

## ТЕОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА СООТВЕТСТВИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ

*С.А. Иванов<sup>1</sup>*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: ivsa73@mail.ru

*В статье показано, как производится последовательное уточнение некоторых физических законов непосредственно на занятиях в процессе изучения ряда тем по физике. Данное уточнение является примером своеобразного применения методологического принципа соответствия.*

**Ключевые слова:** идеализированный объект, методологические знания, границы применимости закона.

Принцип соответствия в курсе физики рассматривается применительно к теории атомного излучения и релятивистских формул, в пределе стремящихся к формулам классической механики. В этом случае он выражен как физический принцип, устанавливающий границы применимости только для классической механики Ньютона.

Методологический характер принципа соответствия раскрывается в его систематическом применении к изучению границ применимости физических понятий, законов, концепций строения материи и взаимодействия.

Каждый физический закон может изучаться в качестве частного случая какого-либо более точного закона, в котором бы учитывались несущественные признаки реальных явлений и объектов.

Как известно, система физических законов входит в состав ядра физической теории, используя при этом тот или иной идеализированный объект ее основания. Если учитывать тот факт, что степень идеализации объекта прямым образом влияет на степень идеализации относящегося к нему закона, то применение с этой позиции методологического принципа соответствия позволяет показать приближенный характер научного познания через бесконечную последовательность относительных истин, чем, собственно, и является любой физический закон.

Принцип соответствия открывает возможности не только для простого описания границ применимости физических законов, но еще и для систематизации их внутри ядра изучаемой теории в целях изучения предельных переходов между ними.

Студентам указывается степень идеализации закона путем четкого отвлечения от несущественных фактов и понятий; упор делается на то, что в случае большей значимости тех или иных эффектов их надо будет учитывать и тогда применять более точный закон. Принцип соответствия находит здесь выражение в том, что используемый физический закон будет являться частным случаем того закона, в

котором учитываются малозначимые эффекты. Степень пренебрегаемости какими-либо эффектами реальных природных процессов или признаками природных объектов определяет границы применимости законов и понятий, за пределами которых они теряют свою достоверность.

Для формирования подобных методологических знаний студентов разработана методика поэтапного формирования у учащихся представлений о границах применимости физических законов и понятий. Она состоит в следующем:

1. Выделение несущественных признаков предмета теоретического рассмотрения.
2. Абстрагирование от несущественных признаков предмета, построение его теоретической модели.
3. Обзор наиболее существенных признаков теоретической модели.
4. Предположение об увеличении значимости несущественных признаков модели.
5. Вывод о степени сложности той теоретической модели, в рамках которой должны учитываться несущественные признаки.
6. Общий вывод: идеальная теоретическая модель есть предельный (частный) случай более точной модели, а природное явление может быть исследовано в рамках обеих, но с различной степенью достоверности результатов.

---

<sup>1</sup> Иванов Сергей Анатольевич (к.п.н., доцент), каф. общей физики и физики нефтегазового производства.

Ранее был исследован процесс изучения студентами технического вуза некоторых физических законов классической механики и МКТ в системе соответствия теоретическим моделям с различной степенью идеализации. Результаты исследования представлены в публикациях [1, 2].

Изучение курса электростатики и законов постоянного тока также открывает возможности для систематизации идеи соответствия: закон Ома для участка цепи в идеальной форме записи применим только для чистых металлов вдали от точки их плавления. Этот факт демонстрируется на основе следующих задач.

**ПРИМЕР 1.** Попробуйте назвать границы применимости закона Ома для силы электрического тока  $I = U/R$ . От чего зависит электрическое сопротивление?

**Решение.**

Электрическое сопротивление металла зависит от температуры, и в идеальном случае  $R = R_0 (1 + \alpha \cdot t^0)$ . Поскольку проводник нагревается при повышении электрического напряжения  $U$ , его температура,  $\alpha$ , следовательно, и сопротивление  $R$  есть функции от напряжения. При малых напряжениях данный эффект малозначим и им пренебрегают. Но при температурах проводника, близких к температуре плавления его металла, сила тока начинает зависеть от напряжения не пропорционально, а более сложным способом, так как получается, что напряжение действует не только на ток, но и на электрическое сопротивление. В этом случае наступает нелинейная зависимость тока от напряжения на концах проводника.

Ответ: закон пропорциональной зависимости применим только для проводников из металла при напряжении намного меньше того, при котором температура близка к температуре плавления, так как можно пренебречь сложной нелинейной зависимостью тока от напряжения.

Следующий пример также характерен для выяснения границ применимости закона Ома, но только в более точной (математической) форме выражения. В этом проявляется методологический принцип соответствия.

**ПРИМЕР 2.** Объясните факт зависимости  $R = R(U)$  и попробуйте записать закон Ома для участка цепи в более общем виде, учитывая в нем зависимость  $R = f(U)$ . Какого вида функция  $R = f(U)$ ?

**Решение.**

$R$  зависит от температуры, а она – от величины напряжения  $U$ . Имеем:

$$I = \frac{U}{R_0 + \alpha \cdot R(U)} \rightarrow I = \frac{U}{R}, \text{ если } \alpha \cdot R(U) \ll R_0, \text{ где } R_0 \text{ приобретает смысл фиксированного}$$

для комнатных температур сопротивления, а  $\alpha$  – постоянный коэффициент, зависящий от рода металла.  $R(U)$  – возрастающая функция.

Ответ: условием предельного перехода к идеальному закону Ома является  $\alpha \cdot R(U) \ll R_0$ .

Интересен подход к соответствию законов в области изучения механических и электромагнитных колебаний. Теоретическими моделями являются математический маятник и идеальный электрический контур без активного сопротивления.

Если продемонстрировать студентам колебания маятника, то они легко замечают, что вследствие постепенного затухания у них меняются период и амплитуда. Отсюда мы делаем вывод, что на самом деле колебания не бывают гармоническими, так как одно из условий гармоничности колебаний маятника – постоянство периода и амплитуды – нарушено. Но как осуществить приблизительность выполнения данного условия? На основе ряда экспериментальных опытов с нашим маятником выясняем следующие условия: чем меньше амплитуда раскачиваний, тем дольше сохраняется приблизительное постоянство их периода и амплитуды; можно считать затухание малым лишь за небольшой промежуток времени; чем тяжелее груз и длиннее нить маятника, тем медленнее изменяется период его колебаний; трение должно быть как можно меньше. Существенный признак – периодичность колебаний. Несущественные признаки – наличие трения (сопротивления), непостоянство амплитуды и периода колебаний.

Таким образом подводим к умозаключению о границах применимости закона гармонических колебаний, распространяющегося на колебания любого рода (механические, электрические, социальные, экономические, погодные и т.д.): уравнению гармонического осциллятора подчиняются колебания при достаточно малой амплитуде и малом сопротивлении среды за небольшой промежуток времени ( $t \sim T$ ).

Закон и уравнение гармонических колебаний – частный случай более сложных законов колебаний, когда мы пренебрегаем сопротивлением среды и непостоянством амплитуды. Это есть проявление методологического принципа соответствия в теории колебаний.

При этом, несомненно, сделан акцент на степень идеализации модели математического маятника, которая сравнивается позже с моделью электромагнитного колебательного контура при изучении аналогии между механическими и электрическими колебаниями. Для закрепления рассматриваются следующие задачи.

**ПРИМЕР 3.** Доказать, что уравнение  $x'' + \omega_0^2 x = 0$  является частным случаем уравнения  $x'' + \omega_0^2 x = -kx'$ . Что это за уравнения? Назовите условия для предельного перехода данных уравнений друг в друга. Для какого из них граница применимости шире, то есть охватывает наиболее широкий круг явлений?

#### **Решение.**

Первому из уравнений подчиняются только гармонические колебания, а у второго границы применимости шире: оно характеризует еще и затухающие колебания. Значит, первое уравнение – частный случай второго при условии пренебрежения затуханием колебаний.

Если колебания малы, то первая производная координаты по времени имеет вид  $x' = -\omega \cdot x_m \sin \omega t$ .

Данный вывод обосновывается следующим образом. Как известно, уравнение затухающего колебания  $x = a_0 \cdot e^{-\beta t} \cos \omega t$ , в котором амплитуда затухающего колебания  $x_m = a_0 \cdot e^{-\beta t}$ . Найдем скорость, то есть первую производную координаты по времени:

$$x' = -x_m \omega \sin \omega t - x_m \beta \cdot \cos \omega t.$$

Второе слагаемое в данном выражении будет достаточно мало при малой амплитуде и малом коэффициенте затухания  $\beta$ , то есть выражение приобретает вид, схожий с видом формулы для гармонических колебаний:

$$x' = -x_m \omega \sin \omega t, \text{ если } x_m \beta \cdot \cos \omega t \rightarrow 0.$$

Иначе говоря, если коэффициент сопротивления настолько мал, что затухание колебаний происходит медленно, то  $kx' \approx 0$  и дифференциальное уравнение для затухающих колебаний переходит в уравнение гармонического осциллятора.

Границы применимости гармонических колебаний распространяются дальше на модель идеальной волны (механической и электромагнитной). Разбираются вопросы: чем отличается идеальная механическая волна от морской волны? Назвать как можно больше отличий.

Обсуждается степень идеализации теоретических моделей гармонической волны и закона ее прямолинейного распространения. В реальности нет волн, распространяющихся в одном направлении, а тем более вдоль одной выбранной оси, – можно лишь пренебречь отклонением колебаний либо специально выделить заданное направление, считая волну идеальным лучом. Вывод: луч – наиболее идеализированная модель волны; это частный случай плоской синусоидальной волны вдоль выбранного направления в пространстве, если пренебречь длиной волны по сравнению с размерами препятствий. Для препятствий, размеры которых намного меньше длины волны, явления дифракции не учитываются и волна рассматривается как идеальная. Геометрическая оптика – частный случай волновой теории, в которой пренебрегают явлениями интерференции, дифракции, дисперсии света. Это есть использование на данном этапе физического знания принципа соответствия.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Иванов С.А. Роль квантовой теории в формировании системы знаний студентов о физическом взаимодействии // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки». – 2009. – № 1(11). – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 97-101.
2. Иванов С.А. Роль методологического принципа соответствия в формировании системы знаний студентов о физических законах // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки». – 2010. – № 3(13). – Самара: СамГТУ, 2010. – С. 61-65.

Поступила в редакцию – 23/III/2012,  
в окончательном варианте – 27/III/2012.

UDC: 378

**THE THEORY OF USING OF METHODOLOGICAL PRINCIPLE OF CORRESPONDENCE WHILE STUDING SOME PHYSICAL LAWS**

**S.A. Ivanov**

Samara State Technical University  
244 Molodogvardeiskaya st., Samara, 443100  
E-mail: ivsa73@mail.ru

*This article contains the analysis of successive specification of definitions of some physical laws in the process of studying of a set of questions on the lessons. This definition is an example of application of methodological principle of correspondence.*

**Key words:** *idealized object, methodological knowledge, law application limit.*

Original article submitted – 23/III/2012,  
revision submitted – 27/III/2012.

---

*Sergey A. Ivanov* (PhD), Associate professor, Dept. General Physics and Physics of Oil and Gas Production.