

5. Barashenkov, I.V. Wobbling kink in  $\varphi^4$  theory / I.V. Barashenkov, O.F. Oxtoby // Phys. Rev. E – 2009. – V. 80. – P. 026608.  
 6. Oxtoby, O.F. Resonantly driven wobbling kinks / O.F. Oxtoby, I.V. Barashenkov // Phys. Rev. E – 2009. – V. 80. – P. 026609.  
 7. Barashenkov, I. The continuing story of the wobbling kink / I. Barashenkov // arXiv: 1808.01758.

8. Gel'fand, I.M., Levitan, B.M. // Amer. Math. Soc. Transl. Ser. 2. – 1955. – № 2. – P. 259.  
 9. Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. – М.: Мир, 1977. – 623 с.  
 10. Князев, М.А. Кинки в скалярной модели с затуханием / М.А. Князев. – Мн.: Тэхналогія, 2003. – 115 с.  
 11. Федорюк, М.В. Асимптотика: Интегралы и ряды / М.В. Федорюк. – М.: Наука, 1987. – 544 с.

УДК 537.29

## АНАЛИЗ СИЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Бокуть Л.В., Кадуков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Известно, что все вещества являются смесью положительных протонов и отрицательных электронов. Мы говорим об отталкивании, когда рассматриваем взаимодействие одноименных частиц, например электрон-электрон, и о притяжении при взаимодействии разноименных – протон-электрон. Причём эти взаимодействия в некоторых случаях характеризуются большими по величине силами. Однако баланс между частицами настолько совершенен, что мы не ощущаем действия электрической силы.

Оценим величину электростатических сил, решив следующую задачу. Поместим две монеты по 1 копейке на противоположных концах доски, длина которой равна 10 м. Рассчитаем силы электростатического взаимодействия этих двух монет при условии, что заряды их ядер и электронов компенсируют себя лишь с точностью до 1 %.

Графически задачу можно представить следующим образом:

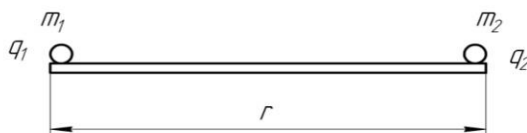


Рисунок 1 – Графическое представление задачи

Для расчета используем известную формулу электростатики, позволяющую количественно определить электростатическое взаимодействие покоящихся зарядов с высокой точностью, а именно, закон Кулона:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1)$$

где  $q_1, q_2$  – точечные заряды,  $r$  – расстояние между ними,  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц. Из формулы видно, что электростатическая сила уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния.

Коэффициент  $k$  в СИ записывается следующим образом:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, численно равная

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{(\text{Н} \cdot \text{м}^2)} \quad \text{или} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}.$$

Закон Кулона перестает выполняться точно, если заряды движутся, так как электрические силы зависят сложным образом от движения зарядов. В случае, когда зарядов больше двух, сила, действующая на заряд, есть векторная сумма кулоновских сил, действующих со стороны всех прочих зарядов.

Для решения поставленной задачи используем формулу:

$$F = N^2 \cdot Z^2 \cdot k \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (2)$$

где  $N$  – число атомов,  $Z$  – заряд ядра атома.

Введение новых величин в формулу (1) обусловлено следующими факторами:

- множитель  $10^{-4}$  связан с начальными условиями, согласно которым 1% заряда обоих тел, по каким либо причинам, не скомпенсирован;
  - заряд ядра атома  $Z$ , который можно определить, как порядковый номер в таблице Менделеева элемента, из которого изготовлена монета, для расчета силы между 2 атомами меди;
  - $N$  – число атомов, содержащихся в монете.
- Для определения числа атомов  $N$  использовалось известное в химии соотношение:

$$\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, \quad \text{отсюда} \quad N = \frac{m \cdot N_A}{M}, \quad (3)$$

где  $m$  – масса рассматриваемого объекта;  $M$  – молекулярная масса материала объекта;  $N_A$  – постоянная Авогадро.

Значения постоянных зададим с необходимой точностью:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} = 8,987551787 \cdot 10^9 \frac{\text{М}^3 \cdot \text{КГ}}{\text{А}^2 \cdot \text{С}^4}, \quad \pi = 3,141592654,$$

$$N_A = 6,0221415 \cdot 10^{23} \cdot \text{моль}^{-1}, \quad q = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \cdot \text{Кл.}$$

Для проведения расчётов применим пакет MathCAD. Полученные результаты расчета значений силы в зависимости от массы монеты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта

$m$ , гр.	$F$ , Н
1,5	$3.907430113 \cdot 10^{13}$
6	$6.251888181 \cdot 10^{14}$
10	$1.736635606 \cdot 10^{15}$

Если силы в тонких смесях так совершенно сбалансированы, то вещество, стремясь удержать свои положительные и отрицательные заряды в тончайшем равновесии, должно обладать большой жесткостью и прочностью.

Несмотря на простоту статического электричества, ему нашлось хорошее применение. Одним из применений статического электричества являются копировальные аппараты. Использование статического электричества и света, отраженного от исходного документа позволяет соответствующим образом расположить тонер на поверхности, а затем перенести его на бумагу.

В основе ксерокса лежит фоторецептор – тонкая светочувствительная поверхность, изготовленная из фотопроводника. В обычных условиях фотопроводник – диэлектрик, но под воздействием света он становится проводником. Затемненный фотопроводник может удерживать положительные и отрицательные заряды на расстоянии друг от друга, но эти заряды быстро сближаются, когда на фотопроводник падает свет. Это позволяет отраженному от исходного документа свету сформировать электростатическое изображение на поверхности фотопроводника, а затем соответствующим образом распределить тонер на листе бумаги.

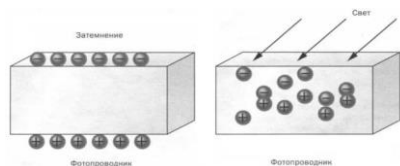


Рисунок 2 – Принцип работы фотопроводника

Цикл копирования начинается с зарядки – равномерного распыления отрицательных зарядов по поверхности фотопроводника, помимо этого на обратной стороне проводника находится заземленная металлическая поверхность. Отрицательные заряды, оказываясь на открытой поверхности фотопроводника, притягивают положительные заряды на металлическую поверхность под ним. После зарядки с помощью системы линз и зеркал копировальный аппарат передает четкое изображение исходного документа на фотопро-

водящую поверхность, в результате чего свет попадает на фоторецептор только в определенных местах, соответствующих белым участкам копируемого документа. Это позволяет двигаться зарядам через те участки фоторецептора, которые подвергаются воздействию света, после чего эти участки становятся электрически нейтральными. В результате формируется электростатическое изображение, соответствующее изображению на исходном документе.

Если подвергать фотопроводник воздействию положительно заряженных частиц тонера, то они будут прилипать к отрицательно заряженным участкам фоторецептора, что ведёт к появлению черно-белого изображения на фоторецепторе. Вследствие этого ослабляется сцепление фотопроводника с тонером, и под воздействием температуры и давления закрепляется копия: тонер плавится и впитывается в бумагу.

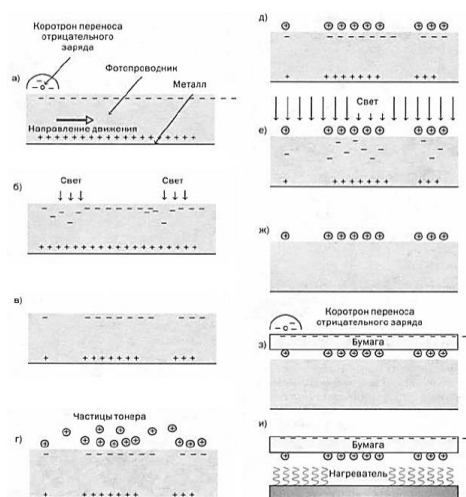


Рисунок 3 – Цикл копирования

Электростатические силы имеют также и отрицательные стороны. Более 170 случаев возгорания на автозаправочных станциях были вызваны статическим электричеством [5].

### Литература

1. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 5: Электричество и магнетизм / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.
2. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. Пособие для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
3. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Задачи и упражнения / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.
4. Блумфилд, Луис А. Как все работает. Законы физики в нашей жизни / Луис А. Блумфилд; пер. с англ. Е. Валкиной и Ю. Плискиной. – М.: АСТ : CORPUS, 2016. – 704 с.
5. Stop Static Campaign [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pei.org/static>. – Дата доступа: 15.09.2019.