

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.

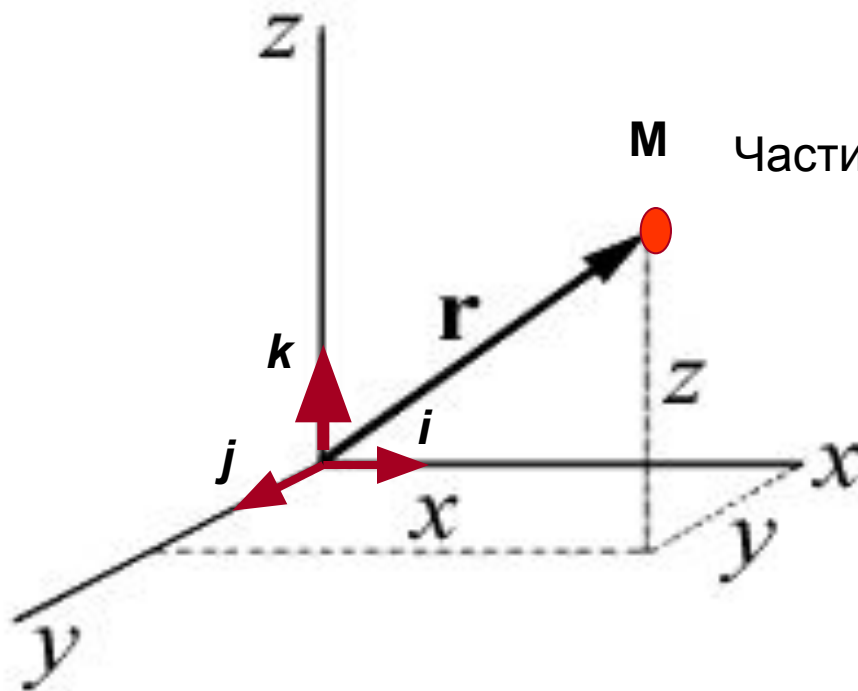
Поступательное движение – это движение, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллельной своему первоначальному положению.

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

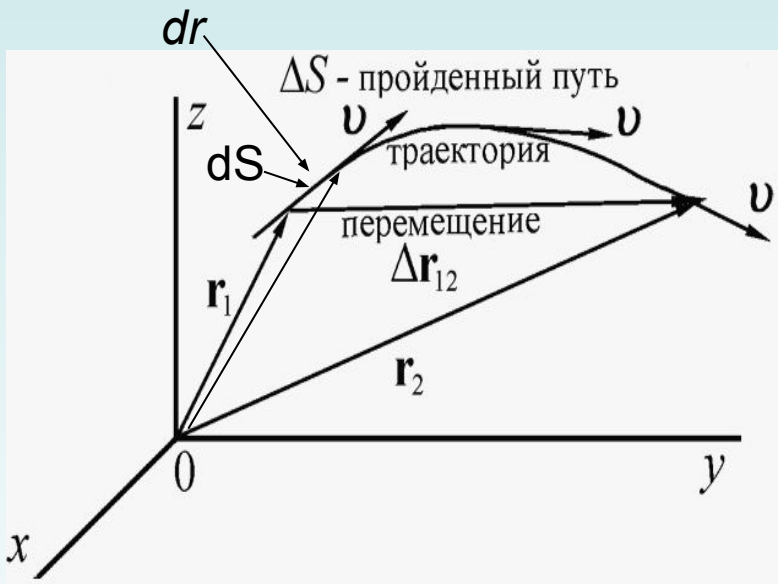


Рис.2.

Вращательное движение

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

Вектор $d\phi$ называется псевдовектором.

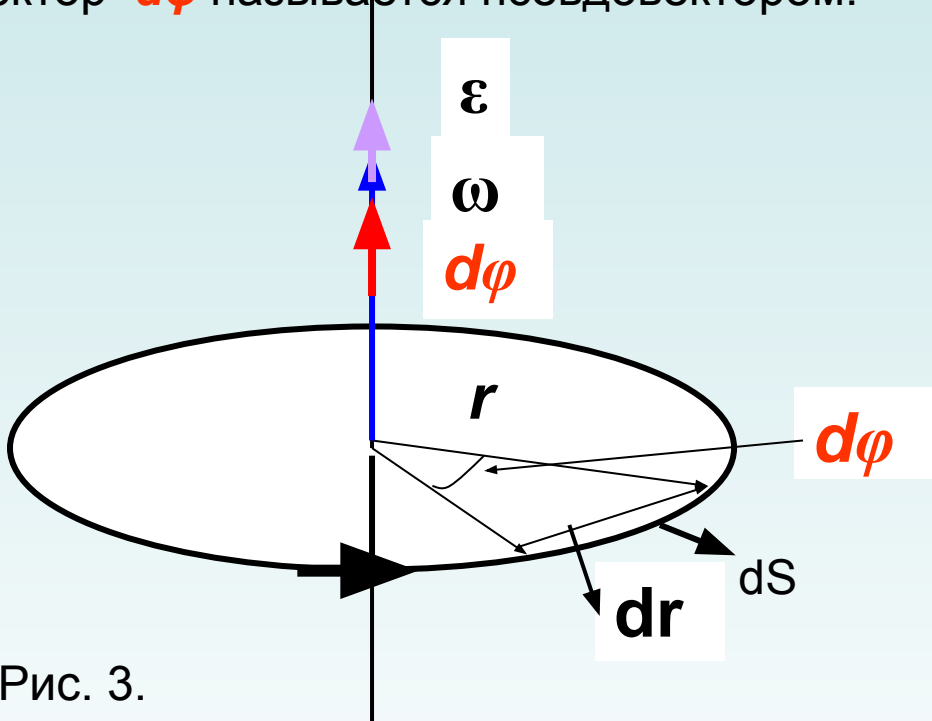


Рис. 3.

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 ΔS , 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).

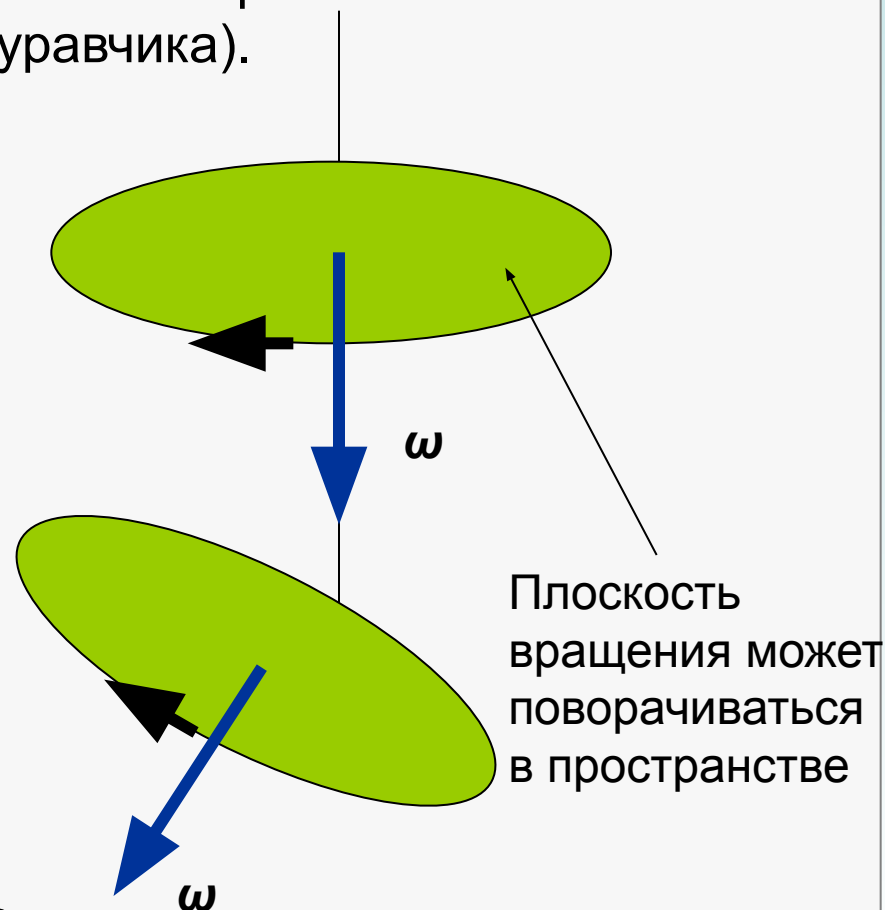


Рис. 2.

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 Δt получаем вектор скорости:

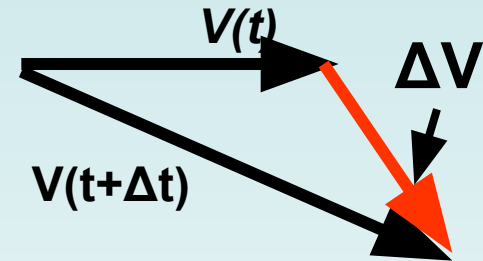
$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (\text{определение скорости}).$$

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

Ускорение *при поступательном движении*

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

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



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

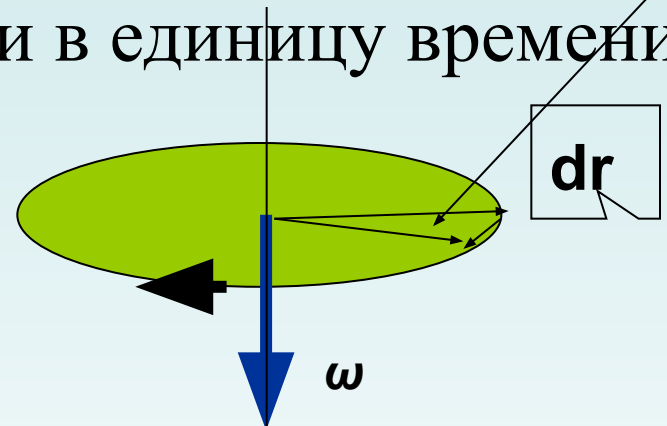
Т.е. нужно два раза продифференцировать радиус-вектор \mathbf{r} или один раз вектор скорости \mathbf{v}

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 ω 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/с²) называется угловым

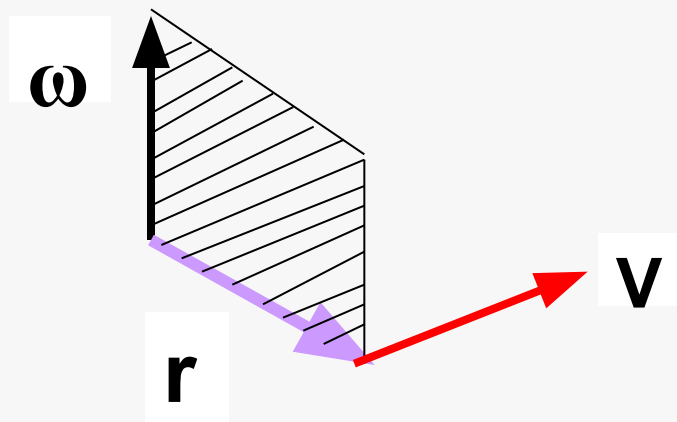
ускорением и характеризует изменение угловой скорости в единицу времени.

Связь между вектором угловой ω и линейной скорости v задается с помощью векторного произведения

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

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

$$dr = d\varphi r$$



Связь линейного и углового ускорения

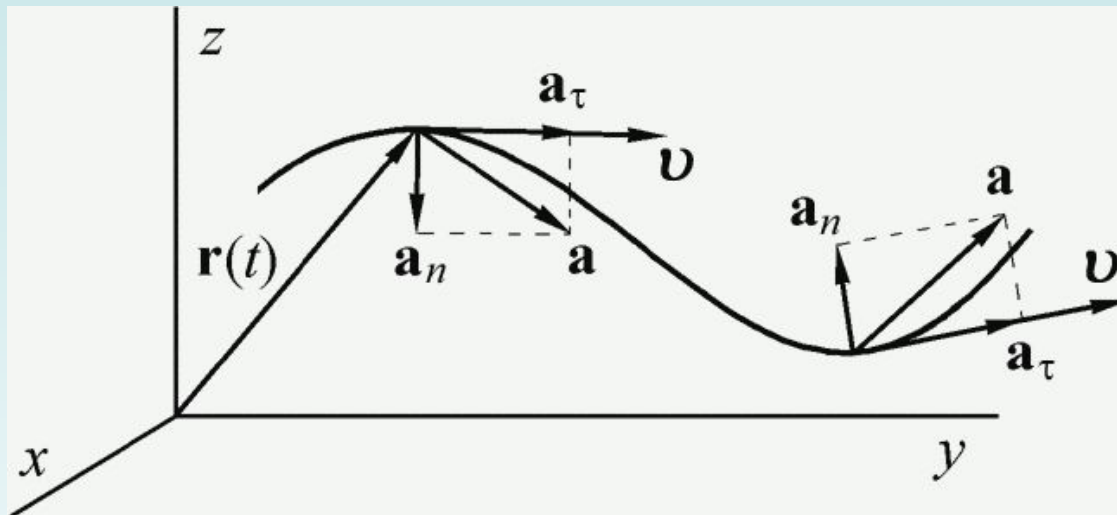
$$\vec{a} = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] + [\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}]] = [\vec{\varepsilon}, \vec{r}] - \omega^2 \vec{r}$$

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

**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 Δt . 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

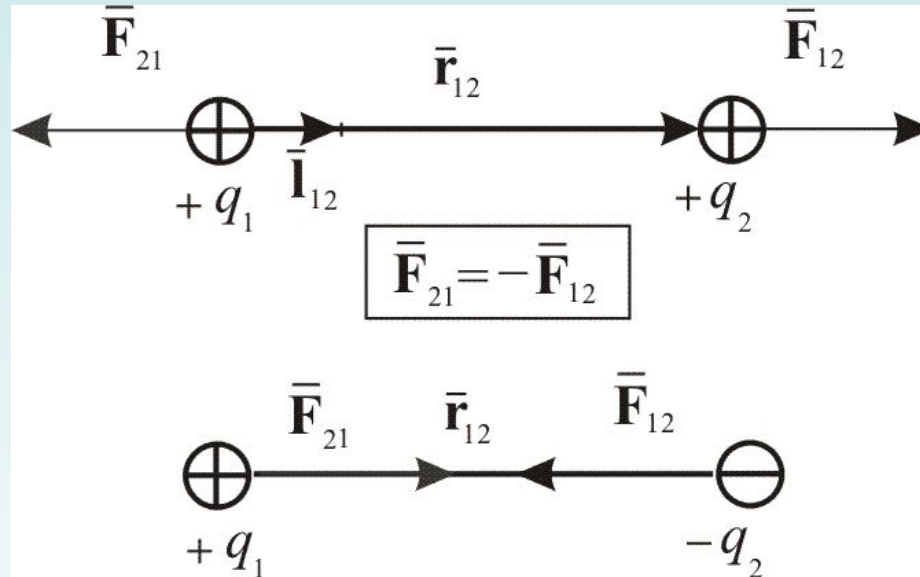
$$F_{\text{грав}} = G \frac{mm_c}{r^2}$$

Сила упругости (закон Гука)

$$F = -kx$$

Сила Кулона

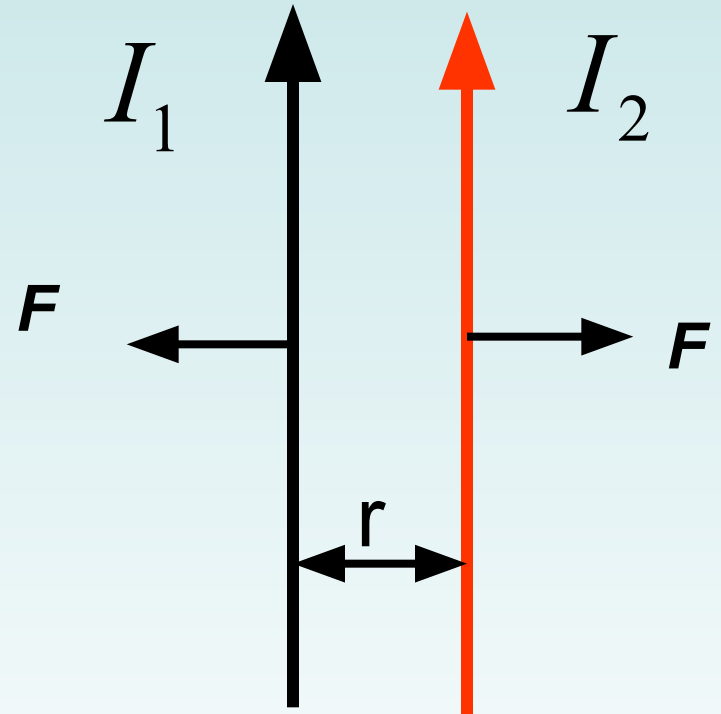
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$



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

Сила взаимодействия между двумя проводниками с током

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



μ_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.

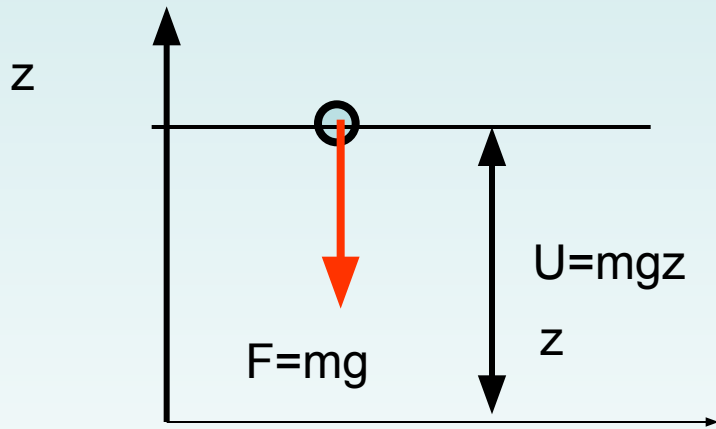
Связь между силой и потенциальной энергией.

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, ω_0 - циклическая частота, φ - 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

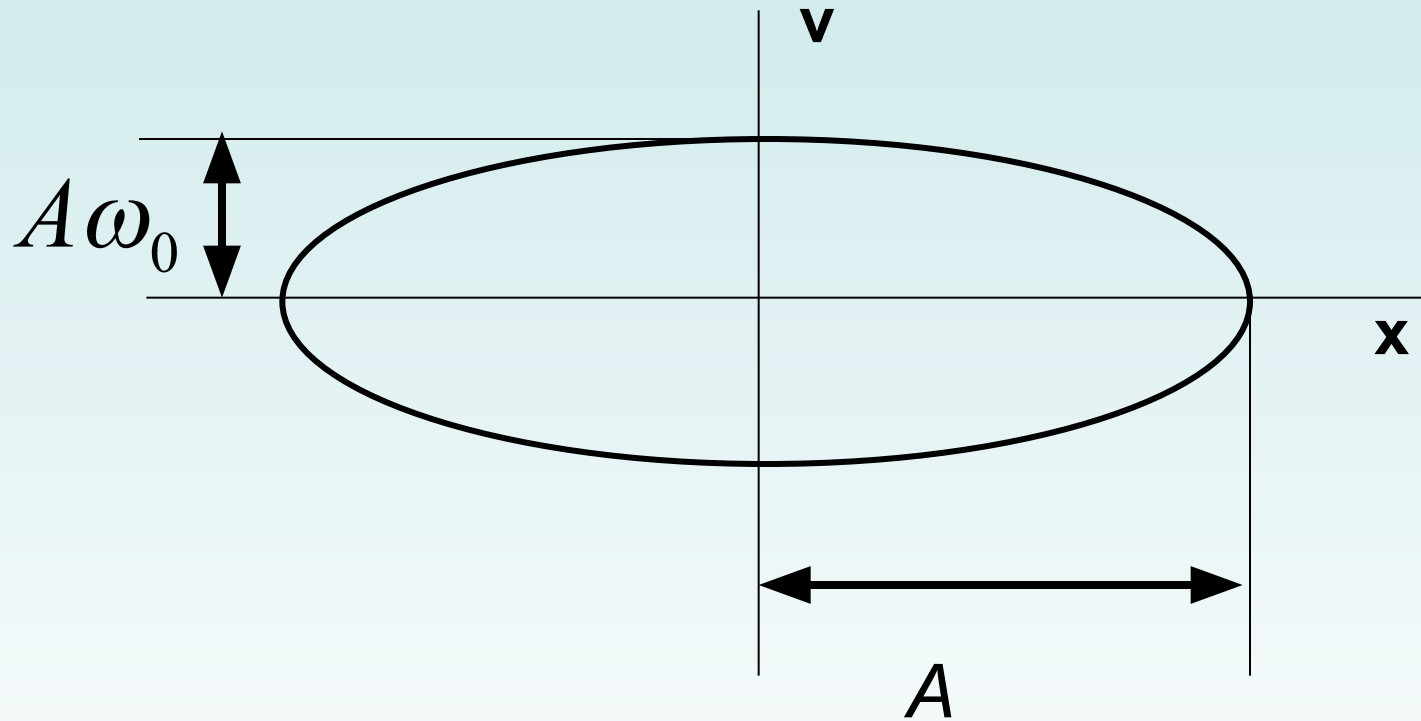
$$\frac{x}{A} = \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

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

Возведем в квадрат и сложим

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

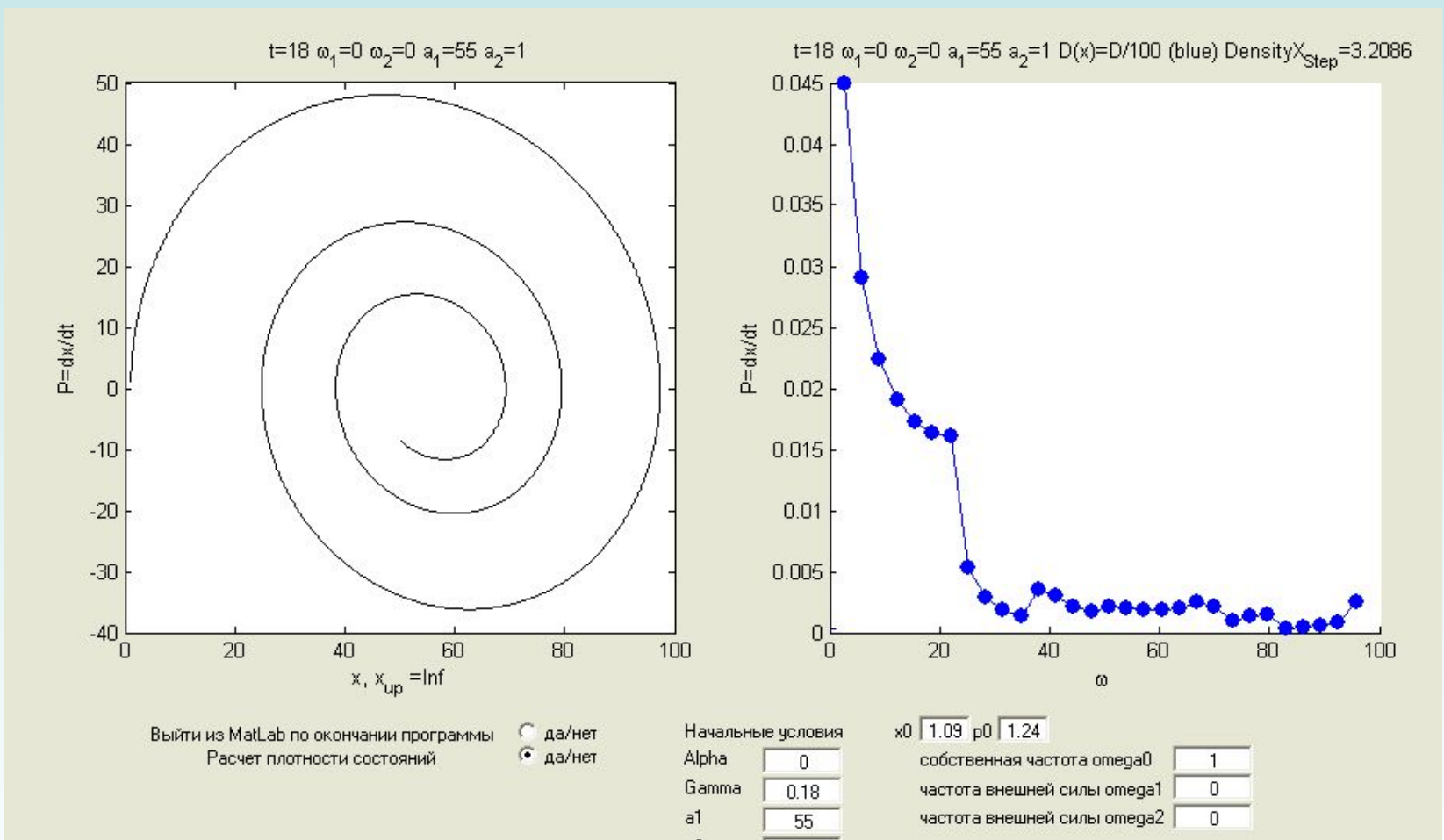
Полученное уравнение – эллипс или окружность
носит название - **фазовый портрет**
колебательного движения частицы



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

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

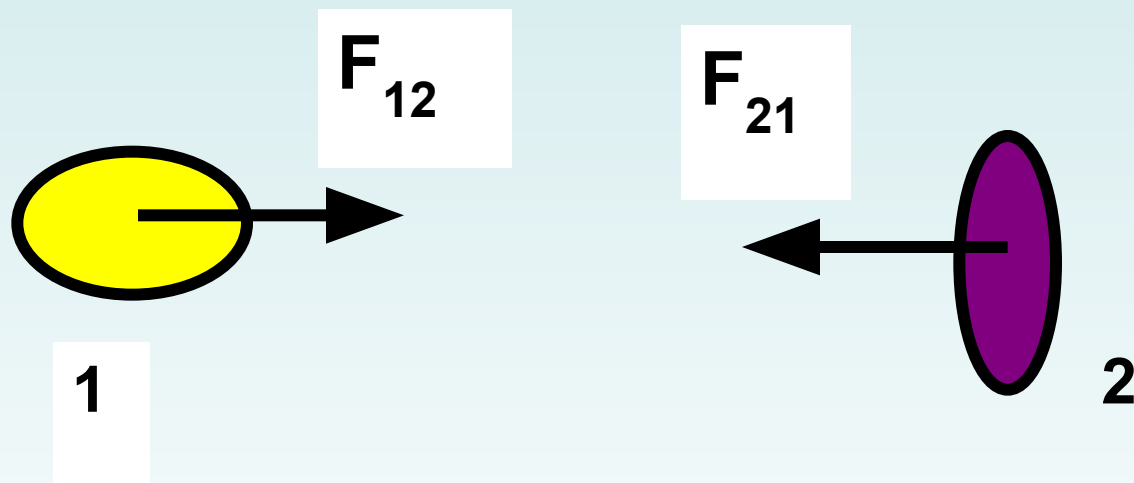
Фазовый портрет при наличии затухания



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 $v \approx c$

