МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ПиТФ

Лаборатория № VI-206

Лабораторная работа № 1

**Измерение времени соударения упругих тел**

|  |  |
| --- | --- |
| Факультет: | ФЭН |
| Группа: | ЭН2-31 |
| Студент: | Полозов А. А. |
| Преподаватель: | Сейфи В. А. |
| Дата выполнения работы: | 02.03.2024 |
| Отметка о защите: |  |

Новосибирск, 2024

# 1. Цель лабораторной работы

Сравнение экспериментально полученной зависимости времени соударения от диаметра шара с теоретической зависимостью.

# 2. Таблица приборов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Тип или система** | **Предел измерений** | **Цена деления** | **Приборная погрешность** |
| 1 | Измеритель временных интервалов | электронные | 999,9 мкс | 0,1 мкс |  |

# 3. Рабочие формулы и исходные данные

– группа измерения.

– номер измерения.

– диаметры шаров.

Выборочное среднее результатов измерений: .

Выборочное среднеквадратичное отклонение: .

Среднеквадратичное отклонение: **…** .

Некоторое значение коэффициента Стьюдента :.

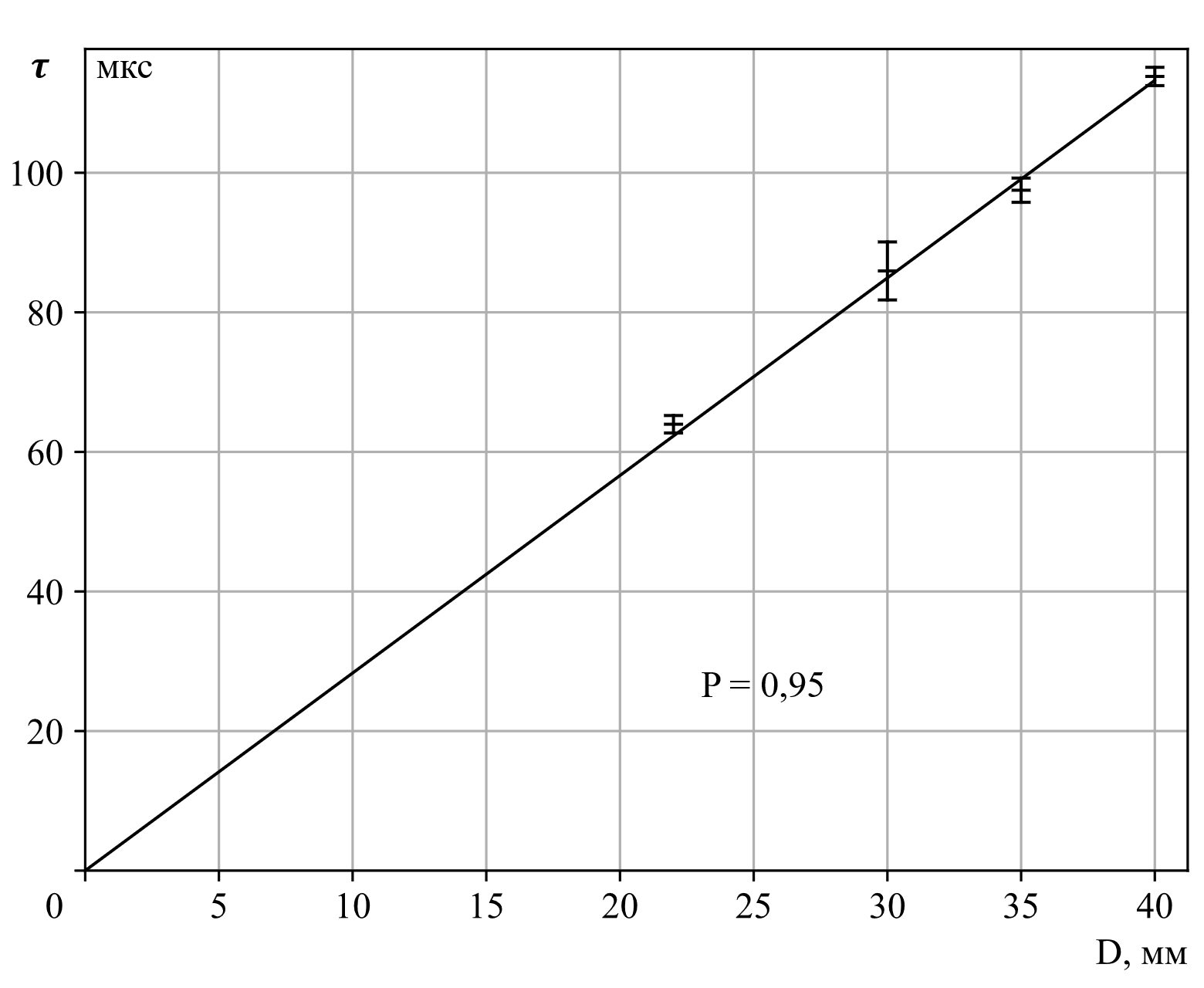
Доверительный интервал для моды многократных измерений времени соударения шаров: .

# 4. Таблица измерений

*Таблица 1.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **мм** |  | **мкс** | **мкс** | **мкс** | **мкс** | **мкс** |
| 1 | 22 | 1 | 63,5 | 64,0 | 0,5 | 1,2 |  |
| 2 | 64,5 |
| 3 | 63,9 |
| 2 | 30 | 4 | 86,9 | 85,9 | 1,7 | 4,2 |  |
| 5 | 84,0 |
| 6 | 86,9 |
| 3 | 35 | 7 | 98,3 | 97,5 | 0,7 | 1,7 |  |
| 8 | 97,2 |
| 9 | 97,0 |
| 4 | 40 | 10 | 113,4 | 113,8 | 0,5 | 1,3 |  |
| 11 | 113,6 |
| 12 | 114,4 |

# 5. Графики экспериментальных зависимостей



# 6. Выводы

Было установлено на опыте, что время соударения двух шаров линейно зависит от их диаметров.

# Контрольные вопросы

## 1. Какова цель настоящей работы?

Сравнение экспериментально полученной зависимости времени соударения от диаметра шара с теоретической зависимостью.

## 2. Как определяется время соударения шаров на основе второго закона Ньютона?

Для оценки времени соударения шаров используем второй закон Ньютона: . Здесь – импульс шара 1, а – сила, с которой шар 2 действует на шар 1. Поскольку движение шаров в процессе соударения будем считать прямолинейным, можно от векторов перейти к проекциям на горизонтальную ось, выбранную в направлении движения: . Проинтегрируем это соотношение по времени от момента начала соударения до момента окончания соударения . Получим

Правую часть этого равенства можно представить в виде

где – средняя за время соударения сила, действующая на шар 1 (по определению средней величины). Отсюда время соударения шаров

где – среднее за время соударения значение модуля упругой силы, с которой шар 2 действует на шар 1.

## 3. Какие силы изменяют суммарный импульс системы тел?

Сила тяжести, сила натяжения нити.

## 4. Как упругие силы взаимодействия шаров влияют на суммарный импульс шаров?

Силы взаимодействия шаров – внутренние силы этой системы тел – не меняют суммарного импульса шаров в соответствии с третьим законом Ньютона.

## 5. Когда можно применять закон сохранения импульса приближённо?

ЗСИ можно применять, когда действие внешних сил отсутствует или оно скомпенсировано.

В приближении «мгновенного» удара суммарный импульс группы тел сохраняется, даже если результирующая внешних сил отлична от нуля.

## 6. Почему при расчёте времени соударения мы можем перейти в другую инерциальную систему отсчёта?

В нерелятивистских инерциальных системах отсчёта приращения скоростей (импульсов) как разности двух векторов, промежутки времени и силы являются инвариантными, поэтому при переходе в другую инерциальную систему все величины в не изменятся.

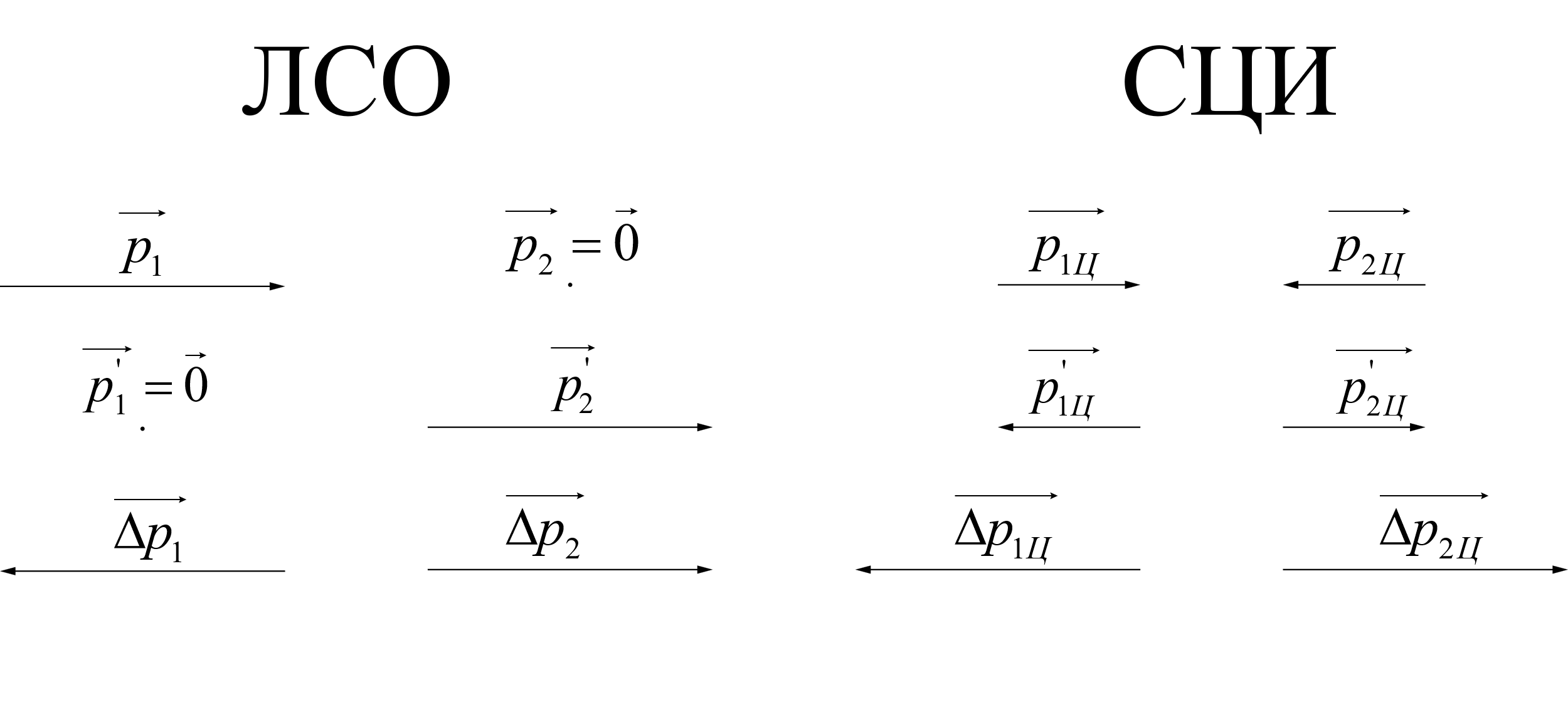
## 7. Что такое система центра инерции?

**Система центра инерции** – система отсчёта, в которой центр инерции системы неподвижен.

## 8. Что такое упругий удар? Какой закон выполняется при упругом ударе?

**Абсолютно упругий удар** – это кратковременное взаимодействие тел, при котором выполняется закон сохранения механической энергии и после взаимодействия тела движутся независимо друг от друга.

## 9. Изобразите диаграмму импульсов шаров в СЦИ и в Л-системе. Покажите векторы изменения импульса каждого шара при ударе.



## 10. Какие этапы можно выделить в процессе упругого соударения?

Процесс упругого соударения шаров в СЦИ можно представить в виде следующих двух этапов:

1. на первом этапе оба шара одновременно тормозятся и упруго деформируются до тех пор, пока кинетическая энергия шаров полностью не превратится в энергию упругой деформации;
2. на втором этапе величина упругой деформации уменьшается до нуля, энергия упругой деформации превращается в кинетическую энергию шаров.

## 11. Перечислите основные допущения, используемые при анализе соударения в системе центра инерции.

1. пренебрежение силой трения в подвесе;
2. силой тяжести;
3. силой натяжения нити;
4. углом отклонения нитей подвесов от вертикали;
5. потерями кинетической энергии при ударе.

## 12. Исходя из начальных условий соударения в лабораторной системе отсчёта выведите формулу для изменения импульсов шаров при ударе в СЦИ.

Взаимодействие шаров проще всего рассматривать в системе их центра инерции, т. е. относительно системы отсчёта, в которой центр инерции системы из двух шаров неподвижен. Такую систему обозначают СЦИ или Ц-система. Перейдем в СЦИ, т. е. определим скорости и импульсы шаров в системе их центра инерции.

Скорость центра инерции системы двух тел определяется как суммарный импульс, отнесённый к суммарной массе:

Так как суммарный импульс шаров при ударе сохраняется, то сохраняется и скорость центра инерции. Следовательно, систему отсчёта, связанную с центром инерции, можно в течение удара считать инерциальной.

Радиусы-векторы материальной точки в Л- и Ц-системах отсчёта и связаны через радиус-вектор переноса начала отсчёта , определяющий положение «нового» начала в «старой» системе: . Продифференцировав это равенство по времени, получим преобразование скоростей Галилея: скорость точки в движущейся Ц-системе равна разности скорости этой точки в неподвижной Л-системе отсчёта и скорости переносного движения движущейся системы отсчёта относительно неподвижной:

Применим эту формулу к каждому из шаров. Для шара 1 до удара скорость в Ц-системе равна , а для шара 2 . Обозначим импульсы первого и второго шара в СЦИ до удара и , а после соударения и :

Следовательно, закон сохранения импульса в СЦИ имеет вид

Отсюда . Это соотношение можно доказать и в более общем случае неравных масс шаров. Оно имеет простой физический смысл: в системе отсчёта, связанной с центром инерции, сам центр инерции покоится.

Запишем закон сохранения кинетической энергии в СЦИ в приближении абсолютно упругого удара:

где были использованы связи длин векторов до и после удара. Из этого следует, что длины всех векторов одинаковы. При ударе меняются только направления векторов. Отсюда:

## 13. Исходя из закономерностей упруго удара в СЦИ выведите зависимость от при соударении кубиков.

Кинетическая энергия двух шаров равна работе двух сил упругой деформации, действие которых и привело к полной остановке обоих шаров, поэтому закон сохранения механической энергии для первого этапа соударения шаров имеет вид:

где – максимальная величина продольной деформации, одинаковая для каждого из шаров. По определению средней величины , где – средняя сила, действующая на отрезке от до . Отсюда и средняя величина упругой силы

Будем считать, что усреднённое по координате на этом отрезке значение силы равно усреднённому по времени соударения , которое входит в выражение . Подставляя одно выражение в другое, получаем, что время соударения шаров

Из этого следует, что пропорционально . Для определения зависимости от диаметра необходимо найти зависимость от . Для этого рассмотрим сначала грубую физическую модель, в которой шар диаметром заменён телом кубической форсы с ребром Считаем, что при упругом соударении двух стальных кубов, когда при соударении соприкасающиеся грани идеально совпадают, справедлив закон Гука:

– продольная деформация пропорциональна механическому напряжению . Здесь – модуль Юнга; – площадь поперечного сечения деформируемого тела.

Тогда работа силы упругой деформации, действующей на один куб от начала соударения до максимальной деформации (что соответствует полной остановке тел в СЦИ), есть

Подставив это значение интеграла в закон сохранения механической энергии, получим

Отсюда . Так как , где – плотность тела, а – его объём, получаем

Подставляя найденное выражение для в формулу для времени соударения, получаем

## 14. Получите зависимость от при упругом соударении двух сплошных цилиндров, радиусы которых равны радиусу шара, а длина – диаметру шара, в случае, если цилиндры ударяются торцевыми поверхностями.

Закон Гука в виде справедлив для равномерно сжатого вдоль одного из рёбер прямоугольного параллелепипеда или цилиндра. Поэтому мы можем воспользоваться алгоритмом вывода зависимости от при соударении кубиков, заменив геометрические величины на соответствующие цилиндру. А именно:

Отсюда:

## 15. Получили ли вы ожидаемую зависимость времени соударения шаров от их диаметров? Что это означает?

Получил. Это означает, что теоретические расчёты верны.