

Беседа 3

1 Еще раз о торсионных силах

В Беседе 2 мы ввели в механику локальные силы, которые меняют энергию центра масс 4-D гироскопа, оставляя неизменной его полную энергию. Ввиду важности сделанного утверждения, приведем аналитическое доказательство этого утверждения еще раз. Мы запишем уравнения движения 4-D гироскопа с учетом действия локальных торсионных сил в виде

$$r\dot{\omega} - \ddot{x} \sin \phi = -\Phi\dot{x}, \quad (1)$$

$$\ddot{x}_c = \ddot{x} - B \frac{d}{dt}(\omega \sin \phi) = B\Phi\omega. \quad (2)$$

Умножая уравнение (1) на $2mr\omega$, а уравнение (2) на $(M + 2m)\dot{x}$, имеем

$$2mr^2\omega\dot{\omega} - 2mr\omega\ddot{x} \sin \phi = -2mr\omega\Phi\dot{x},$$

$$(M + 2m)\dot{x}\ddot{x}_c = (M + 2m)\dot{x}\ddot{x} - B \frac{d}{dt}(\omega \sin \phi) = (M + 2m)\dot{x}B\Phi\omega.$$

Поскольку $B = 2mr/(M + 2m)$, то при сложении этих двух уравнений их правые части взаимно уничтожаются, а сумма левых преобразуется к виду

$$\frac{d}{dt}T = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2}(M + 2m)v^2 + mr^2\omega^2 - 2mrv\omega \sin \phi \right) = 0$$

или

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2}(M + 2m)v_c^2 \right) = -\frac{d}{dt} \left(mr^2\omega^2(1 - k^2 \sin^2 \phi) \right). \quad (3)$$

Эта формула весьма интересна. Она говорит о том, что система может иметь одну и ту же полную энергию, но различные энергии центра масс. Из нее так же следует, что при увеличении вращательной энергии (увеличении частоты вращения грузов m) энергия центра масс уменьшается.

2 Короткий удар 4-D гироскопа о стенку

Наиболее простым способом действие локальных торсионных сил на систему проявляется при его коротком (прядка 0.01 сек.) ударе о стенку.

Рассуждения здесь были таковы. Во время короткого удара торсионные силы внутри гироскопа меняют значение скорости центра масс, оставляя полную энергию системы неизменной, при этом должны выполняться три условия:

1. Полная энергия системы сохраняется

$$T = T' = const.$$

2. Поступательный импульс корпуса гироскопа $P_b = (M + 2m)v$ сохраняется

$$P_b = P'_b = const.$$

3. Сохраняется угол поворота ϕ

$$\phi = \phi' = const.$$

Здесь штрихованные величины соответствуют их значениям после удара.

Запишем эти условия более подробно

$$\frac{1}{2}(M + 2m)v^2 + mr^2\omega^2 - 2mrv\omega \sin \phi = \frac{1}{2}(M + 2m)v'^2 + mr^2\omega'^2 - 2mrv'\omega' \sin \phi', \quad (4)$$

$$v_c + B\omega \sin \phi = v'_c + B\omega' \sin \phi', \quad (5)$$

$$\phi' = \phi.$$

Из уравнения (5) получим

$$v'_c = -v_c - B(\omega' + \omega) \sin \phi. \quad (6)$$

Подставляя это соотношение в (4), находим, после преобразований, квадратное уравнение относительно ω'

$$\omega'^2 + 2\frac{v}{r}\omega' \sin \phi - \omega^2 + 2\frac{v}{r}\omega \sin \phi = 0.$$

Решение этого уравнения запишется как

$$\omega'_1 = -\omega, \quad (7)$$

$$\omega'_2 = \omega - 2\frac{v}{r} \sin \phi. \quad (8)$$

Решение (8) подставим в формулу (6), тогда

$$v'_c = -v_c - 2B\left(\omega + \frac{v}{r} \sin \phi\right)$$

Подставляя сюда и в решение (8), полученное при интегрировании уравнений движения соотношение

$$v = v_c + B\omega \sin \phi,$$

получим окончательное выражение для скорости центра масс v'_c угловой частоты ω' после удара

$$v'_c = -v_c(1 - 2k^2 \sin^2 \phi) - 2B\omega \sin \phi(1 - k^2 \sin^2 \phi), \quad (9)$$

$$\omega' = \omega(1 - 2k^2 \sin^2 \phi) - 2\sin \phi \frac{v_c}{r}. \quad (10)$$

Подставляя решение (7) в уравнение (6), имеем равенства

$$v'_c = -v_c,$$

$$\omega' = -\omega.$$

Умножим уравнение (9) на гравитационную массу гироскопа ($M + 2m$). В результате получим

$$P'_c = -P_c(1 - 2k^2 \sin^2 \phi) + 2K(1 - k^2 \sin^2 \phi), \quad (11)$$

где

$$K = -2mr\omega \sin \phi$$

- вращательная часть поступательного импульса центра масс.

Соотношение (11) представляет собой обобщенный закон сохранения импульса центра масс механической системы, поскольку содержит вращательную часть K .

Умножая уравнение (10) на $-2mr \sin \phi$, имеем

$$K' = K(1 - 2k^2 \sin^2 \phi) + 2P_c k^2 \sin^2 \phi. \quad (12)$$

Когда ω равна нулю, из формулы (12) следует

$$2P_c k^2 \sin^2 \phi = 0.$$

В этом частном случае из (11) мы получаем

$$P'_c = -P_c,$$

т.е. закон сохранения импульса центра масс ньютоновской механики при абсолютно упругом ударе 4-D гироскопа о стенку. Этот закон выполняется при коротком ударе только в том случае, когда малые грузы m закреплены ($\omega = 0$).

3 Экспериментальное подтверждение действия локальных торсионных сил при коротком ударе о стенку

Для проверки действия торсионных сил при коротком ударе была создана экспериментальная установка, позволяющая исследовать изменение импульса центра масс (или, что одно и то же, энергии центр масс, поскольку $P_c = \sqrt{2E_c}$) 4-D гироскопа.

В установку входили:

1. 4-D гироскоп с установленной на нем измерительной аппаратурой (рис.1);
2. Ударная плита;
3. Горизонтально выставленная стеклянная поверхность с направляющими рельсами (рис.2);

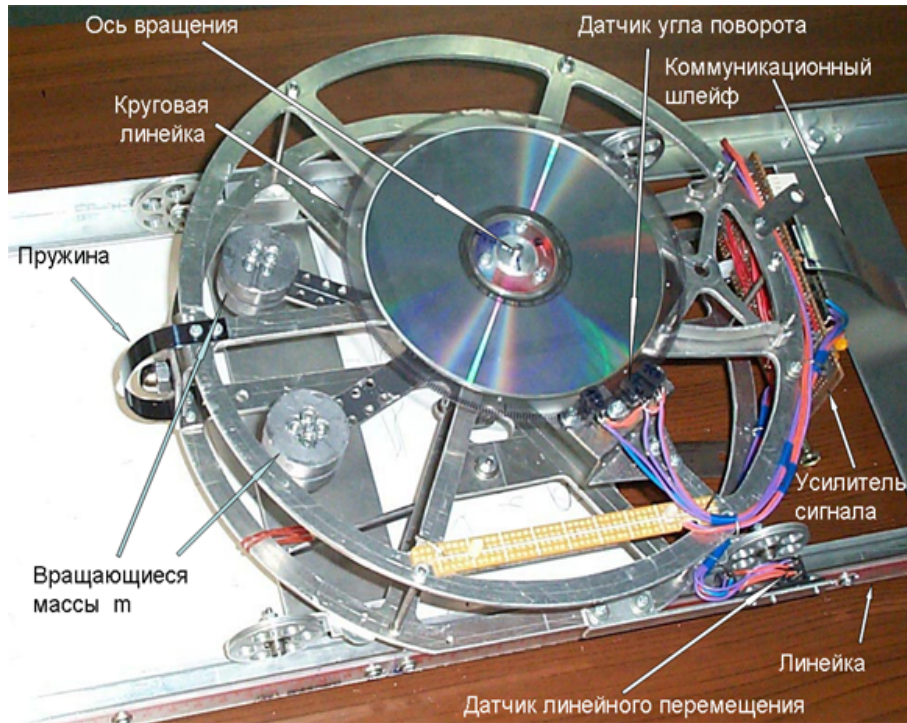


Рис. 1: Четырехмерный гироскоп с системой регистрации движения

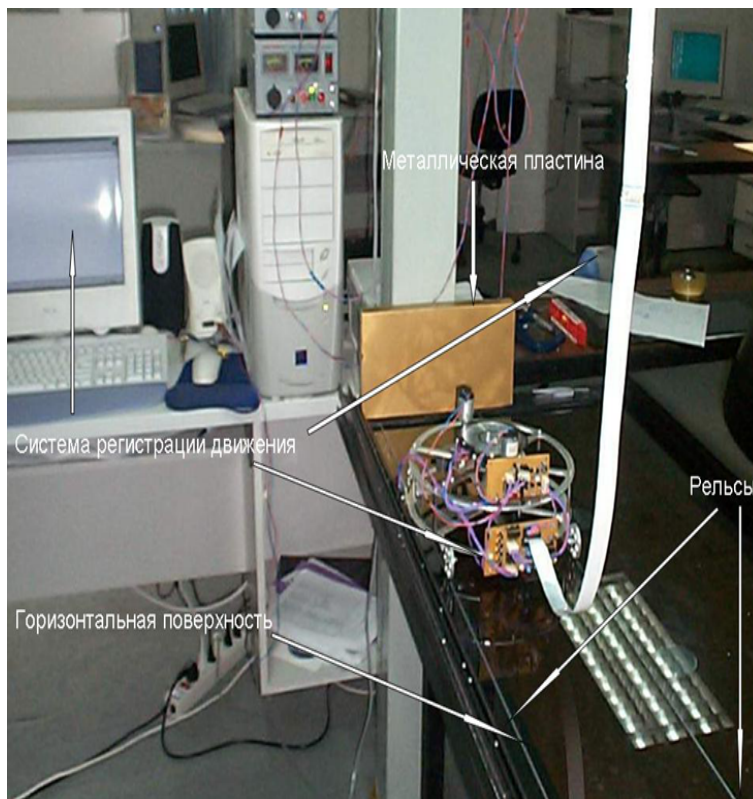


Рис. 2: Стенд для изучения короткого удара

4. Компьютер;

5. Программное обеспечение для обработки результатов измерения.

6. Компьютерная анимация, построенная в соответствии с формулами (9), (10), позволяющая моделировать и визуально наблюдать на дисплее компьютера короткие удары четырехмерного гироскопа о стенку.

На центральном валу гироскопа был расположен дифференциальный механизм, который обеспечивал синхронное вращение малых масс m в разные стороны. Вес каждой массы m , поддерживаемой рычагом длиной 10 см, был равен 160 гр. Ударной частью гироскопа является стальная пружина, которая была достаточно жесткой, чтобы обеспечить длительность удара порядка 0.01 - 0.02 сек. На валу гироскопа была закреплена круговая линейка, с которой (при вращении) снимались значения углов $\phi(t)$ с помощью установленных на ней фотодиодов. При поступательном движении гироскопа происходила регистрация значения координаты $x(t)$ с помощью фотодиодов, закрепленных на нижней части корпуса. Корпус двигался поступательно на колесах, которые свободно вращались на подшипниках. Информация, полученная с фотодиодов поступала на электронный блок для усиления и преобразования. Вес корпуса со всеми устройствами (центрального тела M) составлял 850 гр. Полный вес гироскопа $M + 2m = 1170$ гр.

Проведенные измерения сил трения показали, что сила трения покоя между колесами и стеклянной поверхностью составляла величину порядка 5 гр., сила трения качения - порядка 3.8 гр.

Сигналы, содержащие информацию об экспериментальных значениях $x(t)$ и $\phi(t)$, поступали с электронного блока 4-D гироскопа на компьютер. Используя эти данные, компьютер рассчитывал значения ω , v , v_c , а также ускорение центра масс A_c , угловое ускорение ϵ и полную энергию системы T в режиме реального времени. Все эти величины наблюдались на мониторе компьютера. Полученные таким путем экспериментальные данные сравнивались с теоретическими расчетами, проведенными по формулам (9) и (10).

3.1 Короткий удар, демонстрирующий переход энергии центра масс во вращательную энергию

Для демонстрации этого эффекта необходимо расположить малые грузы под некоторым углом к направлению движения. Наибольший эффект достигается, когда угол составляет величину 90° или 270° по отношению к направлению движения. После этого, необходимо (медленно ускоряя гироскоп) сообщить ему некоторую скорость v_c по направлению к стенке. Медленно ускоряя 4-D гироскоп, мы создавали направленное движение его к стенке, не позволяя малым грузам преодолеть внутренние силы трения на оси вращения. В результате гироскоп двигался в сторону стенки, при этом угловая скорость вращения грузов ω перед ударом оставалась равной нулю. Таким образом, перед ударом в уравнении (3) мы имеем

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} (M + 2m) v_c^2 \right) = 0 . \quad (13)$$

После удара малы грузы приобретают угловую скорость вращения ω' , а скорость центра масс v'_c уменьшается в соответствии с формулой

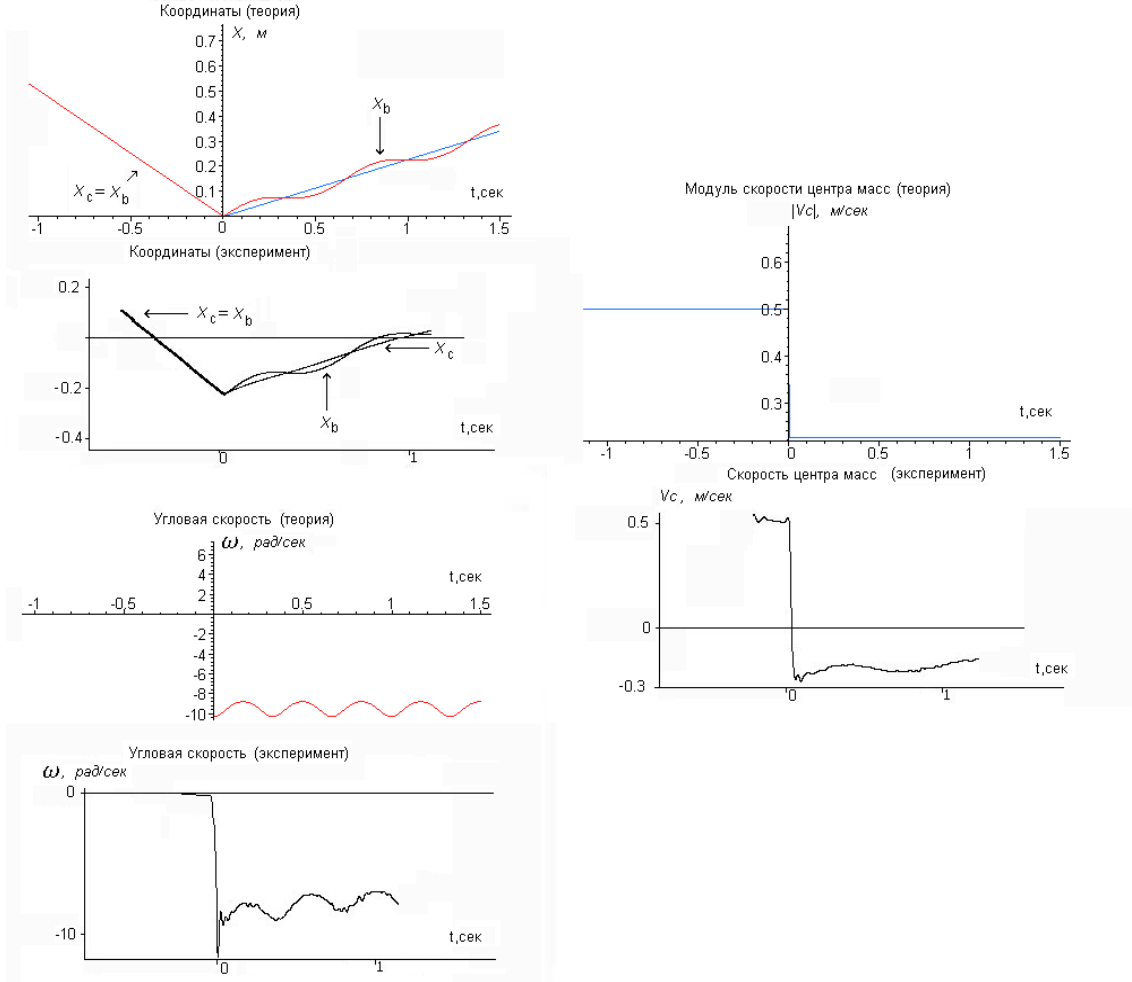


Рис. 3: Сравнение теоретических и экспериментальных данных по короткому упругому удару 4-D гироскопа, преобразующему энергию центра масс во вращательную энергию

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} (M + 2m) (v'_c)^2 \right) = - \frac{d}{dt} \left(m r^2 (\omega')^2 (1 - k^2 \sin^2 \phi) \right), \quad (14)$$

поскольку в системе в момент удара действуют локальные торсионные силы. Система скачком переходила в новое состояние, но с той же энергией.

На рис. 3 представлены основные теоретические и экспериментальные графики по абсолютно упругому удару четырехмерного гироскопа, при котором происходит преобразование энергии центра масс во вращательную энергию. Из сравнения теоретических и экспериментальных графиков видно, что, в пределах ошибки эксперимента, теория правильно описывает эксперимент. Большая часть наблюдаемого отклонения экспериментальных данных от теоретического предсказания объясняется отсутствием учета сил трения, действующих внутри и вне четырехмерного гироскопа.

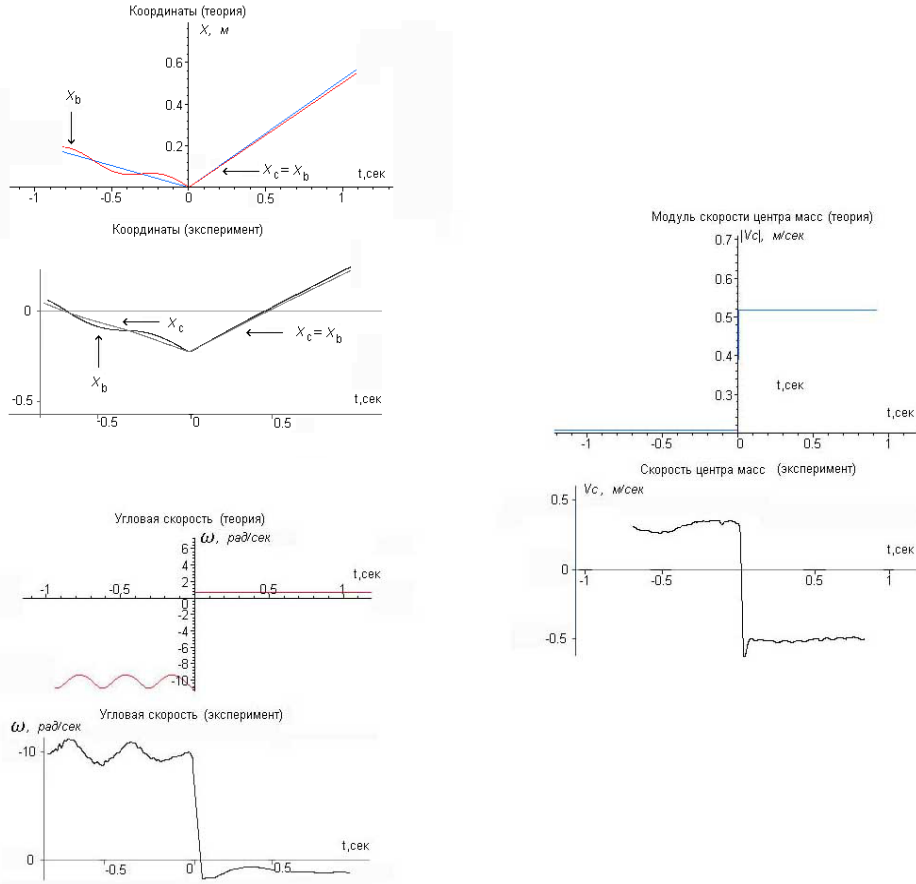


Рис. 4: Сравнение теоретических и экспериментальных данных по короткому удару 4-D гироскопа, преобразующему вращательную энергию в поступательную энергию центра масс

3.2 Короткий удар, демонстрирующий переход вращательной энергии в энергию центра масс

В этом случае, перед тем, как направить гироскоп на стенку, необходимо сообщить малым грузам вращательное движение. Лучше всего это можно сделать "резонансным" способом, т.е. раскачивая центральное тело вдоль оси x . После того, как грузы начали вращаться, гироскопу необходимо придать некоторую скорость в направлении стенки с тем, чтобы произошло его столкновение со стенкой. Делая эту процедуру несколько раз, необходимо добиться ситуации, когда после столкновения угловая скорость вращения грузов обратиться в нуль.

На рис. 4 представлены теоретические и экспериментальные графики, показывающие преобразование вращательной энергии 4-D гироскопа в поступательную энергию центра масс. Из сравнения графиков видно, что теория хорошо описывает экспериментальные данные, конечно, с учетом ошибки эксперимента.

3.3 Многократный короткий удар 4-D гироскопа

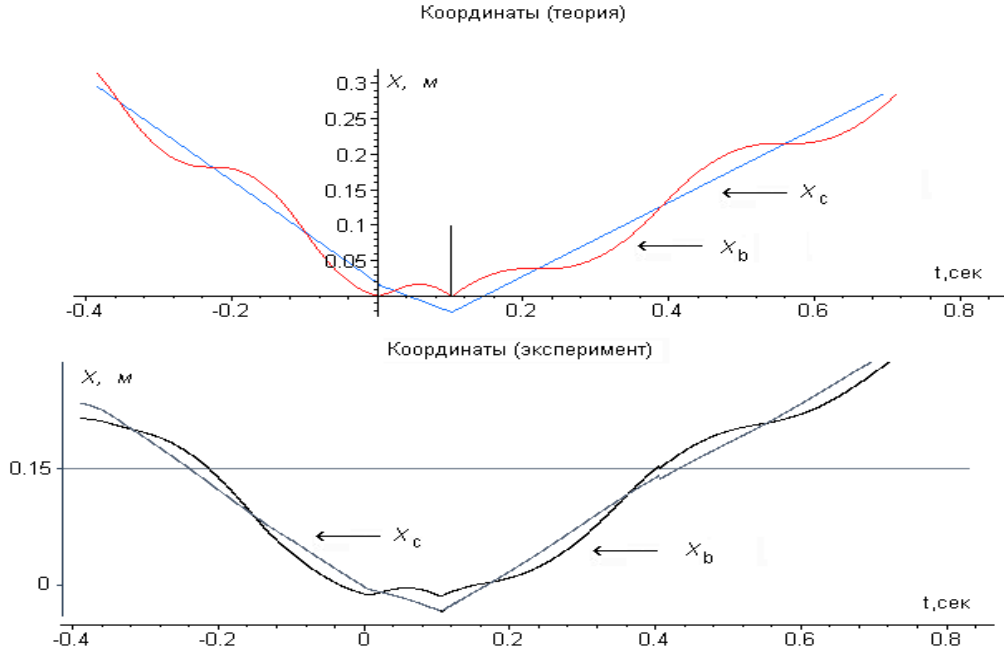


Рис. 5: Теоретический и экспериментальный графики двойного удара

Из формул (9) и (10) следует, что при коротком ударе 4-D гироскоп способен преобразовывать внутреннюю вращательную энергию в поступательную энергию центра масс и наоборот. Это свойство позволяет ему после первого удара продолжать двигаться в направлении стенки и совершить второй, третий и т.д. удары. Множественные удары происходят до тех пор, пока скорость центра масс не изменит своего знака на противоположный и масса M не отойдет от стенки на расстояние большее, чем B . На нашей установке мы наблюдали двойные, тройные, максимально шестикратные удары, прежде чем гироскоп окончательно отходил от стенки. На рис. 5 сравниваются теоретический и экспериментальный графики двойного короткого удара. Эксперименты по двойным ударам четырехмерного гироскопа показали (пока качественно), что скорость центра масс между ударами не остается постоянной, хотя в этот момент гироскоп оказывается свободным.

На рис. 6 представлен двойной короткий удар четырехмерного гироскопа. На верхнем графике, сильно растянутом по времени, представлены координата центра масс x_c (слева в начале графика верхняя линия) и координата корпуса x .

На самом нижнем графике представлено ускорение центра масс A_c . Первый удар соответствует отрицательному ускорению в районе 1 сек. Второй удар отрицательному ускорению в районе 1.2 сек. На втором сверху графике представлена угловая частота вращения грузов ω . Из графика видно, что до первого удара она была равна 8.5 рад/сек и после удара оказалась равной 13 рад/сек. На втором графике снизу представлена скорость центра масс v_c . До первого удара она была равна 41 см/сек.

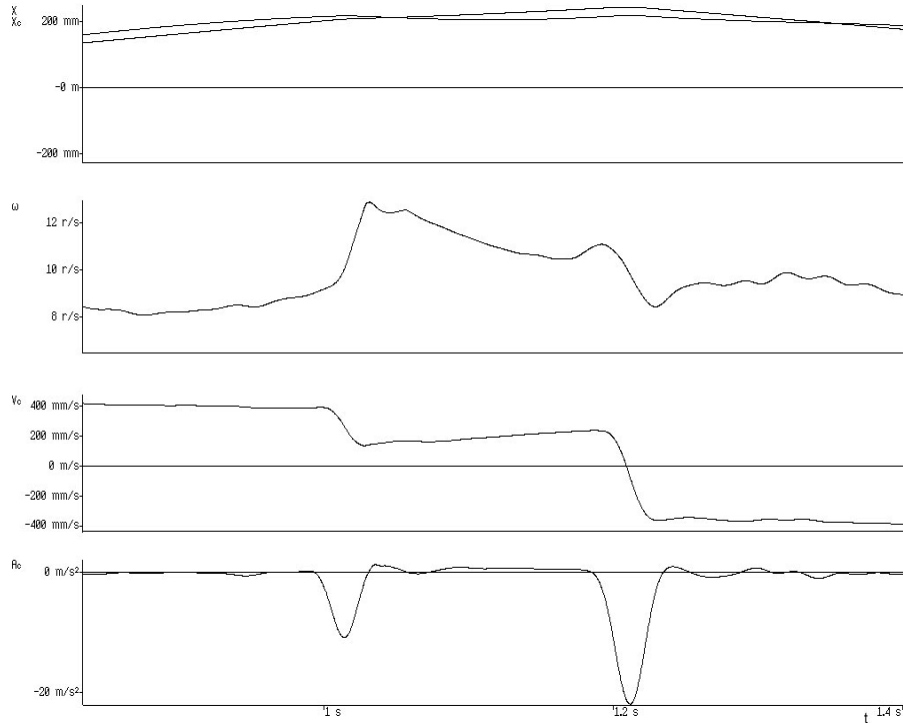


Рис. 6: Двойной удар, демонстрирующий изменение скорости центра масс свободного гироскопа после первого удара

После удара она оказалась равной 16 см/сек, а не - 41/см/сек, как того требует механика Ньютона. Но вот что интересно, из графика видно, как за очень короткое время между ударами (порядка 0.2 сек) происходит уменьшение угловой частоты вращения грузов с 13 рад/сек до 10 рад/сек и возрастание скорости центра масс с 16 см/сек до 30 см/сек. Это изменение можно объяснить действием между ударами торсионных сил - сил инерции при постоянстве полной энергии. Из уравнения (14) видно, что при уменьшении частоты вращения малых грузов ω скорость v_c должна расти, что и наблюдается в эксперименте. Этой Беседа сопровождается фильмом, в котором демонстрируется двойной удар 4-D гироскопа о стенку.

Внимание!

В общепринятой механике (классической или квантовой) при внешнем воздействии на сложную систему или при ее спонтанном переходе в новое состояние происходило **изменение ее полной энергии и, соответственно, энергии центра масс**. В нашем случае мы имеем наглядный пример механической системы, в которой происходит изменение ее состояния под действием внутренних сил инерции, но при этом **полная энергия системы сохраняется, а энергия центра масс меняется**.

Предварительные замечания:

Для человека, который смотрит на поведение таких систем, как 4-D гироскоп, с позиций механики Ньютона, кажется, что происходит нарушение законов сохранения

классической механики. Это кажущееся нарушение проявляется во многих известных мне явлениях, в которых участвуют торсионные силы и поля.

Приведу наиболее яркий, с моей точки зрения, пример, когда в физике наблюдалось нарушение законов сохранения и при этом участвовали торсионные поля.

В начале прошлого века физики наблюдали, используя камеру Вильсона, распад нейтрона на две частицы - протон и электрон. Когда в этом эксперименте были рассчитаны механические импульсы частиц до распада и после него, то было обнаружено нарушение закона сохранения импульса центра масс системы: механический импульс нейтрона до распада не был равен суммарному импульсу протона и электрона после распада

$$\vec{P}_n \neq \vec{P}_p + \vec{P}_e.$$

Было так же известно, что все три частицы, участвующие в распаде обладают собственным механическим вращением - спином. Спин каждой из частиц равен $\hbar/2$. Следовательно, при распаде происходило нарушение закона сохранения полного собственного момента вращения системы

$$\vec{s}_n \neq \vec{s}_p + \vec{s}_e.$$

Под давлением этих фактов лауреат Нобелевской премии, один из создателей квантовой теории атома Нильс Бор опубликовал работы, в которых он пытался обосновать нарушение законов сохранения в области микромира.

Неудобную для физики ситуацию разрешил находчивый В.Паули, предположив, что недостающая часть линейного импульса системы уносится нейтральной частицей, которую он назвал нейтрино.

Что нам известно о нейтрино? Почти ничего. Нам известно только, что:

1. Это поле, уравнение которого (уравнение Вейля)

$$\gamma^i \partial_i \psi = 0 \tag{15}$$

не содержит ни каких физических констант.

2. Поле нейтрино содержит, согласно гипотезе Паули, только информацию о спине, причем это поле спина способно уносить из системы (или приносить в нее) десятки Мев энергии.

3. Из уравнения (15) следует, что масса покоя нейтрино равна нулю. Значит нейтрино, подобно фотону, движется со скоростью света. В научной литературе есть теоретические и экспериментальные работы, которые предполагают существование у нейтрино положительной малой массы. Значит нейтрино должно двигаться с до-световой скоростью. Есть экспериментальные работы, в которых делается вывод о существованию у нейтрино мнимой массы, что означает движение нейтрино со сверх-световыми скоростями.

4. Нейтрино обладает высокой проникающей способностью.

5. Нет генераторов и приемников поля нейтрино, подобных генераторам и приемникам электромагнитного поля.

Я полагаю, что в рассматриваемом нами явлении физики впервые, более или менее осознано, столкнулись с проявлением торсионных полей и сил. Похоже, что поле нейтрино это и есть торсионное поле (или поле инерции). Это поле, с одной стороны, классическое, поскольку классическим является уравнение (15). Но оно же является квантовым, так как квадрат волновой функции в уравнении (15) интерпретируется как плотность вероятности найти нейтрино в какой-либо точке пространства.

Если бы в те далекие времена знали о свойствах таких необычных механических систем как 4-D гироскоп, то, я думаю, интерпретация нарушения законов сохранения при распаде нейтрона была бы существенно другой.