

10;12

Об одной особенности униполярного вращения

© С.А. Герасимов, С.Л. Гороховиков, М.А. Григорян

Ростовский-на-Дону государственный университет
E-mail: GSIM1953@mail.ru

Поступило в Редакцию 6 июля 2004 г.

Экспериментально показано, что момент сил, свойственный униполярному вращению, не зависит от форм подвижной и внешней цепи. Вращательный момент униполярного вращения зависит только от силы тока в цепи, свойств источника магнитного поля и расстояний от точек подвода электрического тока к подвижному электроду до источника магнитного поля.

Вращение цилиндрического магнита, по которому от центра к краю течет постоянный электрический ток, называется униполярным [1]. Считается, что отличительной чертой такого движения является нарушение принципа равенства действия и противодействия в магнитостатике [2,3]. Экспериментальные исследования этого явления [4] обнаружили чрезвычайно малые значения вращательного момента (момента сил), действующего на систему. Вероятно, именно это являлось причиной пренебрежительного отношения не только к упомянутой гипотезе, но и ко всему явлению. Это единственные широко известные экспериментальные данные [4], которые могут быть сопоставлены с теоретическими представлениями [3]. Другие результаты [5], как правило, относятся к конкретным техническим решениям и поэтому не позволяют выяснить наиболее характерные особенности этого типа движения, имеющие не только прикладное, но и фундаментальное значение. Неудачной, по-видимому, является схема эксперимента. В частности, эта конструкция, ставшая традиционной [1–4], не позволяет исследовать зависимость вращательного момента от расстояния между намагниченным цилиндрическим телом и диском, по которому течет постоянный электрический ток. При экспериментальном изучении явления расстояние от источника магнитного поля до всех участков внешней цепи целесообразно оставить неизменным, например, так, как показано на рис. 1.

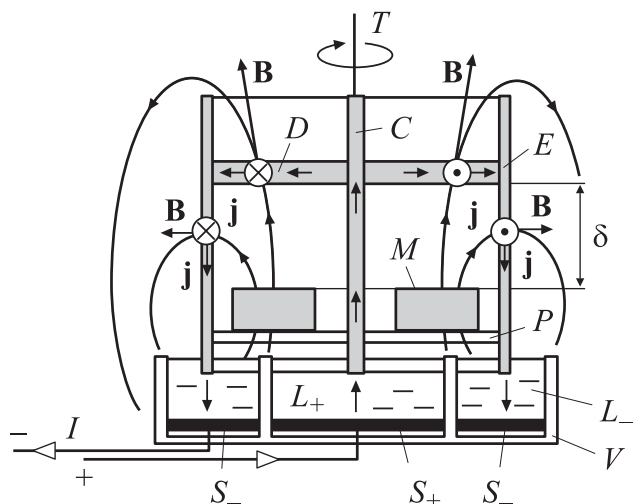


Рис. 1. Экспериментальная установка. Стрелки \uparrow и \downarrow показывают направления электрического тока, символы \otimes и \odot — направления сил, действующих на различные участки подвижного электрода.

Экспериментальная установка представляет собой подвижный электрод, кольцевой магнит M и кювету V с электропроводящей жидкостью. Подвижный электрод состоит из цилиндрического тонкостенного медного электрода E радиусом 65 mm и высотой 110 mm , центрального медного электрода C диаметром 7 mm и дискового алюминиевого электрода D толщиной 8 mm . Размеры дискового электрода обеспечивают электрический контакт между цилиндрическим электродом и центральным электродом при изменении расстояния δ от верхней поверхности магнита до нижней поверхности электрода D . Кольцевой магнит высотой 25 mm , с внутренним диаметром 38 mm , внешним диаметром 110 mm , обладающий намагниченностью $2 \cdot 10^5\text{ A/m}$, закреплен на пластмассовой подложке P , жестко соединенной с цилиндрическим электродом. Подвижный электрод подвешен на нити T . Это сделано с единственной целью — свести к минимуму трение, являющееся в предыдущих измерениях [2,4] мешающим фактором. Нижние основания цилиндрического и центрального электродов погружены в

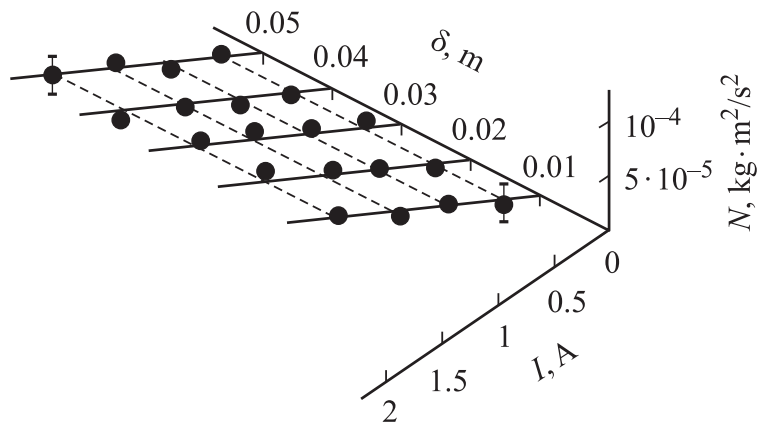


Рис. 2. Экспериментальные зависимости вращательного момента N , действующего на подвижный электрод, от силы тока в цепи I при различных расстояниях δ между источником магнитного поля и дисковым электродом. Сплошные линии — результат аппроксимации $N = \alpha I$, где $\alpha = 5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{A}$.

электропроводящую жидкость (5% раствор $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), находящуюся в двух разделенных перегородкой цилиндрических объемах L_+ и L_- кюветы V . Глубина погружения около 5 мм. На дно кюветы помещены дисковый S_+ и кольцевой S_- медные электроды, обеспечивающие подвод постоянного электрического тока от внешнего источника тока к электропроводящей жидкости.

Описанный выше вариант установки обнаруживает достаточно большие значения вращательного момента N . Например, при силе тока 1 А и расстоянии $\delta = 1 \text{ cm}$ вращательный момент составляет около $500 \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2$. Весь массив экспериментальных данных показан на рис. 2. Это — зависимости вращательного момента от силы тока в цепи I , измеренные при различных расстояниях δ . Измерения величин вращательного момента проводились методом торсионных (крутильных) колебаний: для вычисленного значения момента инерции и измеренного периода крутильных колебаний определялась константа (модуль кручения), связывающая вращательный момент с углом поворота подвижного электрода. В применении к данной проблеме использование метода

торсионных колебаний обсуждалось [6] и, как оказалось, демонстрирует достаточно точные результаты.

Теперь есть все основания сомневаться в предыдущих результатах как с точки зрения их характера, так и численных значений. Во-первых, зависимость вращательного момента от силы тока линейна. По крайней мере, это так при малых величинах постоянного тока, текущего в цепи. Во-вторых, и это основное, вращательный момент не зависит от положения дискового электрода D , другими словами, от расстояния δ между источником магнитного поля и дисковым электродом. Отсюда вытекает более общий вывод. А именно, вращательный момент не зависит от формы и размеров подвижного электрода. Небольшие отклонения от этого правила, судя по всему, обусловлены ошибками измерений и вторичными процессами, например, изменением свойств раствора $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в процессе измерений. Независимость вращательного момента N от величины δ продемонстрирована на рис. 2 штриховыми прямыми, параллельными оси расстояний.

Физически внешняя цепь ничем не отличается от подвижной. Значит, момент сил, действующий и на внешнюю цепь, также не должен зависеть от ее формы. В свою очередь, это означает, что на величину вращательного момента не оказывает влияния характер распределения тока в электропроводящей жидкости, в том числе обусловленного магнитным полем.

Единственные определенные размеры, от которых зависит величина вращательного момента, это расстояния от источника магнитного поля до находящихся в электропроводящей жидкости областей цилиндрического и центрального электродов, т.е. до областей подвода электрического тока к подвижному электроду. Этот вывод вместе с большими величинами вращательного момента, полученными экспериментально, может оказаться чрезвычайно важным при разработке и создании соответствующих устройств. С другой стороны, основной результат настоящей работы означает, что представление о так называемом самодействии [7,8] по крайней мере не лишено смысла.

Список литературы

- [1] *Lorrain P.* // Eur. J. Phys. 1990. V. 11. N 2. P. 94.
- [2] *Bednarek S.* // Amer. J. Phys. 2002. V. 70. N 4. P. 455.
- [3] *Герасимов С.А., Гороховиков С.И.* // Вопр. приклад. физ. 2004. В. 10. С. 14.

- [4] *Das Gupta A.K.* // Amer. J. Phys. 1963. V. 31. N 6. P. 428.
- [5] *Бут Д.А.* // Электричество. 1995. № 1. С. 2.
- [6] *Герасимов С.А., Волос А.В.* // Учебн. физ. 2002. В. 5. С. 22.
- [7] *Gerasimov S.A.* // Phys. Scr. 1997. V. 56. N 3–4. P. 462.
- [8] *Cavalleri G., Bettoni G., Tonni E., Spavieri G.* // Phys. Rev. E. 1998. V. 58. N 2. P. 2505.