

СТРОГОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Яковлева Татьяна Юрьевна

377 школа

Санкт - Петербург

Преподаватель физики должен стремиться излагать свой предмет не как набор формул, а как логичную науку, знание которой требует не столько хорошей памяти, сколько умения рассуждать. При этом желательно преподавать общую физику максимально ясным и понятным языком с использованием адекватного и доступного учащимся математического аппарата.

Для этого крайне желательно излагать курс общей физики в определённой последовательности, стремясь к тому, чтобы материал нового раздела логично вытекал из результатов, полученных в ранее рассмотренных разделах.

Такой подход также однозначно требует в самом начале каждого раздела дать строгие определения основных физических величин, используемых в данном разделе.

Строгость и корректность определений особенно актуальна в последнее время, когда начала активно применяться тестовая система оценки знаний учащихся (например, в рамках Единого государственного экзамена или тестирования остаточных знаний в ВУЗах).

При этом крайне важно, чтобы определения основополагающих в общей физике понятий были бы максимально близки в курсах средней и высшей школ (в идеале – одинаковы, поскольку для их введения обычно не требуется знание высшей математики).

Авторы одного из пособий для средней школы совершенно справедливо утверждают: **«Законы, определения и понятия нередко усваиваются формально, без твёрдого понимания того, где, когда, в каких условиях они справедливы. В результате – ошибочное использование законов и правил, неумелое их применение в конкретных физических условиях...»** [2, с. 3]. При этом, правда, добавляют: **«Вообще говоря, определения не могут быть правильными или неправильными, точными или неточными (запрещается только внутренняя противоречивость).** Автор любой книги (лекции, диссертации) вправе, например, сказать: «Назовём треугольником многоугольник, содержащий четыре стороны» или «Договоримся считать равными числа, различающиеся не больше, чем на единицу». Разумеется, после таких определений в рамках данной книги придётся говорить, что число e равно числу π и т.д... Существуют, однако, общепринятые понятия, смысл которых одинаков во всей научной литературе (например, скаляр и вектор). Для них разработан соответствующий математический аппарат, им можно сопоставить вполне определённые величины в физике...» [2, с. 8-9].

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Рассмотрим, как вводится понятие «материальная точка» (material point, mass point) в некоторых учебниках. В определении этого, возможно, главного понятия механики часто встречаются две некорректности.

Во-первых, вместо строгого определения даётся пример. Этот подход можно проиллюстрировать следующим образом. Вы спрашиваете: «Что такое рыба?», а Вам вместо чёткого определения понятия «рыба» (Рыба – водное позвоночное животное с непостоянной температурой тела, дышащее жабрами и имеющее плавники [9, с. 743]) отвечают: «На безрыбье и рак рыба».

В отдельных конкретных случаях этот пример, возможно, и верен, но ведь Вы не получили ответа на поставленный вопрос, и так и не знаете, что такое «рыба».

А, во-вторых, даже примеры часто даются нестрого и неполно. Проиллюстрируем сказанное на конкретных примерах.

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Авторы учебника утверждают: «Если в условиях данной задачи размеры тела допустимо не учитывать, такое тело можно считать материальной точкой» [2, с.51], [3].

То есть вместо определения даётся пример, но при этом условия применимости такого примера не оговариваются. А ведь часто основное значение имеют не размеры тела, а его форма, вид движения и т.д.

Примером вместо определения материальная точка трактуется и в некоторых других, в целом очень неплохих, учебниках для средней школы:

*«В любом случае, если размерами тела можно пренебречь по сравнению с расстояниями, на которые оно перемещается, тело можно принять за **материальную точку**»* [1, с. 4-5];

*«**Материальная точка** – тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь»* [5, с. 24];

*«Тело, размерами которого в данных условиях движения можно пренебречь, называют **материальной точкой**»* [6, с. 6];

*«**Материальная точка** – основная модель в механике. Материальной точкой можно считать тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь»* [10, с. 13, с.43].

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Многие авторы учебников для общеобразовательных школ дают вполне корректные определения. Сначала предлагают использовать **термин «точка»** («Под точкой можно понимать, например, маленькую отметку, нанесенную на движущийся предмет – футбольный мяч, колесо трактора и т.д.» [7, с. 10]), затем дают достаточно корректное объяснение: **«Основные законы механики Ньютона относятся не к произвольным телам, а к точке, обладающей массой, – материальной точке.** Но точек, обладающих массой, в природе нет. В чем же тогда смысл этого понятия? **Во многих случаях размеры и форма тела не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на характер механического движения. Вот в этих случаях мы и можем рассматривать тело как материальную точку, т. е. считать, что оно обладает массой, но не имеет геометрических размеров... Но если тот же кубик вращается, считать его точкой нельзя: его части будут иметь существенно разные скорости»** [7, с. 62].

Можно было бы определить материальную точку и как объект, обладающий массой и только трансляционными степенями свободы, однако такое определение будет явно преждевременным.

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

Логично дать определение материальной точки, а уже потом привести примеры и уточнения. Правда, **сначала придётся объяснить, что такое научная абстракция или модель.** Но это успешно сделано во многих цитируемых книгах [5, 10] – ведь общая физика постоянно сталкивается с научными абстракциями во всех своих разделах. А затем можно дать определение: «Материальная точка – понятие, вводимое в механике для обозначения объекта, который рассматривается как точка, имеющая массу» [4, с. 35], привести примеры и окончательно уточнить: **«Материальная точка характеризуется только массой и положением в пространстве. Понятие материальной точки – научная абстракция, модель, обеспечивающая упрощенное математическое описание движения. Приближением материальной точки может быть любое тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь (т. е. размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с масштабами движения)»** [4, с. 35]. Аналогично вводится данное понятие и в Физической энциклопедии [11, с. 65]. А при введении понятия вращательного движения можно особо оговорить применимость материальной точки в этом случае.

1. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА

1. Анциферов Л.И. Физика: Механика, термодинамика и молекулярная физика. 10 кл.: Учеб. для общеобразоват. учреждений. – М.: Мнемозина, 2001. – 415 с.: ил.–ISBN 5-346-00035-6.
2. Ащеулов С.В., Барышев В.А. Задачи по элементарной физике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 192 с.
3. Ащеулов С.В. Определение понятия материальная точка / В кн.: Университетская гимназия. 2000. Тезисы докладов IX научно-методической конференции. – СПб., 2000.–2 с.
4. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Механика / Под ред. А.С. Чирцова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 416 с. – ISBN 978-5-94157-729-3.
5. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. – 5-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2003. – 416 с.: ил. – ISBN 5-7107-7157-0.
6. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: Учеб. для 9 кл. сред. шк. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1994. – 192 с.: ил. – ISBN 5-09-004788-X.
7. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 366 с.: ил. – ISBN 5-09-014170-3.
8. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие: Для втузов. В 5 кн. Кн. 1. Механика. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит., 1998. – 336 с. – ISBN 5-02-015000-2 (Кн. 1).
9. Словарь русского языка: В 4-х т. / АН СССР, Ин-т. рус. яз.; Под ред. А.П. Евгеньевой. – 3-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1985-1988. – Т.3. П–Р. 1987. – 752 с.
10. Степанова Г.Н. Физика. 10 класс. Механика. I полугодие: Учебник для общеобразовательных учреждений. – 2-ое изд., перераб, доп. – СПб: ООО «СТП Школа», 2003. – 184 с., ил.
11. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Большая Российская энциклопедия. Т. 3 Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема. 1992. – 672 с., ил.

2. ВЕКТОР И ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА

Рассмотрим как вводится понятие вектор в некоторых учебниках. «Существуют общепринятые понятия, смысл которых одинаков во всей научной литературе (например, скаляр и вектор). Для них разработан соответствующий математический аппарат, им можно сопоставить вполне определённые величины в физике...» [2, с. 8-9].

Однако очень часто понятие «вектор» в физике не вводится вообще – видимо предполагается, что такое понятие известно учащимся из курса математики. Но в том-то и дело, что определение вектора в математике звучит для физика несколько странно: **«Вектор – прямолинейный отрезок определенной длины и направления»** [3, с. 48]. Это и есть строгое определение математического понятия – вектора, которое так или почти так трактуется и в [6, с. 11], и в [9, с. 73], и в [1, с. 94], и в [4, с. 29-30], и в [5, с. 116], и в Математической энциклопедии [7, с. 632]. Казалось бы, что тут возразить? Можно привести и ещё более строгое определение: **«Вектор – упорядоченная совокупность трех чисел (представляющих собой физические величины), зависящих от системы координат и изменяющихся при повороте системы отсчёта так же, как изменяются координаты точки»** [3, с. 48].

2. ВЕКТОР И ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА

Но авторы уже упомянутого пособия для средней школы дают своё определение вектора: «**Вектором называют величину, характеризуемую численным значением, направлением в пространстве и складывающуюся с другой, себе подобной величиной геометрически**» [2, с. 9]. То есть налицо подмена понятия «вектор» широко применяемым в физике понятием «**векторная величина**». Аналогичная невольная подмена сделана и в одном из учебников для высшей школы: «**Векторами называются величины, характеризующиеся числовым значением и направлением и, кроме того, складывающиеся по правилу параллелограмма. Согласно более строгому определению вектором называется совокупность трех величин, преобразующихся при поворотах координатных осей по определенному закону**» [10, с. 17].

2. ВЕКТОР И ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА

Иногда, дабы избежать возможной путаницы, понятие «вектор» не вводится, а сразу даётся определение для «векторной величины»: **«Векторными... называются физические величины, для полной характеристики которых одного значения недостаточно, необходима информация о направлении ее в пространстве по отношению к выбранным осям (или одной оси). Таким образом, векторная величина характеризуется: 1) значением или модулем; 2) направлением в пространстве»** [11, с. 13].

2. ВЕКТОР И ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА

Поэтому логичным представляется такой подход – сначала дать строгое определение вектора, а затем объяснить различие между векторами и векторными величинами: «Векторы изображают векторные величины: силу, скорость, ускорение и т.п. При этом не следует путать вектор и изображаемую им векторную величину. Строго говоря, сила не геометрический вектор, а векторная величина» [3, с. 48]. Аналогичный подход предложен и в [1, с. 94]. Можно дать и строгое определение векторной величины: «Величина векторная {Vector observation, Vector quantity, Vector variable}. Физическая величина, характеризующаяся кроме численного значения еще и направлением в пространстве; определяется проекциями на координатные оси, преобразующимися при переходе от одной системы координат к другой так же, как преобразуются проекции направленного отрезка» [3, с. 324].

В противном случае возможна путаница: «...величины, подобные радиусу-вектору, которые, кроме своего абсолютного значения (модуля), характеризуются еще и направлением в пространстве, называются векторными величинами или просто векторами» [8, с. 13].

2. ВЕКТОР И ВЕКТОРНАЯ ВЕЛИЧИНА

1. Аленицын А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико-математический справочник. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 368 с. – ISBN 5-02-013847-9.
2. Ащеулов С.В., Барышев В.А. Задачи по элементарной физике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 192 с.
3. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Механика / Под ред. А.С. Чирцова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 416 с. – ISBN 978-5-94157-729-3.
4. Воднев В.Т., Наумович Н.Ф. Математический словарь высшей школы: Общ. часть / Под ред. Ю.С. Богданова. – М.: Изд-во МПИ, 1988. – 527 с., ил.
5. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1977. – 872 с., ил.
6. Лаптев Г.Ф. Элементы векторного исчисления. – М.: Наука, 1975. – 336 с., ил.
7. Математическая Энциклопедия / Ред. коллегия: И.М. Виноградов (глав. ред.) [и др.] Т. 1. А-Г. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – 1152 стб. с илл.
8. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 366 с.: ил. – ISBN 5-09-014170-3.
9. Политехнический словарь / Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
10. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие: Для втузов. В 5 кн. Кн. 1. Механика. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 336 с. – ISBN 5-02-015000-2 (Кн. 1).
11. Степанова Г.Н. Физика. 10 класс. Механика. I полугодие: Учебник для общеобразовательных учреждений. – 2-ое изд., перераб, доп. – СПб: ООО «СТП Школа», 2003. – 184 с., ил.

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

Рассмотрим как вводится понятие вес (weight) в некоторых учебниках.

Часто вес определяют как частный случай силы упругости: «**Вес** тела – суммарная сила упругости тела, действующая при наличии силы тяжести на все опоры, подвесы» [6, с. 105]; «...**вес** тела – это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или подвес... **Вес** тела – это сила упругости, приложенная к подвесу» [7, с. 83]; «**Весом** тела называют силу, с которой это тело действует на горизонтальную опору или растягивает подвес. Вес не является силой какой-то специфической природы. Это название присвоено частному случаю проявления силы упругости» [8, с. 94]; «**Частным случаем силы упругости является вес тела** – сила, с которой тело, вследствие притяжения к Земле, давит на горизонтальную поверхность или растягивает вертикальный подвес» [10, с. 67].

В принципе здесь всё верно, вот только стоит ли так уж подчёркивать, что вес – частный случай силы упругости? Ведь сила упругости возникает при деформации тела. У учащихся может возникнуть предположение, что явление невесомости (отсутствие веса) эквивалентно отсутствию деформации (например, в модели «абсолютно твёрдое тело»).

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

Физическая энциклопедия предлагает более простое определение веса: «**Вес – сила, с которой любое тело, находящееся в поле сил тяжести (как правило, создаваемое каким-либо небесным телом, например, Землёй, Солнцем и т.д.), действует на опору или подвес, препятствующие свободному падению тела...**» [11, с. 262]. Можно предложить и другие близкие определения: «Вес тела – сила, с которой тело действует на горизонтальную подставку или на вертикальный подвес вследствие гравитационного притяжения к Земле. При этом предполагается, что тело неподвижно относительно опоры или подвеса» [4, с. 149] или «**Вес тела {Body weight}. Сила, с которой тело вследствие тяготения к Земле действует на опору (или подвес), удерживающую тело от свободного падения. Вес проявляется только в том случае, когда на тело кроме силы тяжести действуют еще другие силы, вследствие чего тело движется с ускорением, отличным от ускорения свободного падения. Единица измерения в СИ – ньютон, Н**» [4, с. 325]. При этом **можно подчеркнуть, что** «вес и сила тяжести приложены к разным объектам (В. – к опоре или подвесу, сила тяжести – к телу) и имеют различную физич. природу (соответственно, В. – упругую, т. е. по существу электромагнитную, а сила тяжести – гравитационную)» [11, с. 262].

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

Таким образом, проблем с определением понятия «вес» обычно не бывает, а вот вопрос о том, чему вес равен, почему-то не так очевиден. Так, авторы одного из пособий для средней школы утверждают: **«Понятие «вес» имеет в физике различное содержание. Весом G тела применительно к условиям Земли называют... силу его притяжения к Земле, рассчитанную по закону всемирного тяготения»** [2, с. 134]. Т. е. получается, что вес и сила тяготения – одно и то же?! Т. е. авторы даже не учитывают разницу между силой тяжести и силой тяготения из-за вращения Земли. А ведь они равны только на полюсах. Но вес и сила тяготения – не одно и то же даже на полюсах, и даже, если бы Земля не вращалась. Справедливости ради стоит отметить, что такие «ляпы» встречаются не часто.

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

В некоторых учебниках разница между силой тяжести и силой тяготения указывается, но не рассматривается (что вполне справедливо в случае учебника для общеобразовательных школ): «Одна из причин увеличения ускорения свободного падения при перемещении тела от экватора к полюсам состоит в том, что земной шар несколько сплюснут у полюсов и расстояние от центра Земли до ее поверхности у полюсов меньше, чем на экваторе. Другой, более существенной причиной является вращение Земли. Но на этом сложном вопросе мы останавливаться не будем» [8, с. 91].

При этом вряд ли строгое рассмотрение вопроса стоит заменять фразами типа: «Важнейшей особенностью веса является то, что его значение зависит от ускорения, с которым движется опора. При перенесении тел с полюса на экватор их вес изменяется, так как вследствие суточного вращения Земли весы с телом имеют на экваторе центростремительное ускорение» [8, с. 95]. Тем более, что многие учебники определяют вес с учётом центробежной силы инерции: «Силу P , равную F , но приложенную к опоре, называют весом тела. Из рисунка видно, что сила F (а значит, и вес P) не направлена к центру Земли» [5, с. 30].

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

Таким образом, кажется целесообразным подчеркнуть, что очевидно, имеет смысл различать:

1) силу притяжения тел к Земле по закону всемирного тяготения. Эта сила тяготения не зависит от вращения Земли и от того, покоится или движется данное тело в поле тяготения Земли;

2) силу тяжести – разность между силой тяготения и центробежной силой инерции... Наблюдаемое на Земле ускорение свободного падения сообщается телам силой тяжести.

Лишь пренебрегая центробежной силой инерции по сравнению с силой тяготения, можно полагать, что ускорение свободного падения равно ускорению силы тяготения.

На полюсе центробежная сила инерции равна нулю и сила тяжести равна силе тяготения;

на экваторе разность между этими силами имеет максимальное значение...

3) вес тела, т. е. силу, с которой тело действует на опоры, препятствующие его свободному падению. Для покоящегося тела вес равен силе тяжести.

3. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ, СИЛА ТЯЖЕСТИ И ВЕС

1. Аленицын А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико-математический справочник. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 368 с. – ISBN 5-02-013847-9.
2. Ащеулов С.В., Барышев В.А. Задачи по элементарной физике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 192 с.
3. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 4. Вектор и векторная величина / Здесь.
4. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Механика / Под ред. А.С. Чирцова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 416 с. – ISBN 978-5-94157-729-3.
5. Дик Ю.И., Кабардин О.Ф., Орлов В.А. и др. Физика: Учеб. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 1993. – 416 с.: ил. – ISBN 5-09-004011-7.
6. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. – 5-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2003. – 416 с.: ил. – ISBN 5-7107-7157-0.
7. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: Учеб. для 9 кл. сред. шк. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1994. – 192 с.: ил. – ISBN 5-09-004788-X.
8. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 366 с.: ил. – ISBN 5-09-014170-3.
9. Политехнический словарь / Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
10. Степанова Г.Н. Физика. 10 класс. Механика. I полугодие: Учебник для общеобразовательных учреждений. – 2-ое изд., перераб, доп. – СПб: ООО «СТП Школа», 2003. – 184 с., ил.
11. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А. М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия. Т. I. Ааронова–Бома эффект – Длинные линии, 1988. – 704 с., ил.

4. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

В определении понятия математического маятника в механике часто вместо строгого определения **даётся пример**. Однако чаще даётся почти строгое определение, в котором, почему-то стыдливо **избегают упоминания материальной точки**: «Математическим маятником называют идеализированную систему, состоящую из невесомой и нерастяжимой нити, на которой подвешена масса, сосредоточенная в одной точке. Достаточно хорошим приближением к математическому маятнику служит небольшой тяжелый шарик, подвешенный на длинной тонкой нити» [6, с. 281]. **Как следствие – явные «ляпы»**, типа: «Итак, при изучении колебаний математического маятника мы вправе, допуская лишь незначительную погрешность, не учитывать вращение шарика и считать его движение строго поступательным. Всю массу шарика в этом случае можно считать сосредоточенной в одной точке» [1, с. 50]. **То есть математический маятник – это колеблющийся шарик?! В других учебниках после примера всё-таки даётся попытка привести строгое определение с упоминанием материальной точки**: «Математическим маятником называется подвешенный к тонкой нити груз, размеры которого много меньше длины нити, а его масса много больше массы нити. Это значит, что тело (груз) и нить должны быть такими, чтобы груз можно было считать материальной точкой, а нить невесомой» [5, с. 153].

4 . МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

Однако во многих изданиях даётся понятное и достаточно строгое определение математического маятника с упоминанием материальной точки, например: **«Маятник математический – материальная точка, подвешенная к неподвижной точке на невесомой нерастяжимой нити, способная совершать движение в вертикальной плоскости»** [4, с.89]. Аналогично (хоть и более замысловато) определение математического маятника даётся и в Физической энциклопедии: **«Если считать нить нерастяжимой и пренебречь размерами груза по сравнению с длиной нити, а массой нити по сравнению с массой груза, то груз на нити можно рассматривать как материальную точку, находящуюся на неизменном расстоянии l от точки подвеса O ... Такой M . наз. круговым матем. M .»** [7, с. 76].

4. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

А почему же не пойти простым и логичным путём – просто дать определение математического маятника с использованием уже введённого определения материальной точки [2]:

«Математический маятник – материальная точка, подвешенная на нерастяжимой невесомой нити с закрепленным вторым концом и имеющая возможность под действием силы тяжести совершать колебания по дуге окружности относительно точки закрепления» [3, с. 44]

или более кратко:

«Маятник математический {Simple pendulum, mathematical pendulum}. Идеализированная система, состоящая из материальной точки, подвешенной на нерастяжимой невесомой нити, и колеблющаяся под действием силы тяжести» [3, с. 206].

Такое определение даёт возможность легко ввести и сопутствующее определение **физического маятника (physical pendulum, compound pendulum)**, как это сделано в Физической энциклопедии:

«Если, как это обычно имеет место, колеблющееся тело нельзя рассматривать как материальную точку, то М. наз. физическим» [7, с. 76].

4 . МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

Строгое определение физического маятника принципиально важно, так как пришедшие из общеобразовательных школ абитуриенты часто путают физический и пружинный маятники. Поэтому данное определение полезно уточнить:

«Физический маятник – твердое тело, совершающее колебание вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку подвеса O , расположенную выше его центра (масс) C (центра тяжести)» [3, с. 45]

или другими словами:

«Маятник физический {Physical pendulum}. Твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси подвеса, не проходящей через центр масс тела» [3, с. 207].

4. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИКИ

Ащеулов С.В., Барышев В.А. Задачи по элементарной физике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 192 с.

2. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 1. Материальная точка / Здесь.

3. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 256 с. – ISBN 978-5-94157-730-9.

4. Брюханов А.В., Пустовалов Г.Е., Рыдник В.И. Толковый физический словарь. Основные термины: около 3600 терминов. – 2-е изд., испр. – М.: Русский язык, 1988. – 232 с. – ISBN 5-200-00233-8.

5. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: Учеб. для 9 кл. сред. шк. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1994. – 192 с.: ил. – ISBN 5-09-004788-X.

6. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие: Для втузов. В 5 кн. Кн. 1. Механика. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 336 с. – ISBN 5-02-015000-2 (Кн. 1).

7. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А. М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Большая Российская энциклопедия. Т. 3 Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема. 1992. – 672 с., ил. – ISBN 5-85270-019-3.

5 . КВАЗИУПРУГИЕ СИЛЫ

В курсе общей физики вводятся близкие, но всё-таки разные понятия – **упругие силы и силы упругости**. При растяжении или сжатии тела в нем возникают **электромагнитные по своей природе силы**, препятствующие изменению размеров тела. Это и есть силы упругости. **Силы упругости приводят к так называемым упругим деформациям** – таким изменениям формы и размеров тела, при которых после прекращения действия сил тело принимает первоначальные размеры и форму. При малых деформациях растяжения-сжатия связь между механическим напряжением и относительным удлинением оказывается линейной и описывается **законом Гука [1]**. Таким образом, **силу, действующую со стороны деформированного тела на соприкасающиеся с ним другие тела и направленную в сторону, противоположную перемещению частей тела при его деформации, называют силой упругости [1, с. 176]**. Силы упругости **возникают при попытке изменить объём или форму твёрдого тела, при изменении объёма жидкости, а также при сжатии газа [1, с. 178]**.

В результате можно дать следующее определение: **«Сила упругости {Elastic force}. Сила, возникающая при деформации тела и направленная противоположно направлению смещения частиц при деформации» [1, с. 351]**.

5 . КВАЗИУПРУГИЕ СИЛЫ

Силы упругости часто называют упругими силами. Однако некоторые авторы разделяют эти понятия, подчёркивая термином «упругие силы» линейную связь силы со смещением. При этом упругие силы (т. е. линейно связанные со смещением) не обязательно являются по своей природе силами упругости. Так, чтобы материальная точка совершала колебательное движение по гармоническому закону, не обязательно, чтобы на неё действовали именно силы упругости. Достаточно, чтобы сила была пропорциональна смещению от положения равновесия [3, с. 267]. Если сила не является по своей природе упругой, но подчиняется закону $F = -kx$, т. е. обладает свойством пропорциональности смещению x , то её называют квазиупругой силой. Можно дать такое определение: «Сила квазиупругая {Quasi-elastic force}. Сила, действующая на материальную точку, пропорциональная и противоположная по направлению смещению точки из положения равновесия» [2, с. 213]. В случаях, когда имеет значение не природа силы, а её проявления, нет необходимости различать упругие и квазиупругие силы, называя и упругие, и квазиупругие силы «упругими» [2, с. 24].

5 . КВАЗИУПРУГИЕ СИЛЫ

1. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Механика / Под ред. А.С. Чирцова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 416 с. – Серия «Учебная литература для вузов». – ISBN 978-5-94157-729-3.
2. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 256 с. – Серия «Учебная литература для вузов». – ISBN 978-5-94157-730-9.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Том 1. Механика, молекулярная физика, колебания и волны. Изд. 5-е, стер. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 340 с.

6 . ИДЕАЛЬНЫЙ И РЕАЛЬНЫЙ ГАЗЫ

При введении понятия идеальный газ (ideal gas, perfect gas) обычно следуют одним из двух путей. В первом случае вместо строгого определения даётся пример: «Идеальный газ – это газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежимо мало» [6, с. 166]. А как же соударения? А как определить в этом случае давление? Удивительно, но подобные определения встречаются и в учебниках для высшей школы: «Газ, взаимодействием между молекулами которого можно пренебречь, был назван идеальным» [7, с. 24]. Но В.Г. Фридман ещё в 1957 г. писал: «Но указание на синоним термина никогда не являлось и не является определением этого термина» [10, с. 453]. Во втором случае определение идеального газа дают по Рудольфу Клаузиусу «Идеальным Клаузиус назвал газ, удовлетворяющий следующим условиям: 1) объемом всех молекул газа можно пренебречь по сравнению с объемом сосуда, в котором этот газ находится; 2) время столкновения молекул друг с другом пренебрежимо мало по сравнению со временем между двумя столкновениями (т. е. временем свободного пробега молекулы); 3) молекулы взаимодействуют между собой только при непосредственном соприкосновении, при этом они отталкиваются; 4) силы притяжения между молекулами идеального газа ничтожно малы и ими можно пренебречь» [4, с. 77].

Также (ссылаясь на Клаузиуса или нет) поступают и некоторые другие авторы [1, с. 264; 5, с. 222-223]. В принципе, здесь всё верно, но, во-первых, опять вместо определения даётся пример, а, во-вторых, модель идеального газа впервые была предложена не Клаузиусом, а в 1847 г. английским физиком Джоном Гепаратом (John Heparath, 1790-1868 гг.).

6 . ИДЕАЛЬНЫЙ И РЕАЛЬНЫЙ ГАЗЫ

Почему же не пойти простым и логичным путём – просто дать определение идеального газа с использованием уже введённого определения материальной точки [2]:

«Идеальный газ – теоретическая модель газа (научная абстракция), в которой пренебрегают размерами и взаимным притяжением молекул газа и учитывают лишь упругие столкновения молекул газа, считая их материальными точками с определенной массой» [3, с. 41] или другими словами:

«Идеальный газ – газ, молекулы которого принимаются за материальные точки и для которого можно пренебречь потенциальной энергией межмолекулярного притяжения по сравнению с их кинетической энергией» [3, с. 41] или

«Газ идеальный {Ideal (Perfect) gas}. Теоретическая модель газа, в которой частицы газа рассматриваются как материальные точки, не взаимодействующие на расстоянии (средняя кинетическая энергия частиц много больше энергии их взаимодействия)» [3, с. 403].

Такое определение позволяет не рассматривать электромагнитное взаимодействие между частицами идеального газа (т. е. не забегать вперёд – ведь электромагнитные взаимодействия обычно рассматриваются после раздела «Молекулярная физика и термодинамика») – материальные точки обладают только массой и координатами. Поэтому достаточно оговорить «отказ» в данной модели от закона всемирного тяготения. Непринципиальным становится и упоминание упругих соударений (а как ещё могут соударяться между собой материальные точки?).

6 . ИДЕАЛЬНЫЙ И РЕАЛЬНЫЙ ГАЗЫ

Затем можно дать и определение расширенной модели идеального газа: «В более широком понимании идеальный газ состоит из частиц, испытывающих упругие столкновения. Расширенная модель идеального газа позволяет учитывать не только поступательное, но и вращательное и колебательное движения его частиц, вводить в рассмотрение наряду с центральным и нецентральное соударение и т.д.» [3, с. 42].

И следует особо обратить внимание на использование терминов «идеальный» и «реальный». В русском языке часто слово «реальный» понимается как «существующий на самом деле, действительный, не воображаемый» [8, с. 690].

Но с этой точки зрения идеальный газ (не модель, а тот газ, в котором согласно определению «средняя кинетическая энергия частиц много больше энергии их взаимодействия», т. е. практически любой газ при невысоком давлении) тоже будет реальным. И это может привести к некоторой путанице: «Реальные разреженные газы действительно ведут себя подобно идеальному газу» [6, с. 166]. Наверное, в курсе общей физике упоминать термин «реальный газ» как синоним «существующего на самом деле газа» не стоит.

6 . ИДЕАЛЬНЫЙ И РЕАЛЬНЫЙ ГАЗЫ

А как же тогда определять «реальный газ»? Очень просто: «Реальный газ – газ, в котором существенную роль играет взаимодействие между его молекулами» [3, с. 277] или «Газ реальный {Real gas}. Газ, свойства которого зависят от взаимодействия молекул (учитываются размеры молекул и их взаимодействие друг с другом)» [3, с. 403].

Таким образом, следует различать идеальный газ как модель (система не взаимодействующих на расстоянии материальных точек), идеальный газ (любой газ, в котором можно не учитывать взаимодействие на расстоянии) и реальный газ (газ, в котором нельзя не учитывать взаимодействие на расстоянии).

6 . ИДЕАЛЬНЫЙ И РЕАЛЬНЫЙ ГАЗЫ

1. Анциферов Л.И. Физика: Механика, термодинамика и молекулярная физика. 10 кл.: Учеб. для общеобразоват. учреждений. – М.: Мнемозина, 2001. – 415 с.: ил. – ISBN 5-346-00035-6.
2. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 1. Материальная точка / Здесь.
3. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с. – ISBN 978-5-94157-731-6.
4. Дик Ю.И., Кабардин О.Ф., Орлов В.А. и др. Физика: Учеб. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 1993. – 416 с.: ил. – ISBN 5-09-004011-7.
5. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. – 5-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2003. – 416 с.: ил. – ISBN 5-7107-7157-0.
6. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 366 с.: ил. – ISBN 5-09-014170-3.
7. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие: Для втузов. В 5 кн. Кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 208 с. – ISBN 5-02-015002-9.
8. Словарь русского языка: В 4-х т. / АН СССР, Ин-т. рус. яз.; Под ред. А.П. Евгеньевой. – 3-е изд., стереотип. – М.: Русский язык, 1985-1988. – Т.3. П–Р. 1987. – 752 с.
9. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А. М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Большая Российская энциклопедия. Т.3 Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема. 1992. – 672 с., ил. – ISBN 5-85270-019-3.
10. Фридман В.Г. Об учении Ньютона о массе // Успехи физических наук.-1957.-Т. LXI, вып. 3.-С. 451-460.

7. ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

В курсе общей физики принцип суперпозиции электростатических взаимодействий может быть проиллюстрирован на примере простейшей электрической системы – электрического диполя (electric dipole). Физическая энциклопедия даёт следующее определение электрического диполя: «Система, состоящая из двух одинаковых по величине, но разноимённых точечных зарядов ($\pm q$), расположенных на конечном расстоянии L друг от друга».

А дальше вводится дополнительное определение: «Элементарным или точечным диполем электрическим наз. предельная система с $L \rightarrow 0$, $|q| \rightarrow \infty$ при конечном дипольном моменте p » [7, с. 629].

Возможно, такой подход и является самым корректным, но он способен серьёзно запутать – ведь в большинстве учебных пособий электрическим диполем называется как раз «элементарный или точечный электрический диполь» в «энциклопедическом» понимании этого термина. Тем более, что Физический энциклопедический словарь определяет электрический диполь аналогично Физической энциклопедии, но понятие «элементарный или точечный электрический диполь» не вводит вообще. Правда, указывается, что «электрич. поле любой в целом нейтр. системы на расстояниях, значительно больших её размеров, приближённо совпадает с полем эквивалентного [диполя] – электрич. полем [диполя] с таким же [дипольным моментом], как и у системы зарядов» [8, с. 161-162].

7. ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

Логично, таким образом, в курсе общей физики электрическим диполем называть «систему, образованную двумя равными точечными зарядами противоположных знаков, жёстко связанными между собой и отстоящими друг от друга на расстоянии, значительно меньшем, чем расстояние до точки, в которой измеряется электростатическое поле» [3, с. 58] или (что аналогично) «систему двух разноимённых по модулю точечных зарядов, расстояние между которыми значительно меньше расстояния до рассматриваемых точек поля» [3, с. 353].

В популярном школьном учебнике определение электрического диполя дано на примере молекулы: «На большом расстоянии молекулу можно приближенно рассматривать как совокупность двух точечных зарядов, равных по модулю и противоположных по знаку, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Такую в целом нейтральную систему зарядов называют электрическим диполем» [4, с. 268]. Таким образом, получается, что молекулу можно «рассматривать как совокупность двух точечных зарядов» только «на большом расстоянии», а вот собственно к электрическому диполю это требование не относится – о величине расстояния между точечными зарядами ничего не сказано. Ничего не сказано и о неизменности этого расстояния. Ничего не говорится об ограничениях, накладываемых на расстояние между «разноимёнными зарядами» в [6, с. 25-26].

Но в любом случае возникает вопрос – а как определить точечный заряд (point charge)?

7. ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

Иногда точечным зарядом называют «заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями от этого тела до других тел, несущих электрический заряд» [5, с. 11]. Такое определение представляется недостаточно корректным, так как далеко не всегда даже маленькое (по сравнению с расстояниями до других тел) тело можно рассматривать как материальную точку [1].

В школьном учебнике хоть конкретное определение точечного заряда и не дано, но **приводится разъяснение**, старательно избегающее понятия «материальная точка»: «В природе точечных заряженных тел не существует, но если расстояние между телами во много раз больше их размеров, то ни форма, ни размеры заряженных тел существенно не влияют на взаимодействия между ними. В таком случае эти тела можно рассматривать как точечные. Вспомните, что и закон всемирного тяготения тоже сформулирован для точечных тел» [4, с. 250].

Другой школьный учебник понятия «материальная точка» не боится и кратко определяет: «Точечным зарядом называется заряженная материальная точка» [6, с. 8]. Правда, когда в механике вводится понятие «материальная точка» [1], **возможность материальной точки быть «заряженной» не предусматривается.**

7. ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

Поэтому наиболее корректным представляется такое определение:

«Точечный заряд – заряд, сосредоточенный на теле, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует, т. е. на материальной точке. При этом нужно помнить, что электрические заряды распределены в объёме, и, следовательно, никаких конечных зарядов в материальной точке быть не может. Поэтому понятие точечного заряда является физической абстракцией (как и само понятие материальной точки)» [3, с. 31, с. 355].

Кстати, отрезок прямой, проходящей через заряды электрического диполя, называется осью диполя. Ось диполя некоторые учебные пособия называют вектором (или векторной величиной), так как она помимо абсолютного значения (длины) имеет и направление (от отрицательного заряда к положительному). Здесь стоит отметить, что, строго говоря, ось диполя, скорее не вектор, а, своего рода «псевдовектор», так как её направление не определено объективно, а задаётся искусственно в определении [3, с. 58]. Другие учебные пособия не считают ось диполя векторной величиной, вводя направление только в определении дипольного момента (момента диполя). Но это ничего не меняет – ведь и направление дипольного момента определяется согласно тому же условному правилу.

7. ТОЧЕЧНЫЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

1. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 1. Материальная точка / В материалах Совещания заведующих кафедрами физики ВУЗов России: «Актуальные проблемы преподавания физики в ВУЗах России». – М., 29 июня – 2 июля 2009 г.
2. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 4. Вектор и векторная величина / В кн.: «Школа и ВУЗ: Инновации в образовании. Межпредметные связи естественных наук: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической интернет-конференции» / отв. за вып. А.В. Бармин. – Орёл: ОрёлГТУ, 2009. – 180 с. – С. 18-19.
3. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Электричество / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 448 с. – Серия «Учебная литература для вузов». – ISBN 978-5-9775-0420-1.
4. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений. – 14-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 366 с.: ил. – ISBN 5-09-014170-3.
5. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие: Для втузов. В 5 кн. Кн. 2. Электричество и магнетизм. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Физматлит., 1998. – 336 с. – ISBN 5-02-015001-0 (Кн.2).
6. Степанова Г.Н. Физика. 10 класс. Электродинамика. II : Учебник для общеобразовательных учреждений. – 2-ое изд., перераб., доп. – СПб.: ООО «СТП Школа», 2004. – 192 с., ил. – ISBN 5-98198-007-9.
7. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия. Т. I Ааронова–Бома эффект – Длинные линии. 1988. – 704 с., ил.
8. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия., 1984. – 944 с., ил.

8 . СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

Согласно классической теории металлов, предложенной в 1900 г. немецким физиком Паулем Друде (Drude, 1863-1906 гг.), **движение электронов проводимости подчиняется законам классической механики Ньютона.**

Также в этой теории пренебрегают взаимодействием электронов между собой, а взаимодействие электронов с положительными ионами решётки сводят только к соударениям, т. е. **в классической электронной теории электроны проводимости в металлах рассматривают как электронный газ, подобный идеальному атомарному газу молекулярной физики.**

Таким образом, металл состоит из свободных электронов (электронный газ) и тяжёлых положительных ионов, расположенных в узлах кристаллической решётки, которые можно считать неподвижными. Друде также не учитывал распределение электронов по скоростям, приписывая всем электронам одинаковые значения скорости. **Такой электронный газ должен подчиняться всем законам идеального газа и, в частности, закону равномерного распределения энергии по степеням свободы,** согласно которому средняя кинетическая энергия теплового движения, приходящаяся на каждую степень свободы, равна $1/2 kT$. Так как свободный электрон обладает тремя степенями свободы поступательного движения, то **средняя энергия беспорядочного теплового движения, приходящегося на один электрон, равна $3/2 kT$.**

В отсутствие внешних полей электроны в металле в условиях теплового равновесия движутся свободно (беспорядочно). Это движение прерывается столкновениями их с ионами, но в промежутках между столкновениями взаимодействие электронов с ионами и друг с другом не учитывается. Столкновения в теории металлов Друде – мгновенные события, внезапно изменяющие скорость электрона. **Благодаря столкновениям электроны приходят в состояние теплового равновесия со своим окружением.** В состоянии теплового равновесия распределение электронов по энергиям соответствует распределению Максвелла–Больцмана.

8 . СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

Во внешних полях направленное движение электронов подчиняется классическим (ньютоновским) уравнениям, в которых действие столкновений учитывается как некоторая сила трения, пропорциональная скорости направленного движения.

Теория металлов Друде, дополненная и развитая голландским физиком Хендриком Лоренцем (Lorentz, 1853-1928 гг.), будучи классической теорией, **не могла**, в частности, **объяснить отсутствие электронного вклада в теплоёмкость**. Очевидно, что **реальные электроны проводимости в металлах по своему поведению должны сильно отличаться от частиц идеального газа**. Достаточно отметить, что в идеальном газе принципиально не учитываются взаимодействия на расстоянии. Это допустимо для электрически нейтральных частиц идеального газа, подчиняющихся только относительно слабым гравитационным взаимодействиям. **Электроны проводимости в металлах испытывают более сильное электромагнитное взаимодействие с ионами, в результате чего электроны проводимости, строго говоря, не могут рассматриваться как свободные частицы электронного газа – фактически они всегда «принадлежат» тому или иному атому.**

Поэтому практика применения термина «свободные электроны» в современной общей физике представляется нам крайне неудачной.

8 . СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

Проблема с отсутствием вклада в теплоёмкость металлов свободных электронов казалась столь вопиющей, а многочисленные попытки её преодолеть – столь бесплодными, что она получила – с лёгкой руки австрийско-голландского физика-теоретика Пауля Эренфеста (Ehrenfest, 1880-1933 гг.) – звучное название **«катастрофы с теплоёмкостью»**. Катастрофическое положение с теплоёмкостью удалось преодолеть в 1924 г. выдающемуся российскому физику Якову Ильичу Френкелю (1894-1952 гг.) **привлечением к описанию кристаллического тела боровской теории атома [2]**.

Специфика металлов заключается в сравнительно небольшой величине потенциала ионизации, т. е. слабой связи электрона внешней орбиты с ядром. Такую орбиту – вытянутый эллипс – Френкель называл «кометоподобной» из-за аналогии с орбитами комет. Таким образом, атомы металлов с геометрической точки зрения могут быть охарактеризованы значительным удалением внешнего электрона от ядра. Например, в кристаллической решётке натрия расстояние между атомами равно $3,72 \text{ \AA}$, а максимальное удаление валентного электрона от ядра изолированного атома достигает $2,56 \text{ \AA}$. Понятно, что часть времени этот валентный электрон будет ближе к соседнему атому, чем к «своему» ядру.

Таким образом, **валентные электроны в металле принадлежат не конкретному атому, а всей решётке (продолжая в каждый момент времени принадлежать одному конкретному атому), и, попадая в сферу влияния других атомов решётки, переходят от одного атома к другому.** Такие электроны Френкель назвал «блуждающими».

8 . СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

Блуждающие электроны Френкеля, сменившие свободные электроны Друде–Лоренца, по образному выражению Френкеля, **имеют только один род свободы – свободу перемены хозяина**, переходя из рук в руки – от одного атома решётки к другому, т. е. **становятся «рабами коллектива»**.

По Френкелю в идеальной кристаллической решётке металла *«движение электрона может быть уподоблено движению точки по окружности колеса, катящегося по гладкой дороге. Вращательному движению колеса соответствует обращение электрона вокруг отдельных атомов, а поступательному – переход от одного атома к другому. В действительности расположение атомов даже в идеально чистом металле не бывает абсолютно правильным вследствие теплового движения. Последнее создаёт своеобразную «ухабистость» того трёхмерного поля, по которому катятся «электронные колёса»*». Этой ухабистости **обязано своим происхождением электрическое сопротивление металлов, которое растёт с температурой**: при этом увеличивается высота «ухабов» и их число. Очевидно, что предложенная Френкелем теория, оставаясь классической, не способна объяснить некоторые экспериментальные факты, но **намного точнее характеризует характер движения электронов проводимости в металлах, чем теория свободных электронов Друде–Лоренца**. Однако предложенный Френкелем термин – «блуждающие электроны» – тоже не представляется удачным – ведь «блуждать» они могут только под действием внешних факторов (поля, ЭДС и т. п.). Поэтому мы **предлагаем электроны проводимости в металлах называть не «свободными» или «блуждающими», а «квазисвободными», тем самым точнее характеризую их свойства** [1, с. 156].

8 . СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

1. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Электричество / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 448 с. – Серия «Учебная литература для вузов». – ISBN 978-5-9775-0420-1.
2. Френкель Я.И. Теория металлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1933.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**