ЧУЕВ Анатолий Степанович
доцент кафедры ФН-4

http://wwv.bmstu.ru/ps/~chuev/

Персональная страница

Сайт кафедры «Физика» (ФН-4):

http://www.fn.bmstu.ru/

Презентации лекций

http://hoster.bmstu.ru/~moodle/

Лекция 2. «Закон сохранения импульса»

- *Масса, импульс* (количество движения)
- *Силы*.
- Инерциальная система отсчета
- Динамика материальной точки
- Механическая система (МС) и ее центр масс
- Уравнение изменения импульса МС
- Закон сохранения импульса

Мир каждый видит в облике ином и каждый прав – так много смысла в нём.

Гёте.

Истинное знание есть знание причин

Аристотель

Я не знаю, что мир думает обо мне; себе самому я кажусь всего лишь мальчиком, играющим на берегу, возвращающим себя в настоящее, но потом находящим гладкий камешек или необычайно красивую ракушку, - в то время как великий океан непостижимой истины простирается передо мной"

(*Исаак Ньютон*)

Первый закон Ньютона – закон инерции

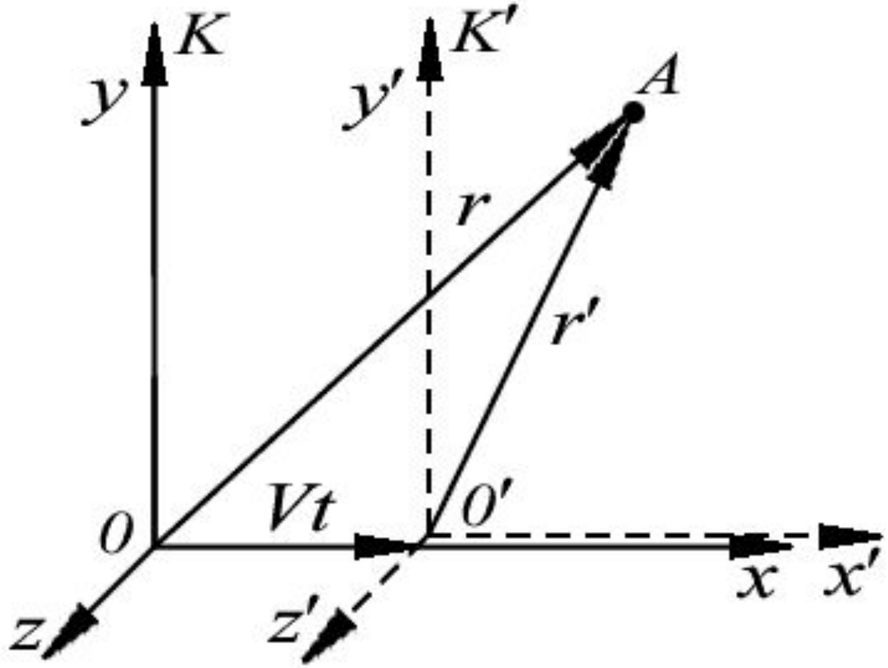
- *всякая материальная точка* (*тело*) *сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит её* (*его*) *изменить это состояние.*

Инерциальная система

Систему отсчета называют *инерциальной*, если свободная частица, не подверженная действию никаких других тел, движется в ней прямолинейно и равномерно, или, как говорят, по инерции.

Принцип относительности Галилея:

- все инерциальные системы по своим механическим свойствам эквивалентны друг другу. Это значит, что никакими механическими опытами, проводимыми "внутри" данной инерциальной системы, нельзя установить, покоится эта система отсчета или движется. Во всех инерциальных системах отсчета свойства пространства и времени одинаковы, одинаковы также и все законы механики.



Не срисовывать

Преобразования Галилея:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}_0 t \qquad t = t'$$

$$x' = x - v_0 t,\ y' = y,\ z' = z,\ t = t'. \qquad \vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_0.$$

при $\quad \vec{v}_0 = const \qquad \vec{a} = \vec{a}'$

Масса

- Инертная масса (кг)

$$m_1 / m_2 = a_1 / a_2.$$

- Гравитационная (кинематическая) масса измеряется в (м^3/с^2)
- Гравитационная постоянная *G* – это соотношение инертной и гравитационной масс (*G* в *LT*-системе безразмерная величина)

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{м^3}{с^2 кг}$$

3-й закон Кеплера: $\frac{R^3}{T^2} = \frac{Gm_c}{4\pi^2}$

Масса величина аддитивная $m = \sum m_i$

Импульс $\vec{P} = m\vec{v} = \vec{F}t$

Единица измерения $\dfrac{кг \cdot м}{с}$

Размерность MLT^{-1}

Сила $\vec{F} = m\vec{a}$

Единица измерения $\dfrac{кг \cdot м}{с^2}$

Размерность MLT^{-2}

Второй закон Ньютона

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

- *Масса* - мера инертности материальных тел

- *Инертность -* свойство, выражающее степень сопротивления тела к изменению его скорости

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{P}}{\mathrm{d}t}$$

существуют инерциальные системы отсчета (ИСО), где импульс частицы сохраняется при отсутствии действия других тел.

Принцип суперпозиции сил $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots,$

Третий закон Ньютона

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

- *Силы, с которыми две материальные точки воздействуют друг на друга, всегда равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти точки*

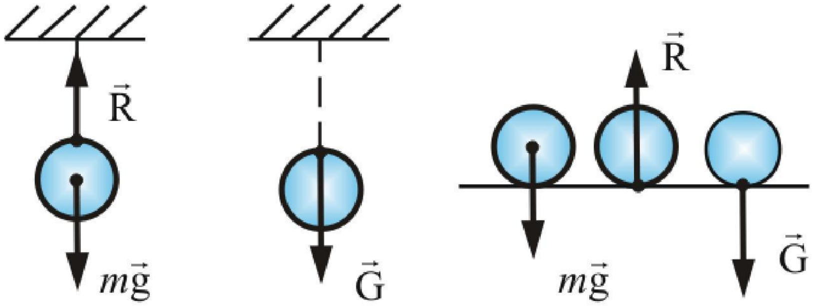
Согласно этому закону, *взаимодействие между телами распространяется в пространстве с бесконечно большой скоростью*

СИЛЫ в механике

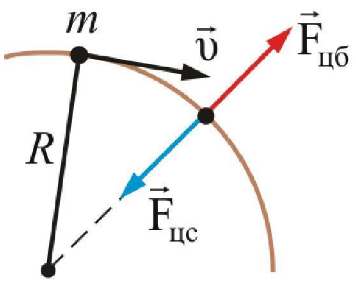
гравитационная

$$\vec{F} = G\frac{m_1 m_2}{r^2}\vec{e}_r$$

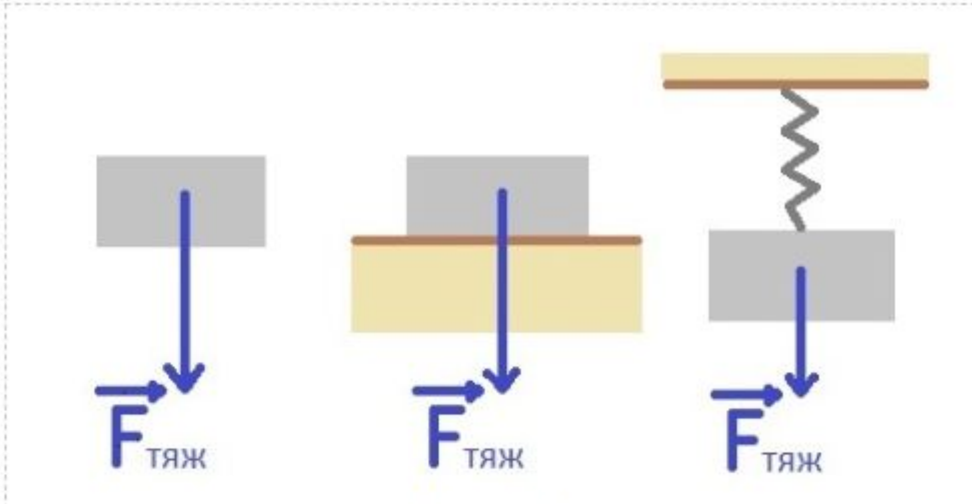
тяжести и веса



центростремительная
и центробежная

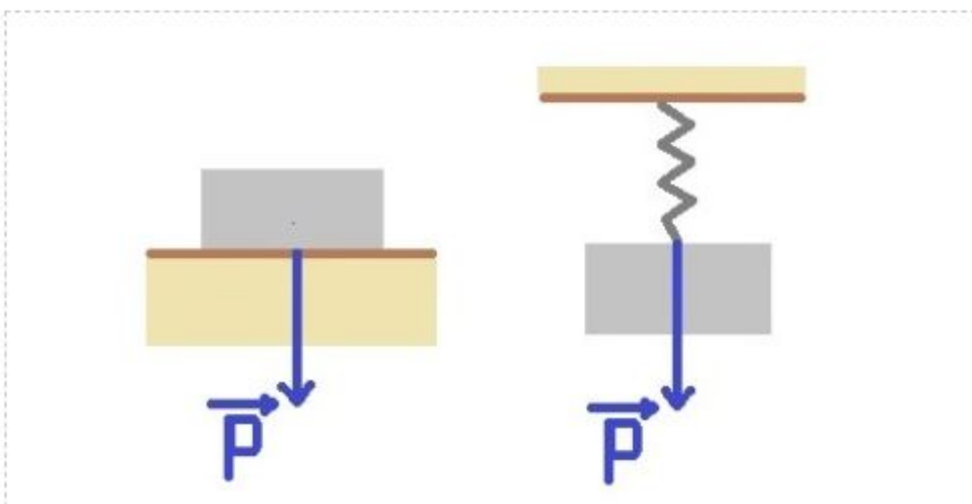


Силой тяжести называют величину, отражающую притягивающее действие Земли на объект, расположенный близко к ее поверхности.



Сила тяжести

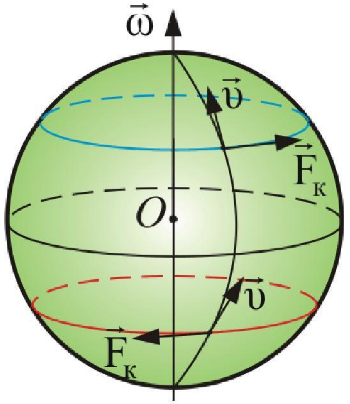
Вес тела рассматривают как силу, исходящую от предмета в отношении его опоры или верхнего крепления (например, нити или пружины).



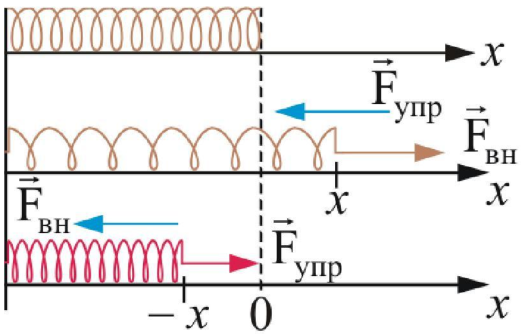
Вес тела

СИЛЫ в механике

Кориолиса

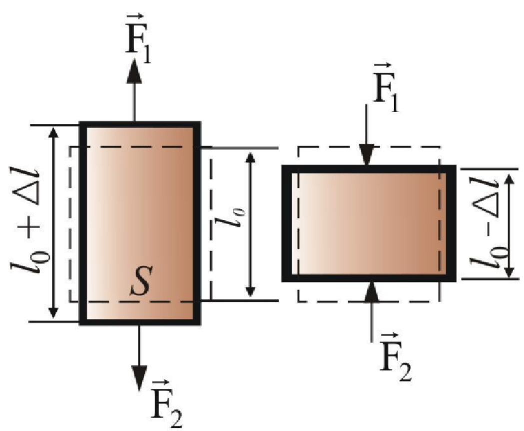


Упругости



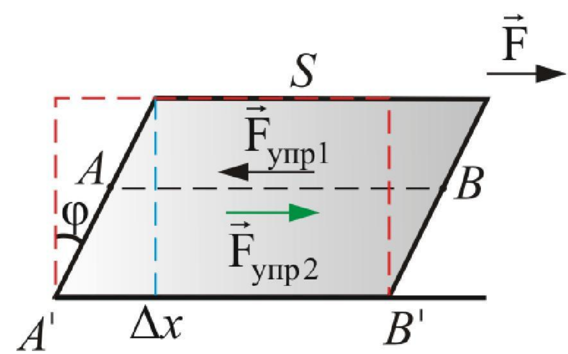
$$x = \frac{1}{k} F_{\text{вн.}},$$

Деформации

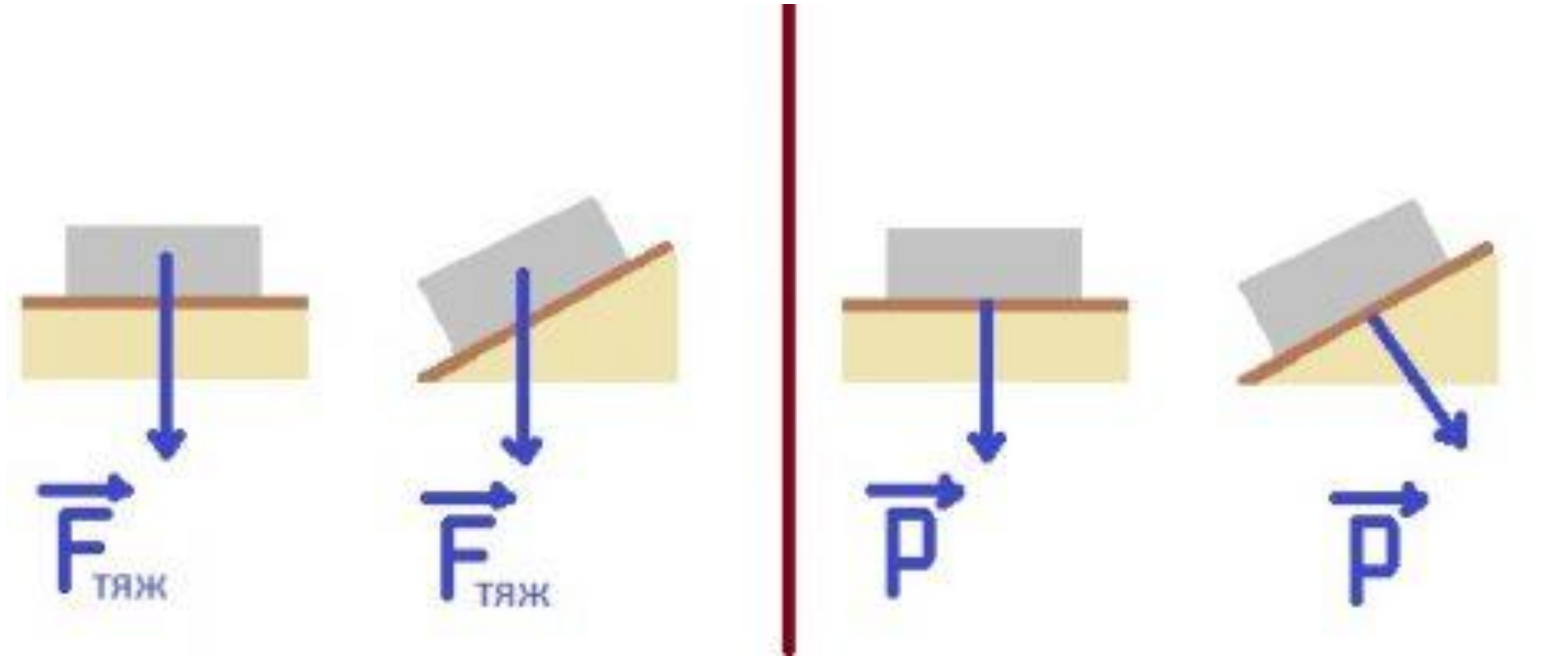


$$\sigma = \frac{F_{\text{упр.}}}{S},$$

$$\tau = \frac{F_{\text{упр.}}}{S},$$



Тяжесть   Вес



Обе величины являются векторными. Но сила тяжести при любом размещении тела направлена вниз. Однако в случае с весом ключевое значение имеет положение в пространстве опоры. Такая сила всегда направлена перпендикулярно плоскости опоры.

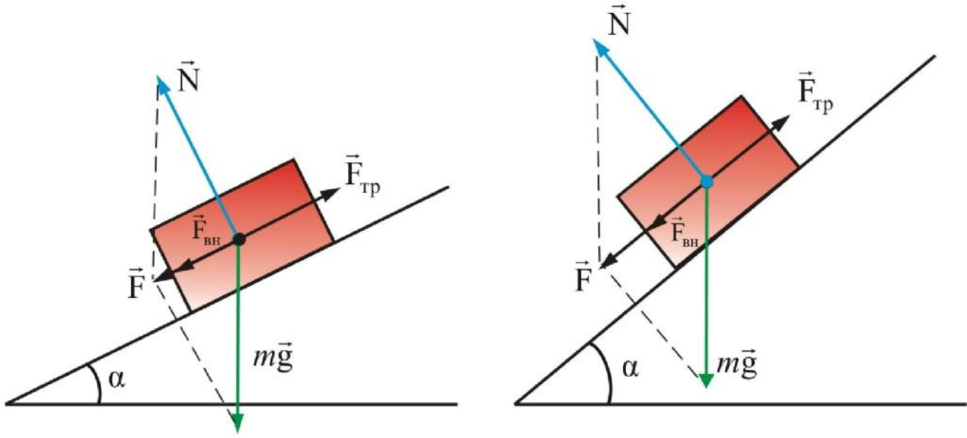
Если тело находится в покое или перемещается равномерно, вес не отличается по значению от силы тяжести. При других условиях равенство между этими величинами отсутствует.

СИЛЫ в механике

Трения скольжения

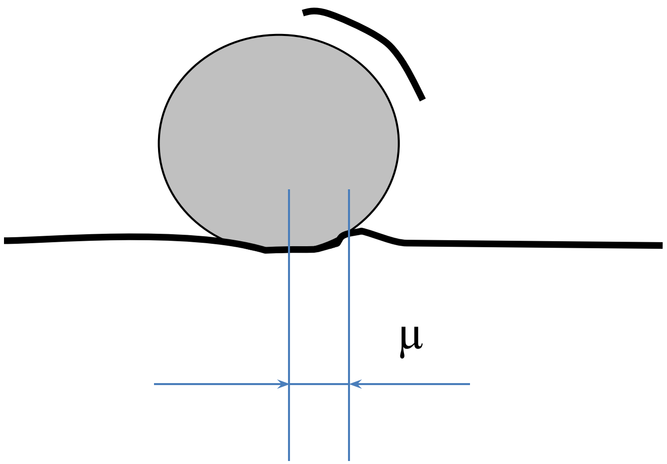
$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu\, mg \cos\alpha,$$

$$F = mg \sin\alpha.$$

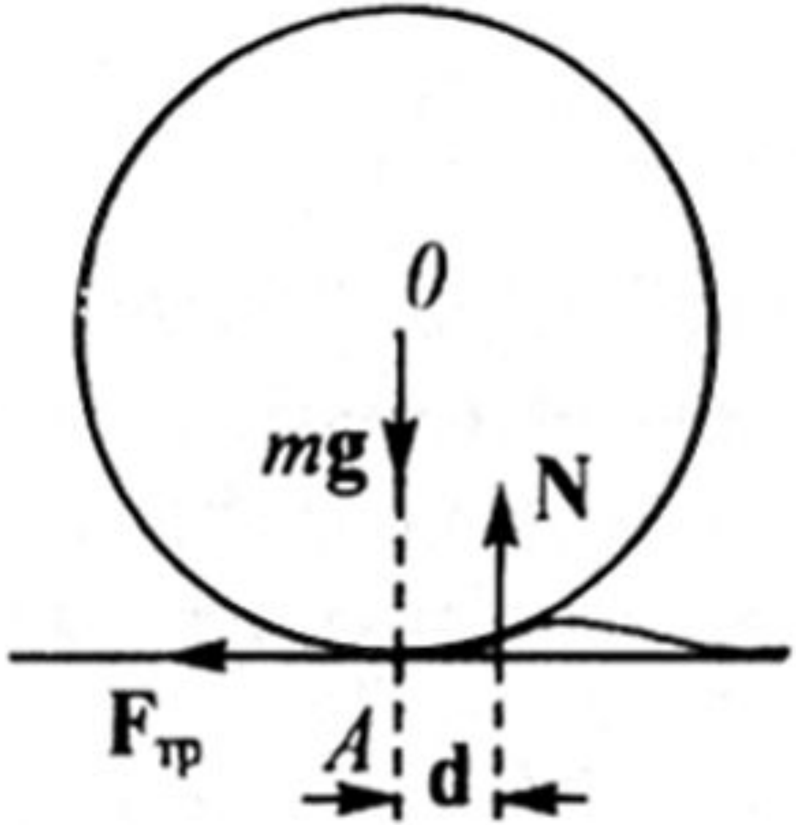


Трения качения

$$M = \mu\, mg$$

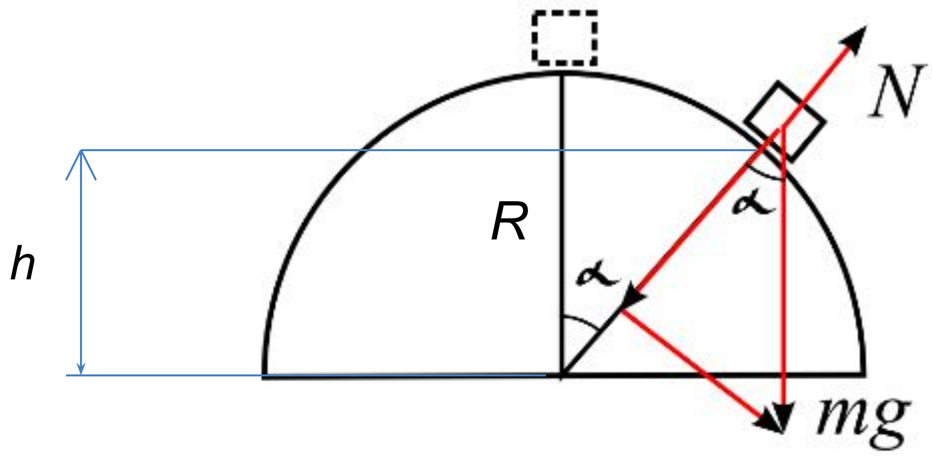


Трение качения



$$Nd = mgd$$

Соскальзывание частицы с полусферы: h=?



$$v = \sqrt{2g(R-h)}$$

$$mgR = mgh + \frac{mv^2}{2}$$

$$mg\cos\alpha + N = \frac{mv^2}{R}.$$

Отрыв тела от поверхности сферы произойдет при $N = 0$. Подставляя выражение для скорости, получим:

$$mg\cos\alpha = 2mg(R-h)/R.$$

учитывая, что $h = R\cos\alpha$, получаем **ответ**: $\boxed{h = \frac{2}{3}R.}$

Соскальзывание частицы с полусферы: v = ?

ФАК

Уравнение для сил:

$$m\omega^2 R = mg\cos\alpha - N$$

$$m\frac{dv}{dt} = mg\sin\alpha$$

$$v = \frac{dl}{dt}$$

$$dt = \frac{dl}{v} = \frac{Rd\alpha}{v}$$

$$vdv = gRd(\sin\alpha)d\alpha \longrightarrow v^2 = 2gR(1-\cos\alpha)$$

$$v^2 = 2gR(1-\cos\alpha) = 2g(R-h) = \frac{2}{3}gR$$

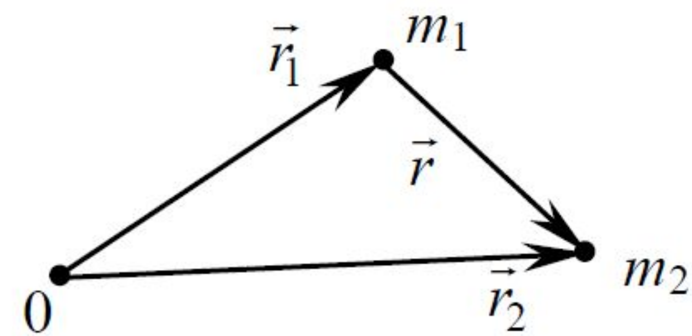
$$v = \sqrt{\left(\frac{2}{3}gR\right)}$$

!

Система нескольких масс

Центр масс системы

$$\boxed{\mathbf{r}_C = \frac{1}{m}\sum m_i \mathbf{r}_i,}$$



По второму закону Ньютона

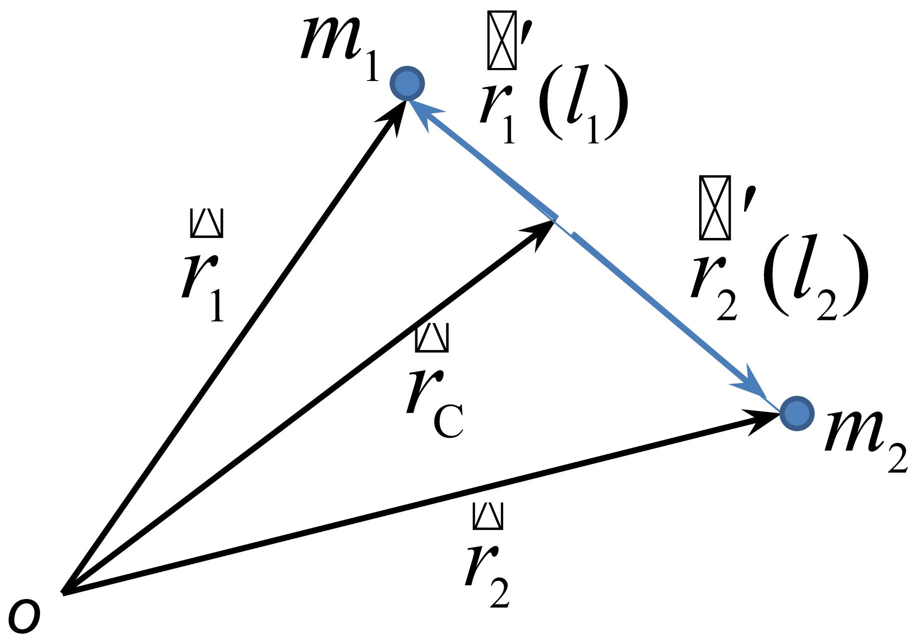
$$m_1\ddot{\vec{r}}_1 + m_2\ddot{\vec{r}}_2 = 0,$$

Интегрируем по *t*

$$m_1\dot{\vec{r}}_1 + m_2\dot{\vec{r}}_2 = \text{const},$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p} = \text{const}$$

Центр масс системы точечных масс



$$\vec{r}_C = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{r}\,'_1(l_1) = \vec{r}_1 - \vec{r}_C$$

$$\vec{r}\,'_2(l_2) = \vec{r}_2 - \vec{r}_C$$

$$\vec{r}\,'_1(l_1) = \frac{m_2}{m_1 + m_2}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \qquad \vec{r}\,'_2(l_2) = \frac{m_1}{m_1 + m_2}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

Оба вектора коллиниарны и противоположно направлены, т.о. они лежат на одной прямой. Модули этих векторов обратно пропорциональны массам.

Закон сохранения импульса системы

Импульсом системы $\vec{\mathbf{p}}$ называется векторная сумма импульсов тел, образующих систему,

$$\vec{\mathbf{p}} = \vec{\mathbf{p}}_1 + \vec{\mathbf{p}}_2 + \ldots + \vec{\mathbf{p}}_N = \sum_{i=1}^{N} \vec{\mathbf{p}}_i.$$

Назовем **центром инерции** системы точку, положение которой в пространстве задается радиусом-вектором $\mathbf{r}_c$, определяемым следующим образом:

$$\vec{\mathbf{r}}_c = \frac{m_1\vec{\mathbf{r}}_1 + m_2\vec{\mathbf{r}}_2 + \ldots + m_N\vec{\mathbf{r}}_N}{m_1 + m_2 + \ldots + m_N} = \frac{\sum m_i\vec{\mathbf{r}}_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i\vec{\mathbf{r}}_i}{m},$$

где m_i — масса i-го тела, $\vec{\mathbf{r}}_i$ — радиус-вектор, определяющий положение этого тела в пространстве, m — масса системы.

Декартовы координаты центра инерции равны проекциям $\vec{r}_c$ на координатные оси:

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{m}; \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{m}; \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{m}.$$

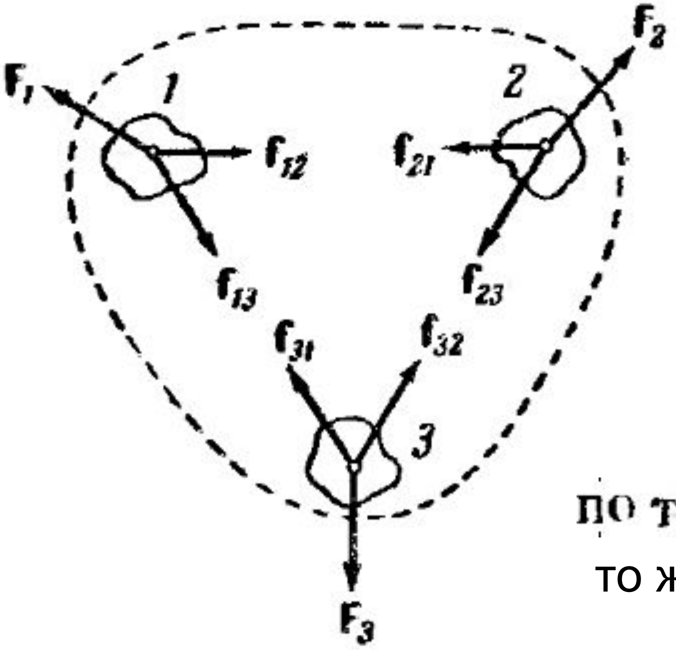
Скорость центра инерции получается путем дифференцирования $\mathbf{r}_c$ по времени:

$$\vec{\mathbf{v}}_c = \dot{\vec{\mathbf{r}}}_c = \frac{\sum m_i \dot{\vec{\mathbf{r}}}_i}{m} = \frac{\sum m_i \vec{\mathbf{v}}_i}{m}$$

Учитывая, что $m_i \vec{\mathbf{v}}_i$ есть $\vec{\mathbf{p}}_i$, а $\sum \vec{\mathbf{p}}_i$ дает импульс системы $\vec{\mathbf{p}}$, можно написать

$$\vec{\mathbf{p}} = m\vec{\mathbf{v}}_c.$$

конспектировать



$$\frac{d}{dt}\vec{p}_1 = \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} + \vec{F}_1,$$
$$\frac{d}{dt}\vec{p}_2 = \vec{f}_{21} + \vec{f}_{23} + \vec{F}_2,$$
$$\frac{d}{dt}\vec{p}_3 = \vec{f}_{31} + \vec{f}_{32} + \vec{F}_3.$$

по третьему закону Ньютона $\mathbf{f}_{12} = -\mathbf{f}_{21}$.

то же самое и для других внутренних сил.

Сложим все три уравнения вместе. Сумма внутренних сил будет равна нулю, вследствие чего

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3) = \frac{d}{dt}\vec{p} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3.$$

При отсутствии внешних сил получается, что

$$\frac{d}{dt}\vec{p} = 0,$$

следовательно, для замкнутой системы $\vec{p}$ постоянен.

Скорость системы центра масс

$$\vec{V}_c = \dot{\vec{r}}_C = \frac{m_1\dot{\vec{r}}_1 + m_2\dot{\vec{r}}_2}{m_1 + m_2} = \frac{\vec{p}}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{\mathbf{p}} = m\vec{\mathbf{V}}_C,$$

Уравнение движения ЦМ:

$$\boxed{m\frac{\mathrm{d}\vec{\mathbf{V}}_C}{\mathrm{d}t} = \vec{\mathbf{F}}_{\text{внеш}},}$$

Уравнение изменения импульса системы

$$\boxed{d\overline{\mathbf{p}}/dt = \overline{\mathbf{F}}_{\text{внеш}},} \quad \bigstar$$

где $\overline{\mathbf{F}}_{\text{внеш}}$ — результирующая всех *внешних* сил, $\overline{\mathbf{F}}_{\text{внеш}} = \sum \overline{\mathbf{F}}_i$.

Уравнение $\bigstar$ означает: *производная импульса системы по времени равна векторной сумме всех внешних сил*, действующих на частицы системы.

Как и в случае одной частицы, из уравнения следует, что приращение импульса системы за конечный промежуток времени t есть

$$\boxed{\overline{\mathbf{p}}_2 - \overline{\mathbf{p}}_1 = \int_0^t \overline{\mathbf{F}}_{\text{внеш}}\, dt,}$$

Закон сохранения импульса системы

Согласно уравнению ★ *импульс системы может изменяться под действием только внешних сил.* Внутренние силы не могут изменить импульс системы. Отсюда непосредственно вытекает **закон сохранения импульса**:

импульс замкнутой системы частиц остается постоянным, т. е. не меняется со временем:

$$\boxed{\vec{\mathbf{p}} = \sum \vec{\mathbf{p}}_i(t) = \mathrm{const}.}$$

При этом импульсы отдельных частиц или частей замкнутой системы могут меняться со временем, что и подчеркнуто в последнем выражении. Однако эти изменения всегда происходят так, что приращение импульса одной части системы равно убыли импульса оставшейся части системы.

Пример: человек, движущийся на плоту

Пример: Человек массы m_1 находится на узком плоту массы m_2, который покоится на поверхности озера. Человек совершил перемещение $\Delta\mathbf{r}'$ относительно плота и остановился. Сопротивление воды пренебрежимо мало. Найдем соответствующее перемещение $\Delta\mathbf{r}_2$ плота относительно берега.

В данном случае результирующая всех внешних сил, действующих на систему человек — плот, равна нулю, поэтому импульс этой системы меняться не будет, оставаясь равным нулю в процессе движения:

$$m_1\vec{\mathbf{v}}_1 + m_2\vec{\mathbf{v}}_2 = 0,$$

где $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ — скорости человека и плота относительно берега. Но скорость человека относительно берега можно представить в виде $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}'$, где $\mathbf{v}'$ — скорость человека относительно плота. Исключив $\mathbf{v}_1$ из этих двух уравнений, получим

$$\vec{\mathbf{v}}_2 = -\frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{\mathbf{v}}'.$$

Умножив обе части на dt, найдем связь между элементарными перемещениями плота $d\mathbf{r}_2$ и человека $d\mathbf{r}'$ относительно плота. Такая же связь будет, очевидно, и для конечных перемещений:

Ц-система отсчета

Систему отсчета, жестко связанную с центром масс и перемещающуюся поступательно по отношению к инерциальным системам, называют системой центра масс или, кратко, *Ц*-системой.

Отличительной особенностью *Ц*-системы является то, что *полный импульс системы частиц в ней всегда равен нулю* — это непосредственно следует из формулы ( ), ибо в *Ц*-системе $\mathbf{V}_C = 0$. Другими словами, любая система частиц как целое покоится в своей *Ц*-системе.

$$\mathbf{p} = m\mathbf{V}_C,$$

Уравнение движения ЦМ:

$$\boxed{m\frac{d\mathbf{V}_C}{dt} = \mathbf{F}_{внеш},}$$

konспектировать

Импульсы 2-х частиц в Ц-системе

$$\vec{\tilde{p}}_1 = m_1 \vec{\tilde{v}}_1 = m_1 (\vec{v}_1 - \vec{V}_C), \quad \vec{\tilde{p}}_2 = m_2 \vec{\tilde{v}}_2 = m_2 (\vec{v}_2 - \vec{V}_C),$$

где $\mathbf{V}_C$ — скорость *Ц*-системы относительно *К*-системы отсчета. После подстановки в эти формулы выражения $\vec{V}_C = (m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2)/(m_1 + m_2)$ получим

$$\vec{\tilde{p}}_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2), \quad \vec{\tilde{p}}_2 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (\vec{v}_2 - \vec{v}_1).$$

$$\vec{\tilde{p}}_1 = -\vec{\tilde{p}}_2.$$

Столкновение двух частиц

для импульса каждой частицы в *Ц*-системе.

$$\vec{\tilde{p}}_1 = \mu(\vec{v}_1 - \vec{v}_2), \quad \vec{\tilde{p}}_2 = \mu(\vec{v}_2 - \vec{v}_1),$$

где $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ — скорости частиц в исходной системе отсчета, μ — приведенная масса системы .

$$\boxed{\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2},}$$

$$\boxed{\tilde{p} = \mu v_{\text{отн}},}$$ соотношение модулей

Линия удара – линия, проходящая через центры масс соударяющихся тел.

Кинетическая энергия в системе ЦМ $\tilde{T} = \tilde{T}_1 + \tilde{T}_2 = \tilde{p}^2/2m_1 + \tilde{p}^2/2m_2$.

Так как $1/m_1 + 1/m_2 = 1/\mu$, то

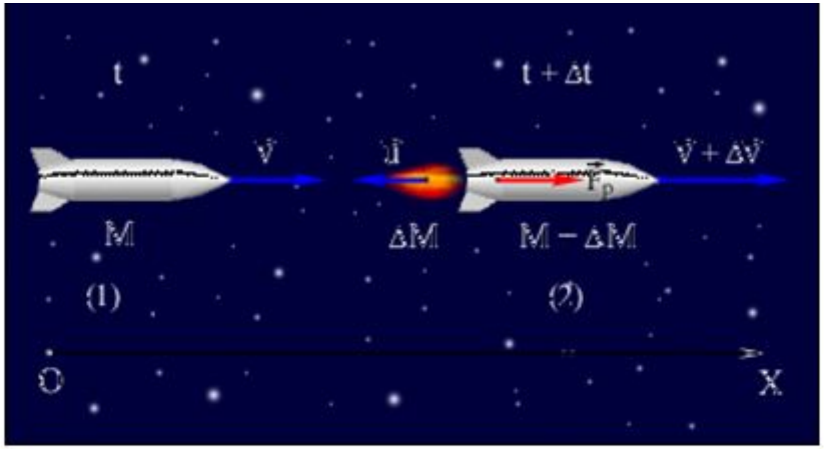
$$\boxed{\tilde{T} = \frac{\tilde{p}^2}{2\mu} = \frac{\mu v_{\text{отн}}^2}{2}} .$$

Если частицы взаимодействуют друг с другом, то полная механическая энергия частиц в *Ц*-системе

$$\tilde{E} = \tilde{T} + U,$$

где U — потенциальная энергия взаимодействия данных частиц.

Реактивное движение



Формулы знать

Уравнение Мещерского: $$\vec{F}^{\,внешн} = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}\cdot\vec{u} + \frac{m\,\mathrm{d}\vec{\mathrm{v}}}{\mathrm{d}t}$$

Формула Циолковского: $$\mathrm{v} = u\ln\frac{m_0}{m}$$

$$\vec{F}^{внешн} = \frac{dm}{dt}\cdot\vec{u} + \frac{md\vec{v}}{dt}$$ – ***уравнение Мещерского***.

$\vec{F}_p = -\vec{u}\dfrac{dm}{dt}$ – реактивная сила, действующая на тело переменной массы.

Если внешних сил нет, то $-u\dfrac{dm}{dt} = m\dfrac{dv}{dt}$. При начальной скорости ракеты равной нулю $mdv = -udm$. Отсюда $dv = -u\dfrac{dm}{m}$.

$$\int_0^v dv = -u\int_{m_0}^{m}\frac{dm}{m}$$

$v = -u(\ln m - \ln m_0)$ m_0 – начальная масса ракеты.

$v = u\ln\dfrac{m_0}{m}$ – ***формула Циолковского***.

Таким образом, $v_{max} = u\ln\dfrac{m_0}{m_0 - m_\tau}$ – максимальная скорость ракеты, где m_τ - масса топлива + масса окислителя.

Абсолютно неупругое столкновение.

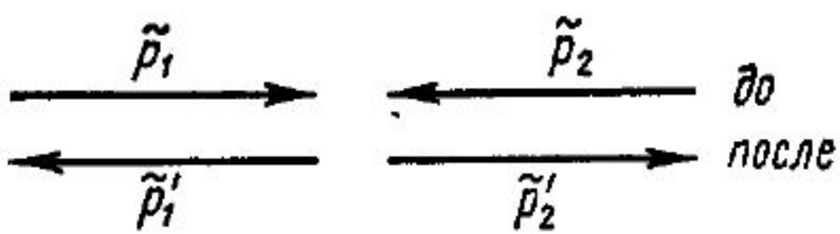
$$(m_1+m_2)\vec{\mathbf{v}}'=m_1\vec{\mathbf{v}}_1+m_2\vec{\mathbf{v}}_2.$$

кинетическая энергия T частиц

целиком переходит во внутреннюю энергию Q

$$Q=\frac{\mu v_{\text{отн}}^2}{2}=\frac{1}{2}\frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}(\vec{\mathbf{v}}_1-\vec{\mathbf{v}}_2)^2.$$

Абсолютно упругое столкновение.



1) Лобовое столкновение — обе частицы до и после столкновения движутся по одной и той же прямой.

При лобовом столкновении двух частиц, имеющих одинаковые модули импульсов и скоростей

в *Ц*-системе: $\tilde{\mathbf{v}}_i' = -\tilde{\mathbf{v}}_i$ и $\tilde{\mathbf{p}}_i' = -\tilde{\mathbf{p}}_i$, где $i = 1, 2$.

Тогда $\mathbf{v}_i' = \mathbf{V}_C + \tilde{\mathbf{v}}_i' = \mathbf{V}_C - \tilde{\mathbf{v}}_i = \mathbf{V}_C - (\mathbf{v}_i - \mathbf{V}_C) = 2\mathbf{V}_C - \mathbf{v}_i$,

где $\mathbf{V}_C$ — скорость центра масс (*Ц*-системы) в *К*-системе отсчета

Тогда скорость i-й частицы в *К*-системе после столкновения

$$\boxed{\mathbf{v}_i' = 2\mathbf{V}_C - \mathbf{v}_i,}$$ где $i = 1, 2$.

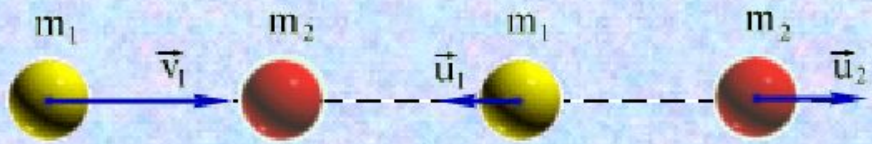
В проекциях на произвольную ось x $\boxed{v_{ix}' = 2V_{Cx} - v_{ix}.}$

В частности, если массы частиц одинаковы, то легко убедиться, что частицы в результате столкновения просто обмениваются скоростями, т. е. $\mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_2$ и $\mathbf{v}_2' = \mathbf{v}_1$.

Ударное взаимодействие тел

Абсолютно упругий удар

Если направление движения тел совпадает с линией удара, то удар центральный

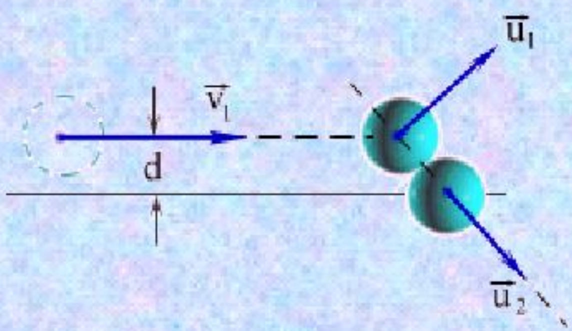


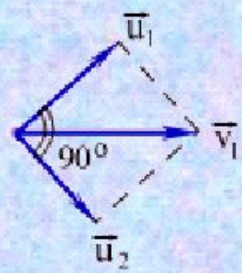
$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2$$

$$\frac{m_1V_1^2}{2} + \frac{m_2V_2^2}{2} = \frac{m_1U_1^2}{2} + \frac{m_2U_2^2}{2}$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1{}' + \vec{P}_2{}'$$

нецентральный





$$m_1\vec{V}_1 = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2$$

$$\frac{m_1V_1^2}{2} = \frac{m_1U_1^2}{2} + \frac{m_2U_2^2}{2}$$

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_1{}' + \vec{P}_2{}'$$

90^0 при $m_1 = m_2$

Для АУУ, решив систему уравнений относительно скоростей, получим:

Обозначим: $U_1 = \mathrm{v}_1'$ $\qquad$ $U_2 = \mathrm{v}_2'$

$$\vec{\mathrm{v}}_1' = \frac{2m_2\vec{\mathrm{v}}_2 + (m_1 - m_2)\vec{\mathrm{v}}_1}{m_1 + m_2};$$

$$\vec{\mathrm{v}}_2' = \frac{2m_1\vec{\mathrm{v}}_1 + (m_2 - m_1)\vec{\mathrm{v}}_2}{m_1 + m_2}.$$

Абсолютно упругий удар шара о массивную стенку.

Стенку можно рассматривать как неподвижный шар с $\mathrm{v}_2 = 0$ и массой $m_2 \to \infty$

Разделив числитель и знаменатель предшествующей формулы на m_2 и пренебрегая m_1 / m_2, получим

$$\vec{\mathrm{v}}_1' = \frac{2\vec{\mathrm{v}}_2 + \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right)\vec{\mathrm{v}}_1}{\frac{m_1}{m_2} + 1} = \frac{2\vec{\mathrm{v}}_2 - \vec{\mathrm{v}}_1}{1},$$

при $\mathrm{v}_2 = 0$ и ударе в нормаль $\mathrm{v}_1' = -\mathrm{v}_1$

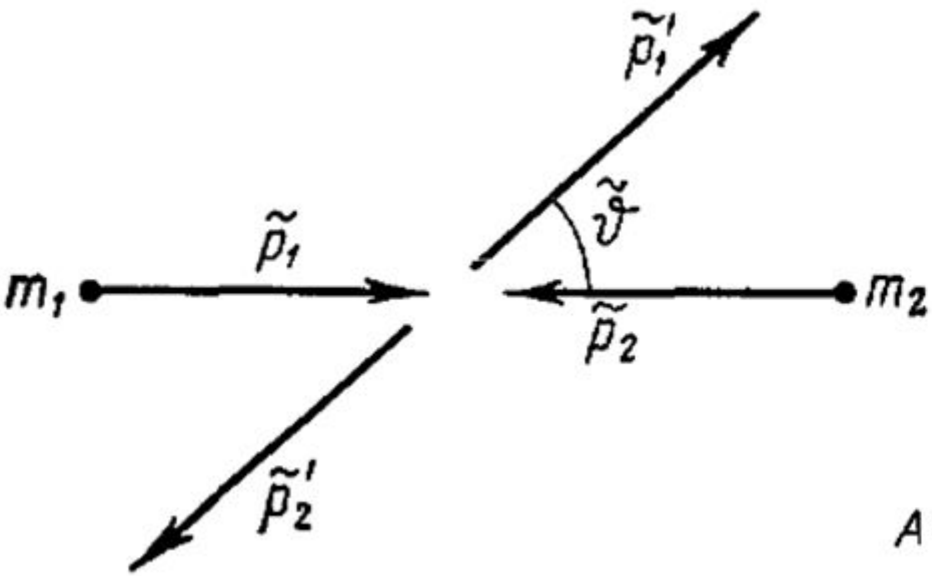
При АУУ и отскоке шара от движущейся стенки, горизонтальная проекция скорости изменяется на две скорости стенки

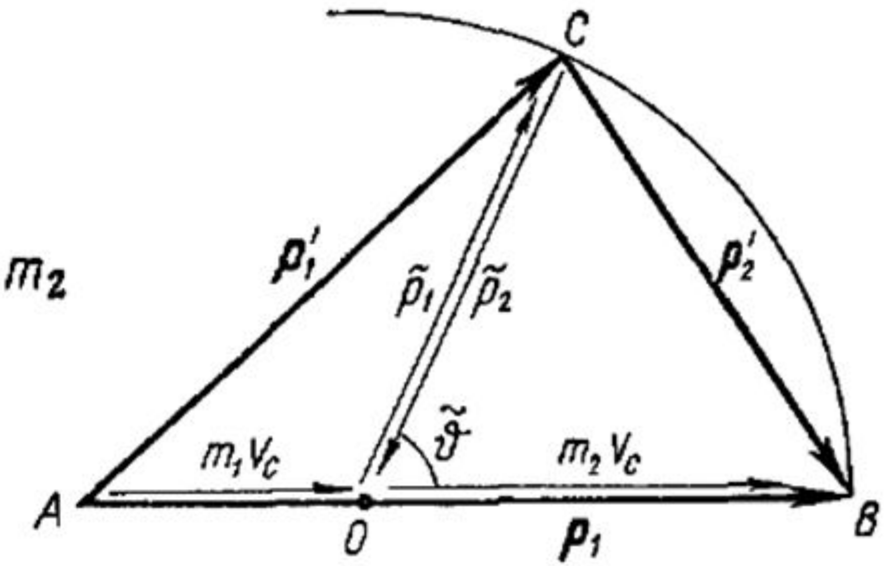
2. Нелобовое столкновение.

двух частиц, одна из которых (m_2) покоится

в *Ц*-системе $\tilde{p}' = \tilde{p}$.

$$\boxed{\mathbf{p}_1' + \mathbf{p}_2' = (m_1 + m_2)\mathbf{V}_C = \mathbf{p}_1}$$





Вывод конечной формулы:

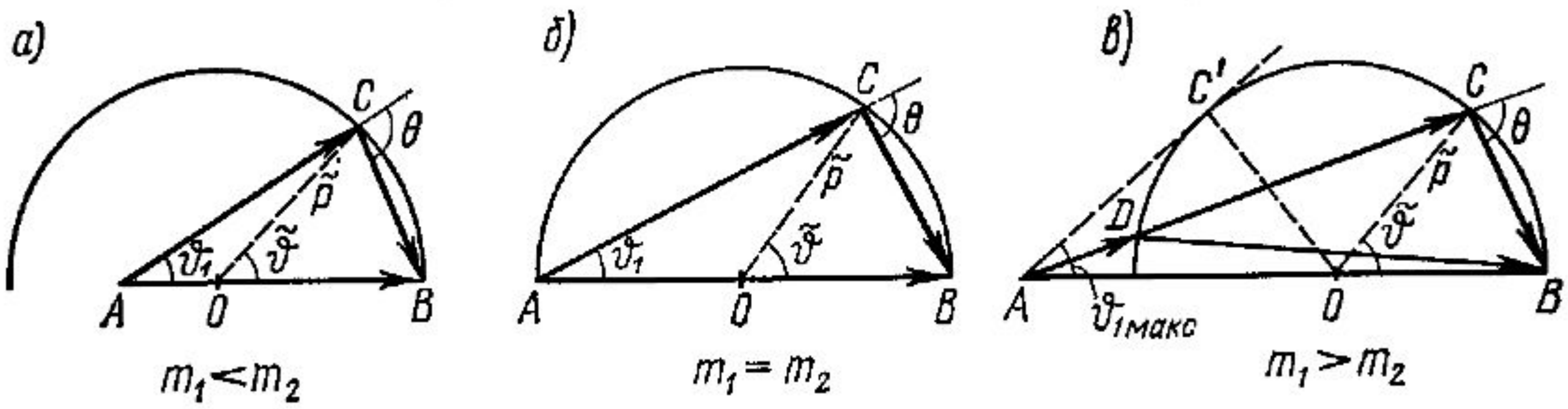
$$\mathbf{p}_1' = m_1 \mathbf{v}_1' = m_1 (\mathbf{V}_C + \tilde{\mathbf{v}}_1') = m_1 \mathbf{V}_C + \tilde{\mathbf{p}}_1',$$

$$\mathbf{p}_2' = m_2 \mathbf{v}_2' = m_2 (\mathbf{V}_C + \tilde{\mathbf{v}}_2') = m_2 \mathbf{V}_C + \tilde{\mathbf{p}}_2',$$

где $\mathbf{V}_C$ — скорость *Ц*-системы относительно *К*-системы отсчета.

Сложив отдельно левые и правые части этих равенств с учетом того, что $\tilde{\mathbf{p}}_1' = -\tilde{\mathbf{p}}_2'$, получим

$$\boxed{\mathbf{p}_1' + \mathbf{p}_2' = (m_1 + m_2)\,\mathbf{V}_C = \mathbf{p}_1}$$



а) $m_1 < m_2$ $\quad 0 < \vartheta_1 \leqslant \pi$ $\quad \theta > \pi/2$

б) $m_1 = m_2$ $\quad 0 < \vartheta_1 \leqslant \pi/2$ $\quad \theta = \pi/2$

в) $m_1 > m_2$ $\quad 0 < \vartheta_1 \leqslant \vartheta_{1\,макс}$ $\quad \theta < \pi/2$

Здесь $\vartheta_{1\,макс}$ — предельный угол. Он определяется формулой

$$\sin \vartheta_{1\,макс} = m_2/m_1,$$

Адрес ДЗ для 2 семестра
http://fn.bmstu.ru/learning-work-fs-4/semester-2-fs-4

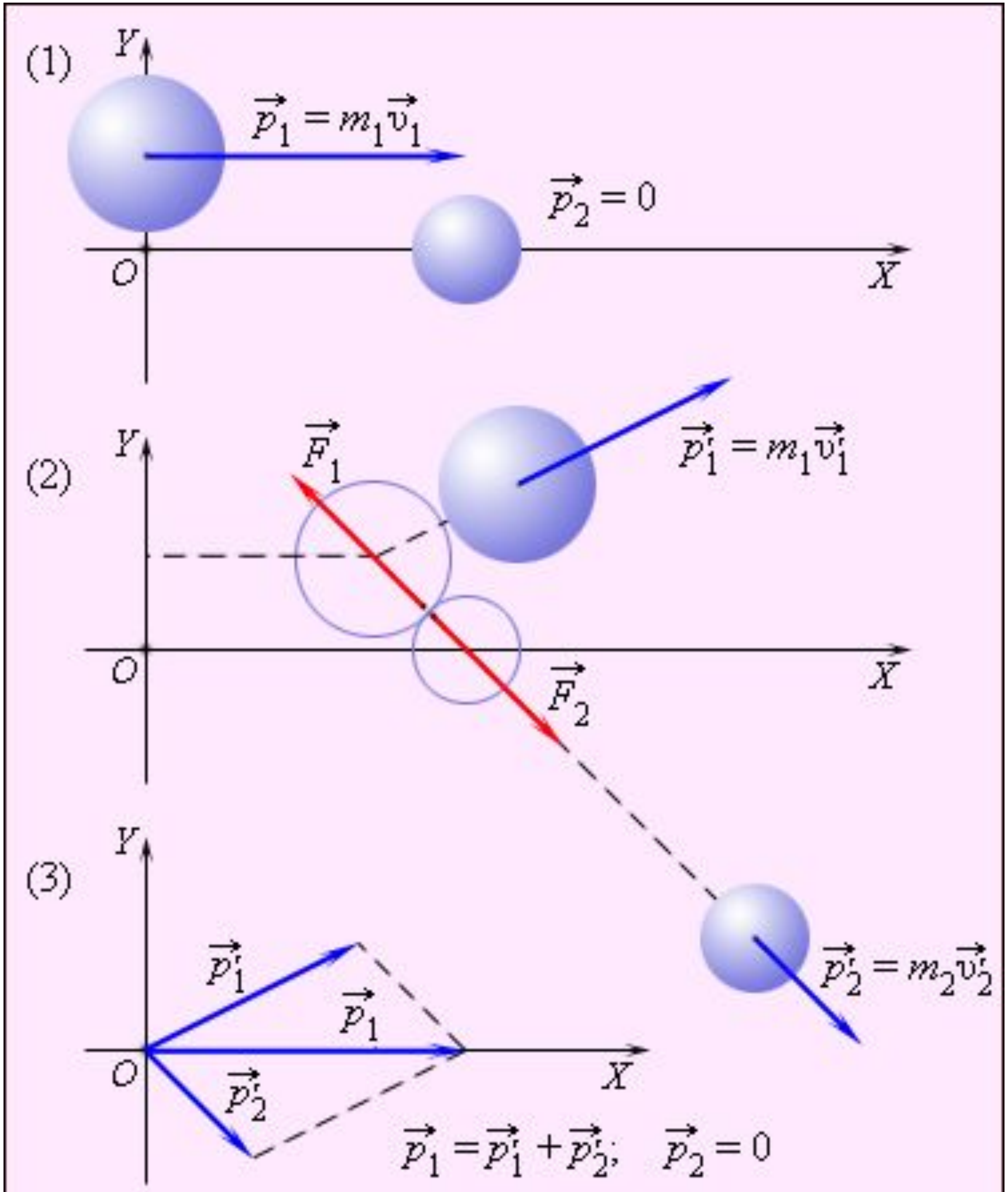
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$$m_1\vec{v}_1+m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1{}' + m_2\vec{v}_2{}'$$

m_1, m_2 – массы взаимодействующих тел, кг

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$ – скорости тел до столкновения, м/с

$\vec{v}_1{}', \vec{v}_2{}'$ – скорости тел после столкновения, м/с



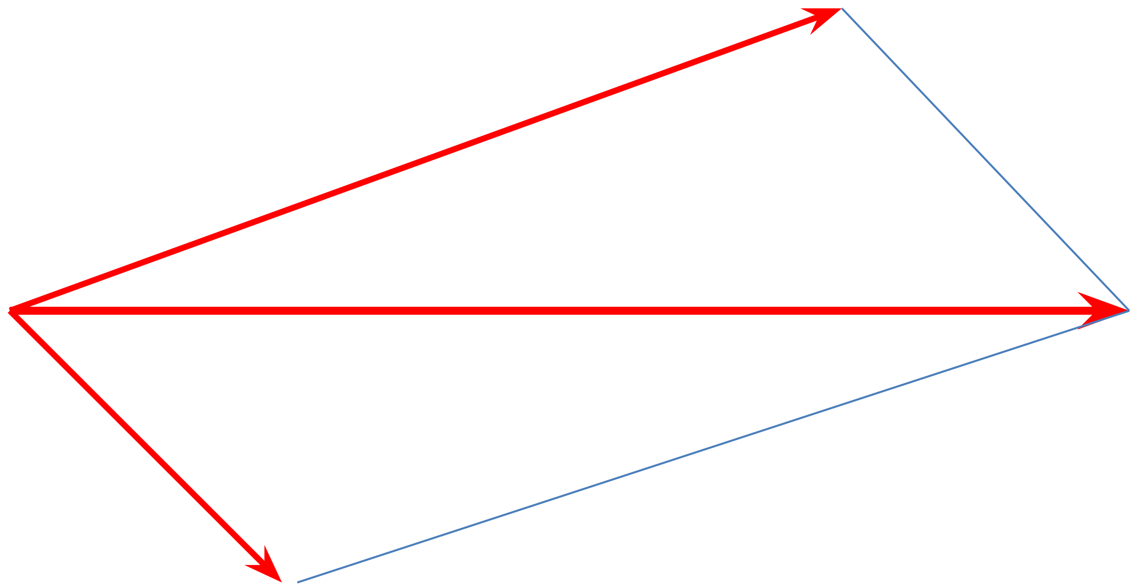
1. Оси *x* и у лучше всего направлять по горизонтали и вертикали

2. Составить уравнения суммы проекций векторов импульсов по осям *x* и у.

3. Суммы проекций векторов до удара и после удара должны быть равны.

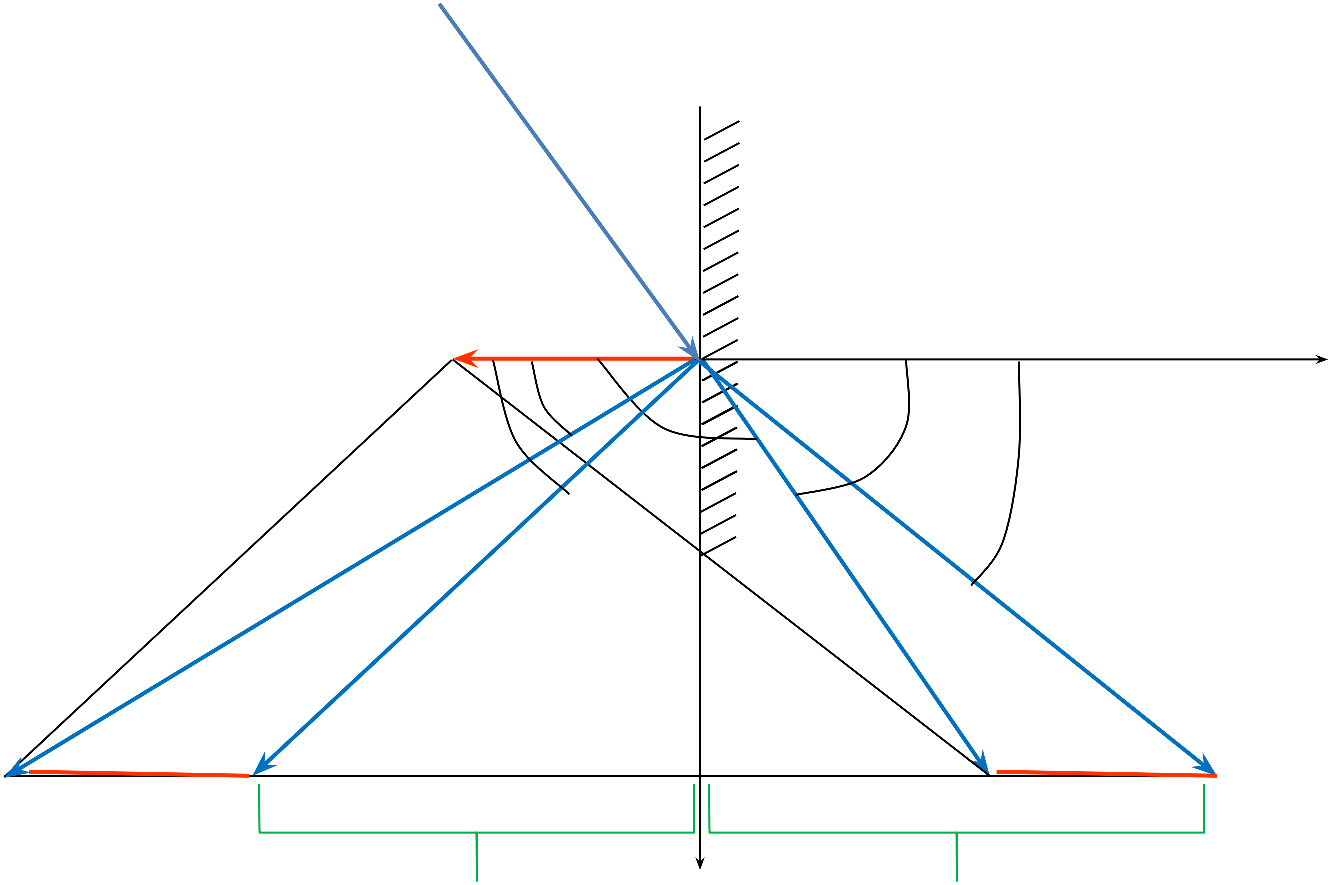
4. При необходимости использовать закон сохранения кинетической энергии.

В конце задачи ДЗ-1 приводить векторную диаграмму закона сохранения импульса с указанием модулей векторов (в масштабе) и угловых соотношений между векторами.



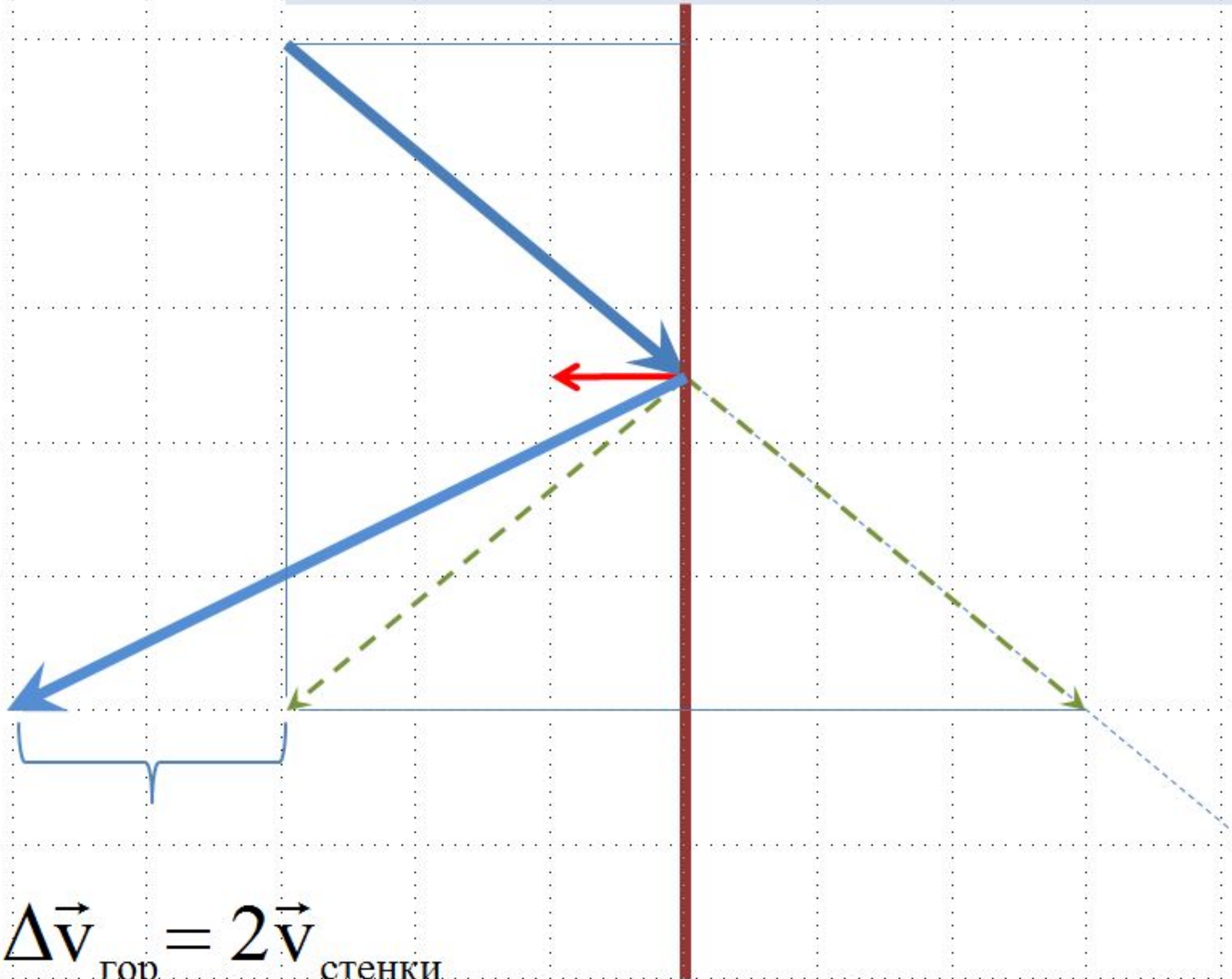
Абсолютно упругий удар шара о массивную стенку – ДЗ-1

Пример со стенкой из ДЗ-1



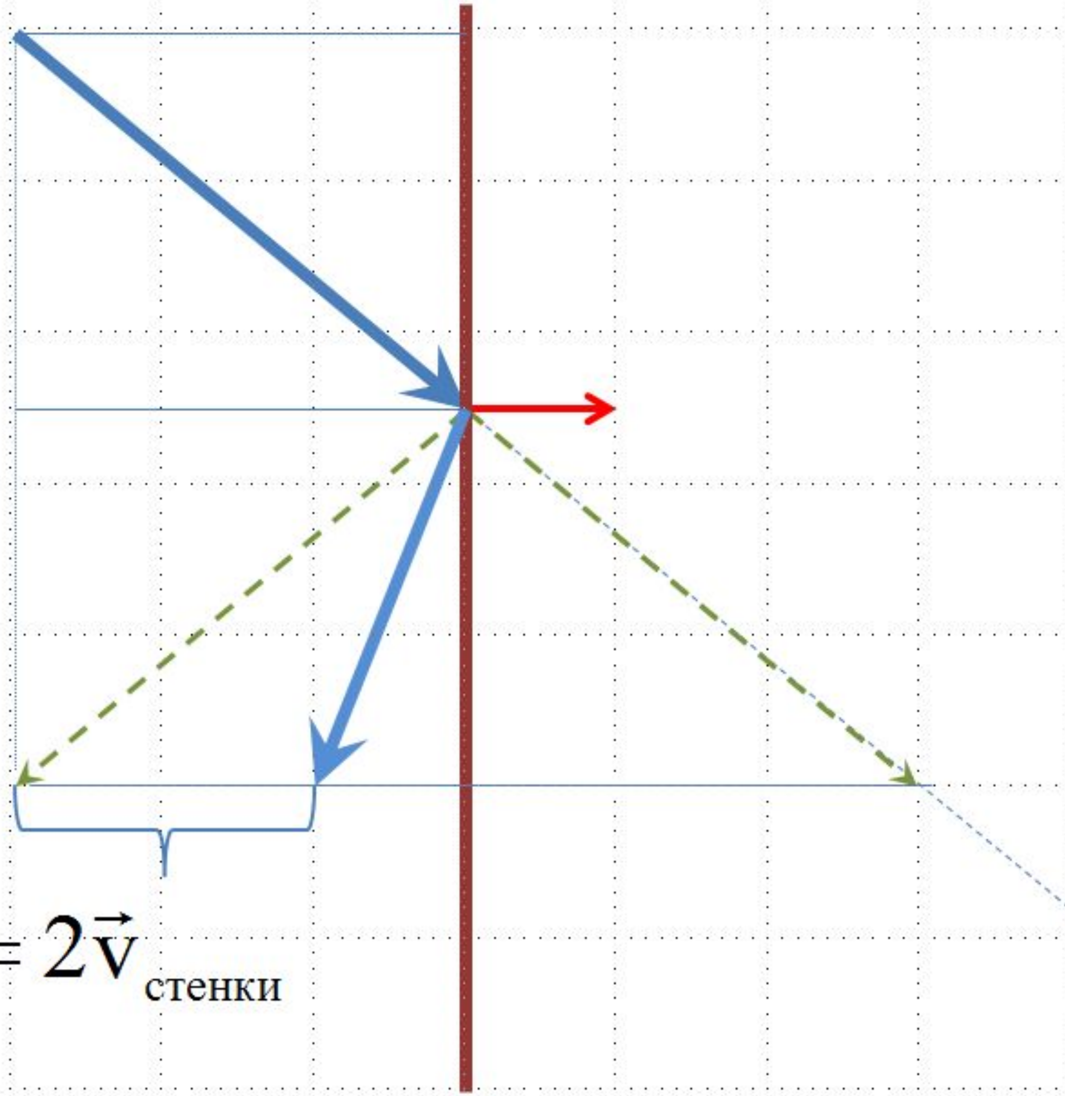
Включить сетку

АУУ о подвижную стенку



$$\Delta\vec{v}_{гор} = 2\vec{v}_{стенки}$$

АУУ о подвижную стенку



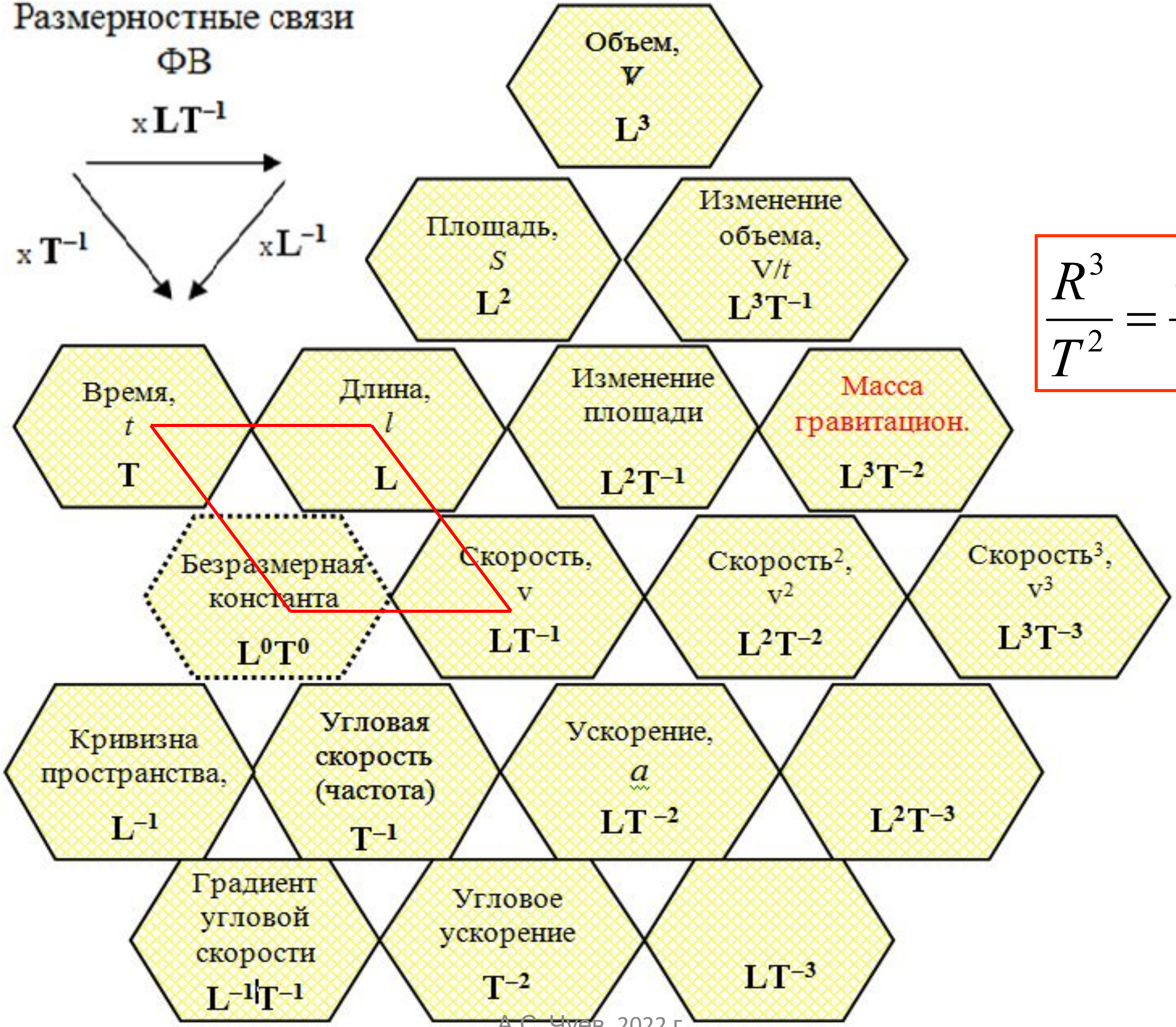
$$\Delta\vec{v}_{\text{гор}} = 2\vec{v}_{\text{стенки}}$$

Далее факультативный материал

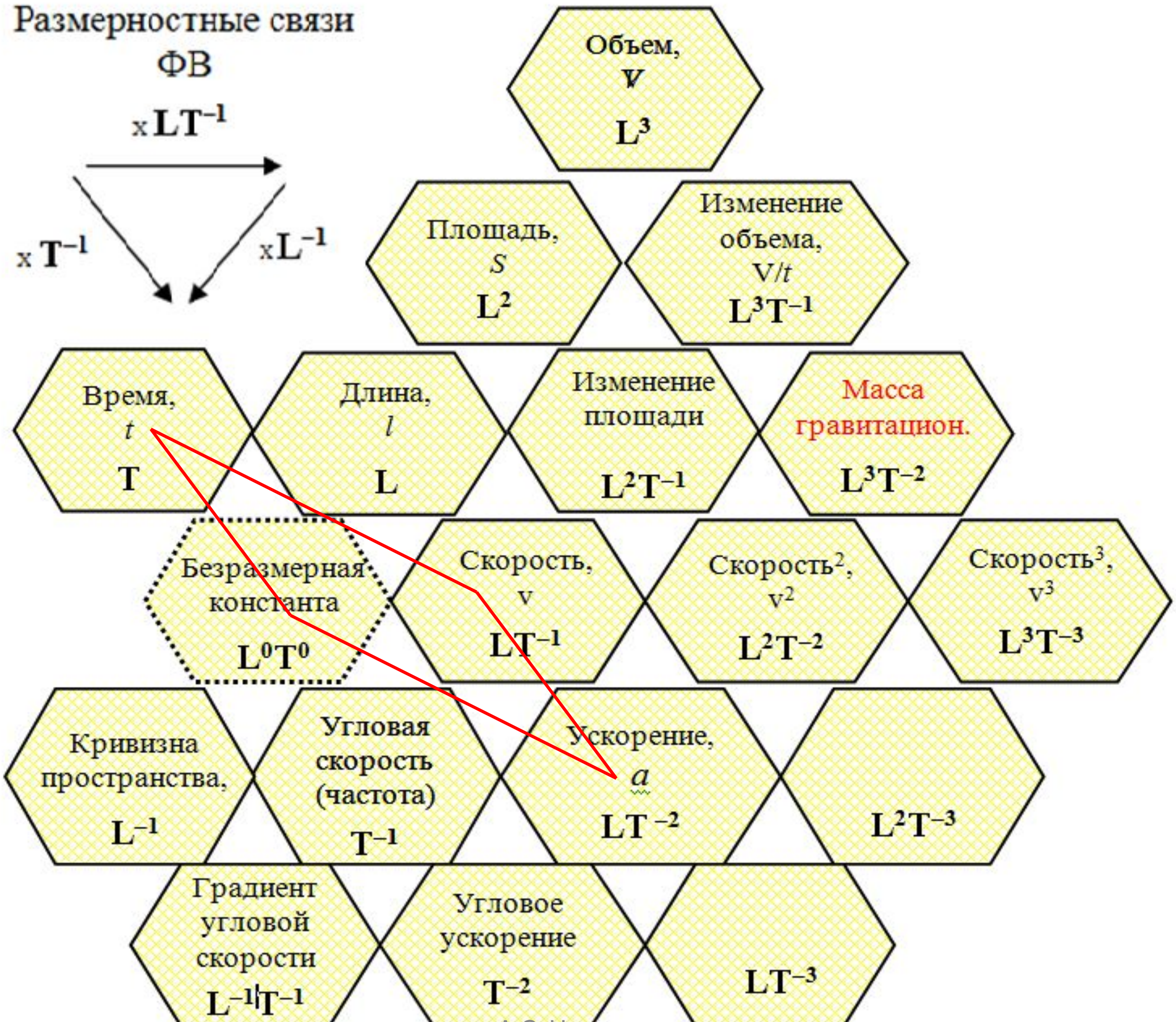
Система кинематических ФВ

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{Gm_c}{4\pi^2}$$

Размерностные связи ФВ

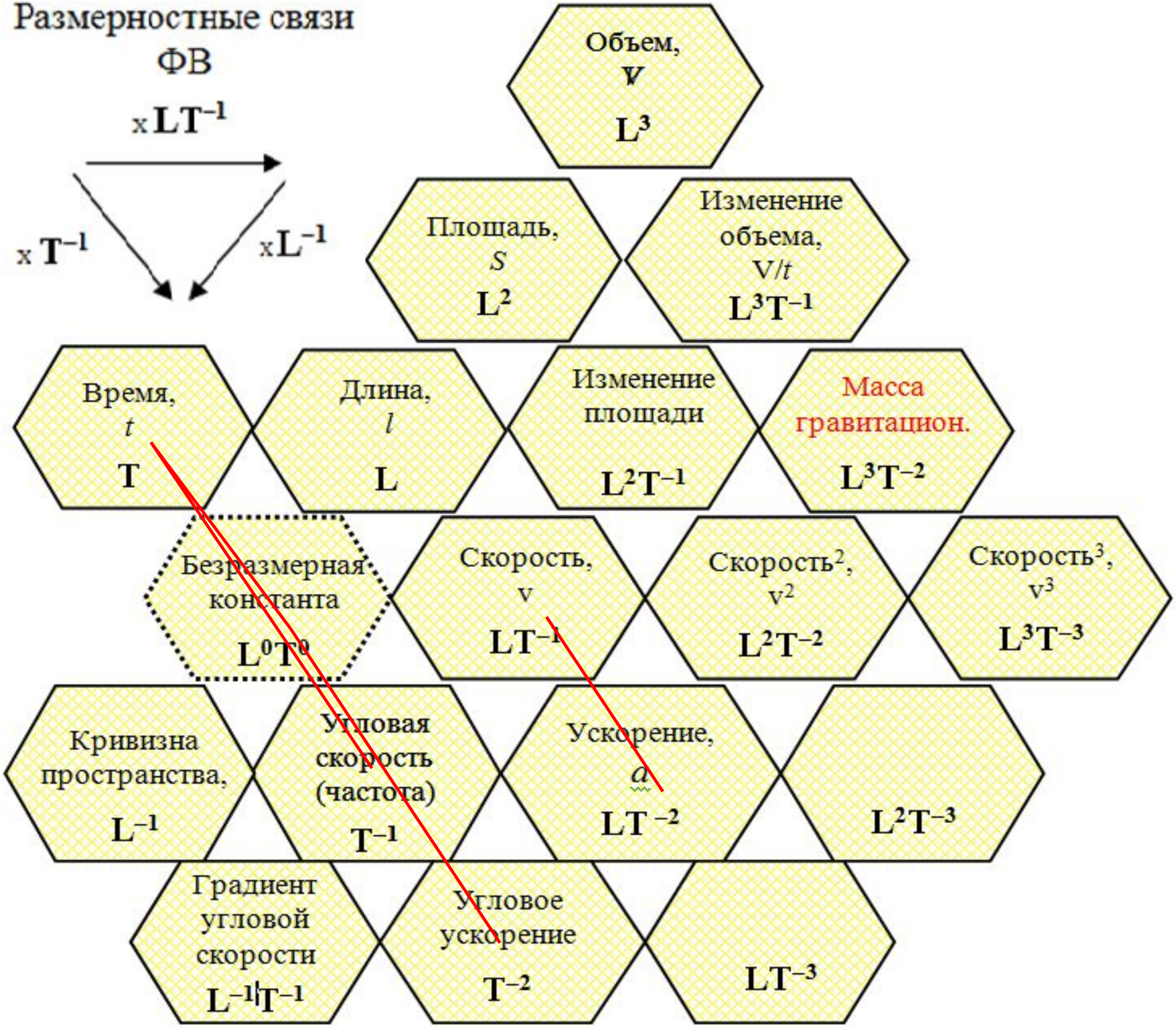


$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{Gm_c}{4\pi^2}$$



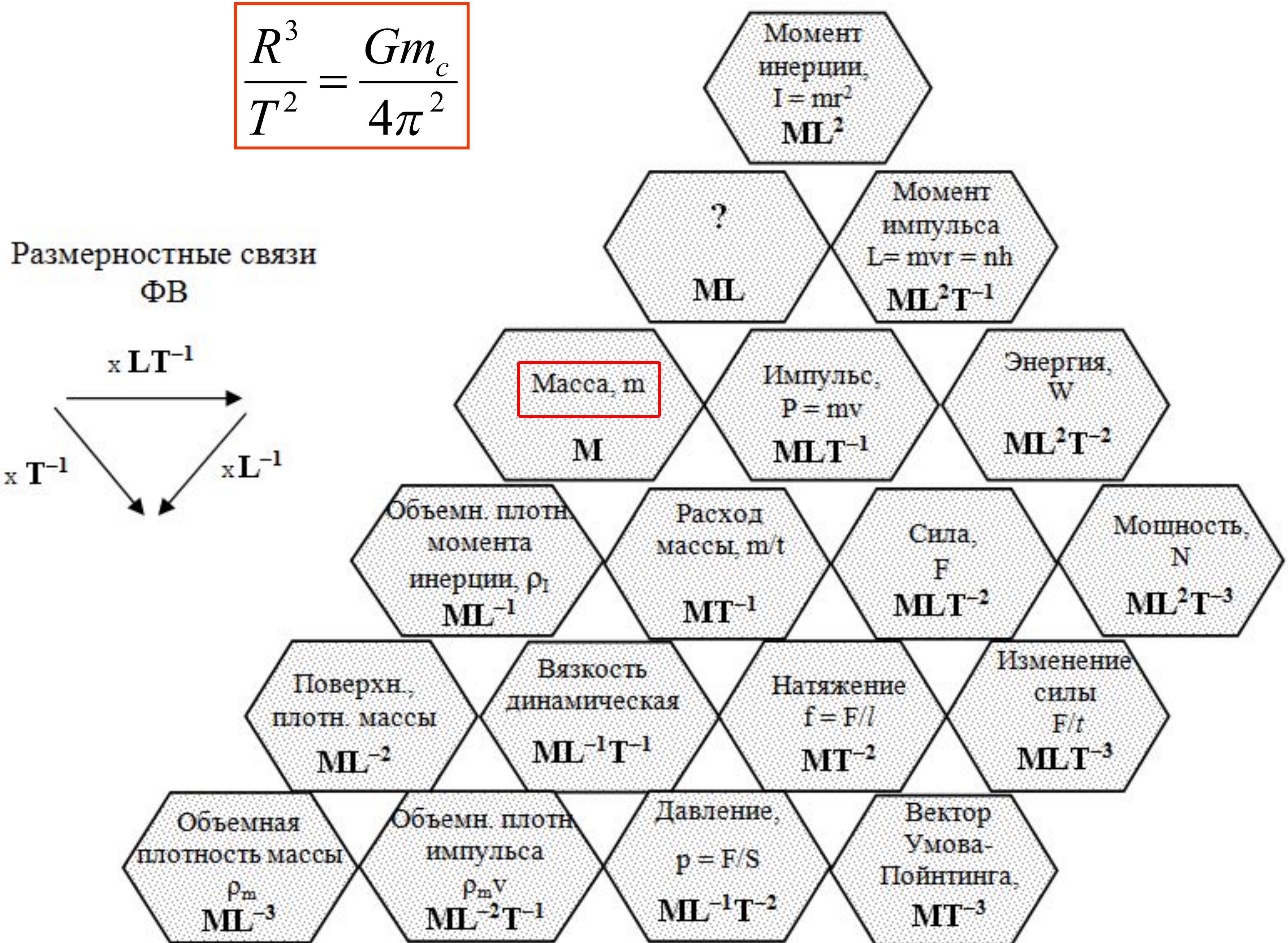
Размерностные связи ФВ
x LT⁻¹
x T⁻¹
x L⁻¹
Объем, V
L³
Площадь, S
L²
Изменение объема, V/t
L³T⁻¹
Время, t
T
Длина, l
L
Изменение площади
L²T⁻¹
Масса гравитацион.
L³T⁻²
Безразмерная константа
L⁰T⁰
Скорость, v
LT⁻¹
Скорость², v²
L²T⁻²
Скорость³, v³
L³T⁻³
Кривизна пространства,
L⁻¹
Угловая скорость (частота)
T⁻¹
Ускорение, a
LT⁻²
L²T⁻³
Градиент угловой скорости
L⁻¹T⁻¹
Угловое ускорение
T⁻²
LT⁻³

Размерностные связи ФВ



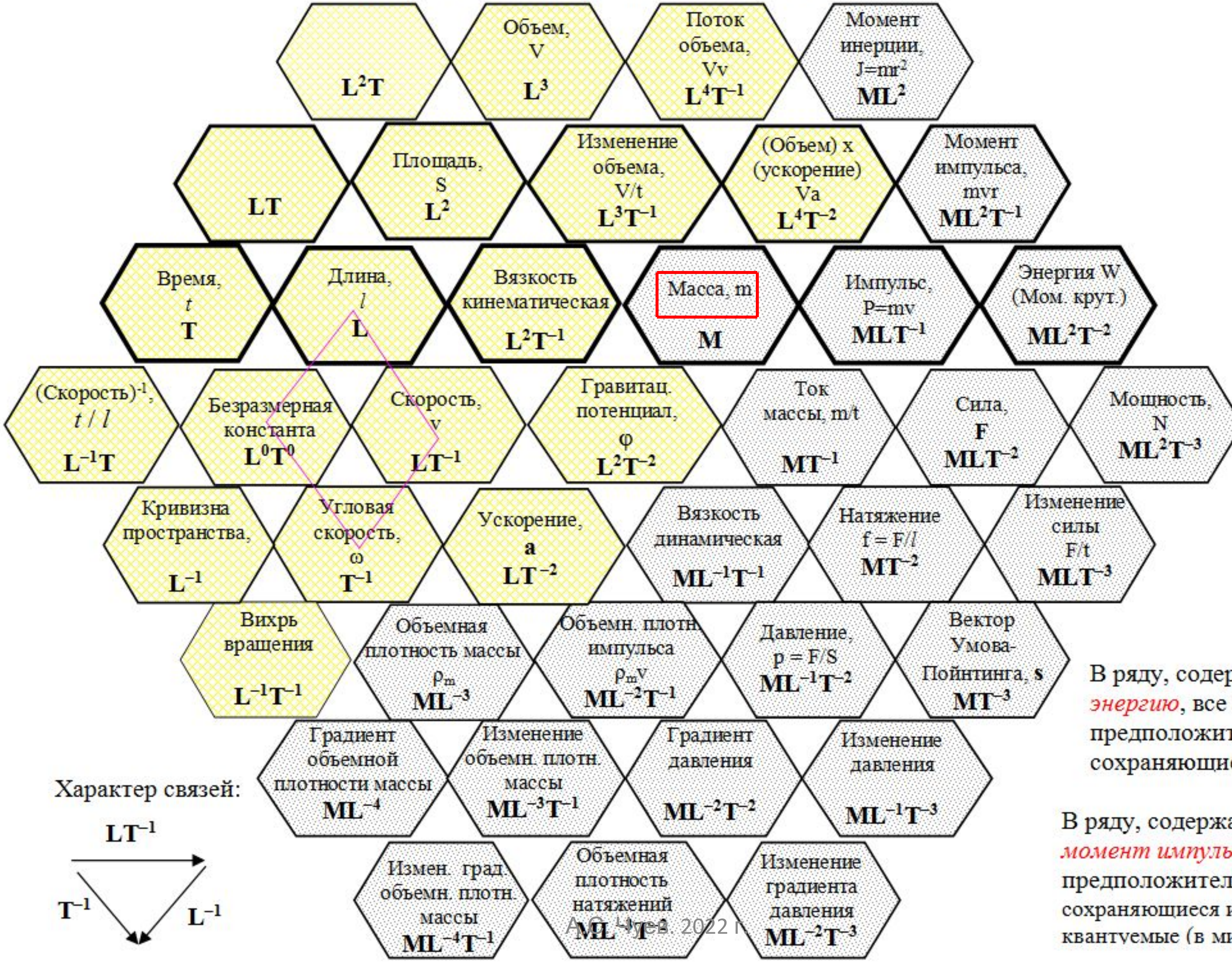
$$\boxed{\frac{R^3}{T^2} = \frac{Gm_c}{4\pi^2}}$$

Размерностные связи ФВ



ОБЩИЕ БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(Подразделяются на кинематические и динамические)

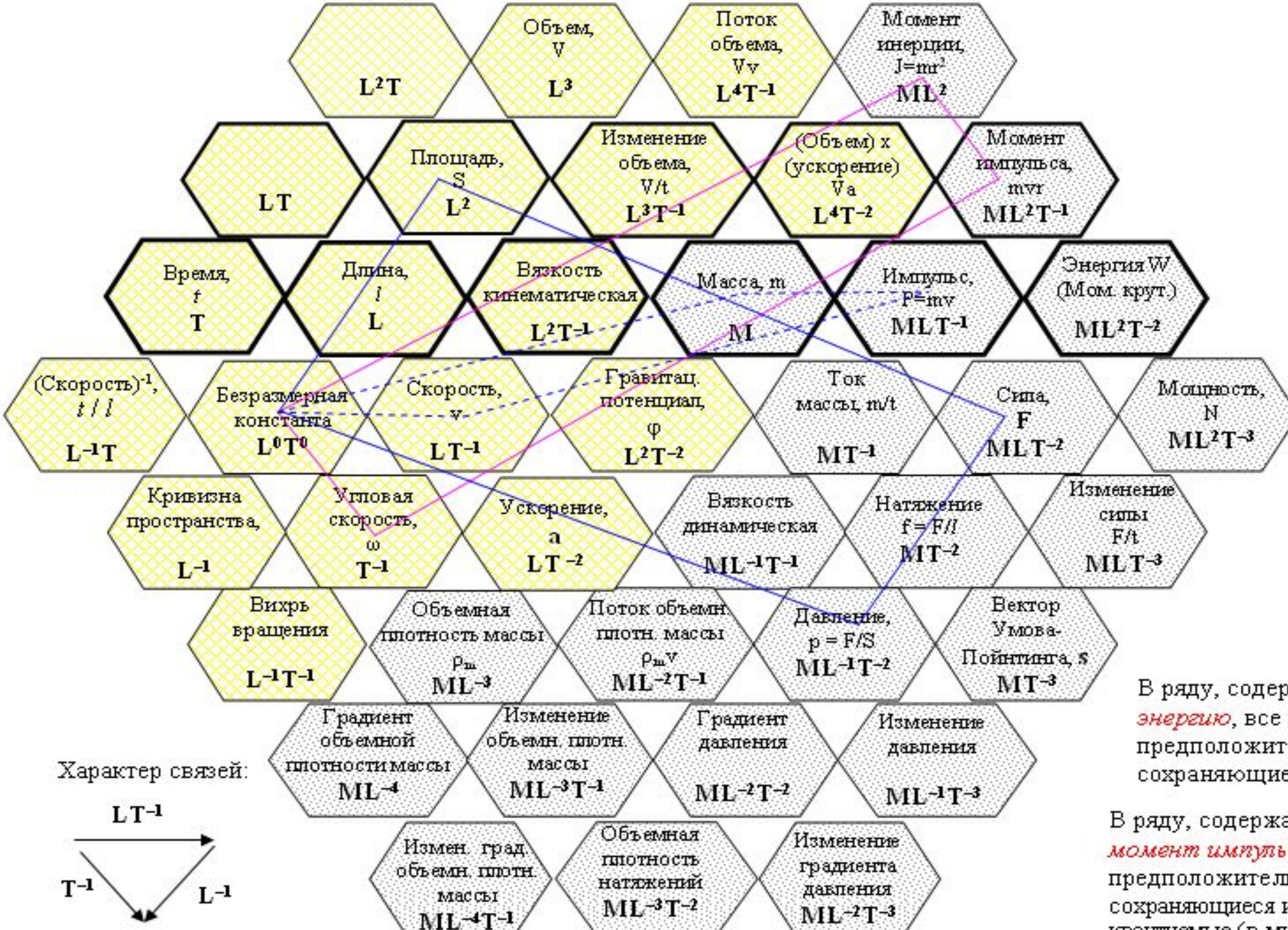


В ряду, содержащем *энергию*, все ФВ, предположительно, сохраняющиеся.

В ряду, содержащем *момент импульса*, все ФВ, предположительно, сохраняющиеся и квантуемые (в микромире)

ОБЩИЕ БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(Подразделяются на кинематические и динамические)



В ряду, содержащем *энергию*, все ФВ, предположительно, сохраняющиеся.

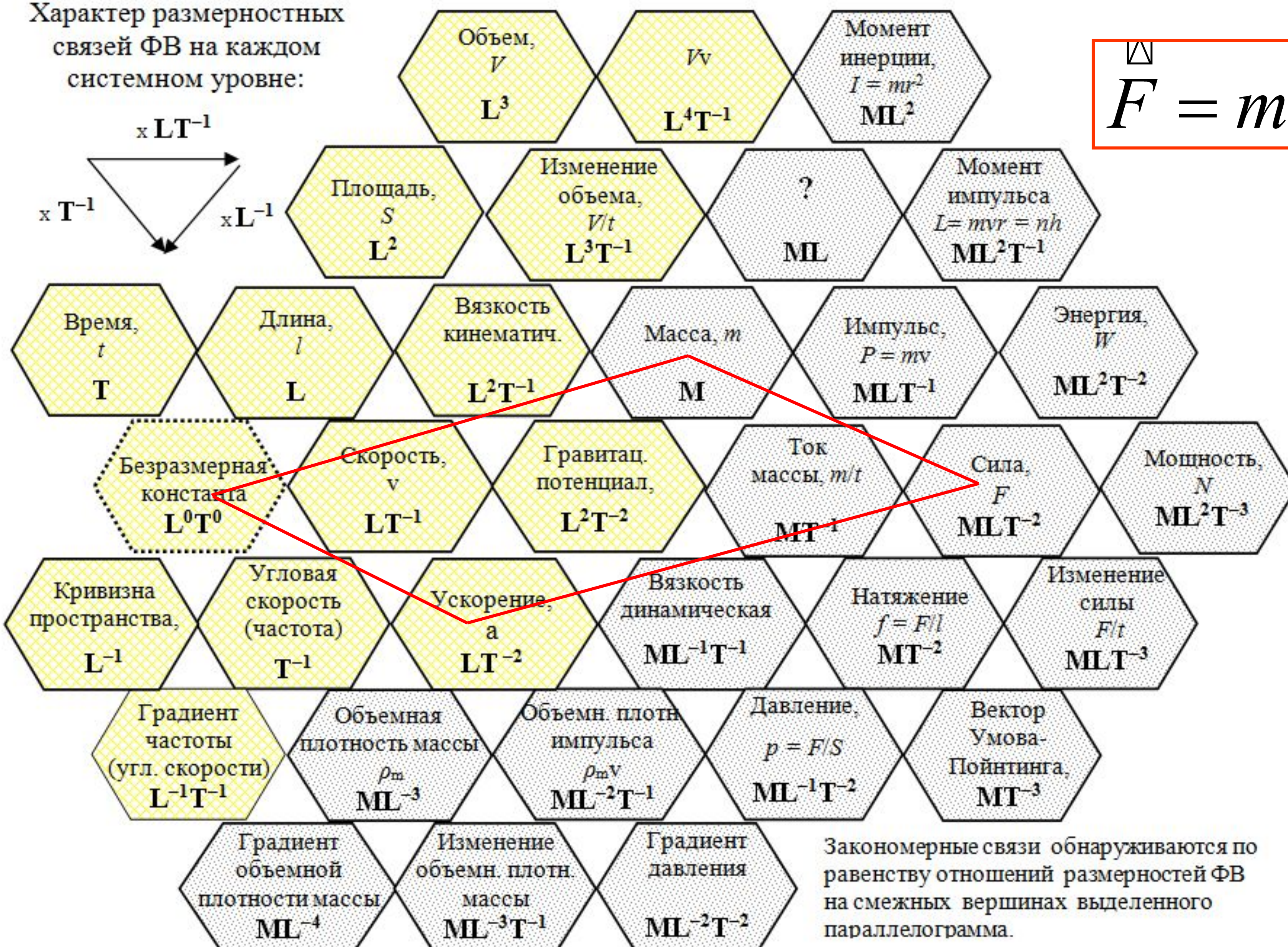
В ряду, содержащем *момент импульса*, все ФВ, предположительно, сохраняющиеся и квантуемые (в микромире)

СИСТЕМА МЕХАНИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

(Механические ФВ образуют два системных уровня общих базовых величин)

Характер размерностных связей ФВ на каждом системном уровне:

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

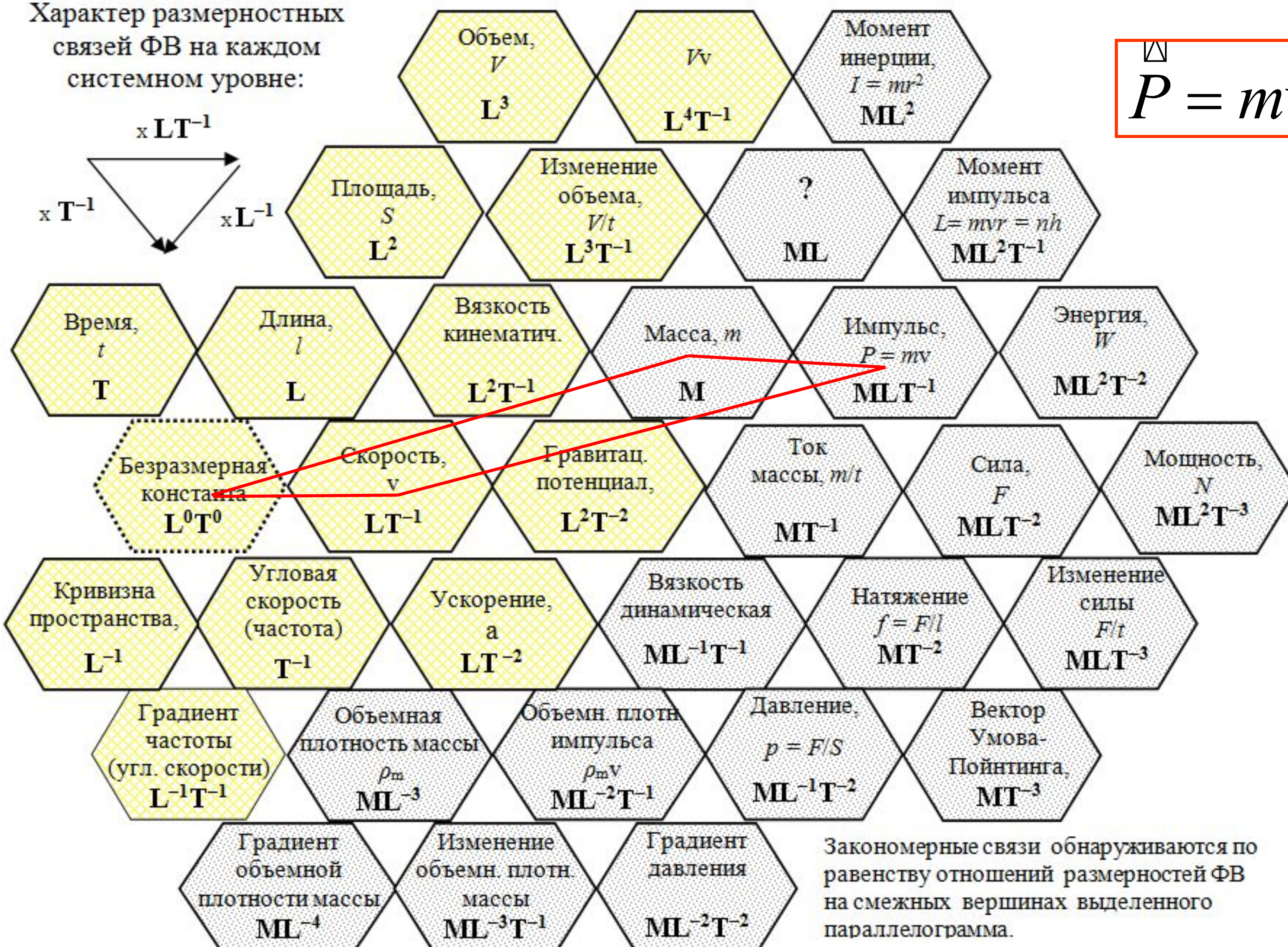


Закономерные связи обнаруживаются по равенству отношений размерностей ФВ на смежных вершинах выделенного параллелограмма.

СИСТЕМА МЕХАНИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

(Механические ФВ образуют два системных уровня общих базовых величин)

$$\boxed{\vec{P} = m\vec{v}}$$



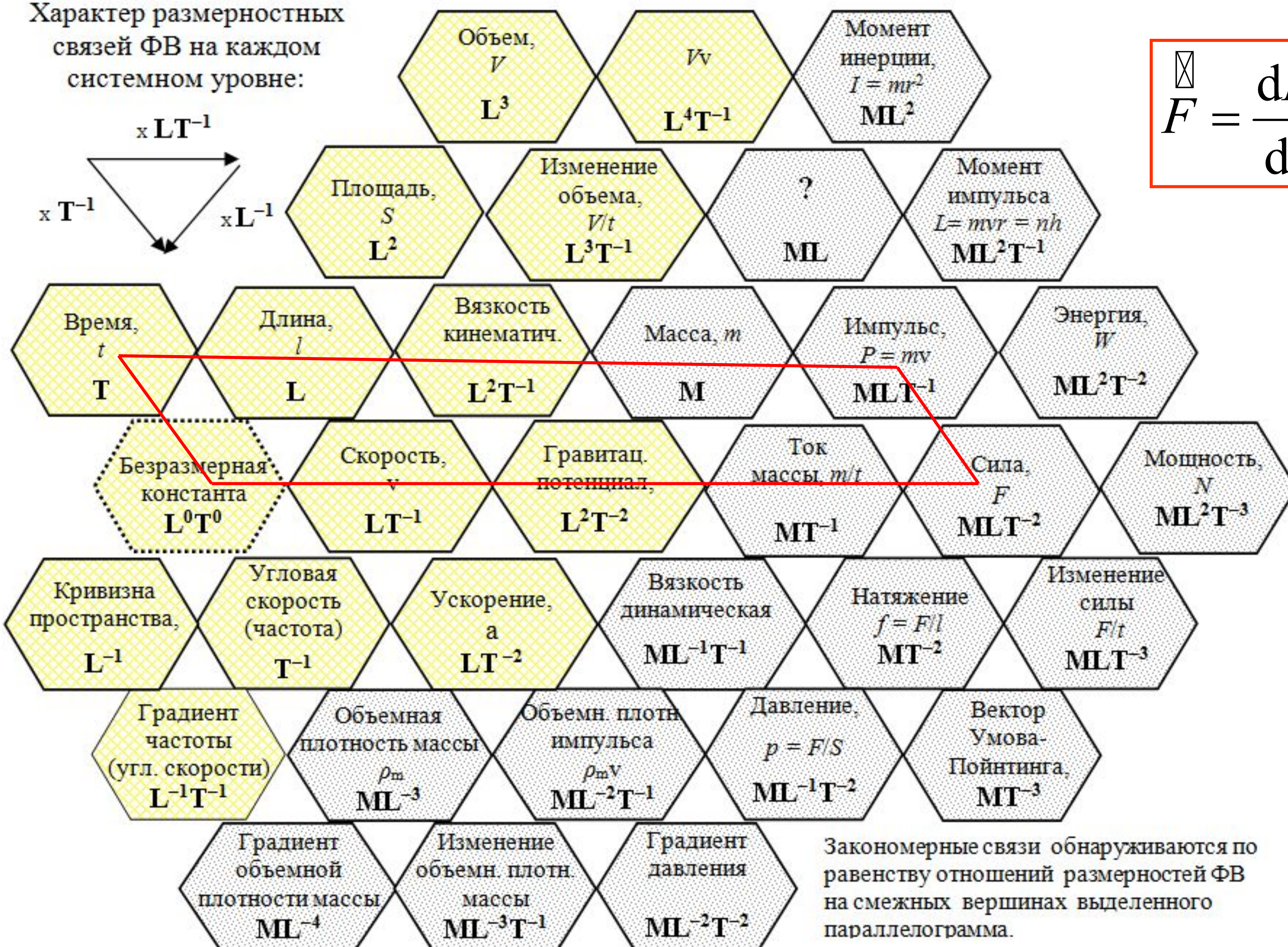
Закономерные связи обнаруживаются по равенству отношений размерностей ФВ на смежных вершинах выделенного параллелограмма.

СИСТЕМА МЕХАНИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

(Механические ФВ образуют два системных уровня общих базовых величин)

Характер размерностных связей ФВ на каждом системном уровне:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$



Закономерные связи обнаруживаются по равенству отношений размерностей ФВ на смежных вершинах выделенного параллелограмма.

Конец лекции 2-2022