

## О законах сохранения в разделе «Механика»

В.И.Николаев  
МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет

Дается анализ различных версий формулировок законов сохранения в механике – законов сохранения импульса, момента импульса, механической энергии.

### 1. Введение

Раздел «Механика» – первый в курсе физики. С него начинается систематическое изучение науки, которая по праву считается самой важной для формирования системы взглядов у всех без исключения людей, получающих образование. Эта наука – именно физика. Она представляет собой тот полигон, на котором каждый, кто ее изучает, имеет возможность испробовать себя, соотнести свое мнение с реальными фактами, которые он наблюдает в жизни, научиться различать главное и второстепенное, приобрести навыки осмысленных действий.

В этой статье обсуждаются формулировки законов сохранения, изучаемых в разделе «Механика». По мнению автора, вряд ли есть необходимость убеждать читателя в том, сколь важны формулировки этих законов в становлении взглядов учащихся – школьников и студентов – на окружающий мир. А потому главное внимание уделяется здесь учебным аспектам.

Представляется очевидным, что формулировки законов сохранения, предлагаемые учащимся, должны быть не только ясными и недвусмысленными, но и, прежде всего, корректными. Правда, желательно также, чтобы они были удобны для запоминания и практического использования при решении задач. Но это уж – как получится.

Побудительным поводом к написанию данной статьи послужило то обстоятельство, что в последние десять – пятнадцать лет появилось довольно много учебников и учебных пособий по механике, в которых законы сохранения трактуются вразнобой, причем их авторы порой противоречат не только друг другу, но и самим себе. Встречаются и ошибочные формулировки законов сохранения.

В качестве предмета обсуждения специально выбраны словесные формулировки законов сохранения и определений физических понятий. Формулы или обозначения каких-либо величин символами при этом вовсе не используются. Это сделано для того, чтобы дополнительно подчеркнуть важность терминологии в физике при формировании ее понятийного аппарата.

Данную статью можно рассматривать как развитие системного подхода к терминологии и формулировкам в курсе физики (см. также [1, 2]).

### 2. Изолированная и замкнутая системы тел

Без этих двух понятий, «*изолированная*» и «*замкнутая*» системы тел, трудно обойтись при изложении курса «Механика», а значит, и при изучении его. От того, как они определены, зависит многое. Прежде всего – смысл утверждений, которые именуются законами сохранения.

Приходится с сожалением констатировать, что в учебной литературе по механике между авторами книг нет согласия по вопросу о том, как трактовать эти два понятия.

По одной точке зрения, «изолированная» и «замкнутая» системы тел – это всего лишь синонимы, а значит, изолированную систему тел можно считать замкнутой, а замкнутую – изолированной. По этой логике, никакой ошибки при подмене одного слова другим не произойдет.

Но есть и другая точка зрения: «изолированная» и «замкнутая» системы тел – вовсе не одно и то же. А в такой ситуации сам собою напрашивается вопрос: как соотносятся эти два понятия? Если трактовать все варианты ответа с позиций формальной логики (пользуясь при этом «методом перебора»), то возможных ответов – три. Первый: «изолированная» система тел – частный случай «замкнутой». Второй: «замкнутая» система – частный случай «изолированной». Третий: понятия «изолированная» и «замкнутая» системы тел принадлежат к различным множествам, не имеющим общей части.

Вот теперь – самое время дать определения двум названным понятиям. Это даст нам возможность, во-первых, уяснить содержание терминологического «конфликта», а во-вторых, – сравнить две точки зрения по существу их содержания. Чтобы сформировать исходные позиции, выберем, разумеется, вторую точку зрения. Ведь, действительно, в противном случае будет непонятно, какими же различиями в трактовке двух понятий пренебрегают сторонники первой точки зрения.

Итак, два определения:

*изолированной называется такая система тел, на которую не действуют другие тела;*

*замкнутой называется такая система тел, для которой равнодействующая всех внешних сил равна нулю.*

Эти две фразы – как два постулата. Спорить бесполезно. Выбор именно такого смысла двух понятий уже состоялся – благодаря практике написания книг по механике различными авторами.

Имея в своем распоряжении эти две недвусмысленные формулировки определений, ответим на поставленный выше вопрос о том, как соотносятся по своему смыслу два понятия – «изолированная» и «замкнутая» системы тел. Нетрудно видеть, что если система тел является изолированной, то она одновременно является и замкнутой (поскольку для нее равнодействующая всех внешних сил равна нулю.) Обратное вовсе не обязательно является правильным, а именно: если система тел является замкнутой, то из этого вовсе не следует, что внешних сил нет (ведь и правда, если сумма слагаемых равна нулю, то отсюда не следует, что каждое из слагаемых суммы также равно нулю).

Вот мы и определились: выбрали версии трактовки двух ключевых понятий и установили их взаимное соответствие. Можно перейти к анализу различных формулировок трех законов сохранения в механике. Будем действовать по схеме, столь характерной для общего курса физики: «от простого – к сложному», или, что то же самое, «от частного – к общему».

### **3. Закон сохранения импульса**

Это – самый простой из законов сохранения в механике. С него всегда и начинают. Вот одна из наиболее употребительных его формулировок:

«Суммарный импульс замкнутой системы тел остается постоянным».

Обратим внимание на то, что термин «замкнутая» используется здесь в оговоренном выше широком смысле, допускающем наличие внешних сил, действующих на тела системы. Именно такова наиболее корректная по смыслу формулировка закона.

Будем, однако, последовательны. Как ни популярна эта формулировка у авторов книг по механике, приходится признать, что она содержит весьма существенный (хотя и малозаметный) дефект. Приведенная формулировка – пример неуважительного отношения к терминологии в физике. Ведь автор формулировки закона *сохранения* обязан сказать нечто существенное о *сохранении*. По контексту разговора в данном случае – о *сохранении* импульса. Действительно, если вы обещаете (как автор текста) сформулировать закон *сохранения*, то вы обязаны употребить глагол *сохраняется*. А что же мы видим взамен этого? «Остается постоянным»! Это – один из тех «пустячков», которые исподволь, на протяжении всего отведенного учебного времени формируют у тех, кто изучает азы физики, пренебрежительное отношение к терминологии этой науки. Если такое позволительно авторам книг, то чего же можно требовать от учащихся?!

После устранения дефекта имеем:

*Суммарный импульс замкнутой системы тел сохраняется неизменным.*

Эту формулировку закона сохранения импульса, безупречную с логической точки зрения, можно, тем не менее, несколько улучшить, сделав ее еще более удобной для практического использования.

С целью такого улучшения употребим в формулировке оборот со словом «если». Судя по приведенной версии закона, чтобы суммарный импульс сохранялся неизменным, надо выполнить одно-единственное условие: система должна быть замкнутой. Это условие мы и выразим при помощи оборота со словом «если»:

*Суммарный импульс системы тел сохраняется неизменным, если эта система является замкнутой.*

#### **4. Закон сохранения момента импульса**

В учебной литературе можно встретить два случая формулировки этого закона: о моменте импульса системы тел относительно некоторой *оси* и относительно некоторой геометрической *точки*. Первый случай – частный случай второго. Следуя упомянутому выше принципу «от простого – к сложному», в таком порядке их и рассмотрим.

Заметим вначале, что момент импульса относительно некоторой *оси* (как и момент сил относительно *оси*) – величина скалярная, а момент импульса относительно некоторой геометрической *точки* (как и момент сил относительно *точки*) – векторная величина. Простота первого случая по сравнению со вторым очевидна.

Формулируя закон сохранения момента импульса, сразу же предусмотрим все три обстоятельства, которые встретились нам при сравнительном анализе различных версий закона сохранения импульса. Во-первых, в формулировке закона не будем сводить все к одному-единственному случаю изолированной системы, ибо это резко обеднило бы содержание закона (и позволило бы решать с его помощью одни лишь тривиальные задачи). Во-вторых, если уж этот очередной закон называется законом *сохранения*, употребим в его формулировке глагол *сохраняется*. В-третьих, снова (как и в п.

3) воспользуемся оборотом со словом «если»: это даст нам возможность выделить условие (как и в случае закона сохранения импульса, единственное!), которое должно быть выполнено. Итак, вот что получим:

*Суммарный момент импульса системы тел относительно некоторой оси сохраняется неизменным, если суммарный момент всех внешних сил относительно этой оси равен нулю;*

*суммарный момент импульса изолированной системы тел относительно некоторой геометрической точки сохраняется неизменным, если суммарный момент всех внешних сил относительно этой точки равен нулю.*

## 5. Закон сохранения механической энергии

Это – самый сложный по содержанию закон сохранения в механике. И самый трудный для изучения. Не потому ли так много различных его версий?

Нередко можно встретить в учебной литературе такую:

«Полная механическая энергия замкнутой, или изолированной, системы тел остается постоянной при любых взаимодействиях между телами этой системы».

Здесь три ошибки.

Во-первых, объединены два различных понятия – «изолированная» и «замкнутая» системы тел. Выше уже говорилось о том, по каким соображениям представляется целесообразным трактовать эти два понятия как различные по смыслу. Если же встать на противоположную точку зрения (т.е. считать, что «изолированная» и «замкнутая» системы тел – одно и то же), то, помимо узкой трактовки закона сохранения механической энергии, можно получить абсурд. Так обстоит дело в простом примере с пружиной, когда пружину сжимают две равные по величине и противоположные по направлению внешние силы («система тел»  $\equiv$  пружина!). Выбранная система является замкнутой, а ее механическая энергия не сохраняется!

Во-вторых, фраза-формулировка содержит грубую физическую ошибку. В ней сказано: «при любых взаимодействиях между телами этой системы». Нет, не при любых! Если «между телами этой системы» действуют силы трения, то, как это известно из опыта, механическая энергия системы постепенно переходит в тепло, а значит, не «остается постоянной».

В-третьих, в приведенной формулировке содержится та же терминологическая ошибка, что и в первой из обсуждавшихся версий закона сохранения импульса (см. п. 3). Ведь название закона должно быть адекватно отражено в его формулировке, причем в тех же терминах. Хотели сформулировать закон *сохранения* механической энергии, а что получилось? Закон *постоянства* механической энергии?

Приведем теперь формулировку закона сохранения механической энергии, в которой устранены все три упомянутые ошибки. Это – так называемая традиционная (упрощенная) формулировка закона:

*Механическая энергия изолированной системы тел при отсутствии в ней сил трения сохраняется неизменной.*

То, что получилось в результате внесенных исправлений, уже вполне пригодно для употребления. С помощью закона сохранения механической энергии в приведенной редакции можно решить великое множество задач механики. Внимательный анализ этой формулировки показывает, однако, что и

она не безупречна. Дело в том, что предыдущая версия закона (первая по счету) содержит, мягко говоря, неточность, которая вуалируется другими дефектами. После их устранения мы получили возможность увидеть и ее.

Чтобы понять, в чем она состоит, спросим себя: какими являются требования так называемой традиционной формулировки закона – (1) необходимыми, (2) достаточными или же (3) необходимыми и достаточными? Вот ответ на этот вопрос: требуемые условия являются достаточными, но *не* являются необходимыми. Иначе говоря, эти условия являются избыточными. Или, по-другому: встречаются случаи, когда эти требуемые условия не выполнены, а механическая энергия системы тел, тем не менее, сохраняется неизменной.

Этот недостаток тоже можно устранить. Сделаем это, рассматривая все три закона сохранения как теоремы.

## 6. Законы сохранения как теоремы

В механике, как известно, – два основных метода решения задач. Логическую основу этих методов составляют, соответственно,

- 1) законы динамики и
- 2) законы сохранения.

Эти две группы законов являются взаимосвязанными. Более того, законы сохранения в механике можно вывести как следствия из законов динамики. Значит, их можно доказать как теоремы. Имея в виду это нетривиальное обстоятельство, можно задаться целью сформулировать все три обсуждаемые закона сохранения именно как теоремы, причем возможно более удобным образом.

В этой связи напрашивается конструкция формулировки закона сохранения, в которой использовался бы оборот со словом «если». Оборот этот уже был использован выше – в формулировках законов сохранения импульса (п. 3) и момента импульса (п. 4). Удобство такой конструкции, как мы уже видели, в том, что при помощи союза «если» можно отделить главную часть утверждения от условий, при которых эта главная часть справедлива.

Применим этот словесный прием теперь и к закону сохранения механической энергии. Сначала видоизменим последнюю из формулировок закона, не меняя ее содержания:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если эта система является изолированной и в ней отсутствуют силы трения.*

Видно, что эта очередная версия содержит два условия. Отразим и это обстоятельство служебными словами:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если, во-первых, эта система является изолированной и, во-вторых, в ней отсутствуют силы трения.*

Оговоренные условия должны быть выполнены, как известно, оба сразу (а не по принципу «либо – либо»). Отразим и это:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если, во-первых, эта система является изолированной и, кроме того, во-вторых, в ней отсутствуют силы трения.*

Выше уже говорилось (см. п. 5), что оба требования формулировки являются избыточными. Действительно, зачем требовать отсутствия внешних

сил и сил трения внутри системы, когда можно потребовать лишь того, чтобы они не совершали работу? Учтем и это:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если, во-первых, работа внешних сил равна нулю и, кроме того, во-вторых, работа сил трения внутри системы также равна нулю.*

Внесем, наконец, последнее улучшение (точнее, предпоследнее, поскольку далее последует еще одно). Легко видеть, что убыль механической энергии системы за счет действия сил трения внутри системы можно скомпенсировать работой внешних сил. Значит, можно потребовать не отсутствия работы каждой из двух названных разновидностей сил, а равенства нулю суммарной их работы. И вот что получим:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если суммарная работа внешних сил и сил трения внутри системы равна нулю.*

Интересно заметить, что на этом этапе постепенных улучшений формулировки закона два требуемых условия слились в одно.

## **7. Случай неинерциальных систем отсчета**

«По умолчанию», всюду выше предполагалось, что система отсчета, для которой формулировались законы сохранения, – инерциальная. А если неинерциальная? На очереди теперь и этот случай. Опять-таки по схеме «от простого – к сложному».

Если формулировать законы сохранения для случая неинерциальных систем отсчета, то, очевидно, надо отразить в этих новых формулировках роль сил инерции. Надо так сказать о силах инерции, чтобы были отражены их главные особенности, причем – с существенной оговоркой: с учетом «сюжета», в котором силы инерции выступают в качестве «действующих лиц».

А «сюжетов» этих – три: их роль в формировании импульса системы тел, момента импульса этой системы, ее механической энергии.

Наиболее существенная общая особенность сил инерции в том, что они аналогичны внешним силам. О силах инерции нельзя сказать, что они – чьи-то. Невозможно указать тела, со стороны которых они действуют. Именно в этом смысле они – «ничьи». Значит, никаким выбором «системы тел» нельзя сделать силы инерции внутренними.

Вот и скажем о силах инерции так, как сказано в обсуждавшихся выше формулировках законов сохранения о внешних силах. Все остальное оставим в нетронутом виде.

В законе сохранения импульса учтем вклад сил инерции в равнодействующую всех сил, действующих на тела системы:

*Суммарный импульс системы тел сохраняется неизменным, если равнодействующая всех внешних сил и сил инерции равна нулю.*

В законе сохранения момента импульса (в обоих случаях – для оси вращения и для геометрической точки) учтем наличие вклада сил инерции в суммарный момент всех внешних сил, действующих на тела системы:

*Суммарный момент импульса системы тел относительно некоторой геометрической точки сохраняется неизменным, если суммарный момент всех внешних сил и сил инерции относительно этой точки равен нулю;*

*суммарный момент импульса системы тел относительно некоторой оси сохраняется неизменным, если суммарный момент всех внешних сил и сил инерции относительно этой оси равен нулю.*

В законе сохранения механической энергии учтем, что в этот раз к работе внешних сил и сил трения внутри системы добавляется еще и работа сил инерции:

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если суммарная работа внешних сил, сил трения внутри системы и сил инерции равна нулю.*

## 8. О нормировке

При сравнительном анализе различных формулировок законов сохранения в механике на предмет их корректности трудно обойти молчанием вопрос о так называемой *нормировке*. «Нормировка» – одно из важных понятий общего курса физики. Впервые оно встречается именно в разделе «Механика» – в связи с обсуждением вопроса о потенциальной энергии системы тел. В последующих разделах трактовка этого понятия расширяется и, более того, усложняется. Не разобравшись в смысле этого термина при первом знакомстве с ним – в механике, получишь готовый пробел в знаниях и в других разделах физики.

А между тем в практике преподавания широкое распространение получили версии определения этого понятия, искажающие истинный его смысл. Вот один из таких примеров – самый, пожалуй, распространенный: «Нормировка потенциальной энергии – это выбор нуля ее отсчета». Нелепость этой фразы в том, что непонятно, из чего же выбирать этот самый «нуль отсчета». Среди других «нулей»? Или среди «не-нулей»? И как их отличать друг от друга?

Приведем теперь другую формулировку определения этого понятия – не столь распространенную, но зато правильную:

*Нормировкой потенциальной энергии называется выбор конфигурации системы, для которой потенциальная энергия системы принимается равной нулю.* (Добавим, во избежание неясностей, что под конфигурацией в этом определении подразумевается взаимное расположение частей системы тел или материальных точек.)

Сравнивая две формулировки, убеждаемся в очевидном преимуществе второй перед первой. «Нуль» – всегда один, а «конфигураций» – великое множество! Есть из чего выбирать!

Здесь стоит еще обратить внимание на то, что за словами *выбор* и *принимается* скрываются чьи-то действия. Спросим себя: чей *выбор*? кто *принимает* ...? Ответ на оба вопроса одинаков: тот, кто решает задачу. Выходит, для того, чтобы решить задачу, используя понятие потенциальной энергии, надо уметь делать упомянутый *выбор*? Да, именно так! И, более того, понимать, что это означает, когда этот *выбор* делают за вас другие (например, когда объясняют, как решается задача.)

А теперь вспомним аналог из раздела «Электромагнетизм» – нормировку потенциала:

*Нормировкой потенциала называется выбор точки пространства, потенциал которой принимается равным нулю.*

Как видим, опять встречаются знакомые уже слова: *выбор* и *принимается*. И никакого «выбора нуля»! Вся процедура нормировки потенциала оговаривается словами определения этого понятия. Преимущество смысла очевидна. Как все-таки это удобно для изучающих

физику! Тем более, что понятие «потенциал» из «Электромагнетизма» ассоциируется с понятием «потенциальная энергия» из «Механики». »

Но есть и еще один знаменитый случай нормировки, третий по счету в нашем обсуждении. Он встречается в общем курсе физики при изучении энтропии. Имеется в виду формула Больцмана

$$S = k \ln W + \text{const} \quad (1)$$

( $S$  – энтропия системы,  $W$  – термодинамическая вероятность ее состояния,  $k$  – константа Больцмана). Согласно (1), энтропия, как функция состояния системы, может быть определена лишь с точностью до некоторой (произвольной) величины.

От того, как *выбрана* аддитивная постоянная  $\text{const}$  в этом равенстве, зависит исход попытки дать на его основе статистическую трактовку энтропии термодинамической системы. Следуя идее Планка, *выбирают*  $\text{const} = 0$ , так что

$$S = k \ln W. \quad (2)$$

Нормировка энтропии по Планку делает возможной однозначную статистическую трактовку энтропии системы. Согласно (2), процессы развиваются в системе в сторону возрастания ее энтропии. Опять-таки нормировка в этом случае – это не загадочный «выбор нуля», а вполне ясная процедура.

## 9. Пример нормировки потенциальной энергии

Вернемся, однако, в механику.

Рассмотрим конкретный пример нормировки потенциальной энергии системы тел. Это даст нам возможность увидеть еще одну чрезвычайно распространенную ошибку, которую почти всегда совершают, решая задачи с помощью закона сохранения механической энергии. Речь идет о задачах, в которых встречается потенциальная энергия, обозначаемая символами  $mgh$ . По смыслу дела,  $m$  – масса тела, находящегося на высоте  $h$ ,  $g$  – ускорение свободного падения.

Обычный учебный вопрос:

$$W \equiv mgh \quad (3)$$

– чья потенциальная энергия, какой системы тел? В громадном большинстве случаев учащиеся дают одинаковый ответ:  $mgh$  – это потенциальная энергия тела массы  $m$  на высоте  $h$ .

Вспомним, однако, про определение нормировки. В нем говорится о выборе конфигурации системы. Прежде чем уточнять процедуру нормировки, проведем мысленный опыт. Это – как экспертиза. Допустим, тело массы  $m$  находилось вначале на нулевой высоте, а потом его подняли на высоту  $h$ . Изменилась ли при этом его конфигурация – взаимное расположение его составных частей? Нет никаких оснований считать, что изменилась, будь то, например, шарик, книга или какой-нибудь другой предмет. Выходит, что и потенциальная энергия этого тела не изменилась! А значит,  $mgh$  – потенциальная энергия не этого тела, а какой-то другой системы тел.



Чья же все-таки это потенциальная энергия? Чтобы «увидеть» ответ, спросим по-другому: чья конфигурация изменилась в нашем опыте? Вот и ответ: изменилась конфигурация системы «тело массы  $m$  + Земля». Именно ее потенциальная энергия изменилась: она была вначале равна нулю (так, очевидно, была проведена нормировка), а стала равной  $mgh$ .

## 10. Заключение

Подведем итоги.

По мнению автора, один из главных итогов проведенного анализа формулировок – вывод о том, что при изучении физики надо специально обращать внимание на формулировки законов и определений физических понятий, на логические взаимосвязи между ними. Очень полезными могут оказаться при этом типовые системные вопросы: «Как соотносятся ...?» и «Сколько ...?» [1].

Многое в этом зависит от преподавателя (или учителя), ведущего занятия. Своим личным примером он может убедить учащихся в плодотворности попыток уяснить смысл физических терминов и обычных слов, которые используют в физике, решая задачи. Велика и его ответственность перед учащимися. Особенно в наше время, когда так трудно отыскать себе союзников среди великого множества книг в потоке учебной литературы по физике.

## Литература

1. *В.И.Николаев*. Четыре типовых вопроса по физике. // Физическое образование в вузах, Т. 10, № 2, 2004, с. 5-9.
2. *В.И.Николаев*. О дидактических достоинствах курса физики. // Физическое образование в вузах, Т. 12, № 2, 2006, с. 8-14.

## Abstract

### On the conservation laws in mechanics

V.I.Nikolaev

M.V.Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics

In this article, the various versions of the conservation laws in mechanics are analyzed – the conservation laws of the impulse, the impulse momentum, and the mechanical energy.

(Вариант: *Механическая энергия изолированной консервативной системы тел сохраняется неизменной.*) (*Консервативной называется система тел, в которой действуют только консервативные силы.*) (*Консервативными называются силы, работа которых по замкнутому пути равна нулю.*)

*Механическая энергия системы тел сохраняется неизменной, если суммарная работа внешних сил, сил трения внутри системы и сил инерции равна нулю.*

*Энергия системы – это запас ее работы.*

*Кинетическая энергия системы – это запас той ее работы, которую система может совершить, двигаясь до полной остановки всех своих составных частей.*

*Потенциальная энергия системы – это запас той ее работы, которую система может совершить, изменяя свою конфигурацию. (Конфигурация системы – это взаимное расположение ее составных частей.)*

*Потенциалом данной точки пространства называется величина, численно равная работе, которую должны совершить квазистатически внешние силы для перемещения единичного пробного положительного заряда из точки, потенциал которой принимается равным нулю, в данную точку.*

(Физика – одна из тех наук, которые наиболее эффективно помогают человеку развить свои интеллектуальные способности, найти свое место в жизни. Лишь бы у него было желание воспользоваться ее уникальными возможностями. Но есть и проблема: как именно можно эти возможности реализовать?)

И еще: в основе аргументации автора по обсуждаемой проблеме – его более чем 40-летний опыт преподавания на кафедре общей физики.

К этому вопросу мы вернемся позднее (см. п. 6) – после того, как обсудим формулировки двух других законов сохранения. Это даст нам возможность рассматривать формулировки всех трех законов как однотипные.

(Дать примеры:

- с пружиной,
- тело массы  $m$  на высоте  $h$ ,
- про работу силы трения,
- о работе кориолисовой силы инерции,
- о работе переносной силы инерции,
- о работе центробежной силы инерции).

(Это – шаблон: пишу статью в № ? за 200? г.)

## **Четыре типовых вопроса по физике**

В.И.Николаев

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет

Описана концепция преподавания физики, основанная на четырех типовых учебных вопросах, главное предназначение которой –

помочь учащимся сформировать устойчивые навыки системного подхода при изучении физики. Развиваемые положения иллюстрируются многочисленными примерами. Статья адресована преподавателям вузов, а также студентам, учителям физики, школьникам старших классов.

## 1. Введение

Физика – одна из тех наук, которые наиболее эффективно помогают человеку развить свои интеллектуальные способности, найти свое место в жизни. Лишь бы у него было желание воспользоваться ее уникальными возможностями. Но есть и проблема: как именно можно эти возможности реализовать?

В такой ситуации необычайно велика роль преподавателя, который может своими вопросами, при каждом удобном случае, помочь учащимся

(Далее – старая часть файла Didactics)

1. Дидактические особенности общего курса физики (мое видение).  
«Дидактический [гр. didaktikos] – поучительный. «Словарь иностр. слов» (1955 г., стр. 227).
  - 1) общий курс физики – фундамент физического образования,
  - 2) закладывает основы системного подхода к оценке ситуации,
  - 3) общий курс физики – как полигон: в нем есть практически все для развития человеческой личности,
  - 4) его неотъемлемая составная часть на всех этапах изучения – опыт, эксперимент, выход в практику, а значит, связь с жизнью,
  - 5) поучительность общего курса физики – *физике не обучают, ее изучают(!)*,
  - 6) учит постепенности и основательности во всем, его главный метод – индуктивный,
  - 7) формирует полезные для жизни (и универсальные!) привычки,
  - 8) воспитывает уважение к истории развития человечества и к человеческой личности,
  - 9) приводит к убежденности о целостности картины мира и взаимосвязанности явлений в нем,
  - 10) формирует чувство уверенности в себе.

## Дидактика

### 11) Определения:

- а. БСЭ, т. 14, стр. 320 (1952 г.):  
«Дидактика (от греч. διδακτικός – поучительный) – часть педагогики, составляющая теорию обучения в школе; обосновывает и раскрывает содержание, методы и организационные формы обучения.»
- 2) «Словарь иностр. слов» (1955 г.):  
«Дидактика (от греч. didaktikos поучительный) – часть педагогики, излагающая теоретические основы образования и

- обучения (обоснование учебных планов и программ, принципов, методов и организационных форм обучения).»
- 3) «Сов. энцикл. словарь» (1986 г.):  
«Дидактика (от греч. *didaktikós* – поучающий), раздел педагогики, излагающий теорию образования и обучения. Вскрывает закономерности усвоения знаний, умений и навыков и формирования убеждений, определяет объем и структуру содержания образования, совершенствует методы и организац. формы обучения, воспитывающее воздействие уч. процесса на уч-ся.»
- 4) БСЭ, т. 14, стр. 320 (1952 г.):  
«Дидактические принципы – основные положения, на которых строится и проводится обучение.»
- 12) Дидактические принципы (мое видение):
- a. научность,
  - b. доказательность,
  - c. системность,
  - d. принцип простоты (от простого к сложному),
  - e. постепенность,
  - f. учет возрастных особенностей,
  - g. нацеленность
    - на формирование мировоззрения,
    - на развитие личности,
    - на выявление склонностей.
- 13) Методы и приемы.
- a. Типовые вопросы:
    - i. «Что это такое?»,
    - ii. «Приведите пример»,
    - iii. «Как соотносятся ... ?»,
    - iv. «Сколько ... ?»
  - b. «Опорные» фразы.  
Примеры:
    - i. «В исходной системе уравнений каждое уравнение должно иметь свое название.»
    - ii. «С чего начнем, конечно?»
    - iii. «Что больше – 1 м или 2 кг?»
    - iv. «Чья сила?»
    - v. «Сколько утверждений в третьем законе Ньютона?»
    - vi. «В механике – два метода решения задач.»
    - vii. «Чья потенциальная энергия?»
    - viii. «Кто обычно стоит на перекрестке?»
    - ix. «Законы динамики и законы Ньютона – не одно и то же.»
    - x. «Законы сохранения в механике – вовсе не законы.»
    - xi. «Сколько всего начал термодинамики?»
    - xii. «Куда направлено поле – там потенциал меньше.»
    - xiii. «Все – назло!»

xiv. «В геометрической оптике – четыре закона.»

c. Структурирование:

- i. схемы логических взаимосвязей (пример),
- ii. выкладки («смысловые» скобки, знаки равенства, заметки на полях, «мелкие достижения», однотипные конструкции, сокращения),
- iii. «дорожные знаки»: \*, (\*), (!), (!!!), (?!),
- iv. перечисление (нумерация!),
- v. фигурная скобка,
- vi. знаки тождественного равенства (обозначения!),
- vii. рамки,
- viii. стрелки-указатели,
- ix. «хронология» записей,
- x. «темная ночь» (способ зачеркивания неправильных записей слов, предложений, формул, абзацев),
- xi. перечисления – при каждом удобном случае!

d. Подбор формулировок (составить список!):

- i. определений.
- ii. законов,
- iii. теорем,
- iv. правил,
- v. задач.

5) «Злейшие враги» ( $\equiv$  формулировки) – знать в лицо (!).

Примеры:

- (1) материальная точка,
- (2) замкнутая система тел,
- (3) закон сохранения импульса,
- (4) модуль Юнга,
- (5) закон Паскаля,
- (6) закон Архимеда,
- (7) нормальные колебания,
- (8) потенциал,
- (9) э.д.с.,
- (10) первое правило Кирхгофа,
- (11) когерентные источники света.

6) Выделение ключевых слов.

Примеры:

- (1) закон сохранения механической энергии (формулировка),
- (2) модуль Юнга,
- (3) закон Паскаля (формулировка),
- (4) закон Архимеда (формулировка),
- (5) идеальный газ (определение),
- (6) второе правило Кирхгофа (формулировка),
- (7) правило Ленца (формулировка).

7) Обозначения (должны быть логичными и удобными!).

Примеры:

- (1) цикл Карно:  $T_2 > T_1$ ,

- (2) термодинамический потенциал Гиббса:  $Z$ ,
- (3) «приращение»  $\equiv$  «стало» – «было»,
- (4)

8) Игровые ситуации.

Примеры:

- (1) блоки («прямые» и «обратные» задачи),
- (2) о законе Архимеда («вечный двигатель», задача о пяти кирпичках),
- (3) о «задумчивом экспериментаторе»,
- (4) заряженные пластины,
- (5) фигуры Лиссажу,
- (6) «садовые участки»,
- (7) правило Ленца.

14) Контрольные вопросы (составить список!).

15) Отбор задач:

а. критерии отбора:

- должны соответствовать теме,
- взятые в совокупности, должны раскрывать тему,
- «от простого к сложному»,
- должны иметь «свое лицо»,
- краткость условия,
- меньше подсказок (!),
- меньше выкладок (!),
- «задачи должны быть приятными» (!),
- не забыть о «типовых» задачах (!),
- задачи «про запас»,

2) спросите себя: «Сколько задач я знаю?»

3) задачи надо учить!

4) некоторые разновидности задач:

- знаменитые задачи,
- задачи-«капканы»,
- «обратные» задачи («экспертиза»),
- задачи-тесты,
- задачи специального назначения (примеры: задача о машине Атвуда как тест, задача о смысле  $mgh$ , задача о законах сохранения в механике – соударение двух шариков на нитях),
- некорректные задачи.

16) Словесные «хитрости»:

- 1) «... – это величина, численно равная ...»,
- 2) в формулировках законов сохранения: «..., если ...»,
- 3) «во-первых, ... , во-вторых, ... »,
- 4) эмоции в ф–ках,
- 5) разговорный стиль,
- 6) необычность фраз и терминов:
  - (1) «чья сила?»
  - (2) «опорина сила» (о реакции опоры: «Чья сила?»),
  - (3) «веревкина сила» (о силе натяжения нити: «Чья сила?»),
  - (4) «закон сохранения не какой-попало энергии»,
  - (5) «первое правило Кирхгофа – водопроводное уравнение»,

- (6) о характерных лучах:  
« ... с прицелом на ...»,  
« ... с воспоминаниями о ...»,
- (7) «что больше – 1 м или 2 кг?»,  
(8) «кто обычно стоит на перекрестке?»,  
(9) «с чего начнем, конечно?»,  
(10) «корень квадратный из трех – из какого раздела физики?»,  
(11) роль интонации,
- 7) нестандартные формулировки задач:
- (1) «По углам квадрата сидят четыре специально отдрессированные ма-а-аленькие черепашки. По команде они начинают ползти: первая – ко второй, вторая – к третьей, третья – к четвертой, а четвертая, сами понимаете, – к первой. Через какое время они встретятся и где?»
- (2) «Один задумчивый экспериментатор, проводя опыты с разреженным газом, забыл отметить на графике, какие величины отложены по осям. ... »,
- (3) (Задача Ферма) «Двое играют в безобидную игру. По уговору, кто первым наберет шесть очков, тот и выигрывает весь приз. При счете 5:3 игру пришлось остановить. Как разделить приз по справедливости?»
- 17) Как заучивать:
- a. многократные повторы (это – наиболее эффективный способ),  
b. делать промежутки между повторами,  
c. «вывод должен сидеть в руке!» (помогает моторная память),
- вариант: «вор должен сидеть в тюрьме,  
а вывод – в руке!»,
- d. правило: повторять вывод, тренируясь, 5–6 раз (бывает и 20 раз),
- e. повторять вслух (помогает слуховая память),  
f. искать удобную ритмику произнесения фразы или формулы; пример:  $RT_{\kappa}/\rho_{\kappa}V_{\kappa}$ ,  
g. «стихи»; примеры: «боксерские страдания», элемент объема  $d^3V = r^2 \sin\theta dr d\varphi d\theta$  – почти по Маяковскому,  
h. абракадабры и аллитерации; примеры: ф–ла для периода математического маятника, коэффициенты переноса, марка нержавеющей стали 1Х18Н9Т.
- 18) Мнемонические правила.
- Примеры:
- a. цвета радуги,  
b. число секунд в году ( $\approx \pi \cdot 10^7$  с),  
c. о мгновенных осях,  
d. правило буравчика,  
e. формула гироскопа ( $[\mathbf{\Omega N}] = \mathbf{M}$ ),  
f. число Авогадро ( $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>),  
g. о газовых законах (графики и «боксерские страдания»),  
h. коэффициенты переноса (формулы),

- i. «характеристики бывает розовым»:  $nik/2 = \rho c_v$ ,
  - j. термодинамический квадрат и шесть правил, связанных с ним:
    - «нулевое правило»,
    - «правило орбиталей»,
    - «правило добавок»,
    - «правило креста»,
    - «правило раздвоенного хвоста»,
    - «правило зигзага»,
  - k. способы заселения элементарных параллелепипедов («каркасов»): P, C, F, I = «ПаЦиФИзм»,
    - l. о сингониях: триклинная («три клина»), моноклинная («один клин»),
    - m. еще о сингониях: тригональная, тетрагональная, гексагональная («три, четыре, шесть»),
    - n. правила левой и правой руки,
    - o. правило о правилах левой и правой руки:
      - «левая рука – для левой буквы,
      - правая рука – для правой буквы»,
    - p. правило Ленца: «все – назло!».
- 19) «Число правильных ответов – конечно, число неправильных – бесконечно». Отсюда – мораль («какая?»): «Уроки надо учить!»
- 20) «Прозрачки» – вредная штука! Они показывают готовый результат (например, в виде готовых выкладок). А надо показывать, как работает мысль, как этот «готовый результат» рождается на глазах. Учащиеся должны видеть не «показуху», а исполнительское мастерство (в том числе и ошибки – как у обычных людей в обычной жизни!).
- 21) Дидактические особенности общего курса физики (мое видение).
- «Дидактический [гр. didaktikos] – поучительный. «Словарь иностр. слов» (1955 г., стр. 227).
- a. общий курс физики – фундамент физического образования,
  - б. закладывает основы системного подхода к оценке ситуации,
  - в. общий курс физики – как полигон: в нем есть практически все для развития человеческой личности,
  - г. его неотъемлемая составная часть на всех этапах изучения – опыт, эксперимент, выход в практику, а значит, связь с жизнью,
  - д. поучительность общего курса физики – *физике не обучают, ее изучают(!)*,
  - е. учит постепенности и основательности во всем, его главный метод – индуктивный,
  - ж. формирует полезные для жизни (и универсальные!) привычки,
  - з. воспитывает уважение к истории развития человечества и к человеческой личности,



- и. приводит к убежденности о целостности картины мира и взаимосвязанности явлений в нем,
- к. формирует чувство уверенности в себе.

## **Abstract**

### **General Principles for Solution of Physical Tasks (ten Rules)**

V.I.Nikolaev

M.V.Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics

Ten general principles for solution tasks on physics are discussed. The idea is founded that, being taken together, these principles create the system base for analysis of situations in which the laws of physics play the role of the main tool for achievement the required aim. Methodical aspects of using these principles in teaching process on general physics are considered. All the main statements are illustrated by examples.