

# Реферат

## **По теме:**

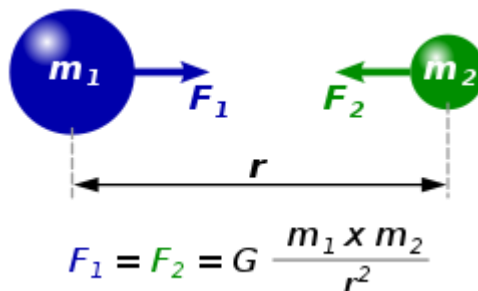
Опыты Г. Кавендиша по определению значения гравитационной постоянной.

Студент 1 курса 151 группы  
Направления 09.03.04 Программная инженерия  
Факультета КНиИТ  
Соловьев Артем

## 1. Введение

Теория взаимного притяжения двух материальных, обладающих массой была сформулирована Исааком Ньютоном еще в 1666 г. Формула получила статус закона и вошла во все учебники и справочники по физике под именем “Закон всемирного тяготения”.

**Формулировка закона.** Каждые две материальные частицы притягивают друг друга с силой  $F$ , прямо пропорциональной их массам  $m_1$  и  $m_2$  и обратно пропорциональной квадрату расстояния  $r$  между ними[1]:



$G$  — Гравитационная постоянная или иначе — постоянная Ньютона — одна из основных констант, используемых в астрофизике. Фундаментальная физическая постоянная определяет силу гравитационного взаимодействия. В СИ её значение примерно равно:

$$G = (6,673 \pm 0,003) \cdot 10^{-11} \cdot \text{н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$$

Большинство фундаментальных констант известны сегодня с чрезвычайно высокой точностью. Так, масса электрона измерена с точностью  $10^{-7}$  (то есть сотысячная доля процента), а постоянная тонкой структуры  $\alpha$ , характеризующая силу электромагнитного взаимодействия, — с точностью  $7 \times 10^{-10}$ . В свете этого может показаться удивительным, что значение гравитационной постоянной, которая входит в закон всемирного тяготения, известно с точностью хуже, чем  $10^{-4}$ , то есть одна сотая доля процента.

Одной из проблем оказалась гравитационная постоянная. Её значение слишком мало для точного измерения. “Два объекта массой в один килограмм на расстоянии одного метра притягиваются друг к другу с силой, равной весу нескольких человеческих клеток” — говорит физик из Университета Вашингтона Дженс Гундлак.

Такое положение вещей отражает объективные трудности гравитационных экспериментов. Если пытаться определить  $G$  из движения планет и спутников, то необходимо с высокой точностью знать массы планет, а они-то как раз известны плохо. Если же поставить механический эксперимент в лаборатории, например измерить силу притяжения двух тел с точно известной массой, то такое измерение будет иметь большие погрешности из-за чрезвычайной слабости гравитационного взаимодействия.

Измерение таких малых сил на килограммные объекты с точностью до 4-5 знаков не легко. Существует множество факторов, которые оказывают значительное влияние на гравитацию и должны быть учтены.

Однако, до недавних пор, способа лучше у ученых-физиков не было. И для разбора темы новых способов измерения гравитационной постоянной, необходимо исследовать, как измеряли данную величину в прошлом.

## 2. Основная часть

### 2.1. Предыстория

В основном силы тяготения определяют характер движения небесных тел в космическом пространстве. Именно при изучении движения планет и их спутников был открыт Закон тяготения Ньютона и впоследствии строго обоснован.

В начале 17 в. И. Кеплером были установлены эмпирическим путём основные закономерности движения планет (Кеплера законы). Исходя из них, современники Ньютона (французский астроном И. Бульо, итальянский физик Дж. Борелли, английский физик Р. Гук) высказывали соображения, что движение планет может быть объяснено действием силы, которая притягивает каждую планету к Солнцу и которая убывает пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Однако только Ньютон в «Математических началах натуральной философии» (1687) впервые это строго доказал, опираясь на свои первые два закона механики и на созданные им новые математические методы, составившие основу дифференциального и интегрального исчисления.



**Исаак Ньютон**

Ньютон доказал, что движение каждой планеты должно подчиняться первым двум законам Кеплера именно в том случае, если они движутся под действием силы тяготения Солнца в соответствии с формулой

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Далее Ньютон показал, что движение Луны может быть приближённо объяснено с помощью аналогичного силового поля Земли и что сила тяжести на Земле есть результат воздействия этого же силового поля на материальные тела вблизи поверхности Земли. На основании 3-го закона механики Ньютон заключил, что притяжение есть взаимное свойство, и пришёл к формулировке своего закона тяготения для любых материальных частиц. Выведенный по эмпирическим данным, на основании результатов наблюдений, с неизбежностью приближённых, Закон тяготения Ньютона представлял собой вначале рабочую гипотезу. В дальнейшем потребовалась колоссальная работа в течение более чем двухсот лет для строгого обоснования этого закона.

Воспользовавшись вторым законом Ньютона можно вывести  $G$ :

$$G = \frac{gR_3^2}{M_3}$$

Где  $M_3$  и  $R_3$  — масса и радиус Земли, соответственно, а  $g$  — ускорение свободного падения.

Почему тогда Ньютон не высчитал значение постоянной? Ускорение свободного падения было известно, а Радиус Земли посчитан еще в Древней Греции. Однако масса Земли не была известна. И опыт по измерению гравитационной постоянной будет проведен через 111 лет после написания “Математических начал” Ньютона, при помощи опыта по взаимодействию шаров большой массы в 1798 г. Английским ученым Генри Кавендишем.



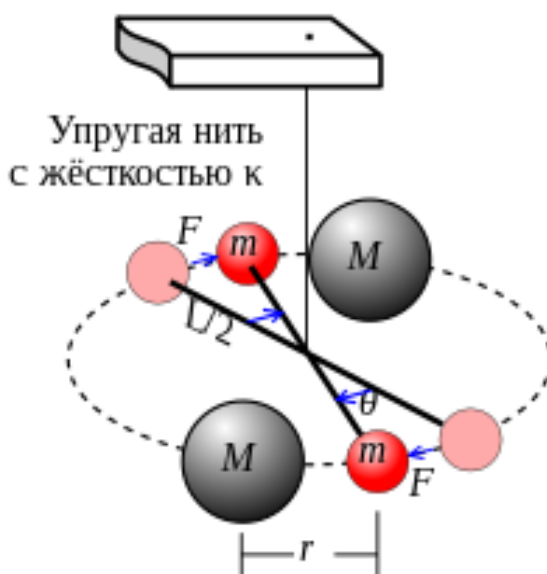
*H. Cavendish*

Генри Кавендиш

## 2.2. Эксперимент Кавендиша.

Следствием нахождения гравитационной постоянной можно было бы найти плотность Земли. Именно её искал Кавендиш, так как её значение позволило бы не только найти массу Земли, лучше понять состав планеты, но и найти массы многих других тел Солнечной системы.

Для нахождения гравитационной постоянной  $G$  использовались Крутильные весы Кавендиша:



**Упрощенная схема крутильных весов**

Крутильные весы – чувствительный физический прибор для измерения малых сил (малых моментов сил), были изобретены Ш. Кулоном в 1784. Крутильные весы простейшей конструкции состоят из вертикальной нити, на которой подвешен лёгкий уравновешенный рычаг. Измеряемые силы действуют на концы рычага и поворачивают его в горизонтальной плоскости до тех пор, пока не окажутся уравновешенными силами упругости закрученной нити. По углу поворота рычага можно судить о величине крутящего момента действующих сил.

Несмотря на то, что прибор был изобретен Кулоном для изучения точечных зарядов, Кавендишу прибор достался от Джона Мичелла, который также спроектировал и построил крутильные весы, но специально для расчета средней плотности Земли. Однако Мичелл умер до того, как успел провести эксперимент. После его смерти прибор перешел к преподобному Френсису Джону Хайду Волластону, Джексоновскому профессору в Кембридже, который, не имея условий для проведения экспериментов с помощью этого прибора в таком виде, как ему хотелось, был настолько добр, что передал его Кавендишу.

Оригинальность схемы Мичелла— Кавендиша состояла в том, что средняя плотность Земли определялась в лабораторных условиях по наблюдениям взаимодействия сравнительно небольших масс. До этого все оценки средней плотности Земли базировались на измерениях отклонения отвеса от вертикали под действием расположенной поблизости горы.

Наиболее известным в конце XVIII в. был результат  $p = 4,71 \text{ г/с м } 3$ , полученный из наблюдений английского астронома Н. Маскелайна, выполненных вблизи горы Шихаллиен (1774). Этот результат существенно меньше истинного ( $p = 5,53 \text{ г/с м } 3$ ). Его сравнение со значением, полученным Кавендишем,  $p = 5,48 \text{ г/с м } 3$ , показывает, в какой степени последнему удалось повысить точность определения  $p^*$ .

Описание установки от самого Кавендиша:

Аппарат очень прост: он состоит из деревянной руки, длиной 6 футов, сделанной таким образом, чтобы соединить большую силу с небольшим весом. Рука подвешена в горизонтальном положении на тонкой проволоке длиной 4,0 дюйма, и к каждой конечности подвешен свинцовый шарик, около 2 дюймов в диаметре. И все это закрыто в узком деревянном ящике, чтобы защитить его от ветра.

Поскольку для того, чтобы заставить этот рычаг вращаться вокруг своего центра, требуется не больше силы чем для скручивания подвешенной проволоки, то очевидно, что если проволока достаточно тонкая, то самая незначительная сила, такая как притяжение свинцовой гири диаметром в несколько дюймов в диаметре, будет достаточно, чтобы ощутимо отвести рычаг в сторону.

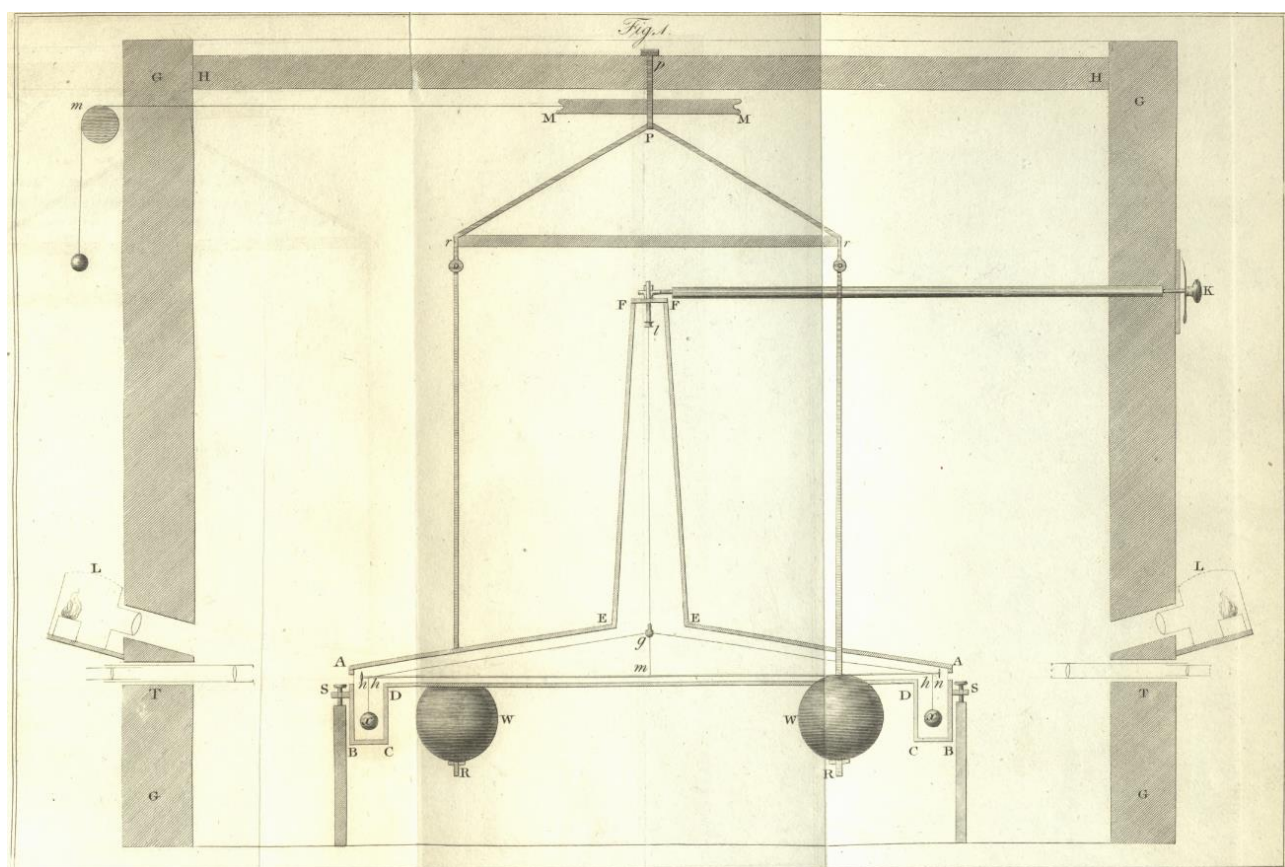


Рис. 1. Установка продольное вертикальное сечение

На рисунке показано продольное вертикальное сечение прибора и помещения, в котором он расположен. А В С D D С В А Е F F Е — это кожух; х и л: — два шарика, свешивающихся на нитях hх с коромысла g h m h , которое само подвешено с помощью



тонкой проволоки  $gl$ . Это коромысло состоит из тонкого соснового стержня  $h m h$  у усиленного серебряной проволокой  $h g h$ . Благодаря этому он делался достаточно прочным для удержания шариков, хотя и оставался очень легким.

Кожух поддерживается и устанавливается горизонтально посредством четырех винтов, опирающихся на столбы, жестко врытые в землю. Два из них  $S$  и  $S$  представлены на рисунке, а два другие не показаны во избежание путаницы.  $GG$  и  $GG$  — края стен помещения.  $W$  и  $W$  — свинцовые грузы, которые подвешены на медных стержнях  $RrPrR$  и деревянном бруске  $гг$  с осевой шпилькой  $Pp$ . Эта шпилька проходит над центром прибора через отверстие в бруске  $НН$  перпендикулярно бруску и поворачивается внутри этого отверстия, удерживаясь от падения пластиной  $p$ .  $ММ$  представляет собой блок, прикрепленный к этой шпильке, а  $М т$  — нить, накрученную на блок и проходящую через край стены; с ее помощью наблюдатель может поворачивать блок и таким образом передвигать грузы из одного положения в другое.

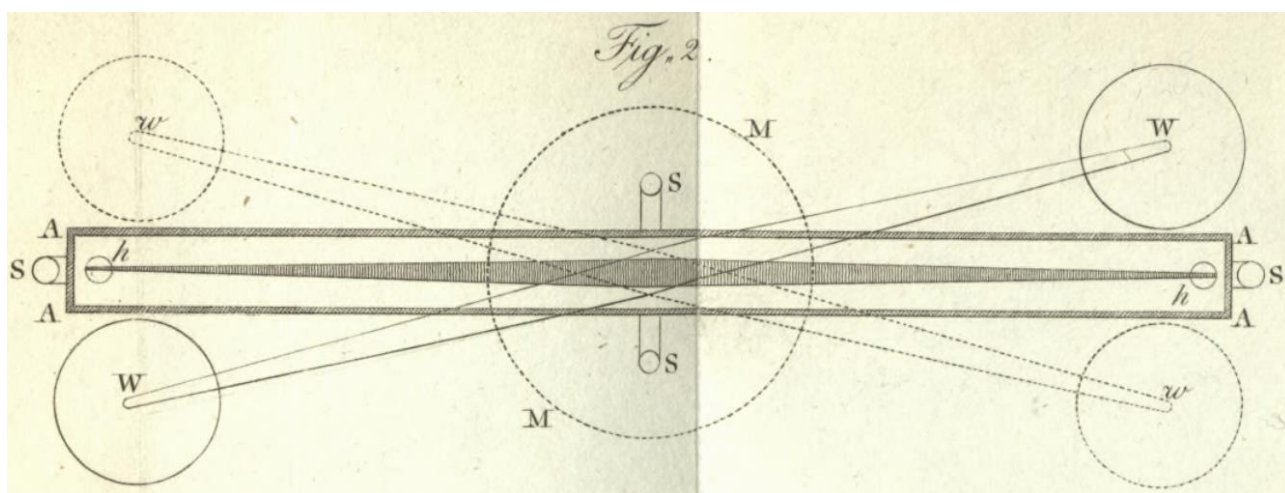


Рис. 2

На рис. 2 приведен вид прибора сверху:  $A A A A$  — кожух,  $S S S S$  — четыре поддерживающие его винта,  $НН$  — коромысло и шарики,  $W$  и  $W$  — грузы,  $ММ$  — блок для их передвижения. Когда грузы находятся в таком положении, то оба стремятся отклонить коромысло в направлении  $hW$  когда же они передвигаются в положения  $w$  и  $w$ , представленные точечными линиями, то оба стремятся отклонить коромысло в противоположном направлении  $h w$ . От ударов о кожух эти грузы предохраняют кусочки дерева, останавливающие их, как только они приближаются на расстояние  $1/5$  дюйма к кожуху. Кусочки дерева прикреплены к стене здания; и я обнаружил, что грузы могут ударяться о них со значительной силой без ощутимого сотрясения прибора.

**Источники:**

1. Большая советская энциклопедия. в 30-ти т.. – 3-е изд.. – М. : Совет. энцикл., 1969 - 1986. ил., карт.
2. [Измерение гравитационной постоянной \(большой G\) как повод для дебатов!](#)
3. Cavendish, H (1798). ["Experiments to Determine the Density of the Earth. By Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S." Phil. Trans. R. Soc. Lond. 88: 469—526. doi:10.1098/rstl.1798.0022.](#)
4. Кавендиш Г. Опыты по определению плотности Земли // Классики физической науки / Голин Г. М., Филонович С. Р.. — М.: Высшая школа, 1989. — С. 253—268. — 576 с. — [ISBN 5060000583](#).