

## УДИВИТЕЛЬНЫЙ ДИСК ЭЙЛЕРА

А ну-ка, крутаните монетку ребром на столе! Уже крутится? А перед самым падением она внезапно увеличит скорость вращения и резко затормозит, издавая дребезжащий звук, но не давая ни насладиться им, ни рассмотреть повнимательней процесс падения.

Упала ... жаль, что не очень долго крутилась ...

Забавно? И не только вам!

Когда-то, в конце 19 столетия математиками были выведены уравнения движения для катящегося диска, затем другие уже, но столь же неутомимые математики, исследовали проблему устойчивости дисков при вращении. Движение вращающегося диска хорошо описывается уравнениями волчка в гравитационном поле.

В наше время в магазинах любому любителю «покрутить» предложат фирменную игрушку «диск Эйлера». Великолепный металлический диск с голографическими наклейками по ободу будет крутиться перед вашими глазами на зеркальной подставке, завораживая игрой цвета и звука.



Кто же был автором этой игрушки?

Неужели сам Леонард Эйлер, знаменитый математик 18 века? Ведь какая-то часть его работ тоже была посвящена вращению ...

В качестве игрушки вращающийся диск был впервые предъявлен зрителям Джозефом Бендиком в 90-х годах 20-го века. Проведя наблюдения за вращающейся монетой, он сумел добиться, чтобы диск вращался до 3 минут и даже более. Изобретение Дж. Бендика представляло собой плоский диск в виде хоккейной шайбы из хромированной стали с полированными скругленными краями диаметром в 3 дюйма и толщиной в  $\frac{1}{2}$  дюйма. Диск вращался на слегка вогнутом круглом зеркале диаметром 9 дюймов.

Конечно, вы уже сбегали в магазин сувениров и «диск Эйлера» у вас в руках! Запускаем, и пока он крутится, в уме начинают созревать идеи по поводу того, как объяснить его движение. Неистребимая тяга к знанию заставляет вас рыться в книгах, вспоминать, разбираться в теории вращательного движения.

Итак, диск Эйлера – это твёрдое цилиндрическое тело, имеющее единственную точку контакта с горизонтальной поверхностью, по которой он одновременно и катится, и вращается.

Интересно, что движение диска имеет две особенности: резкое увеличение частоты слышимого звука в конце вращения и внезапную остановку диска. Причем вращающийся диск никогда не теряет контакта с поверхностью.

Время вращения диска почти не зависит от того, под каким углом был закручен диск, и какова была его скорость вращения при пуске.

Вращение дисков проверяли даже в вакууме! Запускали сплошные диски, просто кольца и кольца с покрытием из тефлона. Оказывается, что отсутствие воздуха не очень сильно влияло на поведение вращающегося диска, хотя тефлоновое покрытие значительно увеличивало время вращения.

Чем быстрее вращается диск, тем он более устойчив при качении. Это явление, в котором скорость пропорциональна стабильности, характерно для спутников, вращающихся вокруг земли.

При вращении запущенный диск обладает одновременно и потенциальной и кинетической энергией. Потенциальной – за счёт вертикального положения и кинетической – за счёт вращения. В любой момент вращения баланс двух сил: силы тяжести и реакции опоры не дают диску упасть. И, если бы не трение и вибрации, диск вращался бы в течение очень долгого времени.

Но, как и при любом другом движении, на скорость вращения влияет затормаживающая сила трения о воздух, а также трение между диском и поверхностью. Кинетическая энергия вращения диска, потерянная в результате имеющегося трения, компенсируется за счёт уменьшающейся потенциальной энергии диска. В результате центр массы диска опускается, всё более приближаясь к поверхности, на которой происходит его вращение. Это увеличивает плечо момента силы между точкой контакта с поверхностью и центром массы, что приводит к росту вращающего момента. Увеличение вращающего момента постепенно меняет направление оси вращения, которая занимает всё более вертикальное положение.

Диск начинает оседать, прокручиваясь на ребре. Угол наклона между диском и поверхностью становится всё меньше. Скорость вращения диска возрастает. Резкому увеличению частоты вращения диска способствует тонкая прослойка воздуха между диском и поверхностью, на которой он вращается. Внутреннее трение воздуха способствует торможению монеты. При очень малом угле наклона вибрации диска и поверхности приводят к потере контакта между ними, и движение диска резко прекращается.

Хотя частота вращения увеличивается по мере падения диска, это, однако, не является главным источником нарастающего звука при падении диска. Звук образуется за счет вибрирования самого диска и поверхности, по которой он движется. Вибрации диска и поверхности приводят, в конце концов, к потере контакта между ними, а соударение диска и поверхности прекращает движение.

А теперь открываем раздел «Посмотри эксперимент» и наслаждаемся процессом вращения диска Эйлера.

На первый взгляд всё простенько, но что вы скажете о таких понятиях, как сингулярность, диссипация, бифуркации? А при объяснении физики движения «диска Эйлера» без них не обойтись!

Теория, описывающая движение диска, оказалась очень сложной, и учеными, занимавшимися проблемами вращения диска Эйлера, написаны серьёзные научные работы, дающие математический анализ движения этой забавной игрушки.

Вот так! Наконец, вкусив тайны физики движения диска и научившись произносить «страшные слова» (сингулярность, диссипация и бифуркации), мы последний раз ставим на ребро диск Эйлера, раскручиваем его и успокоенные увиденным (а всё оказалось именно так, как пишут именитые ученые) кладем на полку.

Неизвестное стало известным, но может быть не всё?

Любопытный человек будет поражён тем, сколько интересных задач можно решить с помощью этой маленькой игрушки.

Кто не знает, что такое турбулентность? Можно не знать этого термина, но большинство из вас испытывало внезапную тряску самолёта в воздухе. Конструкторы самолётов стремятся предотвратить образования завихрений воздуха вокруг самолёта при полете, т.к. на больших скоростях они отрицательно сказываются на целостности конструкции. Воздействие же гигантских атмосферных вихрей на самолёт тоже может закончиться плачевно. А причем здесь диск Эйлера? Оказывается, процессы

вихреобразования можно объяснить, используя теорию вращения, разработанную для дисков.

В результате исследовательских работ проведены даже аналогии между изменением звука при вращении диска и звуками «визжащих» тормозов автомобилей. Часть энергии диска на заключительном этапе вращения переходит в энергию звуковых колебаний, и то же самое происходит в тормозах при экстренном торможении автомобиля.

Вот оказывается, как много можно увидеть во вращении обыкновенной монеты, а уж тем более, если у тебя в руках такая научная игрушка, как «диск Эйлера»!

Кстати, а что похожего можно заметить в поведении скачущего по твердой поверхности шарика от пинг-понга? Но, как принято говорить в последнее время, это уже совсем другая история ...

P.S. для преподавателей:

Теперь можно смело сказать, что вращающуюся монету, а уж тем более такую великолепную игрушку, как «диск Эйлера», надо обязательно рассматривать в качестве учебного пособия на занятиях по механике! Ведь, как известно, игрушки делают процесс познания более интересным даже для старших школьников и студентов!

Не верите?

А вы покрутите монету на уроке...

По материалам сайта «Классная физика»