕ ЧЕТЫРЕХШАРНИРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



Трехосное соединение осуществляет вращение вокруг 3-х взаимно-перпендикулярных осей.

Пример: тазобедренный и плечевой суставы.

1 степень свободы – сгибание, разгибание (в сагиттальной плоскости).

2 степень свободы – отведение, приведение (в фронтальной плоскости).

3 степень свободы – вращение вокруг продольной оси.

# РЫЧАГИ

- Рычаг- твердое тело, имеющее неподвижную ось вращения, на которое действуют силы, стремящиеся повернуть его вокруг этой оси.
- Различают рычаги первого и второго рода.

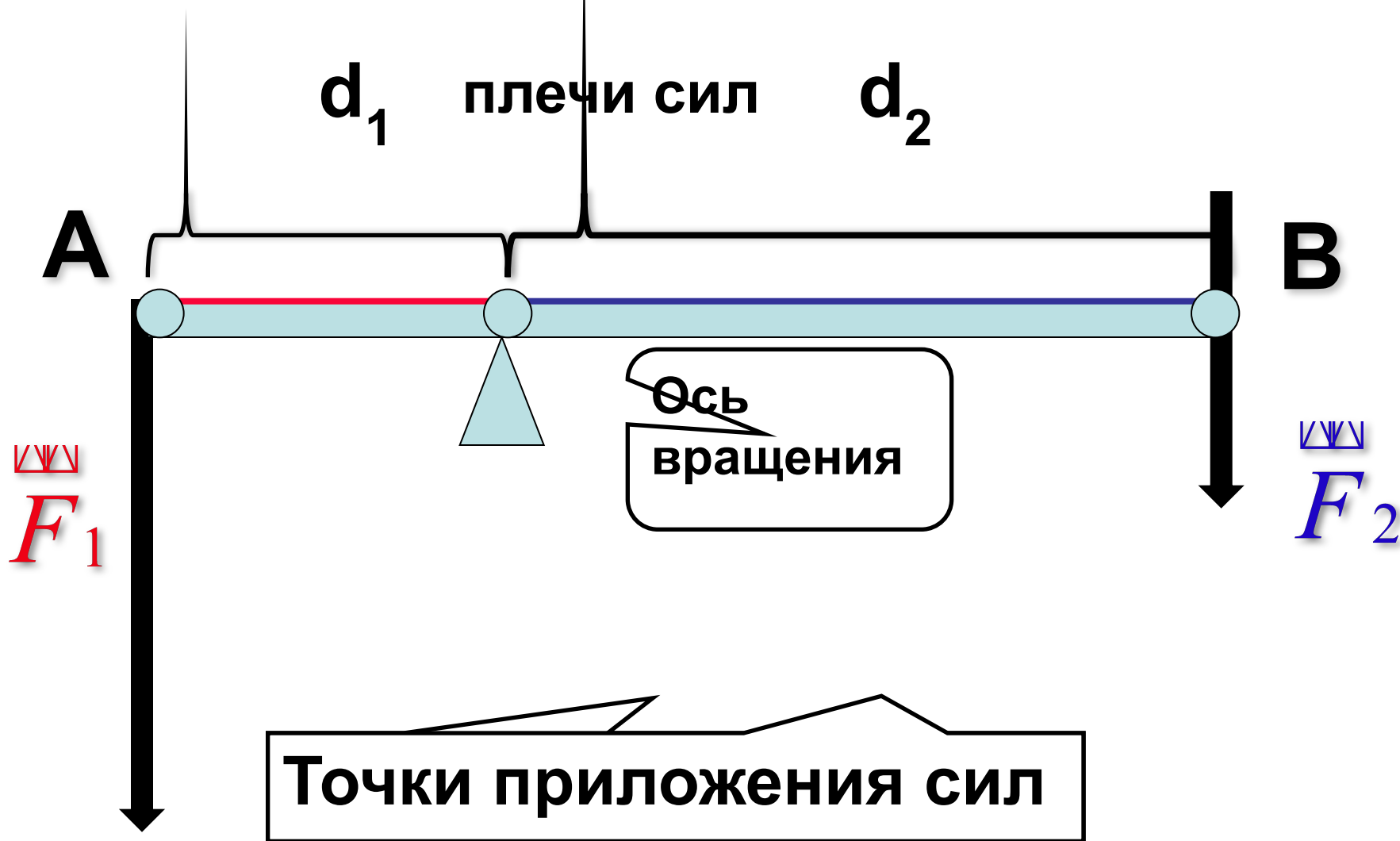
# **ВИДЫ РЫЧАГОВ**

- 1. Рычаг I рода**
- 2. Рычаг II рода**
  - Рычаг силы**
  - Рычаг скорости**

# РЫЧАГ ПЕРВОГО РОДА

Рычаг первого рода- это рычаг, ось вращения которого расположена между точками приложения сил, а сами силы направлены в одну и ту же сторону А

# Рычаг первого рода

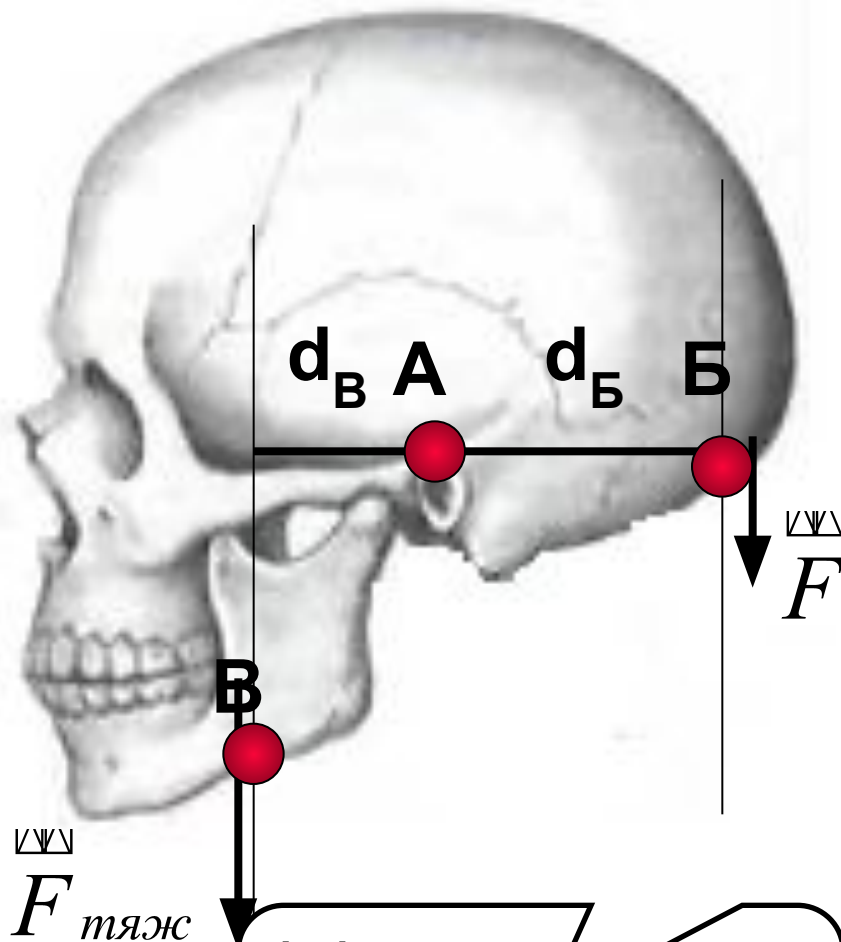




Рычаг первого рода в биомеханике, носит название "рычаг равновесия".

$$F_{\text{тяж}} \cdot d_{\text{В}} = F \cdot d_{\text{Б}}$$

$$M_{\text{Fтяж}} = M_{\text{F}}$$



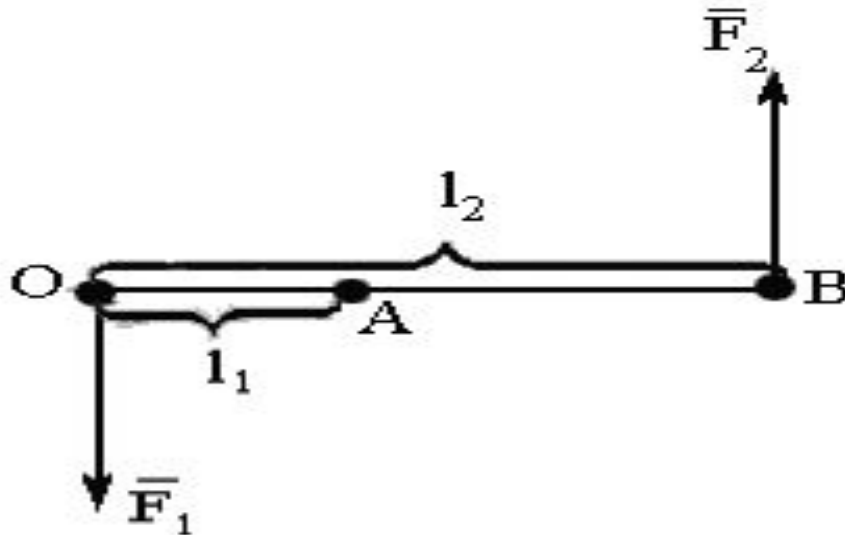
(Б) точка приложения силы (сила мышечного сокращения)

(В) точка сопротивления (сила тяжести)

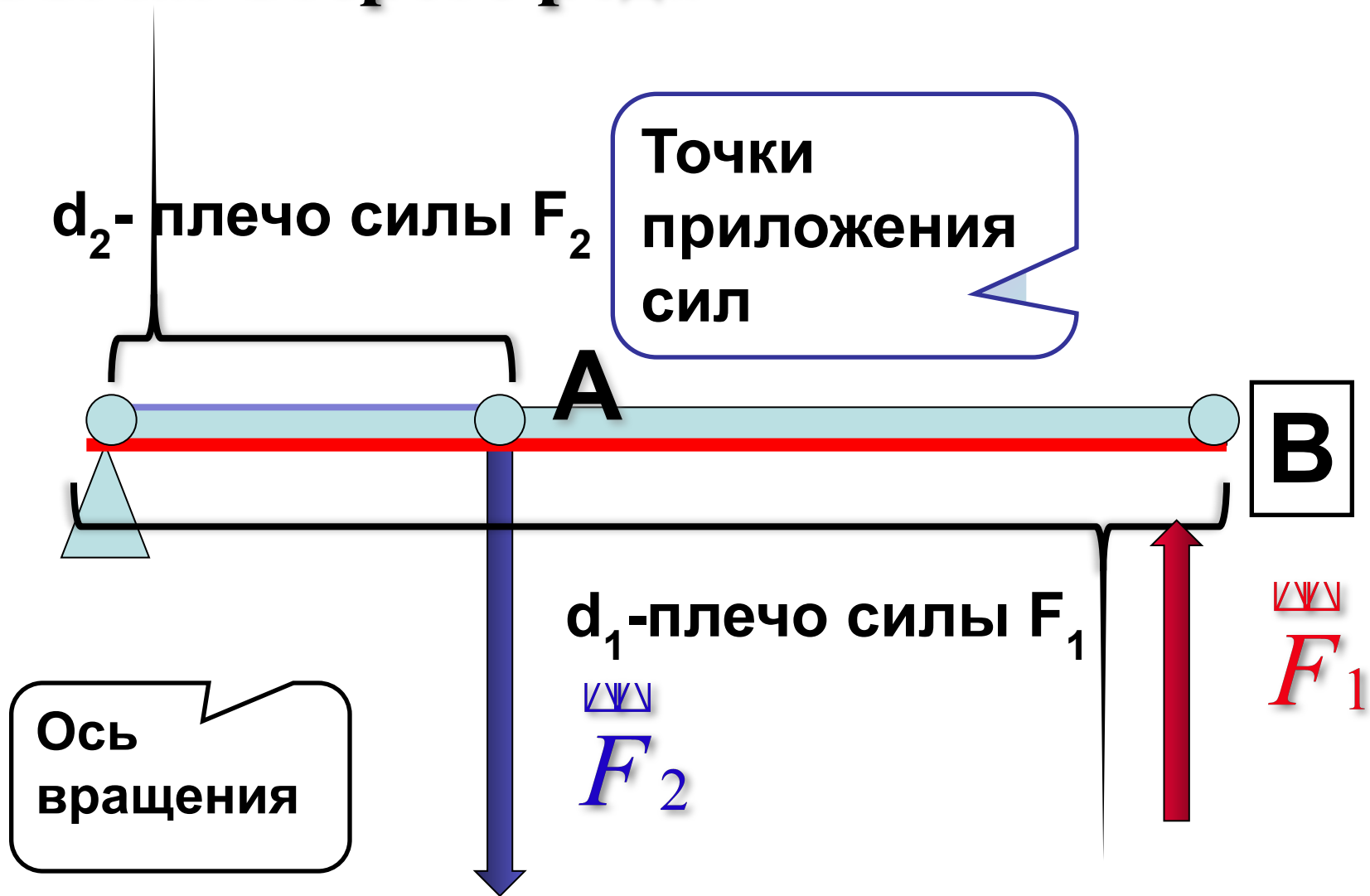
(А) точка опоры (ось вращения)

# РЫЧАГ ВТОРОГО РОДА

- Рычаг второго рода
- это рычаг, ось вращения которого расположена по одну сторону от точек приложения сил, а сами силы направлены противоположно друг другу



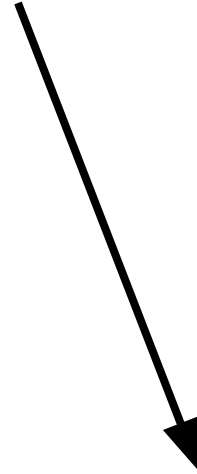
# Рычаг второго рода



# ТИПЫ РЫЧАГОВ II РОДА



Рычаг скорости, в котором происходит выигрыш в скорости перемещения, но проигрыш в силе.

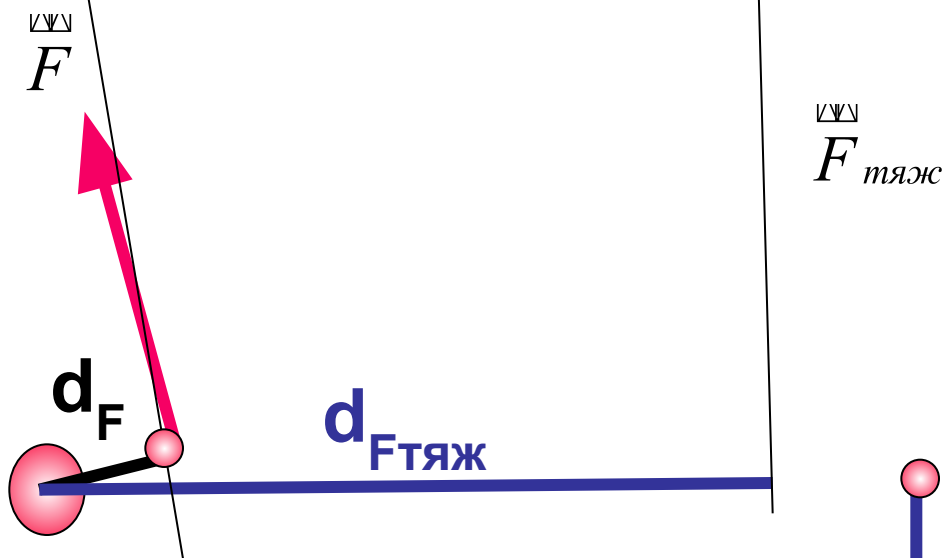


Рычаг силы, в котором происходит выигрыш в силе, но проигрыш в скорости.

"рычаг скорости" - плечо приложения мышечной силы короче, чем плечо сопротивления, где приложена противодействующая сила тяжести.

точка приложения  
силы  
место крепления  
мышц сгибателей

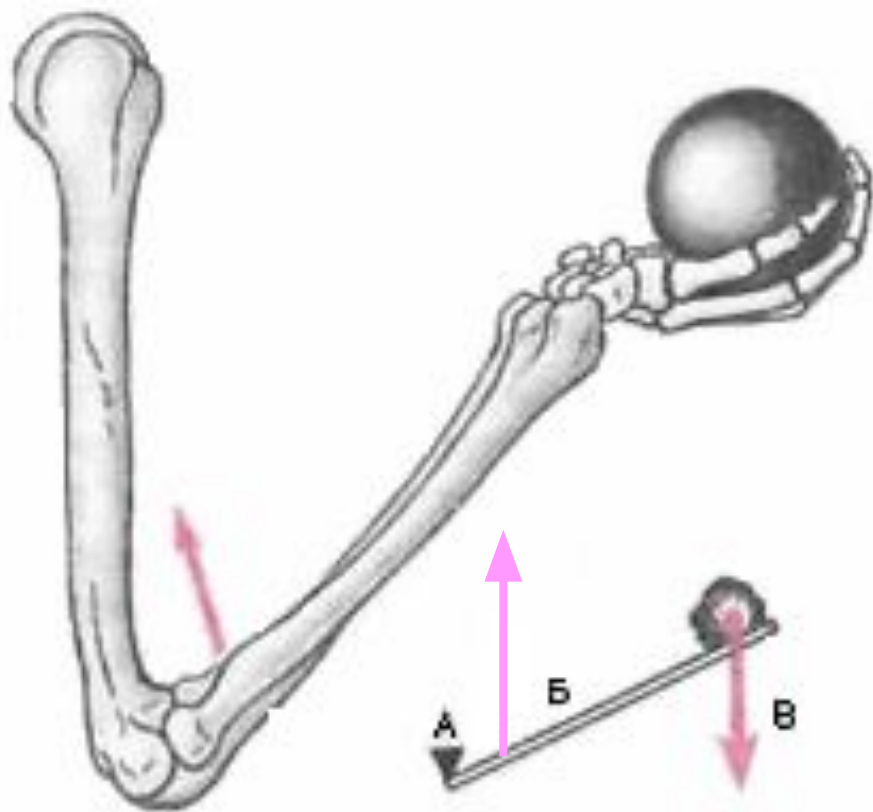
точка  
сопротивления  
(сила тяжести)



точка вращения в  
локтевом суставе

У второго вида одноплечевого рычага - "**рычага скорости**" - плечо приложения мышечной силы короче, чем плечо сопротивления, где приложена противодействующая сила- сила тяжести.

При этом происходит **выигрыш в скорости** и размахе движения более длинного рычага (точка сопротивления) и **проигрыш в силе**, действующей в точке приложения этой силы.

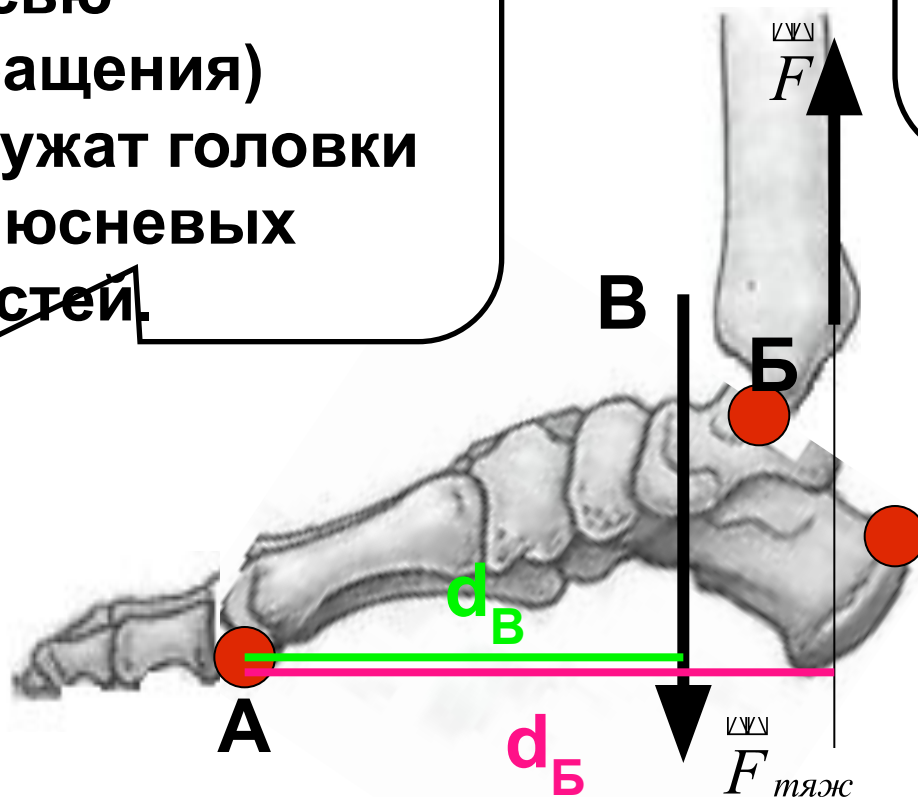


**"рычаг силы" - плечо приложения мышечной силы длиннее плеча силы тяжести.**

$$d_B > d_B$$

**Точкой опоры (осью вращения) служат головки плюсневых костей.**

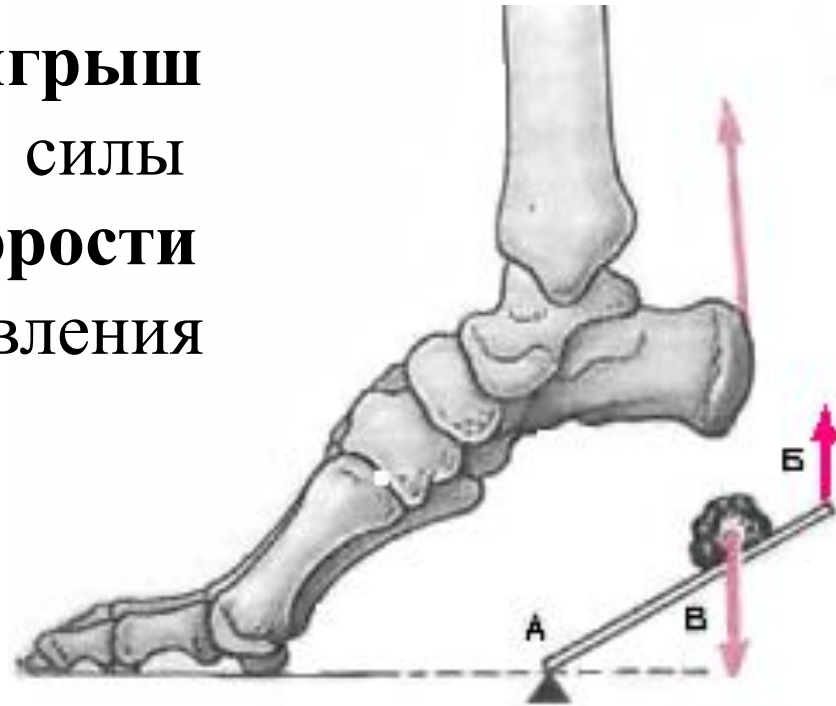
точка сопротивления (тяжесть тела) приходится на место сочленения костей голени со стопой (голеностопный сустав).



**точкой приложения мышечной силы (трёхглавая мышца голени) является пяточная кость.**

Первый вид рычага второго рода - "рычаг силы" - имеет место в том случае, если плечо приложения мышечной силы длиннее плеча сопротивления (силы тяжести).

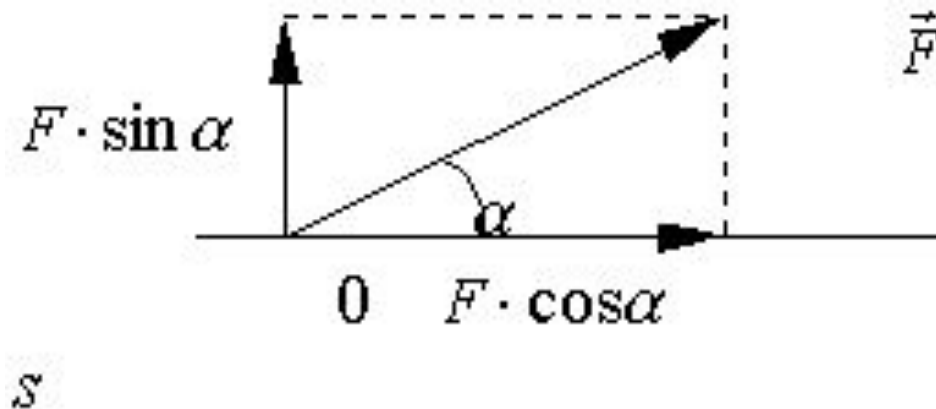
В этом рычаге происходит **выигрыш в силе** (плечо приложения силы длиннее) и **проигрыш в скорости** перемещения точки сопротивления (её плечо короче).





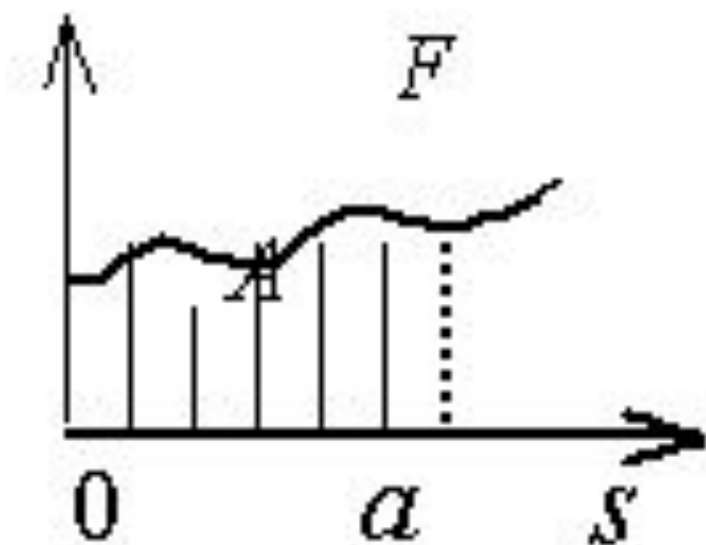
# Работа и энергия.

- **Механической работой силы** называется величина, равная произведению проекции силы на модуль перемещения



$$A = F s \cdot \cos \alpha = \left( \vec{F} \cdot \vec{s} \right) \quad [Дж] = [Н \cdot м]$$

Если сила *переменная*, то перемещение разбивают на бесконечно малые отрезки, на которых сила постоянна, затем суммируют.



$$A = \int_0^a \vec{F} d\vec{s}$$

Эффективность совершения работы характеризуется мощностью.

**Мощность** - величина, равная отношению работы к промежутку времени, в течении которого она совершается.

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad [Вт] = \left[ \frac{Дж}{с} \right]$$

**Коэффициент полезного действия (КПД)** равен отношению полезной работы, совершенной машиной, к полной работе.

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{полн.}}}$$

**Энергия** – физическая величина, характеризующая способность системы совершить работу.

Виды энергии : механическая, тепловая, электрическая, электромагнитная, химическая, внутренняя (связи) и т. п.

Механическая энергия связанная либо с движением системы, либо с движением ее частей называется **кинетической**, а энергия, связанная с расположением системы в пространстве или взаимным расположением частей системы, называется **потенциальной**.

Изменение энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно совершаемой системой (или над системой) работе.

$$A = W_0 - W$$

Кинетическая энергия тела может быть определена по формуле

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

Механическая энергия *изолированной* системы равна сумме кинетической и потенциальной энергии

$$W_{\text{м}} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}} = \text{const}$$

и не меняется со временем, если механическая энергия не превращается в другие виды энергии.

**Полная энергия** системы складывается из всех присущих системе видов энергии. Опыт показывает, что в *изолированной системе* выполняется **закон сохранения полной энергии**:

*Величина полной энергии изолированной системы остается постоянной, и может превращаться из одних видов в другие.*