

Реакция на статью Сухарева И. Г.  
«ЭКСПЕРИМЕНТ КАВЕНДИША В УСЛОВИЯХ  
ГРАВИТАЦИОННОГО СЕРФИНГА»

С.Б. Каравашкин

e-mail: [sbkaravashkin@gmail.com](mailto:sbkaravashkin@gmail.com), [selflab@mail.ru](mailto:selflab@mail.ru)

[Труды СЕЛФ](#)

блог «[Classical Science](#)»

[Оригинал](#)

Целью данной статьи является демонстрация на конкретном примере, к чему приводит неправильный учёт факторов физического процесса, поскольку приёмы, используемые Сухаревым далеко не единичны.

Критикуя в указанной работе [1] опыт Кавендиша Сухарев исходил из схемы процесса, представленной на рис. 1.

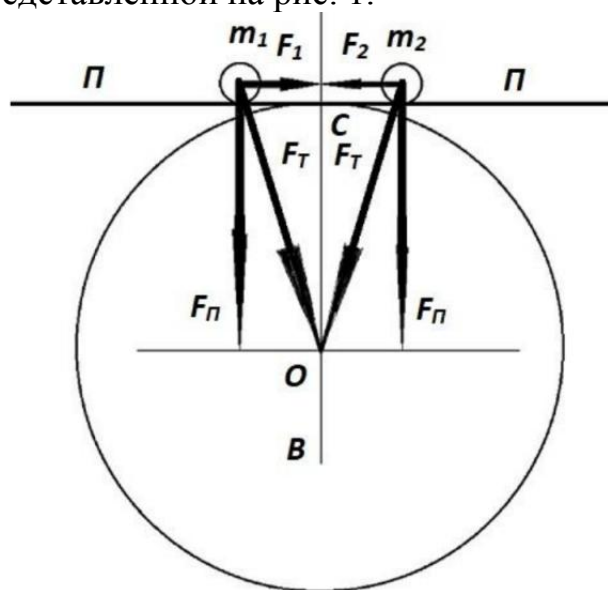


Рис. 1. «Иллюстрация эксперимента по определению численного значения гравитационной постоянной» [1]

В соответствии с рис. 1, Сухарев рассматривает «одно обстоятельство, связанное с опытами по обнаружению взаимного притяжения, которое можно назвать критически неучтенным, в том числе и в знаменитом опыте Кавендиша. Рассмотрим рис.1, иллюстрирующий постановку эксперимента по определению численного значения гравитационной постоянной в земных лабораторных условиях. На горизонтальной плоскости  $\Pi$ - $\Pi$  установлены 2 тела единичной массы  $m_1=m_2=1\text{кг}$  на расстоянии 1м друг от друга симметрично относительно вертикали  $\mathbf{B}$ - $\mathbf{B}$  к плоскости  $\Pi$ - $\Pi$ , восстановленной в точке касания плоскости с условной поверхностью сферы Земли (точка  $\mathbf{C}$ ). Сила тяжести  $F_T$ , действующая каждое из тел, направлена к центру масс (точке фокуса) и она может быть представлена векторной суммой силы, перпендикулярной плоскости  $F_{\Pi}$  и тангенциальной силы  $F_1$  ( $F_2$ ), направленной к точке касания плоскости с поверхностью сферы Земли. При этом видно, что силы  $F_1$  и  $F_2$  равны по модулю и направлены навстречу

друг другу. Не составляет большого труда оценить их значение, зная величину ускорения свободного падения у поверхности Земли  $g=9,80665 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$  и радиус Земли  $R= 6,371\cdot 10^6 \text{ м}$

$$(1) \quad F_1 = F_2 = 1\text{кг}\cdot 9,80665 \text{ (м}\cdot\text{с}^{-2})\cdot 0,5(\text{м})/6,371\cdot 10^6(\text{м})=0,77\cdot 10^{-6} \text{ Н}\dots$$

В результате расчета (определяющего взаимодействие тех же масс по Ньютону вне поля Земли – авт.) получено значение сил  $F_1$  и  $F_2$  «притяжения» двух единичных масс друг к другу, превышающее численное значение гравитационной постоянной  $G$  более чем в  $10^4$  раз. Получается, что ньютоновская сила притяжения  $F$  обязанная быть численно равной  $G$ , ничтожно мала в сравнении с силами  $F_1$  и  $F_2$ , реально возникающими на плоскости лабораторного эксперимента» [1, с. 10-11]

В принципе, правильное замечание автора исследования. В центральном поле значительной массы, сила взаимодействия между телами может оказаться меньше тангенциальной составляющей, направленной навстречу телам.

На основе сделанного сравнения, Сухарев сделал расчёт схемы Кавендиша и пришёл к выводу, что: «эксперимент Кавендиша, много раз повторенный и подтвержденный, не может служить доказательством факта взаимного притяжения масс. Более верным, или даже единственно возможным, представляется утверждение, что эксперимент Кавендиша подтвердил возможность регистрации действия тангенциальных составляющих сил тяжести для тел, находящихся на идеальной плоской поверхности» [1, с. 20]

В принципе, если выявлена новая сила, которая, действительно, может существенно изменить численное значение гравитационной постоянной, то нужно же скрупулёзно и моделировать, а не просто считать значение тангенциальной силы в зависимости от расстояния между массами. Тем более, как показано в [2], график имеет вид, представленный на рис. 2.

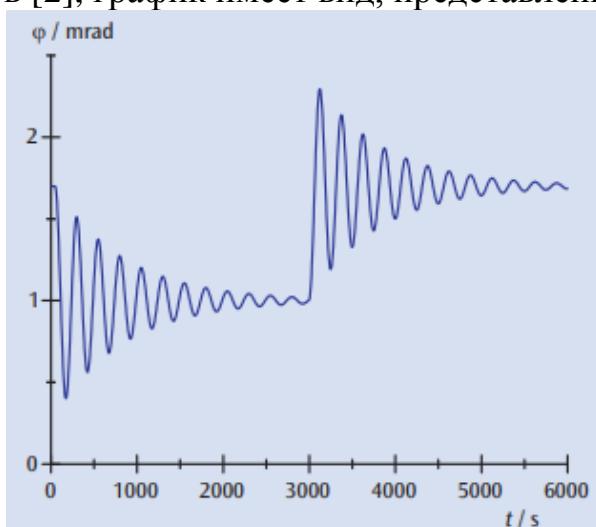


Рис. 2. «Зависимость угла отклонения крутильного маятника от времени, когда положение измерения двух больших свинцовых шариков изменяется дважды» [2]

Из представленной зависимости мы видим, что при изменении положения большей массы, малая масса совершает затухающие колебания прежде чем установится в неподвижное положение, а значит, при расчёте нужно учитывать динамику процесса, которая возникает вследствие упругости самой вольфрамовой нити, на которой подвешено коромысло с малой массой, ведь схема, которую приводит сам Сухарев, имеет вид, показанный на рис. 3.

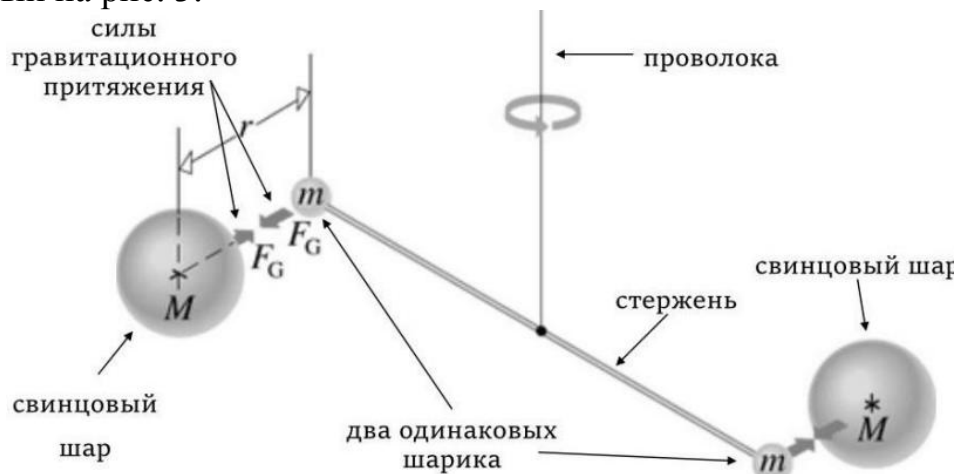


Рис.3. «Схема эксперимента Г. Кавендиша» [1]

«Основным элементом крутильных весов Кавендиша является чувствительный крутильный маятник, к которому прикреплены два маленьких свинцовых шарика. Два более крупных свинцовых шарика помещаются рядом с маленькими шариками, чтобы притягивать их. Таким образом, положение больших шариков определяет положение равновесия крутильного маятника.

Если два больших шарика переместить в другое положение, симметричное первому относительно двух маленьких шариков, крутильный маятник займет новое положение равновесия спустя короткое время, необходимое для успокоения колебаний (рис. 4).

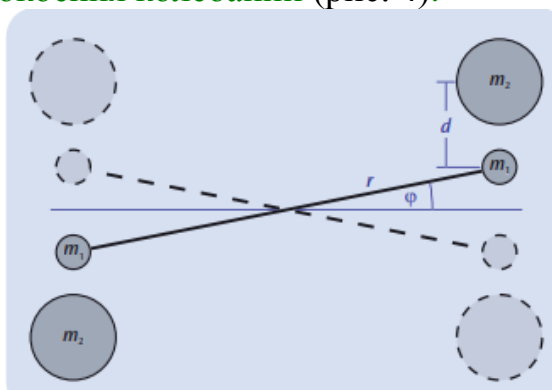


Рис. 4. «Схема установки для проведения измерений с использованием крутильных весов Кавендиша» [2]

Измерив размеры установки в обоих положениях, можно определить гравитационную постоянную. Решающим фактором здесь является

равновесие между силой гравитационного притяжения и противодействующим моментом маятника» [2].

Как мы видим, несмотря на то, что измерения производились после успокоения системы, сам процесс носил динамический характер, а значит и расчёт нужно производить с учётом динамики процесса.

Чтобы это продемонстрировать рассмотрим полностью аналогичную схему, представленную на рис. 5.

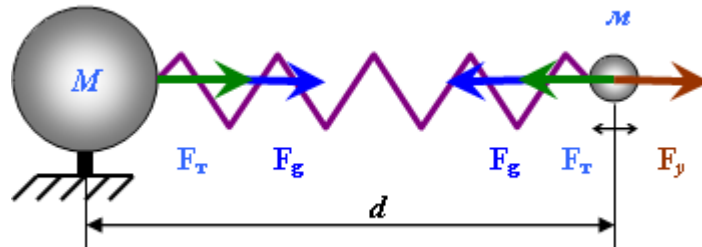


Рис. 5. Схема для расчёта упругих колебаний малой массы  $m$  под воздействием упругости пружины, действующей с силой  $F_y$ , гравитационной силы взаимодействия между шарами  $F_g$  и тангенциальной силы Сухарева  $F_T$ .

На представленной схеме упругая связь является эквивалентом закручивания вольфрамовой нити в эксперименте, что просто упрощает моделирование. Также мы должны учесть затухающий характер колебаний после перемещения большей массы из одного положения в другое.

С учётом того, что  $F_T$  является постоянной при пренебрежимо малом расстоянии между шарами  $d$  по сравнению с радиусом Земли, а также зависимости  $F_g(d)$ , моделирующее уравнение имеет вид:

$$(2) \quad m \frac{d^2 \Delta d}{dt^2} - \sigma \frac{d \Delta d}{dt} + k \Delta d - \gamma \frac{mM}{d^2} - F_T = 0,$$

где  $\Delta d = d - d_0$  – смещение малой массы во времени;  $d_0$  – расстояние между массами в невозмущённом состоянии;  $k$  – коэффициент упругости связи;  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $\sigma$  – сопротивление в системе.

Тангенциальную силу представим по Сухареву:

$$(3) \quad F_T = \frac{mgd}{R} = \frac{mg(d_0 + \Delta d)}{R},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $R$  – радиус Земли.

С учётом (3) и при малых колебаниях коромысла малой массы можем записать,:

$$(4) \quad m \frac{d^2 \Delta d}{dt^2} - \sigma \frac{d \Delta d}{dt} + k \Delta d - \gamma \frac{mM}{(d_0 + \Delta d)^2} - \frac{mg(d_0 + \Delta d)}{R} \simeq \\ \simeq \left( m \frac{d^2 \Delta d}{dt^2} - \sigma \frac{d \Delta d}{dt} + \left( k + \gamma \frac{2mM}{d_0^3} - \gamma \frac{mg}{R} \right) \Delta d \right) - \left( \frac{mgd_0}{R} + \gamma \frac{mM}{d_0^2} \right) = 0,$$

Если период собственных колебаний коромысла примем за  $\omega_0$ , то решением уравнения (4) придёт выражение:

$$(5) \quad \Delta d = d - d_0 = A \exp i(\omega t + \varphi) + (d_1 - d_0).$$

Подставляя (5) в (4) получим

$$(6) \quad \left[ -m\omega_0^2 - i\sigma\omega_0 + \left( k + \gamma \left( \frac{2mM}{d_0^3} - \frac{mg}{R} \right) \right) \right] A \exp i\omega_0 t \\ + \left[ \left( k + \gamma \left( \frac{2mM}{d_0^3} - \frac{mg}{R} \right) \right) (d_1 - d_0) - \left( \frac{mgd_0}{R} + \gamma \frac{mM}{d_0^2} \right) \right] = 0 ,$$

В выражении (6) первое слагаемое в квадратных скобках определяет затухающие колебания, а второе – постоянную составляющую после затухания периодических колебаний. Обе составляющие должны обращаться в ноль независимо друг от друга. Поскольку нас интересует именно постоянная составляющая, то

$$(7) \quad \left[ \left( k + \gamma \left( \frac{2mM}{d_0^3} - \frac{mg}{R} \right) \right) (d_1 - d_0) - \left( \frac{mgd_0}{R} + \gamma \frac{mM}{d_0^2} \right) \right] = 0$$

или

$$(8) \quad d_1 = d_0 + \frac{\left( \frac{mgd_0}{R} + \gamma \frac{mM}{d_0^2} \right)}{\left( k + \gamma \left( \frac{2mM}{d_0^3} - \frac{mg}{R} \right) \right)} ,$$

Из (7) мы видим, что установившееся положение шаров может быть как больше, так и меньше в зависимости от соотношения между тангенциальной силой и силой взаимодействия между шарами. Первая из них линейно уменьшается с уменьшением  $d_0$ , а вторая возрастает квадратично. При этом, при превалировании второй силы дополнительное уменьшение будет усиливаться изменением знаменателя.

Об этих же свидетельствует и более точный расчёт схемы Кавендиша, приведенный в [2].

Также мы видим и зависимость от упругости нити. Чем больше упругость, тем меньше будет отличаться  $d_1$  от  $d_0$ . Но интересно, что хотя сами силы направлены в схеме в одном направлении, результирующая позиция шаров будет определяться разницей этих сил.

В любом случае, Сухарев, безусловно, прав. Тангенциальная сила сравнима с силой взаимодействия между шарами и её присутствие существенно может изменить и регистрируемое значение гравитационной постоянной, и, как следствие, наши оценки массы планет. К этому добавляется и необходимость учёта упругости нити подвеса коромысла, а также знание величины  $d_0$ . Последнее в данной схеме осуществить достаточно затруднительно, а без этого практически невозможно точно определить значение гравитационной постоянной.

Скорее всего, для точного измерения вообще нужна иная схема, в которой параметры будут более точно определяемы. В качестве одной из таких схем может быть приведенная на рис. 6.

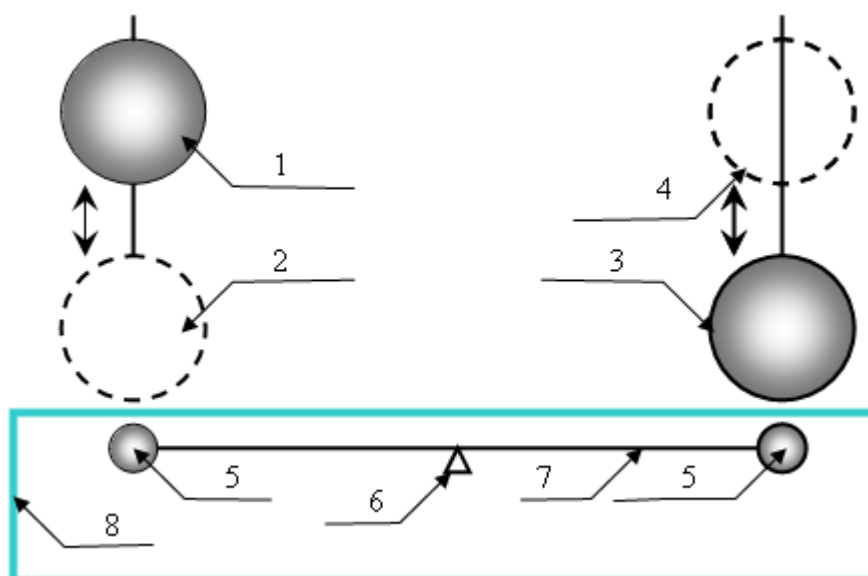


Рис. 6. Схема для измерения гравитационной постоянной без паразитного эффекта тангенциальной силы Сухарева. На схеме 1,3 – мгновенное положение больших масс; 2,4 – противоположное мгновенное положение больших масс; 5 – малые (измерительные) массы; 6 – призма; 7 – коромысло; 8 – защитный корпус.

Принцип действия заключается в противофазном влиянии колеблющихся массивных сфер 1,3 на уравновешенные весы с малыми массами 5, расположенными в защитном корпусе 8 для предотвращения паразитного влияния потоков воздуха, создающимися колеблющимися массами. Приводить массы в колебания удобно электромагнитами с магнитными стержнями, на которые подается переменный синусоидальный ток.

Зная величину масс и момент инерции весов можно достаточно точно определить амплитуду вынужденных колебаний малых масс, а на основе точных аналитических решений для данной схемы – действительное значение гравитационной постоянной. Поскольку же все массы колеблются вертикально, паразитное влияние тангенциальной силы Сухарева будет отсутствовать.

В заключение важно отметить, что выявление паразитной силы Сухарева, действительно, способно существенно изменить расчёты астрономических масс, а вслед за этим и наши представления о процессах в Солнечной системе. При этом, регистрируемое ускорение свободного падения не изменится. Изменяются расчёты причин держания планет Солнцем, как и расчёты их траекторий, что существенно повлияет и на оценки структуры планет и Солнца, как и других астрономических объектов.

Также здесь я не касался упоминаемого автором вопроса серфинга и «многоволновых электромагнитных интерференций, управляющих формированием, эволюцией и движением небесных тел». Это вопрос отдельный и физически напрямую не связанный с опытом Кавендиша.

Единственно могу заметить, что нахождением тангенциальной силы Сухарев нисколько не подверг критике сам закон всемирного тяготения Ньютона. Это хотя бы видно по тому, что автор им пользовался в своих расчётах при разложении векторов гравитационного взаимодействия. А гравитационная постоянная? Очень важное, принципиальное, но только уточнение, не поддающееся сомнению сам закон.

**Литература:**

1. Сухарев И.Г. [Эксперимент Кавендиша в условиях гравитационного серфинга](#) – //Кулички
2. [Гравитационная постоянная](#) – Механика. Методика измерений