

Краевая научно-практическая конференция учебно-исследовательских и
проектных работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Математическое моделирование

**Взаимодействие постоянных магнитов и стальных
шариков**

Мясников Михаил Александрович,
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Любимова Нина Юрьевна,
преподаватель физики

Пермь. 2013.

Введение

Постоянные магниты являются очень важной частью многих устройств, применяемых в нашей повседневной жизни. Их можно встретить в головке звукоснимателя, в громкоговорителе, электрогитаре, электрогенераторе автомобиля, в небольших моторчиках магнитофонов, в микрофоне, электросчетчиках и прочих устройствах. Магниты широко применяют и в современной науке. Магнитные материалы нужны для работы в СВЧ диапазонах, для магнитной записи и воспроизведения, создания магнитных запоминающих устройств. Магнитострикционные преобразователи позволяют определять глубину моря. Без магнитометров с высокочувствительными магнитными элементами трудно обойтись, если нужно измерить ничтожно слабые магнитные поля, сколь угодно изощренно распределенные в пространстве. Магнитная дефектоскопия - это самостоятельный раздел теории и практики, позволяющий отыскивать поры, каверны, включения в металлических слитках, изделиях разного размера. Магнитные измерения уже давно взяты на вооружение отделов технического контроля многих предприятий.

В настоящее время, из-за истощения минерально-сырьевой базы отрасли, особенно остро встает вопрос о повышении эффективности извлечения и обогащения добываемого сырья. С этой целью широко применяется магнитное сепарирование. Магнитные сепараторы - это многоцелевые системы, предназначенные для отделения магнитных примесей от немагнитных. В частности, магнитные сепараторы используются в технологических процессах:

на горно-обогатительных предприятиях;

на предприятиях стекольной и керамической промышленности;

в химическом производстве;

на мусороперерабатывающих предприятиях и организациях по переработке

вторсырья и металлического лома

Принцип работы установки

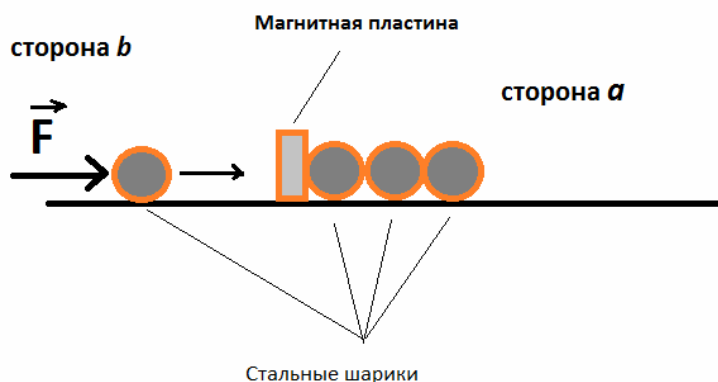
Оборудование: стальные шарики (шарики из подшипника) и магнитная пластины (два магнита в форме эллипса).

Установка

Пушка состоит из магнитов (их количество не ограничено) , с одной стороны крепится от двух (минимальное количество) и более стальных шариков, а один запускается с другой стороны по направлению к магниту, затем, шарик, входя в магнитное поле, ускоряется и сталкивается с магнитом, после чего, самый крайний шарик с другой стороны получает импульс, достаточный, чтобы преодолеть магнитное поле.

У нас нет ограничения по количеству таких «ступеней», их может быть бесконечное множество.

Далее будет приведена схема одной ступени пушки:



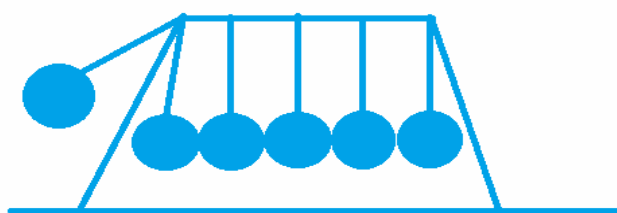
(рис.1)

(В экспериментах я рассматривал упрощенную модель, где отсутствовала сила трения и смещение системы, что было неизбежным при передаче импульса)

Наблюдения

Мною были проведены разные эксперименты для нахождения закономерностей в работе установки. Первая закономерность заключается в том, что чем больше шариков на стороне *a*, тем больше ускорение конечного шарика. Есть некоторый предел по количеству шариков. Если после этого “предельного” шарика ставить еще шарики, то после срабатывания пушки отлетит не один, а несколько шаров, вернее сказать “предельный” и все перед ним стоящие. Все это зависит от мощности магнитного поля.

Вторая закономерность заключается в том, что работа пушки сильно напоминает работу качелей Ньютона (схема ниже).



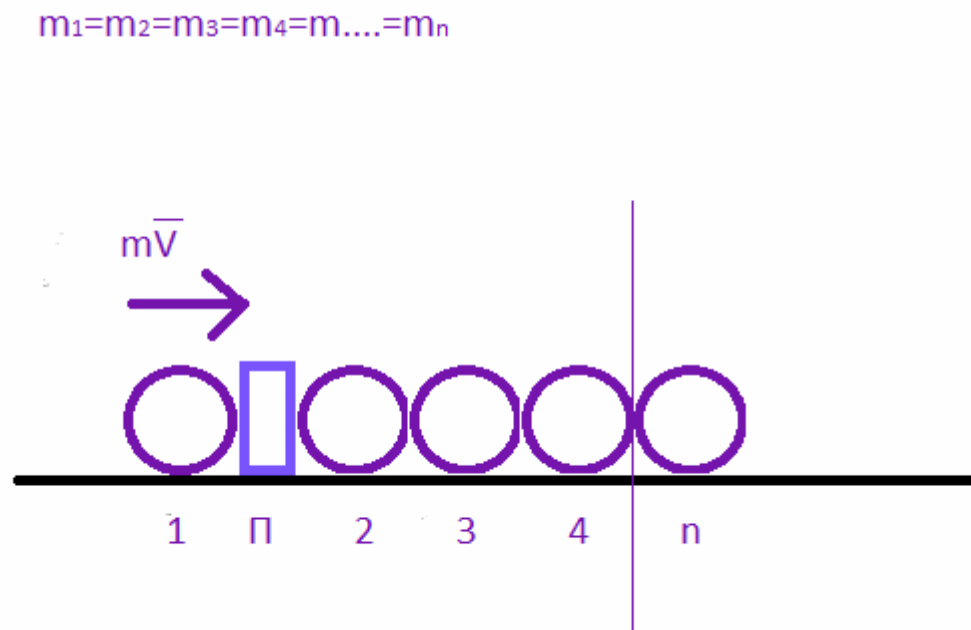
(рис.2)

Но если в качелях Ньютона импульс просто передается, то в магнитной пушке он увеличивается с каждой пройденной ступенью. Это происходит из-за того, что здесь вступают в действие электромагнитные силы.

Входя в магнитное поле, шарик ускоряется под действием силы притяжения магнита, и, сталкиваясь с ним, передает импульс магниту, а тот в свою очередь первому шарiku, первый – второму, и так далее. Когда импульс доходит до последнего (предельного), он отрывается. Почему отрывается именно последний? Здесь все очень просто объясняется: 1) на том месте, где находится предельный, сила магнитного поля мала 2) даже несмотря на то, что все шарики намагничены, только последний может оторваться, т.к., ему ничего не

препятствует, в отличие от остальных, а значит импульс передается целиком ему.

(рис.3)



(после черты может быть сколько угодно много шариков или совсем ни одного, все зависит от мощности магнита, о чем было упомянуто выше)

Так будет выглядеть закон сохранения импульса для пушки:

I. (до столкновения) :

$$m_1 V_0 = (m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n + M) V_1$$

где m - масса шарика

M - масса пластины

V_0 - скорость 1-го шарика

V_1 - скорость пластины и всех шариков прикрепленных к ней
(она равна нулю, т.к система покоится)

II. (во время и после столкновения) :

$$(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n + M) V_2 = (m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_n + M) V_1 + m_1 V_3$$

где V_2 - скорость всей системы в момент столкновения

V_3 - скорость последнего, отделившегося шарика.

Измерение скоростей

Оборудование: шкала (в ее роли выступает линейка), установка, наклонная плоскость.

Ставим наклонную плоскость вплотную к установке (наклонная плоскость потребуется для того, чтобы первый шарик имел постоянную начальную скорость). Длина наклонной плоскости 0.16 м, угол наклона 10° . Радиус шарика 0.007 м. $V_{\text{шарика}} = 1435 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. $m_{\text{шарика}} \sim 11 \text{ г} = 0.011 \text{ кг}$.

Дано:

$$l = 0.16 \text{ м}$$

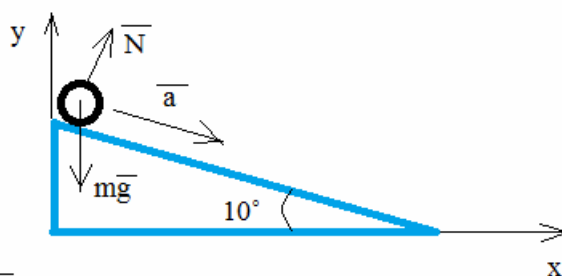
$$m_{\text{шарика}} = 0.011 \text{ кг}$$

$$g = 9.8 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$a = ?$

$V_{\text{конеч}} = ?$



$$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{N}$$

$$x: ma = mg/\sin(\alpha) + N/\cos(\alpha)$$

$$a = (mg/\sin(\alpha) + mg/\cos(180^\circ - \alpha))/a = 0.011 \cdot$$

$$9.8/0.173 + 0.011 \cdot 9.8/0.98 \sim 0.5 \text{ м/с}^2$$

$$S = S_0 + V_0 t + at^2/2, V_0 = 0, S_0 = 0$$

$$S = at^2/2, t = \sqrt{2S/a}$$

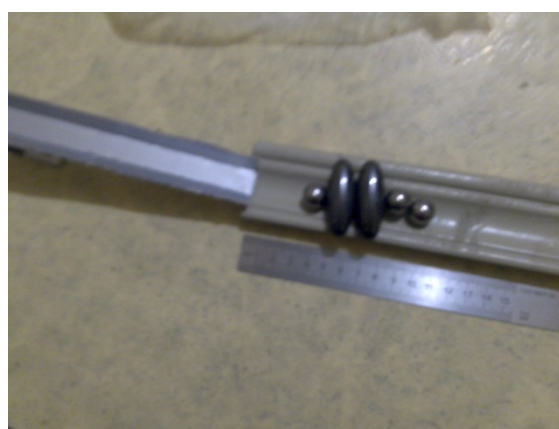
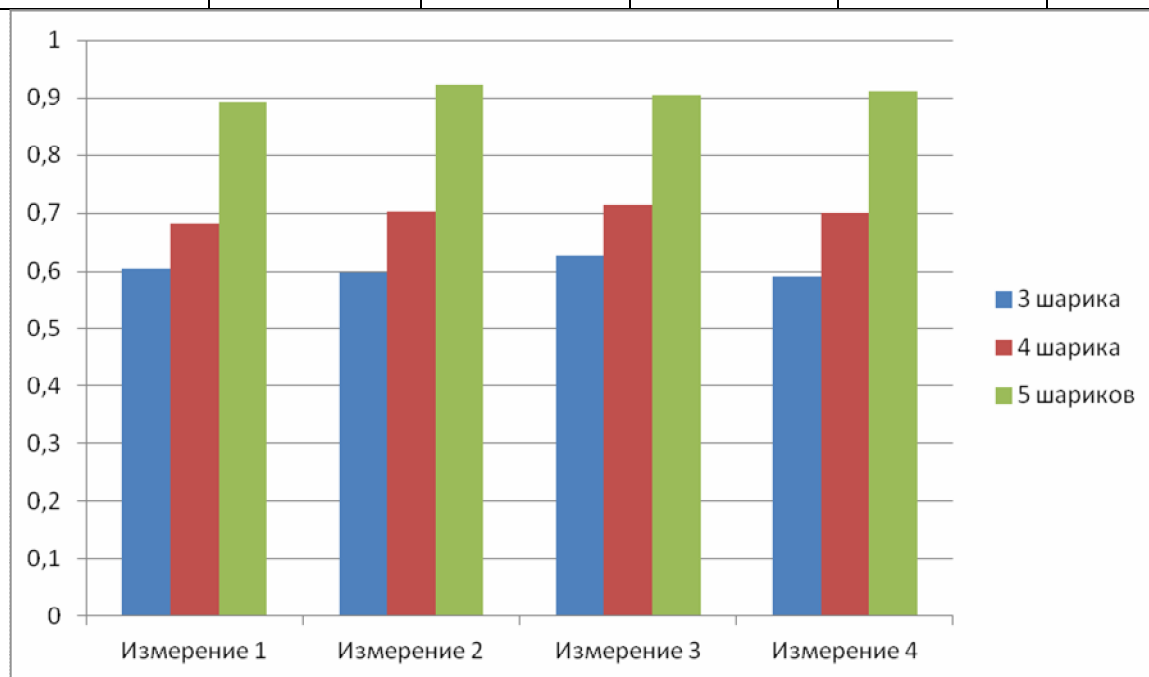
$$t = \sqrt{0.32/0.5} = 0.8 \text{ с}$$

$$V_{\text{конеч}} = at = 0.5 \cdot 0.8 = 0.4 \text{ м/с}$$

Я провел несколько измерений с 3-мя шариками после пластины, 4-мя и 5-ю (пятый – предельный в моем случае) и с помощью видеокамеры и программы примерно определил скорость шарика в трех разных случаях.

Измерение №	1	2	3	4	Среднее значение (до десятых)
/количество шариков после пластины					

3	0.605 м/с	0.597 м/с	0.621 м/с	0.592 м/с	0.6 м/с
4	0.683 м/с	0.702 м/с	0.713 м/с	0.699 м/с	0.7 м/с
5	0.891 м/с	0.923 м/с	0.905 м/с	0.912 м/с	0.9 м/с





Момент взаимодействия в каждом измерении равен 0.5 сек.

Зная скорость шарика перед взаимодействием и после, можно вычислить ускорение, полученное при взаимодействии. Для этого возьмем значение скорости при эксперименте с 5 шариками после пластины, т.к в этом случае воздействие магнитной силы на последний шарик минимально.

Зная ускорение, можно приблизительно рассчитать магнитную силу.

$$a = (V_{\text{конеч}} - V_0) / t = (0.9 - 0.5) / 0.5 = 0.8 \text{ м/с}^2.$$

$$m_{\text{шарика}} = 0.011 \text{ кг}$$

$$F_{\text{маг.поля}} = ma = 0.011 * 0.8 = 8,8 * 10^{-4} \text{ (Н)} - \text{сила притяжения постоянного магнита.}$$

Рассмотрение разных комбинаций магнитов с шариками

Комбинация 1



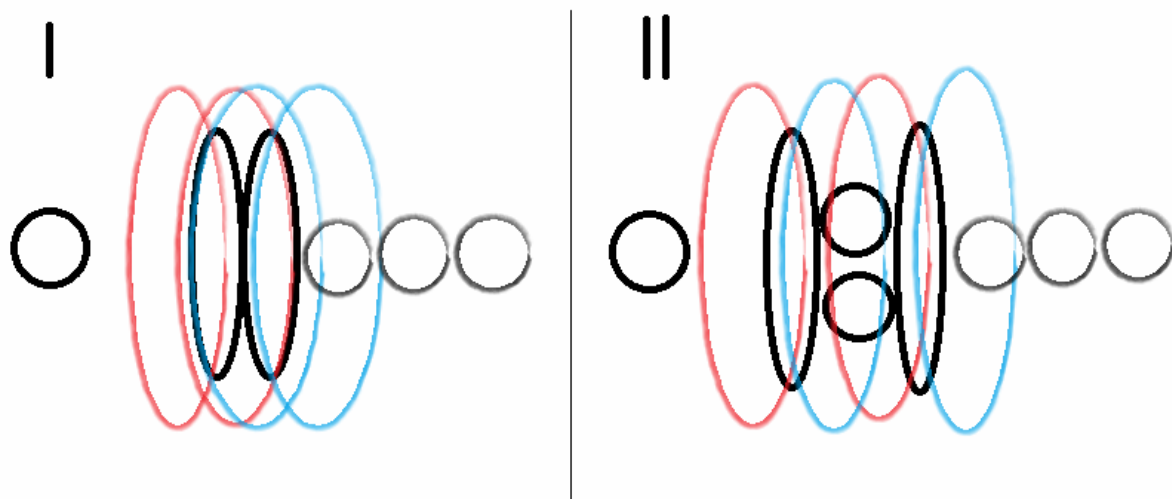
Поставим два шарика после магнитов. Когда первый шарик сталкивается с магнитом, происходит передача импульса, но его недостаточно, чтобы преодолеть силу притяжения магнита в данной точке и шарик не может оторваться.

Комбинация 2



В данном случае импульса достаточно, чтобы конечный шарик приобрел ускорение, но оно меньше, чем в первых трех рассмотренных случаях (стр.6-7) и равняется $\sim 0.5 \text{ м/с}^2$.

Схема магнитных полей в первых трех случаях и в данном случае



Комбинация 3

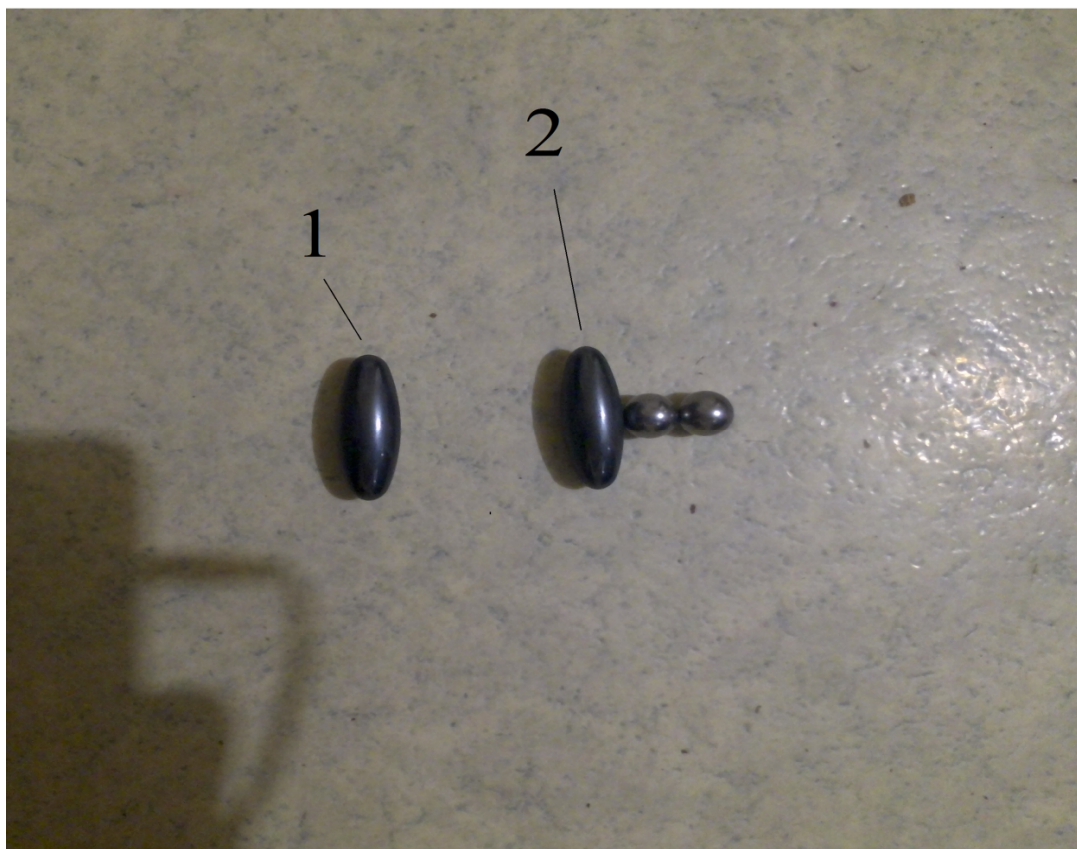
Она похожа на предыдущую комбинацию, но теперь между магнитами четыре шарика.



При таком расположении шариков и магнитов, ускорение стало чуть меньше $\sim 0.4 \text{ м/с}^2$.

Комбинация 4

Мне стало интересно, и я решил проверить: что будет, если вместо шарика запустить магнит?



Когда магнит №1 приблизился к магниту №2, он резко ускорился, т.к они притягиваются друг к другу с одинаковой силой (их массы и размеры одинаковы).

После столкновения, шарик приобрел ускорение, большее, чем любое другое из предыдущих случаев и было равно $\sim 1.4 \text{ м/с}^2$.

Этот случай отличается еще и тем, что здесь работает третий закон Ньютона и можно наблюдать абсолютно неупругий удар.

Комбинация 5 (“Пирамида”)



Самая интересная комбинация из всех. Она похожа на 4-ю.

В данном случае мне не удалось измерить скорость шариков, т.к в каждой попытке направление движения шариков были разными и невозможно было предугадать, в каком направлении будет двигаться тот или иной шарик.

Из приведенных опытов можно сделать вывод о том, что если импульс достаточно велик, то он передается во многих случаях и практически не зависит от взаимного положения шариков и магнитов.

Гипотезы

Предположение о магнитной силе

Как известно, на заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца. Шарик сделаны из металла, а значит, содержат много свободных заряженных частиц – электронов. Следовательно, сила притяжения, действующая на шарик равна произведению силы Лоренца, действующей на

один электрон, на количество этих электронов в металлическом шарике.

“Вечный двигатель”

Как было сказано выше, можно выстроить бесконечную цепочку из ступеней (см. рис.1). Казалось бы, что шарики будут ускоряться вечно, но этому мешает две причины: 1) Сила притяжения магнитов постоянна, а значит рано или поздно наступит момент, когда ускорения не будет и шарики будут иметь постоянную скорость (если рассматривать систему без смещения ступеней) 2) Если брать реальную модель, то она попросту разрушится из-за нарастающего импульса: чем он будет больше, тем больше смещение каждой ступени.

“Скорость света”

Представим такую идеальную модель, когда каждая ступень будет немного меньше, чем предыдущая, а сила притяжения магнитной пластины в каждой последующей ступени будет возрастать, несмотря на размеры(при этом ни одна ступень не смещается и нет силы трения). Не углубляясь в сложную теорию, положим лишь четыре факта: чем больше скорость тела приближается к скорости света, тем больше его масса => тем больше его энергия и тем труднее его разгонять и последнее – никакая частица, кроме фотона не может достигнуть скорости света (т.к фотон не имеет массы).

Предположим, что некоторый шарик, состоящий из наименьшего количества молекул достиг 80% процентов скорости света. Эта масса молекул уже имеет колоссальное количество энергии и, столкнувшись с препятствием, выделит ее, а сами молекулы распадутся.