

Л. А. Литневский, В. Л. Литневский

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

АНАЛОГИИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

В статье обсуждается роль аналогий в преподавании курса физики в высших технических учебных заведениях. Предлагается расширить их традиционный перечень для улучшения усвоения более сложных разделов физики, требующих навыков абстрактного мышления.

Ключевые слова: основная задача механики, радиус-вектор, функция распределения.

Leonid A. Litnevsky, Vladimir L. Litnevsky

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

ANALOGIES IN THE GENERAL PHYSICS COURSE

The article discusses the role of analogies in teaching physics courses in higher technical educational institutions. It is proposed to expand their traditional list to improve the assimilation of more complex sections of physics that require abstract thinking skills.

Keywords: the main task of mechanics, the radius-vector, distribution function

Изучение физики и в школе, и в вузе традиционно начинается с раздела «Механика», что совершенно оправдано, поскольку этот раздел наиболее наглядный, хотя и не самый простой. При изучении механики школьники и студенты знакомятся не только с законами механики, но и с основными методами физики, с математическим аппаратом, приобретают навыки решения задач, экспериментальных исследований, работы с теоретическим материалом.

В данной работе мы хотели бы заострить внимание еще на одном, на наш взгляд очень важном аспекте познавательной деятельности обучающихся – на аналогиях. Преподаватели, в отличие от студентов, отлично понимают, что впереди обучающихся ждут все менее наглядные по сравнению с механикой разделы физики, требующие навыков абстрактного мышления, и аналогии с механикой при изучении этих разделов будут весьма полезны.

Ряд аналогий, такие как уравнения динамики и кинематики и энергетические соотношения для поступательного и вращательного движений, уравнения и законы колебаний различной природы, приводящие в дальнейшем к понятию обобщенных величин, хорошо известны и традиционно используются для облегчения усвоения материала.

Здесь мы хотели бы обсудить аналогии другого уровня, которые могли бы значительно облегчить изучение и понимание таких разделов как молекулярная физика, квантовая физика, физика твердого тела и некоторых других, имея в виду, что для значительной части студентов инженерных специальностей региональных вузов названные разделы представляют значительную трудность.

Изучение механики начинается с формулирования основной прямой (найти положение тела (частицы) в пространстве в любой момент времени, исходя из уравнения движения, в основе которого лежит второй закон Ньютона, и начальных условий) и обратной (найти действующую на частицу силу, если положение частицы в пространстве в различные моменты времени известно) задач механики и их решения.

Напомним, что положение частицы в пространстве определяется радиус-вектором $\vec{r} = \vec{r}(t)$, который эквивалентен функциям координат от времени $x = x(t)$, $y = y(t)$, ..., часто называемым законами движения. Решается прямая задача механики двойным интегрированием уравнения движения с учетом начальных значений координат и проекций скоростей. Если же $\vec{r} = \vec{r}(t)$ или законы движения известны, то обратная задача механики решается двойным дифференцированием названных функций. Кроме этого, из функции $\vec{r} = \vec{r}(t)$ можно получить характеристики, связанные с движением частицы: уравнение траектории, функции от времени скорости и ускорения и его составляющих (тангенциальную и нормальную), импульс, радиус кривизны траектории.

В силу изложенного мы считаем важным подчеркнуть: радиус-вектор, заданный как функция времени, полностью описывает механическое движение материальной точки (или центра масс тела).

Однако в дальнейшем, при изучении различных видов движения, решении стандартных задач, как правило, об основной задаче механики уже не упоминают, то есть формулировка основной задачи механики, по сути, имеет лишь декларативный характер. При этом основные формулы, применяющиеся при решении задач, являются прямым следствием или частными случаями уравнений, связанных с решением основной задачи механики.

На наш взгляд, необходимо в набор стандартных задач включить задачи, связанные с непосредственным решением прямой и обратной задач механики. Студентами должно быть твердо усвоено, что знание радиус-вектора (функции

от времени), описывающего движение частицы, означает, что о движении частицы известно все (именно поэтому задача найти эту функцию является основной).

Необходимо также ясно представлять себе последовательность действий, приводящих от второго закона Ньютона и уравнения движения к нахождению функции радиус-вектора от времени. Более того, студентам необходимо знать, как из радиус-вектора получить законы движения, перемещение, скорость, ускорение, его нормальную и тангенциальную составляющие, импульс, результирующую силу, уравнение траектории, то есть уметь решать не только прямую, но и обратную задачу механики. Именно этот набор умений и общее понимание сути основной задачи механики и ее решения нам представляется очень важным в последующем для построения аналогий в других, более сложных разделах физики.

Аналог основной задачи механики мы усматриваем в элементах статистической физики, которые присутствуют во многих разделах общей физики: в молекулярной физике и термодинамике (распределения Максвелла и Больцмана), в квантовой и атомной физике (плотность вероятности обнаружения частицы в нескольких квантовых системах), в физике твердого тела (распределения Ферми-Дирака и Бозе-Энштейна).

Несмотря на то, что эти законы статистические и описывают явления и процессы, принципиально отличающиеся от механического движения, тем не менее мы полагаем, что будет полезным проследить такой же подход к изучению и описанию этих процессов, который мы обсудили в контексте основной задачи механики. Действительно, целью изучения любого стохастического процесса является поиск функции распределения, которая, подобно радиус-вектору в механике, несет полную информацию об изучаемой статистической системе.

Более того, в названных выше разделах физики функция распределения получается либо из одного из фундаментальных законов природы – распределения Дж. Гиббса (распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Энштейна), либо из уравнения Шредингера, заменяющего в микромире второй закон Ньютона. С другой стороны, зная функцию распределения $f(x)$, можно вычислить несколько первых начальных моментов случайной величины

$$\langle x^k \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx, \quad (1)$$

которые позволяют найти различные характеристики статистических систем, такие как среднее значение, которое показывает расположение распределения на числовой оси

$$\bar{x} = \langle x \rangle ; \quad (2)$$

дисперсию, характеризующую разброс случайной величины относительно среднего значения

$$D = \sigma^2 = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2, \quad (3)$$

где $\sigma = \sqrt{D}$ – стандартное отклонение;

коэффициент асимметрии, характеризующий несимметричность распределения относительно среднего значения

$$\gamma_1 = \frac{\langle (x - \langle x \rangle)^3 \rangle}{\sigma^3} ; \quad (5)$$

коэффициент эксцесса, характеризующий остроту пика распределения по сравнению с нормальным распределением (Гаусса)

$$\gamma_2 = \frac{\langle (x - \langle x \rangle)^4 \rangle}{\sigma^4} - 3 . \quad (6)$$

Разумеется, что необходимо познакомить студентов с формулами, позволяющими найти моменты и характеристики распределений. Кстати, заметим, что нулевой начальный момент распределения является условием нормировки. Несмотря на то, что эти формулы изучаются в математике, далеко не все студенты умеют легко применить математические знания в физике, поэтому задачи, в которых необходимо найти наиболее вероятные, средние, среднеквадратичные значения, должны быть включены в перечень стандартных задач для разделов, содержащих элементы статистической физики.

И, в заключение, еще один важный аспект. Уже в самых первых вопросах механики школьники и студенты знакомятся с такими понятиями как постоянная скорость и мгновенная скорость при равномерном и неравномерном движении соответственно. Хорошо известно, что в первом случае перемещение вычисляется по простой формуле $\vec{s} = \vec{v}t$, во втором же случае, как минимум, не обойтись без вычисления интеграла

$$\vec{s} = \int_0^t \vec{v}(t') dt' . \quad (7)$$

Применяющиеся при решении задач известные из школьной программы формулы кинематики равноускоренного движения, в которых данный интеграл уже вычислен, к сожалению, играют в обсуждаемом вопросе скорее отрицательную роль, затрудняя понимание различия при оперировании постоянными и переменными величинами.

Применение дифференциального и интегрального исчисления при изучении физики в вузе существенно отличается вузовский курс физики от школьного и является серьезной трудностью для студентов. Различие в работе с постоянными и переменными величинами, очевидно, является универсальным, и рассматривается в десятках вопросов курса, начиная с уже рассмотренного равномерного и неравномерного движений и заканчивая вычислением количества теплоты и изменения энтропии при нагревании кристалла при низких температурах при изучении тепловых свойств твердых тел. Прослеживание данной аналогии в течение всего курса физики поможет студентам гораздо лучше разобратся в огромном числе физических явлений.

Безусловно, природа более разнообразна, чем предложенный в данной работе «линейный» подход к изучению некоторых явлений, и познание природы очень часто к нему не сводится, но нам представляется, что подобные «красные нити», проходящие через весь курс общей физики, могли бы послужить стержнем, на который будет «нанизано» все разнообразие физических законов и явлений.

Список литературы

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 5-и т. Т. 1. Механика [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. издан. / И. В. Савельев. – СПб.: Лань, 2011. – 337 с.
2. Детлаф, А. А. Курс физики: учебное пособие. – 9-е изд., стер. / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Академия, 2014. – 720 с.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. / Т. И. Трофимова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Издание 5-е, исправл. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. /Д. В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
5. Физическая энциклопедия. Под ред. А. М. Прохорова. В 5-и т. Т. 4. – М.: Сов. Энциклопедия, 1994.