Поля и взаимодействия

Лекция 01
Введение.
Откуда у Природы есть Силы?

Лектор: доцент,
ОЛЬЧАК Андрей Станиславович

Движение и силы

Механика (II закон Ньютона) ***объясняет***, как движутся объекты под действием сил: $m(dv/dt) = F$

Механика ***НЕ объясняет***: Какова природа этих сил?
Как они действуют?

Все разного рода силы, с которыми мы имели дело в механике, можно разделить на 2 категории:

1. ***Контактные силы***, природа действия которых ***кажется*** понятной: привели тела в контакт и они действуют друг на друга. Это:

- *Силы упругости (пружина действует на прикрепленный к ней груз)*
- *Сила Архимеда (газ или жидкость действуют на погруженное тело)*
- *Трение и сопротивление среды*
- *Реакция опоры и вес, ...*

. :

2. БЕЗ-контактные силы, действующие на отдалении. Это гравитация, электрические и магнитные силы. Их природа кажется менее понятной.

2. БЕЗ-контактные силы: гравитация, электрические и магнитные силы.

Загадка: как Земля «видит», где Солнце, к которому надо «притягиваться»? Как электрические заряды «чувствуют» присутствие друг-друга на удалении?
С точки зрения здравого смысла ***необходим*** «посредник», который поможет удаленным телам почувствовать присутствие друг-друга. Таким посредником может быть, например, ***среда*** в которую погружены оба взаимодействующих тела (*жидкость, газ, «эфир»*). А если среды никакой нет? Если между телами пустое пространство, как между планетами и звездами?

ВЕРСИЯ: тела, обладающие способностью взаимодействовать, испускают некую особую материю – «***силовое поле***», заполняющее все (пустое) пространство вокруг тела. Другие тела «чувствуют» именно это силовое поле.

ЗАДАЧА:: попробовать понять, как могут быть устроены такие силовые поля, сколько их разных типов может существовать в природе, причем понять, опираясь только на логику и самые общие представления об устройстве мироздания.

Силовые поля и заряды.

ЗАДАЧА:: понять, как могут быть устроены такие силовые поля, сколько их разных типов может существовать в природе, причем понять, опираясь только на логику и самые общие представления об устройстве мироздания.

Можно предложить, например, такую ***Модель взаимодействия на расстоянии***:

- Тело #1, способное действовать на другие определенного рода силой, порождает и заполняет пространство вокруг себя некой особой материей, которую мы будем называть «***силовое поле***».
- Тело #2, обладающее способностью «чувствовать» это силовое поле, ощущает его именно как силу, действующую в определенном направлении.
- По 3-му Закону Ньютона, если тело #1 действует на тело #2 с силой $\boldsymbol{F}$, то и тело #2 будет действовать на тело #1 с такой-же по величине, но противоположно направленной силой $-\boldsymbol{F}$. Это означает, что тело #2 тоже порождает силовое поле, а тело #1.его тоже «чувствует»
- Логическое следствие: способность «порождать» силовое поле и способность его «чувствовать» должны быть обе присущи обоим взаимодействующим телам!
- Можно сказать так: взаимодействующие тела оба обладают неким «***силовым зарядом***», дающим им как способность «порождать» ***силовое поле***, так и «чувствовать» поле, порожденное другим зарядом.

Силовые поля и заряды.

«С***иловой заряд***», или просто ***Заряд***: мера способности тела порождать и чувствовать силовое поле определенного рода. Заряд, обычно обозначаемый Q или q - величина, измеряемая количественно. Чем больше заряды взаимодействующих тел, тем больше сила их взаимодействия

Каждому роду без-контактных сил взаимодействия соответствует свой род заряда и свое силовое поле.

Силы гравитации -> гравитационное поле -> гравитационный заряд

Электрические силы -> электрическое поле -> электрический заряд,

… пока это все, что мы знаем из школьного курса, но физика им не исчерпывается……..

ЗАДАЧА:: не обращаясь к экспериментальным данным попробовать понять, как могут быть устроены силы, действующие через посредство силовых полей, опираясь на здравый смысл, логику и общие представления об устройстве мироздания. Когда получим какой-то результат – сравним его с наблюдаемыми фактами и решим, можно ли использовать модель силовых полей на практике, или надо искать иные подходы….

Силовые поля и заряды.

Заряд,: обычно обозначаемый Q или q - мера способности тела порождать и чувствовать силовое поле определенного рода. Чем больше заряды взаимодействующих тел, тем больше сила их взаимодействия .

ЗАДАЧА:: не обращаясь к опытным данным попробовать понять, как могут быть устроены силы, действующие через посредство силовых полей, опираясь только на здравый смысл, логику и общие представления об устройстве мироздания.

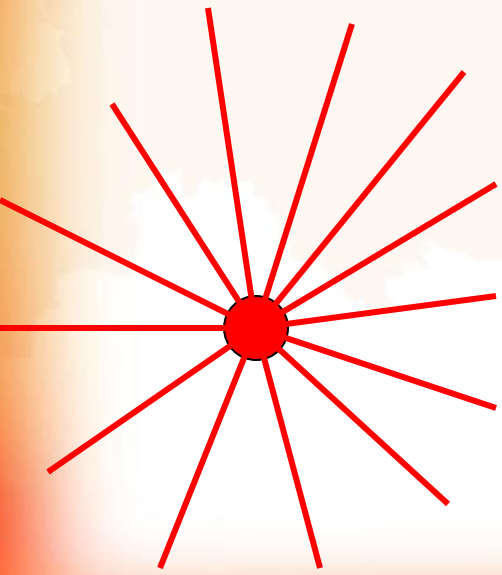
1. Рассмотрим взаимодействие 2=х заряженных ***материальных точек***. Сила их взаимодействия, очевидно, может зависеть только от величины зарядов Q_1 , Q_2 и расстояния между ними r: $F= F(Q_1, Q_2, r)$. Других параметров просто нет...

2. Заряды Q_1 и Q_2 логически обязаны участвовать в выражении для силы симметрично. Например, так: $F = Q_1Q_2f(r) = E_1Q_2 = Q_1E_2$

$E_{1,2} = Q_{1,2}f(r)$. – можно рассматривать как ***интенсивности силовых полей***, порождаемых 1-м и 2-м зарядами. $f(r)$ – некая убывающая (скорее всего) функция, определяющая зависимость интенсивности поля и силы взаимодействия от расстояния до заряда – источника поля.

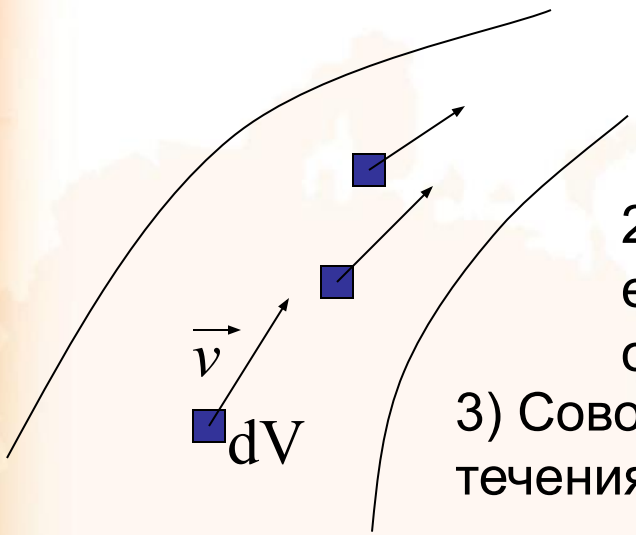
Силовые поля и заряды.

Силу взаимодействия между зарядами логично и естественно представить в виде : $F = Q_1 Q_2 f(r) = E_1 Q_2 = Q_1 E_2$, где $E_{1,2} = Q_{1,2} f(r)$ – интенсивности силовых полей, порождаемых 1-м и 2-м зарядами. $f(r)$ – функция, определяющая зависимость интенсивности поля и силы взаимодействия от расстояния до заряда – источника поля. Попробуем догадаться, какая это функция?



Интенсивность силового поля $\boldsymbol{E}$ – векторная функция, определенная в каждой точке пространства вокруг точки – источника поля. Графически «векторное поле сил» можно визуализовать с помощью т.н. “силовых линий” - направленных линий, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора поля в данной точке. Из соображений симметрии, силовые линии поля, создаваемого точечным источником, могут быть только радиальными, направленными или к источнику, или от него. Других вариантов просто нет.

Вспомним механику жидкостей



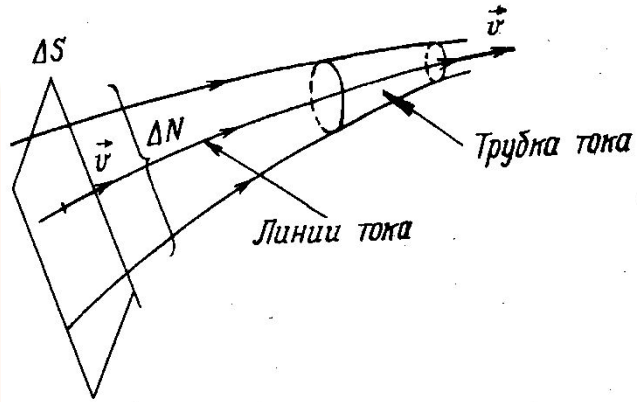
1) Частица жидкости - малый объем ее dV, имеющий, подобно материальной точке, определенные координаты и скорость $\boldsymbol{v}(\boldsymbol{r}, t)$

2) Вектор скорости в каждой точке зависит от ее координат и – для нестационарного потока – от времени.

3) Совокупность векторов скорости для всех точек течения образует *поле вектора скорости*.

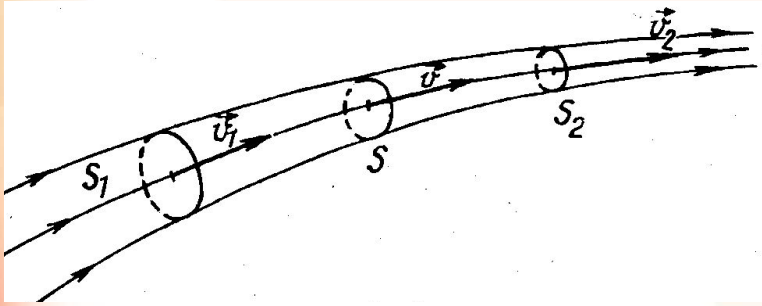
Поле вектора – это тот-же самый математический объект, что мы хотим использовать для описания силовых полей $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r})$. Правила работы с ним, понятия и определения, применявшиеся для векторного поля $\boldsymbol{v}(\boldsymbol{r})$ в гидродинамике, можно с успехом применить и в физике силовых полей. Например, как величина скорости потока пропорциональна плотности линий скорости, так и интенсивность силового поля пропорциональна плотности силовых линий!

Основные понятия и определения



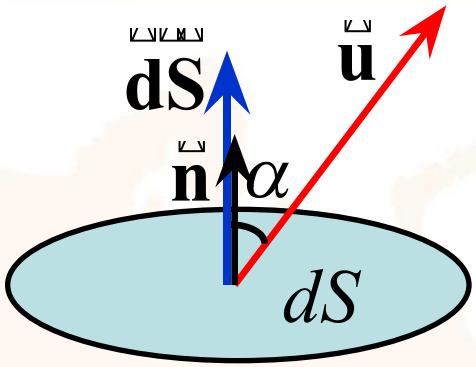
Линия тока - плавная линия, в каждой точке которой скорость частиц жидкости направлена по касательной

Точно такие-же линии можно ввести для визуализации силового поля, создаваемого зарядом того или иного рода. И определения, и свойства этих линий аналогичны



Для силового векторного поля, как и для поля скоростей, можно ввести, например, понятие потока вектора через заданную площадку.

Поток вектора



$$d\Phi = u dS \cos\alpha$$

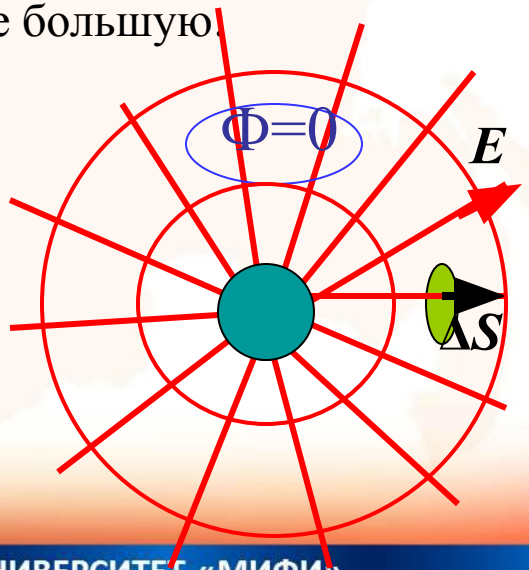
$$\vec{dS} = dS\vec{n}$$

$$d\Phi = \vec{u} \cdot \vec{dS}$$

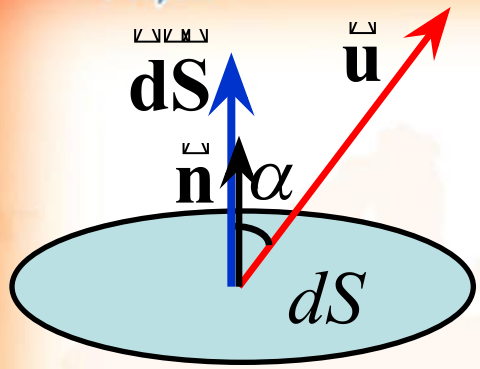
Определение:

Если площадка ***dS*** дифференциально мала (почти точечная), то ***элементарный поток*** вектора ***u*** через нее $d\Phi = (\boldsymbol{u}, \boldsymbol{dS})$ – Вектор ***dS*** считаем направленным по нормали к площадке.

Поток вектора Φ через большую поверхность S вычисляется как сумма (интеграл) элементарных потоков $\Delta\Phi$ через все микроскопические площадки dS, составляющие большую.

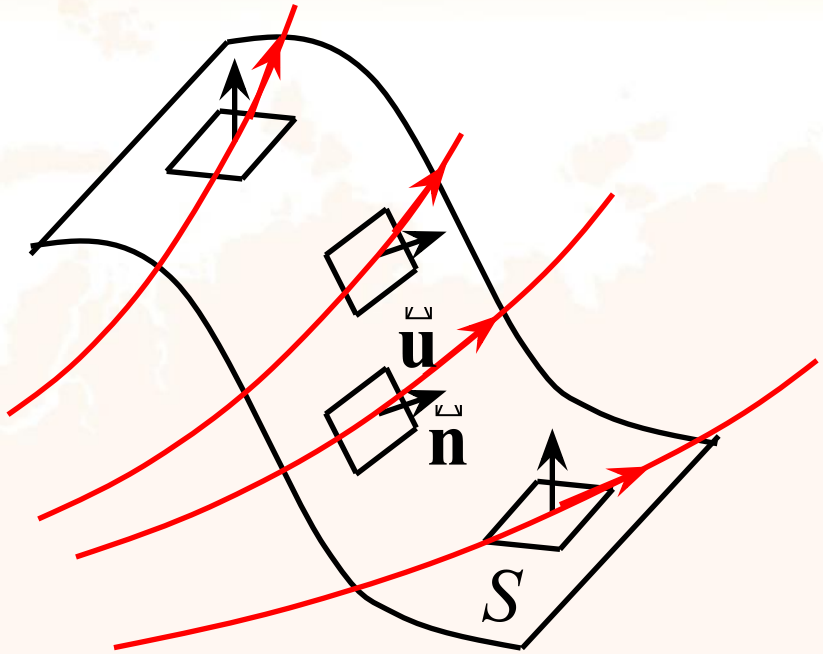


Поток вектора



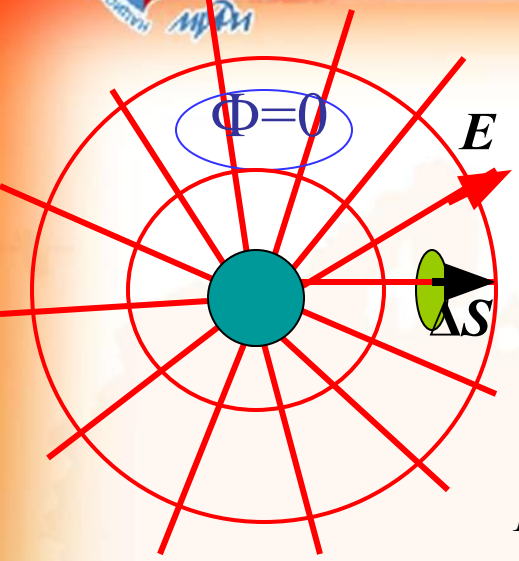
$$d\Phi = u dS \cos\alpha$$

$$\Phi = \int_S \vec{u} \cdot \vec{dS}$$



ОПРЕДЕЛЕНИЕ: Поток вектора Φ через большую поверхность S вычисляется как сумма (интеграл) элементарных потоков $\Delta\Phi$ через все микроскопические площадки dS, составляющие большую. Поток пропорционален числу силовых линий, пронизыва. щих площадку (с учетом их направления)

Поток ыектора интенсивности силового поля



ОПРЕДЕЛЕНИЕ: для силового поля $\boldsymbol{E}$ скалярное произведение $\Delta\Phi=(\boldsymbol{E},\Delta\boldsymbol{S})$ – элементарный поток вектора поля $\boldsymbol{E}$ яерез площадку ΔS. Вектор $\boldsymbol{\Delta S}$ направлен по нормали к площадке Поток Φ через большую поверхность S вычисляется как сумма (интеграл) элементарных потоков $\Delta\Phi$ через все малые площадки, составляющие поверхность .

В частности: поток вектора поля $\boldsymbol{E}$ через сферическую поверхность с центром в точке - источнике поля, очевидно равен

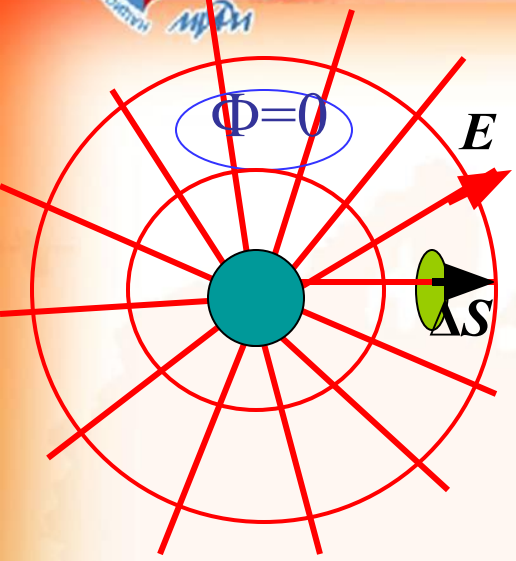
$$\Phi = SE=4\pi r^2 E = 4\pi r^2 Qf(r).$$

Поток пропорционален числу линий, пронизывающих поверхность, которое очевидно будет одним и тем же для сферы любого радиуса r. Следовательно:

$$\Phi = 4\pi r^2 Qf(r) = Const(r) \Rightarrow f(r) = Const / r^2.$$

Без-контактная сила ***любой природы***, действующая между двумя точечными зарядами, создающими сферически симметричные силовые поля, может зависеть от расстояния между зарядами одним единственным образом: $F \sim 1/r^2$ (!!). Это не экспериментальное наблюдение – это следствие чисто логического анализа!!!.

Innevitable Law!



Без-контактная сила ***любой природы***, действующая между двумя точечными зарядами, создающими сферически симметричные силовые поля, может зависеть от расстояния между зарядами одним единственным образом: $F \sim 1/r^2$ (!!). ВАЖНО: это справедливо только в пространстве 3-D! (Любознательным: Для N-D $F \sim 1/r^{N-1}$

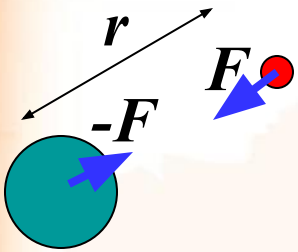
А что же опыт? Так оно и есть!

Закон гравитации (4-ый закон Ньютона): $F = GMm/r^2$)

Закон Кулона для электрических зарядов: $F = kQq/r^2$ -

Модель зарядов и полей, похоже, действует! Продолжим с ней работать!

Закон взаимодействия



Запись двух известных из школы законов без-контактных сил выглядит похоже, но не тождественно:

Закон гравитации: $F = GMm/r^2$

Закон Кулона: $F = kQq/r^2$

В системе SI- эл. заряды измеряются в Кулонах а константа $k = 9*10^9$ Н*м^2/Кул^2 .

В физической (Гауссовой) системе $k = 1$. заряды измеряются в [Н$^{1/2}$м] = 10,5 мкКл

В Гауссовой системе можно определить ***гравитационный заряд*** *как*: $Q = G^{1/2}M$,

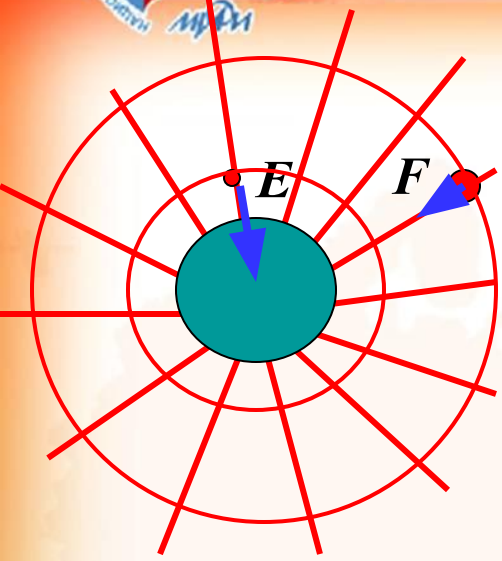
Он измеряется в тех же единицах [Н$^{1/2}$м], что и электрический, и два закона взаимодействия принимают тождественно идентичную форму:

$$F = Qq/r^2$$

Единственная разница: физ. смысл обозначений Q и q. В одном случае это гравитационный заряд (он есть у любого тела, имеющего массу), в другом – это заряд электрический (он есть не у всех тел).

ВОПРОС: Зачем Природе ДВА как-бы одинаковых взаимодействия?

Гравитация и электростатика: в чем разница?



Общее между гравитацией и электричеством – закон взаимодействия точечных зарядов:

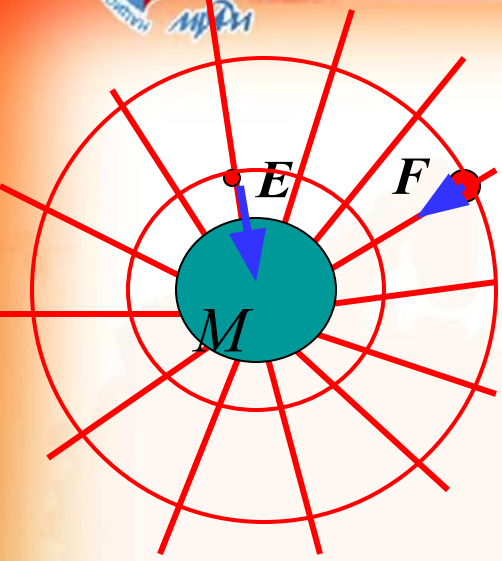
$$F = Qq/r^2$$

Разница состоит в природе и свойствах этих зарядов.

Гравитационный всегда ***положителен*** и строго пропорционален инерционной массе тела: $Q_g = G^{1/2}M$

ВАЖНО: инерционная масса (из 2-го закона Ньютона) есть мера инерционности тела. Гравитационный заряд – это мера способности тела вступать в гравитационное взаимодействие. Это два абсолютно разных физических свойства! Сам факт их строгой взаимо-пропорциональности – удивителен и загадочен! Тем не менее, это строго установленный физический факт!
ВАЖНО! Все гравитирующие массивные тела притягивают друг-друга!
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия отрицательна и растет с увеличением расстояния между телами: $U = -Qq/r = -GMm/r$

Гравитация и электростатика: в чем разница?



Общее между гравитацией и электричеством – закон взаимодействия точечных зарядов:

$$F = Qq/r^2$$

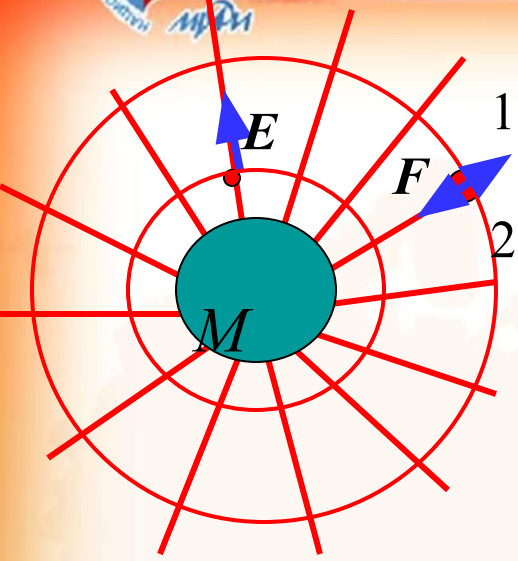
Разница состоит в природе и свойствах этих зарядов.

Электрический заряд бывает и ***положительным,*** ir ***отрицательным***. Он ***никак не связан*** с инерционной массой тела:.

Потенциальная энергия электростатического взаимодействия тоже определяется иначе (знак!), чем для гравитационного : $U = +Qq/r$.

Разница в знаке очень важна. Как следствие, заряды одного знака (оба положительные или оба отрицательные) не притягиваются, а отталкиваются! А , вот заряды противоположных знаков – притягиваются.

Гравитация и электричество: в чем разница?



Разница состоит в природе и свойствах этих зарядов.

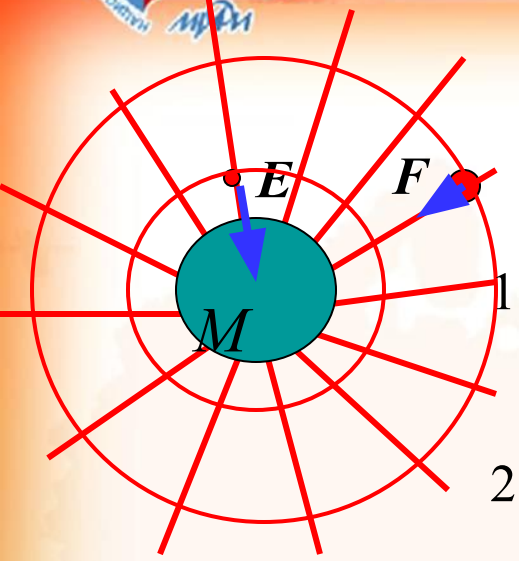
1. Гравитационный заряд всегда ***положителен и*** строго пропорционален инерционной массе.
2. Электрические заряды бывают 2-х сортов (положительные и отрицательные) и с инерционной массой никак не связаны.

2. Гравитационный заряд (и масса) могут у разных тел иметь какие-угодно (положительные) значения без каких-либо ограничений). В противоположность этому, электрические заряды дискретны и строго кратны т.н. элнмнтарному электрическому заряду $e = 1{,}6*10^{-19}$ C in SI units system (or $4{,}8*10^{-10}$ $N^{1/2}*m$ in 'physical system of Units'.

3. Огромна и разница в интенсивности двух взаимодействий. В микромире электрическое взаимодействие подавляюще сильнее гравитационного. Например, для протона гравитационный заряд, $q = mG^{1/2}$, измеренный в $H^{1/2}*м$ составляет $\sim 10^{-18}$ от элементарного электрического (!). В микромире гравитация не имеет значения!

.

Гравитация и электричество: в чем разница?



В микромире гравитация не играет роди, зато в макро- и мега- мире она куда как заметнее сил электрических. Это потому, что

1. Электрические заряды могут иметь разные знаки. 2. Притягиваясь, они формируют устойчивые связанные структуры (атомы).

2.3. Электрические заряды точно кратны элементарному, Заряды разных знаков точно компенсируют друг-друга. Из вне такие структуры воспринимаются как электро-нейтральные.

Массивные структуры составленные из электронейтральных атомов практически не проявляют электрических свойств, что дает шанс гравитации проявить свою силу, особенно значимую в мега-мире..

Два «похожих» взаимодействия по-разному действуют в разных масштабах. Оба они необходимы для формирования структуры Материи и Вселенной, способной создавать сложные формы. И не только эти два взаимодействия нужны……

.

Электрическая природа контактных взаимодействий.

В макро-мире электрические взаимодействия только кажутся незаметными. На самом деле, они играют огромную роль! По сути, все контактные силы – трение, реакция опоры, вес, сила упругости и т.п. – есть проявления электрического взаимодействия электронных оболочек атомов, составляющих приповерхностные слои контактирующих тел. !!

Для инженерных и практических целей изучение электрических (и тесно связанных с ними магнитных) сил крайне необходимо.

Электрические и магнитные явления: это то, что мы будем изучать в 3-м семестре Курса Общей Физики НИЯУ МИФИ!

И начнем с короткого исторического обзора...

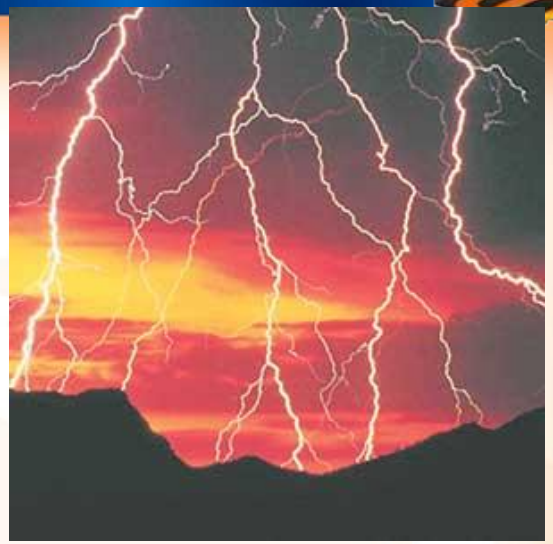
Поля и взаимодействия

Лекция 01-2
Исследование электрических явлений. Краткий исторический обзор

Доцент, Андрей Станиславович ОЛЬЧАК

Исследования электричества в Древности

Атмосферные электрические явления люди наблюдали всегда, и долгое время обожествляли их, не понимая в чем их природа.



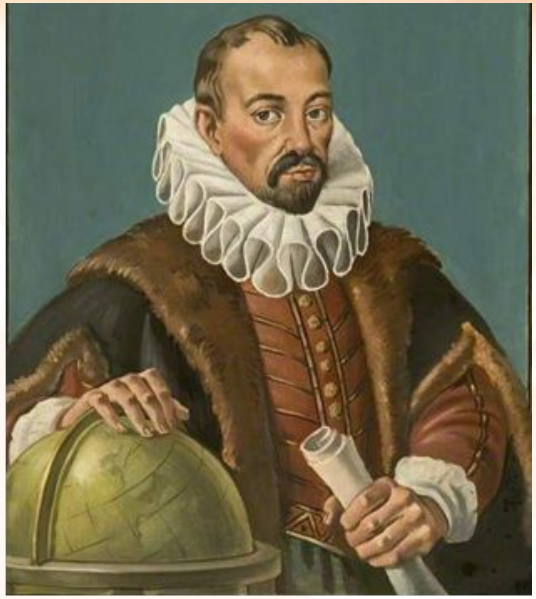
Еще за ~1000 лет до н.э. греки заметили странные свойства у янтаря, который использовали для украшений. Натертый шерстью, янтарь приобретает свойство притягивать волосы и мелкие соринки. .

Янтарь по.(древне)-гречески ηλεκτρόν *electron*. Отсюда термин электричество. .

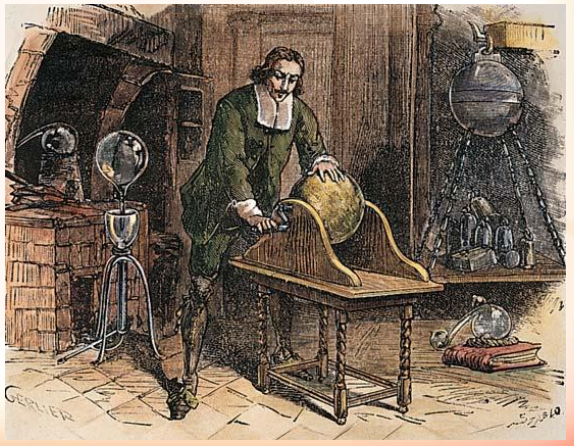
Аристотель знал о странных свойствах янтаря, но не считал это явление сколько-нибудь важным и никак не ассоциировал ни с грозой, ни с молниями.

Исследования электричества в новое время

Первое серьезное исследование электрических явлений выполнил William Gilbert (1544-1603) в Англии. В 1600 году он опубликовал 6-томный трактат *«О магните, магнитных телах и большом магните — Земле»)* для эффектов, подобных янтарному, ввел термин *electricity.* Он нашел много материалов, проявлявших подобные свойства и предложил делить все объекты на электризуемые (янтарь, шерсть, сера, смола....) и не-электризуемые (металлы, многие камни и др.).



Труд Гилберта активно использовали в изучении электрических и магнитных явлений вплоть до конца 18-го века!!.



Исследования электричества в новое время

В 1733 году француз Charles du Fey установил существование как минимум двух разных сортов электричества. Один сорт он получал, натирая стекло шелком м назвал его «стеклянным эл-вом». Другой сорт – получаемый натирая сухую смолу шерстью – он назвал «смоляным»..
Сегодня мы называем эти два сорта положительными и отрицательными зарядами соответственно.

Исследования электричества в новое время

Важнейший шаг сделал *Pieter van Musschenbroek* (1692-1761) из Leyden University (Netherlands). В 1746 он продемонстрировал устройство, позволяющее аккумулировать электрические заряды в больших количествах (*Лейденская банка* = конденсатор). Заряды по-прежнему генерировались трением

Ван Мушенбрук стал первым исследователем, ощутимо пострадавшим при лабораторных опытах с электричеством. Он сам описал свои ощущения такими словами: "… *моя правая рука получила удар такой силы, что все тело мое содрогнулось, как от удара молнии ... Я думал, мне конец.. …*"

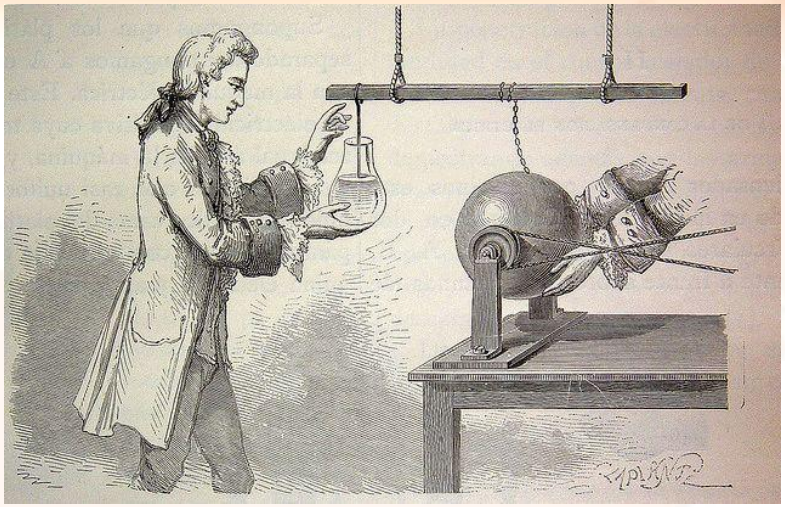
После таких опытов, связь лабораторных и атмосферных электрических явлений перестала казаться просто фантазией

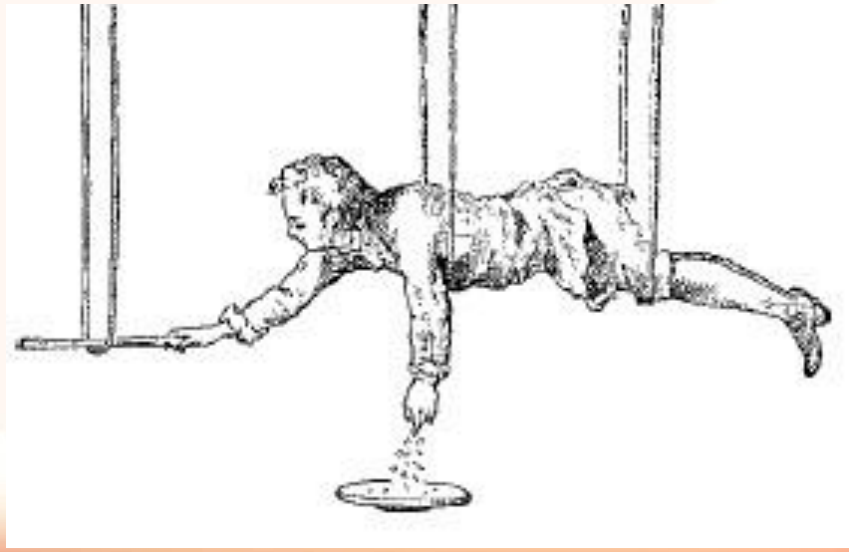
Исследования электричества в новое время

В 18-м веке эксперименты с электризацией и Лейденскими банками были популярны не только в университетских лабораториях, но и как публичные шоу.

Как обычно, наибольшие внимание публики и печати привлекали самые тупые и бессмысленные опыты.

Серьезные исследования в эти годы были направлены на изучение атмосферного электричества и его связи с электрическими явлениями, наблюдаемыми в лаборатории

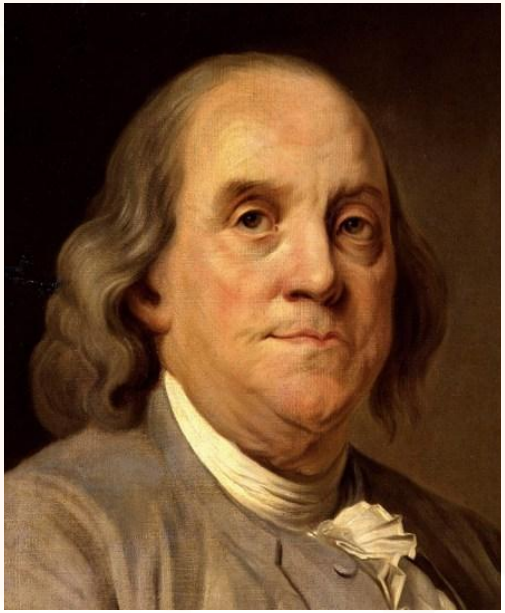




Исследования электричества в новое время

Серьезные исследования в эти годы были направлены на изучение атмосферного электричества и его связи с электрическими явлениями, наблюдаемыми в лаборатории

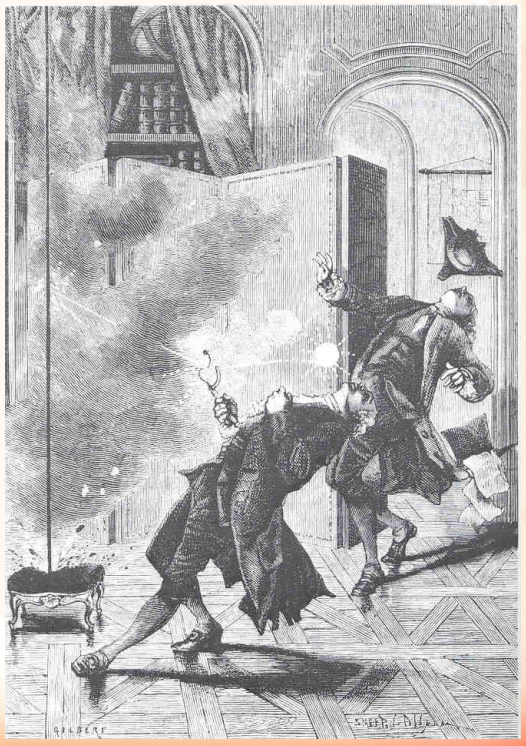
Большой вклад в исследование атмосферного электричества внес американец ***Benjamen Franclin*** (1706-1790). Именно он, в частности, изобрел устройство для защиты от молний - the lightning-rod (громоотвод), которое используется и сегодня. Портрет Франклина можно увидеть на любой 100-$ купюре



Исследования электричества в новое время

Известный русский исследователь ***Михайло Ломоносов*** (1711 - 1766) тоже отметился в исследовании атмосферного электричества. Именно ему принадлежит весьма неудачный термин *громоотвод*. В одном из его опытов с громоотводом в 1753 году, его ассистент Georg Richmann во время грозы получил смертельный удар током и погиб, став одной из первых жертв научных исследований.

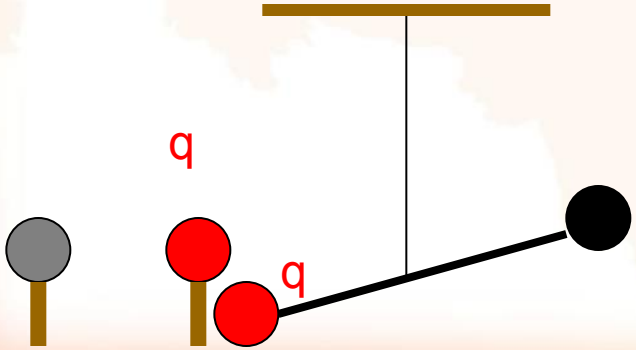
Позднее, в 19-м, а особенно в 20-м веках, число таких жертв сильно возрастет…..



От случайных опытов - к физике

Главное отличие физики от других областей исследований состоит в определяющей роли математики. Решающий шаг, сделавший исследования электрических явлений частью физики, сделал Французский инженер Charles Augustine de Coulomb (1736-1806). С помощью крутильных весов, он в 1785 году экспериментально измерил силу взаимодействия заряженных объектов и установил зависимость ее от расстояния, известную как закон Кулона. Мы с вами уже знаем, что это не просто экспериментальный факт, а единственно возможный закон взаимодействия точечных зарядов в 3-D пространстве.

Charles Augustine de Coulomb (1736 – 1806)



В следующей лекции мы подробно поговорим о Законе Кулона, об электрических полях и о принципе суперпозиции полей.