



Моделирование как метод  
теоретического осмысления мира.

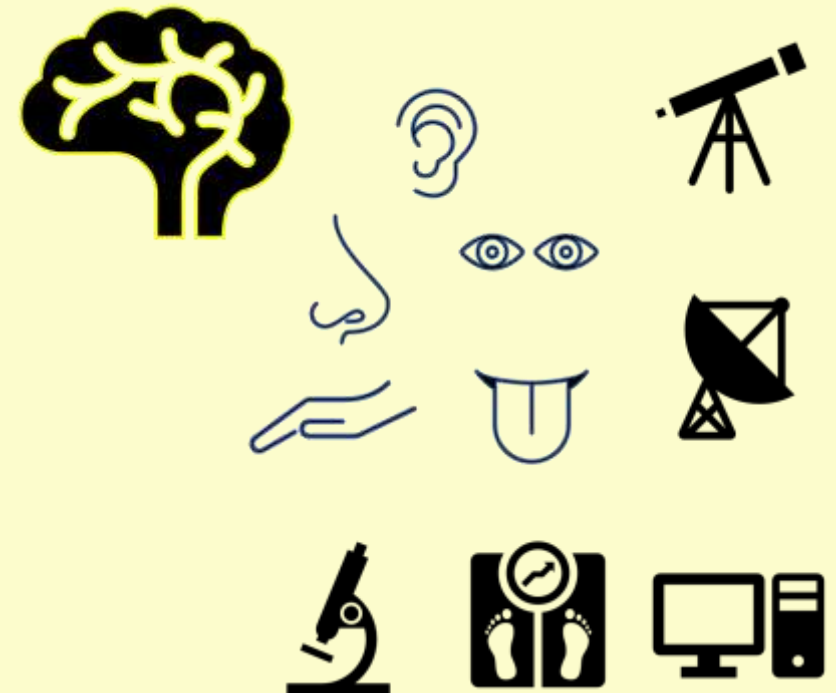
Концепция моделирования объектов

---

Итак, мы воспринимаем мир с помощью органов чувств, а также с помощью различных приборов, которые позволяют «увидеть» или «визуализовать», «услышать» и т.д. все, что недоступно для непосредственного восприятия.



Эти сигналы анализирует мозг, так что все наше теоретическое знание о природе сводится к построению **мысленных образов изучаемых объектов - моделей**.



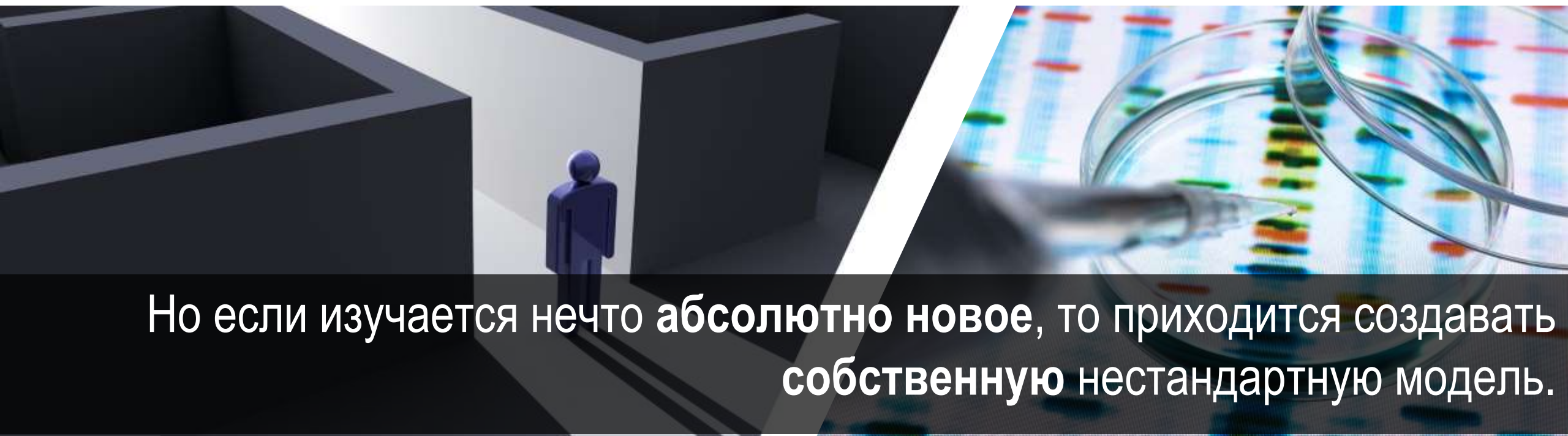


Очень часто обучение означает овладение уже известными моделями. В этом случае необходимо из готового набора правильно выбрать модель, адекватную задаче исследования.

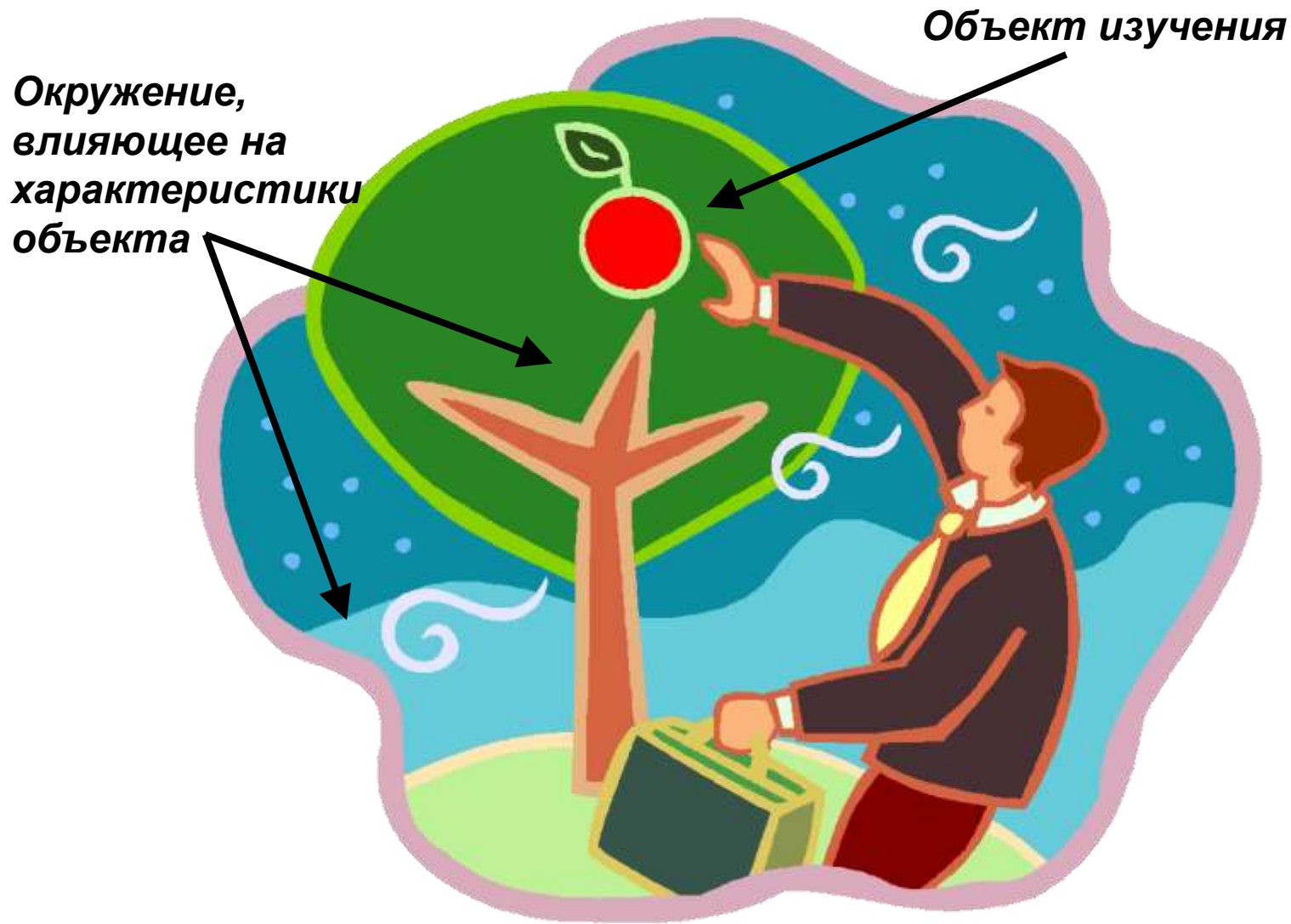




Очень часто обучение означает овладение уже известными моделями. В этом случае необходимо из готового набора правильно выбрать модель, адекватную задаче исследования.



Но если изучается нечто **абсолютно новое**, то придется создавать **собственную нестандартную модель**.



---

Для этого каждый исследователь должен поставить перед собой ряд вопросов:

---

- Что в данном случае является объектом исследования?

- Какую часть «остатка вселенной» надо учесть для адекватного описания объекта исследования?

---

В сущности, вообще все, что мы знаем о мире – это результат построения моделей и их анализа.

*«Я рисую не то, что вижу, а я рисую то, что понимаю»*

*П. Пикассо*

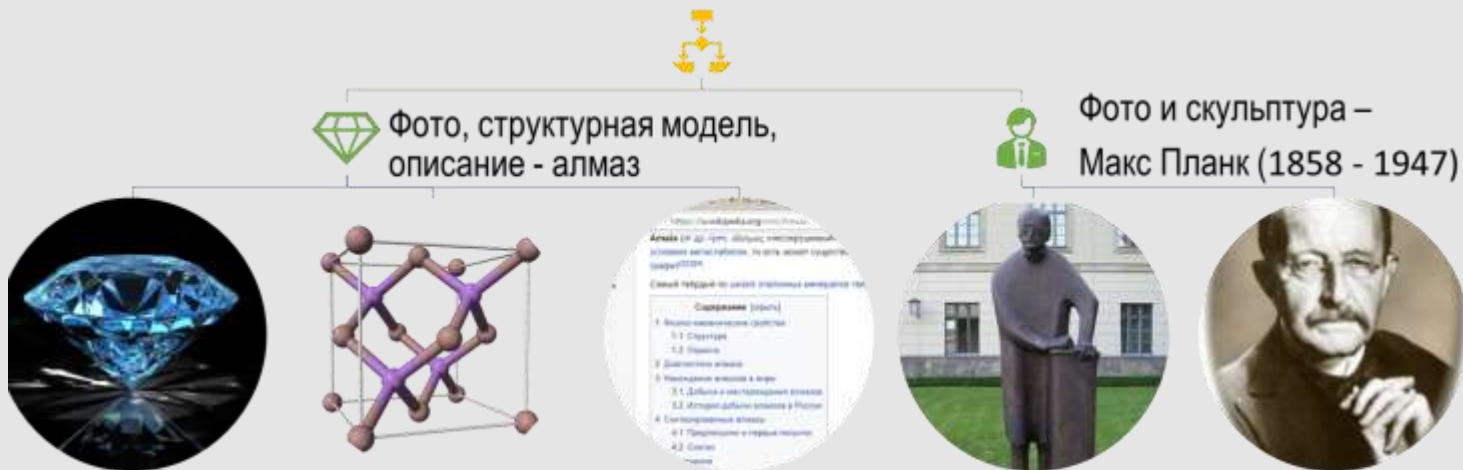
# Глобальная идея модельности описания природы

Существует огромное множество форм отражения действительности: фотография, портрет, музыкальная пьеса, пейзаж, художественный текст, материальные модели и т.д. — всё это модели в широком смысле слова.

Между ними есть существенное сходство:

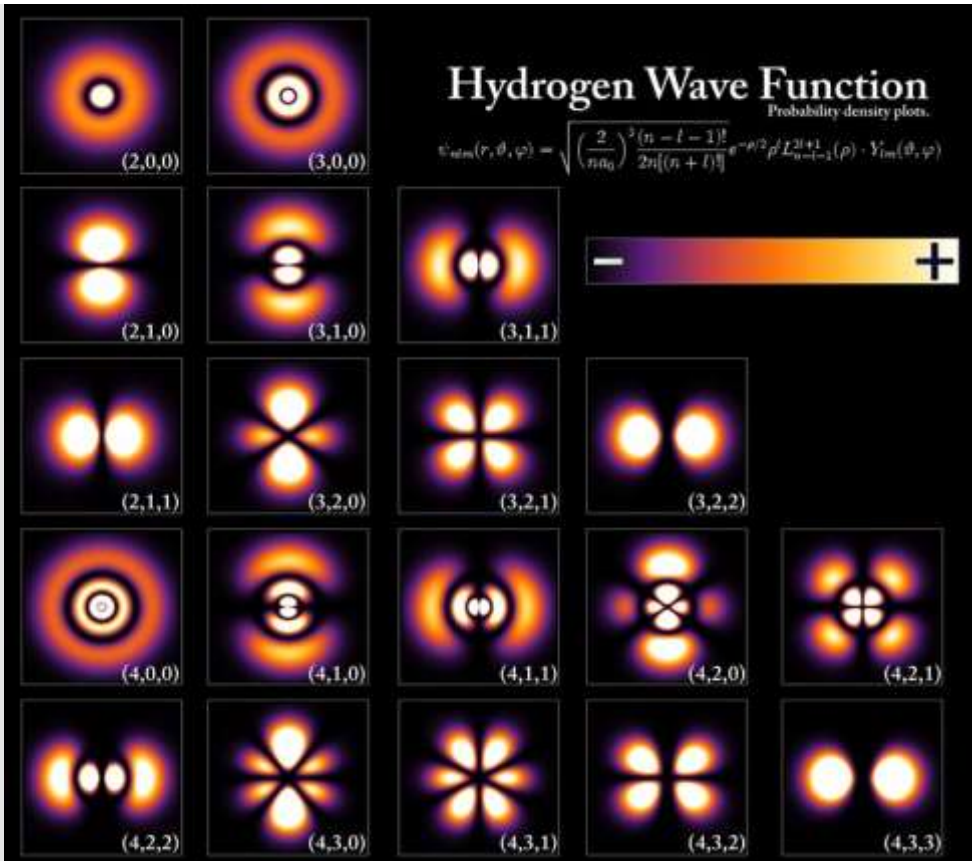
**любая модель в той или иной степени специфически воспроизводит характерные признаки исходного оригинального объекта, который рассматривается как прообраз.**

## Различные модели





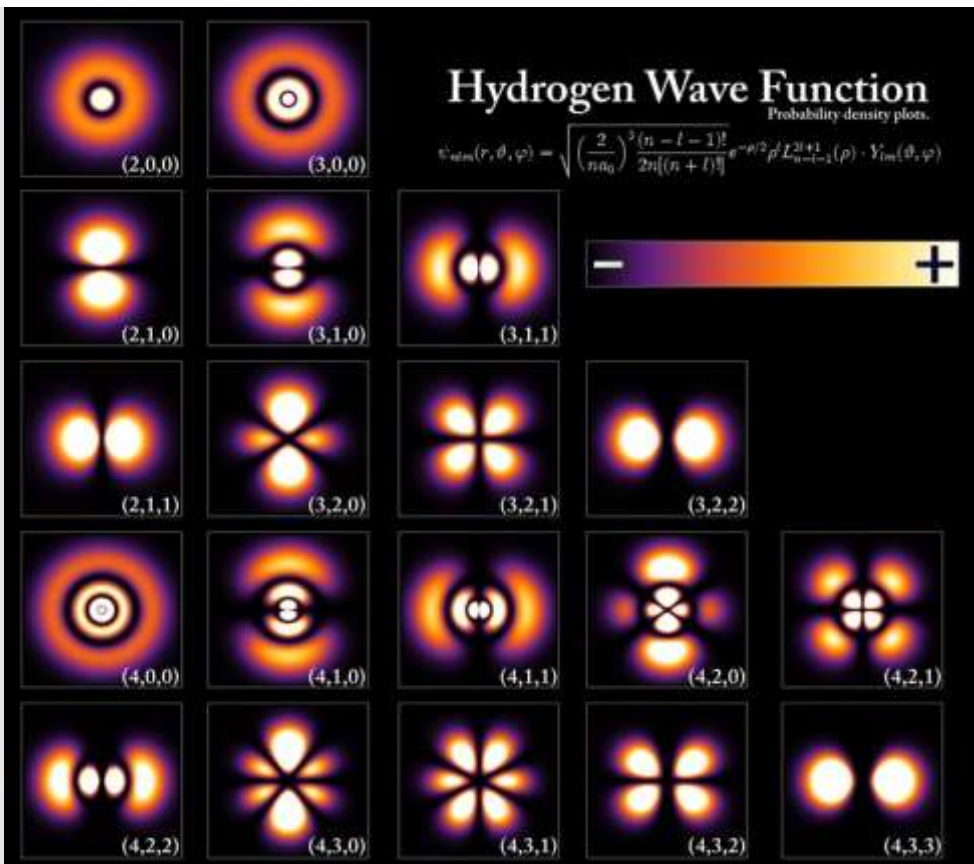
# Компьютерные модели



Сейчас в научный обиход вошли компьютерные модели. Обратите внимание на то, что показанные модели простейшего атома водорода **существенно отличаются многообразием конфигураций от упрощенной исторически сложившейся картинке в виде шарика и, тем более, от реального атома.**



# Компьютерные модели



Зачастую при работе с моделью кажется, что это и есть реальный объект. Но в действительности

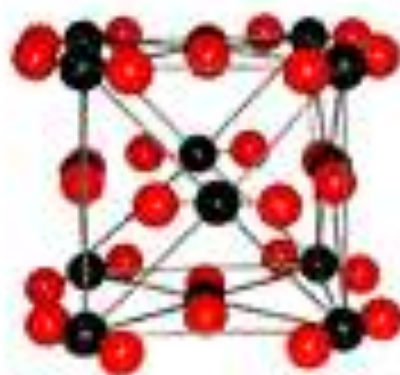
**свойства модели и ее прообраза всегда существенно различаются, их отождествлять их нельзя.**

# Типы научных моделей

Модели в науке бывают самые разные, как это видно из этого и следующих слайдов.

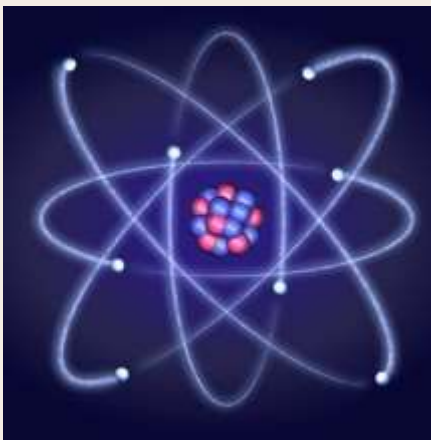
Обратите внимание на то, что все они созданы с помощью разного инструментария:

- **Наглядные изображения или макеты различных предметов.** Такие модели называют материальными



# Типы научных моделей

- Часто в качестве моделей используются словесные описания (**описательные модели**) и рисунки (**наглядные модели**).
- В некоторых случаях образ объекта создается с помощью аналогий (**аналоговые модели**).



*В СОСТАВ АТОМА ВХОДИТ  
ЯДРО И ЭЛЕКТРОНЫ*

*СТРОЕНИЕ АТОМА НАПОМИНАЕТ  
ПЛАНЕТАРНУЮ МОДЕЛЬ  
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ*

# Типы научных моделей

➤ **Математические уравнения**, а также визуальные изображения решений уравнений (**графики**) являются адекватными образами процессов, поэтому их также можно признать специфическими моделями теоретических разделов таких наук как физика и математика.

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2} = \sin \vartheta$$

**Уравнение Син-Гордона**

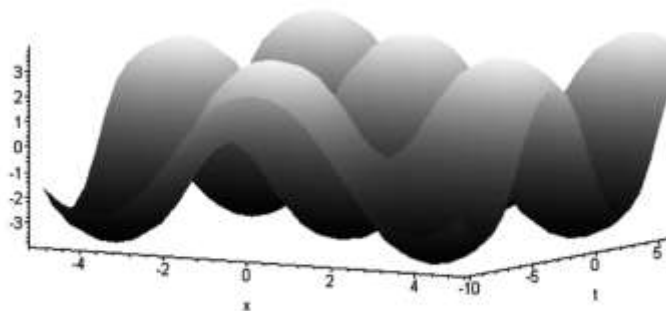
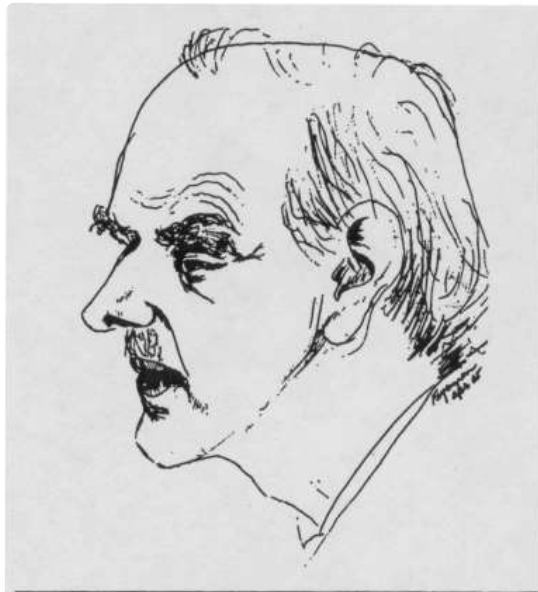


Рис. 4. Бризерное решение уравнения син-Гордон





Дружеский шарж на Поля Анри Мария Дирака работы выдающегося американского физика Ричарда Фейнмана

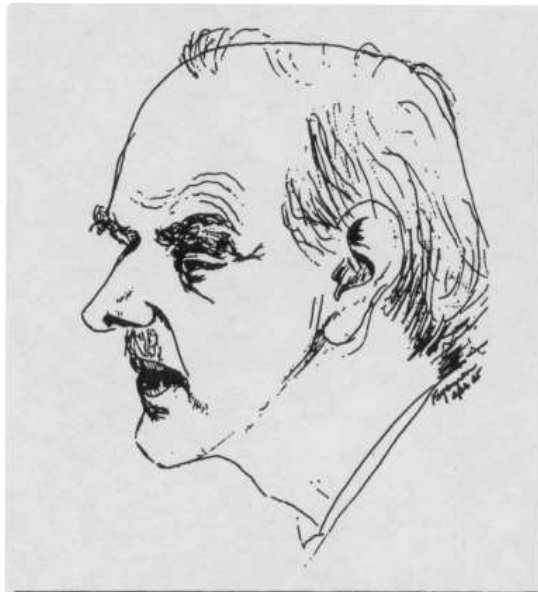


Фото выдающегося английского физика Поля Анри Мария Дирака

## Как создается модель?

По образному высказыванию известного русского физика Я.И. Френкеля, «построение модели сродни созданию карикатуры», все внимание исследователя обращено на самые яркие и типичные признаки объекта.

Хотя **фото** является достаточно достоверным изображением, **шарж (карикатура)** как модель выявляют наиболее важные черты личности.



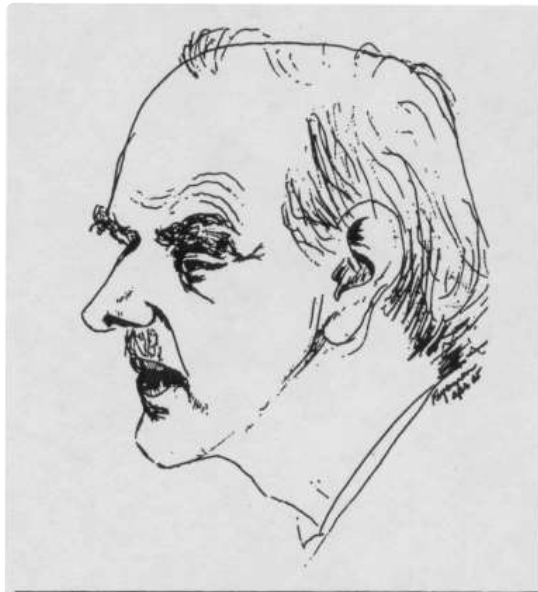
Дружеский шарж на Поля Анри Мария Дирака работы выдающегося американского физика Ричарда Фейнмана



Фото выдающегося английского физика Поля Анри Мария Дирака

## Как создается модель?

Таким образом, на первом этапе, чтобы построить модель, надо определить, **что же в изучаемом объекте важно, а чем можно пренебречь**. Это требует определённого искусства, опыта и интуиции. Чтобы выделить **объекты, оказывающие наибольшее влияние на характеристики и ход изучаемого явления**, надо проанализировать условия (т.е. окружение), которые формируют те или иные свойства объекта.



Дружеский шарж на Поля Анри Мария Дирака работы выдающегося американского физика Ричарда Фейнмана



Фото выдающегося английского физика Поля Анри Мария Дирака

## Как создается модель?

Таким образом, на первом этапе, чтобы построить модель, надо определить, **что же в изучаемом объекте важно, а чем можно пренебречь**. Это требует определённого искусства, опыта и интуиции. Чтобы выделить **объекты, оказывающие наибольшее влияние на характеристики и ход изучаемого явления**, надо проанализировать условия (т.е. окружение), которые формируют те или иные свойства объекта.

# Специфика моделей в естествознании

Обратим внимание на общие особенности научных моделей:

---

Объективность (= адекватность)

---

Возможность выбора количественных характеристик

---

Математический формализм

---

Доказательность

---

Универсальность

---

Эвристичность

Каждая теория базируется на одной или нескольких моделях, так что можно сказать, что **любая сформировавшаяся теория – это модель**, подразумевающая определённые ограничения. Их называют областью или **границами применимости модели** и теории.



# Специфика моделей в естествознании

В различных видах творческой деятельности очень ценится проявление индивидуальности личности. Так, пейзажи художника И. Шишкина заметно отличаются от пейзажей М. Сарьяна.

**В науке подобное исключается.**



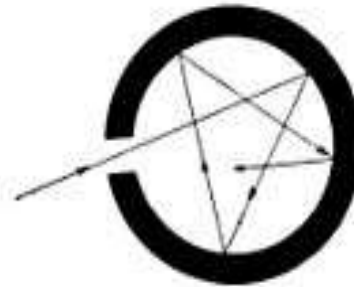
Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)



Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)

# Специфика моделей в естествознании

**Научная модель** должна быть признана научным сообществом вне зависимости от персональных особенностей её авторов, то есть быть **объективной**.



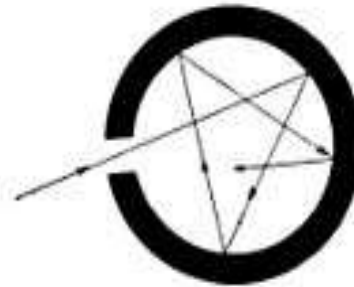
**Абсолютно чёрное тело** — физическое тело, которое при любой температуре поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах<sup>[1]</sup>.

A **black body** or **blackbody** is an idealized physical body that absorbs all incident electromagnetic radiation, regardless of frequency or angle of incidence.

# Специфика моделей в естествознании

Научная модель должна быть признана научным сообществом вне зависимости от персональных особенностей её авторов, то есть быть **объективной**.

Говорят, что модель **адекватна**, если она полностью учитывает ситуацию моделирования и характерные признаки самого объекта, а также отвечает необходимой точности результатов моделирования.



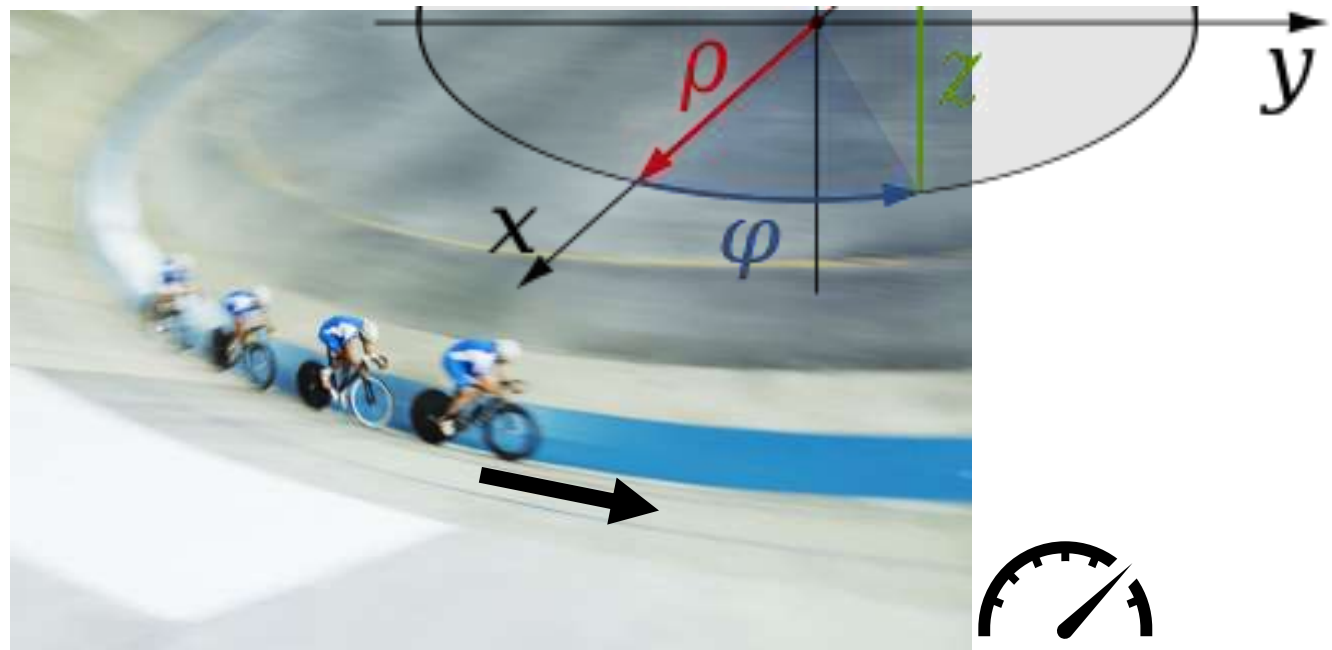
**Абсолютно чёрное тело** — физическое тело, которое при любой температуре поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах<sup>[1]</sup>.

A **black body** or **blackbody** is an idealized physical body that absorbs all incident electromagnetic radiation, regardless of frequency or angle of incidence.

# Специфика моделей в естествознании

Далее, научная модель должна быть оснащена необходимым набором **характеристик**, которые хотя бы в принципе могут быть измерены. Характеристик должно быть ровно **столько** (не больше и не меньше), чтобы описать **все особенности поведения** тела в **данных** условиях.

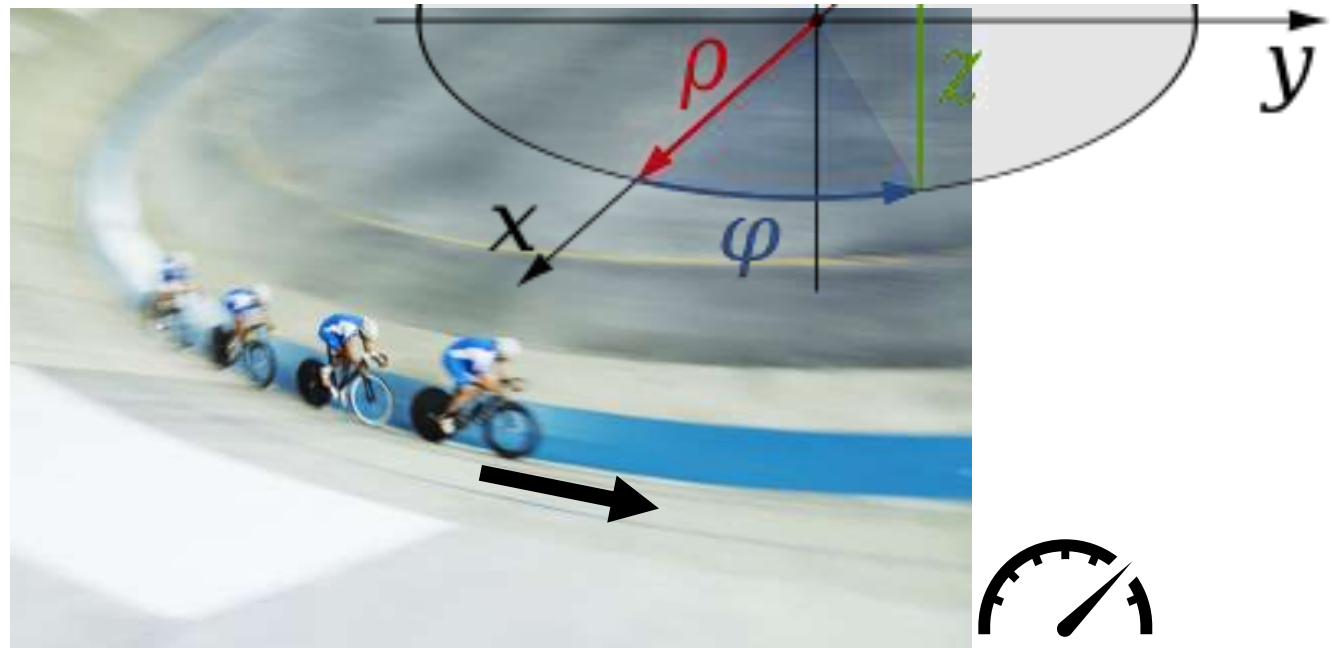
Например, если тело движется, то надо задать его скорость  $v(t)$  в определённой системе отсчёта или же описать особенности движения (напр., указать, что тело движется ускоренно).





# Специфика моделей в естествознании

Это необходимо для теоретического анализа модели, построения гипотез (**математического формализма**) относительно взаимозависимости характеристик модели и изменения свойств исходного объекта при изменении внешних условий, а также для экспериментальной проверки (верификации) выдвинутых гипотез.



# Специфика моделей в естествознании

Заметим, что задание характеристик модели выполняет двойную роль.

- С одной стороны, они описывают то, что связано с самим объектом:
  - *скорость указывает на то, что в данных условиях тело перемещается в пространстве.*



# Специфика моделей в естествознании

- С другой стороны, изменение характеристик модели говорит об изменениях в окружении объекта:
  - если скорость **переменна** во времени, это означает, что на тело **действуют** внешние силы;
  - если же скорость тела **постоянна**, мы делаем вывод о том, что все действующие **силы уравновешены**\*.



*\*Ведь изолированных объектов не бывает!*



# Специфика моделей в естествознании

Под **математическим формализмом** подразумевается установление связей между характеристиками модели, выраженных математическими формулами и уравнениями. Наиболее общие взаимосвязи носят названия **законов\*\***.

*\*\*Напомним, чем отличается уравнение или формула от физических законов.  
**Физический закон** – это устойчивая повторяющаяся связь между явлениями, процессами и состояниями тел, установленная эмпирически.*

Формула и уравнение связывают характеристики объектов в частных случаях и используются для отыскания неизвестных переменных в задаче.

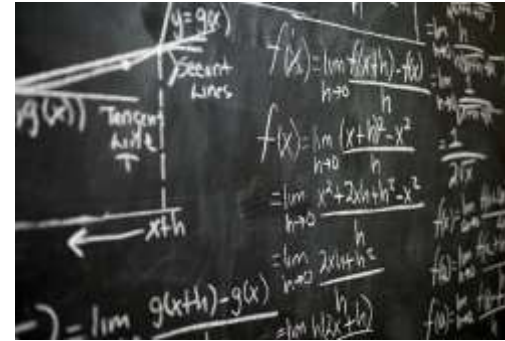
Maxwell's Equations	Maxwell's Equations
Differential form	Integral form
$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$
$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$
$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0$
$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$



# Специфика моделей в естествознании

**Доказательность** означает наличие убедительной аргументации в пользу справедливости математического формализма модели в рамках границ ее применимости.

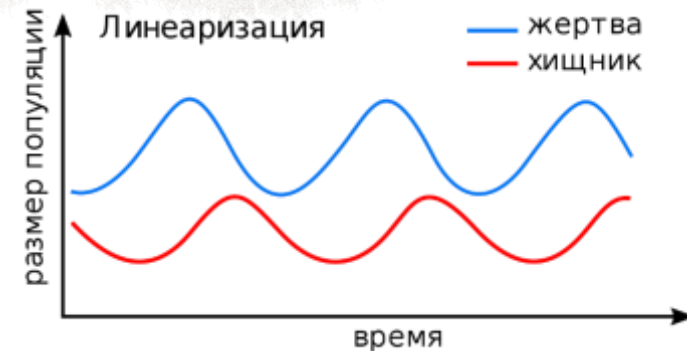
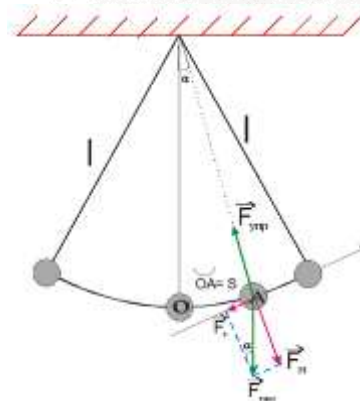
Логическая непротиворечивость математического формализма модели, аккуратность построения следствий из него и экспериментальная проверка как исходных предположений модели, так и всех логических следствий формируют доказательность модели.



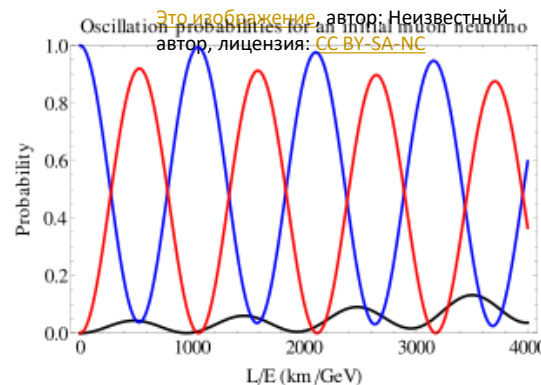
# Специфика моделей в естествознании

Многие естественнонаучные модели оказываются **универсальными**, то есть **математический формализм** и **все следствия** из него применимы к **разнотипным объектам**, часто из разных областей естествознания, а иногда и за пределами естественных наук.

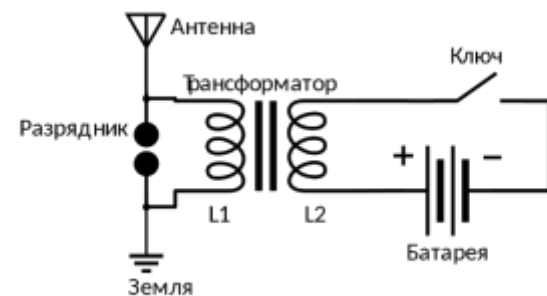
Мы уже упоминали одну такую универсальную модель: осциллятор. Подробнее остановимся на ней немного позже.



Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)



Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)



Это изображение, автор: Неизвестный автор, лицензия: [CC BY-SA](#)

# Специфика моделей в естествознании

Наконец, высочайшую научную ценность имеют модели, про которые можно сказать, что они **эвристичны** (от греч. эврика — нашел), т.е. **открывают простор для поиска чего-то нового**. Такие модели позволяют не только исследовать свойства уже известных объектов, но и сделать предположения относительно новых, еще не обнаруженных объектов или свойств.

# Специфика моделей в естествознании

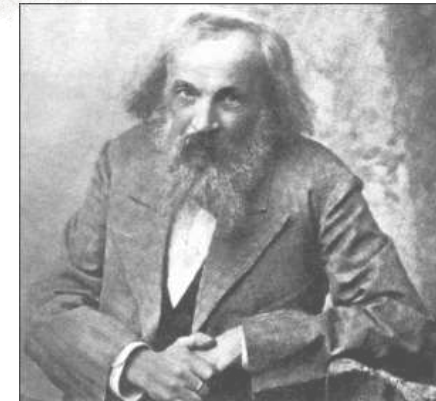
Хрестоматийный пример: **модель**, предложенная **Д.И. Менделеевым** для систематизации известных на тот момент химических элементов: «*Свойства химических элементов, зависят периодическим образом от их массы*»\*\*\*.

**Этот закон позволил сначала предсказать, а затем и обнаружить новые, еще не открытые тогда химические элементы по заранее ожидаемым свойствам.**

\*\*\*Современная формулировка периодического закона звучит иначе с учетом современных представлений о строении атома: «свойства элементов и образуемых ими простых и сложных веществ находятся в периодической зависимости от заряда атомного ядра Z»

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,  
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti=50	Zr= 90	?=180.
			V=51	Nb= 94	Ta=182.
			Cr=52	Mo= 96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199.
			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
H=1	Be= 9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,3	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204.
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		



Д. Менделѣевъ

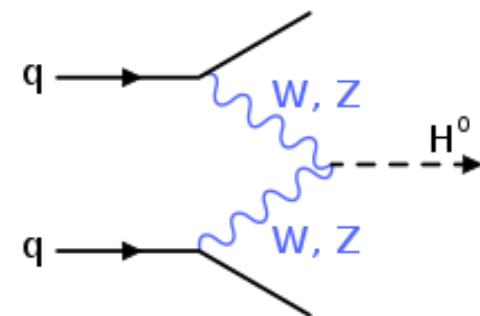
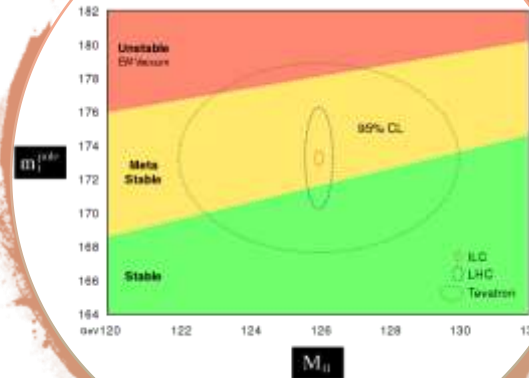
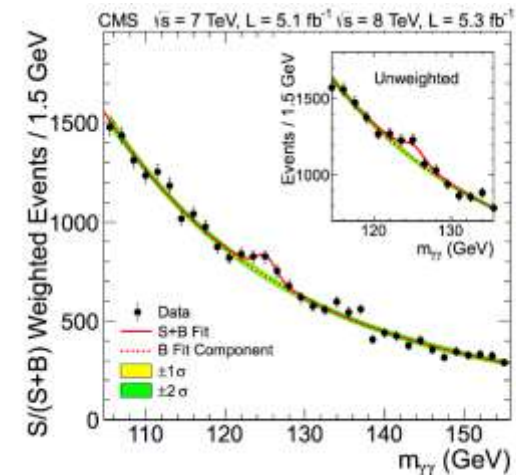
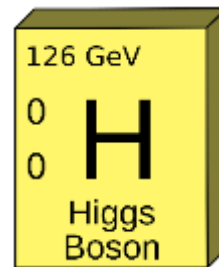


# Специфика моделей в естествознании

Совсем свежий пример эвристической модели напрашивается из теории элементарных частиц.

Бозон был обнаружен в 2012 году двумя экспериментальными группами, использующими для ускорения элементарных частиц до сверхвысоких энергий большой адронный коллайдер.

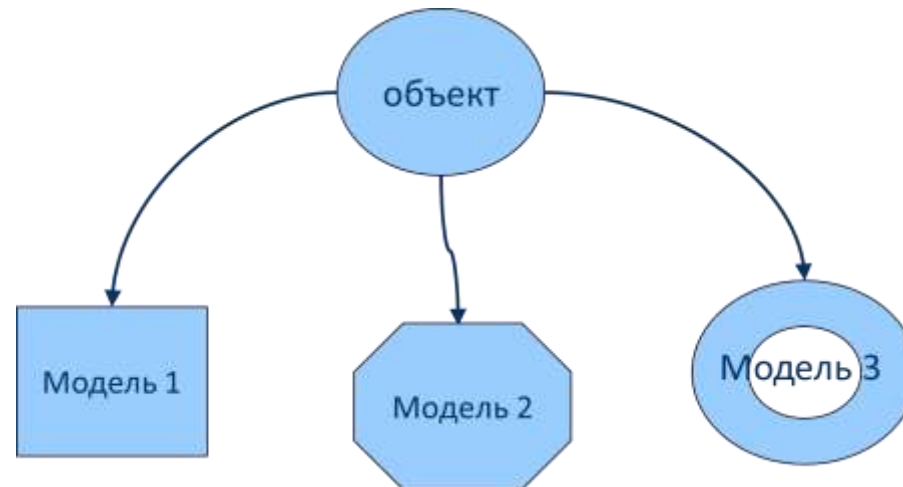
Так вот эта находка не была случайной, этот бозон целенаправленно искали, потому что в Стандартной модели имелись некоторые лакуны, и заполнить их должна была частица, предсказанная еще в 1964 г.



## Выбор моделей зависит от окружения

Моделей в естествознании существует множество.

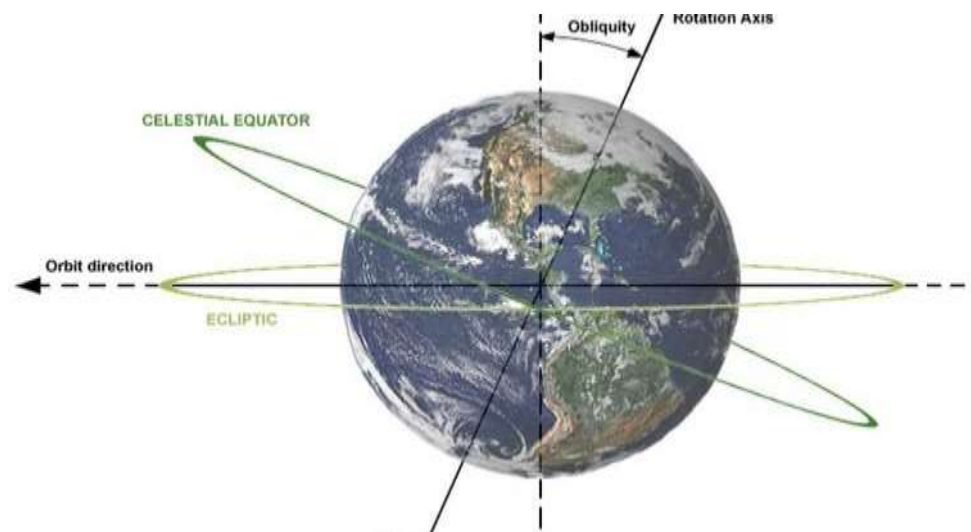
Выбор конкретной модели для данной задачи зависит от **цели** исследования и конкретных **условий**, в которых находится объект, то есть от характеристик объекта его окружения, которые следует или не следует принимать во внимание, а также от **стратегии исследователя**. Поэтому одному и тому же объекту можно сопоставить несколько различных моделей в зависимости от окружения.



Для одного и того же объекта  
могут использоваться разные  
модели

Выбор  
моделей  
зависит от  
окружения

Например, **Земля** может быть смоделирована как **твердый шар** (глобус), как **жидкий шар** (причем слоистый, разные слои отличаются вязкостью, температурой, составом и т.д.) или как **материальная точка** (малая частица).

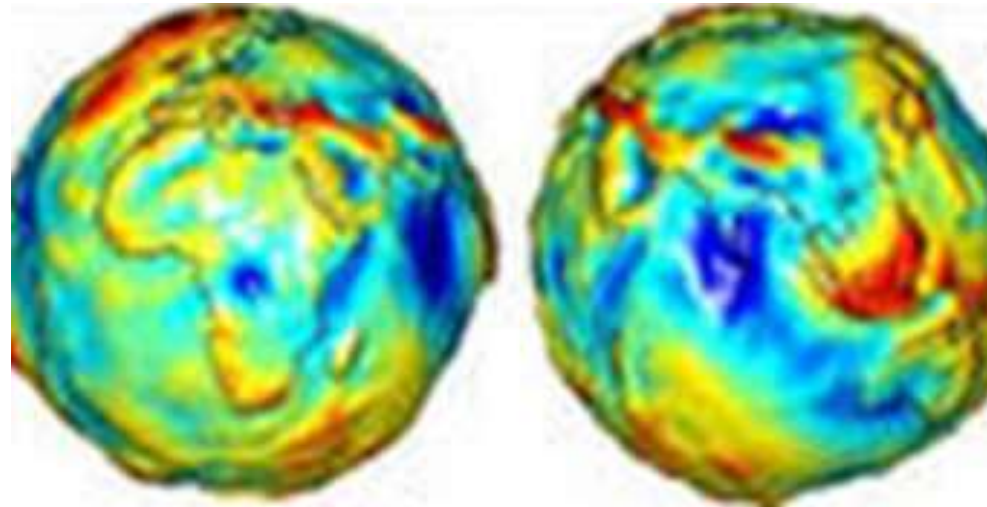


Все зависит от того, что мы хотим изучить: глобус как классическую модель мы используем для объяснения смены времен года, дня и ночи, для первого знакомства с расположением материков, океанов и стран на нашей планете.

Изменение наклона оси – модель твердое тело

Выбор  
моделей  
зависит от  
окружения

Например, **Земля** может быть смоделирована как **твёрдый шар** (глобус), как жидкий шар (причем слоистый, разные слои отличаются вязкостью, температурой, составом и т.д.) или как материальная точка (малая частица).



Внутренние движения, вызывающие изменение формы - модель жидкость

Моделирование погоды, климата и геологических процессов невозможно с помощью такой упрощённой модели. Здесь будут важны стохастические процессы, происходящие в Мировом океане, в атмосфере и в космосе – здесь необходима неклассическая модель.



Выбор  
моделей  
зависит от  
окружения

Например, **Земля** может быть смоделирована **как твердый шар** (глобус), как жидкий шар (причем слоистый, разные слои отличаются вязкостью, температурой, составом и т.д.) или как материальная точка (малая частица).

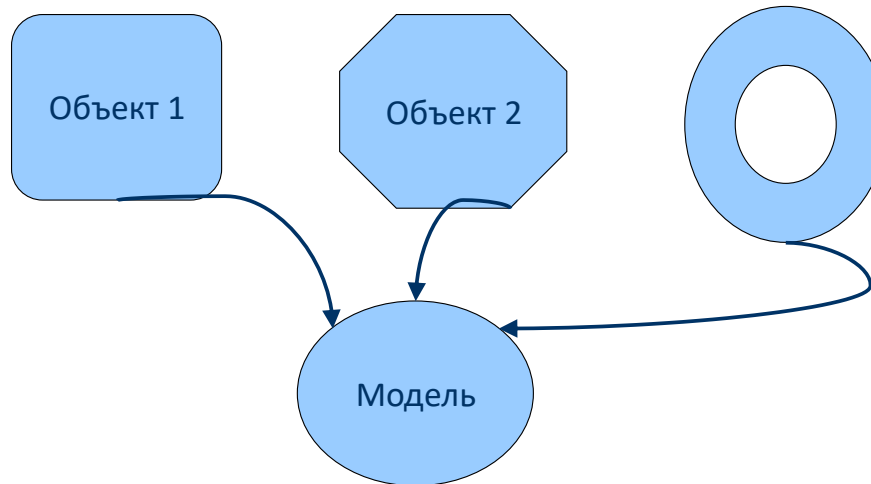


Однако, если потребуется сделать расчет скорости запуска спутника с Земли классическая модель Земли в виде сферического твёрдого тела будет достаточной, только придётся изменить набор параметров: Теперь ее форма и строение не так уж важны. В этом случае важными параметрами будут только лишь ее масса и географическое положение космодрома.

**Аналогичных примеров ситуативного применения той или иной модели очень много.**

Выбор  
моделей  
зависит от  
окружения

Обратное утверждение тоже верно: одна и та же модель, зачастую оказывается пригодной и для описания явлений из совершенно разных областей знания.



Одну и ту же модель можно применять к разным объектам, если они находятся в сходной внешней обстановке

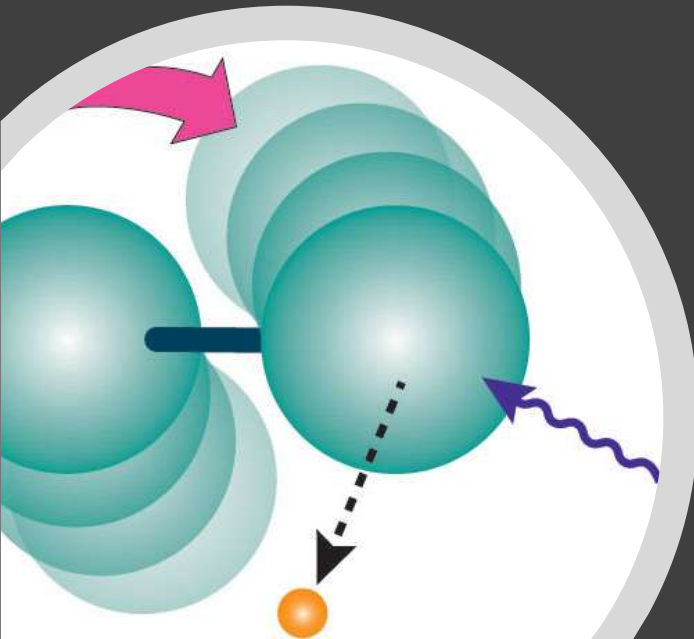
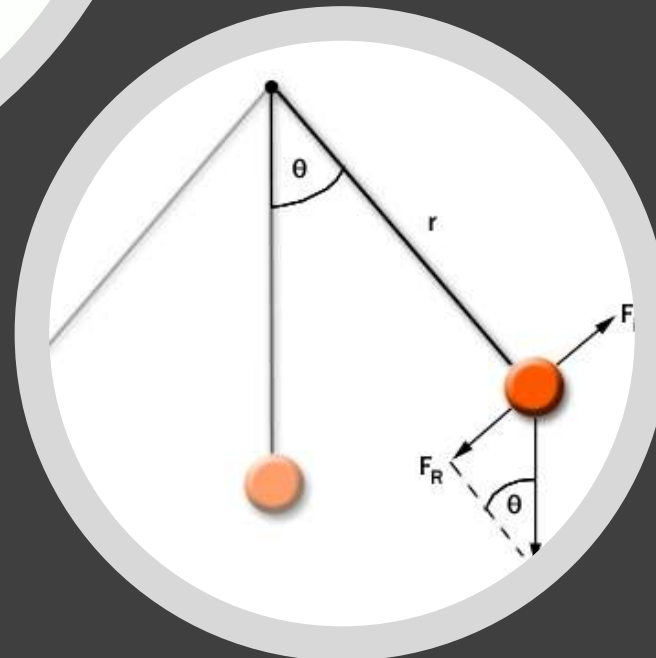
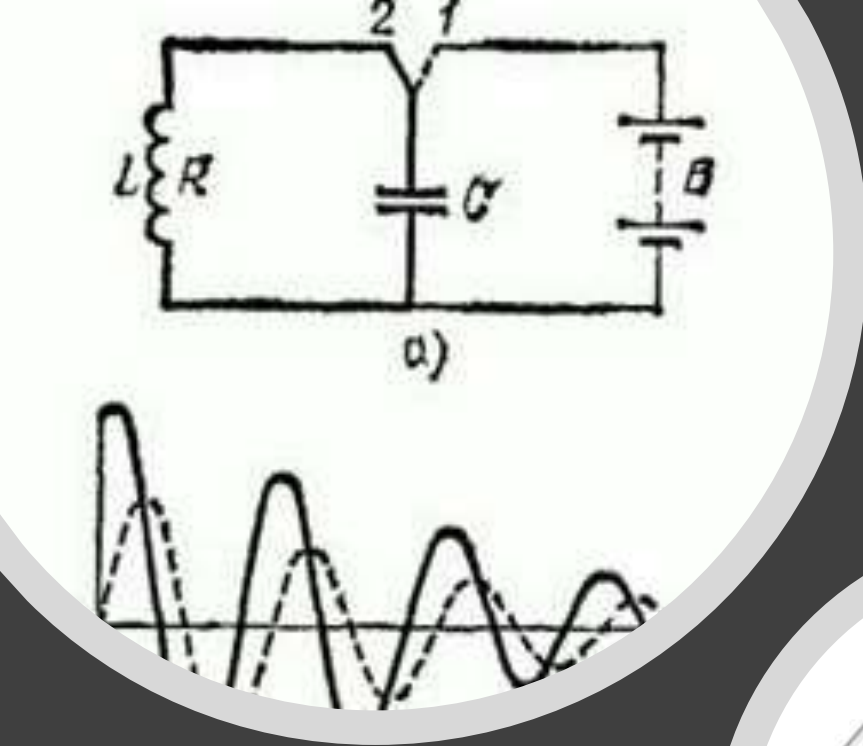
# Пример:

Модель осциллятора пригодна для описания механических колебаний, колебаний в электромагнитном контуре, для внутримолекулярных колебаний и т.д.

Это связано с тем, что данные объекты, несмотря на то, что имеют разную физическую природу, находятся под влиянием внешнего воздействия, описываемого одинаковым по своему виду законом силы:

$$F = -kx$$

(чем больше отклонение характеристик от начальных значений, тем больше квазिवозвращающая сила)



*Осциллятор – модель для описания системы, характеристики которой периодически изменяются со временем*

# Единство подходов к моделированию в физике, химии, биологии

Множество научных моделей следует упорядочить наподобие того, как упорядочены взаимодействия в физике. Среди них также можно выделить наиболее простые (базовые, первичные) модели. Их называют **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМИ** моделями. Как правило, их немного.

✓ **Фундаментальная модель**  
– это простейшая модель, которая применима к наибольшему числу разнообразных объектов

На их основе путём комбинации или обобщения строятся более сложные - **НЕФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ** (производные) модели. Их количество всегда значительно больше



# Единство подходов к моделированию в физике, химии, биологии

В классической и неклассической версиях естественнонаучной картины мира используются принципиально разные модели.

В химии и биологии также используется множество моделей (**молекула, вещество, реакция, клетка, ген, организм, популяция и т.д.**) - все они неравнозначны по критерию фундаментальности, сложности и наличию аналогов в предметном мире.

# Классическая версия ЕНКМ

**Классические модели** (многие известны вам из школы) всегда имеют аналоги в виде известных предметов, являющихся их прообразами (например, песчинки, пружины, маятника, твердого шарика, жидкости, газа и т.д.).

Поэтому легко вообразить себе такие модели физики как **частица** и **сплошная среда** благодаря их подобию с окружающим миром – это всё фундаментальные модели.





# Неклассическая версия ЕНКМ

---

Модели неклассической версии ЕНКМ (**неклассические модели**) не имеют аналогов в виде известных предметов и тел. Они имеют характер абстрактных понятий типа «**состояние объекта**», «чёрный ящик», их трудно представить наглядно, визуально. Чаще всего они описываются текстуально.

Все они лежат за рамками школьных учебников, однако вам предстоит с ними познакомиться.

# Концепция моделирования

---

1. Все наше теоретическое знание о природе сводится к построению мысленных образов изучаемых объектов - моделей. Это способ изучения мира.

---

2. Выбор той или иной модели объекта зависят от конкретных условий, в которых он находится, т.е. от его окружения.

---

3. Модели делятся на ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ (базовые) и НЕФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ (производные) модели.

---

4. Модель, как правило, существенно отличается от своего прообраза, поэтому их нельзя отождествлять.

---

5. Особенности ЕН моделей:

объективность, количественные характеристики, математический формализм, доказательность, универсальность, эвристичность.