

Как Кавендиш в XVIII веке «взвесил Землю» с помощью свинцовых шаров

В 1798 году Генри Кавендиш опубликовал работу с почти вызывающе спокойным названием – «Опыты по определению плотности Земли». За этим названием скрывался эксперимент, который сегодня любят пересказывать фразой «Кавендиш взвесил планету». Никаких весов размером с континент у него, конечно, не было. Он сделал нечто намного изящнее: измерил, как два сравнительно небольших свинцовых шара притягиваются друг к другу, а затем сравнил эту слабую силу с притяжением всей Земли.



Автор: Изображение создано с помощью ChatGPT (OpenAI). Источник: <https://chatgpt.com/>

К концу XVIII века закон всемирного тяготения Ньютона уже давно был известен. Он отлично объяснял движение планет и спутников, но оставлял одну неудобную практическую проблему. Гравитация между обычными предметами настолько мала, что заметить её почти невозможно. Земля тянет свинцовый шар вниз огромной силой по сравнению с тем, как соседний шар тянет его в сторону. Нужно было придумать прибор, который отделит крошечное горизонтальное притяжение от привычной тяжести.

Идея принадлежала не самому Кавендишу. Её разработал английский священник и натуралист Джон Мичелл. Он придумал крутильные весы: лёгкий горизонтальный рычаг подвешивался за середину на тонкой проволоке, а на его концах находились небольшие грузы. Даже очень слабая боковая сила могла немного повернуть рычаг и закрутить проволоку. Мичелл построил аппарат, но умер, не успев провести задуманные измерения.

Через Фрэнсиса Джона Хайда Волластона установка в итоге попала к Кавендишу.

Тот не просто повторил чужую задумку, а довёл её до состояния, в котором можно было ловить почти исчезающе малую силу.

Основой установки служил деревянный стержень длиной около двух метров. На каждом его конце висел свинцовый шар диаметром примерно пять сантиметров. Вся перекаладина была подвешена горизонтально на тонкой проволоке длиной около одного метра. Рядом можно было подводить два куда более тяжёлых свинцовых шара диаметром около тридцати сантиметров и массой примерно 160 кг каждый.

Когда большие шары оказывались рядом с маленькими, между ними возникало обычное ньютоновское притяжение. Оно было ничтожным, но этого хватало, чтобы перекаладина чуть повернулась. Проволока при этом закручивалась и сопротивлялась повороту. В какой-то момент два эффекта уравнивались: гравитация тянула шар в одну сторону, упругость проволоки возвращала его обратно.

В этом небольшом угле поворота и пряталась нужная величина.

Проблема заключалась в том, что прибор чувствовал не только гравитацию. Сквозняк мог подействовать сильнее измеряемой силы. Разница температур нагревала воздух и создавала слабые потоки. Даже присутствие самого экспериментатора рядом с установкой могло всё испортить.

Поэтому Кавендиш поместил механизм в закрытое помещение и наблюдал за ним снаружи через телескоп. Большие грузы передвигались с помощью системы тяг и блоков, так что подходить к чувствительной части опыта не требовалось. Он следил не только за отклонением рычага, но и за тем, как тот колеблется после смещения: период колебаний позволял понять, насколько сильно проволока сопротивляется закручиванию.

Эксперимент выглядел не эффектно, а мучительно медленно. Нужно было ждать, пока крошечный поворот проявится, менять положение тяжёлых шаров, повторять наблюдения и проверять возможные источни-

ки ошибки. Кавендиш даже менял проволоку и проверял, не влияют ли на результат магнитные свойства деталей.

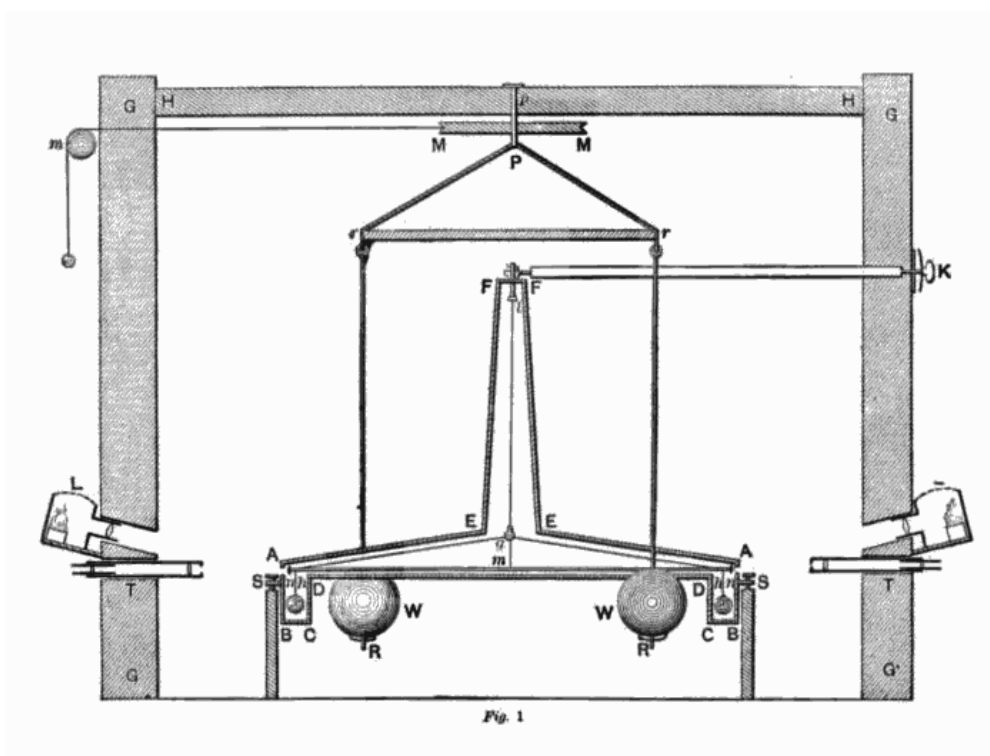


Рисунок крутильных весов, использованных Генри Кавендишем в «Эксперименте Кавендиша». Автор: Henry Cavendish Public domain — author died in 181. Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cavendish_Experiment.png

Но как из поворота деревянной перекладки получалась масса Земли?

Кавендиш знал размеры и массу свинцовых шаров, расстояние между ними и силу их взаимного притяжения, которую выдавали крутильные весы. Одновременно было известно, как сама Земля притягивает тот же маленький шар: это проявлялось в его обычном весе. Сравнив две силы и используя закон Ньютона, можно было определить, насколько средняя плотность всей планеты больше плотности воды.

Именно это Кавендиш и считал результатом опыта. Он получил значение около 5,48. Иными словами, если мысленно сделать Землю из вещества одинаковой плотности, оно должно быть примерно в пять с половиной раз плотнее воды. Современная оценка средней плотности Земли составляет около 5,51, поэтому результат конца XVIII века оказался поразительно близким.

Отсюда легко перейти и к массе планеты. Если известны размеры Земли и её средняя плотность, масса вычисляется обычным умножением объёма на плотность. Поэтому выражение «взвесил Землю» не совсем бу-

квально, но по сути справедливо: лабораторный опыт впервые позволил получить массу планеты без попытки измерять её напрямую.

Есть здесь и ещё одна историческая ловушка. Сегодня опыт Кавендиша часто называют первым измерением гравитационной постоянной G . В современном языке это удобно: его данные действительно позволяют вычислить G , и получится значение, очень близкое к нынешнему. Но сам Кавендиш так задачу не формулировал и отдельное значение G в своей статье не выводил. Его целью была именно плотность Земли. Привычный нам способ записывать закон тяготения через универсальную постоянную закрепился позднее.

Поэтому знаменитый опыт оказался важен сразу по двум причинам. Он показал, что гравитацию можно заметить не только по движению Луны или падению яблока, но и между предметами, которые помещаются в комнате. А ещё он позволил связать маленькую лабораторную силу с размером целой планеты.



Фотография и подпись известного естествоиспытателя Генри Кавендиша. Автор: George Wilson, Public domain. Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cavendish_Henry_signature.jpg

Самое впечатляющее в этой истории – масштаб перехода. Большой шар Кавендиша был примерно размером с крупный глобус. Его притяжение сдвигало соседний груз едва заметно. Но именно этого слабого движения хватило, чтобы узнать характеристику тела диаметром почти 13 тысяч километров.

Землю не пришлось ставить на весы. Достаточно было заставить два куска свинца едва заметно потянуться друг к другу – и очень внимательно измерить, насколько повернулась тонкая проволока.

Источник: <https://www.ixbt.com/live/history/kak-kavendish-v-xviii-veke-vzvesil-zemlyu-s-pomoschyu-svincovyh-sharov.html>