

## С ВЕТЕРКОМ И НАУКОЙ

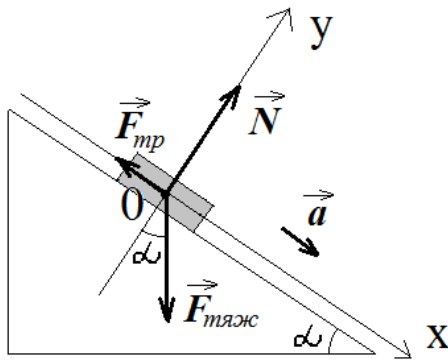
Лучше нет зимой игры,  
Чем катание с горы!  
Можно сидя, можно лежа,  
На коленках можно тоже,  
На картонках, на ледянках,  
И на лыжах, и на санках,  
Можно кубарем лететь,  
Главное, чтоб не реветь!

И. Зюков

На телевизионном экране появляется полная тётя с признанием:

– В детстве я быстрее всех скатывалась с горки. Правда, тогда я не знала, что это просто физика...

Предполагается, что это юмор, но «физики» не смеются и даже не улыбаются. Они, пренебрегая силой сопротивления, расписывают второй закон Ньютона для массивной тёти в проекции на выбранные оси.



$$OY: N - F_{тяж} \cos \alpha = 0.$$

$$OX: F_{тяж} \sin \alpha - F_{тр} = ma.$$

Решая систему уравнений с учётом того, что

$$F_{тр} = \mu N, \text{ а } F_{тяж} = mg,$$

дотошные искатели истины получают:

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Ускорение ( $a$ ) при скатывании с горки определяется лишь углом её наклона ( $\alpha$ ), коэффициентом трения ( $\mu$ ) и константой ускорения свободного падения ( $g$ ). Оно не зависит от полноты и массы тела тёти ( $m$ ). Убедиться в этом можно и с энергетической точки зрения, масса в законе изменения полной механической энергии также сокращается. Так что, мы имеем признание с ошибкой – неудачную шутку.

– Друзья, уважайте школьную физику!

После проведения телевизионной экспертизы возникает желание продолжить катание. С ветерком и непременно в строгом соответствии с наукой.

– Айда на горку, то есть на наклонную плоскость с малым альфа ( $\alpha$ )!

Для начала спустим с горки «чёрный ящик». В нашем случае «чёрным ящиком» является цилиндрическая пластиковая бутылка, закрытая и окрашенная в чёрный цвет.

Вскрывать, деформировать и трясти запрещается. Необходимо узнать её содержимое только по результатам разрешённого эксперимента.

Возьмём, стоящую на столе бутылку, и положим её боком на вершину горки.

– На старт. Внимание. Марш!

Бутылка скатывается вниз, при этом вращение её постепенно замедляется... Ближе к финишу, она лениво замирает на склоне, так и не спустившись с горки. С ветерком не получилось.

– Что за капризы?

Включайтесь в мозговой шторм:

– Может быть, у неё закончилась потенциальная энергия?

– Она наэлектризовалась.

– Должно быть, возросла сила трения.

– Или увеличилась её масса...

– Просто бутылка нашла положение устойчивого равновесия;

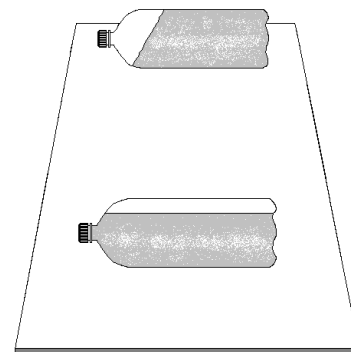
А каковы ваши предположения?..

Не изменяя горизонтального положения бутылки, аккуратно переместим её на место старта и отпустим. Ожидаемого движения не возникает!

Секрет прост (когда знаешь). Признаемся, наш «чёрный ящик» примерно на три четверти заполнен сухим песком.

Вам всё стало ясно?.. Проверьте себя следующими «почемучкиными» вопросами:

- Получился бы опыт не с цилиндрическим, а с шарообразным сосудом?
- Как изменяется положение центра масс песка в процессе его рассыпания?
- Что общего у «ленивой» бутылки с игрушечной неваляшкой?
- Как объяснить поведение бутылки с энергетических позиций?
- Какой вид равновесия присущ остановившейся бутылке?
- Почему перестановка бутылки на горке снизу-вверх не приводит к её скатыванию?
- Изменилось бы поведение бутылки, если бы вместо песка в ней на резинке был бы подвешен груз?



Если справились, то секрет «чёрного ящика» раскрыт!

По мере скатывания бутылки, песок в ней постепенно рассыпается вдоль корпуса. Наступает такой момент, когда бутылка с песком «находит своё устойчивое положение равновесия», в нём центр масс бутылки располагается на минимальной высоте относительно опоры (система обладает минимальной потенциальной энергией). Если в этом положении незначительно вывести бутылку из положения равновесия в одну или в другую сторону, она, подобно неваляшке, возвратится в исходное устойчивое положение.

Катимся дальше.

Возьмём деревянный цилиндрический каток, вдоль оси которого, просверлено сквозное отверстие и «оглоблю» – проволочку, согнутую под прямым углом. Вставим конец проволоки в отверстие цилиндра и поставим его на вершину покатой горки «оглоблей» вперёд.

– Поехали!

Концы оглобли свободно скользят: один по склону, другой в отверстии.

– И ещё пару раз, сверху – вниз. Переведём дух и продолжим веселье...

Но, увы, катку видимо забава «наскучила». Диагностика показывает: на проволочной оси он по-прежнему вращается свободно, но с горки скатываться категорически отказывается.

– Сделаем остановку, разгадаем фокус.

Количество гипотез невелико и среди них разумно звучит предположение об изменении длины оглобли. Действительно, проволока согнута не посередине, она имеет форму буквы «Г». Ловкость рук демонстратора и «Оп-ля!» – она вставлена в цилиндр другим концом. «Оглобля» становится немного короче, что влияет на движение катка.

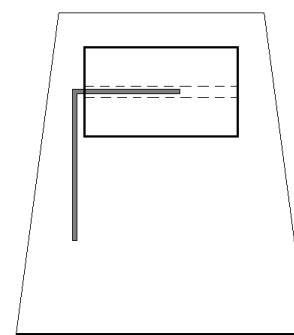
– Но каким образом?..

А у нас в руках очередной цилиндр – закрытая металлическая банка. После скатывания с горки без начальной скорости она катится по полу далеко-далеко.

– Попробуете повторить?

– Легко!

Вопреки ожиданиям, банка укатывается от горки совсем недалеко.



– В чём дело?

Оказывается, внутри на оси – деревянный цилиндр, способный свободно вращаться, а в маленькое отверстие на торце вставлена булавка, фиксирующая его до поры до времени...

Предлагаем вам на досуге самостоятельно разобраться в физике процессов двух последних скатываний, потому что, если «любишь кататься, люби и саночки возить».

А сейчас продолжим наши научные забавы. Увеличим градус ( $\alpha$ ) и позабудемся скороговоркой «С горы – не в гору, в гору не с горы».

Затем поставим на чаши весов внешне одинаковые цилиндры, и зафиксируем равновесие. Устроим гонки: одновременно отпустим цилиндры с вершины горы...

Тётя из телевизора, с которой мы познакомились в самом начале, точно сказала бы, что к финишу они придут одновременно. И Ньютон бы с ней согласился.

– А что у нас?

Удивительно, но всякий раз, один из них (с нарисованной для конкретики на торце улыбающейся физиономией) приобретает большее ускорение и приходит к финишу раньше (своего грустного соперника).

– Только не говорите, что оптимистам везёт... Не смешно.

Давайте лучше сыграем в «Данетку» – игру, в которой для того, чтобы разгадать загадку, надо задавать вопросы, ответом на которые может быть только правдивое «да» или «нет». Запутанная ситуация имеется. Интересно, сколько вопросов потребуется для поиска истины?..

– Внутри одного из цилиндров находится жидкость?

– Нет!

– Сыпучее вещество?

– Нет!

– Какая-нибудь пружинка?

– Нет!

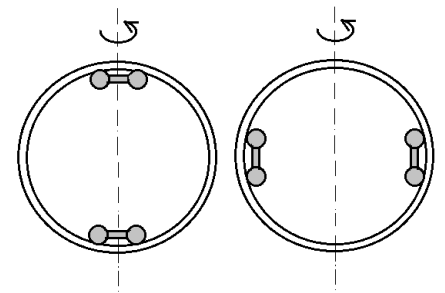
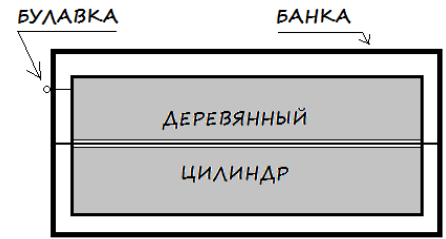
– А массы цилиндров точно одинаковые?

– Да!

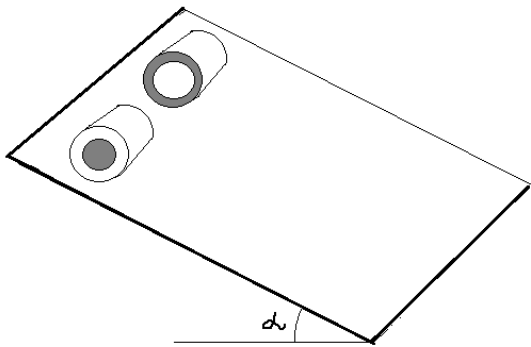
– И булавку не вытаскивали, – иссякает фантазия, а следствие заходит в тупик.

Время воспользоваться подсказкой – физкультминуткой. Каждый участник следования крутит из стороны в сторону кистью руки, которая удерживает на весу гимнастический обруч с диаметрально укрепленной на нём парой гантелей. Делается это в двух положениях обруча: с грузами на оси и с грузами максимально удалёнными от оси. Оба раза приходится вращать одну и ту же массу, но во втором случае делать это ощутимо сложнее.

– Поздравляем! Только что состоялось (опытное) знакомство с Моментом Инерции. «Новый знакомый» – не «очень короткая инерция». Известно, что нельзя разогнать или остановить тело мгновенно. Его скорость меняется неспешно, на что указывает термин «инерция», переводимый с латинского как «лень или бездействие». Мера инерции тела в поступательном движении является его масса. Во вращательном движении – момент инерции ( $kmR^2$ ), в который помимо массы входит расстояние (плечо  $R$ ), на которое она удалена от оси вращения ( $k$  – некоторый коэффициент, определяемый конфигурацией тела). Для первой встречи – подробностей предостаточно.



Цилиндры не похожи на тётю, поступательно (и тривиально) скользящую по склону, ведь они ещё и «кубарем летят» – вращаются. И в этом скрыта причина их поведения. Результат вращения определяется распределением массы внутри них. В одном (улыбающемся) тонкостенном цилиндре она сосредоточена по центру, а в другом (грустном) – по стенкам.



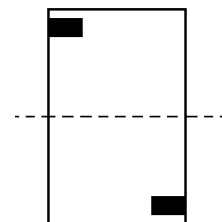
Применим к скатывающимся цилиндрам закон сохранения полной механической энергии (ЗСПМЭ). Начальная потенциальная энергия превращается в кинетические энергии поступательного и вращательного движения:

$$E_{п.} = E_{к.пост.} + E_{к.вращ.} = mV^2/2 + I\omega^2/2.$$

Первое слагаемое – знакомая всем кинетическая энергия поступательного движения, определяемая массой тела и скоростью его поступательного движения (от которой зависит время спуска с ветерком). Второе слагаемое – «незнакомая» кинетическая энергия вращательного движения, определяемая моментом инерции ( $I$ ) и угловой скоростью ( $\omega$ ).

Чем меньше момент инерции, тем меньше кинетическая энергия вращения, а кинетическая энергия поступательного движения наоборот больше (см. ЗСПМЭ). В результате цилиндр с меньшим моментом инерции всякий раз будет скатываться быстрее. Финиш!

Напоследок, попытаемся скатить с вершины крутой горы пенопластовый цилиндр, в котором ассиметрично оси вращения расположены два одинаковых свинцовых груза (см. рис.). Не получается! После набора достаточной скорости он начинает кувыркаться. Есть о чём подумать, тем более, если вы владелец автомашины, периодически производящий балансировку колёс...



После всяческих серьёзностей – лирическая концовка:

*Перчатки в хлам, на попе дырка,  
Хромаю, ногу волочу,  
Лицо горит, в трусах снежинки –  
Кататься с горок я люблю!*

Надеемся, что наше интеллектуальное катание вам понравилось и пошло только на пользу.

02.04.17