

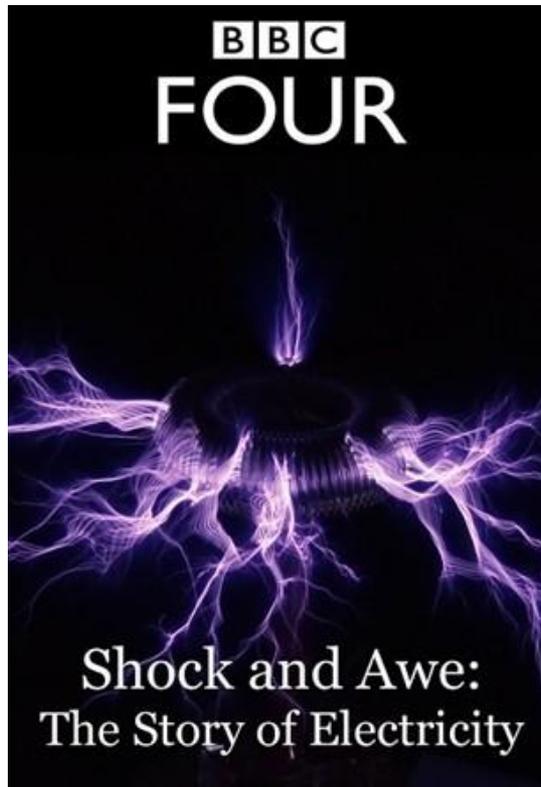
Лекция 1.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

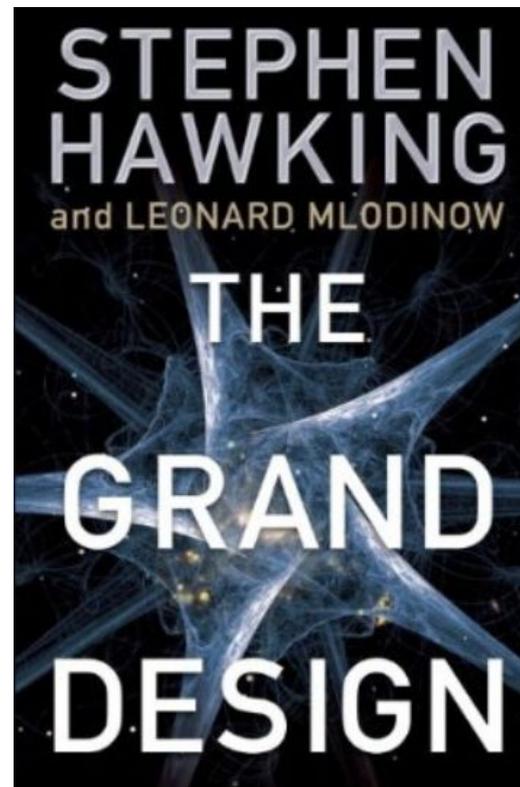
ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Электрический заряд. Свойства и законы
2. Силовые характеристики электрического поля
3. Напряженность. Принцип суперпозиции электрических полей
4. Потенциал
5. Связь между напряженностью и потенциалом
6. Электрический диполь

Рекомендуется к просмотру



Шок и трепет
история электричества



Книги



Кино

Общая физика.
«Электростатика»

Electricity and magnetism is all around us.

We have electric lights, electric clocks. We have microphones, calculators, televisions, VCRs, radio, computers.

Light itself is an electromagnetic phenomenon as radio waves are. The colors of the rainbow in the blue sky are there because of electricity.

And I will teach you about that in this course.

Cars, planes, trains can only run because of electricity.

Horses need electricity because muscle contractions require electricity. Your nerve system is driven by electricity. Atoms, molecule, all chemical reactions exist because of electricity. You could not see without electricity. Your heart would not beat without electricity. And you could not even think without electricity, though I realize that even with electricity some of you may have a problem with that.

Walter Lewin

Электростатикой называется раздел учения об электричестве, в котором изучаются взаимодействия и свойства систем электрических зарядов, неподвижных относительно выбранной инерциальной системы отсчёта.

Электростатическое поле. Электрический заряд

Электростатическим полем называется частная форма электромагнитного поля, представляющая собой вид материи, посредством которой взаимодействуют неподвижные электрические заряды

Электрический заряд - это скалярная физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия

Заряд почти всех элементарных частиц одинаков по модулю и представляет собой наименьший электрический заряд, встречающийся в природе. Этот заряд называется *элементарным зарядом* и обозначается e

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Электростатическое поле. Электрический заряд

Свойства зарядов.

- заряды бывают двух родов: *положительные* и *отрицательные*;
- электрический заряд *квантуется*. Всякий заряд q есть величина, кратная e : $q = \pm Ne$;
- электрический заряд *инвариантен* по отношению к различным системам отсчета. Во всех системах отсчета заряд тела или частицы имеет одно и то же значение;
- электрический заряд – величина *аддитивная*. Заряд любой системы равен сумме зарядов составляющих эту систему тел (частиц).

Закон сохранения электрического заряда:

Суммарный заряд электрически изолированной системы не может изменяться.

Электростатическое поле. Законы и принципы

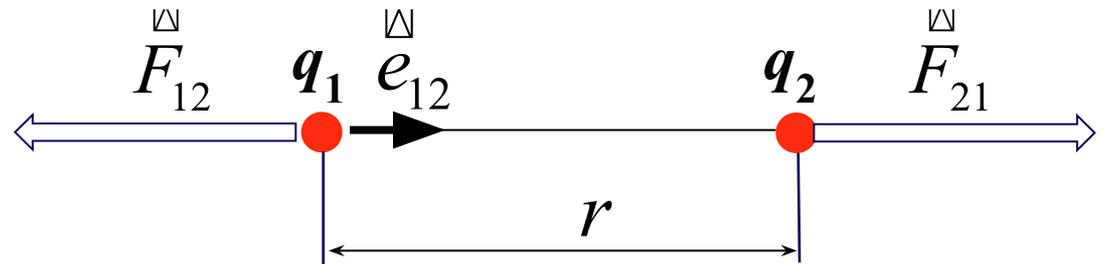
Закон Кулона:

Сила электрического взаимодействия между двумя неподвижными заряженными частицами в вакууме прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$$k = 1 \text{ [СГСЭ]}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ [СИ]}$$



$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_{12} \quad \vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_{12}$$

$\epsilon_0 = 0.885 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}$ - электрическая постоянная

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Принцип суперпозиции сил взаимодействия между зарядами

Из опытов известно, что сила взаимодействия двух зарядов не изменяется, если вблизи них поместить еще какие-либо заряды. Тогда результирующая сила \vec{F} , с которой на заряд q_a действуют N зарядов: q_i

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_{ai}$$

где \vec{F}_{ai} - сила, с которой на заряд q_a действует заряд q_i в отсутствие остальных $N-1$ зарядов.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Напряженность электрического поля.



q - неподвижный точечный заряд (хотя пробным зарядом можно исследовать электрическое поле созданное и объемным телом)

$q_{пр}$ - пробный (точечный, не вносящий искажения) малый заряд

r – модуль радиус-вектора

\vec{e}_r - орт радиус - вектора

На пробный заряд действует сила

$$\vec{F} = q_{пр} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

$$\vec{F} = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

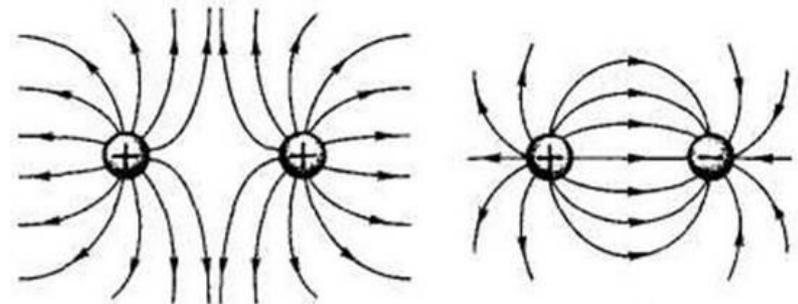
Отношение \vec{F}/q_{np} для всех пробных зарядов будет одно и то же и зависит лишь от величин, определяющих само поле, т.е. от q и r

Поэтому отношение \vec{F}/q_{np} принимается за величину, характеризующую электрическое поле:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r$$

- **напряженность электрического поля** в точке, в которую помещен пробный заряд, **размерность – В/м.**

Направление вектора **напряженности электрического поля** совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд.



ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

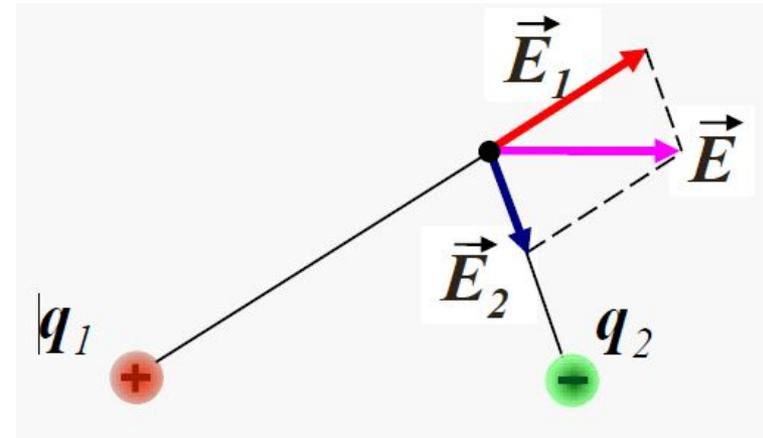
Принцип суперпозиции электрических полей

На всякий точечный заряд в точке поля с напряженностью \vec{E} действует сила $\vec{F} = q\vec{E}$

Из принципа суперпозиции сил взаимодействия между зарядами вытекает *принцип суперпозиции электрических полей*:

Напряженность поля системы зарядов равна *векторной* сумме напряженностей полей, которые создавал бы каждый из зарядов системы в отдельности.

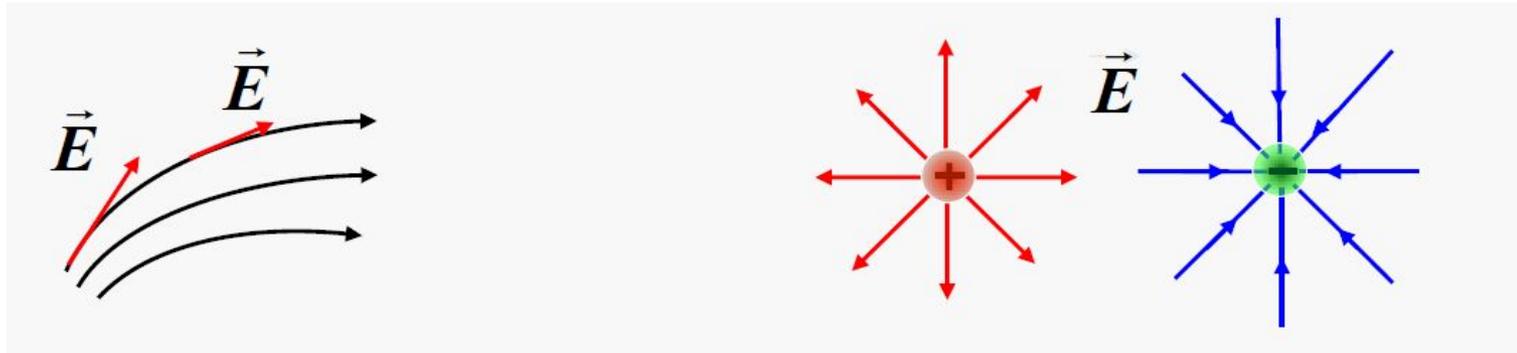
$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i$$



ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Графически электрическое поле изображается линиями напряженности (силовыми линиями). Линии напряженности проводят таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора \vec{E} , а густота линий определяла величину (модуль) вектора.

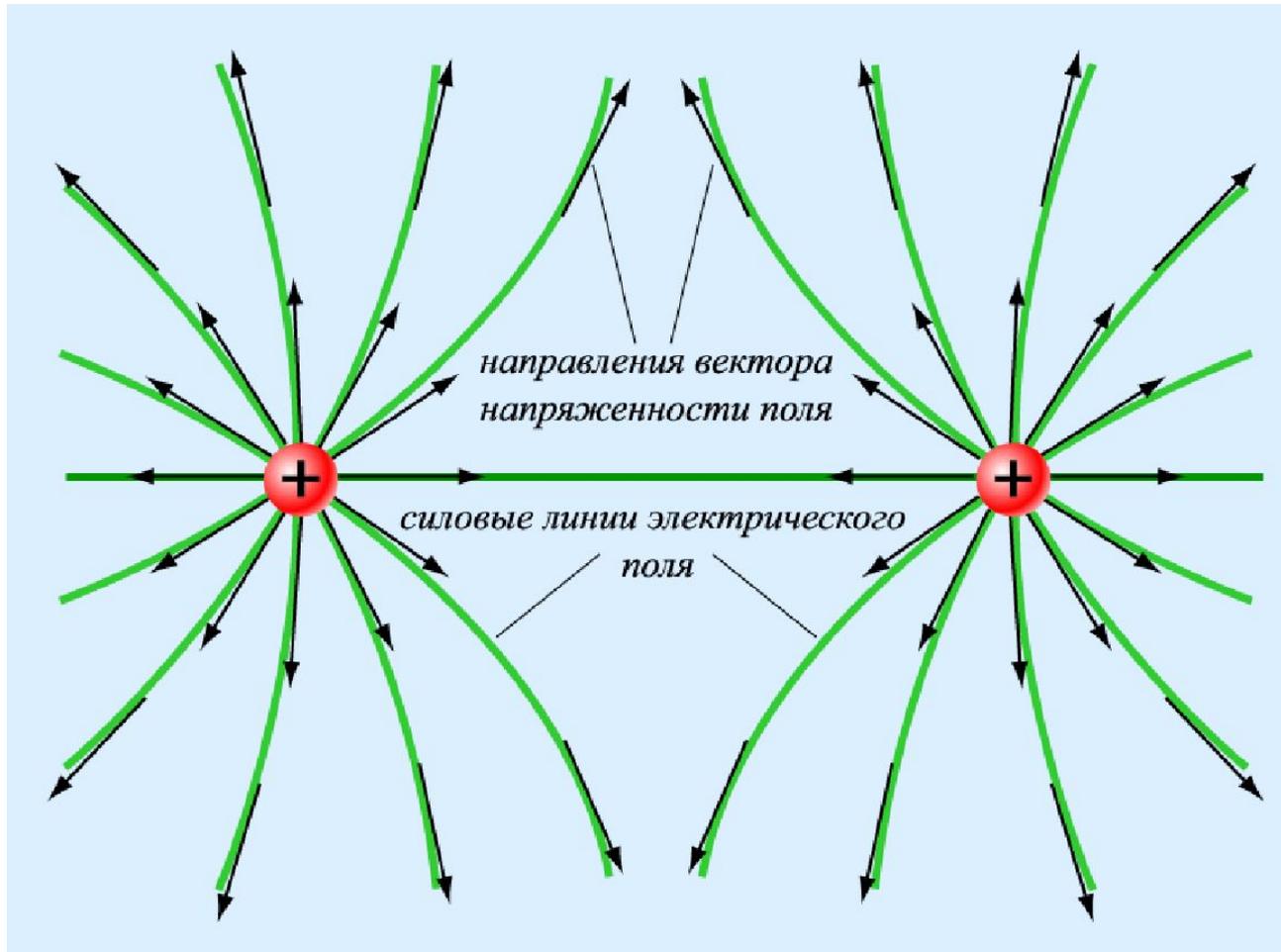


Силовые линии \vec{E}

1. Всегда незамкнуты: начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах.
2. Нигде не пересекаются.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

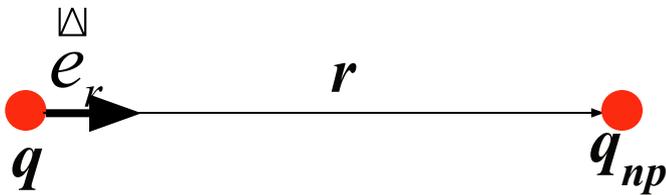


Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Электростатическое поле является *потенциальным*. Покажем это.

Чтобы доказать, что электростатическое поле является *потенциальным*, достаточно показать, что работа, совершаемая полем при перемещении заряда, может быть представлена как изменение скалярной функции координат $W_p(x, y, z)$, называемой потенциальной энергией заряда: $dA = -dW_p$



Пусть заряд совершил малое перемещение dr . При этом полем будет выполнена работа dA .

$$dA = (\vec{F}, d\vec{r}) \quad \vec{F} = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r \right)$$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Выражение для работы можно представить в виде

$$dA = q_{np} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \right) dr \quad A_{12} = \frac{qq_{np}}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_{np}}{r_1} - \frac{qq_{np}}{r_2} \right)$$

Работа сил консервативного поля может быть представлена как убыль потенциальной энергии

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} \quad W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_{np}}{r} + const$$

Константа определяется из равенства нулю потенциальной энергии, если пробный заряд удалить на бесконечность

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

$$W_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_{пр}}{r}$$

выражение для потенциальной энергии пробного заряда, помещенного в электрическое поле, созданное зарядом q

Потенциальная энергия, которой обладает пробный заряд, зависит не только от величины этого заряда, но и от величин q и r , определяющих поле.

Сохраняется постоянным отношение $W_p / q_{пр}$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

$$\frac{W_p}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} = const$$

$$\varphi = \frac{W_p}{q_{np}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

φ - *потенциал поля* в рассматриваемой точке.

Для электрического поля, созданного системой N точечных зарядов, справедливо выражение

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}$$

Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из зарядов в отдельности.

Электростатическое поле. Характеристики

Потенциал.

Из выражения для потенциала $\varphi = W_p / q$ вытекает, что заряд q , находящийся в точке поля с потенциалом φ , обладает потенциальной энергией $W_p = q\varphi$

Следовательно, работа сил поля над зарядом q может быть выражена через разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

Если заряд q из точки с потенциалом φ удаляется на бесконечность, работа сил поля будет равна $A_\infty = q\varphi$. Отсюда следует, что

Потенциал численно равен работе, которую совершают силы электрического поля над единичным положительным зарядом при удалении его из рассматриваемой точки на бесконечность

Электростатическое поле. Характеристики

Связь между напряженностью и потенциалом

Напряженность поля E пропорциональна силе, действующей на заряд

Потенциал Φ пропорционален потенциальной энергии заряда

Связь должна быть аналогична связи между потенциальной энергией и силой.

$$\vec{F} = -q \text{grad } W_p(x, y, z) = -\left(\frac{\partial W_p}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial W_p}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial W_p}{\partial z} \vec{e}_z \right)$$

Для заряженной частицы в электростатическом поле

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad W_p = q\Phi \quad \longrightarrow \quad q\vec{E} = -q \text{grad } (q\Phi) = -q \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \vec{e}_z \right)$$

$$\vec{E} = -q \text{grad } (\Phi) = -\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \vec{e}_z \right) = -\nabla \Phi$$

$$\vec{E} = -\nabla \Phi$$

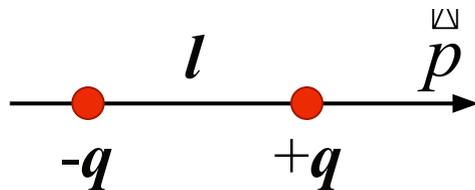
Электрический диполь

Электрическим диполем называется система двух одинаковых по абсолютной величине разноименных точечных зарядов $+q$ и $-q$, расстояние l между которыми значительно меньше, чем расстояние до точек, в которых определяется поле системы ($r \gg l$).

Заряды, образующие диполь, называются **полюсами**

Прямая, проходящая через оба диполя, называется **осью диполя**

Электрический момент диполя \vec{p} - вектор, который направлен по оси диполя от отрицательного заряда к положительному.

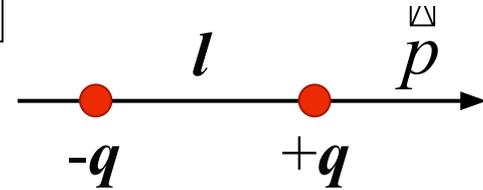


$$\vec{p} = ql$$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Кафедра физики

Электрический диполь



Выражения для напряженности
электрического поля диполя

Различают напряженность поля E_{\parallel} в направлении оси диполя и напряженность E_{\perp} на прямой, перпендикулярной оси и проходящей через центр диполя :

$$E_{\parallel} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}$$

$$E_{\perp} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

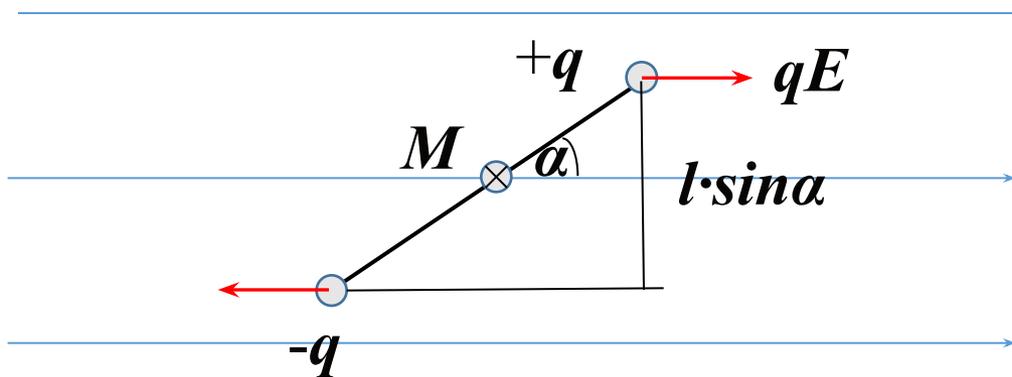
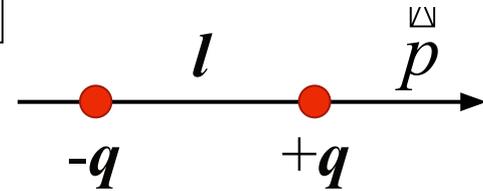
Напряженность поля диполя убывает с расстоянием от диполя как $1/r^3$ т.е. быстрее, чем напряженность поля точечного заряда (убывающая как $1/r^2$).

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический диполь

Диполь в однородном электрическом поле

Кафедра физики



Плечо момента силы

$$M = qEl \sin \alpha = pE \sin \alpha$$

$$\vec{M} = [\vec{p}, \vec{E}]$$

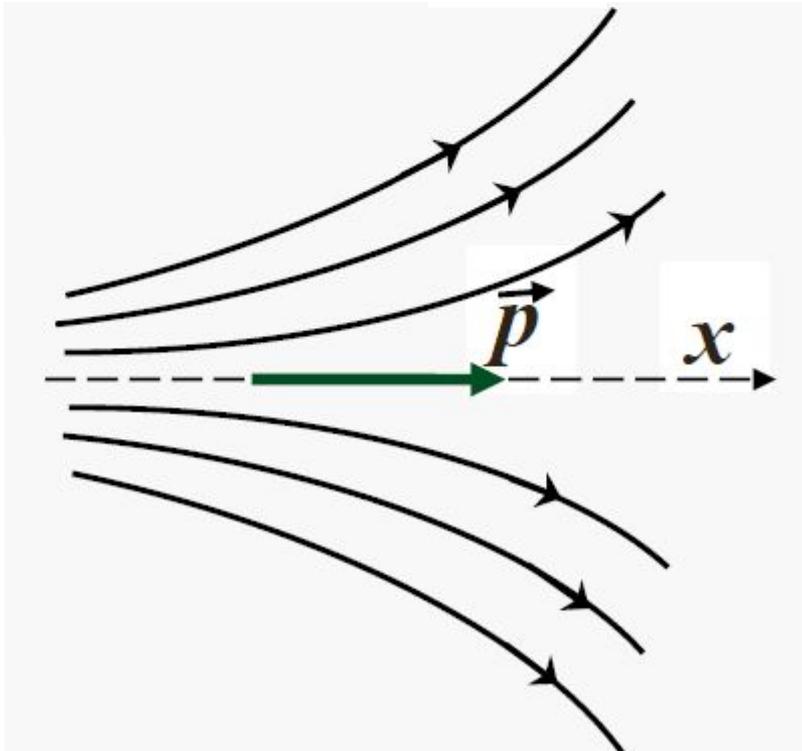
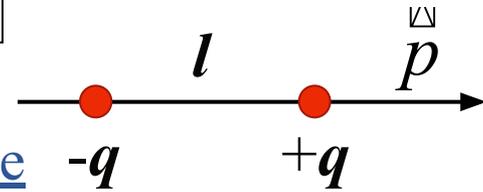
Диполь в однородном электрическом поле – возникающий *момент пары сил* \vec{M} стремится повернуть диполь так, чтобы его электрический момент \vec{p} установился по направлению поля.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Кафедра физики

Электрический диполь

Диполь в неоднородном электрическом поле



На диполь в неоднородном электрическом поле, кроме вращающего момента действует сила, стремящаяся сообщить ему поступательное движение.