Серия: **ФИЗИКА**

Хмельник С.И.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1493-6630

Сила Кориолиса и центробежная сила в электродинамике и механике

Аннотация

Существующее представление о природе силы Кориолиса и центробежной силы вызывают много недоуменных вопросов. В статье доказывается, что эти силы могут быть обоснованы как следствие уравнений Максвелла для гравитомагнетизма.

Оглавление

1. Вступление

Современные представления о силе Кориолиса [1] заключаются в следующем:

- сила Кориолиса никак не связана с каким-либо взаимодействием рассматриваемого тела с другими телами,
- сила Кориолиса обусловлена выбором конкретной неинерциальной системы отсчёта.
- сила Кориолиса не является физической силой и не совершает работу.

Грубо говоря, сила Кориолиса, действующая на тело, появляется потому, что **рядом** с этим телом вращается с определенной скоростью другое тело. Наше тело **не** взаимодействует с этим телом и потому «не знает» величину этой скорости, но именно от этой скорости зависит сила Кориолиса. Масса этого другого тела и расстояние до него не имеют значения. Сила Кориолиса не совершает работу, но

- свободно падающее тело отклоняется,
- рельсы железных дорог с односторонним движением снашиваются неравномерно,
- снаряды дальнобойной артиллерии отклоняются от расчетной траектории и т.п.

Итак,

- имеется инерциальная система отсчета, вращающаяся с вектором угловой скорости $\overline{\omega}$,
- имеется неинерциальная система отсчета, никак **не взаимодействующая** с неинерциальной системой отсчета,
- в неинерциальной системе тело массой m движется со скоростью $\overline{v}$,
- при этом наблюдается сила Кориолиса, действующая на тело перпендикулярно скорости $\overline{v}$, которую определяют по формуле

$$\bar{F}_K = -2m(\overline{\omega} \times \overline{v}). \quad (0)$$

Эта сила наблюдается, как фиктивная, из <u>неинерциальной</u> системы отсчета, как, например, в опыте с маятником Фуко. Но эта же сила наблюдается также из <u>инерциальной</u> системы отсчета, как, например, реальная сила подмыва берегов. Наблюдение может вестись еще из <u>третьей системы</u>, в которой вращается <u>неинерциальная</u> система отсчета, в которой находится <u>инерциальная</u> система отсчета, как в опыте [5]. В этом случае мы наблюдаем, как в неинерциальной системе фиктивная сила физически рисует спираль… Поэтому силу Кориолиса нельзя считать фиктивной и объяснять особенностями восприятия наблюдателя.

Необходимо пытаться найти физическую связь реальной вращающейся системы с телом, движущейся в ней или **около** этой системы.

Далее показывается, что сила Кориолиса обнаруживается как следствие уравнений Максвелла для гравитомагнетизма. Эти уравнения существуют в окрестности гравитирующего тела (Земли). Следовательно, сила Кориолиса может возникнуть только в окрестности такого тела и не может быть в открытом Космосе. Сила Кориолиса – полноценная сила, совершающая работу. Энергия, затрачиваемая на выполнение этой работы, доставляется гравитирующим телом.

Рис. 1.

2. Взаимодействие движущихся электрических зарядов

Рассмотрим рис. 2, где в точках A и B показаны два заряда q_1 и q_2, движущиеся со скоростями v_1 и v_2 соответственно. Известно, что магнитная индукция поля, создаваемого зарядом q_2 в точке, где в данный момент находится заряд q_1, равна

$$\overline{B} = q_2(\overline{v_2} \times \overline{r})/r^3. \qquad (1)$$

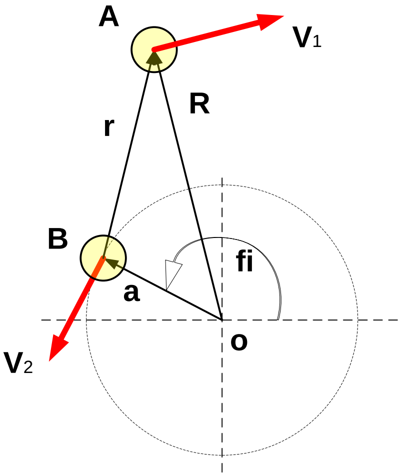

Рис. 2.

При этом вектор $\overline{r}$ направлен из точки, где находится движущийся заряд q_1. Сила Лоренца, действующая на заряд q_1,

$$\overline{F_{12}} = q_1\left(\overline{v_1} \times \overline{B}\right). \qquad (2)$$

или

$$\overline{F_{12}} = q_1 q_2\left(\overline{v_1} \times (\overline{v_2} \times \overline{r})\right)/(r^3). \qquad (3)$$

На рис. 2 показаны также векторы $\overline{a}$ и $\overline{R}$, причем вектор $\overline{a}$ составляет с горизонтальной осью ох угол φ и

$$\overline{r} = \overline{R} - \overline{a}. \qquad (4)$$

Вначале мы рассмотрим случай, когда все эти векторы лежат в горизонтальной плоскости оу, и будем обозначать проекции всех векторов нижним индексом координаты. Тогда вектор

$$\overline{w} = (\overline{v_2} \times \overline{r}) = \bar{z}\left(v_{2x}r_y - v_{2y}r_x\right), \tag{5}$$

где $\bar{z}$ – орт вертикальной оси. Обозначим

$$w_z = \left(v_{2x}r_y - v_{2y}r_x\right). \tag{6}$$

Тогда

$$\overline{w} = \bar{z}w_z. \tag{7}$$

Если заряд q_2 вращается вокруг точки О с угловой скоростью ω, то вектор

$$\overline{v_2} = \omega\bar{a}\exp\left(i\frac{\pi}{2}\right) \tag{8}$$

является касательным к окружности с радиусом a. При этом

$$w_z = \omega a\left(\cos\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)r_y - \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)r_x\right) \tag{9}$$

или

$$w_z = -\omega a\left(\sin(\varphi)r_y + \cos(\varphi)r_x\right). \tag{10}$$

Из (3, 5) получим:

$$\overline{F_{12}} = q_1q_2(\overline{v_1} \times \overline{w})/(r^3) \tag{11}$$

или, с учетом (7, 10),

$$\overline{F_{12}} = q_1q_2\omega\left(\overline{v_1} \times \bar{z}\frac{w_z}{\omega}\right)/(r^3). \tag{12}$$

Предположим теперь, что величина q_2 является плотностью зарядов, расположенных равномерно на всей горизонтальной плоскости, а эта плоскость вращается с угловой скоростью ω вокруг точки О. При этом линейная скорость $\overline{v_2}$ каждой точки определяется по (8).

Найдем силу, действующую от такой заряженной и вращающейся плоскости на заряд q_1:

$$\bar{F} = \int\limits_{\varphi,a} \overline{F_{12}}\, d\varphi da = \int\limits_{\varphi,a} \left(q_1q_2\omega\left(\overline{v_1} \times \bar{z}\frac{w_z}{\omega}\right)/(r^3)\right) d\varphi da$$

или

$$\bar{F} = q_1q_2(\overline{v_1} \times \overline{\omega}W), \tag{13}$$

где

$$\overline{\omega} = \bar{z}\omega, \tag{14}$$

$$W = \int_{\varphi,a} \frac{w_z/\omega}{r^3}\, d\varphi da. \tag{15}$$

Из (15, 10) находим:

$$W = -\int_0^\infty a\left(\int_0^{2\pi}\left(\sin(\varphi)r_y + \cos(\varphi)r_x\right)r^{-3}\, d\varphi\right) da, \tag{16}$$

где r определяется по (4):

$$r_x = R_x - a\cos(\varphi),\ r_y = R_y - a\sin(\varphi), \tag{17}$$

$$a_x = a\cos(\varphi),\ a_y = a\sin(\varphi). \tag{18}$$

Интегрирование по этим формулам дает замечательный результат: величина W не зависит от R и при стремлении верхнего предела к ∞ приближается к величине

$$W \approx -45. \tag{19}$$

Поэтому формулу (13) можно записать в виде

$$\bar{F} = q_1 q_2 W(\overline{v_1} \times \overline{\omega}), \tag{20}$$

Можно заметить аналогию между формулами для силы (20) и для силы Кориолиса.

3. Взаимодействие вращающегося электрического заряда с неподвижным полем электрических зарядов

Рассмотрим теперь электрический заряд q_1, который вращается над полем электрических зарядов. Силы Кулона со стороны вращающегося заряда должны вращать поле электрических зарядов. При этом задача сводится к предыдущей: действительно, заряд q_1 движется над вращающимся полем электрических зарядов. Для идентичности этих задач надо еще предположить, что поле зарядов не имеет собственного вращения или скорость этого вращения существенно меньше скорости вращения заряда q_1. Таким образом, и в этом случае мы можем воспользоваться формулой (20). Линейная скорость v_1 заряда q_1 и его угловая скорость ω связаны формулой

$$v_1 = R\omega, \tag{20a}$$

где R – радиус вращения заряда q_1. Совмещая (20, 20a) находим:

$$F = q_1 q_2 W R \omega^2. \tag{20b}$$

Можно заметить аналогию между формулами для силы (20b) и для центробежной силы.

4. Уравнения Максвелла для гравитомагнетизма и сила Кориолиса

В [2] автор предлагает новое решение уравнений Максвелла для гравитомагнетизма, которое используется для построения математических моделей различных природных явлений (песчаного вихря, морских течений, водоворота, воронки, водного солитона, водного и песчаного цунами, турбулентных течений, дополнительных (неньютоновских) сил взаимодействия небесных тел). Во всех этих моделях используется представление о массовых токах, как о потоках частиц масс. Скорость массовых частиц может быть очень мала и часто их поток может быть невидим также, как поток электронов. Но существование указанных явлений и возможность построения указанных математических моделей, аналогичных математическим моделям постоянного тока в электродинамике [4], подтверждают предположение о существовании массовых токов и взаимодействии массовых частиц, полностью аналогичном взаимодействию электрических зарядов.

На основе этого можно предположить, что вращение тела сопровождается массовым током, аналогично тому, как вращение заряженного тела сопровождается конвекционным электрическим током. Эйхенвальд [3] показал, что такой ток создает магнитную индукции. Исходя из полной аналогии между уравнениями Максвелла для электродинамики и гравитомагнетизма [2] можно утверждать, что при вращении тела создается гравитомагнитная индукция. На массу m, движущуюся в гравимагнитном поле со скоростью v, действует гравитомагнитная сила Лоренца (аналог магнитной силы Лоренца).

Исходя из вышесказанного перепишем формулу (20), полученную выше для взаимодействия электрических зарядов, в применении к взаимодействию массовых зарядов:

$$\bar{F} = Wpm(\bar{v} \times \bar{\omega}), \tag{21}$$

где $W \approx -45$,

$m, \bar{v}$ - масса и скорость движущегося тела,

p - поверхностная плотность масс, как элементов массового тока,

$\bar{\omega}$ - угловая скорость вращения плоскости, на которой равномерно распределены эти элементы.

Сравнивая формулы (0, 21) находим, что

$$-2 = Wp, \tag{22}$$

откуда следует, что плотность масс

$$p = -\frac{2}{W} \approx 0.044 \frac{kg}{m^2} = 4.4 \cdot 10^{-5} \frac{mg}{sm^2}. \tag{23}$$

«Позвольте», - удивится внимательный читатель. «Вы отвергаете теорию Кориолиса и одновременно с этим пользуетесь его формулой?» Я могу только присоединиться к его удивлению и еще более удивиться тому, что столь разные методы рассуждений привели к одному и тому же формульному результату! Все же вывод плотности масс (23) можно принять только в том случае, если есть уверенная

экспериментальная проверка величины коэффициента «2» в формуле (0) силы Кориолиса.

Используемый метод вывода силы Кориолиса доказывает реальность, а не фиктивность этой силы и обнаруживает источник мощности для этой силы – гравитационное поле Земли.

5. Центробежная сила

Как показано в разделе 3, вращение заряженной плоскости под движущимся зарядом можно заменить вращением заряда над заряженной плоскостью. Тогда в формуле (20) $\overline{\omega}$ – это вектор угловой скорости вращающегося заряда, линейная скорость этого заряда

$$v_1 = R\omega. \tag{24}$$

В применении формулы (20b) к взаимодействию массовых зарядов получаем:

$$\bar{F} = Wpm\omega^2 R. \tag{25}$$

Эта формула отличается от формулы для центробежной силы

$$\bar{F}_C = m\omega^2 R, \tag{26}$$

только коэффициентом. По аналогии с предыдущим здесь находим плотность масс

$$p = -\frac{1}{W} \approx 0.022\frac{kg}{m^2} = 2.2 \cdot 10^{-5}\frac{mg}{sm^2}. \tag{27}$$

Таким образом, природа центробежной силы такая же, как и природа силы Кориолиса, а источник мощности для этой силы – гравитационное поле Земли.

Литература

1. Сила Кориолиса, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/Сила_Кориолиса
2. Хмельник С.И. Гравитомагнетизм: природные явления, эксперименты, математические модели. 5-ая редакция, 2020, ISBN 978-1-365-62636-4. Printed in USA, Lulu Inc., ID 20262327, http://doi.org/10.5281/zenodo.140366
3. А. Эйхенвальд. Электричество, М.Л. 1933, п. 282, http://lib.izdatelstwo.com/Papers2/Eyhenvald.djvu
4. Хмельник С.И. Непротиворечивое решение уравнений Максвелла. 18-ая редакция, 2020, ISBN 978-1-329-96074-9. Printed in USA, Lulu Inc., ID 18555552, http://doi.org/10.5281/zenodo.3783458
5. Шарик, катящийся по вращающейся платформе, НИЯУ МИФИ, https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=LkrmALM8TsA