

# Границы применимости классической механики

Классическую механику часто называют **НЬЮТОНОВСКОЙ** механикой. Ньютон обобщил работы Кеплера, открытый Галилеем закон инерции и сформулировал кратко три основных закона. Ньютон говорил «...Я излагал начала принятые математиками и подтвержденные многочисленными опытами...». Классическая механика является частным случаем квантовой механики .

Классическая механика **применима для относительно больших масс, движущихся с относительно малыми скоростями**. Как мы говорили **МТ** называется тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи. **МТ** имеют массу, но не имеют размеров.

# Границы применимости квантовой механики

Факт состоит в том, что точные границы применимости квантовой механики до сих пор так и не определены. О границах применимости квантовой теории писал еще Нильс Бор[1] Он пришел к выводу о возможной экстраполяции принципа неопределенности на макрообъекты, то есть о возможном воздействии наблюдателя и на объекты макромира:

[1] Niels Bohr Collected Works 13-Volume Limited Edition Set, General Editor, Finn Aaserud; ISBN 978-0-444-53286-2 Volume 12. Popularization and People (1911-1962)

# Границы применимости квантовой механики

Бор оставил открытым вопрос о границе между микроскопической квантовой системой и макроскопическим прибором и наблюдателем, но это не обесценивает его утверждения о принципиальном различии между теорией квантовых объектов, описываемых уравнением Шредингера, и классических объектов, к которым уравнение Шредингера неприменимо. Необходимо подчеркнуть, что понятие квантового и классического объекта не следует связывать с геометрическими размерами. По утверждению Бора, эта связь отражает лишь исторические обстоятельства возникновения квантовой механики при анализе явлений в микроскопических физических системах.

# Факультативно : Размер атома

Экспериментально установлено, что в условиях Галактики существуют атомы углерода с  $n \sim 1000$ , атомным радиусом  $r \sim 0.1$  мм и длиной волны перехода между двумя возбужденными уровнями  $\lambda \sim 18$  м [2]. Следовательно, обсуждаемая граница не имеет объективного характера и существует не в объективном мире, а лишь в физической модели, которой описывается этот мир

[2] Е. М. Гершензон. Исследование одиночных атомов. Соросовский образовательный журнал, № 1, 1995. с. 116-123

# Сила и Масса

**Сила** – векторная величина, характеризующая воздействие на данное тело. Результат воздействия приводит к появлению ускорения определяемого в соответствии со 2-м законом Ньютона. Если много сил? Равнодействующая находится по правилу сложения векторов.

**Масса** в законе Ньютона возникает как **коэффициент который является количественной мерой инертности** – тело с большей массой более инертно. В Международной системе единиц СИ (у нас введена с 1982 года), единица измерения массы – 1 кг. Масса земли  $M_3 \sim 6 \cdot 10^{27}$  кг.  $M_c \sim 2 \cdot 10^{33}$  кг. **Килограмм** – это масса цилиндра платино-иридиевого эталона (на который могут прилипнуть или отделяться молекулы), хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре (близ Парижа). Материал выбран с идеей минимального взаимодействия эталона с окружающей средой (инертности, отсутствие окисления, сорбции и тд). **Будем полагать инертную и гравитационную массы равными.** **Вес** численная величина силы тяжести, действующей на тело вблизи поверхности земли:  $F=mg$  (или сила с которой покоящееся тело действует на другое тело, удерживая его от падения). Измеряется в единицах силы.



## **Факультативно : Для создания нового эталона килограмма пересчитаем атомы в сфере?**

Предполагается что новый эталон килограмма, будет основан на использовании числа Авогадро. Число Авогадро определяет, сколько атомов содержится в одном моле любого вещества ( с высокой точностью оно не определено). Так как масса моля в граммах равняется массе молекулы (атома) в атомных единицах массы, то, если установить значение числа Авогадро с высокой точностью, то килограмм будет определен как совокупность определенного числа атомов.

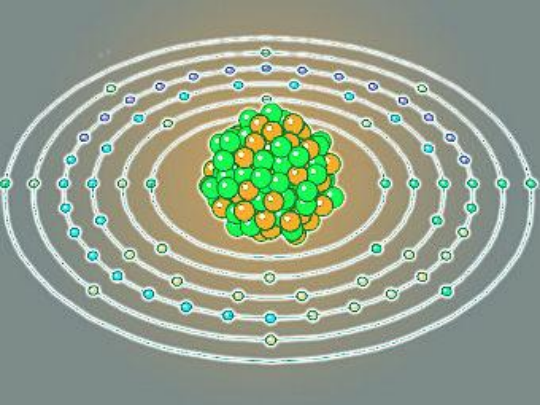
Исследователи создали две кремниевые сферы (очищены до 99,99 % кремния-28, те без 29 изотопа которого обычно около 8 %) и определили точное число атомов в них. Известно расстояние между отдельными атомами, так что они могут, зная объем сфер, подсчитать их точное число. Поверхность шара тщательно отполирована - этот процесс занял два года . Почему кремний – думаю твердый и легко шлифовать.  $\text{SiO}_2$ ?

# Международная система единиц - СИ.

К **основным** единицам в механики относятся : длина – **метр** (м), единица массы – **килограмм** (кг) и единица времени – **секунда** (с). Все другие механические единицы выражаются через основные и поэтому называются производными единицами.

В частности, единица силы в СИ, названная в честь И. Ньютона **Ньютоном** (Н). 1 Н равен силе, под действием которой тело массой 1 кг получает ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ .

Потом будут еще 4: сила тока – **ампер** (А); температура – **кельвин** (К); сила света – **кандела** (кд); количество вещества- **моль** (моль). Реально до сих пор даже в физических журналах используются разные системы (СГС).



# Определение секунды и метра.

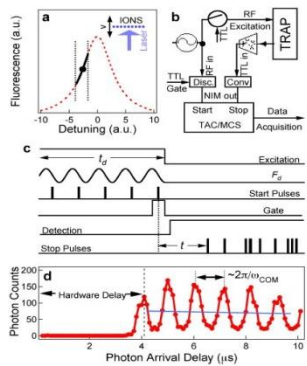
**Секунда** – это промежуток времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний электромагнитного излучения, соответствующего переходу между двумя определенными сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия - 133. Секунда приблизительно равна  $1/86400$  средних солнечных суток.

**Метр** – это длина, равная 1 650 763,73 длин волн в вакууме оранжевой линии атома криптона-86. Метр приблизительно равен  $1/40\,000\,000$  доле длины земного меридиана.



Факультативно :

## Самая маленькая сила – йоктоньютон



поиманные в магнитную ловушку Пеннинга ионы бериллия (прибор, в котором ионы удерживаются двумерном пространстве сильным магнитным полем, а в третьем измерении - слабым электростатическим полем) могут служить чрезвычайно чувствительным детектором. С их помощью измерили крошечное значение силы в **174 йоктоньютон** ( **$174 \times 10^{-24}$  ньютона**), побив прежний рекорд ( $10^{-18}$  Н - аттоньютон). В ловушку было поймано 60 ионов бериллия при низкой температуре для исключения теплового движения. Движение в поле с нанометровыми амплитудами, определяется по отражению лазера от ионов и измеряется по доплеровскому смещению частоты света. Способность определять маленькие значения сил очень важна при проверке физических явлений. <http://arxiv.org/abs/1004.0780>

# Первый закон Ньютона.

- Все законы Ньютона возникли на основе обобщения множества опытных фактов.
- **Первый закон Ньютона** формулируется следующим образом: всякая **МТ** находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.
- В обоих состояниях (до действия других тел) ускорение равно нулю, поэтому можно сказать так: **скорость МТ остается постоянной  $V = \text{const}$  (в частности, равной нулю), пока воздействие на нее со стороны других тел не вызовет ее изменения.**

**Посмотрим еще раз тележку!**

# Первый закон Ньютона

- Покой и равномерное и прямолинейное движение есть одно и то же.
- Только сила может изменить состояния покоя или прямолинейного движения.
- Способность тел сохранять свою скорость при отсутствии воздействия называется **инерцией** тел, а сам закон часто называют **законом инерции**.

Примеры: выбивание пластины из под шарика, выдергивание бумаги из под колбы, человек в метро, ломание сосновой дощечки в бумажных кольцах из ватмана (аналог перелом шейных позвонков при аварии или разрубание каратистами кирпичей руками), обрывание нити под гирей, цепь шариков с пружинками

# Инерциальные системы отсчета.

Система отсчета, в которой выполняется первый закон Ньютона, **называется инерциальной**. Установить инерциальна система или нет может только опыт. Но ни один опыт не может со 100% гарантией подтвердить это. Система отсчета, связанная с Землей, строго говоря инерциальной не является из-за вращения Земли как вокруг собственной оси, так и вокруг Солнца. Можно считать инерциальной **гелиоцентрическую систему** отсчета (начало совмещено с центром Солнца (гелиос), а оси направлены на неподвижные звезды). Любая система отсчета, которая движется относительно инерциальной равномерно и прямолинейно тоже является инерциальной .

# Второй закон Ньютона

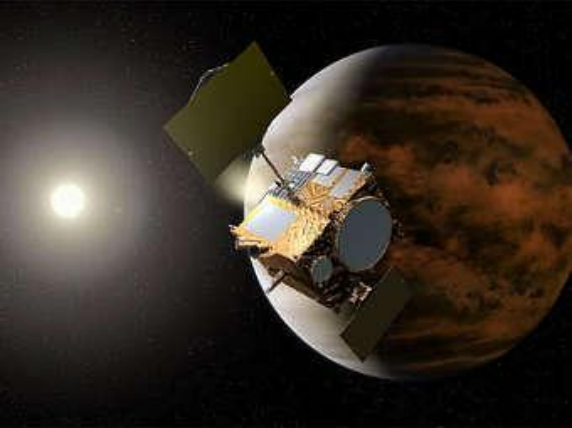
**Импульсом** тела (по Ньютону количеством движения) называется произведение его массы на скорость:  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ .

Согласно **второму закону Ньютона**: скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на нее силе:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{F}$$

В рамках классической механики можно учесть, что  $m = \text{const}$  и получить более простое соотношение:

$$\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a} = \mathbf{F}$$



## Факультативно - Что есть даже у фотона ?

Космический парус (подобно парусу корабля) в состоянии улавливать **импульс фотонов** и обеспечивать движение на Солнечной стороне.

Аппарат для изучения Венеры Акацуки (-в переводе с японского "рассвет") предназначен для исследования климата, атмосферы и поверхности планеты проведет на орбите не менее двух лет. Спутник с солнечным парусом, названный Ikaros (Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation of the Sun - межпланетный парусный аппарат, движущийся за счет солнечного излучения) после Венеры отправится дальше по направлению к Солнцу.

Парус - квадратный фрагмент тонкой мембраны с диагональю 20 метров. Цель Ikaros - изучить особенности движения аппаратов при помощи солнечного ветра. Ранее аппараты с солнечным парусом в околоземном пространстве летали и задачей-максимум было открыть парус (во время запуска находится в свернутом виде).

# Второй закон Ньютона

- Масса величина скалярная. Поэтому в механике Ньютона направление ускорения определяется направлением приложенной силы.
- $m_1/m_2 = a_2/a_1$  под действием одной и той же силы
- При малых скоростях  $m = \text{const}$ . При  $V \sim c = 3 \cdot 10^8$  м/с нет! Т. е. в общем случае еще есть член  $\mathbf{v}dm/dt$  и направление  $\mathbf{F}$  не по направлению  $\mathbf{a}$
- Годен только для материальной точки
- Нет упоминания о других телах (см 3-й закон)
- Если тел много – применяем 2-й закон к каждому

# Уравнением движения МТ.

Уравнение  $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$  называется **уравнением движения**.  
При решении конкретных задач, когда требуется перейти от векторной записи уравнений к их скалярной форме важно помнить, что одно векторное уравнение эквивалентно трем скалярным уравнениям:

$$m\ddot{x} = F_x,$$

$$m\ddot{y} = F_y,$$

$$m\ddot{z} = F_z.$$



## О современных проверках 2-го закона Ньютона.

Специалисты проверили его в очередной раз и утверждают, что он выполняется для совсем ничтожных ускорений, то есть для  $5 \cdot 10^{-14} \text{ м/с}^2$ . Исследование провели физики из Вашингтонского университета с помощью крутильного маятника с большим периодом колебаний. Они определяли частоту вращения маятника при различных значениях амплитуды.

Опять посмотрим на тележку! Имеем только  $F=mg$  и чтобы изменить  $a=F/m=g \sin \alpha$  можем менять только  $\alpha$ .

# Третий закон Ньютона

Согласно **третьему закону Ньютона**: силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по величине, противоположны по направлению и приложены к разным телам:

$$F_{12} = -F_{21},$$

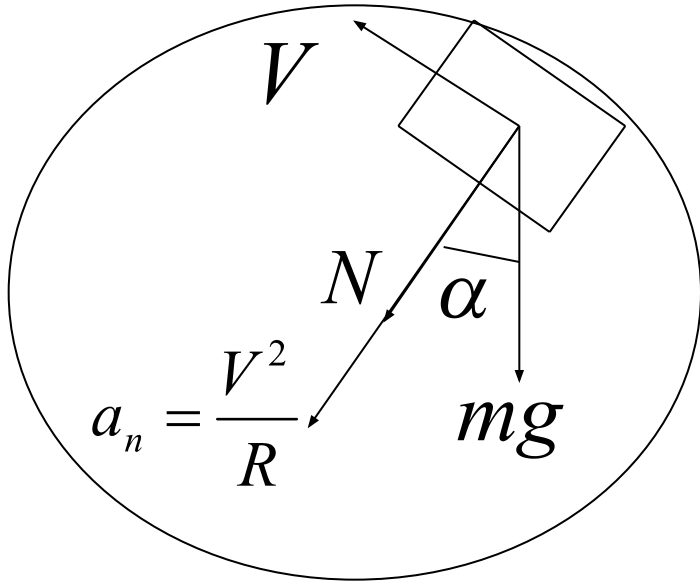
где  $F_{12}$  - сила, действующая на первое тело со стороны второго;

$F_{21}$  - сила, действующая на второе тело со стороны первого.

В ньютоновской механике скорости частиц обычно очень малы, поэтому с достаточной степенью точности используется представление о мгновенном распространении взаимодействий - **принципом дальнего действия** ньютоновской механики. **На самом деле 3-й закон выполняется не всегда**. Верен когда взаимодействие осуществляется без посредников. Т.е. если нить не весома и нерастяжима то О.К., а например, элек.-маг. поле распространяется со скоростью света и силы в один и тот же момент могут быть не равны.

**И опять две тележки и грузики на пружинках**

# Мертвая петля



$$V < V_R$$

$$V = V_R$$

$$V > V_R$$

$$v = \text{const}$$

$$a_\tau = 0$$

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

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

$$N = 0$$

$$g\cos\alpha = \frac{v^2}{R}$$

$$\alpha = 0$$

$$g = \frac{v^2}{R} = a_n$$

# Фундаментальные взаимодействия

- Взаимодействия называются фундаментальными, если все другие взаимодействия и силы сводятся именно к ним: **гравитационное, электрослабое ( слабое + электромагнитное) и сильное**
- 1. **Гравитационное:** Работает в том числе и для космических тел. **Радиус действия не ограничен. Очень слабое и составляет примерно  $10^{-40}$  от сильного.** Нет преград и не возможна экранировка.....хотя 22% аварий в новолуние ! Квантовой теории гравитационного взаимодействия не существует, поэтому рассуждать о его переносчиках бессмысленно. Несмотря на несомненные заслуги Улугбека, Галилея, Гука, Ньютона, Эйнштейна и других в развитии гравитации, никто по прошествии 343 лет так еще и не обнаружил распространяющихся гравитационных волн (вследствие чрезвычайно малой интенсивности и слабого взаимодействия с веществом). Т.е. как данное взаимодействие конкретно осуществляется не ясно. Эксперименты по определению гравитационной постоянной продолжаются .

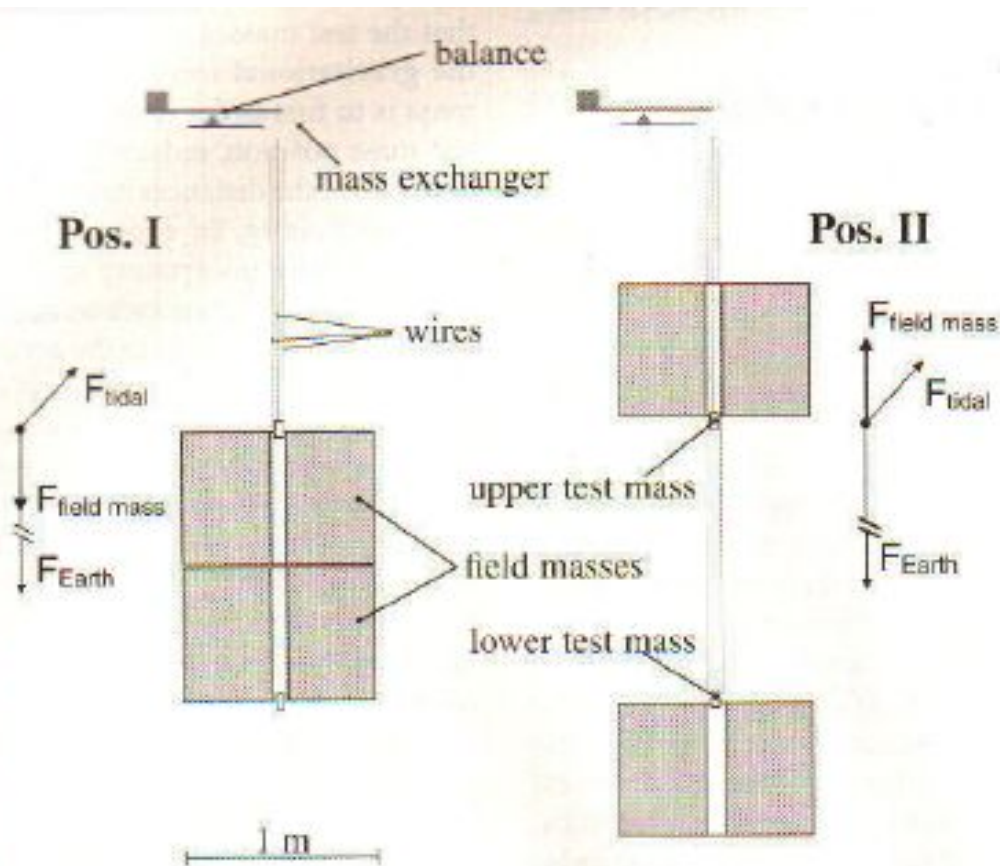
# Закон всемирного тяготения

**Закона всемирного тяготения:** две материальные точки притягивают друг друга с силой, пропорциональной массам этих точек и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

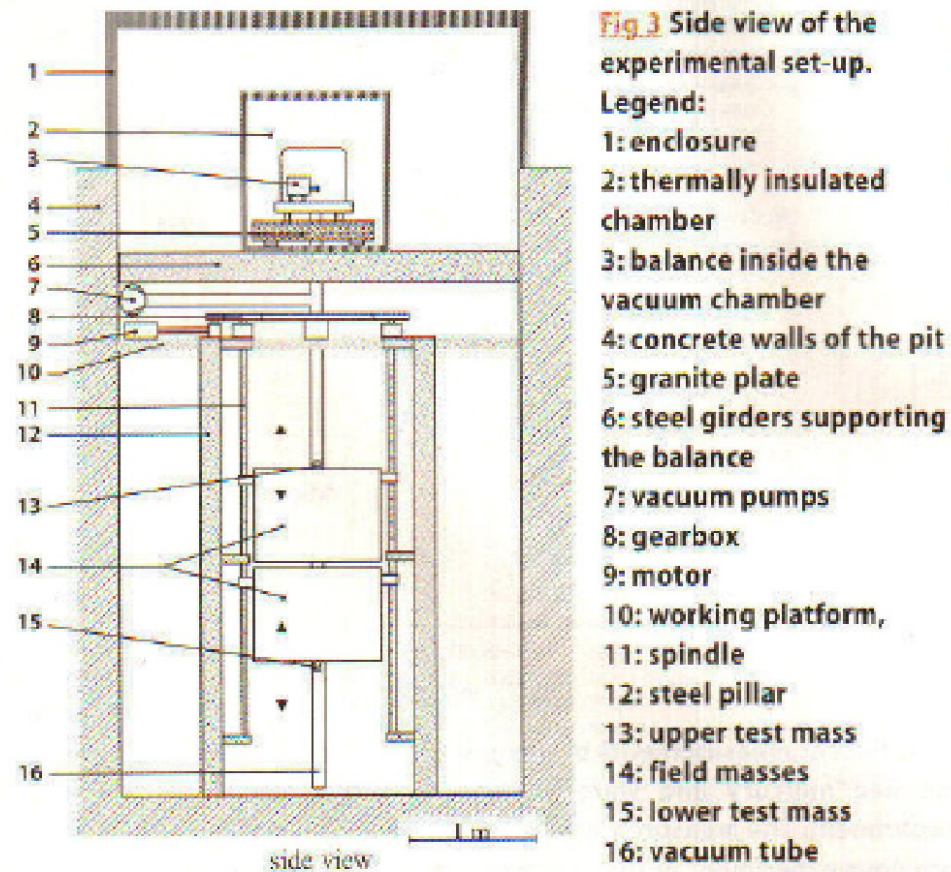
$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

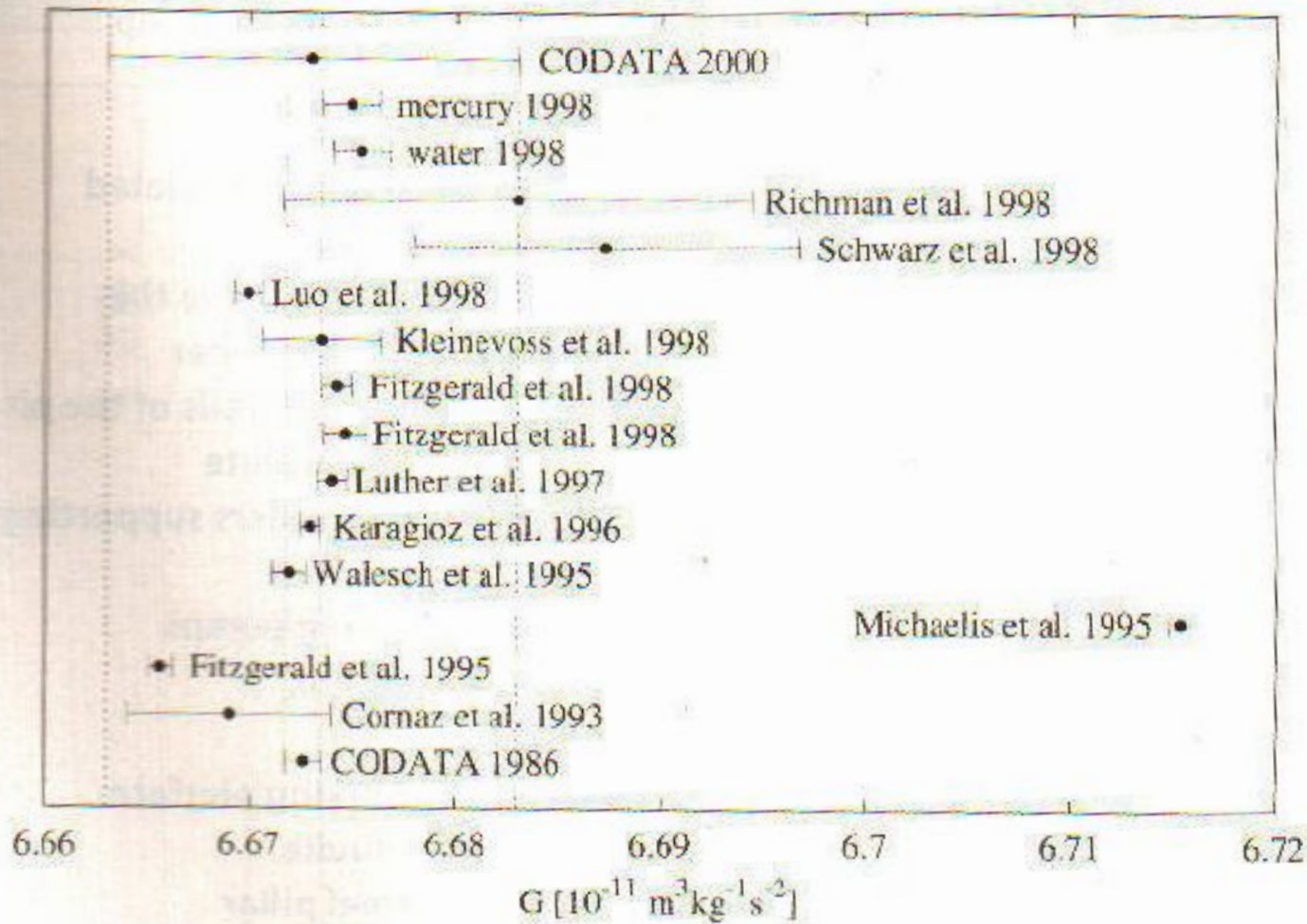
где коэффициент пропорциональности  $G = 6,66-6.72 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$  ( $\text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$ ) называется гравитационной постоянной.  $G$  равна силе взаимодействия между шарами с массой по 1 кг, расположенными на расстоянии 1 м между их центрами (первым вычислил Кавендиш в 1798 г.) В пределах ошибки измерений различий между  $m_u$  и  $m_g$  не обнаружено. Мы будем говорить просто о массе тел (опуская индексы «инертная» или «гравитационная»), которая реально является и мерой инертных и гравитационных свойств тела.

# Факультативно



**Fig 2** Schematic view of the mass arrangement. The test masses are alternately connected to the balance by means of the "mass exchanger" and their weight difference is determined. The field masses are moved between the two positions I and II. The forces on the upper test mass due to the Earth, the field masses and tidal forces are plotted for the two field-mass positions on the left and right of the figure.





**Fig 1** Recent measurements of the gravitational constant. The data points labelled "mercury" and "water" are the preliminary results from our experiment. The measurement made by Cornaz et al. is a result from our previous experiment at the Gigerwald storage lake, and the point labelled "CODATA 2000" is the presently accepted value.

# Невесомость

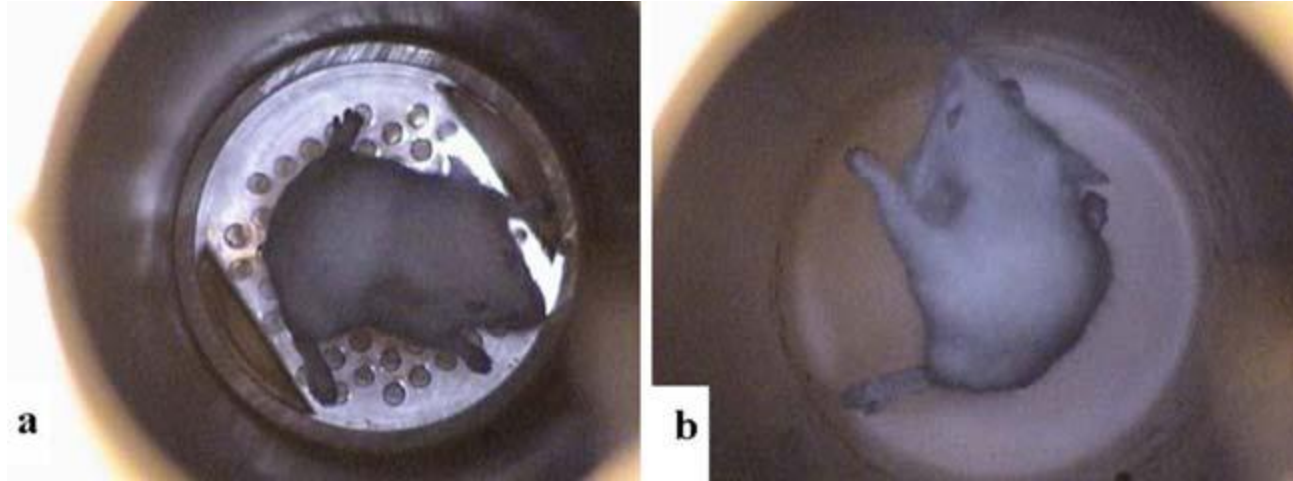
- **Невесомость** - движение только под действием силы тяжести  $F=mg$ . Что мешает ? Опора! Нужно, чтобы сила взаимодействия с опорой отсутствовала. У пола  $a=0$ ! В скоростном лифте пол убегает от нас с ускорением  $a < g$  и возникает промежуточное состояние и некоторое чувство легкости (потери веса).
- Ну а если бы трос лифта оборвался и лифт начал падать с ускорением  $a \sim g$ , то предмет в лифте (не студент конечно!) перестал бы испытывать силу реакции опоры со стороны пола лифта. Вес предмета равен нулю и невесомость.

**опыты Любимова (пружина и маятник)!**

**В аудитории есть парашютисты?** Состояние невесомости можно ощутить в начальный момент свободного падения тела в атмосфере, когда сопротивление воздуха ещё невелико.



# Мышь в невесомости



- Ученые заставили парить несколько часов в сильном магнитном поле не только крупные капли воды (диаметром 5 сантиметров) и других жидкостей, но и мышонка. Грызун остался жив и невредим. Исследования в новом магнитном левитаторе помогут разобраться, как на космонавтов действует нулевая гравитация. Это первое млекопитающее, которое несколько часов удерживала в воздухе сила магнитного поля. Ученые уже раньше запускали в полет с помощью магнитного поля ягоды (клубники) и лягушек

# Факультативно: Мышь в невесомости

- Магнитное поле воздействует на движение электронов в молекулах воды, содержащихся в объектах, которые, в свою очередь, производят магнитное поле, направленное в противоположную сторону внешнему магнитному полю. В результате сила отталкивания достигает величины, которая позволяет преодолеть гравитационное притяжение. В зазоре 66 мм сверхпроводящий соленоид создавал поле 17 Тесла ( в десять миллионов раз больше магнитного поля Земли). На содержащий воду объект в приборе действует противоположно направленное магнитное поле с силой, в два раза большей, чем сила земной гравитации. В центре прибора эта сила сравнивается с силой земного притяжения и создает нулевую гравитацию. Мышь весом в 10 гр. в немагнитной клетке могла питаться и пить воду.
- Исследование левитации мышей позволит изучить влияние состояние невесомости на человека, объяснить потерю мышечной и костной массы и изменения в потоке крови. В самолетах создается состояние невесомости ( или на МКС), он более дешевый и может работать сколь угодно долго. Крысы не получили никаких повреждений при воздействии 9.4 Т.

# Гравитация

- Если не материальные точки то берем во 2-м теле одну частицу и считаем для нее равнодействующую сил притяжения со стороны всех частиц первого. Потом для всех остальных частиц 2-го тела
- Легко оценить что студент и студентка сидя на расстоянии 1м притягиваются с силой  $\sim 10^{-8} - 10^{-9}$  Н
- Вследствие неоднородности строения Земли  $g$  зависит не только от широты . Гравитационная разведка полезных ископаемых
- $g$  - зависит от высоты

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

Кто сидит ближе к лектору чувствует себя тяжелее.

- $g$  – уменьшается на 0.2% от полюсов к экватору так как Земля сплюснута (от полюсов до центра на 21 км меньше чем от экватора).
- На Луне в 6 раз меньше
- На высоте 350 километров (высота нахождения станции) ускорение свободного падения имеет значение 8,8 м/с<sup>2</sup>, что всего лишь на 10 % меньше, чем на поверхности Земли

# Спутники и космические снаряды

- При малой начальной скорости  $V < V_{кр} = R \sqrt{\frac{g}{(R + h)}}$

траектории снарядов это **отрезки эллипсов**. Не только ракеты но такие электромагнитные пушки есть уже достигнуто около 6 км/с. При попадании 1-я пластина испаряется, 2-я раскалывается, 3-я падает.

- При  $V_1 = V_{кр} = 7.93$  км/с . Это первая космическая скорость и траектория окружность, а снаряд спутник Земли

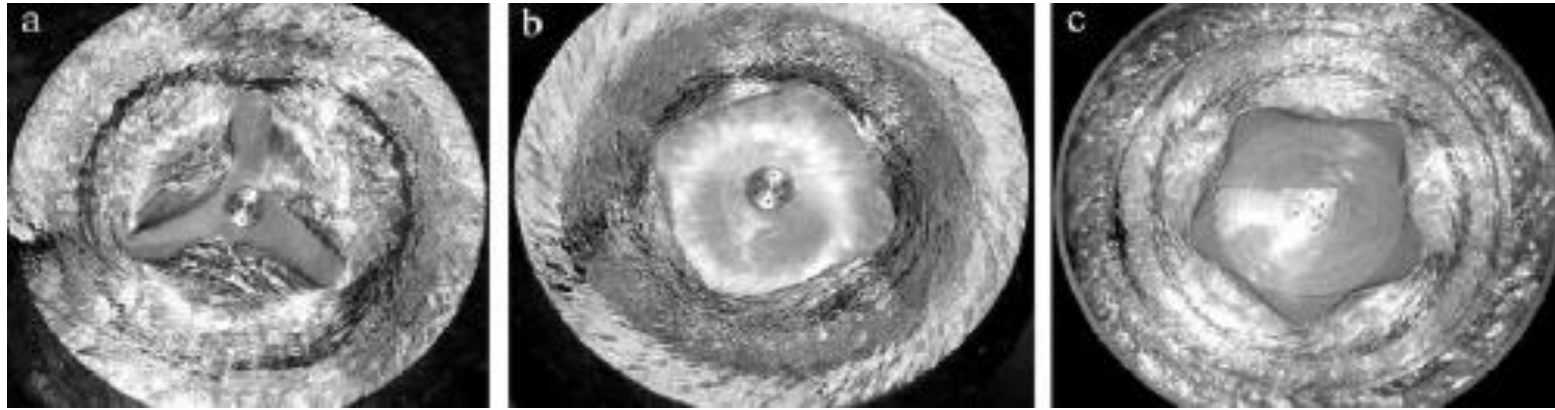
- $V > V_{кр} < V_{II} = R \sqrt{\frac{2g}{(R + h)}}$  траектория эллипс с фокусом в центре Земли. На Луне эти скорости меньше

- $V > V_{II} = 11.2$  км/с – при скорости более пороговой тело никогда не вернется на землю . Это вторая космическая скорость. Все это пока без учета Солнца и других планет

- Чтобы покинуть пределы Солнечной системы  $V_3 \sim 16.7$  км/с

## Факультативно : Ведро Ньютона вращалось на веревке

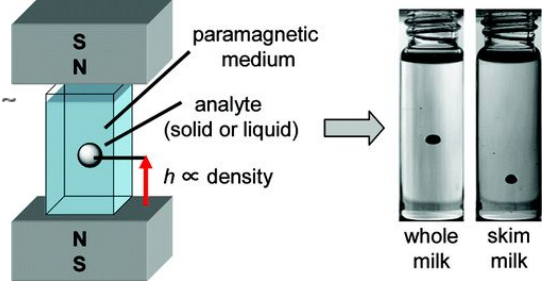
Что произойдет, если стенки ведра не двигаются, крутится только дно?  
Ведро (диаметром в 20 сантиметров) с вращающимся дном из плексигласа наполнили водой и начал быстро вращать его дно



В зависимости от вязкости и скорости на поверхности появляются различные вращающиеся многоугольники, даже шестиугольники!

**Вращающиеся потоки в океанах и атмосферы Земли**

**– вихри и торнадо но уже не в ведре!!!**



Левитирующая субстанция в контейнере с раствором из ионов гадолиния  $Gd^{3+}$  в магнитном датчике.

## Факультативно : Изучить пищу и напитки с помощью магнитной левитации

Новый датчик позволит измерять плотность различных субстанций, что очень важно в пищевой промышленности, медицине и других областях. По измерению плотности, например, можно судить о содержании сахара в безалкогольных напитках, спирта в вине, солености воды. Новый датчик, размером с кубик льда, это контейнера с парамагнитной жидкостью на торцах которого размещены магниты NdFeB. Твердые или жидкие образцы помещают в парамагнитный раствор (например, с ионами гадолиния), и они начинают левитировать, когда действующая на них сила гравитации уравнивается магнитной (произведенной магнитной средой при наложении магнитного поля). По расстоянию, на которое образец перемещается внутри жидкости, можно судить о его плотности. Показано, что такой прибор может быстро оценить соленость образцов воды и относительно содержание жира в разных видах молока, сыра, арахисового масла, оценить применимости воды для питья или ирригации. Датчик можно использовать для анализа разных веществ – твердых и жидких, коллоидных растворов, гелей и паст, а также для химически однородных и сложных по форме материалов разного объема. Метод очень чувствительный – в зависимости от условий эксперимента измеряет разницу от  $\pm 0.02$  до  $\pm 0.0002$  g/cm. L. Katherine et al., J. Agric. Food Chem., 2010, 58 (11), pp 6565–6569

# Фундаментальные взаимодействия.

2. **Электромагнитное:** Радиус действия неограничен, или, как говорят, радиус действия стремится к бесконечности:  $r \rightarrow \infty$ . **Силы трения, упругости и наших мышц.** Взаимодействия передаваемые посредством поля со скоростью  $c$  и следовательно **концепция близкодействия.** Переносчиком является фотон
3. **Слабое:** Такое же короткодействующее, как и сильное, но **составляет от него примерно  $10^{-15}$**  и, например, отвечает за все виды  $\beta$ -распада ядер (спонтанный процесс превращения нейтрона в протон, электрон и антинейтрино). **Если его выключить погаснет Солнце** (4 протона превращаются в  ${}^4\text{He}$ ). Гораздо сильнее гравитационного. **Отвечает за распад радиоактивных элементов.** Его переносчиком (в квантовой физике у каждого взаимодействия есть переносчик) являются так называемые  $Z$  и  $W$  бозоны.

# Фундаментальные взаимодействия

- 30-х годов прошлого века физики оперировали понятиями лишь гравитационного и электромагнитного взаимодействий, с помощью которых невозможно было описать, например, сложную структуру атомных ядер, хотя открытие рентгеновских лучей, радиоактивности и электрона было сделано в 1895-1897 годах. А то, что слабое и электромагнитное взаимодействия являются лишь проявлениями **электрослабого** взаимодействия, было показано лишь в 1957-1967 годах.



# Нобелевскую премию по физике 2008 год

## Факультативно

За изучение нарушения симметрии электрослабого взаимодействия была вручена Нобелевская премия Nambu, Kobayashi и Maskawa. Симметричные объекты легче поддаются изучению, упрощаются многие вычисления и проявляется в виде "законов сохранения" (conservation laws). Пример- закон сохранения энергии.

**Группа симметрии** состоит из преобразований, которые не меняют объектов и их взаимодействий. Представим себе вырезанный из бумаги квадрат. Положим его на другой лист и обведем по контуру карандашом. Будем поворачивать квадрат вокруг точки пересечения его диагоналей по часовой стрелке. Всего при четырех поворотах (на 0, 90, 180, и 270 градусов) квадрат окажется в нарисованной рамочке. В этом случае говорят, что фигура (в нашем случае квадрат) обладает группой симметрий  $Z_4$ .

# Нобелевскую премию по физике 2008 год

## Факультативно

В физических теориях роль квадрата исполняют физические процессы и объекты, а роль поворотов и переворотов – преобразования симметрии. В теории элементарных частиц существует три основных преобразования симметрии ( разрешается одновременно менять знак заряда всех частиц на противоположный (античастицы - антиэлектроном является позитрон), вместо системы брать ее зеркальный аналог, то есть менять все «право» на «лево» и менять направление тока времени на противоположное. Однако в 1956 установили, что, например, при  $\beta$ -распаде изотопа  $^{60}\text{Co}$  нарушается P-симметрия, то есть физическая суть процесса меняется. Во всем виноваты **кварки - составляющие атома**. Отдельно в природе они не встречаются – только в составе частиц. Каоны состоят из кварков и антикварков, которые из-за слабого взаимодействия постоянно меняются местами. Когда выполнены некоторые специальные условия один из видов кварков может "победить", нарушая симметрию. Эксперименты на адронном коллайдере - подтвердить Стандартную модель .

# Фундаментальные взаимодействия

**Сильное:** Это действительно самое сильное из четырех видов взаимодействия, **но радиус его действия очень мал и ограничивается размерами атомного ядра:  $r \sim 10^{-13}$  см.** Сильное взаимодействие просто **обеспечивает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов.** Это взаимодействие переносится глюонами.

- **Чем слабее взаимодействие тем оно медленнее.**
- Квантовая теория поля. Поле имеет не непрерывную, а дискретную структуру и каждому полю соответствуют частицы — кванты поля .

# Силы упругости

Упругие силы являются по своей природе электромагнитными.

**Деформацией** называют изменение размеров и формы тела под действием сил. Деформация может быть упругой или пластической.

**Упругой** называют деформацию, которая исчезает после прекращения действия вызывающих ее сил.

Если деформация не исчезает полностью после действия сил, то это **пластическая** деформация.

**Опыт с деформацией нескольких пружинок.**

**Тело движущееся с ускорением под влиянием приложенной силы деформировано.**

# Напряжение

**Напряжением  $\sigma$**  называется отношение силы к величине поверхности, на которую действует эта сила:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Напряжение называется **нормальным ( $\sigma$ )**, если сила перпендикулярна к поверхности, и **касательным (или тангенциальным  $\tau$ )**, если сила направлена по касательной к этой поверхности.

# Закон Гука.

Диаграмма растяжения: это зависимость между

напряжением  $\sigma$  и относительным удлинением  $\Delta l/l$ :

Точка А является *пределом пропорциональности*, точка В - предел *упругости*, точка С – предел текучести, и точка D – предел прочности.

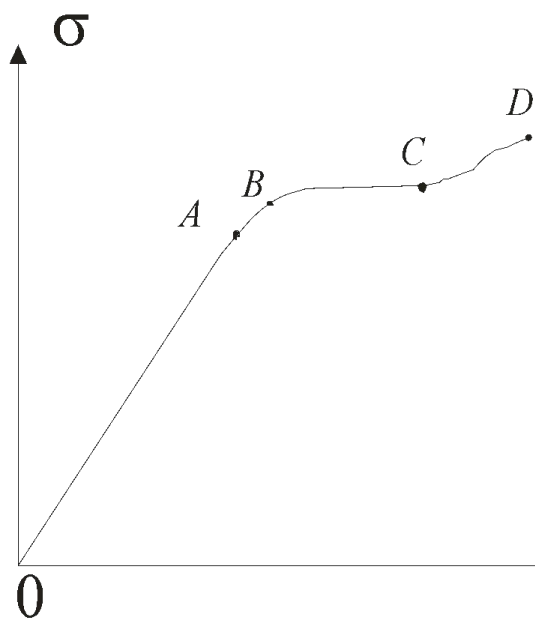


Рис. 11

$$\Delta l/l = \alpha \sigma - \text{Закон Гука}$$

$$F = \sigma S = \frac{S}{\alpha} \frac{\Delta l}{l}$$

$\alpha$  – коэффициент пропорциональности

$$F = -kx$$

**Закон Гука в любом виде справедлив только в пределах пропорциональности !**

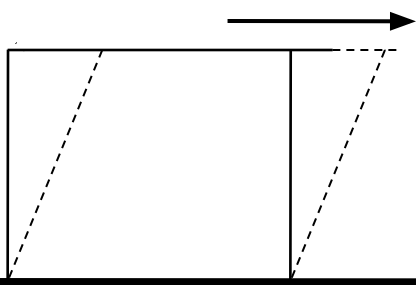
# Модуль Юнга

$$E = \frac{1}{\alpha} - \text{Модуль Юнга} \text{ или } F = ES \frac{\Delta l}{l}$$

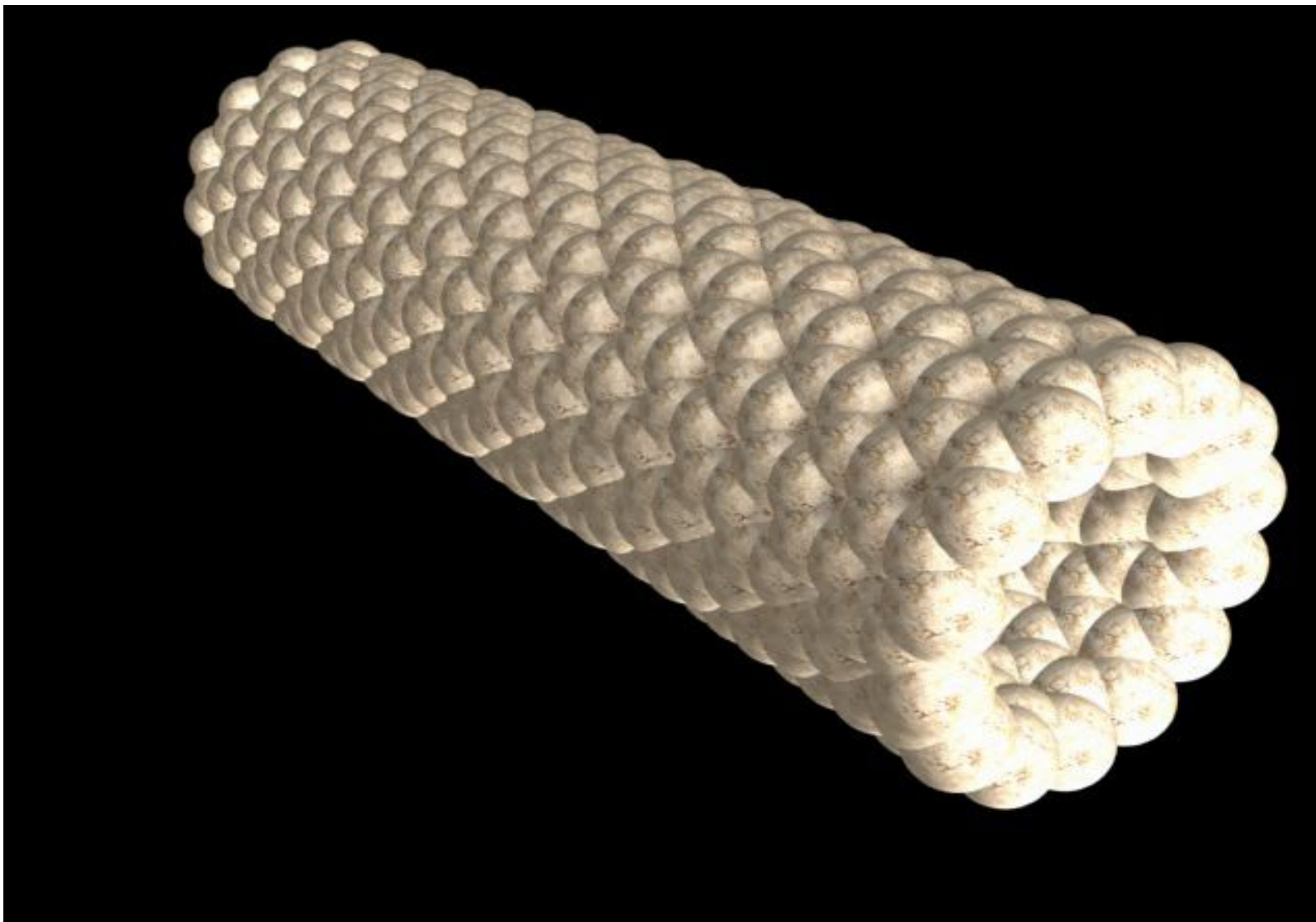
Измеряется модуль Юнга в паскалях:  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$

Физический смысл модуля Юнга: он равен такому нормальному напряжению, при котором относительное удлинение было бы равно единице. Существует много видов деформации (кручение, изгиб) но все виды деформации можно свести к двум: **растяжение-сжатие** и **сдвиг**.

Деформацию сдвига можно получить приложив тангенциальную силу к верхней поверхности лежащего бруска .



**Опыт с тремя пластинам Fe, Cu и Pb!**



Модуль Юнга углеродной нанотрубки почти в 10 раз  
больше чем у стали