

ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПО ФИЗИКЕ НА ТЕМУ:

«Эксперимент Генри Кавендиша по определению гравитационной постоянной и измерению массы планеты»

Ученика 9 класса ГБОУ СОШ №1465 Марёнова Алексея

Учитель физики: Л.Ю. Круглова

Москва, 2013

ПЛАН

- 1. История
- 2. Установка для эксперимента
- 3. Вычисленное значение гравитационной постоянной
- 4. Физический смысл гравитационной постоянной.
- 5. Опыт Кавендиша оживил закон тяготения.
- 6. Роль опыта Генри Кавендиша
- 7. Определение массы Земли

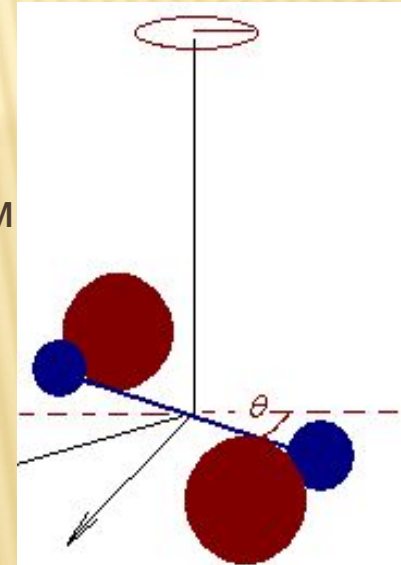
ИСТОРИЯ

Установление Ньютоном закона всемирного тяготения явилось важнейшим событием в истории физики. Его значение определяется прежде всего универсальностью гравитационного взаимодействия. На законе всемирного тяготения основывается один из центральных разделов астрономии — небесная механика. Мы ощущаем силу притяжения к Земле, однако притяжение малых тел друг к другу неощутимо. Требовалось экспериментально доказать справедливость закона всемирного тяготения и для обычных тел. Именно это и сделал Кавендиш, попутно определив среднюю плотность Земли. Первоначально эксперимент был предложен Джоном Мичеллом. Именно он сконструировал главную деталь в экспериментальной установке — крутильные весы, однако умер в 1793 так и не поставив опыта. После его смерти экспериментальная установка перешла к Генри Кавендишу. Кавендиш модифицировал установку, провёл опыты и описал их в *Philosophical Transactions* в 1798.

УСТАНОВКА

Установка представляла собой деревянное коромысло длиной около 1,8 м с прикрепленными к его концам небольшими свинцовыми шарами диаметром 5 см и массой 775 г., подвешенное на нити из посеребрённой меди длиной 1 м. К этим шарам с помощью специальной поворотной фермы, ось вращения которой совпадает насколько возможно точно с осью нити, подводились два свинцовых шара большего размера — диаметром 20 см и массой 49,5 кг, жёстко закреплённые на ферме. Вследствие гравитационного взаимодействия малых шаров с большими коромысло отклонялось на некоторый угол. Зная упругие свойства нити, а также угол поворота коромысла, можно вычислить силу притяжения малого шара к большому, а отсюда и гравитационную постоянную.

Упругость нити на кручение определялась, исходя из периода свободных колебаний коромысла, который составлял 15 минут. Поскольку измеряемые силы ничтожно малы, был предпринят целый ряд мер, имеющих целью компенсацию погрешностей, возникающих вследствие воздействия физических условий опыта, не имеющих непосредственного отношения к измеряемым гравитационным силам, но могущих оказать на результат влияние, сравнимое или даже превышающее действие этих сил. В числе этих мер можно отметить следующие.



- Опыт проводится в два приёма: сначала большие шары с помощью поворотного механизма фермы подводятся к малым с одной стороны (например, против часовой стрелки, как показано на рисунке), а затем — с противоположной, и измеряется двойной угол закручивания нити — от отклонения коромысла в одном направлении до противоположного. Это увеличивает непосредственно измеряемое значение угла, а главное — компенсирует влияние возможного наклона или деформации установки и/или здания при перемещении тяжёлых шаров в ходе эксперимента, а также воздействие на результат всевозможных асимметричных факторов: технически неизбежной асимметрии самой установки, гравитационного влияния массивных объектов, находящихся поблизости (зданий, гор и т.п.), магнитного поля Земли, её вращения, положения Солнца и Луны, и др.
- Для предотвращения влияния конвекционных потоков воздуха в помещении крутильные весы были заключены в деревянный кожух.
- Предположив, что на закручивание нити может оказать влияние магнитное взаимодействие железных стержней фермы и свинцовых шаров, Кавендиш заменил стержни медными, получив те же результаты.

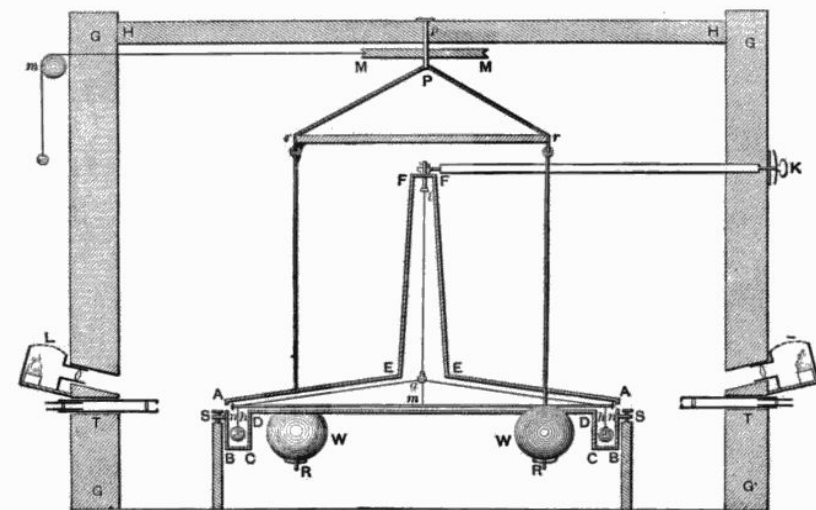


Fig. 1

- ABCDDCBAEFFEA — неподвижный деревянный кожух, внутри которого подвешены крутильные весы.
- m — тонкий деревянный стержень коромысла.
- g — растяжка из тонкой серебряной проволоки, сообщающая жёсткость коромыслу.
- X — малые шары, подвешенные к коромыслу на проволоке.
- K — рукоятка механизма первоначальной установки коромысла.
- $RrPrR$ — поворотная ферма, с закреплёнными на ней большими шарами
- MM — шкив поворотного механизма фермы.
- L — осветительные приборы
- T — телескопы для наблюдения за отклонением коромысла через остеклённые отверстия в торцевых стенках кожуха, напротив концов коромысла. На нижних краях этих отверстий с внутренней стороны кожуха были установлены шкалы из слоновой кости с делениями в $1/20$ дюйма (около 1,2 мм). На торцах коромысла были прикреплены верньеры из того же материала, с такими же делениями, подразделёнными на 5 равных отрезков. Точность измерения отклонения конца коромысла составляла, таким образом, $1/100$ дюйма. Наличие двух телескопов позволяло контролировать корректность эксперимента: если бы показания телескопов заметно отличались, это свидетельствовало бы о наличии какого-то дефекта в конструкции установки, или о каком-то неучтённом физическом факторе, существенно влияющем на результат.
- Для своего времени эта установка явилась беспримерным шедевром искусства физического эксперимента.

ВЫЧИСЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

- В «Британнике» утверждается, что Г. Кавендиш получил значение $G=6,754 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$. Это же утверждают Е. Р. Коэн, К. Кроув, Дж. Дюмонд и А. Кук. Л. Купер в своём двухтомном учебнике физики приводит другое значение: $G = 6,71 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$. О.П. Спиридонов — третье: $G = (6,6 \pm 0,04) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$.
- Сам Кавендиш в своём эксперименте не ставил задачу определения гравитационной постоянной, о которой в его время ещё не было выработано единого представления в научном сообществе. В своей классической работе он рассчитал значение средней плотности Земли: 5.48 плотностей воды (современное значение $5,52 \text{ г/см}^3$ лишь на 0,7% отличается от результата Кавендиша). Средняя плотность планеты оказалась значительно больше поверхностной ($\sim 2 \text{ г/см}^3$), из этого следовало, что в глубинах Земли сосредоточены тяжёлые вещества.
- Гравитационная постоянная была введена, по-видимому, впервые только С. Д. Пуассоном в «Трактате по механике» (1811). Значение G было вычислено позже другими учеными из данных опыта Кавендиша. Кто впервые рассчитал численное значение G , историкам неизвестно.

РОЛЬ ОПЫТА КАВЕНДИША

1. Закон всемирного тяготения получил экспериментальное доказательство
2. Закон всемирного тяготения стал применим для количественных расчётов.
3. Теперь можно было рассчитать массы и плотности различных небесных тел, в том числе и Земли, траектории искусственных спутников Земли.
4. Определить время и место солнечных и лунных затмений.
5. Открыть новые планеты и звёзды.
6. Предугадать новые физические закономерности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ЗЕМЛИ



- Допустим, что с Землёй взаимодействует тело массой 1 кг, находящееся у её поверхности. Тогда силу притяжения тела к Земле можно найти двумя способами

$$\text{☞ } F = m \cdot g$$

$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2}$$

- Приравняв эти две части уравнения, получим

$$m \cdot g = G \frac{m \cdot M}{R^2}$$

$$M = \frac{g \cdot R^2}{G}$$

- Известно, что $g=9,81 \text{ м/с}^2$, $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$, $R=6370 \text{ км}$. Их значения, получим массу Земли:

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

ЦИТАТА ФЕЙНМАНА.

... Весы Кавендиша, два притягивающих шара, это маленькая модель солнечной системы. Если увеличить ее в 10 миллионов раз – и вот вам галактики, которые притягиваются друг к другу по тому же самому закону, вышивая свой узор. Природа пользуется лишь самыми длинными нитями и всякий, даже самый маленький образчик его, может открыть нам глаза на строение целого.

