

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ГОРКА

Сегодня на уроке физики по теме «Закон всемирного тяготения» узнал, наконец, что же меня так всё время тяготит. (Полуправда).

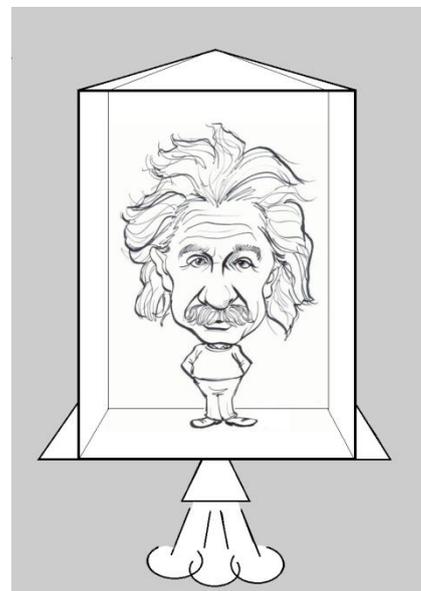
Начинаем посиделки в театре занимательной науки. Не беда, что некоторые участники запаздывают. Наш первый гость – Исаак Ньютон «застрял» в кабине своего лифта и вынужденно коротает время в размышлениях. Один Ньютон – не «сила, с которой ОДНО яблоко падает на ОДНУ голову с высоты ОДНОГО метра». Подбрасывая яблоко, он умиляется гармонии бытия, пониманию причин и законов происходящего. Планета Земля из закрытого помещения хоть и не видна, но косвенно проявляет себя своим тяготением. Невидимые шупальца гравитации (поля тяготения) тянут все тела к центру планеты. Сила тяжести придаёт подброшенному яблоку ускорение свободного падения ($g = 9,8\text{м/с}^2$), и оно сначала равномерно летит вверх, на мгновение останавливается, а затем послушно и равноускоренно возвращается в руку экспериментатора. Яблоко давит на ладонь учёного, а он на пол лифта. Весомость тел – очередное подтверждение наличия под ногами массивной планеты.



Хвала Ньютону, открывшему эти причинно-следственные связи! Но даже после этого считалось, что «Бог создал гравитацию, чтобы мы не шастали по космосу».

*Был этот мир кромешной тьмой окутан;
Да будет свет! – и вот явился Ньютон.
Но сатана недолго ждал реванша –
Пришел Эйнштейн – и стало всё, как раньше...¹*

Второй гость – затерялся в космосе, в бесконечном удалении от гравитирующих масс. Ракетный двигатель его чудо-лифта придаёт ему ускорение, численно равное ускорению свободного падения ($a = g$). В кабине – возмутитель спокойствия – Альберт Эйнштейн. Ощувив привычный вес своего тела (результат действия силы инерции $F_i = -ma$), он повторяет эксперимент Ньютона: подброшенный фрукт движется точно так же, как в неподвижном лифте на планете. Поведение тел одинаково, но причина иная: в данном случае не гравитация, а инерция. Осознав это, Эйнштейн кричит «Эврика!» Звук, как известно, в вакууме не распространяется, поэтому мы взяли его открытие сделать всеобщим достоянием и донести до вас.



– Как делаются открытия? – спросили потом у учёного.

– Очень просто, – улыбнулся он, – все знают, что это сделать невозможно, но случайно находится один невежда, который этого не знает. Он-то и делает открытие...²

В сухом остатке (своего мысленного эксперимента) Эйнштейн сформулировал, так называемый, принцип эквивалентности: все явления (не только механические) в по-

¹ Эпиграммы XVIII и XIX веков в переводе С. Маршака.

² Цитата, приписываемая А. Эйнштейну.

добных лифтах при одинаковых начальных условиях будут происходить совершенно одинаково. Гравитационное и соответствующее ему поле сил инерции творят в них эквивалентные чудеса. (И это, в отличие от нашего эпиграфа, полная правда!).

Другими словами: находясь в своих замкнутых системах (лифтах) ни Ньютон, ни Эйнштейн (никто другой) никакими способами не сможет определить, покоится его кабина в поле гравитации или ускоренно движется в пустоте.

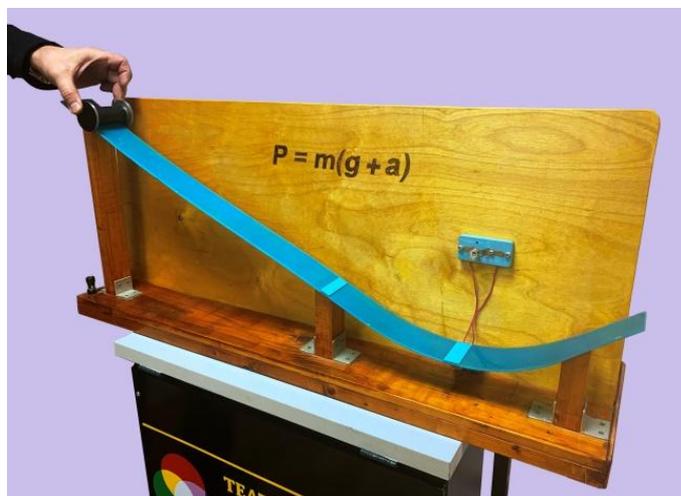
Или совсем лаконично: тяжёлая и инертная массы любого тела равны³.

Принципиальная невозможность отличить одно явление от другого (тяготение от инерции) означает, что мы имеем дело с одним и тем же явлением, т.е. свободное падение и свободное движение (движение «по инерции») – это одно и то же.

Наши гости явно засиделись, поэтому мы предлагаем им эксклюзивную забаву – «катание» с горок. Чего не сделаешь ради наглядности. Кстати, «настоящие» физики не говорят своим детям «пойди, покатайся с горки». Они говорят «поиграй со своей инерцией». Убедимся, что в неизменном гравитационном поле, без всяческих диет можно легко изменить свой вес, что для некоторых весьма актуально.

Подойдём к столику, на котором разместились «Эквивалентная горка» для демонстрации соответствующего принципа Эйнштейна – два прибора в одном.

У них общее основание, в середине которого (по всей длине) укреплена вертикальная прямоугольная панель. С одной стороны панели находится вогнутая «дорожка», выполненная из полоски оргстекла. Она жёстко крепится на первых двух опорах, а на последнюю только опирается. По дорожке может свободно кататься металлический ролик, реборды которого удерживают его на ней. Под вогнутостью дорожки установлена пара разомкнутых контактов⁴, соединённых последовательно с низковольтной лампой накаливания и источником питания. На противоположной стороне вертикальной панели – аналогичное устройство, но с выпуклой дорожкой.



«– Как движется тело, когда его ускорение равно нулю? – Потихоньку...» Только не у нас! При криволинейном движении (в нашем случае – по дуге окружности радиусом R) тело приобретает центростремительное ускорение (a), величина которого определяется его скоростью ($a = \frac{v^2}{R}$).

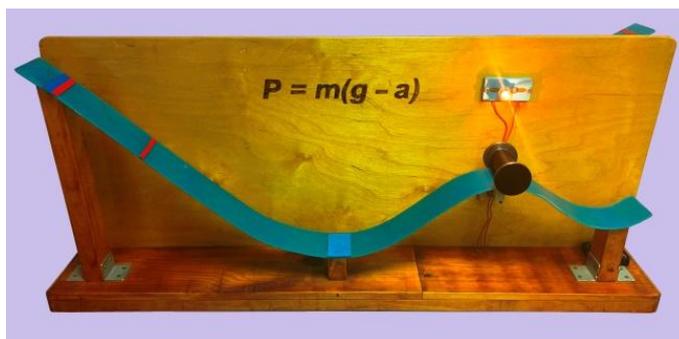
Действо начинается! На середину вогнутости устанавливается ролик, и все убеждаются, что под его весом упругая дорожка прогибается незначительно: контакты под ней не замыкаются, а лампочка не загорается. Затем ролик отпускается с вершины горки. В момент прохождения им нижней точки дорожки, вес ролика определяется формулой⁵: $P = m(g+a)$. Это в теории. На практике же мы видим, что лампочка ярко вспыхивает! Сила давления ролика на дорожку увеличивается (на величину центростремительной силы ma). Гравитация «отдыхает», но тело становится тяжелее (испытывает перегрузку). Как в «лифте Эйнштейна»!

³ Этот факт был экспериментально проверен в 2017 году на спутнике MICROSCOPE с точностью 10^{-14} .

⁴ Между дорожкой и контактами установлен регулировочный винт, с помощью которого при подготовке к демонстрации можно изменять существующий зазор.

⁵ Вектор g при этом противоположен вектору a .

Надпись на дверях предупреждает: «лифт вниз не поднимает!». Мы тормозим его – повторяем демонстрацию на выпуклой горке. Тормоз – это всего лишь отрицательное ускорение. Устанавливаем ролик на выпуклость: вес избыточен – лампа горит. Запускаем ролик с горки и по отсутствию световой вспышки убеждаемся в уменьшении его веса⁶: $P = m(g - a)$. При определённой скорости может наступить и невесомость.



Наглядно, убедительно и эквивалентно!

Посиделки заканчиваются шутивным советом для тех, кто желает изменить свой вес: «Садитесь в лифт... и поезжайте с ускорением в спортзал»!

18.08.20

⁶ В верхней точке траектории ускорения g и a сонаправлены.