

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің 60 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары– 13: дәстүрлерді сақтай отырып, болашақты құру» атты Республикалық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 13: сохраняя традиции, создавая будущее», посвященная 60-летию Казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина. - 2017. - Т.1, Ч.6. - С.54-58

## ИЗМЕРЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ МЕТОДОМ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

*Калманова Д.М., Калкаманов Р.Б.*

Гравитационная постоянная, она же постоянная Ньютона, – одна из самых важных фундаментальных констант природы. Это та константа, которая входит в закон всемирного тяготения Ньютона. Она не зависит ни от свойств притягивающихся тел, ни от окружающих условий, а характеризует интенсивность самой силы гравитации [1]. Естественно, что такая фундаментальная характеристика нашего мира важна для физики, и она должна быть аккуратно измерена.

Для того, чтобы измерить гравитационную постоянную мы опирались на опыт Генри Кавендиша. Наш метод заключался в том, что мы находили гравитационную постоянную при помощи ускорения свободного падения. Предлагаемая конструкция состоит из трубы, в которой при помощи вакуумного насоса мы создаем достаточно сильное разрежение. Давление воздуха внутри трубы мы контролируем при помощи манометра (рис. 1).

В верхней части трубы между двух пластин закреплен шарик. Одна пластина (1) закреплена жестко, другая (2) имеет возможность поворачиваться на шарнире. Также в верхней части будет расположен электромагнит. Между подвижной пластиной и электромагнитом располагается мягкая пружина, закрепленная на сердечнике электромагнита. Один датчик секундомера срабатывает, когда электромагнит притягивает подвижную пластину. Расстояние между контактом датчика и подвижной пластиной регулируется с помощью винта. Мы отрегулировали расстояние, чтобы оно было минимальным. В нашем случае расстояние было 0,5 мм. Это нам было нужно, чтобы время срабатывания датчика было минимальным. При подаче тока на электромагнит он притягивает подвижную пластину к контакту, тем самым запуская секундомер (рис. 1).

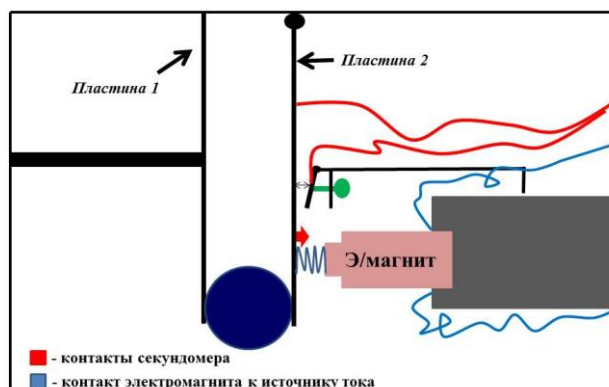


Рисунок 1 – Верхняя часть нашей конструкции

В нижней части трубы установлена платформа для остановки секундомера в момент падения шарика. Нижняя часть прибора представляет собой кнопку секундомера и установленную на ней пластиковую платформу, расположенную на четырех мягких пружинах, для распределения давления при падении шарика на платформу. После того, как шарик падает на платформу, секундомер останавливается (рис. 2).

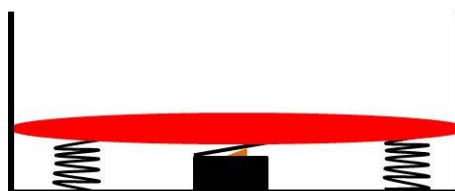


Рисунок 2 – Нижняя часть нашей конструкции

Так как шарик падает без начальной скорости, при помощи найденного нами времени по данной формуле мы можем вычислить ускорение, с которым падает тело [2]:

$$a = \frac{2 \cdot h}{t^2}$$

Так как на шарик в нашем опыте действует только сила тяжести, ускорение шарика совпадает с ускорением свободного падения  $a = g$ .

Если считать, что Земля – идеальный геоид с полярным радиусом  $R_p=6356.86$  км и экваториальным радиусом  $R_e=6378.2$  км, то радиус на широте  $\varphi$  находим по формуле:

$$R = \cos\varphi \cdot (R_e - R_p) + R_p$$

Костанай находится на высоте 156 метров над уровнем моря. Отсюда следует, что необходимый нам радиус Земли равен:

$$R_3 = R + 0.156$$

Зная массу Земли  $M_3 = 5,9736 \cdot 10^{24}$  кг и радиус на нужной нами широте, по формуле для нахождения ускорения свободного падения мы вычисляем искомую нами гравитационную постоянную [3]:

$$G = \frac{g \cdot R_3^2}{M_3}$$

Для создания прибора мы использовали трубу из прочной пластмассы.

Верхняя часть трубы состоит из электромагнита, прикрепленного к стенке трубы и двух закрепленных к крышке металлических пластин, на которых держится шарик. (рис 3)

Одна из пластин неподвижна, вторая прикреплена при помощи шарнира, что позволяет ей смещаться к электромагниту (рис. 3).



Рисунок 3 – Конструкция трубы из прочной пластмассы

На подвижной пластине закреплен первый датчик секундомера, а второй – на специальной пластине, которая регулируется при помощи винта. После того как электромагнит срабатывает он притягивает к себе подвижную пластину и замыкает ее с регулируемой пластиной секундомер запускается, а шарик начинает свое падения.

Для герметичности нашего оборудования провода мы воспользовались ФУМ лентой и герметиком. В соединениях данных труб есть резиновые уплотнители, которые также обеспечивают герметичность системы.

Нижняя часть прибора представляет собой кнопку секундомера и установленную на ней пластиковую платформу, расположенную на четырех достаточно жестких пружинах, для распределения давления при падении шарика на платформу. После того, как шарик падает на платформу, секундомер останавливается.

Для устойчивости нашей конструкции мы установили нижнюю часть на устойчивых ножках. Таким образом, мы сконструировали прибор для измерения времени падения шарика в трубе.

Для получения как можно более точных результатов нам нужно уменьшить сопротивление воздуха внутри трубы. Воздух мы откачиваем с помощью вакуумного насоса, давление внутри трубы измеряем с помощью манометра. Конечно, было бы идеально достичь вакуума, но добиться этого в школьных условиях невозможно. Мы постарались максимально выкачать воздух, и уменьшили давление в трубе по сравнению с атмосферным в 50 раз. Давление было равно примерно 2000 Па.

Наш опыт мы решили проводить в спортивном зале, так как спортзал позволял нам поместить трубу высотой пять метров. Как мы говорили ранее, для устойчивости конструкции, она была установлена на специальные ножки. Также для устойчивости и строго вертикальном расположении трубы относительно Земли мы при помощи хомута и растяжек на высоте три метра закрепили в трех местах. После этого мы проверили перпендикулярность уровнем и принялись проводить опыт.

На высоте 5 метров от нижней точки шарика до нижней платформы мы провели 11 опытов. Также мы учли время срабатывания нижней кнопки. Оно составило 0.01 с. Далее от полученных результатов во время проведения опыта мы отняли 0.01 с., и занесли данные в таблицу.

Таблица 1

$t_1, c$	$t_2, c$	$t_3, c$	$t_4, c$	$t_5, c$	$t_6, c$	$t_7, c$	$t_8, c$	$t_9, c$	$t_{10}, c$	$t_{11}, c$
1.013	1.017	1.011	1.019	1.01	0.991	0.999	1.021	1.023	1.024	1.01

Так как тело падает в вакууме без начальной скорости, мы нашли ускорения отдельно для каждого опыта по формуле:

$$a = \frac{2 \cdot h}{t^2};$$

Таблица 2

$a_1, \frac{M}{c^2}$	$a_2, \frac{M}{c^2}$	$a_3, \frac{M}{c^2}$	$a_4, \frac{M}{c^2}$	$a_5, \frac{M}{c^2}$	$a_6, \frac{M}{c^2}$	$a_7, \frac{M}{c^2}$	$a_8, \frac{M}{c^2}$	$a_9, \frac{M}{c^2}$	$a_{10}, \frac{M}{c^2}$	$a_{11}, \frac{M}{c^2}$
9.745	9.668	9.784	9.631	9.803	10.182	10.02	9.596	9.555	9.536	9.803

В трубе на шарик действует только сила тяжести, следовательно, ускорение с которым падает тело это и есть ускорение свободного падения:

$$a = g.$$

Далее нам необходимо найти радиус Земли на широте Костаная. Мы можем это сделать по вышесказанным формулам:  $R_3 = 6369.82 \text{ км}$ .

Затем, чтобы найти значение гравитационной постоянной, мы воспользовались формулой:

$$G = \frac{g \cdot R_3^2}{M_3};$$

Таблица 3

$G_1, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_2, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_3, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_4, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_5, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$
$6.619 \cdot 10^{-11}$	$6.567 \cdot 10^{-11}$	$6.645 \cdot 10^{-11}$	$6.542 \cdot 10^{-11}$	$6.659 \cdot 10^{-11}$

$G_6, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_7, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_8, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_9, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_{10}, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_{11}, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$
$6.916 \cdot 10^{-11}$	$6.806 \cdot 10^{-11}$	$6.518 \cdot 10^{-11}$	$6.49 \cdot 10^{-11}$	$6.477 \cdot 10^{-11}$	$6.659 \cdot 10^{-11}$

Произвели необходимые измерения и данные занесли в таблицы:

Таблица 4

$t_1, c$	$t_2, c$	$t_3, c$	$t_4, c$	$t_5, c$	$t_6, c$	$t_7, c$	$t_8, c$	$t_9, c$	$t_{10}, c$	$t_{11}, c$
1.27	1.267	1.261	1.278	1.251	1.128	1.278	1.276	1.281	1.276	1.277

Таблица 5

$a_1, \frac{M}{c^2}$	$a_2, \frac{M}{c^2}$	$a_3, \frac{M}{c^2}$	$a_4, \frac{M}{c^2}$	$a_5, \frac{M}{c^2}$	$a_6, \frac{M}{c^2}$	$a_7, \frac{M}{c^2}$	$a_8, \frac{M}{c^2}$	$a_9, \frac{M}{c^2}$	$a_{10}, \frac{M}{c^2}$	$a_{11}, \frac{M}{c^2}$
9.92	9.969	10.063	9.796	10.224	9.766	9.796	9.827	9.75	9.827	9.812

Таблица 6

$G_1, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_2, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_3, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_4, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_5, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$
$6.738 \cdot 10^{-11}$	$6.771 \cdot 10^{-11}$	$6.835 \cdot 10^{-11}$	$6.654 \cdot 10^{-11}$	$6.944 \cdot 10^{-11}$

$G_6, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_7, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_8, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_9, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_{10}, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$	$G_{11}, \frac{H \cdot M^2}{\kappa^2}$
$6.633 \cdot 10^{-11}$	$6.654 \cdot 10^{-11}$	$6.675 \cdot 10^{-11}$	$6.622 \cdot 10^{-11}$	$6.675 \cdot 10^{-11}$	$6.665 \cdot 10^{-11}$

Наша работа посвящена созданию прибора для измерения гравитационной постоянной при помощи простых средств. На основе нашей гипотезы были проведены опыты, собран теоретический материал, что в совокупности доказало правильность гипотезы. Был изготовлен прибор для измерения гравитационной постоянной.

Погрешность измерений в наших экспериментах составляет 1.17%-1.35%. Мы понимаем, что это достаточно большая погрешность. Наш лозунг «Сделать науку доступной». Стоимость интерферометра по сравнению с нашим прибором очень велика. Но если мы в нашей работе сумеем создать большее разрежение, точность измерений сразу повысится. Мы считаем, что наша методика позволяет измерять значение гравитационной постоянной с высокой точностью.

### Список литературы

1. Элементарный учебник физики 1 том. Г. С. Ландсберг
2. Физика в природе. А. К. Каймулдина
3. Cai, Y., Wang, Y.-T., Piao, Y.-S. Chirality oscillation of primordial gravitational waves during inflation. Journal of High Energy Physics. 2017(3),24