

# Классификация как учебное средство

Владимир Иванович Николаев

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет

*Ключевые слова:* общий курс физики, классификация, классификационный признак.

Обсуждается вопрос о роли классификаций в общем курсе физики. Классификация рассматривается как средство формирования логической структуры учебной дисциплины. На конкретных примерах показывается, каким образом вариативность выбора классификационного признака может быть использована для учебных целей.

## 1. Введение

Физика – развивающая наука. С ее помощью учащиеся приобретают навыки системного подхода к оценке ситуации и выбору оптимального варианта действий.

Умение увидеть целое в виде совокупности частей этого целого – вот что часто требует от нас жизнь. Физика может научить и этому тоже. Ведь ее дидактические ресурсы практически безграничны!

Читатель, быть может, заметил, что вопрос о роли классификаций в общем курсе физики редко обсуждается. А между тем при каждом своем появлении они помогают учащимся в систематизации знаний. Правда, здесь надо сделать существенную оговорку. Правильнее было бы, наверное, говорить не о классификациях, а о способах систематизации излагаемого учебного материала. В том числе и с помощью различного рода перечислений.

Не будет преувеличением сказать, что общий курс физики изобилует различными перечислениями, причем далеко не все они могут выступать в роли классификаций. Тем более важен вопрос о классификациях: ведь они помогают создать строгую логическую структуру учебной дисциплины – в данном случае общего курса физики. И тем более велика ответственность тех, кто их излагает или использует в своей аргументации.

Вопрос о классификациях рассматривается в данной статье в связи с учебными аспектами этого понятия.

## 2. О классификационных признаках

Начнем с терминов – а с чего же еще?

Вспомним: *классификация* – это разделение понятий (объектов, явлений, законов и т.п.) по классификационному признаку.

*Классификационный признак* – это выбранное свойство, по которому проводится такое разделение.

Добавим еще: *элемент классификации* – это составная часть классификации.

Заметим попутно, что минимальное число элементов классификации равно, очевидно, двум.

Вот теперь удобно обратить внимание на принципиальное различие между классификацией и простым перечислением. В основе классификации –

выбранный классификационный признак, тогда как простое перечисление предваряется, как правило, рассуждениями о практической целесообразности различать те или иные частные случаи, имеющие отношение к предмету разговора. В этом можно убедиться, анализируя приводимые ниже примеры систематизации различных понятий в курсе общей физики.

Варьируя выбираемый признак, можно заменить одну классификацию другой. Так могут быть выявлены новые взаимосвязи между свойствами изучаемых систем.

На этом пути открывается и еще одна возможность структурирования накапливаемых знаний. Можно сразу выбрать не один, а несколько классификационных признаков. С их помощью можно разработать иерархию случаев, в составе которой выделены различные группы элементов, объединенных соответствующими признаками.

### 3. Примеры

В приводимых ниже примерах главное внимание, естественно, будем уделять проблеме, вынесенной в заголовок статьи.

#### *3.1. Модели в физике*

Людям свойственно сокращать термины, особенно длинные. В том числе и в физике. Например, вместо «материальная точка» говорят (и пишут) «точка», вместо «абсолютно твердое тело» – «твердое тело», или еще короче – «тело», вместо «термодинамическая система» – «система», вместо «заряженное тело» – «заряд», вместо «падение напряжения» – «напряжение» (а ведь это, вообще говоря, не одно и то же!), вместо «переменный синусоидальный ток» – «переменный ток» или «ток». Объяснением (или оправданием?), как правило, служит традиционный аргумент: мол, по контексту разговора понятно, о чем именно идет речь. С этим вполне можно мириться, если бы не одно обстоятельство: сокращение термина (или, наоборот, удлинение) может привести к изменению физического смысла определяемого понятия, а это недопустимо.

Хотелось бы в этой связи обратить внимание на то, что в физике различают следующие основные разновидности моделей:

- 1) абстрактная,
- 2) физическая,
- 3) математическая,
- 4) компьютерная,
- 5) демонстрационная.

Опуская в рассуждениях название разновидности до одного-единственного слова «модель», мы допустим терминологическую неопределенность, и разговор потеряет смысл.

Итак, классификация ли это?

Если выбрать «средство (или способ) реализации модели» в качестве «свойства», по которому различаются модели одна от другой, то мы получим классификацию. Разумеется, она не может считаться завершенной, поскольку нет никакого запрета на поиск и разработку новых разновидностей. Кстати, не названное здесь в явном виде так называемое «средство» легко угадывается из самого названия модели.

### 3.2. Виды деформаций твердого тела

По «геометрическому признаку» различают, как известно, следующие разновидности деформаций твердого тела:

- 1) растяжение,
- 2) сжатие,
- 3) сдвиг,
- 4) кручение,
- 5) изгиб.

Здесь, в этом классификационном перечне, мы имеем поучительный пример терминологической «ловушки». Студенты часто «посещают» ее. Будучи настроенными на внимательное отношение к терминологии, они нередко указывают на логическую «ошибку» в приведенной классификации. Первые два элемента, говорят они, дублируют друг друга: ведь сжатие – это тоже растяжение, только отрицательного знака. Причина этого заблуждения – в излишнем лаконизме терминов. Вместо «растяжение» должно быть «продольное растяжение», а вместо «сжатие» – «поперечное сжатие». Мнемоническим напоминанием о том, что эти две различные разновидности деформаций твердого тела действительно сосуществуют, может служить используемый в механике так называемый коэффициент Пуассона. Эта материальная константа связывает две деформации, одновременно имеющиеся у тела, – поперечного сжатия и продольного растяжения.

### 3.3. Силы сухого трения

Обратимся теперь к разновидностям сил сухого трения. Вот они (по С.П.Стрелкову [1]):

- 1) сила трения покоя,
- 2) сила трения скольжения,
- 3) сила трения качения.
- 4) сила трения сцепления при качении.

Выстроены они здесь по принципу «от простого – к сложному», который столь широко используется при построении общего курса физики. Подберем классификационный признак – с тем, чтобы данный перечень можно было рассматривать как классификацию. Например, так: «отличительные особенности» сил сухого трения. При таком выборе неизбежно возникает необходимость указать, в чем же эти особенности заключаются.

### 3.4. Силы инерции

Берем из курса механики имеющиеся в нем названия сил инерции:

- 1) переносная сила инерции,
- 2) кориолисова сила инерции,
- 3) центробежная сила инерции.

Выходит, специальные термины придуманы для сил инерции, действующих на материальную точку, только в трех случаях? Как словами определить, что это за три случая? Нельзя ли построить из них классификацию? Разобраться в ситуации поможет один из типовых учебных вопросов – «Как соотносятся ... ?» [2].

Но сначала – определения трех понятий [3]:

- *переносная сила инерции – это сила, равная произведению массы материальной точки на взятое с обратным знаком ее переносное ускорение;*
- *кориолисова сила инерции – это сила, равная произведению массы*

материальной точки на взятое с обратным знаком ее кориолисово ускорение;  
– центробежная сила инерции – это сила, равная произведению массы материальной точки на взятое с обратным знаком ее центростремительное ускорение.

Вот теперь – запланированный вопрос: как соотносятся между собой три названные разновидности сил инерции? Рассуждаем: поскольку центростремительное ускорение точки – это один из вкладов в ее переносное ускорение, то центробежная сила инерции является частным случаем переносной силы инерции. Далее: коль скоро переносное и кориолисово ускорения – это два «самостоятельных» вклада в суммарное («абсолютное») ускорение точки, основных разновидностей сил инерции оказывается две – они названы первыми в приведенном перечне: переносная и кориолисова.

Как видим, в рассуждениях были использованы два классификационных признака. Первый – «соответствие силы инерции одной из двух основных разновидностей вкладов в суммарное ускорение точки», второй – аналогичное «соответствие одному из вкладов в ее переносное ускорение».

В этом примере мы имеем дело с простейшей иерархией случаев в рамках классификации.

### 3.5. Термодинамические потенциалы

Четыре термодинамических потенциала составляют классификацию функций состояния термодинамической системы, имеющих одинаковую размерность – Дж:

- :  
1) внутренняя энергия  $U$ ,  
2) энтальпия  $H$ ,  
3) свободная энергия  $F$ ,  
4) термодинамический потенциал Гиббса  $Z$ .

В качестве классификационного признака выступает здесь свойство в виде «совокупности переменных», с помощью которых приращение каждого из потенциалов может быть представлено как полный дифференциал. В случае так называемой простой термодинамической системы (это – случай двух переменных) совокупность переменных может быть выбрана из традиционного набора: давление  $p$ , энтропия  $S$ , температура  $T$ , объем  $V$ . Варьируя набор из двух переменных и придерживаясь при этом сложившейся практике, получим потенциалы:  $U(S,V)$ ,  $H(p,S)$ ,  $F(T,V)$ ,  $Z(p,T)$ . Это и будут элементы данной классификации.

### 3.6. Фазовые переходы

Следуя П.Эренфесту, различают фазовые переходы 1-го и 2-го рода [4]. В своей совокупности, эти две разновидности представляют собой весьма удобную для практических целей классификацию фазовых переходов. Основу ее составляют вполне конкретные особенности поведения одного из термодинамических потенциалов системы – потенциала Гиббса. Принадлежность перехода к той или иной разновидности устанавливается однозначно. Если при фазовом переходе термодинамический потенциал Гиббса непрерывен, а его первые производные по естественным переменным терпят разрыв, то это фазовый переход 1-го рода. Если же при фазовом переходе непрерывны как потенциал Гиббса, так и его первые производные, а разрыв терпят его вторые производные по естественным переменным, то это фазовый переход 2-го рода. В роли классификационного признака здесь выступает,

таким образом, «поведение первых и вторых производных потенциала Гиббса при фазовом переходе».

Одно из удобств выбора именно потенциала Гиббса для классификации фазовых переходов в том, что естественными переменными для этого потенциала являются величины, доступные сравнительно простым измерениям. Так, в случае магнитных фазовых переходов это – давление, температура, напряженность магнитного поля. Другое удобство связано с физическим смыслом производных потенциала Гиббса. В том же магнитном случае в роли первых производных выступают (взятые с точностью до множителя) скрытая теплота перехода, объем, намагниченность, в роли вторых – теплоемкость, сжимаемость, магнитная восприимчивость.

Пользуясь удобным случаем, зададимся вопросом: а как обстоит дело с фазовыми переходами 3-го рода? Ответом может служить название статьи И.П.Базарова и В.В.Бондаренко «О невозможности фазовых переходов третьего и более высокого рода» [5].

### *3.7. Разделы электромагнетизма (по А.Зоммерфельду)*

Широко известна следующая классификация случаев электрических и магнитных полей [6], которые встречаются при изучении физических основ электромагнетизма, – поля

- 1) статические,
- 2) стационарные,
- 3) квазистационарные,
- 4) быстропеременные.

Так называемые «случаи» выстроены здесь опять-таки по принципу «от простого – к сложному». Легко угадывается классификационный признак [6]: «характер зависимости полей от времени». Тот же по смыслу признак можно сформулировать и другими словами: «поведение зарядов, создающих поля».

### *3.8. Виды магнетиков*

Еще сравнительно недавно классификация веществ по магнитным свойствам содержала только три наименования:

- диамагнетики,
- парамагнетики,
- ферромагнетики.

В ее основе – признак: различие веществ «по величине магнитной проницаемости  $\mu$ » (или, в эквивалентной версии, «по величине и знаку магнитной восприимчивости  $\chi$ »). Несостоятельность этой классификации стала очевидной благодаря успехам физики магнитных явлений.

Современная классификация магнетиков, наряду с указанным признаком, использует ряд новых. Это связано с обнаруженными в исследованиях различиями магнитных структур веществ. Ферромагнетики оказались лишь одной из многих разновидностей магнитоупорядоченных систем. Об этом можно судить по перечню известных видов магнитной структуры:

- ферромагнетики,
- антиферромагнетики,
- ферримагнетики,
- треугольные конфигурации,
- типа «крест»,

- геликоидальные,
- типа «зонтик»,
- «паразитные ферромагнетики» (или слабые ферромагнетики),
- спиновая волна –  
= поперечная,  
= продольная,
- суперпарамагнетики,
- аморфные магнетики,
- спиновые стекла.

На основе данного перечня можно разработать более детальную иерархию магнитных структур. Так, можно ввести классификационный признак: «коллинеарные и неколлинеарные структуры». Тогда антиферромагнетики, например, окажутся среди коллинеарных структур, а треугольные конфигурации – среди неколлинеарных.

### *3.9. Магнитострикция как маленький полигон*

А вот пример вариативности классификационного признака: магнитострикция.

Магнитострикция – это, как известно, изменение формы и размеров магнетика в результате изменения его магнитного состояния. Проявления магнитострикции весьма многообразны. Это позволяет и, более того, делает необходимым по-разному классифицировать данное явление: так можно полнее выявить характерные особенности магнитострикции.

Сначала назовем разновидности магнитострикции, сгруппировав их так, чтобы это соответствовало всякий раз выбору какого-то определенного классификационного признака:

- полевая и спонтанная,
- положительная и отрицательная,
- обычная и гигантская,
- изотропная и анизотропная,
- линейная и объемная.

(Здесь употреблены термины, которые используются в магнетизме.)

Всюду выше, имея дело с классификацией, мы называли классификационный признак и обсуждали его. На сей раз поступим по-иному. Отнесемся к приведенным пяти вариантам классификации как к учебному упражнению. Суть упражнения в том, что, имея перед собой элементы классификации, надо назвать классификационный признак во всех пяти случаях. Заметим попутно, что это будет пример так называемой «обратной» задачи [7]: известен «ответ», надо восстановить «исходные условия».

### *3.10. Гиромагнитные опыты*

Терминология, употребляемая при создании классификации, может содержать в себе своего рода подсказку, которая помогает понять и запомнить, о чем идет речь. Можно, например, использовать лексику, которая связывает причину явления и ее следствие, т.е. само явление.

Такова терминология в случае классификации гиромагнитных опытов – опытов, в которых выявляется природа носителей магнетизма. Различают две разновидности таких опытов:

- 1) магнитомеханический,
- 2) механомагнитный.

В этих двух терминах первая смысловая часть содержит указание на причину явления, а вторая часть – столь же недвусмысленное упоминание о физической сути самого явления. «Магнитомеханический» – значит, магнитная причина вызывает механическое следствие. Аналогично: «механомагнитный» – значит, механическая причина вызывает магнитное следствие.

Кстати, а классификационный признак-то какой? Поскольку в доступной литературе не удастся найти ответ на поставленный вопрос, ограничимся предлагаемым ответом, который следует из проведенного этимологического анализа двух терминов. Вот этот признак: «разновидность причинно-следственной связи».

### 3.11. Решетки Браве

Кристаллы – это еще одно безбрежное поле для различного рода классификаций. Не вдаваясь в подробности, отметим лишь, что все разнообразие кристаллов принято систематизировать общепринятыми, заранее оговоренными способами. Принципиально важным обстоятельством является при этом необходимость учитывать трансляционную симметрию кристалла.

В зависимости от выбора классификационных признаков, различают [8]: 7 сингоний, или систем симметрии («по форме элементарных ячеек», из которых построен кристалл), 14 решеток Браве («по способу заселения этих ячеек атомами»), 32 класса симметрии («по сочетанию элементов точечной симметрии», т.е. таких, которые оставляют одну из точек кристалла неподвижной), 230 пространственных групп («по сочетанию всех элементов симметрии», включая трансляционную симметрию).

Остановимся чуть более подробно на решетках Браве: здесь мы будем иметь иллюстрацию принципа, широко применяемого в физике, – принципа простоты. Перечислим все 14 решеток Браве, начиная с наименее симметричной:

- 1) триклинная,
- 2) моноклинная примитивная (P),
- 3) моноклинная базоцентрированная (C),
- 4) ромбическая примитивная (P),
- 5) ромбическая базоцентрированная (C),
- 6) ромбическая гранецентрированная (F),
- 7) ромбическая объемноцентрированная (I),
- 8) тетрагональная примитивная (P),
- 9) тетрагональная объемноцентрированная (I),
- 10) гексагональная,
- 11) тригональная,
- 12) кубическая примитивная (P),
- 13) кубическая гранецентрированная (F),
- 14) кубическая объемноцентрированная (I).

Между прочим, в этом списке представлены все 7 сингоний: триклинная, моноклинная, ромбическая, тетрагональная, гексагональная, тригональная, кубическая. Напрашивается вопрос: почему названные четыре способа заселения ячеек (P, C, F, I) по-разному представлены в сингониях? Ответ: виной всему требование трансляционной симметрии!

А теперь обратим внимание на то, что в случае тетрагональной решетки возможны, вообще говоря, не два, а все четыре способа заселения ячеек атомами – как в случае ромбической решетки: P, C, F, I. Почему же в списке

представлены только два? Все дело в том, что путем выбора кристаллографических осей удастся упростить описание: свести  $C - kP$ , а  $F - kI$ . Вот и получается, что, повинаясь принципу простоты, число решеток Браве можно сократить до минимума: их не 16, а «всего лишь» 14!

### 3.12. Схемы Юнга – Френеля

Под этим термином понимают схемы двухлучевой интерференции. Можно ли рассматривать перечень известных таких схем как их классификацию? Да, можно – при условии, что их объединяет один и тот же классификационный признак. Он должен быть назван, причем желательно – простым и удобным образом. Это будет, одновременно, их отличительный признак.

Вспомним известные схемы двухлучевой интерференции [9]:

- 1) схема Юнга,
- 2) бипризма Френеля,
- 3) билинза Френеля,
- 4) бизеркала Френеля,
- 5) билинза Бийе,
- 6) зеркало Ллойда.

Эти названия, взятые вместе, с очевидностью приводят к установлению классификационного признака. Ведь, действительно, поскольку в самих названиях схем упоминается «инвентарь», при помощи которого осуществлялась двухлучевая интерференция, и этот «инвентарь» оказывается различным в разных случаях, именно он, в обобщенном виде, должен быть включен в название признака. Вот и ответ: «способ технической реализации».

Приведенную классификацию нельзя рассматривать как завершенную конструкцию: ведь нет никаких запретов на то, чтобы добавить еще какие-нибудь новые разновидности схем двухлучевой интерференции. Только вот что добавить? Давно уже ничего не добавляется. Наверное, не так-то просто придумать что-то новое в качестве «способа технической реализации».

### 3.13. Опасная пятерка терминов

Вот эти термины:

- 1) закон движения,
- 2) уравнение движения,
- 3) уравнение траектории,
- 4) уравнение кинематической связи,
- 5) закон динамики.

Данный перечень – вовсе не классификация. Тем не менее, есть веские основания к тому, чтобы эти пять понятий оказались в одном перечне, хотя у них и нет общего классификационного признака.

Давным-давно их судьба сложилась так, что они неотступно сопровождают учащихся, школьников и студентов, в их занятиях физикой. Часто встречаясь учащимся на этом пути, они становятся все более знакомыми и ... плохо различимыми. Как показывает практика преподавания, по невнимательности (это в лучшем случае) их путают в различных комбинациях. Самим своим появлением они провоцируют на ошибку.

А ведь это вполне объяснимо. Во-первых, все пять терминов близки по смыслу уже потому, что все они – из механики. Во-вторых, среди них встречаются терминологические повторы (повторяются слова «закон»,

«уравнение», «движение»). В-третьих, словесная конструкция терминов такова, что их можно принять за термины-синонимы («закон движения» и «уравнение движения», «закон движения» и «закон динамики», «уравнение движения» и «уравнение траектории»).

Последствия такой путаницы бывают плачевны. Совершаемая при этом ошибка известна в логике как «подмена понятия». Она может перерасти в более серьезную – «подмену тезиса». Например, взамен полученного задания выполняют совсем другое! Есть ли выход из ситуации? Да, есть. Правда, единственный, зато универсальный: многократные повторения формулировок определений названных понятий. Надо учить уроки!

### *3.14. Разновидности задач ЕГЭ по физике*

Это – еще одна возможность применить системный подход к изучению физики. Само существование Единого государственного экзамена (ЕГЭ) по физике делает совершенно необходимой систематизацию задач, сначала в рамках школьной учебной дисциплины, а затем и в вузовском курсе физики.

Вот какие разновидности задач встречаются на ЕГЭ по физике [10]:

- 1) на знание физических законов,
- 2) на знание терминологии (и определений),
- 3) на знание основных формул,
- 4) расчетные,
- 5) качественные,
- 6) на графическое сложение векторов,
- 7) на построение графиков,
- 8) на перевод процессов (и циклов) с одной диаграммы на другую,
- 9) на построение изображений,
- 10) на установление соответствия,
- 11) комбинированные,
- 12) эксперимент по фотографии,
- 13) на применение правила размерностей,
- 14) с буквенными обозначениями физических величин,
- 15) с лишними данными.

Зададимся все тем же обсуждаемым вопросом: это классификация или же простое перечисление? Если можно указать общий для всех разновидностей классификационный признак, то – классификация. Воспользуемся подсказкой, спросим себя: каково предназначение всех названных разновидностей? Ответ очевиден: «проверка знаний и умений», которые сформировались у экзаменуемых при изучении физики. Вот мы и назвали требуемый признак. Значит, классификация!

Не упустим случая заметить, что приведенная здесь классификация задач по физике нацеливает учащихся на приобретение именно знаний и умений, которые столь необходимы в жизни.

## **4. Заключение**

Вряд ли имеет смысл идти дальше по пути увеличения числа примеров на тему о роли классификаций в общем курсе физики. Обсуждавшиеся выше примеры – это вовсе не доказательство важности данной проблемы. Взятые вместе, они представляют собой всего лишь очередную развернутую

иллюстрацию на тему о поистине безграничных возможностях физики как развивающей учебной дисциплины.

Представляется целесообразным, подводя итоги сказанному, наметить варианты возможных заданий для учащихся, в которых была бы отражена роль классификаций в общем курсе физики. По мнению автора, это могли бы быть задания, в которых необходимо

- 1) указать классификационный признак для предложенной классификации понятий,
- 2) установить, является ли предлагаемое перечисление классификацией,
- 3) построить классификационную иерархию из предлагаемых понятий,
- 4) привести пример классификации (с указанием классификационного признака) из заданного раздела физики,
- 5) привести пример вариативности классификационного признака в применении к заданной совокупности элементов классификации,
- 6) привести пример классификации, которая находится в стадии развития,
- 7) привести пример классификации физических методов исследования,
- 8) привести пример классификации физических приборов.

## Литература

1. *Стрелков С.П.* Механика. 2-е изд. М.: Наука, 1965.
2. *Николаев В.И.* Четыре типовых вопроса по физике. // Физическое образование в вузах, Т. 10, № 2, 2004, с. 5–9.
3. *Николаев В.И.* Силы инерции в общем курсе физики. // Физическое образование в вузах, Т. 6, № 2, 2000, с. 5–17.
4. *Базаров И.П.* Термодинамика. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1991.
5. *Базаров И.П., Бондаренко В.В.* О невозможности фазовых переходов третьего и более высокого рода. Журнал физической химии. Т. 70, № 7, 1996, с. 1198 – 1200.
6. *Зоммерфельд А.* Электродинамика. Перевод с нем. М.: ИЛ, 1958.
7. *Николаев В.И.* «Обратные» задачи в курсе физики. // Физическое образование в вузах, Т. 4, № 4, 1998, с. 107 – 123.
8. *Бокий Г.Б.* Кристаллохимия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1971.
9. *Ландсберг Г.С.* Оптика. 6-е изд., стереот. М.: Физматлит, 2010.
10. *Николаев В.И., Шипилин А.М.* ЕГЭ. Физика. Тематическая рабочая тетрадь. ФИПИ. – М.: Экзамен, 2010. – 126 с.

## Abstract

### Classification as a teaching tool

V.I.Nikolaev

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

The role of classifications in the general physics course is discussed. A classification is considered as a tool for forming of logical structure of a teaching discipline. It is shown on the concrete examples how variability in choosing of a classification property may be used for teaching purposes.