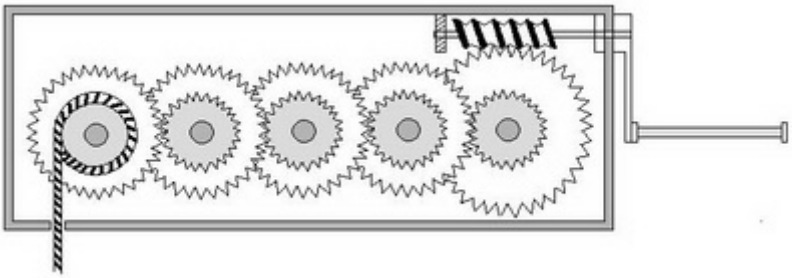
Как же Архимед хотел сдвинуть Землю

«Дайте мне точку опоры…» Первое упоминание об этой фразе есть у известного греческого писателя Плутарха (50 – 125гг.), который в биографии римского полководца Марка Марцелла привёл следующий факт: «Архимед писал однажды своему родственнику и другу царю Гиерону, что данной силой можно поднять любую тяжесть. В юношеском смелом доверии к силе своего доказательства он сказал, что если бы у него была другая Земля, он перешёл бы на неё и сдвинул с места нашу». Обычно считают, что речь здесь идёт о законе рычага, однако можно усомниться в этом – ведь слова Архимеда относятся не к умению что-то рассчитывать, а к действию, созданию какого-то механизма, способного сдвинуть тело любой массы. К тому же рычаг применялся людьми с незапамятных времён и непонятно, как он мог стать предметом особой гордости Архимеда, когда его закон уже был сформулирован, хотя и не с той строгостью, которую придал ему Архимед. Первое применение рычага как основного структурного элемента в механизме разнообразных автоматов приписывается Герона Александрийскому, а Периклу – первое использование его в боевой машине, которая была построена при осаде Самоса (439 г. до н.э.).

Читаем дальше: «Удивлённый Гиерон стал просить Архимеда доказать свои слова и привести в движение какое-либо большое тело малой силой. Архимед приказал посадить на царскую грузовую триеру, вытащенную на берег с помощью многих рук с огромным трудом, большой экипаж, положить на неё обычный груз и, усевшись на некотором расстоянии от триеры, без всяких усилий, спокойно двигая рукой канат полиспаста, стал тянуть к себе триеру так тихо и ровно, как будто она плыла по морю». О передвижении корабля по суше упоминает и римский писатель III в Атений.

Подумаем, достаточно ли было для этого Архимеду только полиспаста. По нормам того времени, приводимым Героном Александрийским, для перемещения по суше гружёной триеры (масса 200 т) требовалось ~ 1600 человек, так как необходимо было приложить силу $F = \mu \cdot m \cdot g = 0{,}5 \times 200 \times 10^3 \times 10 = 10^6$ Н, где $\mu = 0{,}5$ – коэффициент трения скольжения дерева по дереву. При перемещении триеры на катках ($\mu = 0{,}08$) $F = 0{,}08 \times 200 \times 10^3 \times 10 = 16 \times 10^4$Н. Если допустить, что Архимед действовал на конец каната полиспаста с силой $F_A = 200$Н, то передаточное число полиспаста должно быть равно $F_A : F = 200 : 10^6 = 1 : 5000$ (или $200 : 16 \times 10^4 = 1 : 800$), т.е. полиспаст должен содержать 5000 или 800 блоков! Потери на трение в таком невероятно громоздком сооружении будут так велики, что ни о каком перемещении чего-либо с его помощью и речи быть не может.

Об истинном смысле исторического изречения можно догадаться, читая описание Паппом Александрийским в «Математической библиотеке» (III в.) применённого Архимедом для подъёма тяжёлых грузов устройства, представляющего собой ручную лебёдку с червячной передачей (рисунок). Это описание поражает почти полным совпадением сути «механического открытия» с тем, что сказано у Плутарха, и тем, что приводимые характеристики лебёдки дают возможность перемещать с её помощью корабль силой одного человека. Согласно Паппу, червячная передача имела передаточное отношение 1 : 24, а каждая пара зубчатых колёс 1 : 5. Общее передаточное число лебёдки Архимеда равно $24 \times 5^4 = 15000$! Если принять её КПД = 0,2, то Архимед мог сдвинуть корабль силой $10^6 / (0{,}2 \times 15000) = 333$ Н (или $16 \times 10^4 / (0{,}2 \times 15000) = 53{,}3$ Н).



Поскольку в грузоподъёмных механизмах той эпохи использовались главным образом вороты, полиспасты и комбинации канатных барабанов, лебёдка, описанная Паппом, видимо была сконструирована Архимедом специально для демонстрации своего «механического открытия», которое он считал весьма важным. В чём же оно заключалось?

Архимед открыл, что при последовательном соединении передач их передаточные числа не складываются, как у полиспастов, а перемножаются, и это приводит к ошеломляющим результатам. Если взять зубчатые передачи с $n = 5$ и соединить их последовательно, то для двух пар выигрыш в силе (без учёта потерь на трение) составит 25, для трёх – 125, для пяти – 3125 и т.д. Такое открытие и привело, по-видимому, Архимеда в восторг, послужило поводом для восклицания о возможности сдвинуть Землю. Кстати, современные грузоподъёмные машины часто повторяют принцип устройства лебёдки Архимеда, и это вызывает ещё большее уважение к великому математику и инженеру древности, который в III в. до н. э. сумел найти оптимальную комбинацию механизмов и провести опыт, поразивший современников.

/Составлено по материалам книги С.В. Житомирский, Архимед, Пособие для учащихся, – М.: Просвещение, 1981, с. 22 – 24 и материалам журнала «Физика в школе»/.