# Классическая концепция моделирования объектов.

1

Общие представления о моделировании как о методе теоретического познания действительности по-разному трансформируются в классической и неклассической версиях ЕНКМ. Сейчас мы познакомимся с их воплощением в классической версии, где они имеют наглядные аналоги в виде известных предметов. Вначале обратимся к физике как наиболее развитой в теоретическом плане науке, тем более, что она исследует наиболее общие объекты и процессы природы, которые более подробно изучаются в отдельных (частных) естественных науках. В физике к классическим фундаментальным моделям относят частицу (ее называют также корпускулой, прообразом которой является малое тело ) и сплошная среда (континуум , воплощающий такие непрерывные среды как жидкость, потоки теплового излучении и света). Примечательно, что в классической версии ЕНКМ этих двух фундаментальных моделей вместе с фундаментальными взаимодействиями оказывается достаточно, чтобы описать все многообразие материального мира. Модель «частица» используется для описания локализованных в пространстве объектов; модель «континуум» используется для описания явлений в нелокализованных средах и применительно к пространству и времени.



Классически мыслящего исследователь выступает в роли стороннего наблюдателя, изучающего только доступные ему внешние свойства объектов, а также и их движение и взаимодействия с другими объектами и полями. Поэтому он моделирует, прежде всего, объекты нашего мира. Все объекты, которые только встречаются в природе, физик разделяет на два наиболее общих типа:

1. Локализованные в пространстве (имеют определённые границы и объем)



2. Другой класс объектов – это распределенные в пространстве среды—жидкости, стекла, свет, тепло, время, пространство.

Именно возможностью выделения двух различных классов объектов можно объяснить, что среди разнообразия моделей в физике выделены только две фундаментальных.

... частица (корпускула) и континуум (сплошная среда).

Этих двух фундаментальных моделей вместе с фундаментальными взаимодействиями в классической версии ЕНКМ оказывается достаточно, чтобы описать все многообразие материального мира. Модель «частица» используется для описания локализованных в пространстве тел. Для квантов физических полей, которые, как известно, в некоторых случаях ведут себя подобно частицам, используется родственная модель, называемая «квазичастицей»; для описания явлений в нелокализованных телах, в полях, для описания пространства и времени используется модель «континуум».

## Примеры фундаментальных моделей

Фундаментальные модели объектов в физике:

частица (корпускула) и сплошная среда (континуум)

В химии – молекула и вещество для идентификации смесей

В **биологии** — **клетка** для описания наименьшей единицы живой материи, **ген** для описания структурной и функциональной единицы наследственности, **популяция**.

1

Представление о фундаментальных моделях используется и в других естественных науках.

## Модель тела – частица (корпускула)

- Если тело (АВТОМОБИЛЬ) движется так, что все его элементы имеют одинаковые скорости, то в качестве объекта исследования можно использовать любой элемент тела: колесо, багажник и т.д.
- Если при этом внутренним строением и размерами тела можно пренебречь, то его адекватной моделью будет частица

5

Остановимся подробнее на фундаментальной модели «частица».

Она не учитывает размер, форму и внутреннее строение тела, а уж тем более цвет, принадлежность к живой или неживой природе и т.д.

В качестве наглядного прообраза частицы можно представить себе любое малое тело (шарик, пылинку и т.д.). В современной литературе часто говорят о модели «материальная точка». Фактически, это другое название для той же модели, сочетающее в себе геометрическое понятие точки и физическую характеристику - массу. Мы будем использовать термин «частица», чтобы подчеркнуть тот факт, что данная модель описывает реальное тело, обладающее размером, который в условиях моделирования не играет роли, поэтому им пренебрегают.



Частицей можно моделировать совершенно разные тела. Например, частицей можно считать планеты солнечной системы и искусственные спутники, если интересоваться их только их траекторией, автомобиль или самолёт при их поступательном\* движении

<sup>\*</sup>поступательным называется такое движение, при котором все элементы тела имеют одинаковые скорости

Сколько характеристик необходимо задать для описания движения тела в модели «частица»?

- Характеристик должно быть **столько,** чтобы описать **все особенности поведения** тела в **данных** условиях.
- Если тело движется, то надо задать его скорость  $\boldsymbol{v}(t)$  в определенной системе отсчета.
- Если окажется  $\vec{v} = const$ , то это означает, что либо:
  - действие внешнего окружения столь мало, что им можно пренебречь,
  - все внешние действующие силы уравновешены.

7

Выясним, какие же характеристики должны входить в этот набор для модели «частица»

Во-первых, если тело движется, то его можно охарактеризовать скоростью. Известно, что вектор скорости может быть либо постоянным, либо переменным во времени (в соответствии с тем, является ли движение равномерным и прямолинейным, либо нет). Таким образом, поведение скорости даёт нам информацию не только об объекте, но и об условиях, в которых происходит движение!

#### Масса как характеристика корпускулы. І.





Тело с малой массой легче разогнать и легче остановить!

Способность тела сохранять свое состояние движения - *инертность* 

масса является мерой инертности – инертная масса (входит во II закон Ньютона)

Другой важнейшей характеристикой частицы является масса. Это скалярная величина, являющаяся «врождённым», как бы его специфическим паспортным параметром. Так, например, все элементарные (фундаментальные) частицы имеют свое собственное, табличное значение массы, позволяющее однозначно идентифицировать. Несмотря на то, что термин «масса» хорошо известен, его смысл в физике многогранен.

Прежде всего, из опыта известно, что тело с малой массой легче разогнать и легче остановить по сравнению с телом большой массы (сравните движущиеся грузовик и детскую коляску). Тело как бы препятствует изменению его состояния движения. Это свойство называется инертностью, а количественной мерой свойства инертности как раз является масса. Поэтому иногда говорят об инертной массе тела. Именно эта масса входит в формулу II закона Ньютона:  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ 

8



Как можно измерить массу? Движущееся тело обладает иными инертными свойствами, поэтому чтобы правильно определить массу тела, его надо обязательно остановить, положить на весы и сравнить с соответствующим эталоном (на слайде — это гирьки).

Масса как характеристика корпускулы. ІІ.



Сила тяжести у поверхности Земли пропорциональна массе тела

$$F = mg$$



Сила тяготения, действующая на спутник, зависит от массы Земли и массы спутника

$$F_{gr.} = G \frac{Mm}{r^2}$$

• масса является мерой тяготения

10

Способностью характеризовать инертность тела не исчерпываются все ипостаси массы. Всем известна формула для вычисления силы тяжести вблизи поверхности Земли — эта сила пропорциональна массе! В более общем случае масса также входит в более общую формулу закона Всемирного тяготения. Этим объясняется другая грань понятия массы = это мера тяготения, или тяжёлая (гравитационная) масса. Заметим, что в принципе заранее совсем неочевидно, что инертная и тяжёлая масса — суть одно и то же. Совсем недавно в результате тонких экспериментов стало понятно, что численно они равны, но, с физической точки зрения, отвечают за различные свойства тел.

Масса как характеристика корпускулы. Ш.

• Чтобы совершить **работу**, тело должно иметь запас **энергии** 

$${\cal E}={f m}gH; \quad {\cal E}=rac{1}{2}{f m}v^2; \quad {\cal E}_0={f m}c^2$$
 потенциальная кинетическая

• масса является мерой способности тела совершать работу;

11

Без понятия массы нельзя вычислить и такие важные характеристики тела как кинетическая энергия и потенциальная энергия в поле тяжести — в эти формулы также входит масса. А так как за счёт изменения величин этих энергий тела способны совершать работу, то за массой закрепился еще один смысл, связанный с этой функцией - это мера способности совершать работу.

Инвариантность массы — независимость массы от скорости движения.

Масса тела одинакова во всех системах отсчета, с какой бы скоростью они ни двигались

Важно, чтобы само тело покоилось в этой системе отсчета!

$$m \neq m(v)$$

Еще одна особенность массы. Иногда, ссылаясь на теорию относительности, говорят о том, что масса тела зависти от скорости. Мы не собираемся опровергать эту теорию, но заметим, что подобное заключение делается на основе произвольной интерпретации формулы Эйнштейна для полной энергии тела. Подробнее мы остановимся на этом вопросе в теме 3. Здесь же подчеркнём, что вопреки расхожему мнению, физически корректным является утверждение о том, что масса тела одинакова во всех системах отсчёта, с какой бы скоростью они (тело и система отсчёта) ни двигались Независимость массы тела от скорости его движения называется инвариантностью массы.

Сколько нужно характеристик чтобы описать движение частицы?

$$\overrightarrow{v} = \frac{d\overrightarrow{r}}{dt}$$

$$\overrightarrow{d} = \frac{d^2\overrightarrow{r}}{dt}$$

$$\overrightarrow{a} = \frac{d^2 \overrightarrow{r}}{dt^2}$$

- скорость, первая производная радиусвектора
- ускорение, вторая производная радиусвектора

А какое количество характеристик вообще достаточно для описания движения частицы? Мы ввели в рассмотрение пока что две производные от радиусвектора.

Может быть, потребуются и другие производные и более высокого порядка? Оказывается, что подобные величины не имеют физического смысла, поэтому размышления в этом направлении можно не продолжать.

#### Зачем нужны другие характеристики?



 масса и скорость по отдельности неполно описывают движение корпускулы:
 они недостаточны для описания внешнего воздействия

**Исаак Ньютон** (1642-1727)

14

Оказалось, что масса и скорость по отдельности не могут описывать движение частицы при любых скоростях. Они также по отдельности недостаточны для оценки наличия внешнего воздействия. Потому из них нельзя составить полностью адекватный набор характеристик. Это на интуитивном уровне осознал еще Ньютон, когда предложил дополнительно ввести еще и самостоятельную величину, образованную произведением массы на скорость: (см. след. слайд)

Выбор характеристик модели для описания реакций объекта на окружение:

Ньютон правильно угадал, что лишь величина

$$\overrightarrow{mv} = \overrightarrow{p}$$

адекватно описывает реакцию корпускулы на внешнее воздействие

• Импульс  $\overrightarrow{p}$  - векторная величина

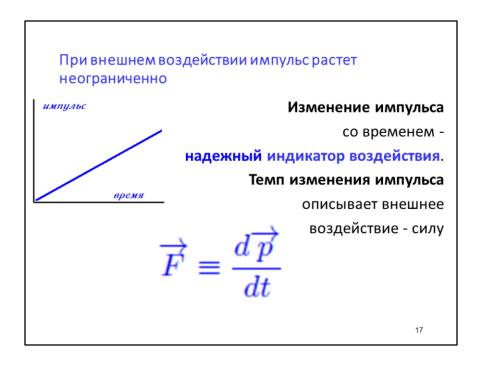
15

Во времена Ньютона целесообразность этой процедуры не была полностью оценена, так как известные скорости движения тел находились в диапазоне от скорости кареты до скоростей планет. Тем более, что с формальной точки зрения, умножение вектора скорости на скаляр (массу) только изменяет масштаб вектора, но не вносит никакой новой информации.



Сейчас диапазон известных скоростей значительно расширен, хотя и ограничен колоссальной величиной — скоростью света (300 000 км/сек.). В условиях столь быстрых движений обнаружена недостаточность скорости как величины, несущей полную информацию о том, в каких условиях движется тело.

Дело в том, что при постоянном внешнем воздействии скорость корпускулы сначала растёт быстро, но затем темп ее роста падает, выходя на асимптоту в виде скорости света. Таким образом, поведение скорости перестаёт быть индикатором внешнего воздействия — воздействие имеет место, а поведение скорости на это обстоятельство не указывает! Таким образом, скорость перестаёт быть информативной характеристикой, и следует искать другой индикатор.



Однако подобным недостатком не обладает импульс, который был предложен Ньютоном.

Преимущество импульса состоит еще и в том, что не он сам, а скорость его изменения позволяет ввести численную характеристику внешнего воздействия. Для этого измеряли величину  $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$  для разных типов воздействия (упругого, кулонова и т.д.) и получили те самые выражения для сил, которые можно подставлять в правую часть закона Ньютона в виде  $m\vec{a}=\vec{F}$ , и решать полученное уравнение относительно интересующих нас величин — ускорения, скорости и т.д. Обратите внимание на то, что формула на слайде внешне напоминает II закон Ньютона, но содержит знак тождества и читается слева направо. В таком виде она служит определением силы.

Другие характеристики модели частицы для описания реакций объекта на окружение:

#### **∔**Энергия:

- кинетическая,
- потенциальная,
- в электрическом поле (если она имеет электрический заряд)
- в магнитном поле (если у нее есть магнитный момент)

Помимо силы можно использовать другие характеристики частицы для описания воздействия окружения.

## Информативность характеристик корпускулы

- Поведение таких характеристик как импульс, энергия и другие позволяют сделать вывод о том, в каких внешних условиях находится объект.
- Если эти характеристики постоянны, т.е. не изменяются со временем, то можно сделать вывод о том, что частица не подвержена внешнему воздействию (изолирована от него).
- Если же эти характеристики изменяются со временем, то это происходит не произвольно, а в соответствии с определёнными законами.

19

Итак, поведение ряда таких характеристик как импульс и кинетическая энергия позволяют сделать вывод о том, в каких внешних условиях находится частица



Приведём сводку законов, управляющих поведением характеристик изолированной и неизолированной частицы.

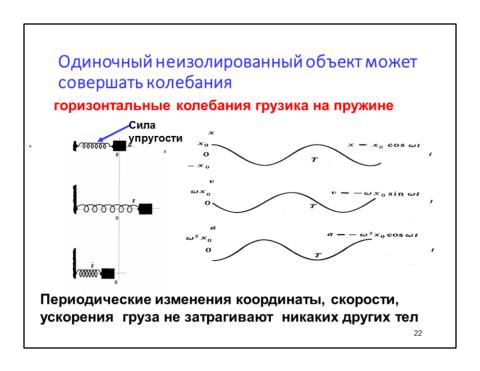
Для характеристик изолированной частицы выполняются законы сохранения, они называются фундаментальными законами. Если же характеристики частицы изменяются со временем, такая частица является неизолированной, а изменение её характеристик позволяет судить о характере и степени внешнего воздействия, описываемого силой F или мощностью силы, равной скалярному произведению вектора силы на вектор скорости.

## Свойства частицы как модели

- В зависимости от условий 2 модели изолированная и неизолированная частица
- Для **изолированной** частицы выполняются законы **сохранения** характеристик
- Характеристики **неизолированной** частицы изменяются со временем и подчиняются законам динамики.
- Для получения конкретных сведений о поведении характеристик частицы при решении уравнения Ньютона необходимо учитывать начальные условия

21

Подведём итог рассмотрения модели частицы.



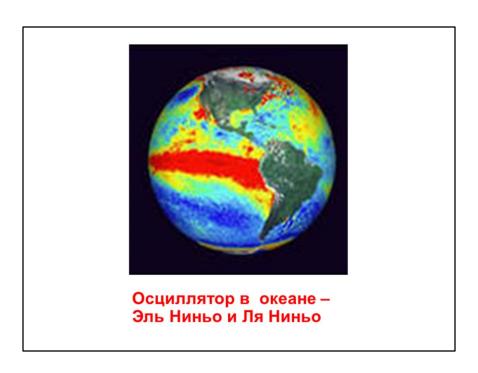
Познакомимся с распространенной разновидностью модели неизолированной частицы. Она называется **ОСЦИЛЛЯТОР** и выделена тем, что описывает колебательное движение.

На слайде приведены колебания грузика, прикреплённого к пружине.

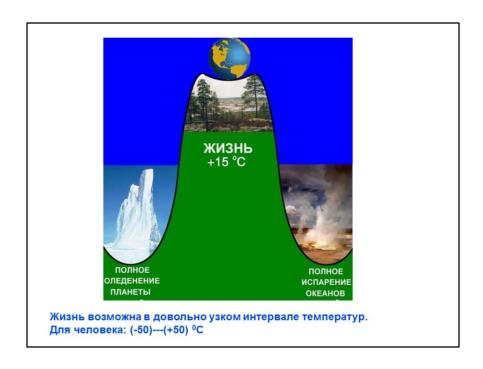


Осциллятор как модель выделен тем, что частица находится под воздействием силы упругости. Колебательное движение связано с периодическим нарушением равновесного состояния тела. Оно происходит, если на тело действует сила, возвращающая это тело в состояние равновесия. Таким свойством обладает сила упругости, которая изменяется по закону F=-kx, где x — смешение от положения равновесия.

Когда речь идёт о силе упругости, мы, прежде всего, представляем себе некое устройство с пружиной. Однако это совсем не обязательно -существуют и другие силы, имеющие иную физическую природу, но подчиняющиеся подобному закону. Например, в случае малых колебаний математического маятника компонента силы тяжести (зелёный вектор на рисунке) направлена к положению равновесия и подчиняется закону  $F = -mg \ \varphi$ , где  $\varphi$ — угловое смещение. Силы, изменяющиеся по аналогичным законам, называются квазиупругими силами и указывают на применимость модели «осциллятор».



На следующих слайдах описано явление осцилляций в Тихом океане. Нормальные условия вдоль западного побережья Перу определяются холодным Перуанским течением, несущим воду с юга. Однако, всё меняется с наступлением явления. Эль-Ниньо (исп. La Niña — малыш, мальчик): на огромной площади Тихого океана происходит повышение температуры воды. В районе Перу холодное течение сменяется движущейся с запада к берегу Перу теплой водной массой, что приводит к сильному потеплению. Противоположная фаза осцилляции называется Ла-Нинья (исп. La Niña — малышка, девочка). Эль-Ниньо проявляется как понижение поверхностной температуры воды ниже климатической нормы на востоке тропической зоны и существенному похолоданию.



К концу XX в. выяснились связи Эль-Ниньо и Ля Ниньо с климатом планеты. Они являются отражением внешних (космических) воздействий:

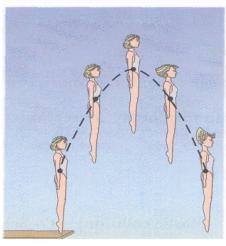
- солнечной активности,
- межпланетного магнитного поля,
- асимметрии солнечной системы, которая является управляющим фактором, воздействуя
- на приток светового и теплового излучения Солнца к Земле,
- на изменения скорости орбитального и осевого вращения Земли,
- на прецессию земной оси.

Оказывается, жизнь возможна в довольно узком интервале температур. Для человека: (-50)---(+50) °C

## Моделирование движения тел

Если тело движется как целое (все элементы с одинаковой скоростью), то оно совершает поступательное движение.

В этом случае применима модель корпускула



### Вращение – другой тип движения тел



Руки гимнаста остаются практически неподвижными, в то время как другие части тела имеют разные скорости

27

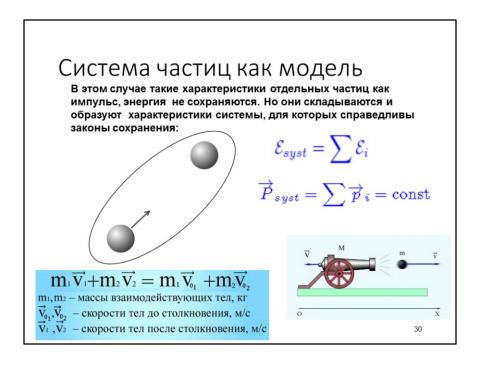
В этом случае для описания движения гимнаста, выполняющего упражнение на турнике, модели одиночной корпускулы недостаточно: такое движение нельзя назвать поступательным. Это вращение.



Если тело совершает вращение, у него всегда есть одна или несколько закрепленных точек



В этом случае тело заменяют системой частиц, связанных между собой абсолютно жесткими связями.



Во многих случаях необходимо рассматривать движение нескольких тел, к каждому из которых в отдельности применима модель частицы. Но для совместного описания требуется усложнение модели и, используется система частиц. Такая система также характеризуется теми же величинами, которые использовались для одиночной частицы — импульсом и энергией - однако вычисленным для системы в целом по правилу суммирования.

Законы сохранения этих суммарных характеристик по-прежнему указывают на изолированность **системы** от внешнего воздействия. Аналогично, изменение во времени этих характеристик - свидетельство неизолированности **системы**, то есть наличия внешнего воздействия.