

НОУ «Школа имени А. М. Горчакова»

Демонстрация квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости

Выполнил:

ученик 11 класса Мишуничев Даниэль

Научный руководитель:

Воронов Валентин Валентинович

СПб, Павловск

- 2012 -

## Оглавление

Введение .....	3
Зависимость тормозного пути от начальной скорости .....	5
Постановка опыта, демонстрирующего квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости .....	15
Заключение.....	21
Список литературы .....	25

## Введение.

Почти любое окружающее нас движение сопровождается трением. Только благодаря трению возможна ходьба человека, движение машины и её торможение. Взаимодействие человека с окружающим миром напрямую зависит от наличия трения.

В основном, в жизни мы встречаемся с линейной зависимостью одних величин от других. Но такая зависимость наблюдается не всегда, и в современном мире это важно понимать. Множество из тех, кто в настоящий момент обучается в школе, в будущем станут водителями или пешеходами, которые обязаны знать, что зависимость тормозного пути от начальной скорости вовсе не линейна, а квадратична, и при увеличении скорости вдвое, тормозной путь увеличивается вчетверо. Возможно, именно для этого группа ученых в составе И.И. Фишмана, А.И. Скворцова, Р.В. Даминова из Казанского государственного университета поставили и записали на видео эксперимент, который наглядно демонстрирует зависимость.

Мы решили повторить эксперимент и самостоятельно убедиться в квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости. Несмотря на все усилия, по неизвестным причинам повторить результаты, полученные авторами, не удалось, поэтому мы решили выяснить, что повлияло на демонстрацию.

**Объектом** нашего исследования стал опыт, демонстрирующий квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости, в котором могли проявиться некоторые факторы, повлиявшие на зависимость. В связи с этим, **предмет исследования** – факторы, влияющие на демонстрацию этой зависимости.

**Рабочая гипотеза** заключается в том, что:

1. Существуют факторы, которые искажают результаты демонстрации квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.
2. Данные факторы можно устранить.
3. Есть возможность осуществить наглядную демонстрацию квадратичной

зависимости тормозного пути от начальной скорости.

**Цель** нашей работы - определение условий, которые позволяют продемонстрировать квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости. Для достижения цели необходимо решить ряд **задач**, которые позволят нам решить проблему.

1. Необходимо подробно ознакомиться с литературой по теме, а именно с источниками, в которых описываются особенности движения под действием силы трения.

2. Максимально точно воспроизвести авторский эксперимент.

3. С помощью метода наименьших квадратов выяснить является ли полученная зависимость квадратичной или нет.

4. На основании теоретического анализа ситуации обнаружить факторы, которые могут повлиять на искажение демонстрации квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости, и подробно изучить каждый из них.

5. На основании детального изучения влияния каждого из факторов, выявить те из них, которые реально влияют на результат.

6. Путем исключения факторов, искажающих квадратичную зависимость, поставить новый более наглядный эксперимент.

Работа имеет следующую структуру:

- Во введении описан объект, предмет, проблема, цели, и задачи исследования.

- Первая глава, на основании теоретического материала, описывает характер зависимости тормозного пути от начальной скорости. Также в ней описывается эксперимент, с которого началось исследование, и приводятся его результаты.

- Во второй главе исследуются факторы, влияющие на демонстрацию искомой зависимости, находятся способы избавления от влияния и описывается постановка новой демонстрации.

- В заключении подводятся итоги работы, делаются выводы и описываются другие возможности демонстрации исследуемой зависимости.

## Глава I

### Зависимость тормозного пути от начальной скорости.

Французские физики Гийом Амонтон (1663—1705) и Шарль Кулон (1736-1806) «опытным путем установили следующий закон: сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления, с которой одно тело действует на другое».<sup>1</sup> Начать изучение трения стоит с определения. «Трение – механическое сопротивление, возникающее в плоскости касания двух прижатых друг к другу тел при их относительном перемещении. Сила сопротивления  $F$ , направленная противоположно относительному перемещению данного тела, называется силой трения, действующей на это тело».<sup>2</sup>

Известно, что трение бывает разных видов: «По кинематическому признаку различают трение скольжения и качения. Каждое из этих трений характеризует соответствующий коэффициент. По наличию промежуточной прослойки между телами различают трение сухое (твёрдая прослойка) и трение граничное (пленки жидкой или консистентной смазки)».<sup>3</sup> В нашем исследовании присутствует только трение скольжения, поэтому дальнейшее изучение теоретического материала будет именно о трении скольжения.

Есть ряд причин, из-за которых трение скольжения имеет именно такой характер. Авторы всех изученных источников, а именно: А.Е. Айзензон, Л.Д. Ландау, Г.С. Ландсберг, А.М. Прохоров, Т.И. Трофимова, Р. Фейман, и Б.М. Яворский сходятся в объяснении причин возникновения трения скольжения. Так Б.М. Яворский указывает, что «сила трения покоя вызывается зацеплением неровностей поверхностей тел, упругими деформациями этих

---

<sup>1</sup> Трофимова Т.И. Курс Физики. – М.: Высшая школа. 1994. – с. 18

<sup>2</sup> Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1984. – с. 765

<sup>3</sup> Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия 1984 – с. 766

неровностей и сцеплением тел в тех местах, где расстояния между их частицами оказываются малыми и достаточными для возникновения межмолекулярного притяжения».<sup>1</sup> В таком случае возникает вопрос: какова будет природа трения, если неровностей на поверхностях тел почти нет? Ответ таков: в этом случае «трение обусловлено силами межмолекулярного притяжения».<sup>2</sup>

На основании описанного выше механизма трения, становится понятен характер потерь энергии. «Неровности при скольжении сминаются, возникают колебания и движение атомов, и тепло растекается по обоим телам».<sup>3</sup>

Стоит отметить, что в процессе зацепления неровностей на поверхностях тел «они всегда соприкасаются не по всей поверхности, а только на отдельных участках. Это объясняется микроскопическими неровностями поверхности тела, остающимися даже при тщательной обработке поверхности».<sup>4</sup>

Для решения главной задачи нашего исследования, необходимо выяснить от чего зависит трение скольжения.

Во-первых: «Сила трения между твердыми телами пропорциональна весу тела. Если вес тела возрастет вдвое, то сдвинуть его с места и тащить будет вдвое труднее. Мы выразились не вполне точно, важен не столько вес, сколько сила, прижимающая тело к поверхности. Если тело легкое, но мы крепко надавили на него рукой, то, конечно, это скажется на силе трения».<sup>5</sup>

Во-вторых: должен существовать некий параметр, который будет учитывать свойства поверхностей? Действительно, «... хорошо известно, что

---

<sup>1</sup> Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике; Для поступающих в ВУЗы и самообразования. – М.: Наука. 1979. – с. 52

<sup>2</sup> Костко О.К. Механика. – М.: «Лист» 1998 – с. 18

<sup>3</sup> Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике; Современная наука о природе, законы механики. – М.: Мир. 1965 – с. 214

<sup>4</sup> Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики; Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука 1972. – с. 151

<sup>5</sup> Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: «Наука» 1974. – с. 300

одни и те же сани на тех же полозьях скользят совсем по-разному, смотря по тому, обиты полозья железом или нет. Эти свойства учитываются коэффициентом пропорциональности  $\mu$ . Он называется коэффициентом трения».<sup>1</sup> Коэффициент трения безразмерен и «он зависит от материала соприкасающихся тел, от качества обработки соприкасающихся поверхностей, наличия между ними инородных веществ и многих других факторов».<sup>2</sup> Из этого следует, что мы можем собственноручно менять коэффициент трения: «Для уменьшения сил трения скольжения применяется смазка».<sup>3</sup>

Но коэффициент трения также может меняться в процессе трения без сторонней помощи. Например, Р. Фейман говорит, что «коэффициент  $\mu$  (коэффициент трения, прим. автора) не очень постоянен», но, к сожалению, не уточняет, что он под этим подразумевает. Другие авторы отмечают, что коэффициент трения скольжения «зависит от скорости движения»<sup>4</sup>, на что Р. Фейман отмечает, что трение вовсе не зависит от скорости, а для демонстрации этого нужны особо тонкие эксперименты!

В одном Интернет-источнике<sup>5</sup>, есть упоминание эффекта Томпильсона. «А что же с зависимостью силы сухого трения от скорости? Она действительно существует, правда, очень слабая – только в районе малых скоростей, когда шероховатости ещё упруго сопротивляются изгибу и сдвигу. Эта зависимость в самых общих чертах задаёт коэффициент трения обратно пропорциональным корню кубическому из модуля относительной скорости – закон Томпильсона». Существование этого эффекта означает, что на очень малых скоростях движения тела сила трения увеличивается!

---

<sup>1</sup> Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: «Наука» 1974. – с. 300

<sup>2</sup> Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике; Для поступающих в ВУЗы и самообразования. – М.: Наука. 1979. – с. 53

<sup>3</sup> Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики; Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука 1972. – с. 151

<sup>4</sup> Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: «Наука» 1974. – с. 300

<sup>5</sup> Князев А.А. Две задачи о вращающихся телах // Интернет ресурс:

И еще одно замечание о силах трения при скольжении. «Сдвинуть тело с места несколько труднее, чем тащить: сила трения, преодолеваемая в первое мгновение движения (трение покоя), больше последующих значений силы трения на 20-30%»<sup>1</sup>. Этот эффект называется «явлением застоя».

Для силы трения скольжения справедлива формула Кулона-Амонтона:  $F_{mp} = \mu N$ , которая названа в честь этих ученых, т.к. они первыми открыли эту зависимость.

Необходимо подчеркнуть, что сила трения «не зависит от площади поверхности соприкосновения трущихся тел. Нужна одинаковая сила, чтобы сдвинуть с места или тащить с неизменной скоростью широкий лист стали весом в килограмм и килограммовую гирю, опирающуюся на поверхность лишь малой площадью»<sup>2</sup>.

Теперь, когда теоретическая часть изложена, можно приступить к описанию авторского опыта.

По материалам опыта ученых Казанского государственного университета И.И. Фишмана, А.И. Скворцова и Р.В. Даминова, для успешной демонстрации исследуемой зависимости, необходимо:

1. Взять линейку и расположить вдоль неё, на одинаковом расстоянии друг от друга монеты одного достоинства (рис. 1).



Рис. 1

2. Затем, оставить монетки на месте, а линейку отвести в сторону, вращая её вокруг одной оси (красная точка на рисунке 2).

---

<http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200800314>

<sup>1</sup> Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: «Наука» 1974. – с. 300

<sup>2</sup> Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: «Наука» 1974. – с. 301

3. Быстро вращать линейку и ударить ею по монеткам (рис. 2).

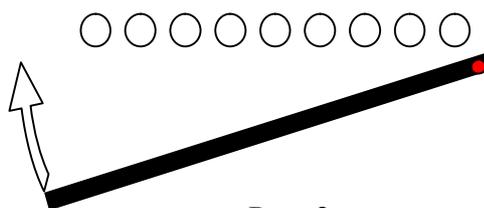


Рис. 2

4. В результате успешной демонстрации опыта монеты должны выстроиться в виде ветви параболы (рис. 3).

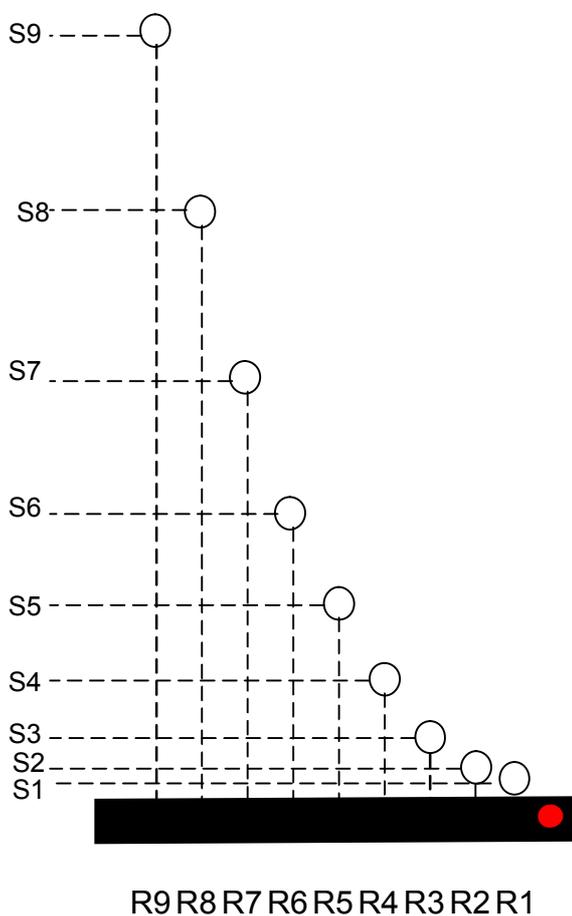


Рис. 3

Разберемся в физике данного эксперимента и выясним, почему же монеты должны выстроиться именно таким образом.

- При раскручивании монет на линейке, все монеты будут иметь одинаковую угловую скорость. Но так как они находятся на разном расстоянии

от оси вращения, то по формуле  $V = \omega R$  ( $V$ - линейная скорость,  $\omega$  - угловая скорость,  $R$ - радиус) они будут иметь различные линейные скорости.

- Так как линейку резко останавливают, то монеты продолжают двигаться прямолинейно, в направлении, которое было в последний момент контакта.

- На все монетки действует сила трения, которая и останавливает каждую из них.

- Монетки выстраиваются в виде ветви параболы, потому что тормозной путь зависит от квадрата радиуса (расстояния от монетки до оси вращения).

Объясняется это так: у всех монеток будет одинаковое ускорение вне зависимости от их начальных скоростей. Это легко показать:

По второму закону Ньютона:  $F = ma$  (1)

По закону Кулона-Амонтона:  $F_{тр} = \mu N$  (2)

По второму закону Ньютона:  $N = mg$ . (3)

(3)  $\rightarrow$  (2)  $\rightarrow$  (1):  $a = \mu g$

Если в условиях опыта коэффициент трения и ускорение свободного падения постоянны, то и ускорение, полученное под действием силы трения у всех тел одинаково.

По формуле  $S_{торм} = \frac{V^2}{2a}$  получается, что тормозной путь зависит от квадрата начальной скорости тела и ускорения. Как мы уже выяснили – ускорение у всех тел одинаковое, значит, изменение тормозного пути возможно только из-за начальной скорости, которая в свою очередь зависит от радиуса. Таким образом, мы имеем зависимость тормозного пути от квадрата радиуса вращения. Если построить график зависимости тормозного пути от радиуса, получится ветвь параболы.

Именно в форме такой кривой должны выстраиваться монетки по окончанию опыта.

При постановке авторского эксперимента, мы полностью следовали уставленному авторами плану.

Использовали линейку длиной 50 см, где расстояние между монетами было по пять сантиметров. На конце линейки расположили струбцину, которая стала осью вращения.

Монеты были выбраны достоинством по 5 рублей, т.к. именно они имеют удобное для опыта соотношение масса/размер. Монеты использовались в количестве девяти штук и располагались вдоль линейки с десятого по пятидесятый сантиметр.

Провели три серии экспериментов, по десять запусков девяти монет в каждой, и в сериях меняли только способ приведения монеток в движение.

*Первый способ:* мы выстраивали монетки вдоль линейки, на расстоянии пяти сантиметров друг от друга, после чего вращали линейку, вместе с ней приводя в движение монеты, и останавливали её ударом о неподвижную преграду.

*Второй способ:* начало аналогично с первым способом, но отличается способ остановки: удар о преграду мы заменили плавным торможением линейки рукой.

*Третий способ:* начало аналогично с первым способом, но монетки не вращаются с линейкой. Линейка отводится (вращается) на некоторое расстояние от монеток, а затем резким ударом, приводит их в движение.

Осуществляя эксперимент каждым из указанных способов, мы провели по десять серий. По их итогам мы получили таблицу с тормозными путями каждой монетки.

Используя эти данные, мы проанализировали полученную в эксперименте зависимость тормозного пути от начальной скорости. Для этого мы воспользовались программой, которая по методу наименьших квадратов находит коэффициент корреляции между полученной зависимостью и квадратичной или линейной. Результаты математической проверки показаны в таблице № 1.

Как показало сопоставление визуального восприятия зависимости и коэффициента корреляции, чтобы зависимость выглядела как квадратичная, необходим коэффициент от 0,98 и выше. Для примера можно посмотреть рисунок № 4 и № 6. Их коэффициенты корреляции равны 0,982 и 0,606 соответственно.

На основании данной информации и данных таблицы становится ясно, что только в 40% случаев наглядно демонстрируется искомая зависимость.

Примером хорошей демонстрации квадратичной зависимости является девятый эксперимент, поставленный вторым способом. В нем коэффициент корреляции равен 0,991, и его результаты визуально интерпретируются как квадратичная зависимость. Итоговое расположение монет в этом эксперименте показано на рисунке 5.

**Таблица № 1**

**Коэффициенты корреляции между полученной в экспериментах зависимостью и квадратичной.**

№ эксперимента	Первый способ	Второй способ	Третий способ
1	0,909	0,951	<b>0,982</b>
2	0,908	<b>0,987</b>	<b>0,982</b>
3	0,862	<b>0,981</b>	0,943
4	0,916	0,962	0,958
5	0,892	0,938	0,976
6	0,888	<b>0,992</b>	0,959
7	0,936	<b>0,996</b>	0,974
8	0,898	<b>0,987</b>	<b>0,989</b>
9	0,907	<b>0,991</b>	<b>0,982</b>
10	<b>0,981</b>	<b>0,982</b>	0,939
Ср. знач. коэф. корреляции	0,910	0,977	0,968



Рис.4



Рис. 5

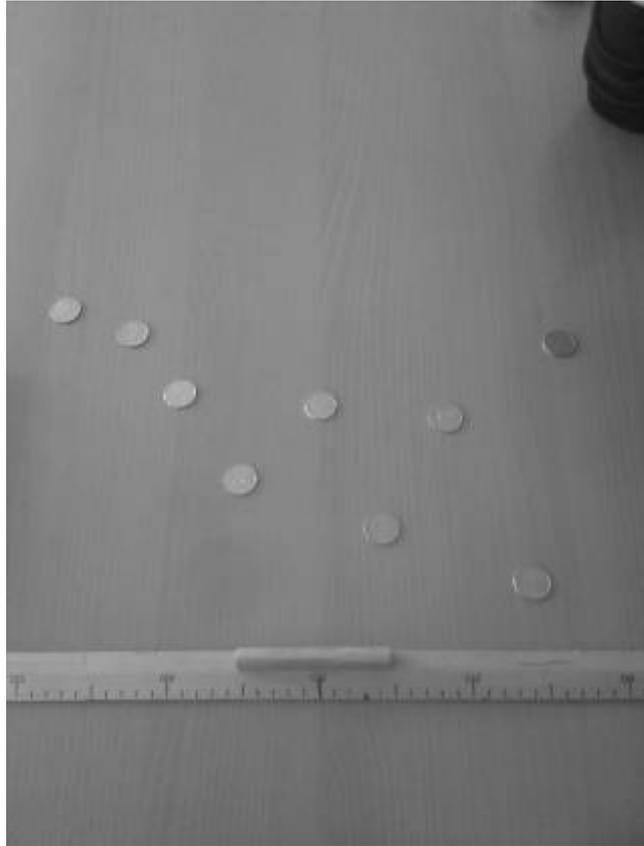


Рис. 6

Итог:

1. На основании изученного материала можно утверждать, что зависимость тормозного пути от начальной скорости должна быть квадратична.
2. Результаты авторского эксперимента в нашей постановке говорят о том, что опыт не всегда наглядно демонстрирует искомую зависимость.
3. Математическое исследование подтвердило, что демонстрация зависимости не всегда квадратична. Это значит, что существуют факторы, которые влияют на искомую зависимость, а, следовательно - необходима корректировка эксперимента.
4. Если сравнить средние коэффициенты корреляции для разных способов постановки авторского эксперимента, то можно заметить, что второй способ приведения монет в движение немного лучше. При использовании данного способа демонстрация зависимости становится нагляднее.

## Глава II

### Постановка опыта, демонстрирующего квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости.

На основе приведенного выше теоретического материала, можно приступить к рассмотрению возможных причин расхождения теории и эксперимента.

На основании теоретического анализа мы определили факторы, которые могут влиять на квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости:

- неоднородность поверхности, по которой движется тело;
- существование зависимости силы трения от скорости;
- фазы "полета" тела.

Для достижения цели исследования необходимо проанализировать влияние каждого фактора, чтобы поставить "чистый" эксперимент с наглядной демонстрацией квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.

- *Неоднородность поверхности, по которой движется тело.*

Б.М. Яворский в своей работе «Справочное руководство по физике» утверждает, что коэффициент трения «зависит от материала соприкасающихся тел, от качества обработки соприкасающихся поверхностей, наличия между ними инородных веществ и многих других факторов»<sup>1</sup>.

Как нам известно, сила трения сильно зависит от коэффициента трения. Так как для демонстрации необходимо постоянство силы трения, то нужно обеспечить постоянство коэффициента трения скольжения. Возможность изменения коэффициента заключается в том, что на пути движения монеты тормозящая поверхность может быть неоднородной.

---

<sup>1</sup>Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике; Для поступающих в ВУЗы и самообразования. - М.: Наука. 1979. - с. 52

• *Существование зависимости силы трения от скорости.* Несколько авторов (например, Г.С. Ландсберг) утверждают, что «коэффициент трения скольжения зависит и от скорости скольжения одного трущегося тела относительно другого. При весьма малых скоростях его можно считать равным коэффициенту трения покоя»<sup>1</sup>. Во всей изученной мной литературе это утверждение не единственное в своем роде. Об этом же говорит эффект Томпильсона, о котором упоминалось в первой части. На малых скоростях коэффициент трения увеличивается и становится близок к коэффициенту трения покоя. Получается, что на малых скоростях зависимость тормозного пути от начальной скорости не квадратична. Это значит, чтобы демонстрация была наглядна, необходимо, чтобы в эксперименте не было тел, у которых начальная скорость мала.

• *Фазы "полета" тела.* В процессе скольжения монетка может встречать «горку» или «впадину» и переходить в фазу полёта, как, например, показано на рисунке 7. В этом случае, трение о поверхность и торможение на время прекращается. Получается, что при наличии фаз полета у каких-то монет результаты эксперимента будут искажены.



Рис. 7

Все рассмотренные факторы могут оказывать значительное влияние на демонстрацию зависимости, поэтому мы определили способы устранения их влияния при постановке нового эксперимента.

• *Неоднородность поверхности, по которой двигается тело.* Для устранения возможных различий в коэффициентах трения необходимо выполнить два условия:

1. монеты должны быть одинаковы между собой;
2. коэффициенты трения на всём пути скольжения монеты должны быть одинаковы.

---

<sup>1</sup> Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики; Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука 1972. – с.151

Для этого мы будем использовать тела из одинакового материала, устраним инородные вещества с соприкасающихся поверхностей и увеличим площадь соприкасающихся поверхностей, что позволит усреднить коэффициент трения, который может различаться в разных точках поверхностей.

На малой площади поверхности количество «соприкасающихся пятен» мало, а значит, малейшие изменения коэффициента трения на любом из них приведут к значительным изменениям в среднем значении коэффициента. Когда площадь поверхности увеличивается, количество «пятен» тоже увеличивается, и локальные изменения коэффициента трения будут незаметны.

- *Существование зависимости силы трения от скорости.* Для обнаружения зависимости между коэффициентом трения и скоростью движения, мы провели математическое исследование. Оно заключалось в том, что из результатов начального эксперимента были исключены четыре из девяти монеток, которые находились на наименьших радиусах.

Коэффициент корреляции между результатами для оставшихся пяти монеток и квадратичной зависимостью оказался выше, чем для всех монеток. Это значит, что на малых скоростях монет зависимость тормозного пути от начальной скорости не квадратична, и такие монеты необходимо исключить из демонстрации. Исключить их можно просто: проводить демонстрацию с телами, расположенными на больших радиусах вращения.

- *Фазы "полета" тела.* Этот фактор мы уже устранили с помощью изменений, проведенных в процессе устранения влияния неровностей. Так как маленькое тело при попадании даже на маленькую горку может целиком подлететь на нем (см. рис. 7), то увеличенная площадь тела позволит проскочить горку и иметь постоянный контакт с поверхностью, как, например, на рисунке 8.

Специально для проверки верно ли установлен фактор и способ его устранения, мы поставили эксперимент, который ничем кроме измененной

площади поверхности не отличался от начального. С помощью анализа полученных результатов по методу наименьших квадратов мы подтвердили, что тело с большей площадью поверхности лучше демонстрирует квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости.



Рис. 8

На основании рассмотренных способов избавления от влияния факторов, искажающих демонстрацию квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости, мы поставили новый более наглядный демонстрационный опыт.

Для его проведения необходимы: стол, линейка длиной 50 см, металлические крышки от банок, пластилин, рулетка, струбцина, гладкая поверхность.

План проведения эксперимента:

1. На гладкой поверхности закрепляем линейку у самого конца с помощью струбцины.
2. Раскладываем вдоль линейки крышки, утяжеленные пластилином, на расстоянии десяти сантиметров друг от друга.
3. Оставляем крышки на месте, а линейку отводим в сторону, вращая её вокруг одной оси.
4. Быстро вращаем линейку и ударяем ею по крышкам
5. Останавливаем линейку рукой и позволяем крышкам беспрепятственно скользить по поверхности стола.
6. Измеряем тормозной путь крышек.
7. Результаты тормозных путей вводим в программу, которая по методу наименьших квадратов находит коэффициент корреляции между полученной зависимостью и квадратичной.

По данному плану мы провели десять измерений (см. таблицу №2), где девять результатов оказались наглядными.

**Таблица № 2**

**Коэффициент корреляции между зависимостью тормозного пути от начальной скорости в новом варианте эксперимента и квадратичной зависимостью.**

1	<b>0,988</b>
2	<b>0,981</b>
3	<b>0,992</b>
4	<b>0,987</b>
5	<b>0,995</b>
6	<b>0,998</b>
7	<b>0,998</b>
8	<b>0,995</b>
9	0,951
10	<b>1</b>
Ср. знач. коэф. корреляции	0,990

По таблице видно, что один результат эксперимента, которому соответствует коэффициент корреляции 0,951, не демонстрирует квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости достаточно наглядно. Результаты этого эксперимента можно увидеть на рисунке 9.

Самым лучшим результатом оказался десятый эксперимент, показанный на рисунке номер 10.

По результатам этой серии экспериментов мы получили, что средний коэффициент корреляции 0,99, что является очень хорошим результатом.

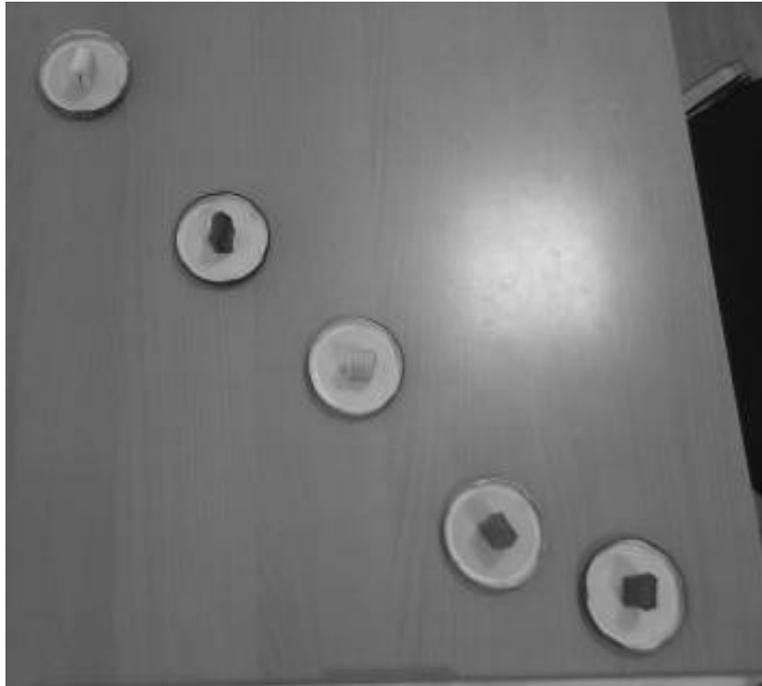


Рис. 9

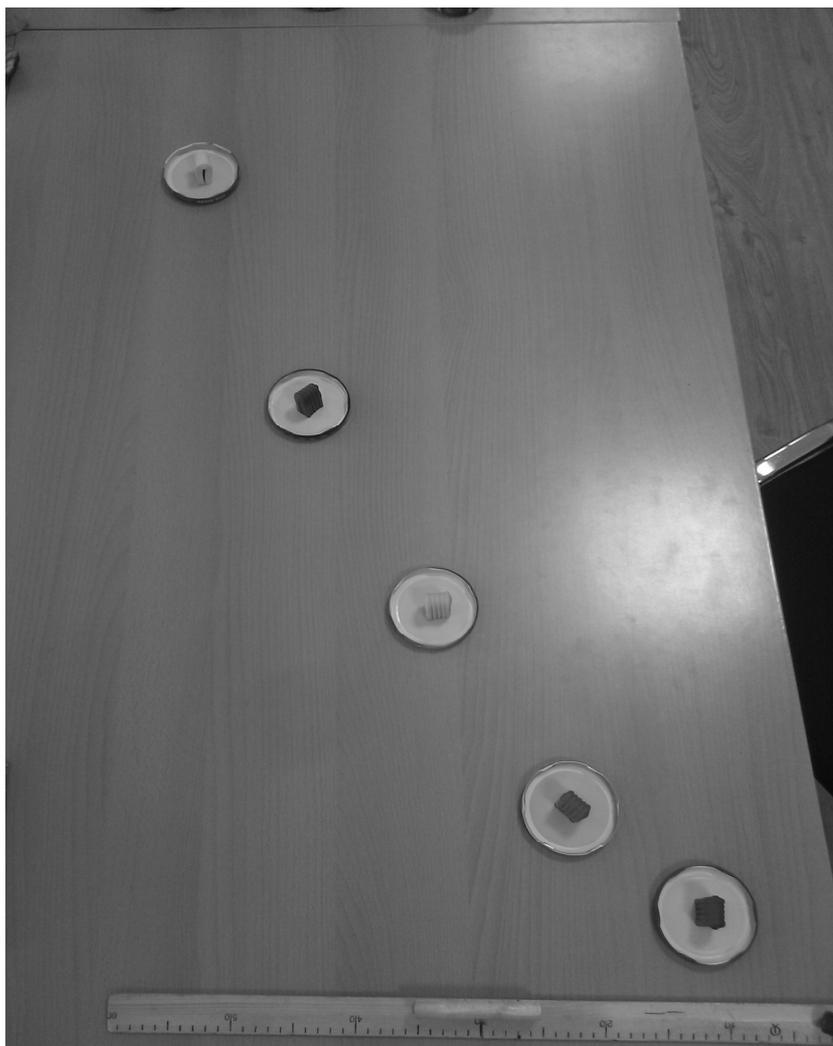


Рис. 10

## Основные результаты главы II:

1. Изучены возможные факторы влияния на демонстрацию квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.
2. Определены реально влияющие на демонстрацию факторы.
3. Описан и поставлен новый демонстрационный опыт, наглядно демонстрирующий зависимость тормозного пути от начальной скорости.

## Заключение.

В проделанной работе можно выделить серию результатов:

1. Выяснено, что зависимость тормозного пути от начальной скорости должна быть квадратична.
2. Установлено, что с помощью авторского эксперимента не всегда удаётся наглядная демонстрация квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.
3. Определены факторы, которые влияют на демонстрацию квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.
4. Найдены способы избавления от факторов, которые искажают демонстрацию квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.
5. Установлено, что зависимость тормозного пути от начальной скорости на малых скоростях не квадратична.
6. Определено, что тела с большей поверхностью лучше демонстрируют квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости.
7. Удалось создать установку, которая наглядно демонстрирует квадратичную зависимость тормозного пути от начальной скорости.

Таким образом, получается, что мы подтвердили гипотезу, выдвинутую в начале работы:

1. Установили факторы, которые искажают результаты демонстрации квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости
2. Определили способы их устранения
3. Осуществили наглядную демонстрацию квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.

Стоит отметить, что поставленный эксперимент не очень прост для понимания. При его просмотре у каждого зрителя должно быть четкое понимание того, какова взаимосвязь между начальной скоростью и радиусом

вращения монеты. И также необходимо помнить, что зависимость надо наблюдать по ближним к линейке точкам тел, а не их центрам. Понять в чем принципиальная разница можно по линиям, проведенным на рисунке 11 красным и оранжевым цветами.

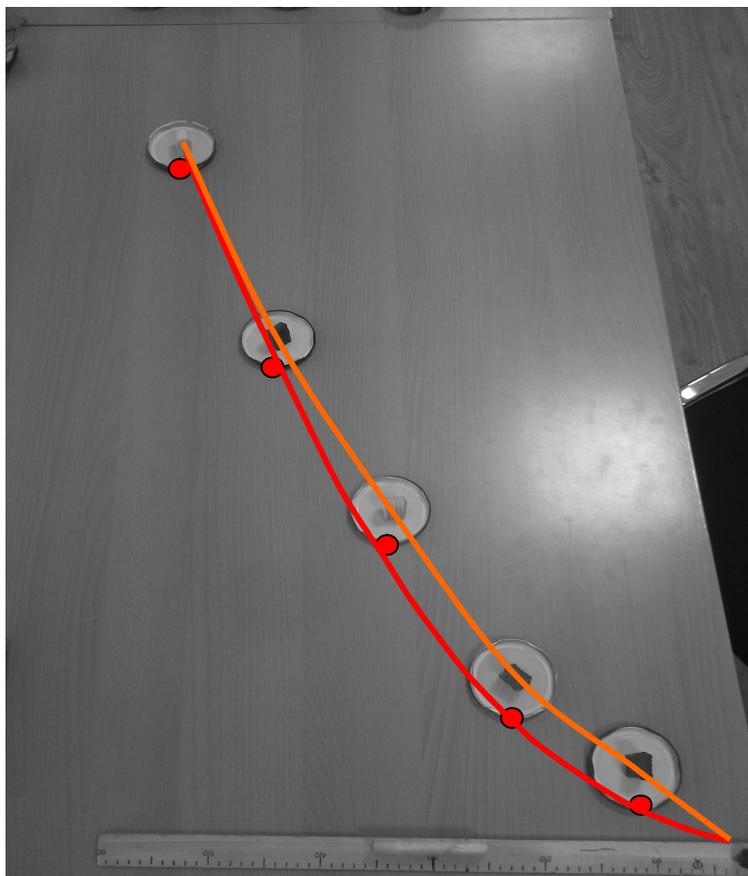


Рис. 11

В связи с этим возникает вопрос: если исследуемая демонстрация важна, но желаемый результат достигается с определенным трудом, то почему бы не изменить сам эксперимент?

Для ответа на этот вопрос мы рассмотрели другие варианты демонстраций:

1) В начале эксперимента монета будет помещена на специальное устройство, которое сообщает телам начальную скорость. Сообщаемую скорость можно менять, а значит при увеличении её вдвое, тормозной путь увеличится вчетверо. Если в опыте будут учитываться факторы, которые мы обнаружили в ходе нашего исследования, то результатом данного опыта будет квадратичная зависимость тормозного пути от начальной скорости.

Стоит упомянуть, что для устойчивого результата эксперимента его придётся проделывать несколько раз, так как возможны небольшие отклонения от ожидаемого результата.

Предложенный опыт оказывается лучше исследованного в работе тем, что зрителю видна прямая зависимость тормозного пути от начальной скорости. Но, опыт уступает в том, что для его постановки нужно специальное устройство, которое могло бы менять сообщаемую телам скорость.

2) Данная демонстрация отличается тем, что в ней мы переводим опыт в вертикальную плоскость и используем силу тяготения, как тормозящую. В демонстрации необходимо использовать не монеты, а тела, которые имеют сферическую форму – это позволит получить наилучший результат. Данные тела приводятся в движение с помощью линейки.

Для проведения опыта необходимо расположить монеты на разных радиусах и вращать линейку. Одинаковые угловые скорости тел при остановке линейки смогут обеспечить разные начальные скорости, отношение которых друг к другу известно. После отрыва на монеты действует одна единственная сила – тяготения. Она и будет исполнять роль тормозящей силы, а значит, ускорение у всех монет будет одинаково и постоянно. Соответственно, тормозной путь тел будет квадратично зависеть от начальной скорости.

Главная проблема демонстрации в том, что монеты достигнут своих наивысших точек в разное время, что достаточно сложно запечатлеть. Поэтому необходимо использовать специальные устройства, которые позволят запечатлеть тела в эти мгновения. Только в таком случае получится идеальная демонстрация квадратичной зависимости тормозного пути от начальной скорости.

В итоге можно сказать, что первый опыт, по сравнению с описанным в работе, более понятно демонстрирует зависимость, но требует специального оборудования. Второй же наиболее точно демонстрирует зависимость, но также предполагает использование специального оборудования. Таким образом, нет очевидного смысла рассматривать другие способы проведения данного эксперимента.

### Список использованной литературы.

1. Айзензон А.Е. Курс физики. – М.: «Высшая школа» 1996
2. Костко О.К. Механика. – М.: Лист 1998
3. Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех; Движение, теплота. – М.: Наука 1974.
4. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики; Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука 1972.
5. Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия 1984
6. Трофимова Т.И. Курс Физики. – М.: Высшая школа. 1994
7. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике; Современная наука о природе, законы механики. – М.: Мир. 1965
8. Яворский Б.М., Селезнев Ю.А. Справочное руководство по физике; Для поступающих в ВУЗы и самообразования. – М.: Наука. 1979.
9. Князев А.А. Две задачи о вращающихся телах // Интернет ресурс: <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200800314>