

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики
им. А.М. Прохорова Российской академии наук

В ньютоновской механике, которая, по определению, построена на основе законов (аксиом) Ньютона, воздействие тел друг на друга характеризуется силой. Главное в ньютоновской механике - изменение скорости движения определяется силами (в формулировке Ньютона - $\frac{dp}{dt} = F$). Поэтому понятие сила целесообразно принять в качестве системообразующей категории [1]. После идентификации всех сил находится ускорение. Зная ускорение и начальные условия, остается чисто математическая задача: интегрированием по времени находится закон движения (и любые другие кинематические характеристики). Это основной алгоритм ньютоновской механики. Очевидно, что принцип системности требует такой последовательности изложения: сначала *Динамика* (изучение действия сил), а затем *Кинематика* (изучаются способы описания движения). Однако во всех учебниках последовательность изложения обратная: сначала *Кинематика*, а затем *Динамика*, что приводит к негативным последствиям, связанным, в частности, с тем, что часто силы пытаются находить из ускорения, по «хорошо известной» формуле $F = ma$.

Кроме непосредственного применения основного алгоритма, часто используются теоремы об изменении кинетической энергии, импульса и момента импульса. Законы Ньютона и эти три теоремы (закона) об изменении под действием силы, выведенные из законов Ньютона, в первом приближении можно назвать структурой системы ньютоновской механики.

Но система – это еще и содержание структурных элементов и системообразующие связи между понятиями и законами.

В учебном материале можно выделить задачи, решаемые прямым применением законов Ньютона (основной алгоритм) и решение с помощью подхода, который можно назвать «энергетическим» (он, конечно, основан на законах Ньютона). «Энергетический» метод, занимающий большое место в учебной программе, широко используется при решении задач (как правило, в случаях, когда не требуется нахождение закона движения - достаточно определить, например, скорость или энергию движения в какой-то момент времени). Этот подход основан на использовании понятий работа, потенциальная энергия,

кинетическая энергия. Большое место в нем занимает закон сохранения так называемой полной механической энергии, представляющей собой сумму кинетической энергии и потенциальной энергии.

Опыт показывает, что понимание и использование понятий потенциальная энергия и полная механическая энергия вызывает большие затруднения. Уместно процитировать мнение профессора МГУ В.И.Николаева: «...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 » [2]. Проблема, в частности, в том, что часто потенциальная энергия воспринимается учащимися как самостоятельная величина – какая-то «энергия». И при нахождении этой «энергии» возникают ошибки. Следовательно, очень важно объяснить физическое содержание потенциальной энергии, в частности, для понимания содержания и правильного применения закона сохранения энергии.

Важно усвоить, что движение тела определяется только приложенными силами, а изменение потенциальной энергии, как вспомогательной величины, происходит в соответствии с ее определением - работа сил поля с обратным знаком.

Применение законов сохранения также нередко вызывает большие затруднения. Как отмечает В.И.Николаев, «Законы сохранения трактуются вразнобой, причем их авторы порой противоречат не только друг другу, но и самим себе. Встречаются и ошибочные формулировки законов сохранения».

Предлагаемый системный подход изложения этих вопросов состоит в следующем. Исходя из силы, как системообразующей категории, сначала находится работа силы и, через работу, потенциальная энергия. Это и есть системообразующие связи с действующими силами. Потенциальная энергия рассматривается не как составная часть так называемой полной механической энергии, а как вспомогательная величина, сконструированная на основе силы, а именно, как работа сил поля (если говорить о потенциальном поле) с обратным знаком. При таком определении понятие потенциальная энергия приобретает ясный физический смысл. Такое определение является ключом к пониманию физического содержания потенциальной энергии и правильному ее использованию.

Рассмотрим законы сохранения. При применении теорем об изменении физических величин может оказаться, что в каких-то случаях эти величины не изменяются, т.е. их значения остаются постоянными во времени. Придание этому частному случаю статуса закона не очень подходит в логике системного изложения ньютоновской механики. Дело

вот в чем. Т.к. восприятие (трактовка) задачи обычно происходит с помощью имеющихся знаний, то иногда естественным образом проявляется склонность к автоматическому использованию закона сохранения, не разбираясь детально, «что происходит», не всегда понимая, например, при использовании закона сохранения энергии, какая именно «энергия» (а различных «энергий» в учебной программе очень много, что и является большим препятствием для усвоения законов сохранения энергии) сохраняется, каковы условия применимости данного закона сохранения и т.д. Кстати, использование понятия полная механическая энергия зачастую не только не упрощает решение задачи, но и, наоборот, может усложнить решение, что само по себе увеличивает вероятность ошибок. В книге [1] убедительно продемонстрировано, что в ряде случаев преимущества применение теоремы об изменении кинетической энергии имеет преимущества. По крайней мере, приоритет при изучении ньютоновской механики следует отдать решению с помощью базовых теорем и понятий системы именно ньютоновской механики.

Важно отметить, что применение теорем об изменении направляет внимание на рассмотрение воздействия всех сил, т. е. на изучение условий применимости законов сохранения, а не автоматическое их использование. Глубокое усвоение теорем об изменении позволит избежать многих трудностей и ошибок при использовании законов сохранения. Поэтому при обучении предлагается перенос акцента с законов сохранения на теоремы об изменении физических величин под действием сил, т. е. сделать упор на изучение и практическое применение теорем об изменении. С дидактической точки зрения вполне оправдано назвать эти теоремы законами об изменении. С точки зрения системности также логично представлять законы сохранения как частный случай теорем об изменении. Например, логика связи понятий и законов при изложении законов сохранения следующая: сила – работа силы (или импульс силы) – теоремы об изменении - законов сохранения. Т.е. в системе ньютоновской механики законы сохранения рассматриваются как следствия законов Ньютона.

Для понимания и использования законов сохранения большое значение имеет глубокое усвоение теоремы об изменении кинетической энергии: изменение кинетической энергии равно работе силы. Теорема об изменении кинетической энергии имеет ясный смысл, ею удобно пользоваться. Кроме того, круг решаемых с ее помощью задач гораздо шире: эту теорему можно использовать и в диссипативных системах, т. е. при наличии в системе сил трения и (или) сопротивления. При наличии диссипативных сил этот подход гораздо удобнее. Следует отметить также, что теорема об изменении кинетической энергии представляет собой очень простой ключ к решению многих задач.

Следует отметить, что Система изложения раздела Механика должна рассматриваться как часть Системы изложения материала всего курса общей физики (например, при соответствующем изложении Механики значительная часть учебного материала Электростатики сведется к одной фразе: «заменить кг на Кл») и других учебных дисциплин. Системность предполагает также рассмотрение учебного материала в более широком контексте, что требует некоторого расширения материала, добавления вопросов, не содержащихся в учебной программе.

Литература.

1. *Ивашкин П.И., Романовский М.Ю.* Механика, молекулярная физика и термодинамика. - М., 2015. – 292с.
2. *Николаев В.И.*, О законах сохранения в разделе «Механика» // Физическое образование в ВУЗах, т. 13, № 2 - 2007.