

КОЛЫБЕЛЬ НЬЮТОНА

Физики не говорят своим детям: «Пойди, покатайся с горки», – или – «покачайся на качелях». Они говорят: «Поиграй со своей инерцией».



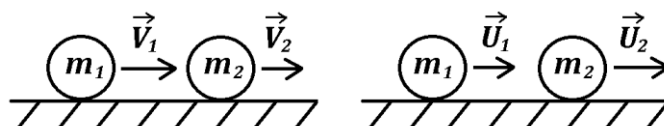
Завещание учителя физики начинается со слова «Дано» – этот анекдот про меня. Известно, что наука строится на закономерностях, логике и математике. Не самый простой язык для общения с подрастающим поколением при решении образовательных задач. Приходится постоянно задумываться над тем, как развить познавательный интерес своих учеников, на что делать упор в подаче сложного материала. Я не об упрощении. Один из действенных способов напутствует: «Расскажи мне, и я забуду. Покажи мне, и я, может быть, запомню. Позволь мне участвовать и действовать, и я пойму». Сильный приём – использование науки для предсказания неизвестного ранее результата¹...

Обратимся к прозе жизни – столкновению двух шариков. Удар упругий² и центральный³; массы тел – m_1 и m_2 ; скорости до удара – V_1 и V_2 , а сразу после – U_1 и U_2 .



ДО УДАРА

ПОСЛЕ УДАРА



¹ Что является одной из задач науки.

² Механическая энергия при этом не «теряется».

³ Скорости шаров до и после удара направлены по линии центров.

В научно-популярных издательствах известен факт, что каждая появляющаяся в книге формула уменьшает количество читателей вдвое. Рискну нарушить «правило»:

$$U_1 = \frac{2m_2V_2 + (m_1 - m_2)V_1}{m_1 + m_2} \quad (1); \quad U_2 = \frac{2m_1V_1 + (m_2 - m_1)V_2}{m_1 + m_2} \quad (2).$$

Эти формулы являются решением системы двух уравнений – закона сохранения полной механической энергии и закона сохранения импульса. (Рекомендую вам самостоятельно пройти математический квест, и убедиться, что формулы взяты не с «потолка»).

Признаюсь, что в своё время, выражения (1) и (2) так сильно меня впечатлили, что я уверовал – порой формулы могут быть «умнее» нас, они умеют прогнозировать события, явления и процессы!

Оживим приведённые записи! Так, если:

- 1) $m_1 = m_2$, то $U_1 = V_2$ а $U_2 = V_1$ (шарики обмениваются скоростями);
- 2) $V_2 = 0$ и $m_1 > m_2$, то $U_1 > 0$ а $U_2 > 0$ (оба шарика движутся вправо);
- 3) $V_2 = 0$ и $m_1 < m_2$, то $U_1 < 0$ а $U_2 > 0$ (шарики разлетаются в разные стороны);
- 4) $V_2 = 0$ и $m_2 \gg m_1$, то $U_1 = -V_1$ а $U_2 = 0$ (первый шарик меняет скорость на противоположную, а второй остаётся на месте);
- 5) $V_2 = 0$ и $m_1 \gg m_2$, то $U_1 = V_1$ а $U_2 = 2V_1$ (первый шарик не изменяет скорость, а второй увеличивает её в два раза).
- 6) $V_2 = 0$ и $m_1 = m_2$, то $U_1 = 0$ а $U_2 = V_1$ (первый шарик останавливается, а второй движется со скоростью первого).

Давайте на практике проверим последнее утверждение...

Поставим на стол бильярдный шар, а другой катнём ему навстречу⁴. Бум! Тот, что покоился – пришёл в движение, а тот, что двигался – не остановился. Непорядок! Не сработало предсказание ☹. А дело в том, что шар при сближении не только двигался поступательно, но и вращался. Эту энергию вращательного движения после удара он и сохранил.

Заставим шар двигаться без вращения – для этого произведём по нему горизонтальный удар кием точно по центру⁵. Что и требовалось доказать: $U_1 = 0$, а $U_2 = V_1$ ☺.

Подобный эффект можно наблюдать, если положить на гладкий стол на небольшом расстоянии друг от друга две одинаковые монетки и одну из них отправить щелчком пальца навстречу другой.

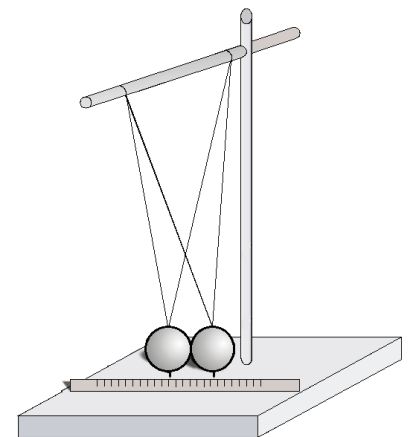
Альтернативный способ для шаров – подвесить их на расходящихся нитях⁶.

Когда мы отводим в сторону (поднимаем) первый шар, то сообщаем ему запас потенциальной энергии (mgh), а когда отпускаем – шар приходит в движение, и его потенциальная энергия переходит в энергию движения ($\frac{mV^2}{2}$). Удар приводит к деформации шаров – кинетическая энергия на мгновение превращается в потенциальную энергию упруго деформируемых тел ($\frac{kx^2}{2}$). Далее процесс происходит в обратном порядке, и второй шар отлетает в сторону. Если бы не сила трения, шары качались бы вечно.

Во время ударов шары обмениваются не только энергией движения, но и импульсами (mV), что, как выяснится позже, важно для понимания причин происходящего.

С шарами разных масс можно убедиться в правильности всех, сделанных ранее, предсказаний.

Продолжение следует.



⁴ По линии, соединяющей центры шаров – ради центрального удара.

⁵ Такой удар в бильярде называется «Клапшотос». Тело не вращается, если сила прилагается к центру масс.

⁶ Бильярдный подвес.

Расположите на столе несколько монет на одной линии так, чтобы они касались друг друга. Затем резко щёлкните по отдельно лежащей на той же линии монете, чтобы она пролетела по столу и ударилась о крайнюю монету ряда. Вы, наверное, уже догадались, что произойдёт... Монеты станут поочерёдно передавать друг другу импульс и энергию. Последней монете передавать некуда – отлетит сама!

Настало время раскачать «Колыбель Ньютона».

Нет, малыша Ньютона на ней не укачивали, и известный учёный её не раскачивал...

Одна из самых больших Колыбелей находится в городе Каламазу⁷ и представляет собой ряд из шестнадцати шаров для боулинга (масса каждого – 6,8кг), подвешенных на двойных подвесах длиной 6,1м.

Мы же с вами воспользуемся настольной демонстрационной моделью научной игрушки, изготовленной в Театре Занимательной Науки. Полубуемся процессом взаимодействия пяти бильярдных шаров, происходящим по законам Ньютона⁸ и насладимся переходами энергии из одного вида в другой.

«Инерционные шары вполне годятся для игры...» Посмотрим, что интересного может получиться из этой затеи.

Я отклоняю крайний шар в сторону. Готов отпустить, но сперва интересуюсь возможными последствиями. Некоторым зрителям игрушка знакома и результат известен, но моя цель привнести понимание.



Подсказки знатоков не принимаю, разыгрываю всех, будто впервые провожу подобный эксперимент: результата не ведаю, но знаю⁹, что всё произойдёт согласно двум законам сохранения – импульса (ЗСИ) и механической энергии (ЗСЭ). Почему бы не отлететь четырём (трём, двум) шарам со скоростью меньшей начальной в четыре (три, два) раза? Не факт, а необоснованное предположение – фантазия.

Зрители включаются в игру. Шерлок Холмс советует: «Отбросьте всё невозможное, то, что останется, и будет ответом, каким бы невероятным он ни оказался»¹⁰.

Для соударяющихся шаров «до» и «после» удара записываем:

$$m_{до} V_{до} = m_{после} V_{после};$$

$$\frac{m_{до} V_{до}^2}{2} = \frac{m_{после} V_{после}^2}{2}$$

Для реализации фантазий с отскоком, необходимы «разрешения» сразу от двух законов. Выполнение лишь одного закона недостаточно.

Для простоты расчётов (результаты сведены в таблицу) масса шарика и скорость перед ударом принимается за единицу. Закон сохранения импульса не запрещает отскок любого количества шаров, но закон сохранения энергии подтверждает лишь один вариант.

⁷ Мичиган, США.

⁸ Следствием законов Ньютона является закон сохранения импульса.

⁹ Так как система замкнута, а удар можно считать абсолютно упругим.

¹⁰ Из книги Артура Конан Дойла «Знак четырёх».

Количество отклонённых шариков	Предполагаемое количество отскочивших шариков	Расчёт V_2 (м/с) по ЗСИ $V_2 = V_1 \frac{m_1}{m_2}$	Проверка выполнения ЗСЭ. Кинетическая энергия $\frac{mV^2}{2}$ (Дж)		Возможность
			«До»	«После»	
●	●●●●	1/4	1/2	1/8	Нет
●	●●●	1/3	1/2	1/6	Нет
●	●●	1/2	1/2	1/4	Нет
●	●	1	1/2	1/2	Да

Я отпускаю шар...

С противоположной стороны цепочки отлетает лишь один из близнецов!

Шары тоже умеют считать!?!..

– Но что произойдёт, если аналогичным образом отклонить и отпустить два шара?

Получаю единодушный ответ, который подтверждается проверкой. Два ударяющих шара останавливаются и два из конца цепочки отлетают.

– А если повторить опыт с тремя шарами?

Задумались. Шаров-то пять... Можно гадать и фантазировать, а можно посчитать... Мы – люди, с нами – мозг!

Исаак Ньютон прославился тем, что, когда яблоко упало ему на голову, он единственный, кто задумался, а не просто выругался. Были бы Ньютоны, а яблоки найдутся!

Тем, кто не выпал в осадок и у кого разыгрался научный аппетит, предлагаю несколько аппетитных яблочно-колыбельных вопросов для самостоятельных размышлений¹¹.

Итак, что произойдёт, если:

- 1) с двух сторон одинаково отклонить по одному шарик, а затем одновременно их отпустить?
Возможные варианты¹²:
а) движение прекратится (компенсация);
б) центральный шар выскочит вверх или вбок.
в) отскочат крайние шары;
г) отлетит только один крайний шар (тот, который первоначально и случайно был больше отклонён).
- 2) отклонить крайние шарики-маятники на разные углы, а затем одновременно их отпустить?
- 3) одновременно отпустить с одной стороны два шарика, а с другой – один?
- 4) увеличить вес некоторых шариков при помощи пластилина?
- 5) первый удар будет произведён через толстую резиновую прокладку,¹³ приставленную к крайнему шарик, ряда?

¹¹ Правильность решений стоит проверить в опытах с популярной игрушкой, которую можно найти в сувенирном магазине или на столе у своих знакомых (а м.б. он есть у вас).

¹² Полезно, опираясь на ЗСИ и ЗСЭ, проверить на правдивость каждый вариант.

¹³ Можно использовать школьный ластик (в форме прямоугольного параллелепипеда).

Чтобы проверить свои решения, потребуется хотя бы маленькая «колыбелька». Её можно приобрести в магазине игрушек или сувениров, найти на столе у своего знакомого (а, может быть, и у себя дома).

Получите от игры в шары интеллектуальное удовольствие!

10.09.23