

**Сегодня: \***

**Гирякова Ю.Л.**

**О курсе общей физики**

План работы:

4 Лекции

2 Практики

4 Лабораторные работы

Экзамен

Допуск к экзамену:

Сдать 2 ИДЗ

Выполнить 2 лб

Сдать конспект

# Список литературы

1. Т.И. Трофимова. Курс физики. –М.: Высшая школа, 2007. – 658 с.
2. С.И. Кузнецов. Физика, часть 1. Механика и молекулярная физика

# Общие положения

Физика, которая развивалась в течение трех столетий достигла своей кульминации во второй половине XIX в. созданием электромагнитной теории света, называется

***классической физикой.***

Рассматривает движение при  $v \ll c$  (с-это скорость света в вакууме). Размеры пространства много больше длины волны де Бройля.

На рубеже XIX и XX в.в. новые эксперименты и новые идеи в физике стали указывать на то, что некоторые аспекты классической физики неприменимы к миру атома, а так же к объектам, движущимся с очень большой скоростью. Следствием всего этого явилась очередная великая революция в физике. Родилась

**современная физика.**

# Общефизические положения

## Объединительные идеи в физике

До Ньютона механика делилась на земную и небесную. Ньютон объединил обе механики в одну, которая до сих пор называется механикой Ньютона или **классической механикой**. Уравнение движения небесных и земных тел имеет одинаковый вид и СМЫСЛ.

Впоследствии **объединительные идеи** сыграли выдающуюся роль в физике и во всем естествознании. Были **объединены** механические и тепловые явления; электричество и магнетизм (поля электрические и магнитные - Максвелл); электромагнетизм и оптика – электромагнитные волны; оптические и тепловые явления – квантовая оптика,

гравитация и ускорение (силы инерции и тяготения), частица и волна – корпускулярные свойства волн и волновые свойства частиц. С помощью теории относительности Эйнштейна объединены электрические и магнитные поля (новый уровень объединения). **Конечная цель всех объединений – создание единой теории всего и вся как бы «в одном уравнении».**

***Самое выдающееся открытие*** – твердотельная электроника (компьютеры) и лазеры - это коллективное мнение ныне живущих лауреатов Нобелевской премии.

## Физика изучает

1. Физические объекты: атом, ядро, частицы, молекулы, плазму, частицы и элементарные частицы, твердое тело, фотоны, кварки и т.д.

Отсюда деление на: физика атомов и молекул, физика ядра, физика элементарных частиц, физика твердого тела.

## Физика изучает

2. Физические процессы (как форму движения материи) – отсюда названия разделов: механика (механическое движение, термодинамика (тепловое движение), электродинамика (электромагнитные явления) и т.д.

**Физика наука экспериментальная.**

**Это обозначает, что критерием истины является эксперимент.**

**Объем физических знаний неограничен.**

**Это означает, что на Земле давно нет такого человека, который бы знал в физике ВСЁ.**

**Язык физики – математика.**

# Роль моделей в физике

В механике, например, используют 3 модели - материальная точка, абсолютно твердое тело (атт), модель сплошной среды.

Их роль:

1. Основная.
2. Вспомогательная.
3. Для решения задач.
4. Для решения фундаментальных проблем.
5. Для формулирования новых гипотез и теорий.

# Кинематика движения материальной точки.

Кинематика — раздел механики, в котором изучаются геометрические свойства движения тел без учета их массы и действующих на них сил. Изучаем кинематику поступательного и вращательного движения.

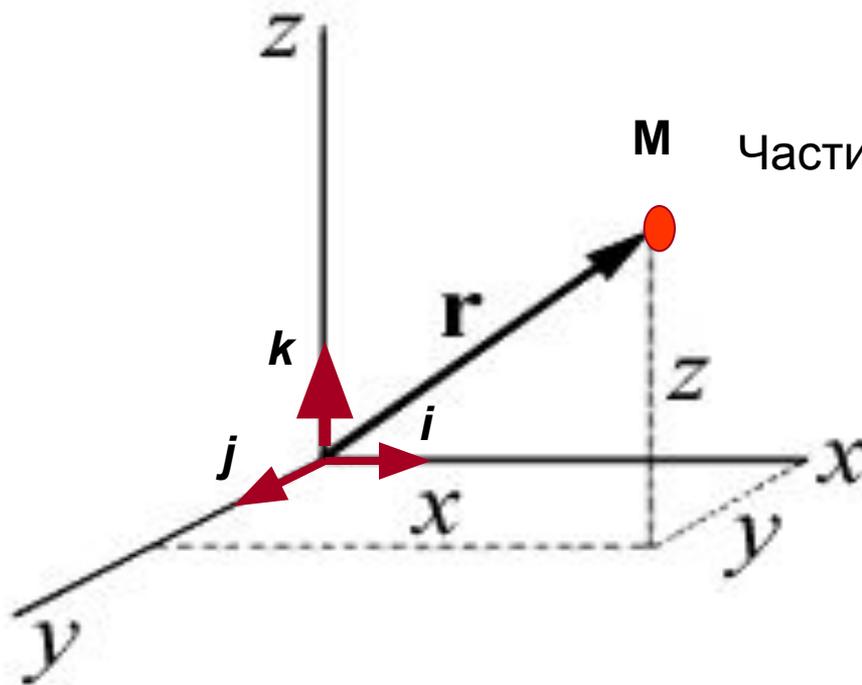
***Поступательное движение*** – это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

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

- *Тело, относительно которого рассматривается движение, называют **телом отсчета**.*

***Система отсчета** – совокупность системы координат и часов, связанных с телом отсчета.*

В декартовой системе координат, используемой наиболее часто, положение точки  $M$  в данный момент времени по отношению к этой системе характеризуется тремя координатами  $X, Y, Z$  или радиусом – вектором , проведенным из начала системы координат в данную точку (рис.1).



Частица массой  $M$

Радиус-вектор следит за частицей  $M$  и поворачивается в пространстве, изменяя свой длину по величине и направлению

Рис. 1.

$$(ii)=1; (jj)=1; (kk)=1; (ij)=0; (ik)=0; (jk)=0$$

# Поступательное движение

Радиус-вектор, путь, вектор перемещения

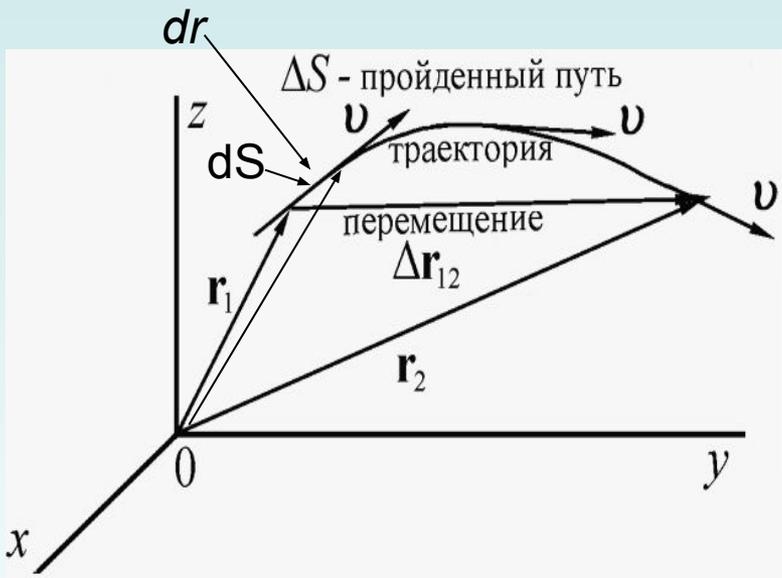


Рис.2.

# Вращательное движение

При вращательном движении вводится понятие «вектора угла поворота  $d\phi$

Вектор  $d\phi$  называется псевдовектором.

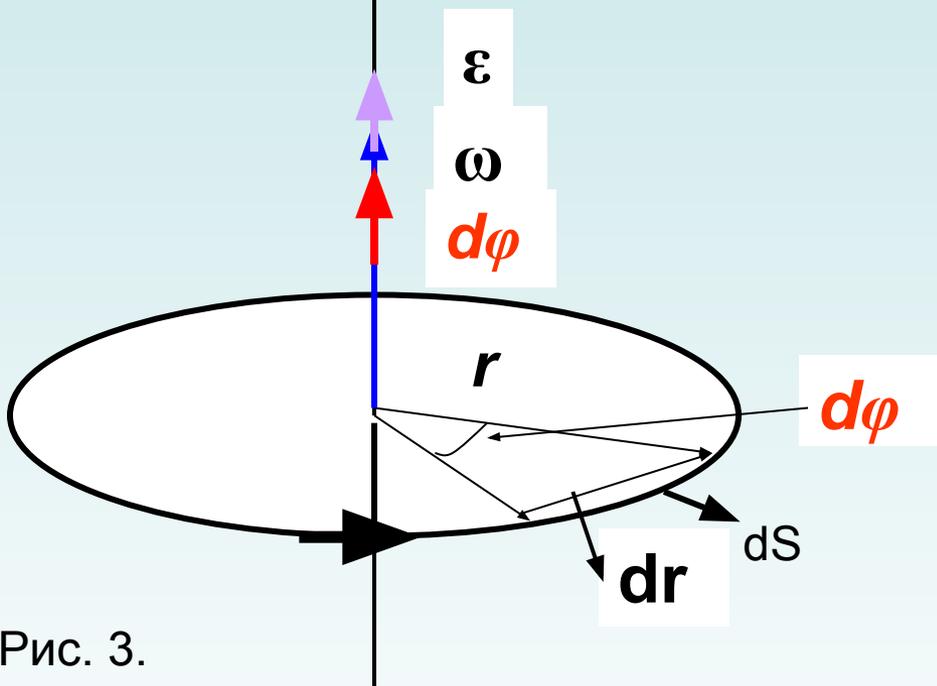


Рис. 3.

**Радиус-вектор следит за частицей в при любом виде движения**

\*

Вектор, соединяющий начальную точку (1) движения с конечной (2), называется вектором *перемещения*  $\Delta \mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ . *Путь* – расстояние, пройденное точкой вдоль траектории движения  $\Delta S$ , величина скалярная (рис.2).  $dS$  – элементарный путь. В этом случае  $dS \approx dr$  по модулю. Вектор  $\mathbf{v}$  – вектор скорости, всегда направлен по касательной.

Вектор угловой скорости  $\boldsymbol{\omega}$  при вращательном движении направлен по оси вращения и связан с движением частицы правилом правого винта (буравчика).

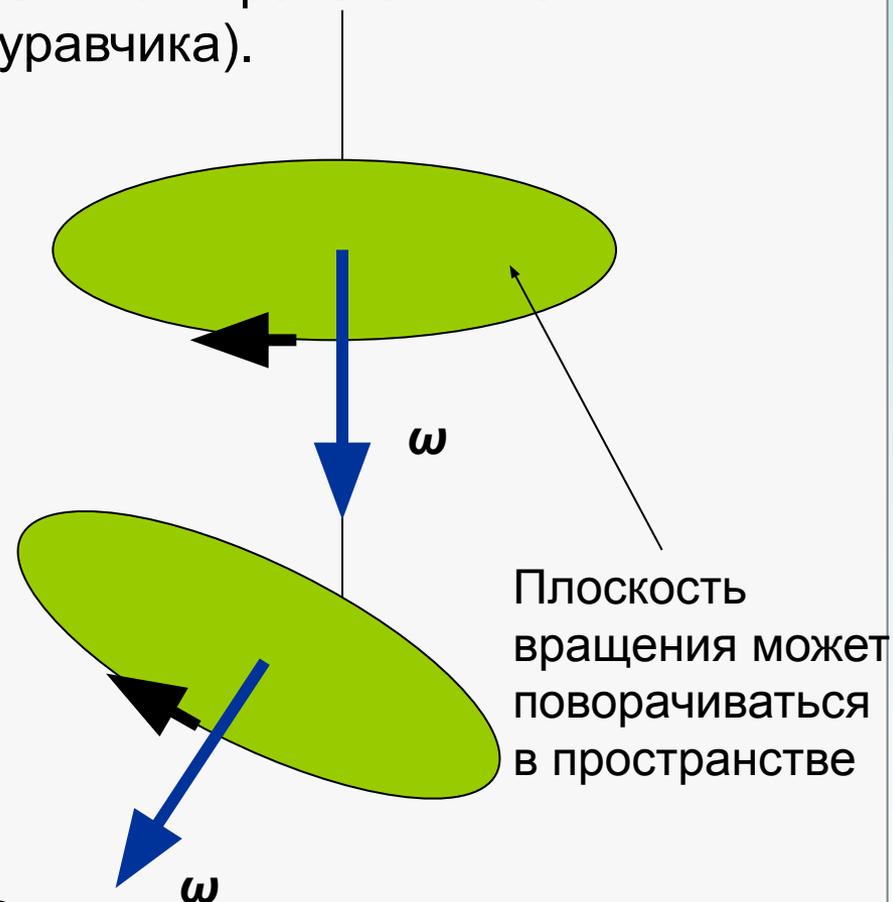


Рис. 2.

При движении материальной точки ее координаты с течением времени изменяются. В общем случае ее движение определяется *скалярными уравнениями*

$$X=X(t), Y=Y(t), Z=Z(t) \quad (1)$$

эквивалентными векторному уравнению (2)

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

где  $x, y, z$  – проекции радиуса – вектора на оси

координат, а

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы,

направленные по соответствующим осям. Уравнения

(1) и соответственно (2) называются *кинематическими*

*уравнениями движения материальной точки.*

# Скорость при поступательном движении

При делении перемещения  $\Delta \mathbf{r}$  на  $\Delta t$  получаем вектор скорости:

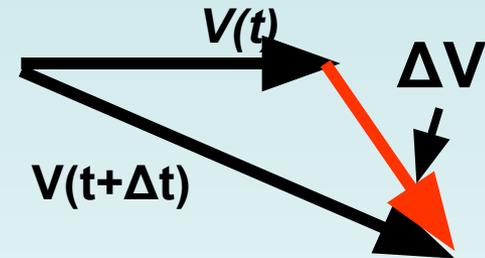
$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (\text{определение скорости}).$$

$$\mathbf{v} = \frac{d \mathbf{r}}{dt} = \mathbf{i} \frac{dx(t)}{dt} + \mathbf{j} \frac{dy(t)}{dt} + \mathbf{k} \frac{dz(t)}{dt} = \mathbf{i} v_x + \mathbf{j} v_y + \mathbf{k} v_z$$

# Ускорение *при поступательном движении*

При делении вектора  $\Delta \mathbf{v}$  на  $\Delta t$  получаем вектор ускорения  $\mathbf{a}$ :

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$



$$\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = i \frac{d^2 x}{dt^2} + j \frac{d^2 y}{dt^2} + k \frac{d^2 z}{dt^2} = i \mathbf{a}_x + j \mathbf{a}_y + k \mathbf{a}_z$$

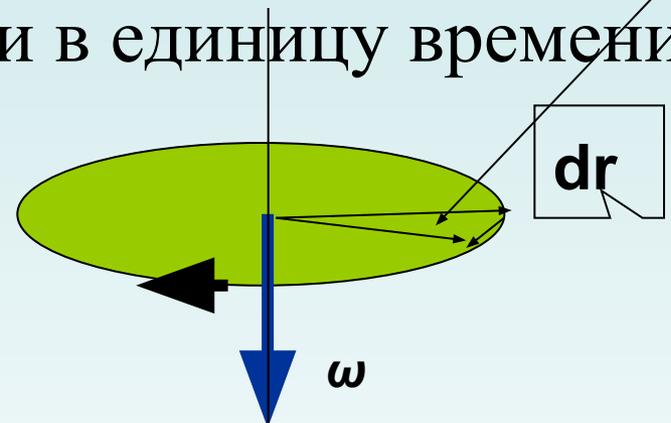
Т.е. нужно два раза продифференцировать радиус-вектор  $\mathbf{r}$  или один раз вектор скорости  $\mathbf{v}$

# Скорость и ускорение при вращательном движении

По аналогии с линейной скоростью и ускорением вводятся *угловая скорость* и *угловое ускорение*.

Величина угловой скорости точки равна углу  $d\varphi$  поворота радиус-вектора точки в единицу времени

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \left[ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$



Вектор угловой скорости  $\omega$  направлен по оси вращения, по направлению вектора  $d\varphi$ .

$$dr = d\varphi r$$

Векторы  $dr$ ,  $d\varphi$ ,  $r$  связаны как стороны треугольника

\*

Величина  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$  (рад/с<sup>2</sup>) называется угловым

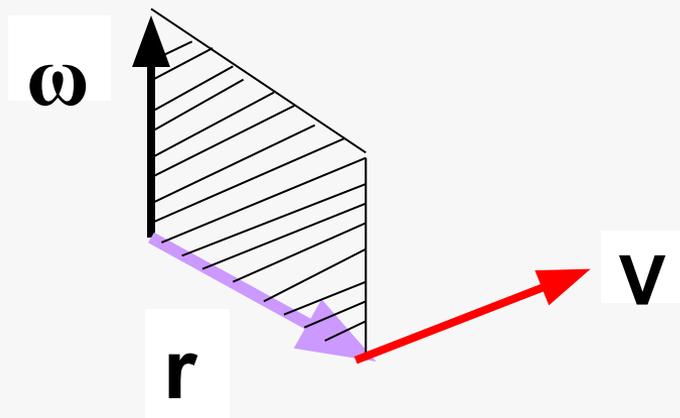
ускорением и характеризует изменение угловой скорости в единицу времени.

Связь между вектором угловой  $\omega$  и линейной скорости  $v$  задается с помощью векторного произведения

$$\mathbf{v} = [\omega, \mathbf{r}].$$

Вектор линейной скорости равен произведению двух векторов  $\omega$  и  $\mathbf{r}$ , лежащих в одной плоскости, перпендикулярной  $V$ .

$$d\mathbf{r} = d\varphi \mathbf{r}$$



# Связь линейного и углового ускорения

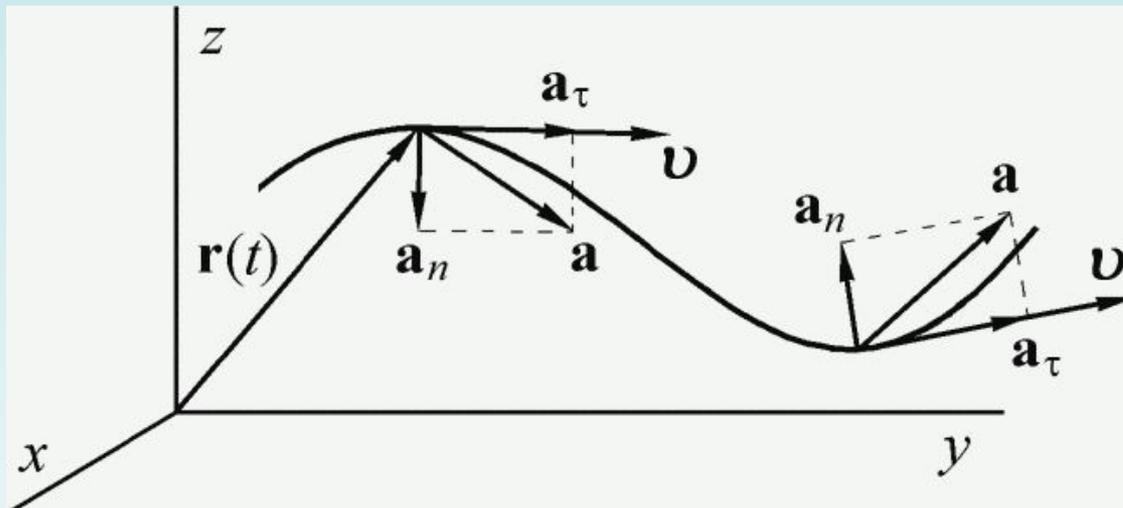
$$\vec{a} = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] + [\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}]] = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] - \omega^2 \vec{r}$$

$$\vec{a} = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] + [\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}]] = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] - \omega^2 \vec{r} = a_{\tau} + a_n$$

**Тангенциальное  
ускорение**

Нормальное  
ускорение

Тангенциальное ускорение направлено по касательной, нормальное – по нормали.



$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \qquad a_n = \frac{v^2}{R} \mathbf{n}$$

# Обратная задача кинематики

Если выражение  $dr = vdt$  или  $dS = Vdt$  проинтегрировать по времени в пределах от  $t$  до  $t+\Delta t$ , то найдем радиус-вектор или длину пути пройденного точкой за время  $\Delta t$ . Такая процедура называется решением обратной задачи кинематики, т.е. нахождение пути по скорости и ускорению.

$$S = \int_t^{t+\Delta t} v dt.$$

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt.$$

## **Тема: КЛАССИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА**

*Законы классической динамики имеют огромную область применения – от описания движения микроскопических частиц в модели идеального газа до поведения гигантских тел во Вселенной. Открытие, применение и осознание этих законов определяют технический прогресс человечества на протяжении уже более трех веков.*

# ***Первый закон Ньютона***

Смысл первого закона состоит в том, что если на тело не действуют внешние силы, то существует система отсчета, в которой оно покоится. Такая система отсчета называется инерциальной.

В инерциальной системе отсчета всякое свободное движение происходит с постоянной по величине и направлению скоростью.

# Второй закон Ньютона. Основные понятия

Второй закон Ньютона количественно определяет величину силы. *Под силой в механике понимают всякую причину, изменяющую состояние движения тела.*

Всякое тело оказывает сопротивление при попытках привести его в движение или изменить модуль или направление его скорости. Это свойство тел называется *инертностью*.

*Мера инертности тела называется массой.*

*Импульс* или *количество движения* материальной точки является вектор, равный произведению массы точки на ее скорость:

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

Для системы из двух (и более) материальных точек импульс – это векторная сумма

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2.$$

В инерциальной системе отсчета изменение импульса  $\mathbf{p}$  материальной точки со временем представляется уравнением

$$\dot{\mathbf{p}} = d\mathbf{p}/dt = d(m\mathbf{v})/dt = \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{v}).$$

Для медленных движений, когда импульс пропорционален скорости:

$$m\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{v}),$$

Величина  $\mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{V})$ , равная скорости изменения импульса во времени, называется вектором силы, действующей на рассматриваемую материальную точку.

Таким образом, *в инерциальной системе отсчета производная импульса материальной точки по времени равна действующей на нее силе.* Это утверждение называется вторым законом Ньютона, а соответствующие ему уравнения — *уравнениями движения материальной точки.*

Из первого закона следует важный физический принцип: существование инерциальной системы отсчета!

Смысл первого закона состоит в том, что если на тело не действуют внешние силы, то существует система отсчета, в которой оно покоится. Но если в одной системе тело покоится, то существует множество других систем отсчета, в которых тело движется с постоянной скоростью.

## 2 закон Ньютона в обобщенном виде

Записывается следующим образом:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^N F_i(\vec{r}, \vec{v})$$

где справа векторная сумма всех действующих на тело (частицу) сил. Или

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \sum_{i=1}^N F_i(\vec{r}, \vec{v})$$

При этом масса зависит от скорости

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

\*

# Виды сил и движений

Сила  $F(r, V)$  зависит от скорости и расстояния между взаимодействующими телами (полями).

Сила трения (сопротивления)

$$\vec{F} = -kv^n$$

# Сила гравитационная

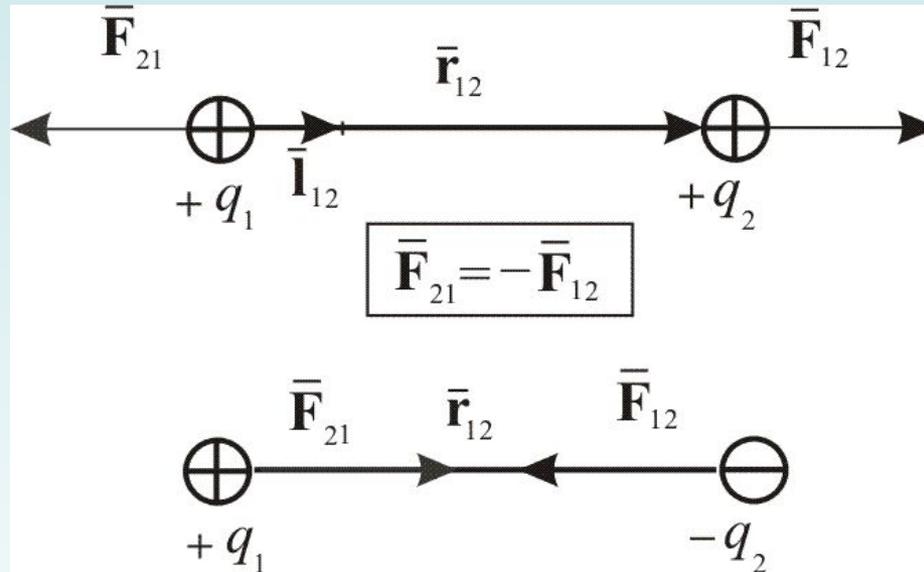
$$F_{\text{грав}} = G \frac{mm_c}{r^3} \vec{r}$$

Сила упругости (закон Гука)

$$F = -kx$$

# Сила Кулона

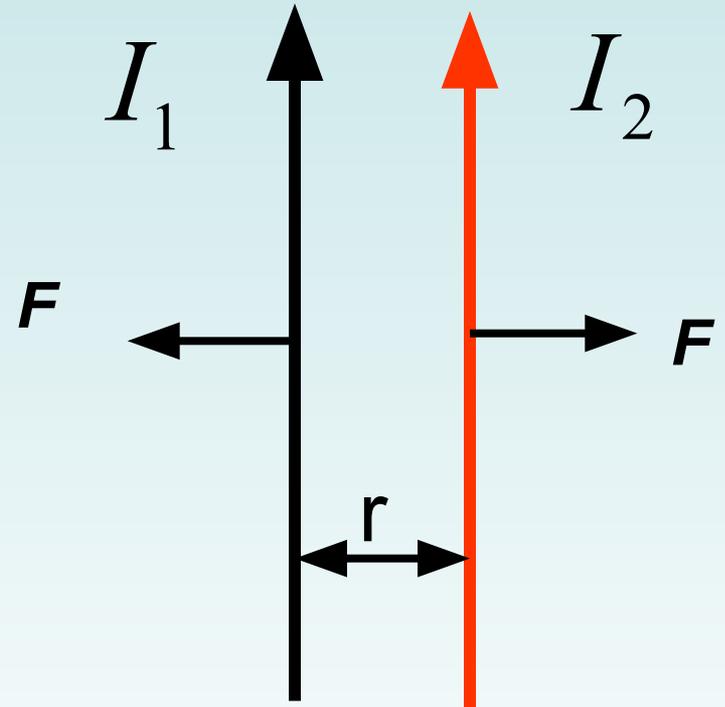
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$



$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}; \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \text{ или } \left( \frac{\Phi}{\text{м}} \right)$$

# Сила взаимодействия между двумя проводниками с током

$$F / l = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2}{r^2}$$



$\mu_0$  - магнитная постоянная

Поэтому уравнения движения могут иметь разнообразный вид и в зависимости от этого получают разные виды движения.

Например в гравитационном или кулоновском поле уравнение имеет вид:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d\vec{p}}{dt} = G \frac{mm_c}{r^3} \vec{r}$$

При движении с малыми скоростями (классическая механика)  $v \ll c$  и  $dm/dv = 0$ .

При движении со скоростями сравнимыми со скоростью света  $dm/dv \neq 0$ .

Замечание. Если положить, что энергия в *замкнутой (консервативной)* системе сохраняется, то:

$$\frac{d}{dt} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N (E_{i,j} + U_{i,j}) = 0$$

Из этого уравнения вытекает 2-ой закон Ньютона.

Этот пример показывает вариативность подходов к решению физических проблем. Закон сохранения энергии – следствие однородности времени.

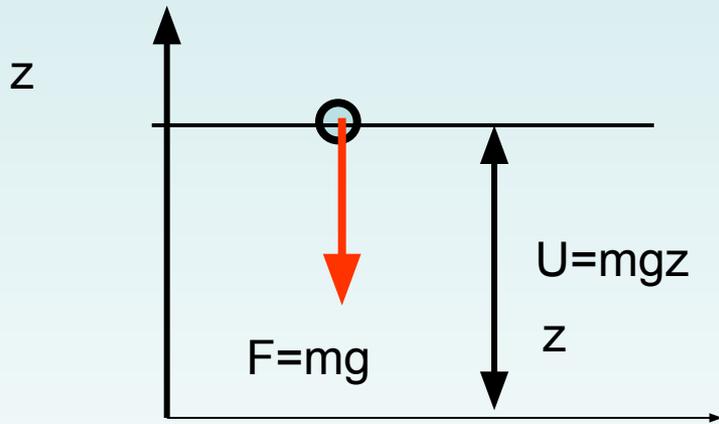
# Связь между силой и потенциальной энергией.

Чтобы найти силу, действующую на частицу в потенциальном поле необходимо продифференцировать по координате формулу для потенциальной энергии и приписать знак «минус».

$$F_x = -\frac{d}{dx}(U) \quad F_y = -\frac{d}{dy}(U) \quad F_z = -\frac{d}{dz}(U)$$

# Например, связь потенциальной энергии и силы тяжести

Потенциальная энергия частицы массой  $m$  вблизи поверхности Земли имеет вид  $U=mgz$ ,  $z$  – координата частицы



$$F = -\frac{dU}{dz} = -\frac{d(mgz)}{dz} = -mg$$

Координата направлена вверх по оси  $z$ , сила вниз – поэтому знак «минус»

## Как изменяется характер движения при изменении функции $F(r,v)$

Если сила постоянная, то имеем ускоренное движение, параметры которого определяем, решая обратную задачу кинематики.

Ускорение  $a$  равно  $F/m$  или  $a=dV/dt$ .

Отсюда  $dV=(F/m)dt$ ,  $m = \text{const}$ .

Интегрируя это уравнение, находим скорость, при последующем интегрировании находим координаты  $x,y,z$ , т.е. траекторию движения (прямая, парабола и т.д.).

Если сила пропорциональна смещению (например, сила упругости), то получаем колебательное движение. Рассмотрим частный случай одномерного движения, которое происходит под действием квазиупругой силы  $F = -kx$ , где  $x$  – изменение длины пружины ( $r=x$ ).

Уравнение движения имеет следующий вид:

$$m\ddot{x} = -kx$$

С учетом сил трения  $F_{\text{тр}} = -rV$ , где

$$\dot{x} = V$$

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x}$$

Это дифференциальное уравнение 2-го порядка, однородное.

$$m\ddot{x} + \frac{k}{m}x = m\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

Его решение известно из курса средней школы и имеет вид (это уравнение колебательного движения):

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

A- амплитуда колебаний,  $\omega_0$ - циклическая частота,  $\varphi$ -начальная фаза.

# ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ

Итак смещение точки при колебательном движении имеет вид:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Найдем ее скорость

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega_0 A \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

Преобразуем уравнения в виде

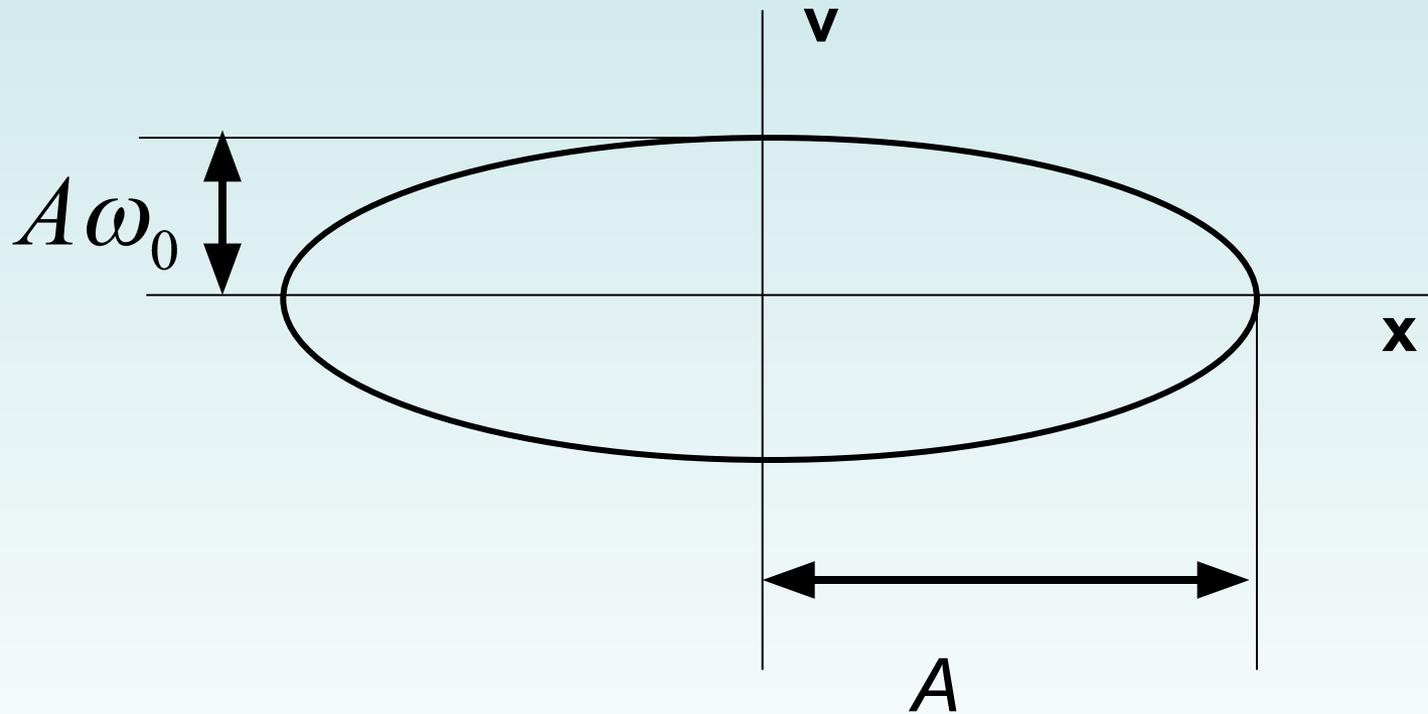
$$\frac{x}{A} = \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\frac{v}{A\omega_0} = -\sin(\omega_0 t + \varphi)$$

Возведем в квадрат и сложим

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{v}{A\omega_0}\right)^2 = 1$$

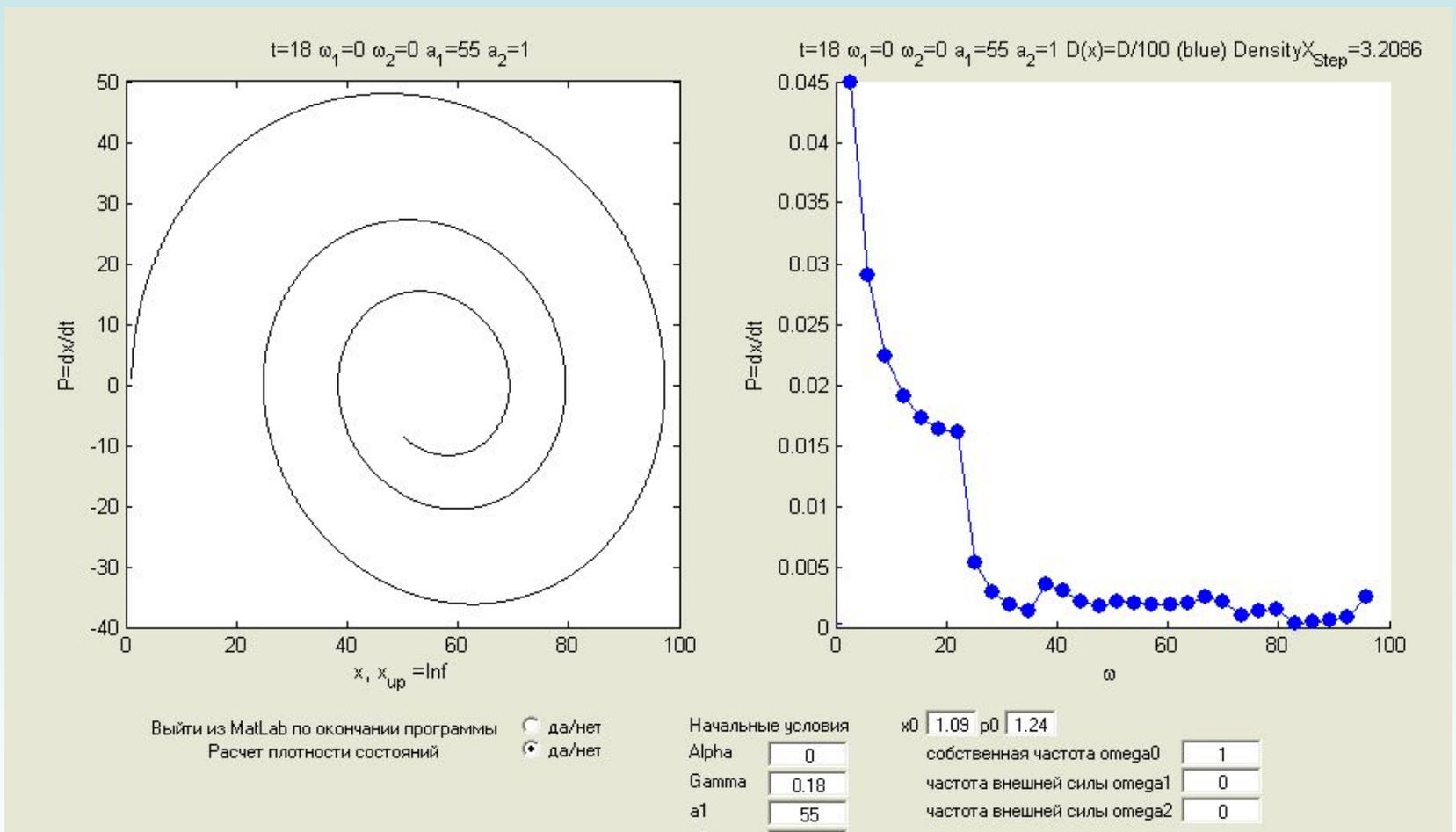
Полученное уравнение – эллипс или окружность  
носит название - **фазовый портрет**  
**колебательного движения частицы**



Если уравнение для скорости умножить на массу частицы, то получим зависимость импульса частицы  $p$  от координаты  $x$ . В этом случае площадь эллипса равна энергии колебательного движения за один период

$$S = \oint p dx = \pi A m \omega_0 A - \text{площадь эллипса равна произведению его полуосей, умноженной на } \pi$$

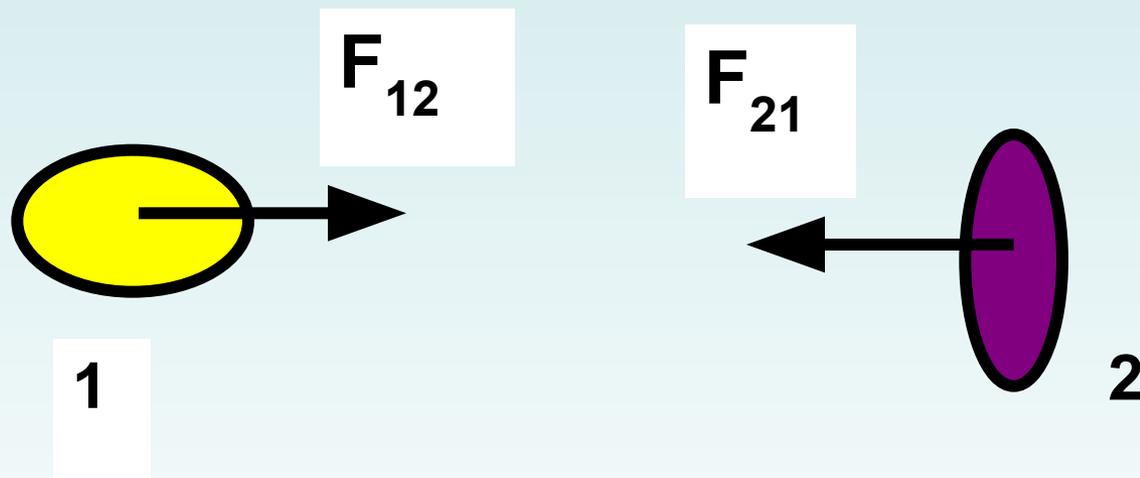
# Фазовый портрет при наличии затухания



# Третий закон Ньютона

Третий закон утверждает: если тело  $1$  действует на тело  $2$  с силой  $F_{12}$ , то в свою очередь тело  $1$  обязательно действует на тело  $2$  с силой  $F_{21}$ , равной по величине и противоположной по знаку силе  $F_{12}$ ; обе силы направлены вдоль одной прямой. Третий закон отражает тот факт, что *сила есть результат взаимодействия двух различных тел.*

# Схема сил взаимодействующих тел



# Закон сохранения импульса и энергии

Выполняется для замкнутой системы тел.

Система считается замкнутой, если внешнее воздействие мало по сравнению с внутренними силами. Или внешнее воздействие полностью отсутствует или пренебрежимо мало.

$$\sum_{i=1}^N \vec{P}_i = \text{const}$$

$$U + E_k = \text{const}$$

## 3.7. Закон сохранения импульса

*Механическая система называется замкнутой (или изолированной), если на неё не действуют внешние силы, т.е. она не взаимодействует с внешними телами.*

Строго говоря, каждая реальная система тел всегда не замкнута, т.к. подвержена, как минимум воздействию гравитационных сил. Однако если внутренние силы гораздо больше внешних, то такую систему можно считать замкнутой (например – Солнечная система).

*Для замкнутой системы равнодействующий вектор внешних сил тождественно равен нулю:*

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \equiv 0, \quad (3.7.1)$$

отсюда 
$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^n m_i \mathbf{v}_c = \text{const.} \quad (3.7.2)$$

***Это есть закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы не изменяется во времени.***

Импульс системы тел может быть представлен в виде произведения суммарной массы тел на скорость центра инерции:  $\mathbf{p} = m \mathbf{v}_c$ , тогда

$$m \mathbf{v}_c = \text{const.} \quad (3.7.3)$$

***При любых процессах, происходящих в замкнутых системах, скорость центра инерции сохраняется неизменной.***

Закон сохранения импульса является одним из основных законов природы. Он был получен как следствие законов Ньютона, но он справедлив и для микрочастиц и для релятивистских скоростей, когда  $v \approx c$

