

Применение методов классической механики к электрическим зарядам

Попов И.П.

*Курганский государственный университет,
ул. Советская, 63/4, Курган, 640020, Россия
e-mail: ip.popov@yandex.ru*

Статья поступила 15.07.2021

Аннотация

На основе и в терминах классической механики доказаны три теоремы, связанные с излучением ускоренных электрических зарядов. Общеизвестным обстоятельством является то, что центростремительная сила работы не совершает, (поскольку скалярное произведение ортогональных векторов необходимо равно нулю). Доказательства теорем 1 и 2 выполнены в терминах сил. Для инертных тел переход к терминам ускорений осуществляется в соответствии со вторым законом Ньютона. Для электрических зарядов переход к терминам ускорений осуществляется в соответствии с теоремой 3. Исходным пунктом исследования является достоверное утверждение. С ним выполняется ряд математически корректных преобразований. Следовательно, результат является необходимо достоверным. Результаты исследования могут использоваться при построении теоретических моделей явлений и процессов, а также учитываться в технических приложениях.

Ключевые слова: электромагнитные волны, скалярное произведение, ортогональные векторы, инертность.

Активное развитие теории авиационно-космических ионных и плазменных двигателей [1–4] затрагивает ряд аспектов, два из которых рассматриваются в настоящей работе, а именно: динамика заряженных частиц [5–7] и электромагнитное излучение при их ускорении [8–14].

Считается, что электрический заряд, движущийся по круговой траектории, т.е. с центростремительным ускорением, необходимо должен излучать электромагнитные волны. Это распространяется, в т.ч., на циклотронное излучение.

Далее рассматривается энергетика ускоренных зарядов.

Методика

Используются термины и методы классической механики, которые в части сил, ускорений, перемещений, работы и энергии распространяются, в т.ч., на динамику электрических зарядов.

Исходным пунктом является *достоверное* утверждение. С ним выполняется ряд математически *корректных* преобразований. Следовательно, результат является *необходимо достоверным*.

Печальный опыт показывает, что для многих специалистов эта логика недоступна. В случае, если такой *необходимо достоверный* результат противоречит существующей парадигме, предпочтение практически всегда отдается парадигме, не

взирая на убедительность доказательств. Это обстоятельство является почти непреодолимым препятствием получения нового знания. Ведь если оно не противоречит парадигме, то оно не новое и ценности никакой не представляет.

Остается лишь надеяться, что в данном конкретном случае произойдет исключение из правил и *необходимо достоверный* результат будет признан таковым.

Условие излучения заряда

Электромагнитные волны обладают импульсом и энергией.

Энергию волна получает от ее источника, в результате чего энергия самого источника уменьшается.

В то же время, любое уменьшение энергии необходимо обуславливается выполнением соответствующей работы

$$\Delta E = A.$$

Работа равна

$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}.$$

Теорема 1. Тангенциально ускоренный заряд *излучает* электромагнитные волны.

Доказательство.

Пусть

$$\mathbf{F} = F \frac{\mathbf{s}}{s}.$$

Тогда

$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = F \frac{\mathbf{s}}{s} \cdot d\mathbf{s} = F ds = \Delta E \neq 0.$$

Теорема доказана.

Теорема 2. Нормально ускоренный заряд *не излучает* электромагнитные волны.

Доказательство.

Пусть

$$\mathbf{F} = F \frac{\mathbf{r}}{r}, \quad \mathbf{r} \perp \mathbf{s}.$$

Тогда

$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = F \frac{\mathbf{r}}{r} \cdot d\mathbf{s} = 0.$$

Теорема доказана.

Теорема 2 формализует общеизвестное в механике обстоятельство, заключающееся в том, что центростремительная сила работы не совершает (поскольку скалярное произведение ортогональных векторов необходимо равно нулю).

О динамике заряда

Доказательства теорем 1 и 2 выполнены в терминах сил. Для инертных тел переход к терминам ускорений осуществляется в соответствии со вторым законом Ньютона.

Для электрических зарядов подобный переход возможен с учетом выражения

$$m_e = k \frac{e^2 \mu_0}{b}, \quad (1)$$

где m_e – масса электрона, e – его заряд, μ_0 – магнитная постоянная, b – величина, имеющая размерность длины, k – безразмерный коэффициент [15, 16].

Теорема 3. Электрический заряд удовлетворяет второму закону Ньютона.

Доказательство.

Пусть электрон движется в направлении \mathbf{s} со скоростью $\mathbf{v} = v\mathbf{s}/s$.

Выражение (1), строго говоря, не предполагает какой-то конкретной геометрической формы электрона, при этом оно позволяет временно формально представить его в виде эквивалентной безмассовой заряженной сферы радиуса $k_1 b$. Здесь k_1 – коэффициент пропорциональности, который при дальнейшем рассмотрении определяется однозначно.

Энергия электростатического поля равномерно заряженной сферы радиуса $k_1 b$ и зарядом e определяется выражением:

$$W_\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 k_1 b}. \quad (2)$$

Поскольку заряженная сфера поступательно движется, имеет место магнитное поле, напряженность которого равна

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0 c^2} [\mathbf{v}, \mathbf{E}],$$

где \mathbf{E} – напряженность электрического поля. Энергии электрического и магнитного полей соотносятся следующим образом.

$$dW_\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} dV = \frac{E^2}{2c^2 \mu_0} dV,$$

$$dW_\mu = \frac{\mu_0 H^2}{2} dV = \frac{\mu_0}{2} \left\{ \frac{1}{\mu_0 c^2} [\mathbf{v}, \mathbf{E}] \right\}^2 dV = k_2 \frac{E^2 v^2}{2\mu_0 c^4} dV = k_2 dW_\varepsilon \frac{v^2}{c^2},$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности, обусловленный пространственной конфигурацией магнитного поля [17].

С учетом (2)

$$W_\mu = k_2 W_\varepsilon \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2} \frac{k_2 e^2 v^2}{4\pi \varepsilon_0 k_1 b c^2} = k \frac{e^2 \mu_0 v^2}{2b}.$$

Соответствующим образом подбирая k_1 , можно добиться равенства

$$k = \frac{k_2}{4\pi k_1}.$$

Сила является градиентом энергии

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \frac{dW_\mu}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{2b} \frac{d(v^2)}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}/dt}{d\mathbf{r}/dt} = \\ &= k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}}{d\mathbf{r}} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{d\mathbf{v}/dt}{d\mathbf{r}/dt} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \mathbf{v} \frac{1}{\mathbf{v}} \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = k \frac{e^2 \mu_0}{b} \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}. \end{aligned}$$

С учетом (1)

$$\mathbf{F} = m_e \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}.$$

Теорема доказана.

Теорема 3 позволяет перейти к терминам ускорений в теоремах 1 и 2.

Заключение

Считается, что магнетронное излучение происходит в результате нормального ускорения зарядов.

Это и есть парадигма, о которой шла речь в методике. Эта парадигма противоречат *необходимо достоверному* результату – теореме 2. Следовательно, она (парадигма) недостоверна. В этом нет ничего плохого и даже странного. История науки говорит о том, что *все научные парадигмы являются недостоверными*.

В свете теорем 1 и 2 причину магнетронного излучения следует искать в тангенциальном ускорении, обусловленном кулоновскими взаимодействиями зарядов пучка [18–20].

Никто не сомневался, что тангенциальное ускорение электрического заряда приводит к излучению электромагнитных волн. Вот только укоренившееся обобщение феномена излучения на ускорение «вообще», в т.ч. нормальное ускорение заряда, неправомерно.

Парадоксальность ситуации состоит в том, что теоремы 1 и 2 не выглядят сенсационными.

Результаты исследования могут использоваться при построении теоретических моделей явлений и процессов, а также учитываться в технических приложениях.

Библиографический список

1. Гордеев С.В., Канев С.В., Суворов М.О., Хартов С.А. Оценка параметров прямоточного высокочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85709>
2. Алдонин Ф.И., Ахметжанов Р.В. Расчет основных рабочих характеристик ионного двигателя мощностью 20 – 30 Вт. // Труды МАИ. 2015. № 81. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57827>
3. Мюллер А., Смирнова М.Е., Фейли Д., Хартов С.А., Хольсте К., Шиперс С. Использование системы измерения эмиттанса для диагностики ионного двигателя // Труды МАИ. 2014. № 73. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=48551>
4. Казаков Е.Н., Смирнова М.Е., Хартов С.А. Анализ проблем использования четырехэлектродных ионно-оптических систем для перспективных электроракетных двигателей // Труды МАИ. 2013. № 70. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=44490>
5. Белоусов А.П., Мельников А.В., Хартов С.А. Модель динамики электронов в разрядной камере высокочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80974>
6. Кули-Заде М.Е., Скороход Е.П. Разработка кинетических моделей движущейся плазмы. Константы радиационных d–p переходов иона ксенона // Труды МАИ. 2017. № 95. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=84423>

7. Петров А.К. Характеристики модели высокочастотного ионного двигателя с ускорением ионов скачком потенциала двойного слоя // Труды МАИ. 2014. № 74.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49282>

8. Важенин Н.А. Имитационное моделирование электромагнитного излучения стационарных плазменных двигателей // Труды МАИ. 2013. № 69. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=43062>

9. Важенин Н.А. Влияние электромагнитного излучения стационарных плазменных двигателей на шумовые характеристики радиолиний космической связи // Труды МАИ. 2013. № 69. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=43329>

10. Важенин Н.А. Феноменологические модели импульсных помех от стационарных плазменных двигателей // Труды МАИ. 2013. № 66. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=40277>

11. Плохих А.П., Важенин Н.А. Принципы построения наземных испытательных комплексов для исследования помехоэмиссии электроракетных двигателей // Труды МАИ. 2012. № 60. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=35390>

12. Важенин Н.А. Эмпирические модели законов распределения импульсных помех от стационарных плазменных двигателей // Труды МАИ. 2012. № 59. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=35248>

13. Криворучко Д.Д., Скрылев А.В., Скороход Е.П. Определение концентраций возбужденных состояний и вероятностей радиационных переходов ХеI плазмы

Труды МАИ. Выпуск № 119 <http://trudymai.ru/>
холловских двигателей // Труды МАИ. 2017. № 92. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=76859>

14. Криворучко Д.Д., Кули-Заде М.Е., Скороход Е.П., Скрылев А.В. Вероятности фото-переходов иона ХеП и распределения возбуждённых состояний в низкотемпературной плазме холловского двигателя // Труды МАИ. 2017. № 94.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80903>

15. Попов И.П. Сведение постоянной Планка к классическим фундаментальным константам // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. 2014. № 3. С. 51 – 54.

16. Попов И.П. Электромагнитное представление квантовых величин // Вестник Курганского государственного университета. Естественные науки. 2010. Т. 2. № 18. С. 59 – 62.

17. Павлов В.Д. Магнитный поток и его квантование // Известия Уфимского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 25 – 28. DOI: [10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28](https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28)

18. Канев С.В. Поток электронов в слабом стационарном магнитное поле // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80967>

19. Кожевников В.В., Смирнов А.А., Смирнов П.Е., Черный И.А. Автоматизированная система диагностики параметров выходного пучка радиочастотного ионного двигателя // Труды МАИ. 2014. № 75. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49699>

Численное моделирование первичного пучка ионов и потока вторичных ионов в ионно-оптической системе ионного двигателя // Труды МАИ. 2013. № 71. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=46702>

Classical mechanics methods application to electric charges

Popov I.P.

Kurgan State University,

63/4, Sovetskaya str., Kurgan, 640020, Russia

e-mail: ip.popow@yandex.ru

Abstract

The article proves three theorems associated with studying accelerated electric charges on the basis and in terms of classical mechanics. Active development of aerospace ion and plasma engines theory touches upon a number of aspects, the two of which are being considered in the presented work, namely the charged particles dynamics and electromagnetic radiation at their acceleration. It is assumed that the charge moving along the circular path, i.e. with the centripetal acceleration, should necessarily radiate electromagnetic waves. It spreads, inter alia, to the cyclotron radiation.

The terms and methods of classical mechanics are being used, which spread, inter alia, to the electric charges dynamics in a part of forces, accelerations, displacements,

work and energy. The starting point is a credible statement. A number of mathematically correct transformations is being performed with it. Thus, the result is necessarily reliable. Electromagnetic waves possess momentum and energy. The wave receives energy from the energy source, which leads to energy reduction of the source itself. At the same time, any decrease in energy is being necessarily stipulated by the corresponding work performing. Three theorems has been proved. Theorem 1. A tangentially accelerated charge *does emit* electromagnetic waves. Theorem 2. A normally accelerated charge *does not emit* electromagnetic waves. Theorem 2 formalizes a well-known in mechanics circumstance that the centripetal force does not perform work (since the scalar product of orthogonal vectors must be zero). Theorem 3. Electric charge satisfies Newton's second law. In view of Theorems 1 and 2, the cause of magnetron radiation should be sought in the tangential acceleration caused by the Coulomb interactions of the beam charges.

Keywords: electromagnetic waves, dot product, orthogonal vectors, inactivity.

References

1. Gordeev S.V., Kanev S.V., Suvorov M.O., Khartov S.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 96. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=85709>
2. Aldonin F.I., Akhmetzhanov R.V. *Trudy MAI*, 2015, no. 81. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57827>

3. Myuller A., Smirnova M.E., Feili D., Khartov S.A., Khol'ste K., Shipers S. *Trudy MAI*,

2014, no. 73. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=48551>

4. Kazakov E.N., Smirnova M.E., Khartov S.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 70. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=44490>

5. Belousov A.P., Mel'nikov A.V., Khartov S.A. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80974>

6. Kuli-Zade M.E., Skorokhod E.P. *Trudy MAI*, 2017, no. 95. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=84423>

7. Petrov A.K. *Trudy MAI*, 2014, no. 74. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=49282>

8. Vazhenin N.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 69. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=43062>

9. Vazhenin N.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 69. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=43329>

10. Vazhenin N.A. *Trudy MAI*, 2013, no. 66. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=40277>

11. Plokhikh A.P., Vazhenin N.A. *Trudy MAI*, 2012, no. 60. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35390>

12. Vazhenin N.A. *Trudy MAI*, 2012, no. 59. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35248>

13. Krivoruchko D.D., Skrylev A.V., Skorokhod E.P. *Trudy MAI*, 2017, no. 92. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=76859>

14. Krivoruchko D.D., Kuli-Zade M.E., Skorokhod E.P., Skrylev A.V. *Trudy MAI*, 2017,

no. 94. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80903>

15. Popov I.P. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Fizika i khimiya*, 2014, no. 3, pp. 51 –

54.

16. Popov I.P. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*,

2010, vol. 2, no. 18. pp. 59 – 62.

17. Pavlov V.D. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2020, no. 4, pp. 25 – 28.

DOI: [10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28](https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28)

18. Kanev S.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL:

<http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80967>

19. Kozhevnikov V.V., Smirnov A.A., Smirnov P.E., Chernyi I.A. *Trudy MAI*, 2014, no.

75. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=49699>

20. Abgaryan V.K., Akhmetzhanov R.V., Leb Kh.V., Obukhov V.A., Cherkasova M.V.

Trudy MAI, 2013, no. 71. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=46702>