Качание бутылки

1. Здравствуйте уважаемые зрители, члены жюри, команды-соперницы. Меня зовут Лобач Игорь, я представляю сборную Гимназии №29 и буду докладывать задачу «Качание бутылки».
2. Для начала вспомним условие задачи:
3. Мы поставили перед собой следующие цели:
4. На слайде представлено фото нашей установки. Как вы уже успели заметить, роль бутылки у нас играет 25-и литровая бочка с прозрачной боковой стенкой. Мы долго думали над тем, каким образом запускать бочку так чтобы была возможность сравнивать её движение при различных параметрах. В итоге мы остановились на своеобразном таране, который мы собрали из подручных материалов, так как такой способ запускания наиболее близок к естественному, когда человек ударяет бочку рукой или ногой. Для снятия зависимости координаты бочки от времени мы установили на ней лазер, который светил на стену, происходящее снимали на камеру и обрабатывали видео в программе LoggerPro.
5. На данном слайде представлено видео пробного эксперимента. Здесь вы видите, что сначала бочка движется вперед. А затем начинаются её колебания с амплитудой порядка радиуса бочки. На эти колебания в свою очередь накладываются небольшие колебания, связанные с колебаниями воды в бочке.
6. На графике зависимости координаты бочки от времени явно видны оба вида колебаний. Принцип небольших колебаний достаточно понятен. Нас удивили большие колебания бочки. Мы пришли к выводу, что эти колебания связаны с тем , что центр масс нашей бочки не совпадает с её геометрическим центром. Тогда мы начали искать замену нашей бочке и обнаружили, что самые обычные банки и бутылки также не являются идеально отцентрированными.
7. Это подтверждается тем, что пустые банки и бутылки колеблются. Эти колебания являются следствием именно смещенного центра масс. А в этом случае наша бочка отвечает стандартам бутылок из реальной жизни, и смещенный центр масс является важным фактором в данном явлении.
8. Теперь можно дать качественное объяснение происходящему. На первой стадии пути бочка движется вперед и может совершать несколько полных оборотов до того момента, когда из-за потерь на вязкое трение в воде и трение качения энергии станет недостаточно, чтобы поднимать смещенный центр масс на высоту, необходимую для полного оборота. В это время начинаются колебания большой амплитуды, ранее уже описанные, и продолжаются малые колебания, из-за колебаний воды.
9. Также необходимо качественно описать небольшие колебания. Как видно из замедленного видео вода играет ключевую роль в явлении. Здесь видно, что при отклонении воды вправо, она как бы толкает бочку разгоняя её, однако при отклонении влево толчок получается не таким влиятельным из-за того что вся система уже движется к этому времени вправо.
10. Перейдем к экспериментальному исследованию.
11. Для начала мы решили определить, в какую сторону у нашей бочки смещен центр масс. Для этого мы просто погрузили её в воду, и, логично, что единственным её устойчивым положением будет являться то, когда смещение центра масс направлено вертикально вниз.
12. Перейдем к зависимости от уровня воды в бочке. Данный график кажется сложным для восприятия и пока на нём пока не указано к какому уровню воды какой график относится. Пока просто необходимо заметить некоторую закономерность. Во всех экспериментах в начальный момент центр масс был смещен вниз, и вообще, важно отметить то, что конечная координата бочки это очень даже конкретная величина, это такая координата, в которой центр масс бочки снова будет смещен вниз. Таким образом в наших условиях можно выделить три такие координаты. И как вы видите, с учетом некоторой погрешности это предположение выполняется.
13. Теперь выделим часть графиков начиная от уровня воды в 1/10 диаметра и заканчивая уровнем воды в 7/10 диаметра. В этом промежутке наблюдается такая закономерность, что чем выше уровень воды, тем ниже лежит график зависимости координаты бочки от времени.
14. Но если выделить графики с дальнейшем увеличением уровня воды, можно заметить, что наблюдается обратная закономерность: чем выше уровень –тем выше график. Таким образом можно сказать что в области уровня воды в 7/10 диаметра есть определенный минимум.
15. Далее мы решили определить зависимость от момента инерции. Для этого мы прикрепили к нашей бочке 30 грузиков по 100 грамм так как показано на фото.
16. На данном слайде вы можете видеть графики зависимости координаты бочки от времени при различных моментах инерции бочки. Как видно, чем больше момент инерции бочки, тем ниже лежит график зависимости координаты от времени. Это связано с тем, что скорость бочкам мы сообщаем с помощью нашего тарана, который мы отклоняли на одинаковый угол.
17. Затем мы решили определить зависимость от вязкости жидкости, для этого нам пришлось собрать новую установку, так как не было такого большого количества вязкой жидкости.
18. Как вязкую жидкость мы использовали раствор поливинилового спирта, так как при том, что его вязкость в 55 раз больше вязкости воды, плотности их практически одинаковы. Это позволило определить зависимость непосредственно от вязкости. Как видно из графиков, несмотря на то, что конечные координаты банок совпадают, амплитуда колебаний банки с раствором поливинилового спирта намного меньше и угасают они намного быстрее. Это, естественно, связано со значительным увеличением сил вязкого трения.
19. Перейдем к написанию теории
20. На основе наших экспериментов можно выдвинуть следующие положения теории:
21. В нашей теории мы записывали уравнения, основанные на представленных на слайде физических законах. А именно: отдельно для бутылки и отдельно для жидкости мы записывали Второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси и основное уравнение вращательного движения относительно собственного центра масс. Эти уравнения на самом деле являются невероятно громоздкими. Их правильное написание и решение в дальнейшем представляет собой сугубо математическую задачу, поэтому мы решили не показывать этого.
22. Стоит упомянуть только то, что в результате решения мы получаем систему дифференциальных уравнений для решения которой, необходимы такие граничные условия, как начальные угловые скорости бочки и жидкости, а также координата бочки и начальный угол отклонения жидкости. Также в уравнениях мы использовали три пока не известные величины: коэффициент А – для силы трения между жидкостью и цилиндром, b – смещение центра масс бочки и f – коэффициент трения качения. Эти константы задают конкретную бочку и поверхность. Перейдем к определению последних двух.
23. Для этого построим график зависимости координаты бочки от времени при колебаний пустой бочки, тогда мы просто можем избавиться от влияния воды. Мы получаем колебания, которые затухают из-за силы трения качения. Подбор коэффициентов для наилучшего схождения теории и эксперимента дал следующие результаты: b=3.5мм, f=0,15мм.
24. Теперь перейдем к определению коэффициента А. Его необходимо находить из угасания колебаний жидкости непосредственно во время качания бутылки. С измерением угла у нас возникли трудности, так как наша камера снимала только 30 кадров в секунду, да и в принципе с видеозаписи сложно точно определить угол. Поэтому на графике мы решили представить только амплитудные значения угла. Наилучшее схождение с теорией наблюдается при значении коэффициента А в 3,0 Па с/м.
25. Таким образом, мы нашли все неизвестные ранее характеристики бочки и поверхности и теперь можем непосредственно сравнить графики зависимости координаты бочки от времени во время качания бочки. Как вы видите схождение действительно хорошее. На обоих графиках мы видим две составляющие колебаний: колебания связанные с колебаниями жидкости, и колебания связанные со смещенным центром масс бочки. Правда необходимо отметить, что период малых колебаний, то есть период колебаний воды отличается от реального примерно в полтора раза, это, скорее всего, из-за того, что мы считали, что жидкость во время движения сохраняет свою форму и может считаться твёрдым телом.
26. Также наш численный расчет движения бочки и воды можно представить в виде анимации. Эта анимация ускорена. Действительно видно, что анимированная теория очень похожа на то, что мы видели на видео.
27. Из нашей теории мы можем построить графики зависимости мощностей потерь за счет сил вязкого трения и силы трения качения от времени. И из оценочных подсчётов видно, что мощность потерь, за счет работы силы трения качения, примерно на два порядка больше мощности потерь, за счет сил вязкого трения. Это связано с тем, что за счет сил вязкого трения в основном происходит потеря энергии колебаний воды относительно бочки, а за счет силы трения качения происходит потеря и энергии вращательного движения бочки и, самое главное кинетической энергии поступательного движения всей системы. Именно этим и объясняется необходимость учета силы трения качения в построении теории для данного явления.
28. Теперь можно перейти к выводам:…
29. Спасибо за внимание!