

Александр Иннокентьевич Киркинский

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, заслуженный преподаватель МФТИ, почётный работник ВПО РФ



О некоторых физических понятиях и законах

В журнале «Потенциал» (2010, №12) напечатана статья профессора кафедры высшей математики Московского физико-технического института (МФТИ) Д. В. Беклемишева «Об определениях и не только о них...». Статья эта очень важна, так как в ней речь идёт о введении начальных математических понятий — определений, различных видах определений, их значении для дальнейшего построения математических теорий. «Часто определение стоит в начале математических рассуждений: определяется новый объект и затем изучаются его свойства... С более близкой нам позиции человека, обучающегося математике (от себя добавим — и физике) всё сказанное означает, что нужно выработать в себе привычку твёрдо и точно помнить определения всех изучаемых понятий. Чтобы рассуждать уверенно, недостаточно «в общем-то представлять себе», что это такое. Приблизительное знание часто является источником ошибок». В своё время при изучении математики и физики в школе знанию определений придавалось очень большое значение. Это продолжалось и при учебе в МФТИ. Преподаватели предупреждали, что незнание определений сразу влечёт за собой неудовлетворительную оценку на экзамене. При этом подчёркивалось, что запоминание (и, следовательно, знание) определений должно основываться не на зазубривании соответствующих формул, а на понимании смысла вводимых понятий, необходимости их введения в нужном месте и применения их в дальнейшем.

В математике сложность введения определений связана ещё и с тем, что: «От объектов реального мира «математические» объекты отличаются тем, что органам чувств они недоступны ни непосредственно, ни с помощью каких-либо экспериментов. Всё, что мы можем узнать о таком объекте, основывается на его определении».

О физических понятиях

Математика является аппаратом (как говорят, «языком») физики. Поэтому и в физике существуют аналогичные проблемы введения новых физических понятий, особенно если речь идёт о начальных понятиях, для которых нельзя ввести определения через известные предыдущие. Однако в физике мы имеем дело как раз с «осязаемыми», измеряемыми прямо или косвенно физическими величинами и, в принципе, можно определить (дать определение) физическое понятие, описав процедуру его измерения. Например, температура – одно из сложных физических понятий. В термодинамике её можно ввести как величину, определяющую направление теплообмена (при этом необходимо использовать физический закон – второе начало термодинамики), в молекулярно-кинетической теории – как величину, пропорциональную средней кинетической энергии поступательного хаотического движения молекул и т. д. Если спросить врача, что такое температура, то он может ответить так: «То, что показывает градусник (медицинский термометр), – это и есть температура». Можно считать, что для врача это неплохой ответ, так как температура здесь опреде-

ляется через способ измерения с помощью довольно точного («эталонного») измерительного прибора, и другие врачи однозначно поймут, о чем идёт речь.

Бывает так, что процедура измерения физической величины сама основывается на физическом законе, в который эта величина входит. Например, в электростатике точечные заряды взаимодействуют друг с другом с силой, пропорциональной произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними (закон Кулона). Но как мы можем это установить, если единицы измерения заряда сами вводятся на основании закона Кулона? Для этого нужно привлекать дополнительно ещё какие-то экспериментально подтверждаемые свойства зарядов. Например, что если имеются два одинаковых проводящих шарика, один из которых заряжен, а другой – нет, то при их соприкосновении заряды шариков станут одинаковыми, равными половине начального заряда первого шарика. В результате должна получиться непротиворечивая система «определение – закон», следствия из которой проверяются в дальнейших теориях и экспериментах.

О понятии силы

В классической (нерелятивистской) механике одним из основных физических понятий является понятие силы. Это понятие было известно более чем за 2000 лет до механики И. Ньютона и использовалось, например, Аристотелем в его механике, Архимедом.

Сила определяется как физическая величина, являющаяся количественной мерой механического взаимодействия тел, в результате которого происходит изменение движения тел или изменение их размеров и формы (деформация).

Здесь пока нет конструктивного определения силы, а говорится о том, для чего это понятие вводится, и содержатся указания, на основе чего её можно измерять: по изменению движения тел или их деформации. Выберем второй путь и будем измерять силу по удлинению «эталонной пружины» (динамометра), при этом нужны дополнительные предположения о свойствах этого динамометра, например, пропорциональность удлинения приложенной силе (закон Гука для пружины, в который входит понятие силы). Да-

лее необходимо сослаться на опытные факты, говорящие о том, что результат действия силы зависит не только от величины удлинения эталонной пружины, но и от её ориентации в пространстве, т. е. сила – вектор, и применимы соответствующие правила действий над векторами.

Если такого определения силы недостаточно, то можно обратиться к применению известного в математике аксиоматического метода определения понятия (см. статью Д. В. Беклемишева).

Второй закон Ньютона. Масса

В классической механике в инерциальной системе отсчета для материальной точки имеет место II закон Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F},$$

где \vec{a} – ускорение точки массой m , \vec{F} – сила (или сумма сил), приложенная к этой точке. Строго говоря, пока написана только эта формула – это ещё не закон. Законом это становится тогда, когда мы пишем, говорим или хотя бы подразумеваем, что величина m – постоянная!

Фактически содержание второго закона Ньютона сводится к двум утверждениям:

- 1) $\vec{a} \sim \vec{F}$;
- 2) $\vec{a} = \frac{1}{m}\vec{F}$.

Первое утверждение устанавливает функциональную связь между ускорением и силой: ускорение прямо пропорционально силе. Второе утверждение является определением величины m как коэффициента пропорциональности между \vec{a} и \vec{F}

во втором законе Ньютона. Из этих двух утверждений следует, что величина m является характеристикой тела, причем, чтобы сообщить определённое ускорение телу большей массы, к нему нужно приложить большую силу, т. е. изменить движение тела большей массы труднее. Поэтому величину m называют инертной массой, т. е. величиной, характеризующей инертные свойства тела, его способности сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения и препятствовать изменению этого состояния. Масса, как выясняется другими физическими законами, может характеризовать и другие физические свойства, но впервые встречающаяся в механике инертная масса – это коэффициент пропорциональности во II законе Ньютона.

В школьном курсе физики мы имеем дело, как правило, с постоянными силами и движениями с постоянным (в частности, равным нулю) ускорением. Однако II закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

справедлив, конечно, и тогда, когда сила — переменная величина, например, зависящая от времени. Тогда этот закон применим в каждый момент времени и связывает ускорение и силу в этот момент времени:

$$m\vec{a}(t) = \vec{F}(t).$$

Поскольку этот закон «локален» по времени, то возникает более сложный вопрос: может ли масса m зависеть от времени. При обсуждении второго закона Ньютона в виде $m\vec{a} = \vec{F}$ мы указали, что масса может быть **только постоянной**. Существует точка зрения, что закон Ньютона в виде $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$, как записывал его сам Ньютон, применимо и для описания движения тел с переменной массой. Приводятся примеры задач, которые, исходя из этого, решаются правильно. Вообще говоря,

Другие примеры

Приведём ещё примеры физических законов, которые можно формулировать по принципу двух утверждений «закон — определение».

При рассмотрении так называемого сухого трения скольжения мы используем следующую самую простую модель:

- 1) $F_{\text{тр ск}} \sim N$;
- 2) $F_{\text{тр ск}} = \mu N$.

Первое условие утверждает, что величина силы трения скольжения $F_{\text{тр ск}}$ пропорциональна величине нормальной силы реакции опоры N , которая, по третьему закону Ньютона, равна нормальной «прижимаю-

это неверно. Действительно, распишем производную от импульса

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt} = \vec{F}.$$

Второе слагаемое содержит скорость, которая различна в разных ИСО, т. е. не выполняется принцип относительности Галилея.

Естественно, возникает вопрос, как правильно описывать движение тела с переменной массой. Ответ на него выходит за рамки обсуждаемой темы. Его даёт уравнение Мещерского, вывод которого, следствия и некоторые примеры применения предполагается рассмотреть в отдельной статье.

Говоря о втором законе Ньютона, отметим ещё, что вопрос о природе сил в правой части уравнения не связан с самим этим законом. Сам Ньютон, построив пример нахождения этой силы (закон всемирного тяготения), понимал это.

щей» силе, действующей на поверхность, по которой движется тело. Второе является определением коэффициента пропорциональности между $F_{\text{тр ск}}$ и N . Из обоих условий следует, что в этой модели $\mu = \text{const}$.

В более сложных моделях сухого трения оказывается, что первое условие ($F_{\text{тр ск}} \sim N$) не выполняется, второе же можно оставить только как определение коэффициента трения μ . Законом же в этом случае становится получаемая теоретически или экспериментально зависимость

$$\mu = \varphi(v_{\text{отн}}),$$

где $v_{\text{отн}}$ – относительная скорость перемещения одного тела вдоль поверхности другого.

Закон Ома для однородного (не содержащего ЭДС) участка цепи также можно сформулировать в виде двух утверждений:

- 1) $I \sim U$;
- 2) $I = \frac{1}{R}U$.

Первое: сила тока I пропорциональна напряжению на этом участке U ; второе: определение сопротивления R как коэффициента пропорциональности между I и U . Из этого следует, что $R = \text{const}$ (не зависит от I , U).

Электрические элементы (резисторы), для которых выполняется закон Ома в таком виде, называются линейными. При некоторых услови-

ях оказывается, что сопротивление резистора R само начинает зависеть от силы тока I . Тогда первое условие ($I \sim U$) перестаёт выполняться, а равенство

$$R = \frac{U}{I}$$

можно использовать лишь как определение сопротивления теперь уже «нелинейного» резистора. Законом же здесь должна стать, например, зависимость $R = R(I)$, задаваемая аналитически или графически.

В заключение ещё раз обратим внимание на важность хорошего понимания и знания основных физических понятий, понимания содержания и смысла основных физических законов и на этой основе правильного их применения к решению различных физических задач.

ЮМОР

Эмоциональная формула

Рассказывают, как однажды на экзамене абитуриента попросили привести выражение для биномиальных коэффициентов

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Заглянув в шпаргалку и набрав побольше воздуха, абитуриент закричал:

- Эн! Разделить на Ка! И на Эн минус Ка!
- Тише, почему вы так кричите? – изумился экзаменатор.
- Ну как же, здесь же расставлены восклицательные знаки...

(Цит. по книге: Жуков А. В. Вездесущее число «пи». М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ»/URSS, 2009.)