

Интернет-проект «Удивительный мир физики»
2015/2016 учебного года 2 тур, апрель 2016 г.
возрастная категория «10 класс»
Игровой номер 16f455

Областной телекоммуникационный образовательный проект
«Удивительный мир физики» 2015/2016 учебного года
<http://projects.edu.yar.ru/physics/15-16/>

2 тур
Возрастная номинация 10 класс

команда «*Perpetuum Mobile*»
Государственное профессиональное
автономное учреждение
Ярославской области
**Ярославский промышленно-
экономический колледж,**
г. Ярославль

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ЗАДАНИЕ

*Исследование зависимости частоты колебаний пластиковой
бутылки от объема воды в ней.*

Цель: Экспериментально определить зависимость частоты колебаний пластиковой бутылки, наполненной водой, от объема воды в ней.

Содержание исследования:

1. Исследование колебания бутылки, подвешенной на нити
2. Исследование колебания бутылки, подвешенной на упругой резинке
3. Исследование колебания бутылки, подвешенной на стержне

Для измерения частоты колебаний в каждом из экспериментов мы измеряли время фиксированного количества колебаний бутылки, изменяя объем жидкости в ней.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ БУТЫЛКИ, ПОДВЕШЕННОЙ НА НИТИ



Оборудование:

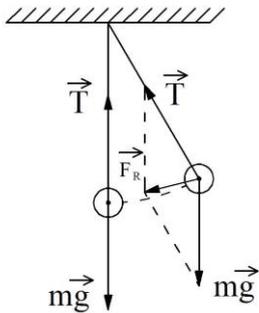
1. штатив с муфтой и лапкой;
2. нить;
3. пластиковая бутылка;
4. мерный цилиндр;
5. сосуд с водой;
6. секундомер,
7. линейка.

Ход эксперимента.

- 1) Подвесьте бутылку на нить и закрепите нить в штативе.
- 2) Приведите маятник в колебания с небольшой амплитудой.
- 3) Измерьте время нескольких колебаний и рассчитайте частоту колебаний маятника.
- 4) Наливайте в бутылку равные по объему порции жидкости, повторяя измерения.
- 5) Постройте график зависимости частоты колебаний от объема жидкости в бутылке.
- 6) Повторите эксперимент, изменив длину нити.

Теоретическое обоснование эксперимента:

Математическим маятником называют тело небольших размеров, подвешенное на тонкой нерастяжимой нити, масса которой пренебрежимо мала по сравнению с массой тела.



Частота колебаний математического маятника находится по формуле: $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$ и от его массы не зависит. Зависит частота от длины маятника, а его длиной называется расстояние от точки подвеса до центра масс. По мере увеличения объема жидкости в бутылке центр тяжести маятника будет подниматься, следовательно, длина маятника будет уменьшаться, а частота увеличиваться обратно пропорционально корню квадратному из длины. Поскольку бутылка имеет сложную форму, то изменение положения центра масс такого маятника будет происходить нелинейно.

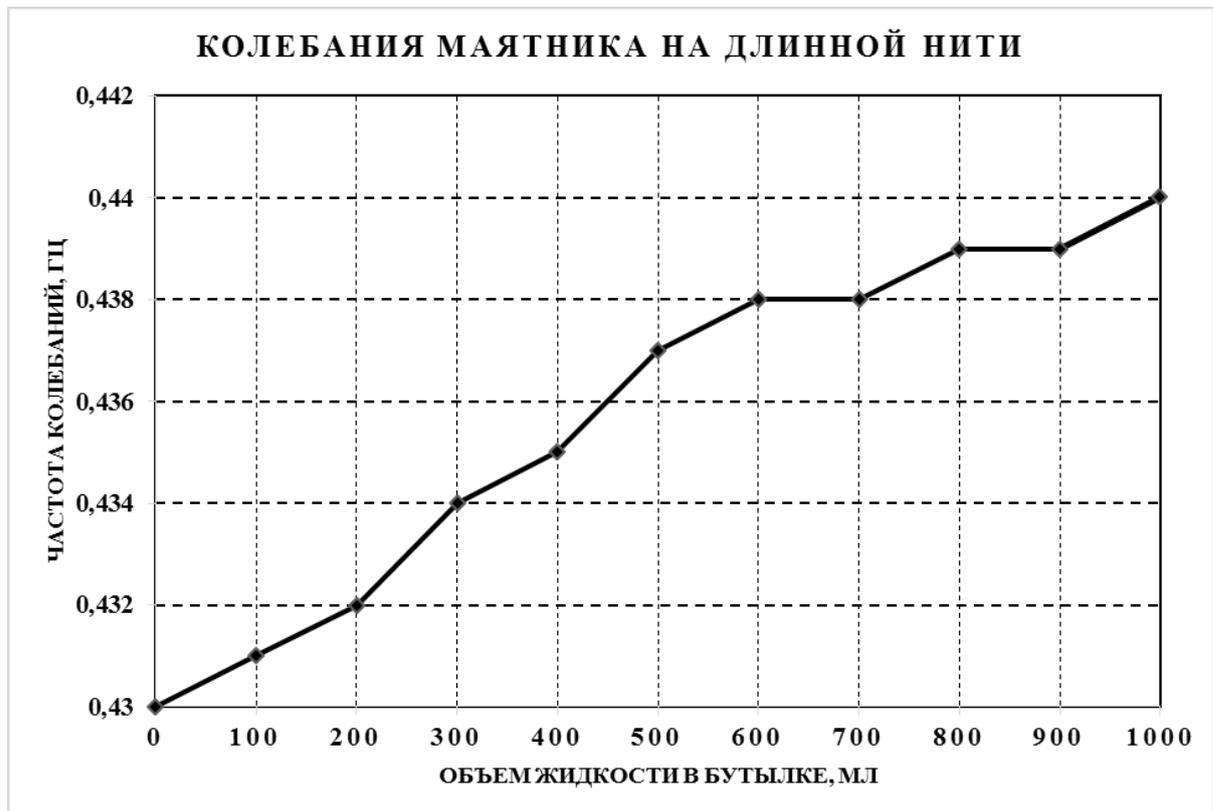
Результаты эксперимента

Первый эксперимент проводился с маятником на длинной нити

Результаты эксперимента представлены в таблице и на графике

Число колебаний – $N = 50$; длина нити - $l = 113,5$ см

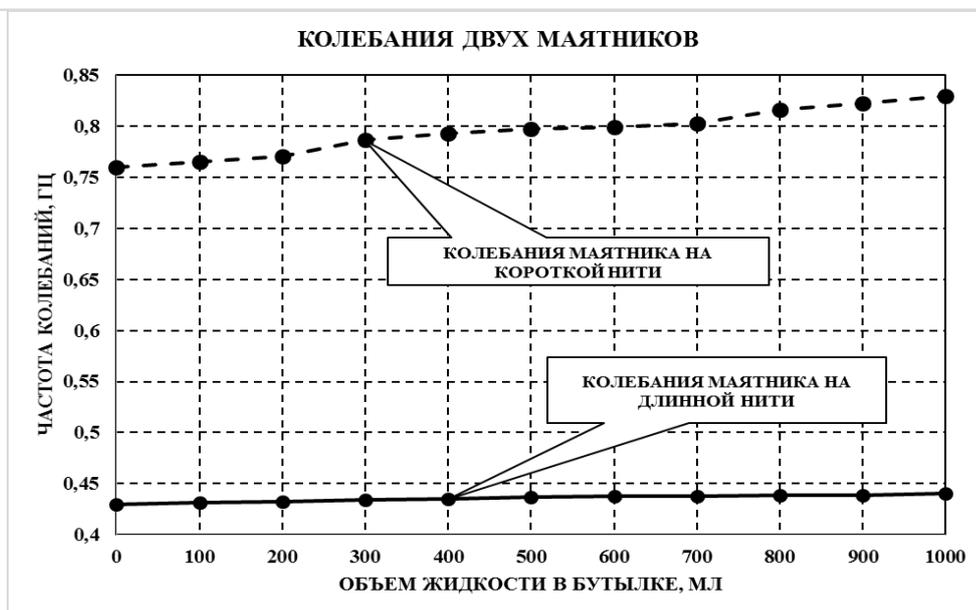
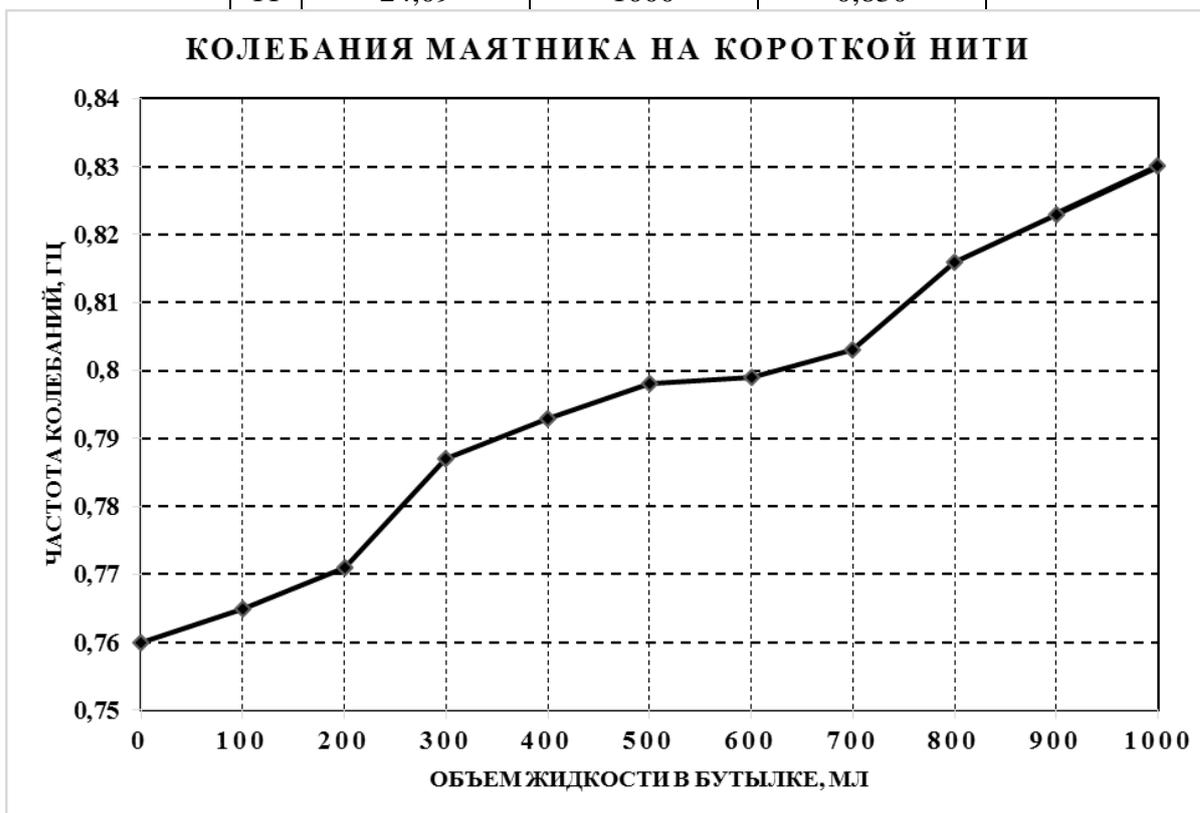
№	t , сек	V мл	Частота Гц
1	116,28	0	0,43
2	116,01	100	0,431
3	115,74	200	0,432
4	115,21	300	0,434
5	114,94	400	0,435
6	114,42	500	0,437
7	114,16	600	0,438
8	114,16	700	0,438
9	113,90	800	0,439
10	113,90	900	0,439
11	113,64	1000	0,44



Второй эксперимент проводился с маятником на короткой нити

Число колебаний – $N = 20$; длина нити – $l = 21,5$ см

№	t , сек	V мл	Частота Гц
1	26,32	0	0,760
2	26,13	100	0,765
3	25,93	200	0,771
4	25,40	300	0,787
5	25,22	400	0,793
6	25,06	500	0,798
7	25,02	600	0,799
8	24,88	700	0,803
9	24,52	800	0,816
10	24,31	900	0,823
11	24,09	1000	0,830



Объяснение результатов эксперимента:

1. В данном эксперименте наибольшее влияние на изменение частоты колебаний оказало изменение положения центра масс физического маятника.
2. Согласно теории, с увеличением объема жидкости в бутылке частота колебаний увеличивается.
3. При наибольшей длине нити, на которую подвешивалась бутылка, процентное изменение длины маятника по отношению к длине нити оказалось небольшим, поэтому частота колебаний изменялась незначительно при изменении объема жидкости.
4. Зависимость частоты от объема жидкости тем значительнее, чем меньше длина нити, т.к. изменение длины маятника по отношению к длине нити больше.
5. На колебания маятника оказывало влияние движение жидкости в бутылке.

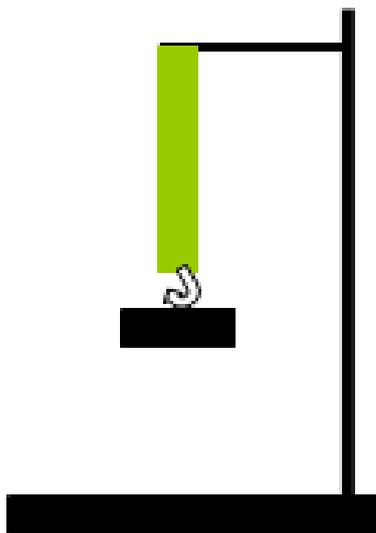
2. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ БУТЫЛКИ, ПОДВЕШЕННОЙ НА УПРУГОЙ РЕЗИНКЕ

Оборудование:

1. штатив с муфтой и лапкой;
2. резиновая лента;
3. пластиковая бутылка;
4. мерный цилиндр;
5. сосуд с водой;
6. секундомер,
7. линейка.

Ход эксперимента.

- 1) Подвесьте бутылку на резиновую ленту и закрепите в штативе.
- 2) Приведите маятник в колебания с небольшой амплитудой.
- 3) Измерьте время нескольких колебаний и рассчитайте частоту колебаний маятника.
- 4) Наливайте в бутылку равные по объему порции жидкости, повторяя измерения.
- 5) Постройте график зависимости частоты колебаний от объема жидкости в бутылке.



Теоретическое обоснование эксперимента:

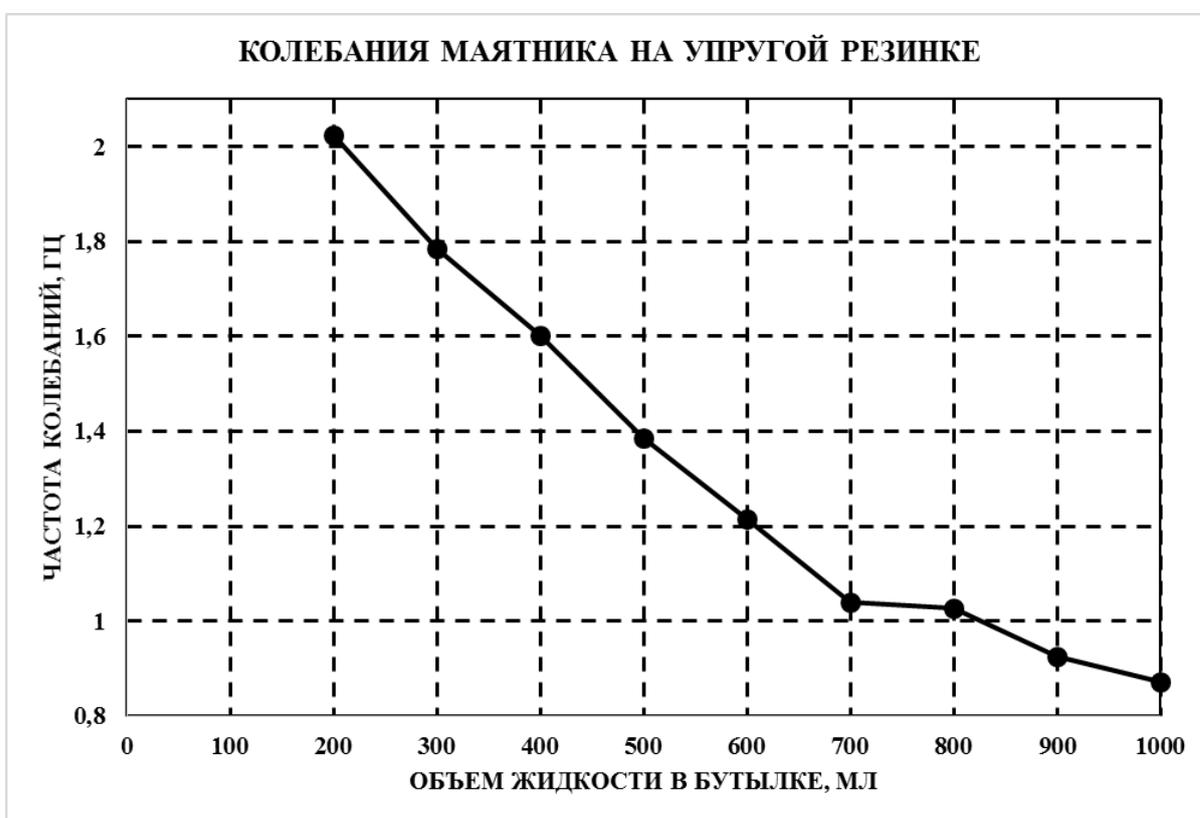
Частота колебаний маятника находится по формуле: $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ и зависит от его массы. По мере увеличения объема жидкости в бутылке масса маятника будет увеличиваться, следовательно, частота уменьшаться обратно пропорционально корню

квадратному из массы. На колебания такого маятника будет значительно влиять инертность воды, налитой в бутылку.

Результаты эксперимента

Результаты эксперимента представлены в таблице и на графике

№	<i>t, сек</i>	<i>N</i>	<i>V мл</i>	<i>Частота Гц</i>
1	2,47	5	200	2,024
2	2,80	5	300	1,785
3	3,12	5	400	1,602
4	3,61	5	500	1,385
5	4,11	5	600	1,216
6	9,60	10	700	1,041
7	9,74	10	800	1,026
8	10,80	10	900	0,925
9	11,45	10	1000	0,873



Объяснение результатов эксперимента:

1. Согласно формуле зависимости частоты колебаний пружинного маятника от его массы с увеличением объема жидкости (следовательно, и массы) частота колебаний уменьшается.
2. При вертикальных колебаниях бутылки происходило значительное движение воды, тормозящее колебания маятника.
3. В данном эксперименте не удавалось измерить время большого количества колебаний, из-за инертности воды, налитой в бутылку: происходило значительное затухание колебаний, и начинались биения маятника.
4. Не удалось измерить частоту колебаний пустой бутылки и бутылки с малым количеством жидкости из-за большой скорости затухания колебаний

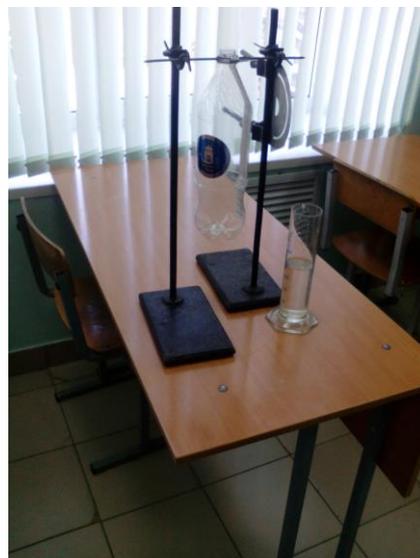
3. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ БУТЫЛКИ, ПОДВЕШЕННОЙ НА СТЕРЖНЕ

Оборудование:

1. два штатива с муфтой и лапкой;
2. металлический стержень и хомут;
3. пластиковая бутылка;
4. мерный цилиндр;
5. сосуд с водой;
6. секундомер,
7. линейка.

Ход эксперимента.

- 1) Подвесьте бутылку на металлический стержень, закрепив ее хомутом.
- 2) Закрепите стержень в штативах.
- 3) Приведите маятник в колебания с небольшой амплитудой.
- 4) Измерьте время нескольких колебаний и рассчитайте частоту колебаний маятника.
- 5) Наливайте в бутылку равные по объему порции жидкости, повторяя измерения.
- 6) Постройте график зависимости частоты колебаний от объема жидкости в бутылке.



Теоретическое обоснование эксперимента:

Пусть пластиковая бутылка совершает периодические колебания вокруг точки подвеса с периодом T . Колеблющаяся бутылка будет представлять из себя физический маятник.

Известно, что физическим маятником называется произвольное твердое тело, закрепленное на неподвижной горизонтальной оси (оси подвеса), не проходящей через центр тяжести, и совершающее колебания относительно этой оси под действием силы тяжести. В отличие от математического маятника массу такого тела нельзя считать точечной.

Период колебаний физического маятника определяется известной формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{mgl}{J}}.$$

Здесь используются обозначения:

T - период колебаний физического маятника;

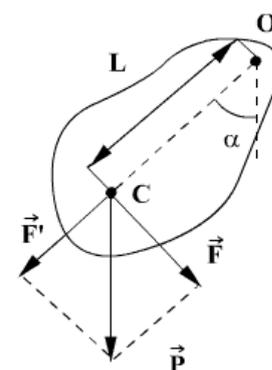
ν - частота колебаний маятника;

J - момент инерции маятника относительно оси вращения;

l - расстояние от оси вращения до центра масс;

m - масса маятника;

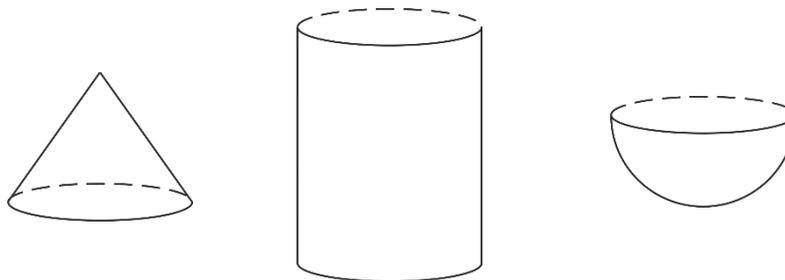
$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения



Для применения формулы периода колебаний маятника необходимо найти момент инерции пластиковой бутылки.

Построим теоретическую модель пластиковой бутылки.

Пусть имеющаяся пластиковая бутылка состоит из трех компонентов: конуса, цилиндра, полусферы.



Вершина конуса является центром вращения.

Моменты инерции данных геометрических фигур хорошо известны

$$\text{Тонкостенный конус: } J_1 = \frac{mR^2}{2}$$

$$\text{Тонкостенный цилиндр радиуса: } J_2 = mR^2;$$

$$\text{Тонкостенная полусфера: } J = \frac{2mR^2}{3}$$

При заполнении водой нам понадобятся формулы расчета сплошных геометрических фигур:

$$\text{Сплошной конус: } J'_1 = \frac{3mR^2}{10}$$

$$\text{Сплошной цилиндр радиуса } R: J'_2 = \frac{mR^2}{2};$$

$$\text{Сплошная полусфера: } J'_3 = \frac{2mR^2}{5}$$

Таким образом, момент инерции полой бутылки будет складываться из суммы моментов инерции оболочек ее составляющих:

$$J_0 = J_1 + J_2 + J_3$$

$$J_0 = \frac{mR^2}{2} + mR^2 + \frac{2mR^2}{3} = mR^2 \left(\frac{1}{2} + 1 + \frac{2}{3} \right) = mR^2 \left(\frac{3}{6} + \frac{6}{6} + \frac{4}{6} \right) = \frac{13mR^2}{6}$$

При заполнении бутылки водой момент инерции сплошной бутылки будет складываться из суммы моментов инерции сплошных конуса, цилиндра и полусферы;

$$J'_0 = J'_1 + J'_2 + J'_3$$

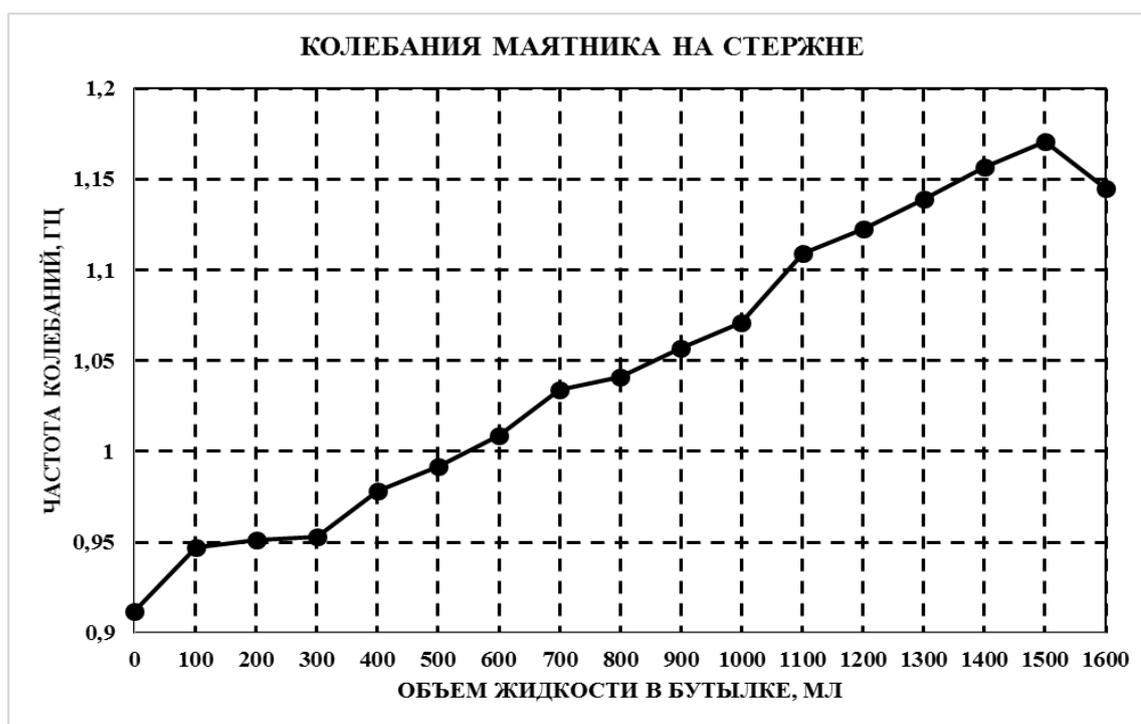
$$J'_0 = \frac{3mR^2}{10} + \frac{mR^2}{2} + \frac{2mR^2}{5} = mR^2 \left(\frac{3}{10} + \frac{1}{2} + \frac{2}{5} \right) = mR^2 \left(\frac{3}{10} + \frac{5}{10} + \frac{4}{10} \right) = \frac{12mR^2}{10} = \frac{6mR^2}{5}$$

При подстановке в формулу частоты колебаний момента инерции бутылки масса маятника сокращается. Таким образом частота колебаний маятника не зависит от массы.

Результаты эксперимента

№	V, мл	t, сек	Частота Гц
1	0	9,12	0,912
2	100	26,39	0,947
3	200	26,30	0,951
4	300	26,22	0,953
5	400	25,56	0,978
6	500	25,19	0,992
7	600	24,77	1,009

8	700	24,17	1,034
9	800	24,00	1,041
10	900	23,64	1,057
11	1000	23,34	1,071
12	1100	22,53	1,109
13	1200	22,25	1,123
14	1300	21,95	1,139
15	1400	21,6	1,157
16	1500	21,34	1,171
17	1600	21,83	1,145



Объяснение результатов эксперимента:

1. Частота колебаний такого маятника не зависит от его массы.
2. Изменение частоты колебаний происходит из-за изменения момента инерции тела: при заполнении бутылки водой момент инерции складывается из момента инерции пустой части бутылки и части бутылки, заполненной жидкостью.

ВЫВОДЫ:

Бутылка с водой, совершающая колебания – это физический маятник.

Характеристики колебаний такого маятника будут зависеть от различных факторов:

- важен способ возбуждения колебаний;
- при изменении объема жидкости в бутылке изменяется положение центра масс маятника;
- при изменении объема жидкости в бутылке изменяется момент инерции маятника;
- необходимо учитывать инертность жидкости в сосуде,
- возможно возникновение волны на поверхности воды;
- влияет трение о воздух;
- влияет трение в местах крепления.
- при измерении времени фиксированного числа колебаний маятника возникает погрешность измерения, связанная с инертностью экспериментатора, т.е. не всегда возможно нажать на секундомер одновременно с окончанием колебания маятника.

В зависимости от способа возбуждения колебаний зависимость частоты колебаний от объема жидкости в бутылке получилась различной.