

УДК 372.853

DOI: 10.18384/2310-7219-2017-1-59-65

ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА У УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Сёмин В.Н., Донских С.А.

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

(филиал – Таганрогский институт имени А.П. Чехова)

347926, г. Таганрог, Инициативная, д. 48, Российская Федерация

Аннотация. В статье поднимается вопрос о преподавании понятий энергии и энтропии в школьном курсе термодинамики как одном из способов формирования целостной физической картины мира у старшеклассников, способствующем более глубокому пониманию школьниками фундаментальных законов природы. В рамках школьного курса физики некоторые из этих законов рассматриваются поверхностно, что создает определенные проблемы для учителя. Одним из возможных вариантов преодоления данных трудностей является подбор таких задач, в ходе решения которых рассматривались бы эти законы. В качестве примера в настоящей статье приводится решение задачи о параллельном соединении двух конденсаторов, один из которых не заряжен.

Ключевые слова: энтропия, потенциальная энергия, свободная энергия, метод проблемного обучения, физическая картина мира.

THE FORMATION OF PHYSICAL PICTURE OF THE WORLD IN SCHOOLCHILDREN OF SENIOR SCHOOL

V. Semin, S. Donskih

Rostov State University of Economics (RINH)

Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch)

48, Initsiativnaya, Taganrog, 347926, the Russian Federation

Abstract. The article scrutinizes the issue of introducing the concepts of energy and entropy into the school course of thermodynamics as one of the ways of forming a holistic physical picture of the world which favours senior schoolchildren's deeper understanding of fundamental laws of nature. Within the school course of Physics some of these laws are studied perfunctory which creates certain problems for a teacher. One of possible ways of overcoming this difficulty is selecting the problems where these laws could be scrutinized in the process of their solving. As an example this article provides a solution to the problem of parallel connection of two capacitors, one of which is not charged.

Key words: entropy, potential energy, free energy, a method of problem-based teaching, physical picture of the world.

Формирование целостной физической картины мира является одной из сложных приоритетных задач в старших классах средней школы. Основополагающим (стержневым) понятием в этом плане является понятие энергии. Сложность состоит в том, что в различных разделах физики проявляются новые качества и свойства этого понятия, и на конечном этапе изучения физики требуется обобщение и формирование его целостности. Другим фундаментальным понятием является энтропия (второе начало термодинамики). В рамках школьного курса физики второй закон термодинамики ограничивается рамками раздела «Термодинамика». Без демонстрации проявления действия этого закона в целом в природе, той роли, которую играют энергия и энтропия в физической картине мира, сформировать эту картину невозможно. Цель этой статьи состоит в разработке методики, позволяющей показать проявления второго закона термодинамики в разных разделах физики и его роль в формировании физической картины мира у учащихся средней школы.

Для достижения поставленной цели используется метод проблемного обучения. Учащимся на завершающем этапе изучения физики (11 класс) предлагается задача о параллельном соединении двух одинаковых конденсаторов, один из которых первоначально заряжен и имеет заряд q , а другой не заряжен. Опыт показывает, что на вопрос учителя: «Чему равна энергия каждого из конденсаторов после их параллельного соединения?» – со стороны учеников сразу следует ответ: «Энергия делится поровну и на каждом конденсаторе равна полови-

не энергии первоначально заряженного конденсатора», – далее следует ссылка на закон сохранения энергии. Такой ответ обусловлен, с одной стороны, поверхностным пониманием школьниками одного из фундаментальных законов природы (нет четкого понимания условий применения закона сохранения энергии), с другой, спецификой введения понятия электромагнитной энергии в школьном курсе. Так, понятие потенциальной электрической энергии в школьных учебниках [2, с. 381; 3, с. 253] вводится на основе аналогии сил гравитации и Кулона (обе силы консервативные, а следовательно, должна существовать потенциальная электрическая энергия по аналогии с механической потенциальной). В то же время аналогии с механикой при введении понятия энергии магнитного поля (вихревого по своей природе) неприменимы, и в школьной учебной литературе ученикам предлагается принять формулу

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

без доказательства, что представляет сложность для учеников с логическим складом мышления. Проблема введения понятия электромагнитной энергии осложняется тем, что в электродинамике закон сохранения энергии отражает теорема Пойнтинга, связывающая плотность потока электромагнитной энергии с плотностью электромагнитной энергии и плотностью джоулевых потерь, однако в такой формулировке закон сохранения электромагнитной энергии в школьном курсе в силу ряда причин не рассматривается. Так что поставленный учителем вопрос объективно сложен для школьника и преследует в конеч-

ном итоге цель создания проблемной ситуации. Предложение учителя учесть в рассуждениях закон сохранения заряда (в данном случае заряд делится поровну) приводит к ответу: энергия на каждом из конденсаторов,

согласно формуле $W = \frac{\left(\frac{q}{2}\right)^2}{2C}$, становится равной четверти по отношению к начальной $W = \frac{q^2}{2C}$, а следовательно,

половина энергии уходит из системы, образованной конденсаторами после их соединения. Суть проблемной ситуации состоит в том, что применение двух фундаментальных законов, сохранения заряда и сохранения энергии, приводит к разным результатам. Учитывая, что школьники интуитивно переносят закон сохранения полной механической энергии на электромагнитные явления, целесообразно вернуться к вопросу об условиях выполнения закона сохранения механической энергии. Констатируется, что в механике изменение полной механической энергии замкнутой системы связано с действием неконсервативной силы трения. Таким образом, ученики подводятся к выводу о том, что в процессе перезарядки электромагнитная энергия колебательного контура, образовавшегося после соединения конденсаторов, возможно, частично превращается во внутреннюю энергию проводников (джоулево тепло) и частично передается окружающей среде при излучении электромагнитных волн. Вопрос учителя: «Произойдет ли уменьшение энергии системы конденсаторов, если конденсаторы и проводники будут идеальными (например,

из сверхпроводников)?» – является принципиальным. Возможен вариант, когда вообще ничего происходить не будет, и вариант, когда система найдет способ сброса энергии. Второй вариант соответствует второму началу термодинамики, а первый нет. Дальнейшая задача учителя состоит в обосновании этого утверждения. Один из вариантов ухода энергии из системы – излучение. Учитывая необычность контура из сверхпроводников, предположение об излучении не противоречит положению из школьного учебника «В обычном контуре почти все магнитное поле сосредоточено внутри катушки, а электрическое – внутри конденсатора. Такой контур очень слабо излучает электромагнитные волны» [4, с. 134]. Процесс реального излучения можно продемонстрировать экспериментально. Для этого выводы двух конденсаторов большой емкости соединяются медными проводниками. При помощи двухполюсного переключателя один из конденсаторов подключается к источнику постоянного напряжения и после зарядки переключается на незаряженный конденсатор, в этом случае образуется замкнутый контур. Процесс перераспределения заряда между конденсаторами сопровождается излучением рамки, которую образуют конденсаторы и соединительные провода. Приемник излучения помещается в плоскость, совпадающую с плоскостью рамки, на расстоянии 20–30 см от неё. Роль приемника может выполнять рамка из витков тонкого провода, например, из набора для опытов по электромагнитной индукции. Выводы этой рамки подключают к осциллографу. При замыкании ключа на экране осциллографа наблюдается отчетли-

вый всплеск. При повторном переключении всплеска не происходит. Это объясняется тем, что второй конденсатор остается заряженным. При его разрядке (выводы замыкаются проводником) появляется всплеск. Если теперь опыт повторить (зарядить первый конденсатор и переключить ключ на незаряженный конденсатор), то осциллограф снова фиксирует сигнал, свидетельствующий о процессе излучения при соединении заряженного и незаряженного конденсаторов. Таким образом, фиксируется факт излучения энергии при соединении конденсаторов. Возникают вопросы: «Почему вообще энергия должна излучаться при соединении конденсаторов? Почему не происходит полного излучения и превращения в теплоту? Почему процесс останавливается, и какие факторы определяют величину оставшейся энергии?» Ученикам предлагается обдумать ответы на эти вопросы и дома получить выражение для уменьшения энергии в случаях, когда емкость присоединяемого конденсатора отличается в n раз от емкости заряженного конденсатора. Решение сводится к разности значений энергии первоначально заряженного конденсатора и энергий конденсаторов после соединения. Правильный ответ:

$$\Delta W = \frac{q^2}{2C} \cdot \frac{n}{n+1}. \quad (1)$$

На следующем уроке классу предлагается обсудить полученный результат. Один из основных выводов – часть энергии величиной ΔW обязательно уйдет из системы (форма превращения в любом случае будет найдена), значение оставшейся энергии строго определено (процесс «знает», когда остановиться).

Далее ученикам предлагается решить задачу из области гидростатики: найти изменение потенциальной энергии жидкости в цилиндрическом сосуде при подсоединении к нему такого же пустого сосуда.

Потенциальная энергия воды в сосуде определяется выражением $W = mg \frac{h}{2}$, где h – высота слоя воды.

При соединении сосудов вода распределится между сосудами поровну. Суммарная потенциальная энергия воды в них будет $W = mg \frac{h}{4}$. Можно показать,

что одинаковый уровень соответствует минимальному значению потенциальной энергии. В этом примере потенциальная энергия системы так же, как и в случае с соединением конденсаторов, уменьшается в два раза. В данном случае механизм преобразования энергии понятен: после присоединения второго сосуда потенциальная энергия начинает уменьшаться в соответствии с принципом стремления потенциальной энергии к минимальному значению, процесс происходит до тех пор, пока давление на дно в том и в другом сосуде не выровняется. Принцип стремления потенциальной энергии к минимальному значению четко формулируется только на страницах учебника В.А. Касьянова [2, с. 139]: «Любая замкнутая система стремится перейти в такое состояние, в котором её потенциальная энергия минимальна». В случае, когда сосуды изолированы, потенциальная механическая энергия перейдет во внутреннюю энергию, и произойдет повышение температуры воды. При возможности теплообмена с окружающей средой часть энергии

перейдет туда до выравнивания температур. Если присоединять сосуды другого диаметра, это повлияет на высоту жидкостей в сосудах и, следовательно, на изменение потенциальной энергии системы. Когда площадь присоединяемого цилиндра в n раз отличается от площади первого цилиндра, уменьшение потенциальной энергии жидкости определяется формулой:

$$\Delta W = \frac{S_1 \rho h_0^2}{2} \cdot \frac{n}{n+1}. \quad (2)$$

Анализ формул (1) и (2) показывает, что изменение потенциальной энергии в обоих примерах составляет $\frac{n}{n+1}$ часть от первоначальной энергии, хотя процессы по физической природе различные. Это позволяет высказать предположение о том, что есть некоторый общий момент, связывающий эти явления. Таким общим моментом является то, что в обоих процессах происходит самопроизвольное уменьшение потенциальной энергии. Далее возникает необходимость повторения и анализа с учениками самопроизвольных процессов в природе. Все ли самопроизвольные процессы сопровождаются стремлением потенциальной энергии к минимуму? Можно привести примеры, ставящие под вопрос это положение. Например, расширение газа в пустоту (такого рода примеры встречаются в заданиях ЕГЭ [5, с. 183]). Рассмотрим изолированный сосуд, разделенный непроницаемой перегородкой на два объема, в одном из которых находится идеальный газ. Если перегородку убрать, то газ самопроизвольно занимает обе половинки сосуда. Потенциальной энергии (по определению идеального газа) нет, энергия из систе-

мы не уходит. Природу процесса раскрывает второй закон термодинамики: все самопроизвольные процессы в изолированных системах сопровождаются ростом энтропии. В рамках профильных классов программа позволяет определить изменение энтропии в данном случае. Полагая процесс в сосуде обратимым изотермическим (изменение энтропии не зависит от вида перехода из одного состояния в другое) и используя тот факт, что в изотермическом процессе $\Delta Q = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ [2, с.

269], получаем выражение для изменения энтропии $\Delta s = \frac{\Delta Q}{T} = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$. Воз-

никает вопрос: «Как проявляет себя второе начало термодинамики в рассмотренных ранее примерах из гидростатики и электродинамики?». В ряде школьной и методической литературы для классов с углубленным изучением физики (профильных) приводятся примеры введения понятия свободной энергии [1, с. 165]. Понятие свободной энергии системы F было введено Гиббсом. Согласно формуле $s = -\frac{\Delta F}{\Delta T}$,

рост энтропии сопровождается уменьшением свободной энергии. С учетом введения понятия свободной энергии и выражения для энтропии в обратимых процессах $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ первый закон термодинамики представляется в виде $\Delta U = \Delta F + T\Delta S$. Тогда в случае расширения газа в изолированном сосуде имеем $\Delta F = -T\Delta S$, т. е. процесс самопроизвольного расширения сопровождается уменьшением свободной энергии. Учитывая, что любая разно-

видность потенциальной энергии (по определению) относится к свободной энергии, можно полагать, что принцип стремления потенциальной энергии к минимальному значению отражает более фундаментальный процесс: стремление к минимальному значению свободной энергии, что неразрывно связано с ростом энтропии. Самопроизвольно могут протекать только те процессы, которые приводят к понижению свободной энергии системы; система приходит в состояние равновесия, когда свободная энергия достигает минимального значения, т. е. дальнейшее продолжение процесса не сопровождается ростом энтропии. Для каждого из таких процессов существует некоторый критерий, определяющий направление возможного самопроизвольного перехода и его предел, т. е. состояние равновесия. Самопроизвольное протекание процесса взаимодействия между различными частями системы возможно только в направлении выравнивания фактора

интенсивности (температуры, давления, электрического потенциала и др.) для всех частей системы; достижение одинакового значения этого фактора является пределом самопроизвольного течения процесса в данных условиях и сопровождается понижением качества энергии. Рассмотренные примеры демонстрируют это положение. Процесс перезарядки прекращается тогда, когда потенциалы конденсаторов выравниваются, перераспределение воды в сосудах останавливается с выравниванием давления.

Таким образом, решения задачи о параллельном соединении двух конденсаторов и задачи о цилиндрических сосудах позволяют рассмотреть конкретный пример выполнения закона сохранения энергии в случае электромагнитной формы, проиллюстрировать проявление второго закона термодинамики в электродинамике и гидростатике, способствуют формированию у учеников целостного представления о физической картине мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С., Уздин В.М. Физика: учеб. пособие: в 3 кн. Кн. 3. Строение и свойства вещества. М., 2004. 335 с.
2. Касьянов В.А. Физика. 10 класс. Профильный уровень: учебник. М., 2013. 420 с.
3. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. 10 класс: учебник. М., 2004. 336 с.
4. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. 11 класс. М., 2004. 331 с.
5. Хананов Н.К., Орлов В.А. ЕГЭ 2002. Физика: контрольные измерительные материалы. М., 2003. 224 с.

REFERENCES

1. Butikov E.I., Kondrat'ev A.S., Uzdin V.M. Fizika: ucheb. posobie: v 3 kn. Kn. 3. Stroenie i svoistva veshchestva [Physics. Book 3. The Structure and Properties of Matter]. M., 2004. 335 p.
2. Kas'yanov V.A. Fizika. 10 kl. Profil'nyi uroven': uchebnik [Physics. Grade 10 Profile Level]. M., 2013. 420 p.
3. Myakishev G.Ya., Bukhovtsev B.B., Sotskii N.N. Fizika. 10 klass: uchebnik [Physics. Grade 10]. M., 2004. 336 p.
4. Myakishev G.Ya., Bukhovtsev B.B. Fizika. 11 klass [Physics. Grade 11]. M., 2004. 331 p.

5. Khananov N.K., Orlov V.A. EGE 2002.Fizika.Kontrol'nye izmeritel'nye materialy [State Exam 2002.Physics. Control Measuring Materials]. М., 2003. 224 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сёмин Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической, общей физики и технологии ФГБОУ ВО «Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) РГЭУ (РИНХ)»;
e-mail: syomin.vladimir@bk.ru

Донских Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической, общей физики и технологии ФГБОУ ВО «Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) РГЭУ (РИНХ)»;
e-mail: sdonskih@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir Semin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Departmentsof Theoretical, General Physics and technology, Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) of Rostov State University of Economics "RGEU (RINH)";
e-mail: syomin.vladimir@bk.ru

Sergey Donskih – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Departments of Theoretical, General Physics and Technology, Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) of Rostov State University of Economics "RGEU (RINH)";
e-mail: sdonskih@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА

Сёмин В.Н., Донских С.А. Формирование физической картины мира у учащихся старших классов средней школы // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Педагогика. 2017. № 1. С. 59–65.
DOI: 10.18384/2310-7219-2017-1-59-65

CORRECT REFERENCE

V. Semin, S. Donskih. The formation of physical picture of the world in schoolchildren of senior school. *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Pedagogics*, 2017, no 1, pp. 59–65.
DOI: 10.18384/2310-7219-2017-1-59-65