

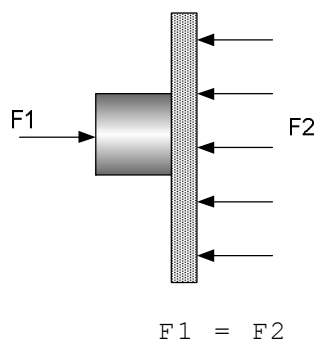
# I. Вступление.

Простенько о вечном.  
Вес и масса тела.

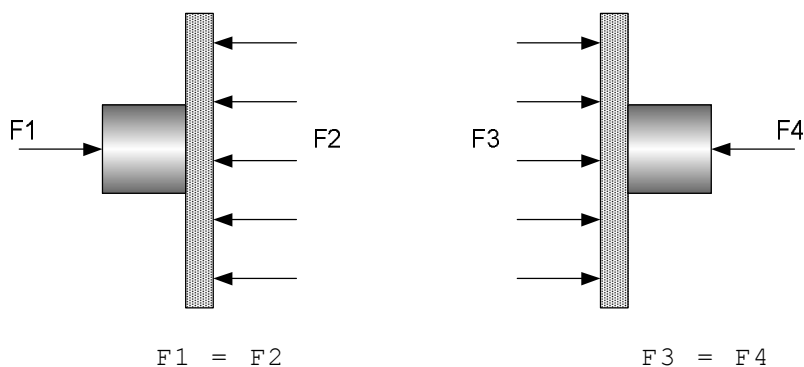
Ньютон: способность тела сохранять состояние покоя или прямолинейного движения называется инерцией тела. Мера этой способности называется масса тела.

Иначе говоря, масса тела есть мера способности тела сохранять свое состояние, сохранять посредством сопротивления внешнему воздействию. Классическая физика ощущает инерцию только лишь как сопротивление. Это сопротивление внешнему воздействию определяется (ощущается) только во время действия прикладываемого внешнего усилия, т.е. силы.

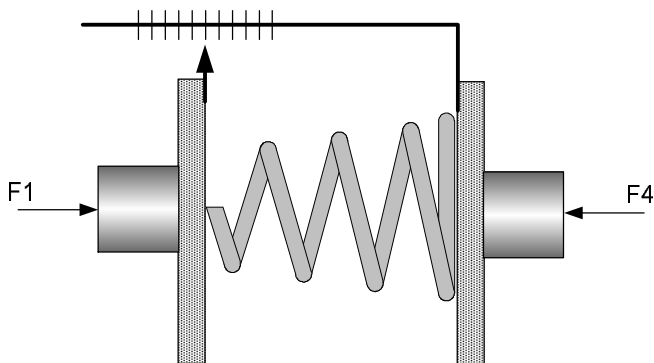
Чтобы изменить равномерное прямолинейное движение тела, мы действуем сторонней силой на это тело. В результате постоянного действия силы пробное тело постоянно изменяет свое состояние (скорость или направление). Чтобы прекратить изменения состояния, мы должны либо прекратить действие сторонней силы, либо приложить к телу другую стороннюю силу, направленную противоположно первой. Например, чтобы прекратить действие силы  $F_1$  на цилиндр, мы действуем на него плоскостью с силой  $F_2$ .



Возьмем две такие системы:

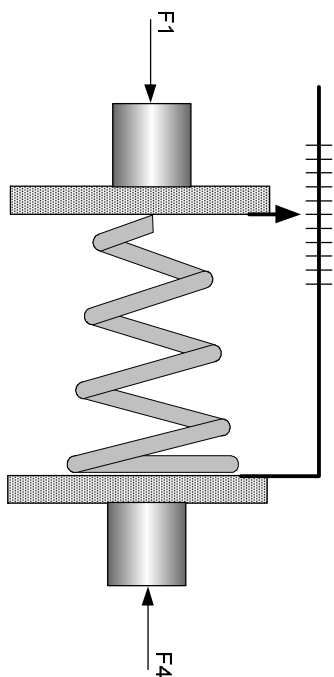


Заменяем  $F_2$  и  $F_3$  пружиной и прилепим шкалу для измерения смещения:

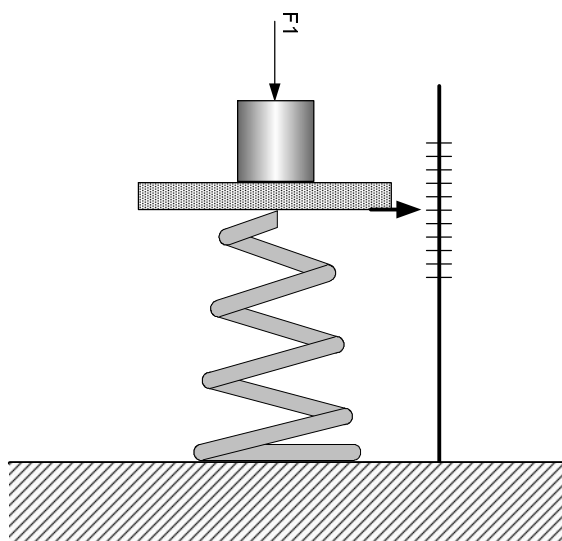


При  $F_1 = F_4$  наша конструкция, как и все предыдущие, будет оставаться в состоянии покоя. Стрелка на шкале показывает силу  $F = F_1 + F_4$ .

А дальше (внимание!) повернем всю конструкцию на 90 градусов:



И заменим  $F_4$  на опору - поверхность Земли:



В итоге мы получили устройство для измерения **веса!**

Но мы ни где не говорили о весе тела, только о внешних силах.

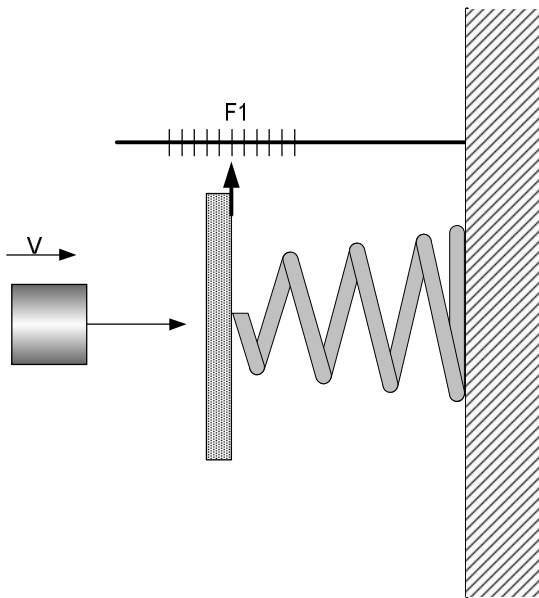
Делаем выводы:

- 1 Вес тела не принадлежит телу.
- 2 Вес тела это сторонняя сила, с помощью которой тело принуждается к стремлению к Земле.

Теперь о массе.

Подеиствуем на наш цилиндр силой  $F$  в течении определенного промежутка времени, а затем уберем это воздействие. В результате цилиндр приобретет скорость.

Теперь остановим движущийся цилиндр нашей пружинной конструкцией:



Из опыта мы знаем, что в результате налета цилиндра со скоростью  $V$  пружина сожмется и стрелка покажет смещение. Но смещение в нашей конструкции может быть только под действием силы. Значит налетевший цилиндр «обладает» силой. Но откуда? Мы не действовали сторонней силой на цилиндр в момент торможения! Мы прикладывали к нему силу в далеком прошлом, чтобы привести в движение. Можно предположить, что сила в прошлом «превратилась» каким-то образом в нечто, что мы называем количеством движения (движение по инерции), а в настоящем времени опять «превратилась» в силу при торможении цилиндра. Иначе говоря, существует какая-то физическая реальность, называемая количеством движения ( $P$ ), которая каким-то образом «вливаётся» в физическое тело и «выливается» из него. И даже если «это» не «вливать» в тело, то инерция все равно всегда присутствует в теле потому, что даже к «абсолютно покоящемуся» телу надо приложить силу для его перемещения.

Вывод.

Всегда вместе с физическим телом (или внутри его) существует некий процесс, который мы называем инерцией. Действуя на тело внешней силой, мы изменяем этот процесс. Не уменьшаем или прибавляем (как может показаться), а именно изменяем. И теперь уже измененную инерцию мы называем количеством движения.

Загадочный коэффициент в законе Ньютона, который мы называем массой, имеет теперь смысл количества вещества, обладающего определенной инерцией. Иначе говоря, масса есть количество вещества, участвующее в каком-то физическом процессе, который мы называем инерцией.

Давайте все-таки попробуем изучить это явление природы под названием «инерция». Автор предлагает именно изучать, а не сотрясать воздух изречением всяческих гипотез.

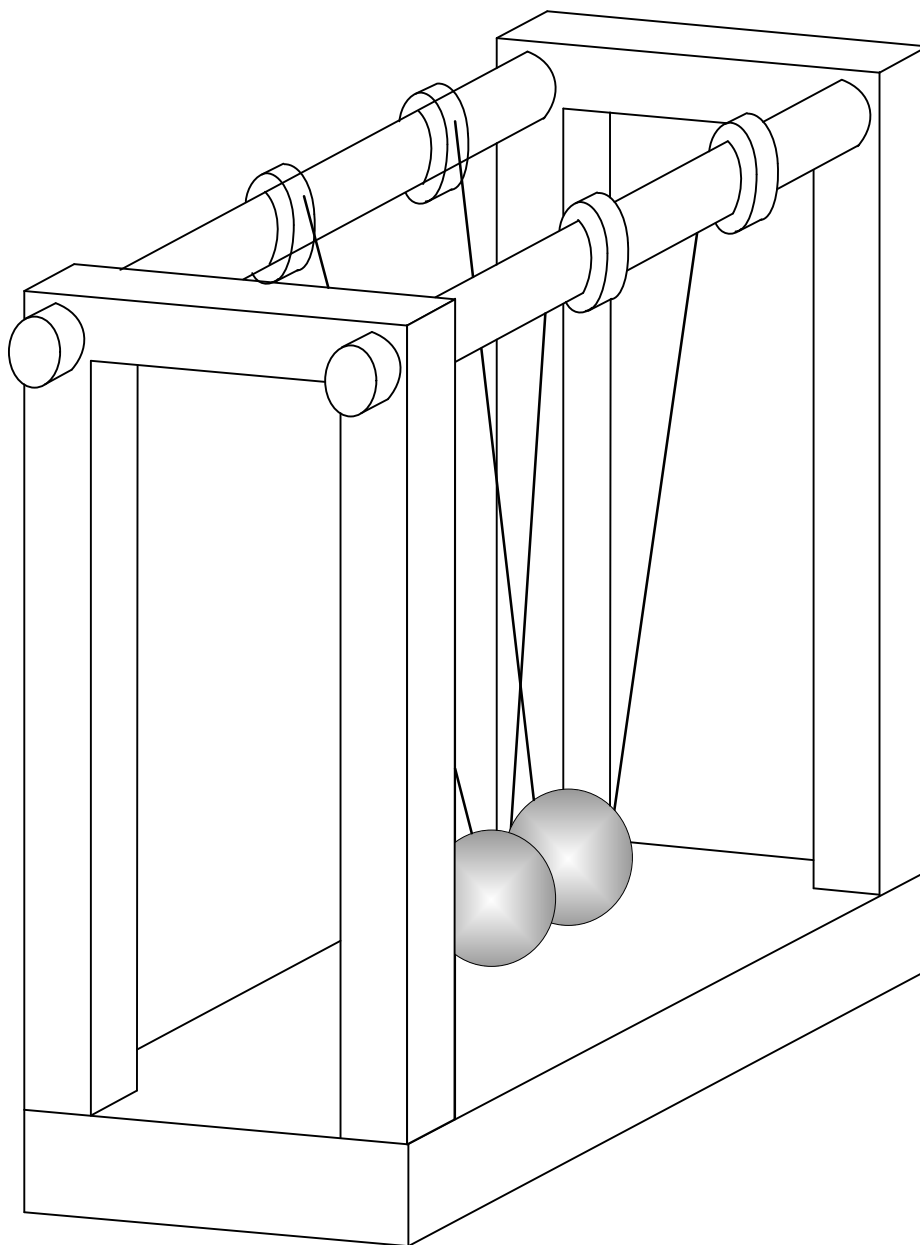
Классическая физика зациклилась на том, что инерция это сопротивление, и всё.

Но давайте представим явление передачи импульса, как процесс, отдельный от тела. Предположим, что существует два взаимосвязанных движения: движение тела и движение чего-то, что мы называем инерцией. Постараемся наблюдать «движение» инерции «отдельно» от тела.

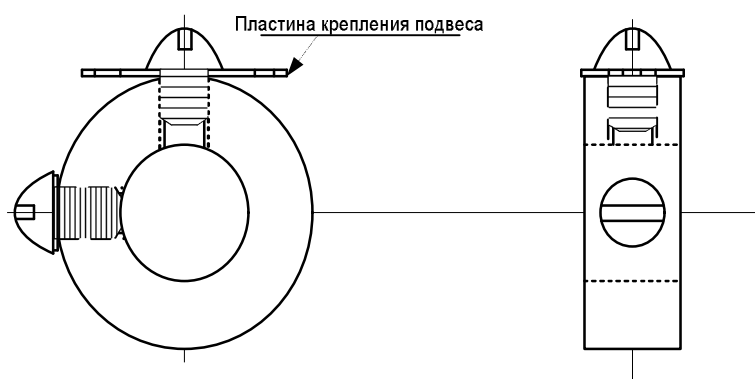
## II. Описание экспериментальных работ по изучению явления перетекания импульса.

В этой работе измерялся период времени взаимодействия стальных шаров, т.е. измерялась длительность контакта (электрического контакта) между стальными шарами при их упругом столкновении.

Экспериментальная установка довольно простая:



Каркас сделан из деревянных брусков (3X3) см. Две дюралевые толстостенные трубки являлись направляющими для подвижных колец из оргстекла. Кольца из оргстекла служили регулируемым держателем для подвеса шаров:

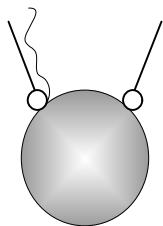


Один винт в кольце служит для крепления металлической пластинки, а другой для регулировки положения шаров.

За один конец пластины через отверстие крепится суровая нитка, являющаяся подвесом для шара. К другому концу этой пластины припаивается тонкая медная проволока  $\varnothing = 0,08\text{мм}$ .

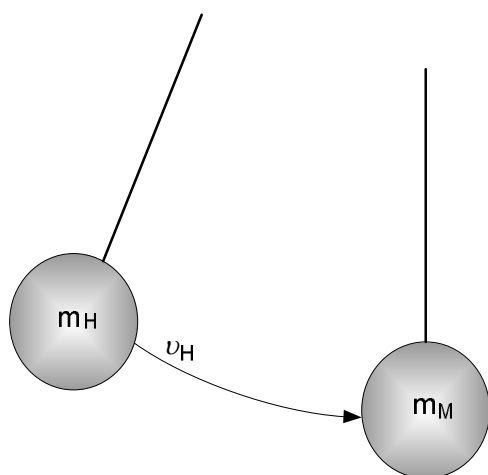
На стальные шары от подшипников припаиваются два кольца из тонкой стальной проволоки. За эти кольца привязывается суровая нитка. В месте

пайки кольца припаивается тонкая медная проволока, идущая от пластины крепления подвеса.



Таким образом шары подвешены на нитках, что обеспечивает достаточную гибкость подвеса и не мешает движению шаров. По медной проволоке (при контакте шаров) проходил слабый ток (меньше миллиампера), который являлся сигналом для включения и выключения измерителя длительности.

Эксперимент проводился следующим образом.



Один из шаров (налетающий  $m_n$ ) отводили на определенный угол и отпускали. Подлетая к шару-мишени ( $m_m$ ) он приобретал соответствующую скорость налета  $v_n$ . В момент столкновения оба шара замирали на несколько десятков микросекунд. Измерение этой длительности контакта (среднее значение от десяти столкновений) и являлось целью этой экспериментальной работы.

Но не будем более мучить читателя всякими объяснениями, а сразу приведем таблицу экспериментальных результатов:

Столкновение двух одинаковых стальных шаров.

Для шаров  $\varnothing = 41,2$ мм подвес - вольфрамовая проволока  $\varnothing = 0,1$ мм.

Ток для частотомера  $I = 5$ ма при  $U = 5$ В.

Точность установки отклонения  $\pm 1,5$ мм; точность измерения периодов времени  $\pm 1$ мкс.

Диаметр шара $\varnothing$ , мм.	Вес шара $M$ , Г.	Период колебания $T$ , мс.	Начальное отклонение $A$ , мм	Скорость налета $V$ , м/с	Импульс налета $P$ , м.Г/с	Время контакта $t$ , мкс	Скорость импульса $V = \varnothing/t$
9,5	3,56	966	108	0,7	2,5	32	296,8
9,5	3,56	966	54	0,35	1,25	37	256,7
12,2	7,57	968	51	0,33	2,5	49	249
12,2	7,57	968	54	0,35	2,65	50	244
15,8	16,35	972	23,6	0,15	2,5	75	210,6
15,8	16,35	972	47	0,3	5	65	243,1
15,8	16,35	972	54	0,35	5,7	64	246,9
22,2	44,82	974	17	0,11	5	114	194,7
22,2	44,82	974	34,6	0,22	10	98	226,5
22,2	44,82	974	54	0,35	15,7	84	264,3
41,2	286,4	1015	11	0,07	20	206	200
41,2	286,4	1015	22	0,14	40	182	226,4
41,2	286,4	1015	45	0,28	80	158	260,7
41,2	286,4	1015	56	0,35	100	150	274,6

Столкновение двух одинаковых стальных шаров - повторный эксперимент.  
 Подвес - нитка.

Точность установки отклонения  $\pm 0,5$ мм; точность измерения периодов времени  $\pm 0,5$ мс.

Диаметр шара $\varnothing$ , мм.	Вес шара M, г.	Период колебания T, мс.	Начальное отклонение A, мм	Скорость налета V, м/с	Импульс налета P, м.г/с	Время контакта t, мкс	Скорость импульса $V = \varnothing/t$
15,8	16,35	980	12	0,075	1,25	80	197,5
15,8	16,35	980	24	0,15	2,5	71	222,5
15,8	16,35	980	48	0,3	5	61	259
15,8	16,35	980	54	0,35	5,7	59	267,8
22,2	44,82	986	17	0,11	5	103	215,5
22,2	44,82	986	35	0,22	10	91	243,9
22,2	44,82	986	70	0,45	20	79	281
22,2	44,82	986	55	0,35	15,7	84	264,3
41,2	286,4	1026,4	11	0,07	20	206	200
41,2	286,4	1026,4	22	0,14	40	182	226,4
41,2	286,4	1026,4	46	0,28	80	160	257,5
41,2	286,4	1026,4	57	0,35	100	152	271
60,3	894	1028,6	9	0,055	50	334	180
60,3	894	1028,6	18	0,11	100	288	208,7
60,3	894	1028,6	36	0,22	200	248	242,3
60,3	894	1028,6	55	0,33	300	226	265,9
60,3	894	1028,6	57	0,35	313	223	269,5

Меньший шар налетает на больший.  
Подвес - нитка.

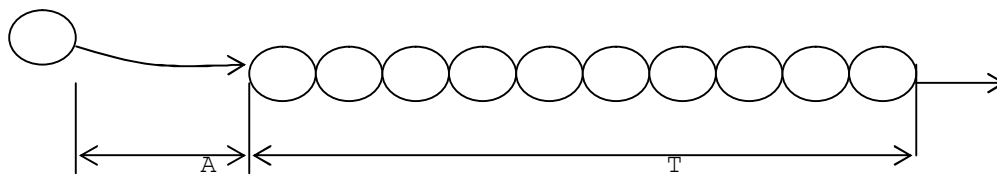
Вес шара мишени М, г.	Вес налетающего шара М, г.	Период колебания Т, мс.	Начальное отклонение А, мм	Скорость налета V, м/с	Время контакта t, мкс	Скорость импульса $V = \Delta/t$
44,82	44,82	922	40	0,27	88	252,3
44,82	44,82	922	80	0,55	75,5	294
44,82	16,35	908	40	0,27	73	216,4
44,82	16,35	908	55	0,38	68	232,3
44,82	16,35	908	80	0,55	62,3	253,6
44,82	7,57	904	40	0,27	57,5	
44,82	7,57	904	55	0,38	53,5	118
44,82	7,57	904	80	0,55	50	244
286,4	286,4	961,2	40	0,26	162	254,3
286,4	286,4	961,2	80	0,52	141	292,2
286,4	44,82	918	40	0,27	103	215,5
286,4	44,82	918	55	0,37	95	233,7
286,4	44,82	918	80	0,55	89	249,4
286,4	16,35	914	40	0,27	77	205,2
286,4	16,35	914	55	0,38	72	219,4
286,4	16,35	914	80	0,55	66	239,4
894	894	990	40	0,25	240	250,4
894	894	990	80	0,5	206	291,7
894	286,4	992	40	0,25	187	220,3
894	286,4	992	57	0,36	174	236,8
894	286,4	992	80	0,5	161	256
894	44,82	922	40	0,27	106	209,4
894	44,82	922	55	0,37	98	226,5
894	44,82	922	80	0,55	91	244

#### ЦЕПОЧКА СТАЛЬНЫХ ШАРОВ

Диаметр шаров 16мм.  
Вес шара 16,76г.

Цепочка из 10 шаров.  
Налетающий шар - одиннадцатый.

В этом и во всех остальных опытах измеряется интервал времени между касанием налетающего шара и отрывом последнего - отлетающего шара.





В опытах устанавливается различная амплитуда  $A$  налетающего шара и измеряется время прохождения импульса  $T$ . Интервал времени прохождения импульса записывается каждый раз в серии из 10-15 повторяющихся опытов при ударе шара справа налево, и каждый раз в серии из 10-15 повторяющихся опытов при ударе шара слева направо.

10 шаров:

Амплитуда, мм	Интервал времени прохождения импульса, мкс
5	270
10	160
20	130

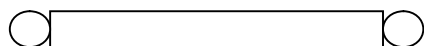
Меняется длина цепочки шаров от 8 до 3. Различное количество шаров:

Число шаров	Интервал времени прохождения импульса, мкс
8	92
7	85
6	82
5	78
4	77
3	75

Серия опытов с цепочкой из трех шаров. 3 шара:

Амплитуда, мм	Интервал времени прохождения импульса, мкс
5	85
20	75
30	67

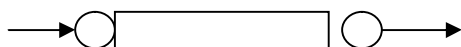
Прохождение импульса вдоль круглого металлического (сталь 45) стержня. Измерения интервалов времени в микросекундах ( $10^{-6}$ с). Шары  $\varnothing = 15,8$ мм,  $m = 16,35$ г. Начальная амплитуда 50мм.



Стержень длиной 160мм, диаметром 8мм  
Среднее значение времени прохождения импульса = 88мкс.  
Скорость импульса 1818 м/с.

Стальные стержни диаметром 8мм различной длины:

L, мм	t, мкс
135.8	94
185.8	105
235.8	107.2
31.6	36.6



Стальной стержень с двумя стальными шарами.  
Стальной стержень  $\varnothing = 10$ мм. Шары:  $\varnothing = 22,2$ мм.,  $M = 44,8$ г.  
Подвес стержня: медная проволока  $\varnothing = 0,1$ мм. Подвес шаров: нить. Период колебаний шара: 900мс.

Начальная амплитуда: 55мм. Скорость налета: 0,35м/с Импульс налета: 15,7м.г/с

L, мм	t, мкс
33	99
44.5	101
53	100
58.5	107
61.5	106
65	110
74	113
82.5	115
90	122
131	145

Уравнение, отвечающее этой зависимости  $t = 78 + 0,4889 \cdot L$

Очевидно, что 78мкс есть время взаимодействия двух стальных шаров без стержня, т.е. когда  $L = 0$ . Это значение (78) получается, если из экспериментального значения вычесть приборную задержку  $84-6 = 78$ .

Тогда уравнение для импульса в стальном стержне в чистом виде

$$t = 0,4889 \cdot L$$

А скорость импульса в стержне

$$V = \frac{L}{t} = \frac{1000}{0,4889} = 2045 \text{ м/с}$$



Латунный стержень с двумя стальными шарами.

Латунный стержень -  $\varnothing = 12 \text{ мм}$ . Пятно контакта: 1мм.

Шары:  $\varnothing = 15,8 \text{ мм}$ .,  $M = 16,35 \text{ г}$ .

Подвес стержня: медная проволока  $\varnothing = 0,1 \text{ мм}$ . Подвес шаров: нить.

Период колебаний шара: 920мс.

Начальная амплитуда: 55мм. Скорость налета: 0,35м/с Импульс налета: 5,7м.г/с

L, мм	t, мкс
33	99
44.5	101
53	100
58.5	107
61.5	106
65	110
74	113
82.5	115
90	122
131	145

Уравнение, отвечающее этой зависимости  $t = 78 + 0,4889 \cdot L$

Очевидно, что 78мкс есть время взаимодействия двух стальных шаров без стержня, т.е. когда  $L = 0$ . Это значение (78) получается, если из экспериментального значения вычесть приборную задержку  $84-6 = 78$ .

Тогда уравнение для импульса в стальном стержне в чистом виде

$$t = 0,4889 \cdot L$$

А скорость импульса в стержне

$$V = \frac{L}{t} = \frac{1000}{0,4889} = 2045 \text{ м/с}$$

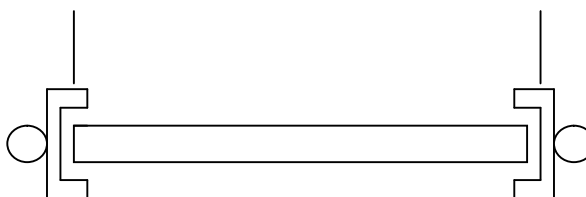
Стержни из различных металлов диаметром 8мм и длиной 95мм:

Шары  $\varnothing = 15,8\text{мм}$ ,  $m = 16,35\text{г}$ . Начальная амплитуда 50мм.

На торцы стержней надеты стальные стаканы для соблюдения одинаковых условий при ударе и отскоке.

Стержень со стальными стаканами.

Стержень подвешен за торцевые стаканы.



Металл	Вес, г	Время контакта, мкс.	Повторный. Время контакта, мкс.
Mg	7,8	62,6	113
Al <sub>1</sub>	13	114	128,6
Al <sub>2</sub>	12	112	115
Al <sub>3</sub>	13	124,5	107,4
Zn	35	134,3	155,3
Fe	36	130	133,4
Cu	43	118	172,8
Sn (припой)	44,3	155	149,3

В эксперименте по столкновению шаров можно подсчитать скорость налетающего шара, а, стало быть, и время, требующееся налетающему шару, чтобы пролететь расстояние, равное своему диаметру.

Налетающий шар представляет вертикальный маятник. Скорость груза маятника в нижней точке, т.е. при  $t = \pi/4$ , зависит от начальной амплитуды (A):

$$V = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) = A \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \frac{T}{4}\right) = A \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

где T - период колебаний маятника.

Тогда время, за которое шар пролетит свой диаметр (D):

$$t = \frac{D}{V} = \frac{D \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot A}$$

Пусть начальная амплитуда равна 54мм или 0,054м.

Пусть период колебаний маятника равен одной секунде.

$$t = 2,947 \cdot D \quad (\text{мм}, \text{мс})$$

Тогда стальной шар диаметром 16мм пролетит свой диаметр за 47мс., шар диаметром 22мм за 65мс, а шар диаметром 41мм за 121мс.

Для сравнения выберем из экспериментальной таблицы время прохождения импульса через шар для амплитуды 54мм и периода (0,97 - 1)секунд:

для диаметра 16мм - 50мкс,

для диаметра 22мм - 84мкс,

для диаметра 41мм - 146мкс.

Как видно, скорость движения импульса на три порядка больше скорости движения тела.

В итоге получается интересный вывод: нечто, что мы называем импульсом или количеством движения, начинает свое движение или перетекание от

начала налетающего шара и заканчивает в конце последнего - отлетающего шара. Если учесть, что до столкновения весь этот импульс был сосредоточен в одном налетающем шаре, то вполне уместна аналогия с жидкостью: количество движения в виде количества жидкости в налетающем шаре вначале времени контакта начинает перетекать в следующий шар и затрачивает на это 84мкс. И пока все это количество жидкости, протекая по всей цепочке шаров, не перетечет в последний шар, он остается неподвижным.

Надо отметить, что эти цифры относятся только к конкретным начальным условиям: диаметр и масса шаров, скорость налета и длина подвеса.

Итак, мы пришли к важному выводу, высказанному еще Лейбницем: ЧТО ДВИЖЕТСЯ, ТО НЕ ДЕЙСТВУЕТ, ЧТО ДЕЙСТВУЕТ, ТО НЕ ДВИЖЕТСЯ.

В то время, пока движется шар, то самое нечто, которое мы называем количеством движения, не движется. Как только движущееся тело соприкасается с неподвижным и замирает на 84мкс, в этот период времени движется (скорее - изменяется) то, что до этого не двигалось, то, что мы называем импульсом.

И в заключении приведу для неверующих некоторые доказательства.

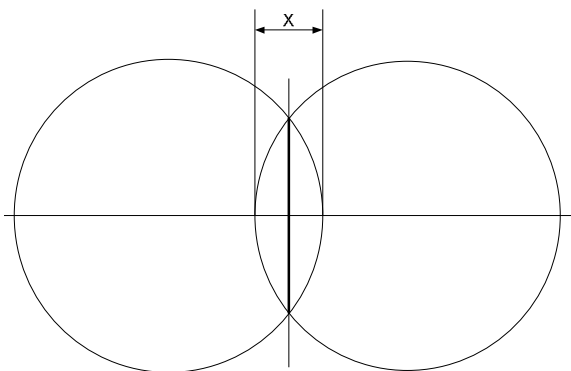
«Теория упругости» М 1965г

Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц

«Прочность пространственных элементов конструкций» М 1980г

В.Н. Ионов, П.М. Огибалов.

Рассматривается распределение напряжений деформации стальных шаров при их лобовом столкновении. Считается, что в точке взаимодействия происходит искривление сферы в виде плоской площадки. При этом ближнее распределение напряжений считается эллиптическим. По этому применяется теория распределения потенциала поля внутри равномерно заряженного эллипсоида.



$X$  - Величина линейного сближения шаров вследствие упругой деформации.

$R_1, R_2$  - радиусы шаров.

$m_1, m_2$  - массы шаров.

Стальной шар налетает со скоростью  $v_1$  на такой же стальной шар. При этом налетающий шар имеет кинетическую энергию  $W_1$ . В момент столкновения происходит преобразование этой энергии в потенциальную энергию упругой деформации материала обоих шаров.

За время контакта шаров  $t_k$  кинетическая энергия налетающего шара «перетекает» в кинетическую энергию второго шара за вычетом энергии упругого сжатия при столкновении.

$$W_{K1} = W_{K2} + W_{II}$$

$$W_K = \frac{m \cdot v^2}{2}. \text{ Упрощая задачу, выберем } m_1 = m_2 \text{ и } R_1 = R_2$$

$$\text{И с учетом этого имеем } \frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} + W_{II}.$$

Далее находится  $W_{II}$  и подставляется в эту формулу. В итоге получают выражение для  $v_2$  и находят время, за которое второй шар после столкновения прошел расстояние  $R$ .

Потенциальная энергия сжатия находится из закона Гука:

$$F = k \cdot X^{3/2} \quad F = \frac{dW_{II}}{dX} \quad W_{II} = \int \frac{F}{dX}.$$

В этой задаче считается, что область соприкосновения в общем случае - эллипс и зависимость давления  $P(x, y) = F \cdot \varphi(x, y)$  с учетом заданной силы выглядит:

$$P(x, y) = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot b} \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$$

Где  $a$  и  $b$  - оси эллипса.

Т.к. рассматривается столкновение идеальных шаров, то область их соприкосновения - круг, так что  $a = b$ . Из этой формулы выражают  $X$ :

$$X = F^{2/3} \cdot \left[ D^2 \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right]^{1/3}, \quad \text{где } D = \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{1 - \delta_1^2}{E_1} + \frac{1 - \delta_2^2}{E_2} \right)$$

$\delta$  - коэффициент Пуассона,

$E$  - модуль растяжения,

$R_1, R_2$  - радиусы шаров.

Эта зависимость подставляется в формулу для потенциальной энергии:

$$W_{II} = \int \frac{F}{dX} \text{ и получают } W_{II} = X^{5/2} \cdot \frac{2}{5 \cdot D} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \text{ или } W_{II} = K \cdot X^{5/2}$$

$$\text{Где } K = \frac{2}{5 \cdot D} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}.$$

Полученное выражение для потенциальной энергии подставляют в формулу

$$\frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} + W_{II} \text{ и находят выражение для скорости второго шара:}$$

$$\frac{v_1^2}{2} - \frac{K}{m} \cdot X^{5/2} = \frac{v_2^2}{2}, \quad v_2 = \sqrt{v_1^2 - \frac{2 \cdot K \cdot X^{5/2}}{m}}.$$

И наконец выражают искомую зависимость для времени:

$$t = \int_0^X \frac{dX}{\sqrt{v_1^2 - \frac{2 \cdot K}{m} \cdot X^{5/2}}}$$

$$t = \left( \frac{m^2}{4 \cdot K^2 \cdot v_1} \right)^{1/5} \cdot \int_0^1 \frac{dX}{\sqrt{1 - X^{2/5}}}$$

Решая, получаем:

$$t = 1,47 \cdot \left( \frac{m^2}{4 \cdot K^2 \cdot v_1} \right)^{1/5} \quad \text{где} \quad K = \frac{2}{5 \cdot D} \cdot \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}, \quad D = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{1 - \delta^2}{E} \right)$$

при  $\delta_1 = \delta_2$  и  $E_1 = E_2$

Теперь подставим экспериментальные данные.

Из справочника для стали  $\delta = 0,28$  и  $E = 2,24 \cdot 10^{10}$  кгс/м<sup>2</sup>

Радиусы шаров  $0,01$  м, а вес каждого шара  $0,045$  кг.

Отсюда находим  $t = 5,4$  **мс**.