Журнал Формирующихся Направлений Науки
номер 9(3), стр. 144-148, 2015

статья получена: 26.09.2015
статья принята к публикации: 29.09.2015
http://www.unconv-science.org/n9/osipov/

Взаимодействие вращающихся тел и общие принципы симметрии

М. Осипов[1]

***Аннотация*—Проведен анализ различных, в принципе возможных потенциалов взаимодействия макроскопических тел, зависящих от их угловой скорости вращения. При этом использованы общие принципы симметрии и не делается попытка построения физической теории. Рассмотрена возможная роль хиральности формы вращающегося тела и отдельно проанализированы результаты экспериментальных исследований В.Н. Самохвалова [1], в которых первостепенную роль играет не само по себе вращение дисков, а прецессия момента количества движения диска, связанная с отклонением оси вращения от оси самого диска.**

I. Введение

В классической физике вращение твердого тела не влияет на гравитационное взаимодействие, а соответствующие релятивистские поправки и эффекты Общей Теории Относительности пренебрежимо малы в случае макроскопических тел, вращающихся со сравнительно небольшими скоростями. С другой стороны, вращение в принципе должно влиять на суммарное взаимодействие двух тел, если эти тела заряжены, так как появляются дополнительные силы, связанные с движением зарядов. В то же время, если исключить электромагнитные взаимодействия, то с точки зрения ортодоксальной науки не должно наблюдаться никакого заметного взаимодействия вращающихся тел в вакууме (где исключаются гидродинамические эффекты).

Вместе с тем, за последние десятилетия накоплено значительное количество экспериментальных результатов, указывающих, например, на заметное изменение веса вращающегося гироскопа, хотя результаты, полученные различными авторами, весьма противоречивы. В ряде случает такие эксперименты проводились на высоком технологическом уровне в известных физических лабораториях и даже публиковались в ведущих физических журналах [3]. Впоследствии эти результаты опровергались другими авторами [4], [5], [6], [7] и в результате не получили признания. История этих исследований изложена, например, в обзоре [2]. Учитывая противоречивость имеющихся экспериментальных данных, особый интерес представляют экспериментальные исследования, в которых однозначно фиксируются достаточно сильные взаимодействия, зависящие от скорости вращения тела, которые нельзя объяснить никакими паразитнымит эффектами. Одним из примеров таких исследований является работа В.Н. Самохвалова [1], в которой исследовано взаимодействие вращающихся дисков из неферромагнитных материалов и их силовое воздействие на подвижные массы в среднем вакууме, включая отталкивание твердых тел от вращающейся массы. Экспериментально установлена величина массодинамической силы отталкивания, действовавшей на экран, со стороны вращающегося диска со сбитой осью. С нашей точки зрения эксперименты [1] представляют собой новый шаг по сравнению и измерениями веса вращающихся тел, т.к. в экспериментах [1] взаимодействие отсутствует при простом вращении двух дисков и появляется только при наличии прецессии момента количества движения диска.

Эксперименты В.Н. Самохвалова побудили нас провести достаточно общий математический анализ возможных простых потенциалов взаимодействия, зависящих от угловой скорости вращения тела, влияние формы тела на такие взаимодействия и т.п. При этом использовались в основном общие принципы симметрии и не делалась попытка построения физической теории. В заключение качественно проанализированы экспериментальные результаты [1] и высказано предположение о ведущей роли скорости изменения момента количества движения диска с осью вращения, не совпадающей с осью самого диска.

II. Математические величины, используемые при описании взаимодействия вращающихся тел

В литературе по неконвенциальной физике часто обсуждаются как свойства вращающихся тел, так и влияние различных полей, так или иначе связанных с вращением. Сюда относятся в первую очередь магнитное поле (которое, как известно, в простейшем случае создается круговым током), а также электромагнитные волны круговой поляризации. Отметим, что так называемые торсионные поля также ассоциируются с лево- и право-поляризованными волнами [8]. При этом все основные величины, связанные с вращением, включая угловую скорость, момент количества движения

[1] Университет Стречклайд, Глазго, Великобритания, *m.osipov@strath.ac.uk*.

и магнитное поле являются так называемыми псевдовекторами (см. ниже), свойства которых определяются *хиральностью.* Поэтому имеет смысл начать с определения и обсуждения основных математических величин, которые используются в традиционной физике при описании хиральных объектов.

A. Хиральность вращающихся тел

Как известно, объект (например молекула или геометрическое тело) называется хиральным, если его отражение относительно плоскости (в зеркале) нельзя совместить с исходным объектом путем поворотов и перемещений. Таким образом для каждого хирального объекта существует его "двойник" - энантиомер. Хиральные объекты не имеют ни одной плоскости симметрии, поэтому они принципиально трехмерны. Вместо отражения в плоскости можно использовать инверсию пространства – операцию, при которой все обычные полярные векторы меняют направление на противоположное, т.к. инверсия в пространстве эквивалентна отражению в плоскости плюс некоторый поворот. Отсюда следует также, что хиральные объекты не могут иметь центра симметрии

Все это можно применить не только к неподвижным, но и к вращающимся объектам, а также к волнам с круговой поляризацией. Например, неподвижный конус нехирален, т.е. обладает множеством плоскостей симметрии, параллельных оси. В тоже время вращающийся конус хирален, т.к. при отражении его в любой плоскости, параллельной оси, направление вращения меняется. Напротив, вращающийся цилиндр (или диск) нехирален, если он вращается вокруг своей оси, т.к. у него остается одна плоскость симметрии, перпендикулярная оси. Интересно, что при отражении в плоскости, параллельной оси, его "направление" вращения меняется, однако его можно совместить с исходным цилиндром путем поворота на 180 градусов вокруг оси, перпендикулярной оси вращения. Все это имеет прямое отношение к экспериментам с вращением. Например, в опытах В.Н. Самохвалова [1] вращающийся вокруг своей оси диск нехирален (и не взаимодействует с другим таким же диском), а вот диск, вращающийся вокруг другой оси (со "сбитой" осью) – уже хирален (и участвует во взаимодействии). Сама по себе хиральна и бегущая угловая волна изгиба, а также вогнутый вращающийся диск (аналогичен конусу), которые наблюдались в [1].

B. Математическое описание хиральности и псевдовекторы

Простейший геометрический хиральный объект – это три обычных полярных вектора $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$, не лежащих в одной плоскости (например, обычная декартова система координат). Хиральность такой тройки векторов меняется на противоположную при инверсии пространства, т.е. при обращении знаков всех трех векторов. Для того, чтобы отличить один энантиомер от другого, используется смешанное прозведение этих трех векторов $\Delta = ((\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c})$, которое меняет знак при инверсии пространства. Таким образом, величина $\Delta = ((\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c})$ меняет знак при переходе от одного эннатиомера к другому (являющегося зеркальным отражением первого).Такие величины, меняющие знак при инверсии, называются *псевдоскалярами*, и их свойства отличаются от свойств простых скаляров, которые не меняет знак ни при каких преобразованиях симметрии. Отметим, что большинство физических величин – это обычные скаляры, например температура, энергия, плотность и т.д.

В теоретической физике псевдоскаляр обычно представляется как скалярное произведение обычного полярного вектора и *псевдовектора.* В данном случае псевдовектором является векторное произведения векторов a и b. Подобно полярным векторам, псевдовекторы (или аксиальные векторы) тоже задаются тремя декартовыми координатами, но они преобразуются по другим правилам при инверсии пространства и отражении в плоскости. В этом их отличие от полярных векторов.

При инверсии пространства направление любого полярного вектора меняется на обратное, в то время как векторное произведение двух полярных векторов при инверсии не меняется. Действительно, в произведении $(\mathbf{a} \times \mathbf{b})$ оба полярных вектора меняют знак, но векторное произведение знак не меняет, т.к. угол между векторами (и их порядок) остаются неизменными. Таким образом, трансформационные свойства псевдовектора (векторного произведения) противоположны соответствующим свойствам полярных векторов, что не всегда принимается во внимание.

III. Взаимодействие вращающихся тел с точки зрения симметрии

Попытаемся проанализировать различные возможные потенциалы взаимодействия вращающихся тел с математической (симметрийной) точки зрения, не пытаясь пока понять природу соответствующих взаимодействий или построить конкретную физическую теорию.

A. Тела, вращающиеся вокруг одной из главных осей

Рассмотрим цилиндр (или эллипсоид или диск), равномерно вращающийся вокруг своей оси. Существует ли какое-то дополнительно взаимодействие (за пределами очень слабых эффектов ОТО) между таким *одноосным* вращающимся телом и другим неподвижным телом? Это вопрос экспериментальный, и, насколько нам известно, на него нет определенного ответа. В литературе описано множество экспериментов по измерению веса вращающегося гироскопа, но в большинстве случаев момент количества движения гироскопа не остается постоянным, и следовательно, вес гироскопа не измеряется непосредственно. В тоже время в статье

В.Н. Самохвалова утверждается, что никакого взаимодействия нет, если в его установке диск вращается вокруг своей оси.

Посмотрим теперь, возможны ли такие взаимодействия с точки зрения симметрии.

1) Силы, линейно зависящие от угловой скорости

Угловая скорость – это псевдовектор (по определению она есть векторное произведение линейной скорости и радиус вектора). Если рассматривать ее как аналог "спина", то можно ожидать, что сила F будет линейно зависеть от угловой скорости ω (так в электродинамике зависят силы и поля от электрических или магнитных диполей). Тогда в общем случае получаем следующее соотношение

$$\mathbf{F} = C\vec{\omega}, \tag{1}$$

где C –коэффициент, зависящий от свойств системы, включая ее геометрию.

Отметим, что в этом уравнении сила **F** –это полярный вектор, а угловая скорость – псевдовектор! А у них разные трансформационные свойства, они по-разному преобразуются при отражениях и инверсии пространства. Поэтому данное соотношение может быть математически корректным, только если константа C является *псевдоскаляром* (который меняет знак при инверсиях и отражениях). Это возможно только если система является хиральной, например тело имеет хиральную форму. Тогда коэффициент C есть некая функция этой формы, которая меняет знак при переходе от тела к его зеркальному отражению (энантиомеру). Тогда уравнение (1) может выполняться – (псевдовектор) x (псевдоскаляр) = (полярный вектор).

В традиционной физике есть множество примеров такого соотношения между угловой скоростью и полярным вектором. Простейший пример – пропеллер. При вращении легкого пропеллера возникает подъемная сила (разумеется, за счет механического взаимодействия с воздухом), и которая линейно зависит от угловой скорости. Если вращать пропеллер в другую сторону, то изменится и направление силы. Важно подчеркнуть, что пропеллер – тело хиральной формы (у него нет плоскостей симметрии). Если изменить хиральность пропеллера на противоположную, и раскручивать в ту же сторону, то сила будет направлена в противоположную сторону, т.к. коэффициент C (как и всякий псевдоскаляр) изменит знак при инверсии.

Еще один простой пример – это юла. Если надавить на ручку юлы (т.е. приложить силу, параллельно ее оси), то юла начинает вращаться. Это определяется наличием спиральной пружины внутри юлы (снова тело хиральной формы), которая и осуществляет механическую связь между полярным вектором (силой и вызываемой ею линейной скоростью ручки) и псевдовектором угловой скорости вращения.

Отсюда следует вывод: *Симметрия не запрещает существование силы притяжения или отталкивания между вращающимся телом и другим массивным телом, если вращающееся тело имеет хиральную форму.*

Существование такого взаимодействия можно проверить экспериментально, измеряя силу воздействия хирального тела (например куска спирали или двух соединенных вместе свастик, повернутых относительно друг друга, чтобы создать трехмерный хиральный объект, или даже простого пропеллера в вакууме) на неподвижный экран.

Интересно также проанализировать уравнение (1) с точки зрения симметрии относительно обращения времени. Если в системе можно пренебречь диссипацией, то в правой части (1) угловая скорость меняет знак при обращении времени, в то время как сила (в отсутствие диссипации) знак не меняет. В этом случае уравнение (1) не может быть справедливым. В то же время, инвариантность относительно обращения времени выполняется, если силу в левой части уравнения (1) заменить на ее производную по времени,

$$\dot{F} = C\omega. \tag{2}$$

При этом, однако, мы приходим к достаточно абсурдному выводу, что при постоянной угловой скорости сила взаимодействия будет расти пропорционально времени.

Таким образом, взаимодействия, линейный по угловой скорости, могут возникать только при вращении хиральных тел и, скорее всего, в принципе возможны только при наличии существенной диссипации.

2) Силы, квадратично зависящие от угловой скорости

Конечно, с математической точки зрения возможна сила, которая пропорциональна квадрату угловой скорости (или более высоким четным степеням). В этом случае хиральность тела не важна. Например, можно формально предположить, что "энергия" взаимодействия имеет вид

$$U(r) = A\omega^2 r^{-2n}, \tag{3}$$

где вектор **r** направлен от точки приложения силы к центру вращающегося тела, а A – некий коэффициент. Тогда сила (которая является градиентом энергии) имеет вид

$$\mathbf{F} = -\mathbf{r}A\omega^2 r^{-2n-2}, \tag{4}$$

При этом сила является изотропной (она направлена по вектору r), т.е. не зависит от направления угловой скорости относительно направления на вращающееся тело.

Второй возможный случай – когда энергия зависит от проекции угловой скорости на вектор r, т.е. от величины $(\vec{\omega}\cdot\mathbf{r})^{2m}$. Например

$$U(r) = A(\omega\cdot\mathbf{r})^{2m} r^{-2n}, \tag{5}$$

В этом случае сила будет иметь вид

$$\mathbf{F} = -\mathbf{r}A(\omega\cdot\mathbf{r})^{2m} r^{-2n-2} + A\vec{\omega}(\omega\cdot\mathbf{r})^{2m-1} r^{-2n}, \tag{6}$$

и будет направлена под некоторым углом к оси вращения.

В обоих случаях сила должна создаваться любым вращающимся телом, и, насколько мне известно, не существует достаточных экспериментальных данных, подтверждающих это. В любом случае такие квадратичные по угловой скорости силы можно отделить от линейных сил, если рассмотреть экспериментальную зависимость взаимодействия от угловой скорости (линейная, квадратичная или более высокого порядка). Кроме того, такие силы всегда направлены под углом к оси вращения, что также можно определить экспериментально.

Наконец, существует еще третий тип возможных квадратичных сил, который является более интересным и специфическим, т.к. возникает, только если тело становится хиральным благодаря своему вращению.

Как описано во введении, вращающийся цилиндр или диск не является хиральным, а вот вращающийся конус становится хиральным за счет вращения вокруг его оси (т.к. при этом исчезают все плоскости симметрии). Хиральность вращающегося конуса определяется следующим псевдоскаляром $\Lambda = (\vec{\omega} \cdot \mathbf{a})$, где полярный вектор $\mathbf{a}$ направлен вдоль оси конуса по направлению к вершине. (Отметим, что для цилиндра или диска такой вектор ввести нельзя, т.к. две грани цилиндра эквивалентны).

В этом случае сила может быть пропорциональна следующей величине

$$\mathbf{F} \propto \vec{\omega}(\vec{\omega} \cdot \mathbf{a}) \tag{7}$$

Отметим, что в уравнении (7) сила направлена вдоль угловой скорости и само уравнение инвариантно относительно обращения времени.

Наличие такой силы можно проверить экспериментально, раскручивая массивный конус (вместо диска) в вакуумной камере типа той, которая была использована в [1].

B. Вращение диска с отклоненной осью

Оригинальность опытов В.Н. Самохвалова [1] состоит в том, что ось вращения, задаваемая мотором, наклонена на некоторый угол α относительно оси самого диска. Такая геометрия является очень интересной по двум причинам

а) Такой диск вместе с жестко прикрепленной осью двигателя является хиральным телом

в) Ось вращения не совпадает ни с одной главной осью тензора инерции самого диска, и поэтому момент количества движения диска не является постоянным (как в случае вращения вокруг главной оси), а прецессирует со скоростью вращения.

Действительно, хорошо известно, что тензор инерции диска можно записать в виде

$$I_{ij} = I_0\delta_{ij} + \Delta I(a_i a_j - \frac{1}{3}\delta_{ij}), \tag{8}$$

где $i, j = x, y, z$ и где единичный вектор $\mathbf{a}$ перпендикулярен плоскости диска ($\mathbf{a}$ – главная ось тензора инерции и знак a не важен, т.к. выражение квадратично по a).

Если направить ось z лабораторной системы координат вдоль угловой скорости вращения, то единичный вектор a можно записать в виде

$$\mathbf{a} = \mathbf{z}\cos\alpha + \mathbf{x}\sin\alpha\cos\phi + \mathbf{y}\sin\alpha\sin\phi, \tag{9}$$

где $\phi = \omega t$ - азимутальный угол, пропорциональный скорости вращения, а $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$– единичные векторы вдоль осей координат.

Момент количества движения при этом имеет вид

$$M_i = (I_0 - \frac{1}{3}\Delta I)\omega_i + \Delta I a_i(\omega \cdot \mathbf{a}). \tag{10}$$

Видно, что момент количества движения прецессирует вместе с осью диска a.

Интересно рассмотреть производную момента количества движения по времени (т.к. эта величина определяет момент сил, действующих на вращающееся тело)

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{M}}{dt} &= \Delta I\left(\frac{d\mathbf{a}}{dt}(\omega \cdot \mathbf{a}) + \mathbf{a}(\frac{d\mathbf{a}}{dt} \cdot \omega)\right) = \\ &= \Delta I \omega^2 \cos\alpha \sin\alpha(-\mathbf{x}\sin\omega t + \mathbf{y}\cos\omega t). \end{aligned} \tag{11}$$

Итак, вектор производной момента вращается в плоскости, перпендикулярной оси вращения диска, с той же частотой.

Таким образом, естественно предположить, что в экспериментах В.Н. Самохвалова взаимодействие вызывается не вращением диска как таковым, а прецессией момента количества движения, производная которого вращается в плоскости, перпендикулярной оси вращения.

При этом, если сила взаимодействия действительно вызывается этим вращением производной момента, то сила должна быть пропорциональна $\omega^2 \sin 2\alpha$. Отметим, что в этом случае сила действительно не меняет знак при изменении направления вращения и растет при увеличении угла между осью диска и угловой скоростью вращения (при небольших углах).

IV. Заключение

Мы рассмотрели несколько типов потенциала взаимодействия вращающихся тел, которые не противоречат принципам симметрии и описываются достаточно простыми математическими выражениями. При этом, с математической точки зрения, наиболее “вероятными” представляются взаимодействия вращающихся тел хиральной формы или тел (типа конуса), которые становятся хиральными при вращении. В то же время, с точки зрения теоретической физики, наиболее интересным представляется взаимодействие вращающихся дисков с отклоненной осью, исследованное В.Н. Самохваловым [1], т.к. оно скорее всего вызывается прецессией момента количества движения диска, т.е. вращением производной момента. Интересно отметить, что в классической механике производная момента количества движения тела равно сумме моментов всех сил, действующих на него. Напротив, в экспериментах [1] вращение производной момента, задаваемое извне, приводит к какому то неизвестному классической науке взаимодействию. Здесь, по-видимому, есть какая то связь, однако природа ее совершенно не ясна и требуется новая физическая теория.

Можно также поспекулировать, проведя аналогию с электродинамикой. Как известно, диполь Герца (осциллирующий заряд) является источником электромагнитной волны. По аналогии можно пофантазировать, что вращающийся в плоскости псевдовектор – производная момента количества движения – может оказаться источником циркулярно поляризованных "гравитационных волн", или волн какой-то неизвестной природы. Необходимо отметить также, что за рамками данного рассмотрения пока остались два важных эффекта. Во-первых, в опытах В.Н. Самохвалова взаимодействие возникает не сразу, а с некоторым (макроскопическим) запаздыванием, т.е. проявляются очень сильные эффекты временной нелокальности. Аналогичные взаимодействия в традиционной физике неизвестны и единственным простым аналогом является явление резонанса, когда энергия закачивается в систему постепенно. Во-вторых, непонятно, почему это взаимодействие экранируется достаточно разреженной средой, т.е. воздухом.

Автор благодарен В.А. Жигалову, познакомившему его с работой В.Н. Самохвалова.

Список литературы

[1] В.Н. Самохвалов. Неэлектромагнитное силовое взаимодействие при вращении масс в вакууме. Журнал Формирующихся Направлений Науки, 1(1), 2013, стр. 6-19.

[2] John G. Cramer, The Rise and Fall of Gyro-Gravity http://www.npl.washington.edu/AV/altvw41.html

[3] H. Hayasaka & S. Takeuchi, "Anomolous Weight Reduction on a Gyroscope's Right Rotations around the Vertical Axis on the Earth", Phys Rev Lett 63, 2701 - 2704 (1989),

[4] J. M. Nitschke and P. A. Wilmarth. Null result for the weight change of a spinning gyroscope, Phys. Rev. Lett. 64, 2115 (1990)

[5] J. E. Faller, W. J. Hollander, P. G. Nelson and M. P. McHugh, Gyroscope-weighing experiment with a null result, Phys. Rev. Lett. 64,825 (1990).

[6] Adelberger, E.G., Science correspondence on paper by Hayasaka & Takeuchi. Nature, 345, (1990) 121-121

[7] Quinn, T.J. & Picard, A. The mass of spinning rotors. Nature, 343, (1990) 732-735.

[8] Г. И. Шипов, Теория физического вакуума. - М.: "Наука", 1997.