1. Здравствуйте многоуважаемые члены жюри, команды-соперницы и зрители. Меня зовут Реут Вадим, я представляю команду гимназии №29 11 классов и буду докладывать наше решение задачи Пушка Гаусса.
2. Для начала позвольте напомнить вам условие задачи:
3. Итак, план нашей работы можно сформулировать следующим образом: качественное объяснение явления, создание «разумной» установки, позволяющей варьировать многие параметры, ее оптимизация, и создание теоретической модели для лучшего понимания и анализа данного явления.
4. В первую очередь следует качественно описать принцип действия пушки Гаусса. >Изначально катящийся с небольшой скоростью шар попадает в магнитное поле системы, вследствие чего увеличивается его кинетическая энергия за счет отрицательной потенциальной энергии магнитного поля.> Далее следует его столкновение с системой, и происходит передача скорости крайнему шарику, которая теряется, вследствие распространения с потерями по системе упругой волны. >После этого кинетическая энергия отлетающего шара уменьшается за счет потенциальной энергии магнитного поля. Как следует из этих рассуждений, оптимальной будет ситуация, когда перед магнитом не будет шаров, т.к. в этом случае разгоняющийся шарик приобретет максимальную кинетическую энергию. После магнита же будет существовать некоторое оптимальное количество шаров, т.к. с одной стороны при увеличении количества шаров после магнита меньше кинетической энергии будет теряться на выход из потенциальной ямы, а с другой стороны – при увеличении количества шаров опять же увеличиваются потери скорости.
5. Для наших исследований мы собрали установку, которую вы можете видеть на слайде. В нее входил длинный пластиковый желоб, неодимовый магнит диаметром 1,5 сантиметра.> В желобе делалось углубление, которое с одной стороны позволяло нам использовать шары разного диметра, и их ось совпадала с осью магнита, а с другой – этот упор не давал системе смещаться в сторону подлетающего шара, но позволял передавать импульс последующим шарам. Мы провели исследование и выяснили, что большая скорость отлетающего шара обеспечивается именно в этом случае. В наших исследованиях мы использовали высокоскоростную камеру, позволяющую производить съемку 600 кадров в секунду.
6. На данном слайде вашему вниманию представлена видеозапись пробного эксперимента, замедленная в 20 раз. Здесь и в дальнейшем при запуске мы старались, чтобы крайний шарик приобретал скорость только под действием магнитного поля.
7. Далее перейдем к оптимизации положения магнита.
8. Мы измеряли зависимость координаты от времени отлетающего шарика при разном количестве шариков до магнита, при этом количество шариков после магнита было фиксированным. Эту зависимость для шариков диаметром 0,95 сантиметра, вы можете видеть на экране.
9. Для большей наглядности построим на диаграмме зависимость скорости вылета крайнего шарика из «дула» пушки от количества шариков до магнита. Здесь условимся считать, что конец «дула» – некоторое расстояние от магнита (в данном случае 10 см), на котором наиболее логично сравнивать скорость вылета снаряда, т.к. наше устройство является пушкой. Как вы можете видеть, эксперимент подтверждает наши качественные рассуждения, наибольшая скорость вылета наблюдается, когда перед магнитом нет шариков. Стоит отметить, что максимальная скорость вылета без шариков до магнита будет наблюдаться и при другом количестве шариков после магнита, и с шарами другого диаметра.
10. Далее перейдем к оптимизации количества шариков после магнита.
11. Для нахождения оптимального количества шариков, т.е. максимальной скорости вылета, мы строили зависимости координаты от времени для разного их количества после магнита. Затем, аппроксимировав зависимость и взяв от нее производную, мы можем найти скорость на вылете из «дула» пушки. Вы можете видеть зависимости для трех и четырех шариков,> пяти и шести шариков,> а также для семи и восьми.
12. Как вы можете видеть для шариков с диаметром 0,72 см с увеличением количества шариков после магнита, зависимость координаты от времени возрастает быстрее.
13. Следовательно, и скорость вылета из «дула» пушки увеличивается, что вы можете видеть на слайде.
14. Далее по аналогичной схеме мы строили диаграмму той же зависимости для шариков с диаметром 0,95 см. Как вы можете видеть на экране, скорость вылета данных шариков больше. Причем явного экстремума в этих зависимостях, до 9 шариков, мы не видим, однако при дальнейшем росте числа шариков экстремумы будут наблюдаться, так как рост потерь энергии переборет рост магнитных сил.
15. Также аналогичную зависимость мы построили для шариков с диаметром 1,25 сантиметра. Как вы видите, скорость вылета крайнего шара уменьшилась по сравнению с предыдущим меньшим диаметром шарика. Следовательно, в зависимости скорости от диаметра наблюдается некоторый максимум, однако критическое значение этого параметра определить очень сложно. Его наличие можно объяснить тем, что при больших размерах шариков возникают различные неоднородности намагничивания и серьезные изменения структуры магнитного поля, сильно влияющие на магнитную силу.> Также при большом размере шариков мы можем наблюдать максимум в зависимости от их количества после магнита. Поэтому система с данными шарами является для нас наиболее интересной, и мы попытаемся построить для нее теоретическую модель, подтверждающую наши качественные рассуждения.
16. Далее перейдем к ее описанию.
17. Для нахождения одного из главных параметров системы, скорости вылета крайнего шара, предположим, что при прохождении упругой волны через систему теряется часть скорости в магните и часть после k-1 соударение между шариками. Тогда предположительно скорость вылета крайнего шарика через скорость подлетающего можно найти по формуле, представленной на экране.
18. Далее перейдем к проверке этой формулы и нахождению коэффициентов восстановления относительной скорости. Для нахождения коэффициента β, соберем так называемый маятник Ньютона, что является наиболее точным способом его измерения. Его вы можете видеть на экране. Мы измеряли высоту, на которую мы отводили крайний шарик, и отпускали его, затем находили высоту подъема отлетающего шарика. Из закона сохранения энергии мы легко могли найти интересующие нас скорости отлета и подлета.
19. Сейчас на слайде вы можете видеть эту зависимость для двух шариков после магнита> 5 шариков> и 8 шариков.> Причем коэффициенты, рассчитанные по методу наименьших квадратов, не составляли, как мы предполагали ранее, геометрическую прогрессию.> Это можно объяснить тем, что упругая волна, преодолевающая ряд плотно стоящих шариков, как и в однородном веществе, может распространяться практически без потерь.
20. Зависимость общего коэффициента восстановления относительной скорости ряда шариков от их количества построена на графике. Точки нанесены на график с их относительной погрешностью, рассчитанной по МНК.
21. Для дальнейшего описания явления нам необходимо знать скорость подлетающего шарика.> Так, на данном графике красная линия показывает положение магнита .>Однако за последние миллиметры до магнита шарик разгоняется очень быстро, и мы не сможем найти его скорость из эксперимента, используя даже высокоскоростную камеру.> Это расстояние шарик проходит быстрее, чем за 1/600 секунды.
22. Поэтому для нахождения этой скорости запишем теоретические законы его движения. Это второй закон Ньютона, а так же уравнение моментов.> Учтем, что шарик может двигаться с проскальзыванием> и без проскальзывания, тогда его ускорение будет задаваться на интервалах. Эти уравнения мы можем решить, зная зависимость магнитной силы от расстояния.
23. Вообще теоретическое нахождение магнитной силы является довольно трудной задачей, т.к. на нее вносят своё влияние множество параметров и эффектов, все учесть которые практически невозможно. Поэтому логичнее найти зависимость магнитной силы от расстояния экспериментально.> Мы измеряли эту зависимость методом отрыва, используя отградуированную длинную резинку, позволяющую производить измерения с хорошей точностью.> Для изменения расстояния мы использовали тонкие пластиковые пластинки – карты.
24. Мы измеряли данные зависимости при разном количестве шариков после магнита. На данном слайде представлены некоторые из них. Для использования зависимостей в теории, мы аппроксимировали их, соединяя соседние точки прямыми. Это аппроксимация является наиболее точной функцией, описывающей данные зависимости.
25. Также нам необходимо знать скорость отлета шарика от системы. При небольшом количестве шариков после магнита мы не можем получить ее из эксперимента. Поэтому мы измеряли силу также при отдалении от крайнего шара. Причем измерения показали, что зависимостью силы от расстояния, а значит и потенциальной энергией крайних шаров в цепочке, состоящей из пяти и более шариков, можно пренебречь.
26. Таким образом, теперь мы можем сравнить зависимости координаты от времени подлетающего шарика. Как вы можете видеть, теоретические линии очень хорошо ложатся на экспериментальные точки.
27. Также мы сравнили зависимость координаты от времени отлетающего шарика, при двух шариках после магнита. Опять же теоретическая модель хорошо подтверждается экспериментом.
28. Благодаря нашим предыдущим расчетам, теперь мы можем найти зависимости скорости вылетающего и подлетающего шариков в зависимости от числа шариков в цепочке после магнита, что вы можете видеть на слайде.
29. Эти зависимости позволяют теперь определить коэффициент изменения скорости системой, который фактически равен отношению скорости вылета к скорости подлета соответствующих шариков. Данная зависимость подтверждает наши качественные рассуждения, мы действительно вправе сказать, что максимум в зависимости скорости от количества шариков является следствием более быстрого роста потерь над ростом силы, действующей на шарик.
30. Далее мы можем определить коэффициент восстановления относительной скорости нашего магнита, зная зависимость этого же коэффициента для ряда шариков.> Как вы можете видеть в пределах погрешности измерения коэффициентов для шариков, он примерно постоянный и равен 0,95.
31. Перейдем к выводам по нашей задаче:

* Оптимальным является положение магнита, когда он располагается на краю ряда.
* Экстремум скорости вылета шарика из пушки объясняется противоборством усиления магнитных взаимодействий и потерь с ростом числа шариков.
* Шарики разного диаметра по-разному искажают магнитное поле, что влияет только на силу магнитного взаимодействия.
* Потери энергии растут с числом шариков, потери энергии в магните постоянны.