

17. Кузьмина Н.В. Методы исследования педагогической деятельности. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1970. – 114 с.
18. Масленникова Л.В. Взаимосвязь фундаментальности и профессиональной направленности в подготовке по физике студентов инженерных вузов: Автореф. дис... доктора пед. наук: 13.00.02 / Московский педагогический государственный университет. – Москва, 2001. – 40 с.
19. Махмутов М.И. Принцип профессиональной направленности обучения // Принципы обучения в современной педагогической теории и практике. – Челябинск: ЧГПИ, 1985. – С. 88-100.
20. Медведева Л.В. Методика проведения практических и лабораторных занятий на базе ЭВМ в профессионально направленного курса физики: Автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.02 / СПб гос. пед. ун-т. – СПб., 1993. – 18 с.
21. Мелишина А.М., Зотова И.К. О преподавании физики в вузе. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1989. – 160 с.
22. Мухаметова Б.Н. Профессиональная направленность лабораторно-практических занятий в педвузе как условие интенсификации подготовки учителей: Автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.04 / Казанский гос. ун-т – Казань, 1998. – 19 с.
23. Наумов А.И. Профессиональная направленность курса теоретической физики в пединститутах. Содержание и структура: Учеб. пособие. – М.: МГПИ, 1987. – 96 с.
24. Осадчук Л.А. Методика преподавания физики. – Киев: Одесса: Вища шк., 1984. – 364 с.
25. Семенова А.В. Професійна діяльність учителя з розвитку творчих здібностей старшокласників на уроках природничо-математичного циклу: Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. – Одеса, 2001. – 189 с.
26. Сергієнко Л.Г. Реалізація професійної спрямованості навчання фізики студентів гірничих спеціальностей технічних вузів: Автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.02 / НПУ ім. М.П.Драгоманова. – К., 1997. – 22 с.
27. Сусь Б.А. Дидактичні та методичні основи активізації самостійної діяльності студентів при різних формах занять з фізики: Навч.-метод. посіб. – К.: КВТУЗ, 1996. – 196 с.
28. Тулицев А.Е. Индивидуализация обучения студентов на практических занятиях по курсу общей физики как одно из условий повышения эффективности профессиональной подготовки: Автореф. дис. ... док. пед. наук: 13.00.02 / Московский пед. гос. ун-т. – М., 1995. – 40 с.
29. Хозяинов Г.И. Педагогическое мастерство преподавателя. – М.: Высшая школа, 1988. – 168 с.

This article shows the state of problem and progress trend of the special professional preparation and activity of teacher of physics from psychologo-pedagogical positions. On the basis of comprehension of features of technologies of active studies is given theory of professional orientation of course of general physics.

Key words: general physics, vocational training, professional directivity.

Отримано: 12.06.2006.

УДК 53(075.3)

Е.П. Соколов

Запорожский национальный технический университет

ИЗЛОЖЕНИЕ ТЕМЫ "ЭНЕРГИЯ В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ" В КУРСЕ ФИЗИКИ ФАКУЛЬТЕТА ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ. ИЗ ОПЫТА ОБУЧЕНИЯ НА ФДП ЗНТУ

В статье рассматривается вопрос об изложении темы "Энергия в электростатике" в курсе физики факультета довузовской подготовки.

Ключевые слова: физическая задача, энергия, электростатика, факультет довузовской подготовки.

Обычно в дискуссиях о проблеме подготовки инженерных кадров речь идет об обучении в старших классах средней школы и на первых курсах высших учебных заведений. Подготовительные курсы для абитуриентов при этом остаются в тени. На наш взгляд, это не совсем правильно. Анкетирование наших слушателей показывает, что они оценивают вклад в их подготовку со стороны факультета довузовской подготовки (ФДП) как существенный. Такая оценка неудивительна. На факультете имеются все условия для эффективного обучения: количество учебных часов достаточно велико (на изучение физики отводится 240 часов лекционных и практических занятий), на факультете работают опытные преподаватели, и у школьников, пришедших к нам, есть сильная мотивация – они хотят хорошо подготовиться к вступительным экзаменам.

Одна из проблем, стоящих перед факультетом довузовской подготовки, – обеспечение всех наших слушателей (а это подготовительные курсы, подготовительное отделение, Школа выходного дня, Заочная школа) учебной литературой. Частично эту проблему решает использование школьных учебников (например, [1-4]). Мы рекомендуем их для домашней работы над пройденным теоретическим материалом. Но полностью такой выход нас удовлетворить не может. На это есть несколько причин.

Во-первых, это возрастное несоответствие. Значительная часть важного для наших слушателей материала рассматривается в школе в 7-9 классах. Изложение этого материала в школьных учебниках ориентировано именно на этот возраст. У нас же на факультете учатся одиннадцатиклассники и лица, уже имеющие среднее образование. Во-вторых, наших слушателей ждут конкурсные экзамены, поэтому нам необходимо вооружать их такими приемами и методами решения, которые для обычного школьника излишни и в учебниках для школы не излагаются. И, в-третьих, у наших слушателей уже есть первое знакомство с

предметом и в такой ситуации более эффективным, на наш взгляд, будет обобщающий стиль изложения материала.

С учетом сказанного на факультете было решено создать собственный набор методических указаний к лекционным и практическим занятиям, которые бы учитывали особенности преподавания на нашем факультете. В работе [5] мы рассказали о построении занятия «Задачи на сравнение». В данном сообщении мы хотим рассказать о том, как излагается в курсе физики ФДП тема «Энергия в электростатике». Методические основы для разработки этой темы дают исследования С.У.Гончаренко, Е.В.Коршака, Н.М.Коршак [6], А.И.Павленко [7].

Приходящие к нам школьники обычно помнят только две «энергетические» формулы электростатики: формулу для энергии заряда в электрическом поле $E_p = q \cdot \phi$ и формулу для энергии заряженного конденсатора. Этих двух формул вполне достаточно для решения задач, предлагаемых для школьного тестирования [8]. Но если совершить экскурс в область задач [9], которые предлагаются на вступительных экзаменах в ВУЗы, то легко обнаружить, что для их решения следует применять уже восемь различных формул для энергии.

И здесь возникает вопрос: смогут ли наши слушатели на экзамене самостоятельно получить из формулы для энергии точечного заряда эти восемь формул? Конечно, такое маловероятно. Это означает, что об этих формулах нам следует рассказать им на занятиях.

Изложение темы «Электростатика» на ФДП практически повторяет изложение, принятое в школе. В какое же место этого устоявшегося изложения можно было бы вставить наш рассказ об энергии? Мы испробовали разные варианты. Результаты наших проб оказались такими: внутри самой «Электростатики» нам не удалось найти подходящего места. Наш рассказ разрывал естественную нить изло-

жения, уводил внимание слушателей от других важных вопросов. И тогда мы поняли: рассказ об энергии должен замыкать тему «Электростатика». Это самое подходящее для него место. Все, что следует знать о зарядах и электрических полях, уже рассказано, отвлекаться на изложение дополнительных фактов не надо, а кроме этого у нас появляется отличная возможность обобщить пройденный материал. Внутри же самой темы мы оставили параграф об исходной формуле $E_p = q \cdot \phi$ и практикум по решению простейших задач, связанных с ней.

Ниже мы приводим с некоторыми сокращениями текст занятия «Энергия в электростатике». На его проведение отводится 1 час 30 минут. Условно это занятие может быть охарактеризовано как лекция-практика.

ЭНЕРГИЯ В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

В электростатике для подсчета энергии существует лишь одна формула $E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \phi$. Но очень часто она меняет свой вид до неузнаваемости. Она может превратиться в $E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \phi$, а может стать "монстром" $E_p = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N k \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}}$. Наша цель – разобраться во всех этих метаморфозах.

1. Заряд во внешнем электрическом поле

Потенциальная энергия заряда во внешнем электрическом поле рассчитывается по формуле (первая формула нашей итоговой таблицы):

$$E_p = q \cdot \phi. \quad (1)$$

Здесь q – величина заряда, ϕ – электрический потенциал.

Задача 1. Протон переходит из точки с потенциалом $\phi_1 = 500$ В в точку с потенциалом $\phi_2 = 300$ В. Какую скорость наберет протон, если его начальная скорость была равна $V_0 = 1,5 \cdot 10^5$ м/с? Масса протона равна $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, элементарный заряд равен $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение

Стандартное применение закона сохранения энергии дает:

$$\frac{mV_0^2}{2} + q \cdot \phi_1 = \frac{mV^2}{2} + q \cdot \phi_2.$$

Отсюда следует ответ:

$$V = \sqrt{V_0^2 + \frac{2 \cdot q \cdot (\phi_1 - \phi_2)}{m}} = 2,47 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $V = 2,47 \cdot 10^5$ м/с.

2. Диполь во внешнем электрическом поле

Напомним, что диполем называется система зарядов, полный заряд которой равен нулю. В школьных задачах диполем называют два заряда $+q$ и $(-q)$, соединенные стержнем длины L . Иногда вместо q и L задают их произведение – дипольный момент $p = q \cdot L$.

Задача 2. Какую работу необходимо совершить, чтобы повернуть на 60° диполь, развернутый по полю? Считать, что $q = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл, $L = 2 \cdot 10^{-10}$ м, напряженность внешнего электрического поля равна $E = 3 \cdot 10^7$ В/м.

Решение

Если бы у нас была бы формула для потенциальной энергии диполя, то уравнение баланса механической энергии $A_{внеш} + A_{трения} = \Delta E$ позволило бы нам сразу же ответить на вопрос: $A_{внеш} = \Delta E_p$.

Так давайте выведем формулу для потенциальной энергии диполя во внешнем электрическом поле.

Диполь – это два заряда (рис.1). У первого заряда есть энергия $q_1 \cdot \phi_1$, у второго заряда есть энергия $q_2 \cdot \phi_2$, а энергия диполя – это сумма этих двух энергий:

$$E_p = q_1 \cdot \phi_1 + q_2 \cdot \phi_2 = q \cdot (\phi_1 - \phi_2).$$

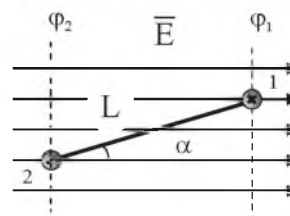


Рис. 1

Теперь нам надо выполнить стандартную процедуру – выразить разность потенциалов между двумя точками через напряженность электрического поля. Это мы можем сделать с помощью полученной нами в теории формулы: $\Delta\phi = -E_x \cdot \Delta x$. Так и поступим, только выполним это в два шага.

1) Определяем модуль $|\Delta\phi|$: $|\Delta\phi| = E \cdot d$.

Здесь d – расстояние между эквипотенциальными поверхностями, на которых лежат точки 1 и 2, равное $d = L \cdot \cos\alpha$.

2) Определяем знак $\Delta\phi$. Проще всего это сделать с помощью правила: "напряженность поля направлена от большего потенциала к меньшему". В нашем случае вектор \vec{E} направлен вправо, поэтому потенциал ϕ_2 – больший, а потенциал ϕ_1 – меньший. Учитывая это, получаем: $\Delta\phi = -|\Delta\phi| = -E \cdot d = -E \cdot L \cdot \cos\alpha$.

Собирая все вместе, выписываем формулу для потенциальной энергии диполя во внешнем электрическом поле:

$$E_p = -q \cdot L \cdot E \cdot \cos\alpha. \quad (2)$$

Помещаем эту формулу в итоговую таблицу и заканчиваем начатое решение задачи 2.

В начальном положении $\alpha = 0^\circ$, в конечном положении $\alpha = 60^\circ$, поэтому получаем:

$$A_{внеш} = E_{p\text{кон}} - E_{p\text{нач}} = q \cdot L \cdot E \cdot (1 - \cos 60^\circ) = 4,8 \cdot 10^{-22} \text{ Дж}.$$

$$\text{Ответ: } A_{внеш} = q \cdot L \cdot E \cdot (1 - \cos 60^\circ) = 4,8 \cdot 10^{-22} \text{ Дж}.$$

3. Два заряда

Каждый согласится, что два заряда (любоих знаков) обладают потенциальной энергией. Найдем, чему она равна. Для того чтобы применить нашу формулу $E_p = q \cdot \phi$, будем считать, что первый заряд создает поле, а второй в нем движется. Тогда получим: $E_p = q_2 \cdot \phi_1$. Потенциал поля точечного заряда q_1 есть $\phi_1 = k \cdot \frac{q_1}{R}$. Объединяя две формулы, получим третью формулу для потенциальной энергии взаимодействия двух точечных зарядов:

$$E_p = k \frac{q_1 \cdot q_2}{R}. \quad (3)$$

Задача 3. Какую работу необходимо совершить, чтобы два положительных заряда $q_1 = 1$ Кл и $q_2 = 2$ Кл сблизить с расстояния $R_1 = 20$ м на расстояние $R_2 = 5$ м?

Решение

Уравнение баланса энергии имеет вид: $A_{внеш} + A_{трения} = \Delta E$, и наша новая формула для потенциальной энергии позволяет сразу же получить ответ:

$$\begin{aligned} A_{внеш} &= E_{p\text{кон}} - E_{p\text{нач}} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R_2} - k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R_1} = \\ &= k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R_2 \cdot R_1} \cdot (R_1 - R_2) = 2,7 \cdot 10^9 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Ответ: $A_{внеш} = 2,7 \cdot 10^9$ Дж.

4. Несколько зарядов

В экзаменационных задачах могут появиться и несколько зарядов.

Задача 4. Какую работу надо совершить, чтобы заряды, расположенные на отрезке, расположить в вершинах квадрата? Величина каждого заряда равна q , расстояние между зарядами и сторона квадрата равны a .

Решение

По определению эту задачу точно не решить. Надо привлечь энергетические соображения: $A_{внеш} = \Delta E = E_{p\text{кон}} - E_{p\text{нач}}$. Но для этого надо уметь вычислять полную энергию системы зарядов! Сейчас мы обсудим, как это делается.

Для любых двух зарядов, скажем i -го и j -го, мы умеем вычислять энергию взаимодействия: $E_{i,j} = k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}}$. А что

делать если зарядов много, ведь теперь каждый взаимодействует с каждым? Ответ прост – общая энергия есть сумма энергий всех парных взаимодействий, поэтому четвертая формула для нашей таблицы имеет вид:

$$E_p = \sum_{\text{по всем взаимодействиям}} E_{i,j} = \sum_{\text{по всем взаимодействиям}} k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}} \quad (4)$$

Испробуем эту формулу. Подсчитаем с ее помощью начальную энергию взаимодействия зарядов, когда они расположены на одной прямой. Самое сложное при таком подсчете – не упустить ни одно из слагаемых и не прибавить лишнее. Поможет нам справиться с этой задачей – "граф". Граф – это несколько точек, некоторые из которых соединены отрезками.

Вот как работает граф при нашем подсчете (рис. 2). Поставим четыре точки (по числу зарядов), получим пустой граф четвертого порядка. Соединим вершину 1 с вершиной 2 и запишем первое слагаемое полной энергии системы зарядов: $E_{1,2} = k \cdot \frac{q \cdot q}{a}$.

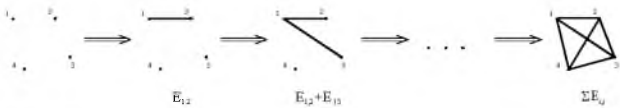


Рис. 2. Превращение графа из пустого в полный.

Проводя все возможные ребра и выписывая соответствующие слагаемые, в конце концов мы получим полный граф четвертого порядка и искомое выражение для начальной энергии системы:

$$E_{p\text{нач}} = k \cdot \frac{q^2}{a} + k \cdot \frac{q^2}{2a} + k \cdot \frac{q^2}{3a} + k \cdot \frac{q^2}{a} + k \cdot \frac{q^2}{2a} + k \cdot \frac{q^2}{a} = k \cdot \frac{q^2}{a} \left(4 + \frac{1}{3} \right).$$

Аналогичным образом самостоятельно подсчитайте потенциальную энергию конечного состояния. Она должна оказаться равной $E_{p\text{кон}} = k \cdot \frac{q^2}{a} (4 + \sqrt{2})$.

Теперь мы можем выписать ответ:

$$A_{внеш} = \Delta E_p = E_{p\text{кон}} - E_{p\text{нач}} = k \cdot \frac{q^2}{a} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right).$$

Ответ: $A_{внеш} = k \cdot \frac{q^2}{a} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)$.

5. Простая формула для нескольких зарядов

Сейчас мы сделаем совершенно невероятное – представим формулу для потенциальной энергии N точечных зарядов:

$$E_p = \sum_{\text{по всем взаимодействиям}} E_{i,j} = \sum_{\text{по всем взаимодействиям}} k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}}$$

в очень простом виде.

Для того чтобы вы могли проникнуться сложностью поставленной задачи, мы выпишем эту сумму и в явном виде, и с помощью символов Σ . Вот как она выглядит:

$$E_p = (E_{1,2} + E_{1,3} + \dots + E_{1,N}) + (E_{2,3} + E_{2,4} + \dots + E_{2,N}) + \dots + E_{N-1,N} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}}$$

Всего в этой сумме $\frac{N(N-1)}{2}$ слагаемых.

Неужели эту сумму можно записать проще? Да, если знать один очень простой прием суммирования. Мы познакомимся с ним, выполнив простое упражнение.

Упражнение 1. Сколько ребер у полного графа шестого порядка?

Решение

Наш вопрос можно сформулировать и по-другому: сколько сторон и диагоналей у правильного шестиугольника? Рассмотрим три метода решения.

1-й метод. Можно просто проводить ребра и считать. Тогда, если не ошибетесь, получите, что у полного графа шестого порядка ... ребер.

2-й метод. Попробуем решить эту задачу в общем виде для N -угольника (рис. 3).

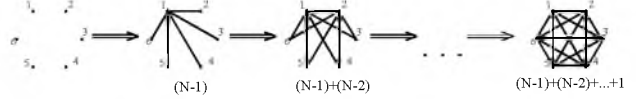


Рис. 3. Обычный способ подсчета

Проводим все ребра из первой вершины – всего их $(N-1)$. Из второй вершины – всего их $(N-2)$, и т.д. Получаем: $N_{\text{ребер}} = (N-1) + (N-2) + \dots + 2 + 1 = \dots$. Арифметическая прогрессия, однако. Хорошо, если вы знаете для нее формулу. А если нет?

Правильный, 3-й метод (рис.4). Будем проводить из каждой вершины все возможные ребра, т.е. по $(N-1)$ ребру из каждой вершины. Всего мы это будем делать N раз.

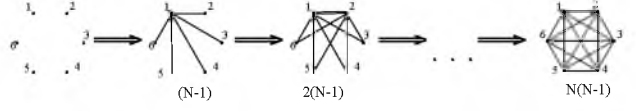


Рис. 4. Правильный метод подсчета

Выигрыш от такого подхода: легко подсчитать, что всего мы провели $N \cdot (N-1)$ отрезков. Проигрыш: мы провели ребер больше, чем положено! Но этот недостаток очень легко нейтрализовать. Посмотрите, что получилось, когда мы проводили из каждой вершины одинаковое количество ребер. Каждое ребро оказалось проведенным дважды! Поэтому делим общее количество отрезков на два и получаем правильный ответ: $N_{\text{ребер}} = \frac{N \cdot (N-1)}{2}$. Заодно мы получили и формулу для суммы арифметической прогрессии.

Вывод: суммирование будет проще, если подсчитывать взаимодействие каждого заряда со всеми остальными. Только результат надо поделить на два, поскольку каждое взаимодействие будет учтено дважды.

Вооруженные новой идеей, запишем:

$$E_p = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \cdot \left(\sum_{j=1}^N k \cdot \frac{q_j}{R_{i,j}} \right) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i.$$

Выражение в скобках:

$$\left(\sum_{j=1}^N k \cdot \frac{q_j}{R_{i,j}} \right) = k \cdot \frac{q_1}{R_{i,1}} + k \cdot \frac{q_2}{R_{i,2}} + \dots + k \cdot \frac{q_N}{R_{i,N}} = \varphi_i,$$

есть потенциал φ_i в точке, где находится i -й заряд. Итак, получаем пятую формулу в нашу таблицу:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i \quad (5)$$

В этой формуле всего N слагаемых.

В теории мы перевалили через вершину сложности и теперь, исходя из пятой формулы, будем получать все более и более простые выражения.

В задачах енергію системи зарядів можна считати і с помощью формулы (4) (как мы это делали в предыдущем примере), и с помощью формулы (5). По сути – это одна и та же формула, в которой по-разному организовано суммирование. Для задач с симметрией формула (5) иногда дает небольшой выигрыш в скорости вычислений.

Задача 5. Восемь положительных зарядов q расположены в вершинах куба со стороной a . Чему равна энергия такой системы зарядов?

Решение

Нам надо просуммировать восемь слагаемых:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^N q_i \cdot \varphi_i = \frac{1}{2} \cdot (q_1 \cdot \varphi_1 + q_2 \cdot \varphi_2 + \dots + q_8 \cdot \varphi_8).$$

Но так как все заряды совершенно симметричны, все восемь слагаемых равны, и мы сразу упрощаем сумму:

$E_p = \frac{8}{2} \cdot q_1 \cdot \varphi_1$. Осталось вычислить потенциал φ_1 в первой вершине. Получаем:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 3 \cdot k \cdot \frac{q}{a} + 3 \cdot k \cdot \frac{q}{\sqrt{2} \cdot a} + k \cdot \frac{q}{\sqrt{3} \cdot a} = \\ &= 3 \cdot k \cdot \frac{q}{a} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right). \end{aligned}$$

Окончательный ответ: $E_p = 12 \cdot k \cdot \frac{q^2}{a} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$.

Ответ: $E_p = 12 \cdot k \cdot \frac{q^2}{a} \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$.

6. Энергия заряженного конденсатора

Конденсатор – это два произвольных проводника. Если с одного проводника забрать заряд q и передать его другому проводнику, то получится заряженный конденсатор. Заряд q и напряжение между проводниками U связаны соотношением: $q = C \cdot U$, где C – емкость конденсатора.

Для энергии конденсатора наша формула дает простой ответ:

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^2 q_i \cdot \varphi_i = \frac{1}{2} \cdot (q_1 \cdot \varphi_1 + q_2 \cdot \varphi_2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{q \cdot U}{2}. \end{aligned}$$

Это шестая формула для нашей таблицы. Ее можно записать несколькими способами:

$$E_p = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2C}. \tag{6}$$

7. Заряженный проводник

- Обладает ли заряженный проводник энергией?
- Да, – скажет каждый, кто хоть раз видел разряд заряженных шаров электрофорной машины.

Найдем энергию заряженного проводника. Мысленно разобьем проводник на N точечных зарядов Δq_i . Наша формула для такой системы зарядов примет вид:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta q_i \cdot \varphi_i = \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot \sum_{i=1}^N \Delta q_i.$$

Потенциал проводника постоянен, поэтому мы вынесли его за знак суммы. Осталось узнать последнюю сумму. Это полный заряд проводника! Поэтому седьмая формула для нашей таблицы:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \varphi.$$

8. Заряженная сфера

У нас есть формула для потенциала заряженной сфе-

ры: $\varphi_{сф} = k \frac{q}{R_{сф}}$.

Поэтому восьмая формула для проводника "сферы" может быть записана так:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \varphi_{сф} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{q^2}{R_{сф}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{сф} \cdot \varphi_{сф}^2}{k}.$$

На этом наше путешествие окончено. Мы получили восемь различных формул для подсчета энергии в электростатике и аккуратно записали их в итоговую таблицу.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

	Формула	Случай
1	$E_p = q \cdot \varphi$	заряд во внешнем электрическом поле
2	$E_p = -q \cdot L \cdot E \cdot \cos \alpha$	диполь во внешнем электрическом поле
3	$E_p = k \frac{q_1 \cdot q_2}{R}$	энергия взаимодействия двух точечных зарядов
4	$E_p = \sum_{\text{по всем взаимодействиям}} k \cdot \frac{q_i \cdot q_j}{R_{i,j}}$	энергия взаимодействия N точечных зарядов
5	$E_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i$	энергия взаимодействия N точечных зарядов (сжатая запись)
6	$E_p = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$	энергия заряженного конденсатора
7	$E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \varphi$	энергия заряженного проводника
8	$E_p = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \varphi_{сф} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{q^2}{R_{сф}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{сф} \cdot \varphi_{сф}^2}{k}$	энергия заряженной сферы

Этой таблицей мы обычно заканчиваем наш рассказ об энергии в электростатике.

Список использованных источников:

1. Гончаренко С.У. Фізика: Підручник для 10 класу середньої загальноосвітньої школи. – К.: Освіта, 2002. – 317 с.
2. Коршак Є.В., Ляшенко О.І., Савченко В.Ф. Фізика-10: Підручник для загальноосвітніх шкіл. К.: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2002. – 294 с.
3. Гончаренко С.У. Фізика: Підручник для 11 класу середньої загальноосвітньої школи. – К.: Освіта, 2002. – 319 с.
4. Коршак Є.В та ін.. Фізика, 11 кл.: Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів / Є.В.Коршак, О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко. – К.: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004. – 288 с.
5. Соколов Є.П. Фізичні задачі на порівняння. З досвіду навчання на факультеті довузівської підготовки // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. – 2006. – Випуск 36(1). – С. 135-138.
6. Коршак Є.В., Гончаренко С.У., Коршак Н.М. Методика розв'язування задач з фізики. Практикум. – К.: Вища школа. Головне вид-во, 1976. – 240 с.
7. Павленко А.І. Методика навчання учнів середньої школи розв'язуванню і складанню фізичних задач: (теоретичні основи) / Наук. ред. С.У.Гончаренко. – К.: ТОВ «Міжнародна фінансова агенція, 1997. – 177 с.
8. Гельфгат І.М., Колебошин В.Я., Любченко Н.Г., Манакин В.Л., Ненашев І.Ю., Селезнев Ю.О., Хоменко Е.В. Сборник разноуровневых заданий для государственной итоговой аттестации по физике. – Харьков: "Гимназия", 2002. – 80 с.
9. Гончаренко С.У. Конкурсні задачі з фізики. – К.: Техніка, 1968. – 450 с.

The present paper considers a presentation method of the "Energy in Electrostatics" subject in the course of physics for the preparatory faculty students.

Key words: physical problem, energy, electrostatics, preparatory faculty.

Отримано: 15.06.2006.