НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
РУССКОГО ФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ЖУРНАЛ РУССКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МЫСЛИ: ЖРФМ, 2018, № 1-12

(ЖРФХО, Том 90, Выпуск №2)

Продолжение научного журнала ЖРФХО
РУССКОГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА,
возобновивших свою общественную, научную
и издательскую деятельность в России
16 апреля 1991 г.

Публикует:

- наиболее актуальные, полезные, оригинальные работы соотечественников в области естествознания;
- письма читателей и научные статьи, программы и методики, рекламу и технические предложения, анализ, обзор, прогноз;
- энергетика, экология, охрана здоровья, сельское хозяйство, промышленность, техника, технология, экономика, наука.

Не чины и звания, ни возраст и профессия авторов,
а степень общественной пользы и оригинальность их мысли –
единственный критерий отбора работ для публикации

Приоритетная защита всех публикуемых материалов. Предназначен для всех, кому не безразличны современные земные проблемы, кто ищет конкретное поле деятельности для эффективного приложения своих интеллектуальных способностей.

ДЕВИЗ ЖУРНАЛА:

« EXPERIMENTIA EST OPTIMA RERUM MAGISTRA »

« Практика – замечательной мысли наставница »

Леонардо да Винчи

НЫНЕШНИЙ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ – ВЕЛИЧАЙШАЯ ОШИБКА ФИЗИКИ

Дубровский П.И.

1. Введение

Пожалуй, самой основной, самой важной ценностной установкой в парадигме современной теоретической физики, начиная с механики, является закон сохранения энергии. Так, например, российская Википедия сегодня заявляет (цитирую): «***Закон сохранения энергии – фундаментальный закон природы, установленный эмпирически*** *и заключающийся в том, что для изолированной физической системы может быть введена скалярная физическая величина, являющаяся функцией параметров системы и называемая энергией, которая сохраняется с течением времени. Поскольку закон сохранения энергии относится не к конкретным величинам и явлениям, а* ***отражает общую, применимую везде и всегда, закономерность****, его можно именовать не законом, а* ***принципом сохранения энергии***».

То есть утверждается, что это уже не просто физический закон, а уже некий незыблемый философский принцип. И это мнение, эту веру, как я понимаю, ныне разделяют десятки тысяч профессиональных физиков и сотни миллионов более-менее образованных обывателей по всему миру.

Мне неудобно всех их разочаровывать, но тот закон сохранения энергии, который мы все прекрасно знаем ещё со школьной скамьи, никогда не был установлен эмпирически, то есть опытным путём. Хотя кое-какие опыты в этом направлении проводились (например, опыты Джоуля) – их нельзя считать репрезентативными, ни, тем более, полными, всеобъемлющими. Более того, то, что в механике принято считать за кинетическую $mV^2/_2$ и потенциальную mgh энергии, на самом деле энергией, которая «сохраняется», не являются. Да и вообще эти величины вряд ли можно считать энергией, которая позволяет совершить ту или иную работу.

2. Физический смысл уравнения $mgh + {mV^2}/{2} = const$

Каждая новая идея в человеческом восприятии почти неизбежно проходит через три стадии.

Первая: *то, что вы предлагаете – полный бред!*

Вторая: *это и так всем очевидно!*

И третья: *мы сами первые это сказали!*

Сейчас идея о том, что закон сохранения энергии в его нынешнем виде – глупость, проходит первую стадию. Поэтому многие граждане, не разобравшись в вопросе, тут же кинулись оскорблять меня, дескать, я ничего не понимаю даже в школьной физике, да и вообще…

Поэтому я решил в этой статье заблаговременно разъяснить, что я вовсе не отрицаю уравнение $mgh + {mV^2}/{2} = const$, или, его частного случая $mgh = {mV^2}/{2}$, когда тело находится в свободном падении с нулевой начальной скоростью. Давайте разберёмся, в чём состоит физический смысл этого уравнения.

Всем образованным людям с 7 или 8-го класса средней школы известно уравнение:

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2} \tag{2.1}$$

Физический смысл этого уравнения в том, что путь *S*, пройденный телом при равноускоренном движении за время *t* равен сумме произведения начальной скорости V_0 на время *t* и половине произведения ускорения *a* на квадрат времени *t*.

В случае свободного падения, при $V_0 = 0$, получаем:

$$h = \frac{gt^2}{2} \tag{2.2}$$

Это уравнение тоже имеет ясный физический смысл: при свободном падении с нулевой начальной скоростью за время *t* падающее тело пролетает расстояние *h*, равное половине произведения ускорения свободного падения g на квадрат времени *t*.

Из уравнения (2.2) можно вывести и уравнение для определения времени свободного падения тела с высоты h:

$$t = \sqrt{2h/g}. \qquad (2.3)$$

Это выражение тоже имеет ясный физический смысл: время t падения материального тела с высоты h равно квадратному корню удвоенной высоты падения на ускорение свободного падения g.

Согласно правилам математики, если умножить или разделить – и правую, и левую части уравнения на константу, то уравнение и после этого останется уравнением. Но, к сожалению, при этом может потеряться физический смысл этого выражения, о чём физико-математики, физико-теоретики постоянно забывают.

Так, например, мы можем разделить и правую, и левую части уравнения (2.2) на возраст Готтфрида Лейбница в момент написания им работы «Acta Eruditorum», на количество предметов в столовом сервизе Лейбница или же умножить на количество яиц, приносимых любимой курицей-пеструшкой Лейбница в течение недели. Сохранится ли при этом физический смысл уравнения (2.2)? – По моему мнению – вряд ли.

Но если мы умножим правую и левую части уравнения (2.2) на величину силы тяжести $G = mg$, действующей на некое материальное тело массой m, то – интересно – при этом сохраняется некая видимость сохранения физического смысла выражения, так как используем мы чисто физические величины – массу тела и ускорение? –

$$h = \frac{gt^2}{2} \,|\times mg$$

Тогда получим:

$$mgh = \frac{mg^2t^2}{2}$$

И, так как $gt = V$, в результате получим:

$$mgh = \frac{mV^2}{2} \qquad (2.4)$$

Это выражение математически верно. Но имеет ли уравнение (2.4) какой-то физический смысл?

Уравнение (2.2), из которого мы получили это уравнение (2.4) – имеет. Но дело в том, что выражение $mgh = Gh$ (произведение силы, действующей на материальное тело на перемещение этого материального тела), как я покажу в дальнейшем, не наделено физическим смыслом и не может рассматриваться в качестве «*скалярной физической величины, которая является функцией параметров системы и … сохраняется с течением времени*». Поэтому точно с таким же успехом можно искать физический смысл в уравнении $nh = ngt^2/2$, где n – это количество яиц от упомянутой выше курицы-пеструшки.

3. В чём именно заключается ошибка картезианцев и Готтфрида Лейбница (часть 1 – Не все *mgh* одинаково полезны)

Как-то мне попалась в руки статья Готтфрида Вильгельма Лейбница «Против картезианцев, о законах природы и истинной оценке движущих сил» (перевод с латыни Я.М. Боровского), в которой я прочитал следующее:

«*Многие измеряют силу произведением массы на скорость, то есть количеством движения, отсюда и картезианцы выводят, что в природе сохраняется одно и то же количество движения. Возражая против этого, я показал («Acta Eruditorum», март 1686 г., с. 161), что если, **как это обычно допускают, и прежде всего, сами картезианцы, одна и та же энергия потребна для поднятия одного фунта на четыре фута и четырёх фунтов на один фут**, то нельзя измерять силу количеством движения и тело в четыре фунта со скоростью, измеряемой единицей, не равносильно телу в один фунт со скоростью, измеряемой четырьмя единицами, ибо если первое может поднять один фунт на четыре фута, то второе может поднять его на шестнадцать футов. **Пытаясь возражать против этого моего рассуждения, некоторые учёные так запутались**, что приходится предположить недостаточное понимание вопроса, когда они допускают оценку энергии пропорционально массе и высоте, на которую масса, или тяжесть, может быть поднята*», (Замечу, что в оригинале статьи вместо термина «энергия» Лейбниц используется термин «живая сила»).

И тут я внезапно понял, что именно этот коротенький абзац и явился тем самым фундаментом, на котором и был построен сперва закон сохранения механической энергии, который потом распространили на всю теоретическую физику. И никому не пришло в голову узнать, почему же «... *так запутались некоторые учёные*» и насколько достоверно допущение, что «... *одна и та же энергия потребна для поднятия одного фунта на четыре фута и четырёх фунтов на один фут*».

Странно, подумалось мне при первом прочтении этого отрывка, над чем же путались учёные, когда в школе переход потенциальной энергии mgh в кинетическую $mV^2/_2$ излагался предельно ясно, прозрачно и понятно. Но внезапно я осознал, в чём дело. Ведь тела различной массы, падая на Землю с разных высот, но первоначально имея одну и ту же «потенциальную энергию» mgh, к моменту удара о Землю приобретают разное количество движения mV.

И, действительно: количество движения, которое приобретёт тело массой 1 фунт, упав с высоты в 4 фута, не будет равно импульсу, которое приобретёт тело массой 4 фунта, упав с высоты 1 фут.

Продемонстрируем это. Так как величина «импортного» ускорения свободного падения $g = 32{,}17\ \text{фут}/c^2$, то есть 32,17 фута в секунду за секунду, в первом случае имеем:

$$p_1 = m_1 V_1 = m_1\sqrt{2gh_1},$$

$$p_1 = 1\ \text{фунт} \times \sqrt{2 \times 32{,}17\,\frac{\text{фут}}{c^2} \times 4\ \text{фута}} =$$
$$= 16{,}04\ \text{футофунта в секунду}.$$

Во втором:

$$p_2 = m_2 V_2 = m_2\sqrt{2gh_2}$$

$$p_2 = 4\ \text{фунта} \times \sqrt{2 \times 32{,}17\,\frac{\text{фут}}{\text{c}^2} \times 1\ \text{фут}} =$$
$$= 32{,}08\ \text{футофунта в секунду}.$$

Как прекрасно видно, количество движения $p_2 = m_2 V_2 = 32{,}08$ футофунта в секунду, которое, в соответствии со вторым законом Ньютона может быть превращено в импульс силы Ft , получилось в 2 раза больше количества движения $p_1 = m_1 V_1 = 16{,}04$. футофунта в секунду.

То есть при равной начальной mgh, во втором случае при вчетверо меньшей высоте подъёма, но вчетверо большей массе падающего тела, можно получить в два раза больший импульс силы Ft, чем в первом случае. Что, надо отметить, многих приводит в некоторое смущение, так как обычно они ожидают получить прямо противоположный результат.

Отмечу, что я специально различаю понятия «количество движения» mV и «импульс силы» Ft, так как, хоть эти величины и имеют одинаковую размерность, и переходят при соударении материальных тел из одного в другое, – в соответствии с законом сохранения количества движения и перехода количества движения в импульс силы (назовём этот **правильный,** неоднократно проверенный экспериментально закон сохранения настоящей механической энергии таким образом), эти величины имеют совершенно различный физический смысл.

Можно продемонстрировать этот эффект в более понятных нам единицах измерения – в килограммах и в метрах. Сравним величины количества движения, которые приобретут тело А массой 1 *кг* с высоты падения 20 метров и тело В массой 20 *кг* с высоты падения в 1 метр. «Потенциальная энергия» $E_\Pi = mgh$ обоих тел перед началом падения была одинакова и равнялась $196{,}2\ \text{кг}\cdot \text{м}^2/\text{с}^2$. Однако в момент удара о Землю тело А и тело В приобрели разные количества движения – отличающее по величине почти в 4,5 раза:

$$p_A = m_A V_A = m_A\sqrt{2gh_A} = 1\ \text{кг}\sqrt{2\times 9{,}81\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\times 20\ \text{м}} = $$
$$= 19{,}81\ \text{кг}\cdot\text{м/с},$$

$$p_B = m_B V_B = m_B\sqrt{2gh_B} = 20\ \text{кг}\sqrt{2\times 9{,}81\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\times 1\ \text{м}} = $$
$$= 88{,}59\ \text{кг}\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Теперь встаёт вопрос, как можно распорядиться этим количеством движения. Дело в том, что, как я с удивлением обнаружил, многие люди, вроде бы даже неплохо разбирающиеся в физике, не понимают физического смысла импульса силы. Чем больше импульс силы Ft, тем большую работу (при одних и тех же условиях) можно совершить, даже если считать за работу, как это принято сейчас, $A = FS \cdot cos\alpha$. Если, к примеру, $F_\text{В} t_\text{В} = 4{,}5 F_\text{А} t_\text{А}$, то, при условии, $F_\text{В} = F_\text{А}$, время действия этой силы в случае «В» будет в 4,5 раза больше, чем в случае «А»: $t_\text{В} = 4{,}5 t_\text{А}$. До многих этот простой факт просто не доходит.

Поэтому приведу простой и понятный пример. Допустим, вы едете на своём автомобиле по горизонтальной дороге с одной и той же скоростью 60 *км/час*, при этом двигатель Вашего авто создаёт одну и ту же «движущую силу» F, которая расходуется на преодоление всех сил сопротивления движению в данном случае – силы сопротивления качению (F_f) и силы сопротивления воздуха (F_w). Если во втором случае двигатель автомобиля будет работать в 4,5 раза дольше, чем в первом, то, соответственно, и сам автомобиль во втором случае уедет на расстояние в 4,5 раза дальше.

Вернёмся к примеру с телами А и В. Предположим, мы смогли 100%-но преобразовать приобретённое в результате падения количество движения в импульс силы.

Воздействуем на некое покоящееся тело С массой 1 *кг* тело силой, равной 19,81Н в течение 1 секунды (импульсом, который можно получить при падении тела А = 19,81 *кг·м/с*). В результате тело С приобретёт скорость:

$$V_{CA1} = V_0 + at = 0 + \frac{F}{m_C} t = \frac{19{,}81}{1} \times 1 = 19{,}81 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Соответственно, его «кинетическая энергия имени Лейбница» после воздействия импульса силы p_Aбудет равна:

$$K_{CA1} = \frac{m_c V_c^2}{2} = \frac{1 \times 19{,}81^2}{2} = 196{,}2\ \text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Воздействуем на тело С силой 1,0Н в течение 19,81 секунд (величина импульса силы та же – 14,0 кг·м/с).

$$V_{CA2} = V_0 + at = 0 + \frac{F}{m_C}t = \frac{1}{1} \times 19{,}81 = 19{,}81\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Соответственно, его «кинетическая энергия» будет равна той же величине

$$K_{CA2} = \frac{m_c V_c^2}{2} = \frac{1 \times 19{,}81^2}{2} = 196{,}2 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Как видно, приобретённая скорость материального тела С не зависит от способа передачи импульса, от времени взаимодействия, а зависит только от величины импульса.

Теперь воздействуем на тело С массой 1 *кг* тело импульсом, который можно получить при падении тела В =88,59 *кг·м/с*, допустим, силой, равной 88,59Н в течение 1 секунды. В результате тело С приобретёт скорость:

$$V_{CB} = V_0 + at = 0 + \frac{F}{m_C}t = \frac{88{,}59}{1} \times 1 = 88{,}59 \text{ м/с}.$$

Соответственно, «кинетическая энергия имени Лейбница» тела С после воздействия импульса силы $p_{\text{В}}$будет равна:

$$K_{C\text{В}} = \frac{m_c V_c^2}{2} = \frac{1 \times 88{,}59^2}{2} = 3924{,}1 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Получилось, что приобретённая телом С «кинетическая энергия» во втором случае (3924,1 $кг{\cdot}м^2/с^2$) в 20 раз больше, чем в первом(196,2 $кг{\cdot}м^2/с^2$), несмотря на то, что тела А и В перед началом падения имели одну и ту же «потенциальную энергию», равную

$$mgh = 196{,}2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2.$$

То есть, без каких-либо серьёзных проблем мы, благодаря нынешнему «закону сохранения энергии», сможем увеличить начальную механическую энергию ни много ни мало, а в 20 раз. Ту самую энергию, про которую в «Физической энциклопедии» под редакцией академика А.М. Прохорова написано: статья ЭНЕРГИЯ, цитирую – «*энергия ни возникает из ничего и не исчезает, она может только переходить из одной формы в другую*».

Чепуха какая-то получается, реникса (renyxa). Nonsence, то есть бессмыслица. – Кому и чему верить?

Надеюсь, после этого небольшого экскурса в механику стало понятно, что же так запутывало учёных XVII века?

4. В чём именно заключается ошибка картезианцев и Готтфрида Лейбница (часть 2 – Неверное допущение)

Как я, наконец, разобрался в этом вопросе, ошибка заключается в неверном допущении учёных XVII века, вновь процитирую Готтфрида Лейбница: «… ***как это обычно допускают, и прежде всего, сами картезианцы, одна и та же энергия потребна для поднятия одного фунта на четыре фута и четырёх фунтов на один фут***». Именно это допущение и было принципиально неверным; и именно это допущение и оказало роковое влияние на всё дальнейшее развитие физики со второй половины XVII века до сегодняшних дней, то есть на протяжении вот уже 350-ти лет.

В принципе, эта ошибка вполне объяснима. Учёные в те годы решали чисто практические задачи в области «натуральной философии» (так тогда называлась область знаний, которая впоследствии стала физикой). А чисто практические задачи были таковы: надо было доставлять грузы, например, V[in] из места B[ordeau] в город P[aris] на расстояние более 120 лье (примерно 600 *км*). А «движущая сила», которую могли использовать в те времена – это чаще всего мускульная сила людей и лошадей (силу ветра для судов не всегда было возможно использовать, особенно на реках), которые обычно тащили за собой по грунтовым и брусчатым дорогам повозки, телеги, или, по рекам и каналам – баржи и лодки. Соответственно, и работа измерялась в FS, в потребной «движущей силе», силе тяги F в фунтах для перевозки того или иного груза на столько-то лье S.

Другой вид работ заключался в подъёме полезных ископаемых из шахт и осушение этих шахт – и тут тоже чаще всего использовалась мускульная сила людей и лошадей. И долгое время те или иные устройства, насосы рассчитывались по количеству фунтов, поднятых на высоту в столько-то футов (mgh). На протяжении столетий, начиная с самых первых паровых двигателей Томаса Ньюкомена, продолжая паровыми двигателями, усовершенствованными «отцом гражданской инженерии» Джоном Смитоном, двигателями, изготовленными великим рационализатором и изобретателем Джеймсом Уаттом и его деловым партнёром Мэттью Болтоном оценивались по показателю «duty», дьюти, – это «*количество футо-фунтов воды, поднятых из шахты паровым двигателем при сжигании в его топке одного бушеля самого качественного нью-касльского угля*».

Но, к сожалению, такой подход был ошибочным. Это была физика XVII века, а мы уже живём в XXI веке.

Предлагаю построить своё объяснение на примере решения простой (как кажется на первый взгляд) задачи из школьного учебника «Физика. 10 класс»: учебник для общеобразовательных организаций с приложением на электронном носителе: базовый уровень / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. Н.А. Парфеньтьевой– М.: Просвещение, 2014. Отмечу, что на учебник получено положительное заключение научной экспертизы Российской академии наук.

Задача А1 из §45 учебника «Закон сохранения энергии в механике». –

Тело массой 1 *кг*, брошенное вертикально вверх с поверхности Земли, достигло максимальной высоты 20 *м*. С какой по модулю скоростью двигалось тело на высоте 10 *м*? Сопротивление воздуха не учитывайте.

1) 7 *м/с* 2) 10 *м/с* 3)14,1 *м/с* 4) 20 *м/с*

Кажется, что задача не стоит выеденного яйца. Однако не всё так просто.

Мне в который раз вспоминаются замечательные слова, написанные ещё в конце XVII века членом Королевской Академии наук в Париже, профессором математики коллежа Мазарини мсье **Пьером Вариньоном** в его книге «Новые предположения о весе» [M. Varignon «Nouvelles conjéctures sur la pesanteur». Paris, 1690.], я наткнулся на следующую фразу: «*Mais ons'apperçoit bientôt, que les choses qui nous paroissent les plus simples & les plus aisées à concevoir, quand on ne les regarde qu'en gros & superficiellement, paroissent tres-difficiles & tres-composées, dès qu'on veut les approfondir & les examiner en détail*».

Вот мой перевод: «*Но вскоре мы понимаем, что вещи, которые представлялись нам очень простыми и очень лёгкими для понимания, когда мы смотрим на них в целом и поверхностно, представляются весьма трудными, весьма сложными, как только мы хотим более детально вникнуть в их суть*» .

А суть такова: Н.Н. Сотский, написавший раздел «Механика» в упомянутом выше учебнике «Физика. 10 класс», посчитал, что лишь один ответ – правильный. А на самом деле, если подойти к решению этой задачи как положено, таких, правильных ответов, там целых три. Смотрим решение:

Вывод формул для расчёта подъёма тела массой *m* на высоту *h*

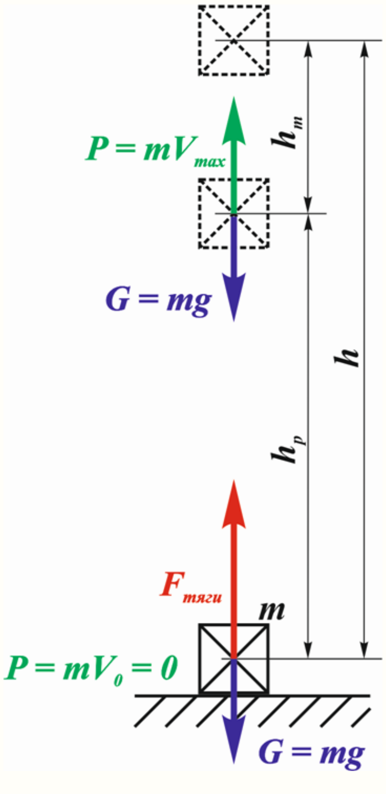

Рис 4.1 Расчётная схема подъёма тела массой m на высоту h

Подъём груза включает два этапа:

Первый этап – РАЗГОН.

1. Отрыв тела от “стартовой площадки” (от поверхности Земли) и разгон тела до некоей скорости $\boldsymbol{V_{max}}$ под действием “движущей силы”, силы тяги $\boldsymbol{F_{тяги} > G = mg}$, производимый в течение времени разгона $\boldsymbol{t_p}$. За это время тело поднимется на некоторую высоту $\boldsymbol{h_p}$ и приобретёт импульс (количество движения) $\boldsymbol{P = mV_{max}}$.

Второй этап – ТОРМОЖЕНИЕ.

2. Торможение тела в течение времени $\boldsymbol{t_m}$ с тем, чтобы при достижении заданной высоты $\boldsymbol{h}$, скорость тела была равна нулю. Наиболее рациональным представляется осуществление торможения исключительно за счёт силы тяжести при полностью отключённой силе тяги $\boldsymbol{F_{тяги} = 0}$. За время торможения тело поднимется за счёт накопленного во время разгона импульса на высоту $\boldsymbol{h_p}$.

Очевидно, что полная высота подъёма складывается из высоты подъёма за время разгона и высоты подъёма во время торможения (см. рис. 4.1):

$$h = h_{\text{р}} + h_{\text{т}}. \tag{4.1}$$

Также очевидно, что:

$$V_{max} = V_0 + (a - g)t_{\text{р}} = (a - g)t_{\text{р}} \tag{4.2}$$

$V_{max} - gt_{\text{т}} = 0$, откуда

$$V_{max} = gt_{\text{т}}. \tag{4.3}$$

Из уравнений (4.2) и (4.3) получаем:

$$(a - g)t_{\text{р}} = gt_{\text{т}} \tag{4.4}$$

$$at_{\text{р}} - gt_{\text{р}} = gt_{\text{т}}$$

$$at_{\text{р}} = gt_{\text{р}} + gt_{\text{т}}.$$

В результате:

$$a = g\frac{t_{\text{р}} + t_{\text{т}}}{t_{\text{р}}}. \tag{4.5}$$

Как известно, перемещение $\boldsymbol{S}$ в общем виде равно:

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Поэтому

$$h_р = \frac{(a-g)t_р^2}{2} \tag{4.6}$$

$$h_т = V_{max}\, t_т - \frac{g t_т^2}{2} \tag{4.7}$$

Подставим в уравнение (4.1) выражения (4.6) и (4.7):

$$h = \frac{(a-g)t_р^2}{2} + V_{max}\, t_т - \frac{g t_т^2}{2} \tag{4.8}$$

И подставим в уравнение (4.8) выражение (4.3):

$$h = \frac{a t_р^2}{2} - \frac{g t_р^2}{2} + g t_т t_т - \frac{g t_т^2}{2}$$

$$h = \frac{a t_р^2}{2} - \frac{g t_р^2}{2} + \frac{g t_т^2}{2}$$

Тогда:

$$2h = a t_р^2 - g t_р^2 + g t_т^2$$

$$2h = (a-g) t_р^2 + g t_т^2$$

$$2h - g t_т^2 = (a-g) t_р^2$$

$$(a-g) t_р^2 = 2h - g t_т^2$$

$$t_р^2 = \frac{2h - g t_т^2}{a-g}$$

$$t_р = \sqrt{\frac{2h - g t_т^2}{a-g}} \tag{4.9}$$

Ещё раз перепишем уравнение (4.4):

$$(a-g) t_р = g t_т$$

Подставим в уравнение (4.4) выражение (4.9):

$$(a-g)\sqrt{\frac{2h - g t_т^2}{a-g}} = g t_т$$

$$\sqrt{(a-g)(2h-gt_т^2)} = gt_т$$

$$(a-g)(2h-gt_т^2) = g^2t_т^2$$

$$a-g = \frac{g^2t_т^2}{2h-gt_т^2}$$

$$a = g + \frac{g^2t_т^2}{2h-gt_т^2} \qquad (4.10)$$

Таким образом, задаваясь временем торможения $\boldsymbol{t_m}$, на второй этап подъёма тела на высоту $\boldsymbol{h}$(торможение), можно определить, с каким ускорением должно подниматься тело во время первого этапа подъёма – во время разгона, а, значит, и определить необходимую величину «движущей силы» – силы тяги:

$$F_{тяги} = ma \qquad (4.11)$$

А с помощью уравнения (9) можно определить и требуемое время действия этой силы, время, требуемое на разгон:

$$t_р = \sqrt{\frac{2h-gt_т^2}{a-g}} \qquad (4.9)$$

Максимальную скорость, которой достигнет тело, следует определять по формулам (4.2) и (4.3) – результаты должны совпадать. Это одна проверка правильности вычислений.

По формулам (4.6) и (4.7) определяются высота подъёма тела во время каждого из этапов – во время разгона и во время торможения. Сумма этих высот должна равняться $\boldsymbol{h}$, в нашей задаче это 20 метров. Это вторая проверка правильности вывода формул для решения задачи.

Но основной вопрос задачи из учебника – какова же будет скорость тела на высоте 10 метров?

Здесь возможны 2 варианта:

ПЕРВЫЙ – когда высота разгона больше 10 метров.

Тогда:

$$10\ \text{м} = \frac{(a-g)t_{10}^2}{2}$$

Отсюда:

$$t_{10} = \sqrt{\frac{20}{a-g}}$$

Соответственно, скорость на высоте 10 метров если $\boldsymbol{h_p}$> 10 *м*

$$V_{10} = (a-g)\sqrt{\frac{20}{a-g}} = \sqrt{20(a-g)}.$$

ВТОРОЙ вариант – когда высота разгона менее 10 метров.
Тогда:

$$V'_{10} = V_{max} - gt'_{10} \tag{4.13}$$

Требуется определить время, за которое тело преодолеет отрезок пути между точкой завершения этапа разгона и высотой 10 метров.

$$h'_{10} = 10\ \text{м} - h_\text{р} \tag{4.14}$$

$$h'_{10} = V_{max}\, t'_{10} - \frac{g t'^2_{10}}{2} \tag{4.15}$$

$$10 - h_\text{р} = V_{max}\, t'_{10} - \frac{g t'^2_{10}}{2}.$$

Получаем «стандартное» квадратное уравнение:

$$\frac{g t'^2_{10}}{2} - V_{max}\, t'_{10} + (10 - h_\text{р}) = 0 \tag{4.16}$$

Корни этого квадратного уравнения (если кто не забыл математику на уровне 7 класса средней школы):

$$t'_{10} = \frac{V_{max} \pm \sqrt{(-V_{max})^2 - 4\frac{g}{2}(10 - h_\text{р})}}{2\,\frac{g}{2}}$$

$$t'_{10} = \frac{V_{max} \pm \sqrt{V_{max}^2 - 2g(10 - h_\text{р})}}{g}$$

Тогда:

$$V_{10}^{'} = V_{max} - g\frac{V_{max} \pm \sqrt{V_{max}^{2} - 2g(10 - h_{\text{р}})}}{g}$$

$$V_{10}^{'} = V_{max} - V_{max} \pm \sqrt{V_{max}^{2} - 2g(10 - h_{\text{р}})}$$

$$V_{10}^{'} = \pm\sqrt{V_{max}^{2} - 2g(10 - h_{\text{р}})}.$$

Разумеется, отрицательные значения отбрасываются, так как время не может быть отрицательным. Поэтому, если $\boldsymbol{h_p}$< 10 *м*, то:

$$V_{10}^{'} = \sqrt{V_{max}^{2} - 2g(10 - h_{\text{р}})} \tag{4.17}$$

Подставим в это уравнение (17) выражения (2) и (7):

$$V_{10}^{'} = \sqrt{\left((a-g)t_{\text{р}}\right)^{2} - 2g\left(10 - \frac{(a-g)t_{\text{р}}^{2}}{2}\right)}$$

Упростим:

$$V_{10}^{'} = \sqrt{(a-g)^{2}t_{\text{р}}^{2} - 20g + g(a-g)t_{\text{р}}^{2}}$$

$$V_{10}^{'} = \sqrt{(a^{2} - 2ag + g^{2})t_{\text{р}}^{2} - 20g + (ag - g^{2})t_{\text{р}}^{2}}$$

$$V_{10}^{'} = \sqrt{(a^{2} - ag)t_{\text{р}}^{2} - 20g}$$

$$V_{10}^{'} = \sqrt{a(a-g)\frac{2h - gt_{\text{т}}^{2}}{a-g} - 20g}$$

$$V_{10}^{'} = \sqrt{a(2h - gt_{\text{т}}^{2}) - 20g} \tag{4.18}$$

Учитывая, что (см. уравнение 10):

$$a = g + \frac{g^2 t_т^2}{2h - g t_т^2}$$

получаем:

$$V_{10}' = \sqrt{\left(g + \frac{g^2 t_т^2}{2h - g t_т^2}\right)(2h - g t_т^2) - 20g}$$

Упростим:

$$V_{10}' = \sqrt{2gh - g^2 t_т^2 + g^2 t_т^2 - 20g}$$

Так как полная высота ***h*** = 20 метров, получаем:

$$V_{10}' = \sqrt{2g \times 20 - 20g}$$

$$V_{10}' = \sqrt{20g} = \sqrt{20 \times 9{,}81} = 14{,}007 \text{ м/с}$$

Представим, что тело массой 1 *кг* мы будем поднимать на высоту 20 *м* при помощи твердотопливных двигателей для моделей ракет, аналогичных изображённому на рисунке 4.2 РД1-10-5. Максимальная паспортная тяга этих двигателей – 14 Н, средняя – примерно 7,5 Н. Предположим, у нас имеются модельные ракетные двигатели, «невесомые», с постоянной тягой в 5 Н, с неограниченной продолжительностью работы.

Рис. 4.2 Твердотопливный двигатель для моделей ракет

Очевидно, что если попытаться поднять тело массой 1 *кг* одним двигателем с тягой в 5 Н (0,49 *кгс*), то ничего не получится, так как сила тяжести (***G = mg***= 9,81 Н = 1 *кгс*) почти вдвое превышает "движущую силу", то есть силу тяги, создаваемую одним двигателем.

Если же мы используем для подъёма тела массой 1 *кг* одновременно два и более двигателей с тягой 5 Н, то величина движущей силы будет равна произведению количества разгонных двигателей ***n*** на тягу одного. Используя два двигателя, мы получаем силу тяги в 10 Н, при использовании трёх – силу тяги в 15 Н, четырёх – в 20 Н, пяти – в 25 Н.

Результаты некоторых расчётов по указанным выше формулам сведены в таблицу 4.1. Как можно увидеть, есть варианты, при которых скорость тела при прохождении 10-метровой отметки равна 7 и 10 метров в секунду.

Если разгон тела происходит быстрее, чем тело преодолеет отметку в 10 *м* высоты, то тело должно пойти эту отметку со скоростью 14,007 *м/с*. Указанное в учебнике значение 14,1 *м/с* – видимо, опечатка. Должно быть 14,01 *м/с*, если округлять до сотых. ☺

Но нам более интересны два других возможных решения. Дело в том, что в зависимости от приложенной величины силы тяги, и, соответственно, от времени действия этой силы, мы можем получить любые другие скорости тела при прохождении им отметки 10 метров высоты – от близкой к нулю до максимально возможной 10,007 *м/с*.

Если дотошно проверять эту таблицу, то может показаться, что в ней закрались ошибки. Но это не так. Результаты, приведённые в таблице, подсчитывалисьв Excel'ом. Я задавался при расчётах временем торможения, все остальные параметры высчитывались в соответствии с выведенными выше формулами. Полученные результаты округлялись до третьего знака после запятой, поэтому, если рассчитывать подъём, задаваясь, например, силой тяги может наблюдаться некоторое несоответствие в последних значащих цифрах. Что было замечено ранее одним из моих читателей, который настырно пытался доказать мне, что я где-то допустил ошибку.

Строки с расчётами всех параметров подъёма при таких величинах силы тяги $\boldsymbol{F_{тяги}}$ представлены в таблице 4 1.

А теперь – самое важное. Определим общее время работы *T* всех двигателей при каждом варианте.

$$T = n \times t_{\text{р}}$$

Как видно, при использовании двух разгонных двигателей общая продолжительность работы двигателей равна

$$T_2 = n \times t_{\text{р}} = 2 \times 14{,}389 = 28{,}78 \text{ с}$$

Соответственно

$$T_3 = 3 \times 2{,}244 = 6{,}73\ \text{с}$$
$$T_4 = 4 \times 1{,}386 = 5{,}54\ \text{с}$$
$$T_5 = 5 \times 1{,}017 = 5{,}08\ \text{с}$$

Таблица 4.1

Варианты решения задачи А1 §45 учебника «Физика. 10 класс»

Кол-во разг.двиг.	Сила тяги, Н $F_{тяги}$	Время разгона, с t_p	Время торможения с t_m	Макс скорость тела, м/с V_{max}	Высота отрезка разгона, м, h_p	Отрезок торможения м, h_m	Скорость тела на высоте 10 м, м/с	Общее время работы двиг., с
	9,811	203,854	0,020	0,196	19,998	0,002	0,139	
	9,834	40,675	0,100	0,981	19,951	0,049	0,695	
	9,907	20,187	0,200	1,962	19,804	0,196	1,394	
2	**10,000**	14,389	0,278	2,727	19,621	0,379	1,947	**28,78**
	10,211	9,794	0,400	3,924	19,215	0,785	2,831	
	10,451	7,655	0,500	4,905	18,774	1,226	3,580	
	10,760	6,196	0,600	5,886	18,234	1,766	4,359	
	11,150	5,125	0,700	6,867	17,597	2,403	5,177	
	11,636	4,297	0,800	7,848	16,861	3,139	6,044	
	12,260	3,614	0,903	8,855	16,003	3,997	**7,000**	
	12,998	3,077	1,000	9,810	15,095	4,905	7,985	
	13,950	2,607	1,100	10,791	14,065	5,935	9,099	
	14,810	2,302	1,173	11,510	13,248	6,752	**10,000**	
3	**15,003**	2,244	1,188	11,654	13,077	6,923	10,191	**6,73**
	18,890	1,512	1,400	13,734	10,386	9,614	13,476	

Кол-во разг.двиг.	Сила тяги, Н $F_{тяги}$	Время разго на, с t_p	Время тормо-жения с t_m	Макс ско-рость тела, м/с V_{max}	Высота отрезка разго-на, м, h_p	Отре-зок тормо жения м, h_m	Ско-рость тела на высоте 10 м, м/с	Общее время работы двиг., с
4	**20,019**	1,386	1,442	14,146	9,801	10,199	**14,007**	**5,54**
5	**25,000**	1,017	1,574	15,441	7,848	12,152	**14,007**	**5,08**
	33,685	0,699	1,700	16,677	5,825	14,175	**14,007**	
	47,763	0,465	1,800	17,658	4,108	15,892	**14,007**	
	85,567	0,246	1,900	18,639	2,293	17,707	**14,007**	
	127,44	0,162	1,940	19,031	1,540	18,460	**14,007**	
	135,84	0,151	1,945	19,080	1,444	18,556	**14,007**	
	145,46	0,141	1,950	19,130	1,349	18,651	**14,007**	
	156,58	0,131	1,955	19,179	1,253	18,747	**14,007**	
	169,58	0,120	1,960	19,228	1,157	18,843	**14,007**	
	184,97	0,110	1,965	19,277	1,061	18,939	**14,007**	
	203,48	0,100	1,970	19,326	0,964	19,036	**14,007**	
	226,18	0,090	1,975	19,375	0,867	19,133	**14,007**	
	254,66	0,079	1,980	19,424	0,770	19,230	**14,007**	

Очевидно, что если двигатели однотипные, то количество затраченной на подъём энергии прямо пропорционально общему времени работы всех разгонных двигателей.

Таким образом, мы пришли к совершенно неожиданному для всех ныне живущих физико-теоретиков, да и простых обывателей, получивших нормальное школьное образование, что **количество энергии, которую требуется затратить на подъём одного и того же материального тела** (в нашем случае массой 1 *кг*) **на одну и ту**

же высоту (в нашем случае – на высоту 20 *м*) **может существенно различаться; и зависит от величины подъёмной силы**.

А это, если кто не понял, полностью противоречит тому, что утверждается в школьных учебниках и в курсах лекций по механике – **противоречит нынешнему закону сохранения энергии.**

5. Второй вариант решения задачи из учебника

Почему-то никто не обращает внимания на простой факт: если какому-то телу массой $\boldsymbol{m}$ уже придана какая-то начальная скорость $\boldsymbol{V_0}$, то, чем больше эта скорость, то при одной и той же силе тяги, равной силе тяжести $F_{\text{тяги}} = G = mg$ количество затраченной на подъём тела энергии также может отличаться в разы. Тут всё предельно просто. Если телу с какой-то начальной вертикальной скоростью $\boldsymbol{V_0}$, надо подняться на высоту 20 метров при условии равномерного подъёма ($F_{\text{тяги}} = G = mg$), то время подъёма будет равно $t = {}^{h}/_{V_0} = {}^{20}/_{V_0}$.

Соответственно, и затраты энергии на создание одной и той же силы тяги будут прямо пропорциональны этому времени t.

Смотрим рисунок 5.1. Очевидно, что при одинаковых затратах на создание силы тяги при начальной скорости $V_1 = 20$ м/с количество затраченной на подъём энергии будет в 20 раз меньше, если начальная скорость тела будет равна всего $V_3 = 1$ м/с.

Но ведь, чтобы развить эту самую начальную скорость, тоже надо затратить какую-то энергию. Поэтому давайте решим ту же самую задачу по подъёму груза массой 1 кг на высоту 20 метров при следующих условиях:

1. Старт на отметке в 0 метров высоты.
2. Ускорение свободного падения равно 9,81 м/с^2.
3. В течение некоторого времени разгона $t_{\text{р}}$ подъёмный двигатель (это может быть как ракетный двигатель, так и электрический двигатель лебёдки, создаёт силу тяги, равную удвоенной силе тяжести $F_{\text{тяги}} = 2G = 2mg$, после чего включается «нормальный режим» тяги, когда силя тяги равна силе тяжести $F_{\text{тяги}} = G = mg$, то есть дальнейший подъём осуществляется равномерно со скоростью, набранной во время разгона.

4. В определённый момент двигатель выключается и остаток пути тело продолжает набирать высоту по инерции, таким образом, чтобы на отметке в 20 м скорость тела стала равной 0.

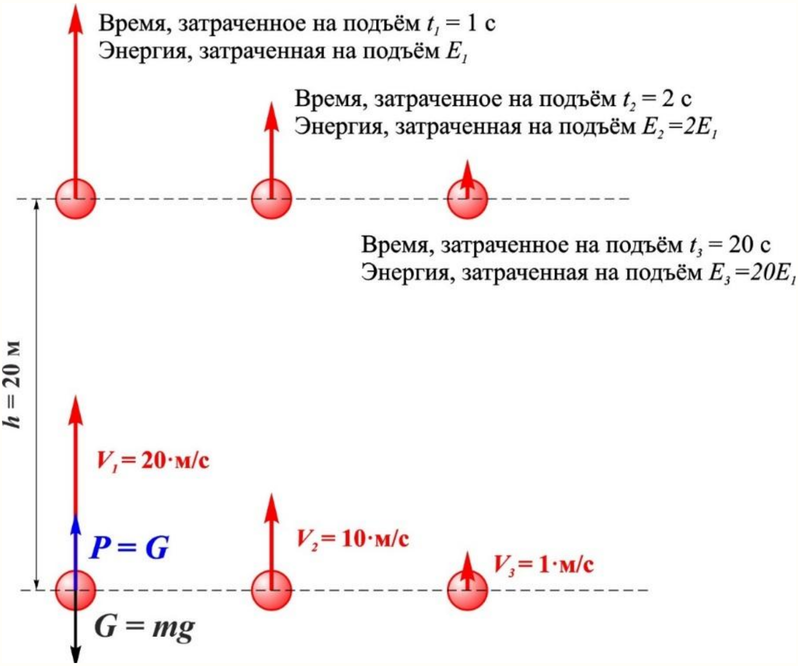

Рис. 5.1 Затраты энергии на подъём одного и того же тела на одну и ту же высоту, при силе тяги, равной силе тяжести, зависят от начальной скорости тела

Результаты вычислений по данной задаче сведены в таблицу 5.1.

Формулы для расчёта должны быть известны каждому, кто действительно получил нормальное среднее образование, а не просто «аттестат зрелости». Тем, кто не смог осилить физику на уровне средней школы, эту статью лучше не читать. Поэтому я не стану ещё раз переписывать в эту статью формулы из школьных учебников.

Таблица 5.1

Сравнительные затраты энергии на подъём тела массой 1 кг на высоту 20 метров

Время разгона, t_p *секунд*	Набранная скорость, *метров в секунду*	Путь, пройденный во время разгона, *метров*	Путь, пройденный при равномерном движении, *метров*	Путь, пройденный при торможении, *метров*	Время работы двигателя при равномерном движении, t *секунд*	Общие относительные затраты топлива (энергии)
0,01	0,098	0,0005	19,9990	0,0005	203,86	**203,88**
0,02	0,196	0,0020	19,9961	0,0020	101,92	**101,96**
0,03	0,294	0,0044	19,9912	0,0044	67,93	**67,99**
0,04	0,392	0,0078	19,9843	0,0078	50,93	**51,01**
0,05	0,491	0,0123	19,9755	0,0123	40,72	**40,82**
0,06	0,589	0,0177	19,9647	0,0177	33,92	**34,04**
0,08	0,785	0,0314	19,9372	0,0314	25,40	**25,56**
0,10	0,981	0,0491	19,9019	0,0491	20,29	**20,49**
0,15	1,472	0,1104	19,7793	0,1104	13,44	**13,74**
0,20	1,962	0,1962	19,6076	0,1962	9,99	**10,39**
0,25	2,453	0,3066	19,3869	0,3066	7,90	**8,40**
0,30	2,943	0,4415	19,1171	0,4415	6,50	**7,10**
0,35	3,434	0,6009	18,7983	0,6009	5,47	**6,17**
0,40	3,924	0,7848	18,4304	0,7848	4,70	**5,50**
0,45	4,415	0,9933	18,0135	0,9933	4,08	**4,98**
0,50	4,905	1,2263	17,5475	1,2263	3,58	**4,58**
0,55	5,396	1,4838	17,0325	1,4838	3,16	**4,26**
0,60	5,886	1,7658	16,4684	1,7658	2,80	**4,00**

0,65	6,377	2,0724	15,8553	2,0724	2,49	**3,79**
0,70	6,867	2,4035	15,1931	2,4035	2,21	**3,61**
0,75	7,358	2,7591	14,4819	2,7591	1,97	**3,47**
0,80	7,848	3,1392	13,7216	3,1392	1,75	**3,35**
0,85	8,339	3,5439	12,9123	3,5439	1,55	**3,25**
0,90	8,829	3,9731	12,0539	3,9731	1,37	**3,17**
0,95	9,320	4,4268	11,1465	4,4268	1,20	**3,10**
1,00	9,810	4,9050	10,1900	4,9050	1,04	**3,04**
1,10	10,791	5,9351	8,1299	5,9351	0,75	**2,95**
1,20	11,772	7,0632	5,8736	7,0632	0,50	**2,90**
1,30	12,753	8,2895	3,4211	8,2895	0,27	**2,87**
1,40	13,734	9,6138	0,7724	9,6138	0,06	**2,86**
1,42	13,930	9,8904	0,2191	9,8904	0,02	**2,86**

Общие относительные затраты топлива определялись по формуле

$$E = 2t_{\text{Р}} + t,$$

исходя из предположения, что потребление топлива во время разгона вдвое больше, чем потребление топлива во время следующего равномерного подъёма, так как тяга подъёмного двигателя во время разгона вдвое больше тяги во время дальнейшего равномерного подъёма.

Как видно, и в этом случае количество затраченной энергии на подъём даже одного и того же тела на одну и ту же высоту, вопреки предположению картезианцев и Лейбница, может отличаться в десятки раз.

Таким образом, я установил, что, основываясь на своей вере в то, что «***одна и та же энергия потребна для поднятия одного фунта на четыре фута и четырёх фунтов на один фут***» и, будучи совершенно убеждённым в принципе сохранения «живой силы», **Лейбниц и допустил величайшую ошибку со времён становления физики, предложив считать за энергию не**

количество движения, равное произведению массы на скорость mV, а некую новую, придуманную им величину, равную произведению массы на квадрат скорости mV^2.

Следует отметить, это было сделано Лейбницем не в силу каких-то наблюдений, опытных данных, а чисто математически – по той простой причине, что в таком случае в голове у Лейбница, что называется, «срасталось». Этим, оказавшимся неверным, предложением Лейбница когнитивный диссонанс, существовавший в головах учёных того времени («***…некоторые учёные так запутались…***»), по поводу существующего якобы противоречия между установленным опытным путём (стараниями Декарта и других известных естествоиспытателей) закона сохранения импульса, с одной стороны, и представлениями о неизменности величины «живой силы», потребной для совершения работы по подъёму одного и того же количества футо-фунтов, с другой стороны, был ликвидирован.

© Дубровский П.И. март 2018 года.

Дубровский Пётр Иванович, – инженер (1984, инженерный факультет ЛВУ ЖДВ и ВОСО им. М.В.Фрунзе), старший инженер испытательного отделения полка, преподаватель на кафедре Математики и вычислительной техники в Военно-транспортном институте (бывшее ЛВУ ЖДВ), с 2000 года уволен в запас из рядов ВС РФ, с 2006 года инженер отдела АСУ ОАО "НТИ "Радиосвязь", d-pi@yandex.ru. Санкт-Петербург.