Радиостроение

Научно-практический журнал

http://www.radiovega.su

Ссылка на статью:
// Радиостроение. 2022. № 03. С. 1–13

DOI: **10.36027/rdeng.0322.0000206**

Представлена в редакцию: 16.04.2022

УДК 537.21+37.022

Организация самостоятельной работы студентов при освоении курса общей физики на примере раздела «Электростатика»

Лунёва Л.А.[1,*], Макаров А.М.[1], Еркович О.В.[1], Есаков А.А.[1]

[*] lunevala2008@rambler.ru

[1] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В статье представлены подробные рекомендации по расчёту характеристик электростатического поля сферического конденсатора с линейным, изотропным, но неоднородным диэлектриком между обкладками, в силу чего определяемые величины будут зависеть только от одной пространственной координаты – радиальной координаты.

Ключевые слова: электростатическое поле, вектор напряженности электрического поля, вектор электрического смещения, поляризованность диэлектрика, связанные заряды, ёмкость конденсатора, энергия конденсатора

Введение

Раздел «Электростатика» является основным в теории поля в курсе общей физики [1]. Формирование основных положений теории поля на начальном этапе позволяет лучше усвоить студентами раздел электромагнетизма.

В связи с этим при разработке плана занятий является важным организовать самостоятельную проработку материала студентами и сформулировать постановку задачи в легко доступной для понимания и анализа результата форме [2].

Для успешного освоения курса общей физики в техническом университете важную роль играют семинарские или практические занятия, на которых есть возможность не только изучать фундаментальные понятия, законы, современные и классические теории, но и научиться практическим навыкам, приёмам и методам решения конкретных задач, проявляя наибольшую самостоятельность [3].

Для более качественного освоения студентами курса физики необходимо сохранять достоинства традиционного практического занятия и максимально использовать методическое обеспечение, позволяющее организовать самостоятельную работу студентов как во время практического занятия, так и во внеаудиторное время [4].

В настоящей работе представлено методическое обеспечение для организации самостоятельной работы студента, обеспечивающего успешное освоение раздела общей физики – «Электростатика», поддержку лекционного курса и семинарских занятий, а также формирование навыков организации самостоятельной учебной работы и осуществления самостоятельного контроля результатов решения физических задач, что является важным элементом формирования системы компетенций, предусмотренных стандартами подготовки.

На кафедре физики МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны и более десяти лет успешно применяются в учебном процессе в разделе «Электромагнетизм» курса общей физики методические указания к выполнению домашнего задания по темам «Электростатика. Магнитостатика. Электромагнитная индукция» [5].

Проявления электромагнетизма в самых разнообразных физических процессах определяют основополагающее место этого раздела курса общей физики в техническом университете.

При разработке методических указаний к разделу «Электростатика» особое внимание было уделено практическому использованию теоремы Гаусса для расчёта вектора напряжённости электростатического поля в пространстве [6]. Существует множество подходов к методике постановки и решения задач электростатики [7, 8], но в данной работе основной упор сделан на практическое применение соотношений теории поля.

Следует заметить, что теорема Гаусса справедлива не только для электростатического поля, но и для произвольного электрического поля, характеристики которого зависят от времени. В теории электромагнетизма теорема Гаусса входит в состав основных уравнений электромагнитного поля. Согласно теореме Гаусса, электрические заряды являются источниками электрических полей, а их распределение в пространстве однозначно связано с полем вектора напряжённости, создаваемым этими зарядами [6]. Используя теорему Гаусса, можно аналитически рассчитать напряжённости электростатических полей заряженных тел в случаях, когда эти поля обладают пространственной симметрией (чаще всего плоской, цилиндрической или сферической) [9,10].

Структура индивидуального практического задания по теме «Электростатика», предназначенного для самостоятельного выполнения, включает краткие теоретические сведения, методические рекомендации к решению задач, подробно обсуждаемый пример решения типовой задачи, включающий обсуждение способов проверки корректности полученных результатов.

Для решения задач применяется математический аппарат теории поля, доступный для понимания студентам второго курса технических университетов. Для обеспечения индивидуальности решения при выполнении домашнего задания каждый студент учебной группы получает собственный вариант домашнего задания. Каждый вариант задачи характеризуется своим видом симметрии, своими видами зависимостей диэлектрической проницаемости среды $\varepsilon = f(r)$ и своими параметрами задачи, необходимыми для её решения. В условиях предлагаемых задач, как правило, задан (явно в виде заряда q на пластинах или неявно в виде разности потенциалов между пластинами) сторонний заряд на обкладках конденсатора.

Пример постановки задачи

В качестве примера рассмотрим задачу со сферическим конденсатором. Радиусы внешней и внутренней обкладок сферического конденсатора равны R_0 и R соответственно.

Зададим заряд конденсатора величиной q. Диэлектрическая проницаемость среды ε между обкладками изменяется по закону $\varepsilon(r) = R_0^{\,n} / (R_0^{\,n} + R^n - r^n)$, где r – расстояние от центра сфер, $\dfrac{R_0}{R} = \dfrac{3}{1}$, $n = 4$.

Необходимо определить распределение модулей векторов электростатического поля: электрического смещения $\vec{D}$, напряжённости $\vec{E}$ и поляризованности $\vec{P}$ в зависимости от радиальной координаты $r \in (R;\, R_0)$, а также поверхностную плотность связанных зарядов на внутренней $\sigma_1^{'}$ и внешней $\sigma_2^{'}$ поверхностях диэлектрика, распределение объёмной плотности связанных зарядов $\rho^{'}(r)$ и электроёмкость C конденсатора.

Кроме того, необходимо провести анализ полученных результатов и выполнить проверку.

Пример методических указаний к решению задачи

Рассмотрим алгоритм решения задачи на примере данной постановки и исходных данных.

Зависимость диэлектрической проницаемости вещества от координат, имеет вид дробно-рациональной функции

$$\varepsilon(r) = R_0^{\,n} / (R_0^{\,n} + R^n - r^n)\,, \quad \frac{R_0}{R} = \frac{3}{1}\,, \quad n = 4\,. \tag{1}$$

Преобразуем выражение для диэлектрической проницаемости $\varepsilon(r)$ с учётом заданного соотношения $R_0 = 3R$:

$$\varepsilon(r) = \frac{(3R)^4}{(3R)^4 + R^4 - r^4} = \frac{81R^4}{82R^4 - r^4}\,. \tag{2}$$

Проведем качественный анализ силовых линий электростатического поля заданной условием задачи системы. На рис. 1 показаны обкладки (внешняя и внутренняя) сферического конденсатора, серым показана область заполнения диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(r)$. Пусть, для удобства выкладок, сторонний заряд $q > 0$ равномерно распределён по внутренней обкладке. В силу симметрии силовые линии поля будут направлены вдоль радиальных направлений (в направлении от центра сферы). Пунктиром на рис.1 показана воображаемая поверхность, и направление вектора $\vec{D}$ на ней.

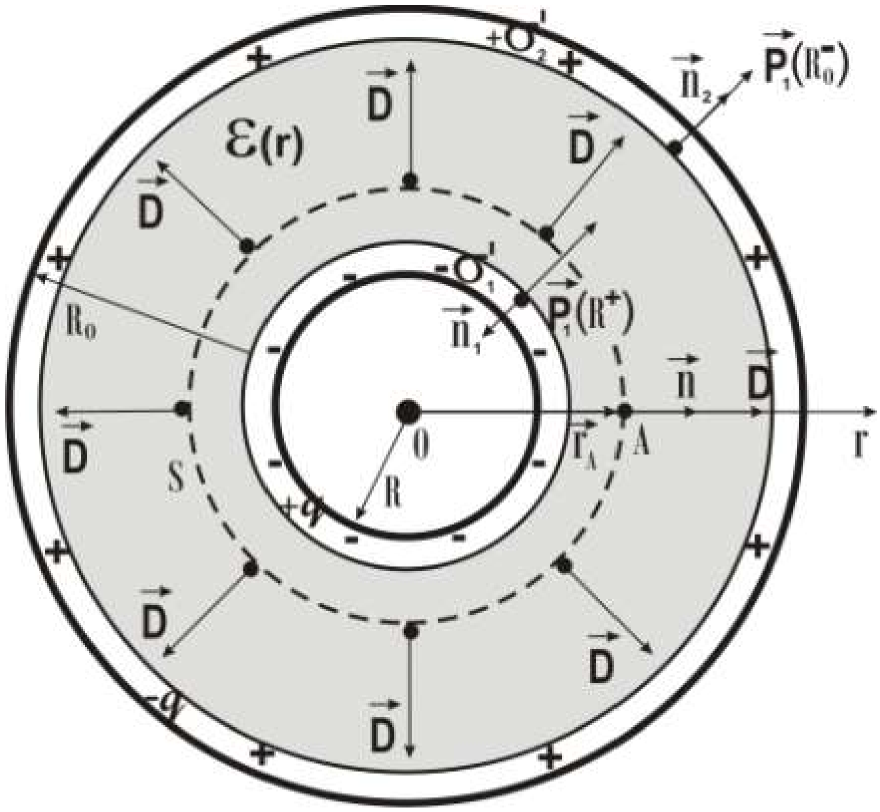

Рис.1

Для расчета модуля вектора электрического смещения $\vec{D}(r)$ между обкладками конденсатора воспользуемся теоремой Гаусса :

$$\oint\limits_S (\vec{D}, d\vec{s}) = q.$$

Рассматриваемая задача обладает сферической симметрией, поэтому в качестве поверхности интегрирования S выбираем сферическую поверхность произвольного радиуса $R < r < R_0$ с центром в начале координат (обозначена пунктиром на рис.1). Так как поле вектора $\vec{D}$ сферически симметрично, то ***в каждой точке поверхности*** S направление вектора $\vec{D}$ совпадает с направлением радиус-вектора $\vec{r}$ точки наблюдения (точка А на рис.1) и направлением внешней нормали $\vec{n}$ к элементу ds поверхности S; заметим также, что модуль вектора $\vec{D}$ в каждой точке выбранной произвольной поверхности S является постоянной величиной. Поэтому из интегральной формулировки теоремы Гаусса для вектора $\vec{D}$ следует:

$$\oint\limits_S (\vec{D}, d\vec{s}) = \oint\limits_S D_n ds = q,$$

где $ds = r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi = r^2 d\Omega$, $d\Omega -$элемент телесного угла, под которым из начала координат виден элемент поверхности ds, с учётом $D_n = D(r)$ и $S = r^2\Omega = r^2 4\pi$, вынося $D(r)$ из-под знака интеграла и выполняя интегрирование, получаем

$$D(r) 4\pi r^2 = q .$$

Выражение для функции $D(r)$:

$$D(r) = \frac{q}{4\pi r^2}, \quad (R < r < R_0). \tag{3}$$

Следующим шагом найдём выражение для напряжённости $\vec{E}(r)$ электростатического поля между обкладками конденсатора. Связь напряжённости и электрического смещения для изотропных и линейных диэлектриков имеет вид:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

откуда

$$E(r) = \frac{D(r)}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{q}{4\pi r^2 \varepsilon_0 \varepsilon} .$$

С учётом соотношения (2) для диэлектрической проницаемости среды $\varepsilon(r)$ зависимость $E(r)$ можно записать так:

$$E(r) = \frac{q(82R^4 - r^4)}{324\pi\varepsilon_0 R^4 r^2}, \quad (R < r < R_0). \tag{4}$$

Отметим, что радиальная проекция вектора напряжённости электрического поля $E_r(r) = E(r)$ является единственной отличной от нуля проекцией вектора напряжённости электростатического поля.

Найдём распределение поляризованности среды $\vec{P}(r)$ между обкладками конденсатора. Для линейных и изотропных диэлектриков связь между векторами $\vec{P}$ и $\vec{E}$ имеет вид

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \aleph \vec{E},$$

где $\aleph -$диэлектрическая восприимчивость вещества – скалярная безразмерная величина, не зависящая от величины вектора напряжённости электрического поля. Диэлектрическая восприимчивость связана с диэлектрической проницаемостью ε диэлектрика соотношением

$$\aleph = \varepsilon - 1,$$

откуда с учётом зависимости (4) для напряжённости электростатического поля от радиальной координаты и зависимости (2) для $\varepsilon(r)$ получаем выражение для модуля вектора поляризованности среды $P(r)$ между обкладками конденсатора

$$P(r) = \frac{q(r^4 - R^4)}{324\pi R^4 r^2}, \quad (R < r < R_0). \tag{5}$$

Заметим, что направление вектора поляризованности среды $\vec{P}$ совпадает с направлением радиус-вектора $\vec{r}$, откуда следует, что тангенциальные проекции вектора $\vec{P}$ обращаются в нуль $(P_\theta = 0, P_\varphi = 0)$, а радиальная проекция $P_r(r)$ определена выражением (5).

Далее определим поверхностную плотность связанных зарядов на внутренней и внешней поверхностях сферического слоя диэлектрика, расположенного между обкладками конденсатора.

Под действием электрического поля, созданного сторонними зарядами q и $-q$, находящимися на обкладках конденсатора, диэлектрик поляризуется, и в результате поляризации на внутренней и внешней поверхностях диэлектрика появляются связанные заряды. Возникновение объёмных избыточных связанных зарядов обсудим ниже.

Связь между поляризованностью среды $\vec{P}$ и поверхностной плотностью $\sigma^{'}$ связанных зарядов на границе раздела диэлектриков имеет вид

$$P_{2n} - P_{1n} = -\sigma^{'},$$

где P_{2n} и P_{1n} - проекции вектора поляризованности $\vec{P}$ в диэлектриках 2 и 1 на общую нормаль $\vec{n}$ к границе раздела в данном месте (вектор $\vec{n}$ проводят из диэлектрика 1 в диэлектрик 2).

Из последней зависимости следует, что на границе раздела диэлектриков нормальная составляющая вектора $\vec{P}$ испытывает разрыв, величина которого равна зависящей от свойств диэлектриков поверхностной плотности $\sigma^{'}$ связанных зарядов. Если среда 2 является вакуумом, как в рассматриваемом примере, то эта зависимость приобретает более простой вид:

$$\sigma^{'}(M) = P_n(M),$$

где M – точка, находящаяся на поверхности диэлектрика, а P_n – проекция вектора $\vec{P}$ на нормаль $\vec{n}$, внешнюю по отношению к занятой диэлектриком области. Знак проекции P_n определяет и знак поверхностной плотности $\sigma^{'}$ связанного заряда в данной точке.

В рассматриваемой задаче на внутренней поверхности (обозначим её индексом 1) диэлектрика векторы $\vec{P}_1(R^+)$ и $\vec{n}_1$ в любой точке поверхности направлены противоположно (рис.1), поэтому знак поляризационного заряда отрицательный, что естественно согласуется с механизмом поляризации диэлектрика. В данном примере для заданной зависимости $\varepsilon(r)$ с учётом соотношения (5) имеем $(\vec{P}_1(R^+))_{n_1} = 0$, откуда следует, что поверхностная плотность связанных зарядов равна нулю: $\sigma_1^{'} = 0$. На внешней поверхности 2 диэлектрика векторы $\vec{P}_1(R_0^-)$ и $\vec{n}_2$ в любой точке поверхности сонаправлены, поэтому знак проекции $(\vec{P}_1(R_0^-))_{n_2}$ положительный, а поверхностная плотность связанных зарядов отлична от нуля:

$$\sigma_2^{'} = (\vec{P}_1(R_0^-))_{n_2} = \frac{20q}{729\pi R^2} \quad (6)$$

Для нахождения объёмной плотности ρ' избыточных связанных зарядов внутри сферического слоя диэлектрика между пластинами конденсатора воспользуемся теоремой Гаусса для поля вектора $\vec{P}$ в дифференциальной форме:

$$div\vec{P} = -\rho',$$

дивергенция поля вектора $\vec{P}$ равна с обратным знаком объёмной плотности ρ' избыточного связанного заряда в той же точке.

В рассматриваемой задаче между обкладками конденсатора находится изотропный, но неоднородный диэлектрик, диэлектрическая проницаемость которого изменяется только в радиальном направлении (2).

Для расчёта объёмной плотности связанных зарядов ρ' воспользуемся выражением для оператора div применительно к сферическим координатам:

$$div\vec{P} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 P_r) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(P_\theta \sin\theta) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial P_\phi}{\partial\phi} \quad (7)$$

Ранее отмечалось, что поляризованность диэлектрика в данном случае зависит только от радиальной координаты и не зависит от угловых координат. Таким образом, в правой части выражения (7) остаётся только первое слагаемое:

$$div\vec{P} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 P_r). \quad (8)$$

При вычислении производной в правой части соотношения (8) учтём, что радиальная проекция вектора поляризованности среды $P_r(r) = P(r)$, а зависимость $P(r)$ определена соотношением (5). Тогда для дивергенции вектора поляризованности среды имеем

$$div\vec{P} = \frac{qr}{81\pi R^4}$$

откуда в соответствии с теоремой Гаусса для поля вектора $\vec{P}$ в дифференциальной форме для объёмной плотности связанных зарядов ρ' получаем

$$\rho'(r) = -\frac{qr}{81\pi R^4}. \quad (9)$$

Осуществим проверку корректности полученных результатов.

Очевидно, что при зарядке конденсатора, приводящей к поляризации диэлектрика и возникновению связанных зарядов, диэлектрик между обкладками конденсатора должен остаться электронейтральным. Требование электронейтральности диэлектрика в данном случае является критерием корректности расчета распределения поверхностных и объемных связанных зарядов.

Определим суммарный связанный заряд диэлектрика, используя при расчётах найденные соотношения (6) и (9) для поверхностной $\sigma'(r)$ и объёмной $\rho'(r)$ плотностей связанного заряда:

$$q' = \int_R^{R_0} \left(-\frac{qr}{81\pi R^4} \right) 4\pi r^2 dr + \int_s \left(\frac{20q}{729\pi R^2} \right) ds \quad (10)$$

В соотношении (10) первое слагаемое в правой части учитывает суммарный связанный заряд, распределённый по объёму диэлектрика, второе слагаемое – суммарный связанный заряд, распределённый с постоянной поверхностной плотностью σ_2' по внешней сферической поверхности диэлектрика радиуса $R_0 = 3R$. Здесь также учтено, что на внутренней поверхности диэлектрика в данной задаче связанный заряд отсутствует.

Проведём расчёт по зависимости (10):

$$q' = \left(-\frac{q}{81\pi R^4} \right) 4\pi \left(\frac{(3R)^4}{4} - \frac{R^4}{4} \right) + \frac{20q}{729\pi R^2} (4\pi (3R)^2) = 0$$

Тот факт, что алгебраическое значение q' равно нулю, используется для проверки полученных результатов и подтверждает, что зависимости $E(r),\ D(r),\ P(r),\ \sigma_1'(r),\ \sigma_2'(r),\ \rho'(r)$ найдены верно.

Найдём электроёмкость C данного сферического конденсатора. Согласно определению ёмкости конденсатора ($C = \frac{q}{U}$), задача сводится к определению разности потенциалов U при заданном заряде конденсатора q:

$$U = \varphi(R) - \varphi(R_0) = \int_R^{R_0} E_r(r) dr, \quad (11)$$

Из теоремы о циркуляции напряженности электростатического поля по замкнутому контуру, траектория интегрирования может быть любой. Самый простой и удобный путь интегрирования – по радиальной координате, а зависимость $E(r)$ определена соотношением (4).

После подстановки зависимости (4) для $E(r)$ в соотношение (11) и интегрирования, находим напряжение между обкладками конденсатора и его ёмкость

$$U = \frac{23q}{162\pi\varepsilon_0 R}, \qquad C = \frac{162}{23}\pi\varepsilon_0 R. \quad (12)$$

Полученное значение электроёмкости C определено верно, если оно удовлетворяет соотношению

$$\frac{CU^2}{2} = \int_V w dV \quad , \quad (13)$$

где $\frac{CU^2}{2}$ – энергия заряженного конденсатора, а в правой части – энергия электростатического поля, выраженная через объёмную плотность энергии электростатического поля:

$$w = \frac{(\vec{E}, \vec{D})}{2} \quad ,$$

V – объём, в котором локализовано электростатическое поле в конденсаторе.

Для проверки корректности расчета емкости конденсатора проверим, удовлетворяет ли полученное значение C соотношению (13). Используя зависимости для $D(r)$ и $E(r)$, и выполняя интегрирование в правой части (13), получим:

$$\int_V w dV = \int_R^{3R} \frac{q}{4\pi r^2} \frac{q(82R^4 - r^4)}{324\pi\varepsilon_0 R^4 r^4} 4\pi r^2 dr = \frac{23q^2}{324\pi\varepsilon_0 R}.$$

Используя выражения для напряжения U и электроёмкости C, вычислим значение $\frac{CU^2}{2}$, и убедимся в равенстве правой и левой частей соотношения (13). Это позволяет утверждать, что полученная зависимость для электроёмкости C данного конденсатора найдена правильно.

Разработка индивидуальных заданий

Представленный алгоритм решения задачи возможно применять при других типах симметрии (прямоугольная, цилиндрическая). Возможно задание различных соотношений для диэлектрической проницаемости $\varepsilon(r)$, геометрических параметров, а также исходных величин заряда или напряжения на конденсаторе. Авторами были проработаны различные условия постановки задачи, реализованные в 27 вариантах задания [5]. Возможно и более широкое задание исходных данных для большего количества вариантов, при этом требуется проверка возможности интегрирования, и, соответственно, корректности постановки задачи.

Заключение

Для эффективного освоения раздела «Электростатика» была предложена оригинальная авторская методика расчёта параметров электростатического поля, применимая в плоских, осесимметричных и сферически симметричных конденсаторах. Постановка задачи соответствует математической подготовке студентов технического университета в области теории поля, кратных и криволинейных интегралов и позволяет освоить основные приёмы вычислений характеристик векторных и скалярных полей. Студенты применяют математический аппарат теории поля на примере решения конкретной задачи.

Предлагаемая методика не только обеспечивает углубленное усвоение теоретического материала, но и вырабатывает у студентов навыки проведения самостоятельных теоретических расчётов, анализа результатов и оформления самостоятельной работы в виде отчета.

Данная постановка задач позволяет получить необходимое количество вариантов для индивидуальных заданий.

Рассмотренные в настоящей работе методические рекомендации к выполнению домашнего задания по разделу «Электростатика», использованные при изучении курса физики в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, достоверно обеспечивают повышение результативности самостоятельной работы студентов при изучении курса физики.

Внедрение таких заданий в учебный процесс позволяет сформировать не только дисциплинарные компетенции, связанные с освоением фундаментальных физических законов и их применением при решении конкретных задач, но и общекультурные компетенции, связанные с формированием навыков самообразования, самоконтроля, самостоятельного получения и осмысления информации, а также навыков представления результатов работы в виде отчета.

Работа полезна для углублённого изучения указанного раздела курса общей физики, обеспечивает сохранение интереса к предметной области в процессе обучения, а также обеспечивает необходимый уровень знаний. Представленная методика может быть рекомендована к использованию при освоении курса физики, раздела электростатики, в технических университетах.

Список литературы

1. Тютяев А.В. Методологическое структурирование курса общей физики в техническом университете // Физическое образование в вузах. 2016.Т.22, №2.С. 77 - 84.
2. Логинов В.А., Седых Н.К., Спичкин Ю.В., Соловьев А.С., Железный С.В. Типовые расчеты в курсе общей физики // Физическое образование в ВУЗах. 2000. Т. 6. № 3. С. 58-62.
3. Лапаник О.Ф., Слабженникова И.М. Особенности организации учебного процесса по дисциплине «Физика» в техническом университете на современном этапе // Физическое образование в вузах. 2018.Т.24, №3.С. 12 - 22.
4. Смык А.Ф., Гусева Е.А. Повышение качества подготовки по физике в техническом университете // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Педагогика. 2019. № 2. С. 83-95.
5. Лунёва Л.А., Тараненко С.Н., Козырев А.В., Голубев В.Г., Купавцев А.В. Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу общей физики. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 55 с.
6. Макаров А.М., Лунева Л.А., Макаров К А. Об основных уравнениях электростатики изотропных диэлектриков // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2011. Т. 41. № 2. С. 25-40.
7. Глазов С.Ю., Ковалева Т.А., Сыродоев Г.А. Электростатическое поле прямой периодически заряженной нити // Физическое образование в ВУЗах, 2016. – Т. 22. – № 3. – С. 139-148
8. Нифанов А.С., Сараева И.М. Использование "метода изображений" при решении задач электростатики // Физическое образование в ВУЗах, 2007. – Т. 13. – № 2. – С. 14-25

9. Мартинсон Л.К., Морозов А.Н., Смирнов Е.В. Электромагнитное поле. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 422 с.
10. Макаров А.М., Лунёва Л.А., Макаров К.А. Теория и практика классической электродинамики. – М.: Изд-во URSS, 2019. – 774 с.

Radio Engineering
Scientific and practical journal
http://www.radiovega.su

Radio Engineering, 2022, no. 03, pp. 1–13.
DOI: **10.36027/rdeng.0322.0000206**
Received: 16.04.2022

Organization of Students' Independent Work in Studying Course of General Physics, Section "Electrostatics"

L.A. Luneva[1,*], A.M. Makarov[1], O.S. Erkovich[1], A.A. Esakov[1]

[*]lunevala2008@rambler.ru

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: electrostatic field; electric field vector; electric displacement vector; dielectric polarization; coupled charges; capacitor capacity; capacitor energy

Aim. Development of tasks for students' independent work in studying course of general physics, section "Electrostatics".

Methodology and research methods. Based on the analysis of literary sources, textbooks, teaching aids and materials in general physics, field theory and electrodynamics. To demonstrate the capabilities of the methodology, the article provides detailed recommendations for calculating the characteristics of the electrostatic field of a spherical capacitor with a linear, isotropic but inhomogeneous dielectric between the plates, due to which the determined values will depend on only one spatial coordinate - the radial coordinate.

Results. To demonstrate the possibilities of using the methodology in the educational process, an example of the problem statement and recommendations is presented for the independent calculation of the characteristics of the electrostatic field, as well as the analysis of the correctness of the obtained solution results for a spherical capacitor with a linear, isotropic and inhomogeneous dielectric between the plates.

Scientific novelty. An original author's method of calculating the parameters of the electrostatic field in flat, axisymmetric and spherically symmetric capacitors is proposed, which is very useful for students while doing their homework in the Electrostatics section.

Practical significance. The developed methodological manual allows to organize effective independent work of students. The setting of tasks ensures the formation of the required number of task variants.

A deep study of the physics of electromagnetic phenomena lays a reliable foundation for the further studying of technical disciplines. An important feature of the section “Electromagnetic Phenomena” in the course of general physics is the possibility of forming

interdisciplinary connections and the demonstration of the ability to make decisions based on the knowledge of fundamental laws of physics.

References

1. Tyutyaev A.V. Methodological structuring of the course of general physics at a technical university. Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh= Physical education in universities. 2016, 2(22), p. 77 - 84. . (In Russ.)
2. Loginov V.A., Sedykh N.K., Spichkin Yu.V., Soloviev A.S., Zhelezny S.V. Typical calculations in the course of general physics. Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh=Physical education in universities, 2000, 3(6), P. 58-62. . (In Russ.)
3. Lapanik O. F., Slabzhennikova I. M. Features of the organization of the educational process in the discipline "Physics" at a technical university at the present stage. Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh=Physical education in universities, 2018 , 3(24), p. 12-22. . (In Russ.)
4. Smyk A.F., Guseva E.A. Improving the quality of training in physics at a technical university. Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Pedagogy. 2019, 2, P. 83-95. . (In Russ.)
5. Luneva L.A., Taranenko S.N., Kozyrev A.V., Golubev V.G., Kupavtsev A.V. Methodical instructions for completing homework on the course of general physics. - M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2010 .-- 55 p. . (In Russ.)
6. Makarov AM, Luneva LA, Makarov K A. On the basic equations of electrostatics of isotropic dielectrics . Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Yestestvennyye nauki [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.],, 2011, 2(41), P. 25-40. (In Russ.)
7. Glazov S.Yu., Kovaleva T.A., Syrodoev G.A. The electrostatic field of a straight line of periodically charged filament. Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh= Physical Education at Universities, 2016, 3(22), P. 139-148. (In Russ.)
8. Nifanov A.S., Saraeva I.M. The use of the "image method" in solving electrostatic problems. Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh= Physical Education at Universities, 2007, 2(13), P. 14-25. (In Russ.)
9. Martinson L.K., Morozov A.N., Smirnov E.V. Electromagnetic field. - M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2013 .-- 422 p. (In Russ.)
10. Makarov A.M., Luneva L.A., Makarov K.A. Theory and practice of classical electrodynamics. - M.: Publishing House URSS, 2019 .-- 774 p. (In Russ.)