



– Попробуйте предсказать, какие сложности могут возникнуть в подобном реальном эксперименте, – ставит задачу Ведущий.

– Полусферы зарядятся мгновенно, – следует реакция, – один кулон, по определению<sup>4</sup>, мал – всего лишь заряд, который при силе тока в один ампер проходит по проводнику за одну секунду...

– Один кулон велик! – возникает альтернатива. – Не верите? Пересчитайте количество электронов, на отрицательно заряженной полусфере<sup>5</sup> и прикиньте время их сбора, если каждому на дорогу требуется хотя бы одна секунда...

(Мал на самом деле один кулон или велик? – решать вам!).

– Заряды с полусфер будут стекать по стенке.

– Так она диэлектрическая.

– Они могут и по воздуху сбежать. Вот накопится их определённое количество, создадут они вокруг себя достаточное электрическое поле, и превратится воздух в проводник (возникнет искровой разряд).

– Да у нас от такой напряжённости волосы дыбом встанут.

– Всего-то, тридцать киловольт на сантиметр, при нормальных условиях<sup>6</sup>...

Не поленились, оценили радиус сферы, которая при заряде в один кулон создаёт критическую напряжённость электрического поля (не зря же, на уроках формулу<sup>7</sup> проходили!). Пятьдесят пять метров!

– Оказывается, для размещения одного кулона нужна огромная площадь поверхности проводника<sup>8</sup>. Не терпят одноимённые заряды (наши свободные электроны) скученности – отталкиваются (и только в анекдотах – см. эпиграф – встречаются).

– Электроёмкость – как банка, – приходит аналогия, – она может быть пустой или частично наполненной, но более чем положено жидкости в неё не нальёшь!

Из рук в руки школьники бережно передают артефакт – реальный суперконденсатор, ёмкость которого больше ёмкости Земли и даже Солнца! По-

Земля	Солнце	суперконденсатор
$C = 4\pi\epsilon_0 R$		Цена: 104 Р
		
$R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ $C = 0,7 \text{ мФ}$	$R = 7 \cdot 10^9 \text{ м}$ $C = 0,8 \text{ Ф}$	Номинальная ёмкость: 5 Ф Номинальное напряжение: 3 В Габаритные размеры: D10, L20 мм Вес: 2,3 г $C = 5 \text{ Ф}$

<sup>4</sup>  $\Delta q = I\Delta t$ .

<sup>5</sup> Проще разделить 1 Кл на величину элементарного заряда  $1,6 \times 10^{-19}$  Кл...

<sup>6</sup> При атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. и температуре 0°C.

<sup>7</sup>  $E = \frac{kq}{\epsilon R^2}$ .

<sup>8</sup> В доказательство – мысленный эксперимент. Совершим работу (против сил отталкивания), перетаскивая из бесконечности на проводящую сферу электрические заряды. Чем больше заряд сферы, тем больше её потенциал:  $\phi = k \frac{q}{\epsilon R}$  (он численно равен проделанной работе). В связи с тем, что отношение заряда проводника к его потенциалу не зависит от величины заряда, вводится понятие электроёмкости (или просто ёмкости) уединённого проводника:  $C = \frac{q}{\phi}$ . Единица её измерения – Фарад (Ф) названа в честь великого учёного Фарадея. 1 Ф – это ёмкость такого уединённого проводника, потенциал которого изменяется на 1В при сообщении ему заряда 1Кл. Ёмкость проводника определяется его размерами, формой и диэлектрической проницаемостью окружающей среды. Чем больше ёмкость проводника, тем больший заряд он может накопить на своей поверхности при данном потенциале. Когда же проводник достигает своей максимальной ёмкости, он не может больше вместить дополнительный заряд. Это означает, что нельзя бесконечно накапливать заряд на проводнике. Так для шара:  $C = \frac{q}{\phi} = \frac{\epsilon R}{k}$ . Откуда следует, что ёмкостью 1Ф обладал бы уединённый проводящий шар, находящийся в вакууме ( $\epsilon \approx 1$ ) и имеющий радиус  $R = 9 \times 10^9 \text{ м}$ , что примерно в 1400 раз больше радиуса Земли!

догретая таким образом фантазия творит чудо<sup>9</sup> – полусферы «обретают суперёмкость» и необходимые заряды.

– Остались ещё проблемы?

– А ведь мы с вами забыли про закон Кулона!

– Тот, что «или украдут, или потеряешь» ☺?

– Другой, про взаимодействие! Наши полусферы по мере накопления на них разноимённых зарядов будут притягиваться всё сильнее и сильнее. Можно ли удержать эти фантастические кулоны от притяжения друг к другу?

– Одна полусфера привязана к стене, а верёвка от второй – переброшена через неподвижный блок (см. фото). Надо только потянуть за неё посильнее.

– Не оборвутся верёвки?

– Заменим на канаты ☺!

Одна из девочек становится героем задачи (есть такой педагогический приём) и берётся за канат.

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon R^2}.$$

Нам «везёт» – дробь формулы превращается в единицу, раскрывая физический смысл коэффициента « $k$ » в законе Кулона. Он подсказывает, с какой силой ( $F$ ) в вакууме ( $\varepsilon = 1$ ) на расстоянии ( $R$ ) одного метра взаимодействуют точечные единичные заряды ( $q$ ).

– Кто уважает эту константу и помнит её значение?..

–  $9 \times 10^9$ ! (Округляем до  $10^{10}$ ).

С такой силой и притягиваются наши заряды.

– Много это или мало? – спрашиваем у девочки.

Но она висит на канате и явно не справляется со своей задачей.

Принимаем её массу за 100кг (без обид!), а вес за  $10^3$  Ньютона.

– Да таких девочек требуется десять миллионов! (Сравниваем с численностью населения Москвы).

Игры с зарядами продолжаются – мы переходим в зал, где начинается представление «Вкусное электричество», ради которого все и собрались.

05.05.25

---

<sup>9</sup> Два секрета «суперёмкости»: 1) использован не уединённый проводник, а их система – т.н. «конденсатор», что приводит к увеличению электроёмкости; 2) поверхности проводников не гладкие, они утыканы многочисленными микроштырями (как вариант – пористые), что значительно увеличивает площадь поверхностей. Т.о. в суперконденсаторе могут быть накоплены гигантские заряды.