

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"

Кафедра общей и технической физики

# **ФИЗИКА**

## **ЭЛЕКТРОСТАТИКА**

Методические указания к расчетно-графической работе для  
студентов бакалавриата направления 190700

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2014

УДК 537.1/2(073)

**Физика. Электростатика:** Методические указания к расчетно-графическим работам. / Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". Сост.: *А.С. Иванов, Д.А. Харитонова*. СПб, 2014. 28 с.

Изложены требования к содержанию и рекомендации к подготовке, выполнению и защите отчетов по расчетно-графическим работам. Приведены основные понятия и расчетные формулы, пример решения и оформления задания, даны ссылки на учебную литературу. Предложены 4 задания по 30 вариантов в каждом.

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направления 190700 Горного университета.

Табл. 6. Ил. 2. Библиогр.: 14 назв.

Научный редактор проф. *А.Б. Федорцов*

© Национальный минерально-сырьевой  
университет «Горный», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Расчётно-графические работы являются важнейшим инструментом, направленным на формирование необходимых для будущих выпускников компетенций у студентов, изучающих курс «Физика». Как оценочное средство они позволяют оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

Выполнение студентами расчётно-графической работы (РГР) способствует наиболее глубокому усвоению всех разделов курса физики. Лучшей оценкой степени освоения материала учебной программы является умение студента использовать приобретённые теоретические знания в решении конкретных задач. Уровень подготовки будущего специалиста зависит от способности студента выполнять самостоятельно задания различного уровня.

При выполнении РГР студенты получают знания по физике в процессе самостоятельной творческой работы, сочетая изучение физики с прикладными возможностями математики и информатики.

При этом формируется умение определить, описать и объяснить физические понятия, явления, процессы и величины.

В соответствии с требованиями программы курса студенты приобретают навыки:

- проводить самостоятельный поиск необходимой информации с использованием различных источников (учебных, справочных и научно-популярных изданий, ресурсов интернета);
- применять математический аппарат для аналитического решения физических задач;
- анализировать, выполнять сравнительную оценку и делать выводы по результатам работы;
- использовать в решениях и представлении результатов (в виде рисунков, схем, таблиц и графиков) основные программные средства.

## 1. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЁТА И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчётно-графических работ (РГР) по электростатике необходимо оформить отчёт в печатном виде на листах формата А4, содержащий:

1. титульный лист в соответствии с требованиями университета;
2. условие задания в соответствии со своим вариантом;
3. теоретическую часть работы;
4. решение задач расчётно-графической работы;
5. графическое представление результатов работы;
6. анализ полученных результатов и выводы по ним.

Теоретическую часть работы должна содержать:

- описание явлений или процессов, изучаемых в РГР;
- определение основных физических понятий, объектов и величин, используемых в данной работе;
- законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы;
- вывод используемых расчетных формул;
- пояснения к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения;

При решении задач расчётно-графической работы необходимо:

- выполнить рисунок или начертить схему;
- обосновать выбранное решение необходимыми пояснениями;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в формулировке задания, или введенных самостоятельно, а также необходимые физические константы;
- проверить размерность величин, полученных в результате решения;
- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц;

- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросами задания.

При построении графиков, указанных в задании следует:

- представить таблицы с данными для построения графиков;
- указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить;
- указать на осях координат физические величины и единицы их измерения.

## **2. РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА ПО РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ**

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями кафедры ОТФ и сдавшие его на проверку в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчёта, при наличии ошибок и недочётов, работа возвращается студенту на доработку. При соблюдении всех требований к оформлению отчёта, правильном выполнении задания и решении соответствующих задач студенту назначается аудиторная защита.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а так же освоить математический аппарат, необходимый для решения задач расчетно-графической работы. При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные министерством образования и науки к учебному процессу. Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объёме теоретического и методического содержания данного РГР, уметь самостоятельно вывести необходимые расчетные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

#### 3.1 Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad \varphi = \frac{W}{q},$$

где  $\vec{F}$  - сила, действующая на точечный положительный заряд  $q$ , помещенный в данную точку поля;  $W$  - потенциальная энергия этого заряда.

3.2 Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой зарядов (принцип суперпозиции электростатических полей)

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i, \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где  $\vec{E}_i$ ,  $\varphi_i$  - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого  $i$ -м зарядом.

3.3 Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r},$$

где  $r$  - расстояние от заряда  $q$  до точки поля, в которой определяется напряженность и потенциал.

3.4 Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей (металлической) заряженной сферой радиусом  $R$  на расстоянии  $r$  от центра сферы:

а) внутри сферы ( $r < R$ )

$$E = 0, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon R};$$

б) вне сферы ( $r \geq R$ )

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r},$$

где  $q$  - заряд сферы.

3.5 Напряженность поля, создаваемого бесконечно длинной равномерно заряженной нитью или бесконечно длинным цилиндром (вне цилиндра),

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|\tau|}{\epsilon r},$$

где  $\tau$  - линейная плотность заряда;  $r$  - расстояние от нити или от оси цилиндра до точки, в которой вычисляется напряженность электростатического поля (внутри цилиндра  $E = 0$ ).

3.6 Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью,

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon\epsilon_0},$$

где  $\sigma$  - поверхностная плотность заряда.

3.7 Связь потенциала и напряженности электростатического поля:

а) в общем случае

$$\vec{E} = -grad\varphi,$$

б) в случае радиальной или сферической симметрии электростатического поля

$$|\vec{E}(r)| = -\frac{d\varphi}{dr},$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E(r) dr,$$

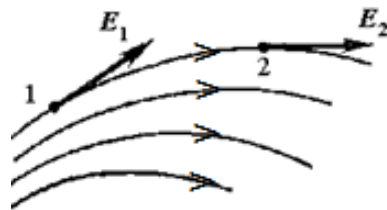
в) в случае однородного поля

$$E = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{d},$$

где  $d$  - расстояние между точками с потенциалами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

3.8 Графическое изображение электростатических полей.

Электростатические поля принято изображать при помощи силовых линий вектора напряженности.



Свойства силовых линий:

- вектор напряженности  $\vec{E}$  направлен по касательной к силовой линии;
- стрелка на силовой линии указывает направление действия поля на положительный заряд;
- силовые линии начинаются и заканчиваются на электростатических зарядах (или в бесконечности);
- густота силовых линий прямо пропорциональна модулю вектора напряженности  $\vec{E}$ .

3.9 Поток вектора напряженности электростатического поля  $\vec{E}$  через любую замкнутую поверхность  $S$  (теорема Остроградского – Гаусса)

$$\oint_S E_n ds = \frac{q}{\epsilon_0},$$

где  $q$  - суммарный электрический заряд, заключенный внутри замкнутой поверхности  $S$ .

### 3.10 Электроемкость

$$C = \frac{q}{\phi}, \quad C = \frac{q}{U},$$

где  $\phi$  - потенциал уединенного проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю);  $U = (\phi_1 - \phi_2)$  - разность потенциалов между обкладками конденсатора.

### 3.11 Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d},$$

где  $S$  - площадь одной пластины конденсатора;  $d$  - расстояние между пластинами;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами.

### 3.12 Электроемкость сферического конденсатора

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{(R_2 - R_1)},$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - радиусы двух концентрических сфер;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между сферами.

### 3.13 Электроемкость цилиндрического конденсатора

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)},$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - радиусы двух коаксиальных цилиндров;  $l$  - высота цилиндров;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между цилиндрами.

#### 4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

4.1 Рассчитать напряженность и потенциал электростатического поля равномерно заряженной сферической поверхности для точек внутри сферы, на ее поверхности и вне сферы на заданных расстояниях  $r$  от ее центра.

Построить графики зависимостей напряженности и потенциала от расстояния  $r$  от центра сферы для обеих сред.

С помощью силовых линий вектора напряженности графически изобразить электростатическое поле равномерно заряженной сферы и доказать, что аналитическое представление электростатического поля совпадает с графическим.

Варианты заданий представлены в форме 4.1.1.

Форма 4.1.1

Номер варианта	Заряд сферы $q$ , Кл	Радиус сферы $R$ , см	Расстояние от центра сферы $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость первой среды $\epsilon_1$ , в которую помещена сфера	Диэлектрическая проницаемость второй среды $\epsilon_2$ , в которую помещена сфера
1	$2 \cdot 10^{-9}$	4	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	2, 24

Продолжение формы 4.1.1

Номер варианта	Заряд сферы $q$ , Кл	Радиус сферы $R$ , см	Расстояние от центра сферы $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость первой среды $\epsilon_1$ , в которую помещена сфера	Диэлектрическая проницаемость второй среды $\epsilon_2$ , в которую помещена сфера
2	$2 \cdot 10^{-9}$	5	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	1	2,24
3	$2 \cdot 10^{-9}$	6	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1	2,24
4	$2 \cdot 10^{-9}$	7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	2,24
5	$2 \cdot 10^{-9}$	8	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1	2,24
6	$2 \cdot 10^{-9}$	9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1	2,24
7	$3 \cdot 10^{-9}$	4	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	7,00
8	$3 \cdot 10^{-9}$	5	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	1	7,00
9	$3 \cdot 10^{-9}$	6	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1	7,00

Продолжение формы 4.1.1

Номер варианта	Заряд сферы $q$ , Кл	Радиус сферы $R$ , см	Расстояние от центра сферы $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость первой среды $\epsilon_1$ , в которую помещена сфера	Диэлектрическая проницаемость второй среды $\epsilon_2$ , в которую помещена сфера
10	$3 \cdot 10^{-9}$	7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	7,00
11	$3 \cdot 10^{-9}$	8	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1	7,00
12	$3 \cdot 10^{-9}$	9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1	7,00
13	$5 \cdot 10^{-9}$	4	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	5,00
14	$5 \cdot 10^{-9}$	5	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	1	5,00
15	$5 \cdot 10^{-9}$	6	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1	5,00
16	$5 \cdot 10^{-9}$	7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	5,00
17	$5 \cdot 10^{-9}$	8	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1	5,00

Продолжение формы 4.1.1

Номер варианта	Заряд сферы $q$ , Кл	Радиус сферы $R$ , см	Расстояние от центра сферы $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость первой среды $\epsilon_1$ , в которую помещена сфера	Диэлектрическая проницаемость второй среды $\epsilon_2$ , в которую помещена сфера
18	$5 \cdot 10^{-9}$	9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1	5,00
19	$9 \cdot 10^{-9}$	4	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	3,00
20	$9 \cdot 10^{-9}$	5	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	1	3,00
21	$9 \cdot 10^{-9}$	6	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1	3,00
22	$9 \cdot 10^{-9}$	7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	3,00
23	$9 \cdot 10^{-9}$	8	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1	3,00
24	$9 \cdot 10^{-9}$	9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1	3,00
25	$7 \cdot 10^{-9}$	4	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	2,50

Продолжение формы 4.1.1

Номер варианта	Заряд сферы $q$ , Кл	Радиус сферы $R$ , см	Расстояние от центра сферы $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость первой среды $\epsilon_1$ , в которую помещена сфера	Диэлектрическая проницаемость второй среды $\epsilon_2$ , в которую помещена сфера
26	$7 \cdot 10^{-9}$	5	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	1	2,50
27	$7 \cdot 10^{-9}$	6	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1	2,50
28	$7 \cdot 10^{-9}$	7	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	2,50
29	$7 \cdot 10^{-9}$	8	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1	2,50
30	$7 \cdot 10^{-9}$	9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1	2,50

4.2 Шар радиусом  $R$  равномерно заряжен с объемной плотностью  $\rho$ .

Используя теорему Остроградского - Гаусса, вывести формулу зависимости напряженности электрического поля  $E$  от расстояния  $r$  от центра шара для случая, когда  $r < R$ .

Построить график зависимости  $E = E(r)$  для случая, когда  $r < R$ .

Определить разность потенциалов между двумя точками, лежащими внутри шара на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$  от его центра.

Варианты заданий представлены в форме 4.2.1.

Форма 4.2.1

Номер варианта	Радиус шара $R$ , см	Объемная плотность электрического заряда шара $\rho$ , нКл/м <sup>3</sup>	Расстояние от центра шара $r_1$ , см	Расстояние от центра шара $r_2$ , см
1	10	20	2	5
2	10	20	3	6
3	10	20	4	7
4	10	20	5	8
5	10	20	6	9
6	10	20	2	8
7	12	20	3	7
8	12	20	4	8
9	12	20	5	9
10	12	20	6	10
11	12	20	7	11
12	12	20	2	7
13	15	30	5	9
14	15	30	7	10
15	15	30	8	12

## Продолжение формы 4.2.1

Номер варианта	Радиус шара $R$ , см	Объемная плотность электрического заряда шара $\rho$ , нКл/м <sup>3</sup>	Расстояние от центра шара $r_1$ , см	Расстояние от центра шара $r_2$ , см
16	15	30	7	13
17	15	30	6	13
18	15	30	5	14
19	20	30	2	10
20	20	30	4	8
21	20	30	6	12
22	20	30	8	10
23	20	30	10	15
24	20	30	12	19
25	22	25	4	10
26	22	25	6	12
27	22	25	7	15
28	22	25	9	18
29	22	25	10	15
30	22	25	12	20

4.3 Две коаксиальные цилиндрические поверхности (цилиндрический конденсатор) заряжены разноименно с одинаковой линейной плотностью  $\tau$ .

Рассчитать напряженность электрического поля  $E$  на расстояниях  $r$  от оси цилиндров.

Построить графики зависимости напряженности электрического поля  $E$  от расстояния  $r$  от оси цилиндров, если пространство между цилиндрами заполнено: а) воздухом, б) диэлектриком.

Варианты заданий представлены в форме 4.3.1.

Форма 4.3.1

Номер варианта	Линейная плотность заряда $\tau$ , Кл/м	Радиус внутреннего цилиндра $R_1$ , см	Радиус внешнего цилиндра $R_2$ , см	Расстояние от оси цилиндров $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость среды между цилиндрами $\epsilon$
1	$8 \cdot 10^{-9}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	2,2
2	$8 \cdot 10^{-9}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	2,2
3	$2 \cdot 10^{-8}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	2,2
4	$2 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	2,2
5	$4 \cdot 10^{-8}$	1,2	3,0	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
6	$4 \cdot 10^{-8}$	1,5	3,5	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
7	$6 \cdot 10^{-8}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	2,2

Продолжение формы 4.3.1

Номер варианта	Линейная плотность заряда $\tau$ , Кл/м	Радиус внутреннего цилиндра $R_1$ , см	Радиус внешнего цилиндра $R_2$ , см	Расстояние от оси цилиндров $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость среды между цилиндрами $\epsilon$
8	$6 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	2,2
9	$8 \cdot 10^{-8}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	5,0
10	$8 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	5,0
11	$8 \cdot 10^{-8}$	1,2	3,0	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
12	$8 \cdot 10^{-8}$	1,5	3,5	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
13	$3 \cdot 10^{-8}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	5,0
14	$3 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	5,0
15	$3 \cdot 10^{-8}$	1,2	3,0	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,0
16	$3 \cdot 10^{-8}$	1,5	3,5	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,0

Продолжение формы 4.3.1

Номер варианта	Линейная плотность заряда $\tau$ , Кл/м	Радиус внутреннего цилиндра $R_1$ , см	Радиус внешнего цилиндра $R_2$ , см	Расстояние от оси цилиндров $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость среды между цилиндрами $\epsilon$
17	$5 \cdot 10^{-8}$	0,5	1,6	0,6; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,4; 1,5	5,0
18	$5 \cdot 10^{-8}$	0,6	1,8	0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,4; 1,5; 1,7	5,0
19	$5 \cdot 10^{-8}$	1,0	3,5	1,1; 1,3; 1,4; 1,5; 1,7; 2,0; 2,5	7,0
20	$5 \cdot 10^{-8}$	1,3	3,0	1,5; 1,7; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8	7,0
21	$7 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	5,0
22	$7 \cdot 10^{-8}$	1,2	3,0	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
23	$7 \cdot 10^{-8}$	1,5	3,5	1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6	2,3
24	$7 \cdot 10^{-8}$	0,8	2,6	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2	5,0
25	$9 \cdot 10^{-8}$	0,5	1,6	0,6; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,4; 1,5	2,5

Продолжение формы 4.3.1

Номер варианта	Линейная плотность заряда $\tau$ , Кл/м	Радиус внутреннего цилиндра $R_1$ , см	Радиус внешнего цилиндра $R_2$ , см	Расстояние от оси цилиндров $r$ , см	Диэлектрическая проницаемость среды между цилиндрами $\epsilon$
26	$9 \cdot 10^{-8}$	0,6	1,8	0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,4; 1,5; 1,7	2,5
27	$9 \cdot 10^{-8}$	1,0	3,5	1,1; 1,3; 1,4; 1,5; 1,7; 2,0; 2,5	3,0
28	$9 \cdot 10^{-8}$	1,3	3,0	1,5; 1,7; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8	3,0
29	$1 \cdot 10^{-8}$	1,3	3,0	1,5; 1,7; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8	2,0
30	$1 \cdot 10^{-8}$	1,0	2,8	1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4	2,5

4.4 Электростатическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями (пластинами), равномерно заряженными с поверхностными плотностями заряда  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Расстояние между плоскостями равно  $d$ .

Найти разность потенциалов между пластинами.

Определить напряженность электростатического поля между пластинами и вне пластин. Построить график изменения напряженности электростатического поля вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

Варианты заданий представлены в форме 4.4.1.

Форма 4.4.1

Номер варианта	Расстояние между пластинами $d$ , см	Поверхностная плотность электрического заряда на 1-й пластине $\sigma_1$ , мкКл/м <sup>2</sup>	Поверхностная плотность электрического заряда на 2-й пластине $\sigma_2$ , мкКл/м <sup>2</sup>
1	4	0,3	0,7
2	6	0,3	0,7
3	8	0,3	0,7
4	10	0,3	0,7
5	1	0,5	0,9
6	3	0,5	0,9
7	5	0,5	0,9
8	7	0,5	0,9
9	9	0,5	0,9
10	2	0,3	- 0,7
11	4	0,3	- 0,7
12	6	0,3	- 0,7
13	8	0,3	- 0,7
14	10	0,3	- 0,7
15	1	- 0,3	0,5

Продолжение формы 4.4.1

Номер варианта	Расстояние между пластинами $d$ , см	Поверхностная плотность электрического заряда на 1-й пластине $\sigma_1$ , мкКл/м <sup>2</sup>	Поверхностная плотность электрического заряда на 2-й пластине $\sigma_2$ , мкКл/м <sup>2</sup>
16	3	- 0,3	0,5
17	5	- 0,3	0,5
18	7	- 0,3	0,5
19	9	- 0,3	0,5
20	2	0,1	0,9
21	4	0,1	0,9
22	6	0,1	0,9
23	8	0,1	0,9
24	10	0,1	0,9
25	1	- 10,0	0,4
26	3	- 10,0	0,4
27	5	- 10,0	0,4
28	7	- 10,0	0,4
29	9	- 10,0	0,4
30	10	0,5	- 0,5

## 5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

**Формулировка задания.** Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами, радиусы которых равны  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. Заряды сфер равны  $q_1$  и  $q_2$  соответственно. Определить напряженность электростатического поля в точках, отстоящих от центра сфер на расстояния  $r_1, r_2, r_3$ . Построить график зависимости напряженности поля от расстояния до центра сфер  $E = E(r)$ .

**Решение задания.** В соответствии с заданным номером варианта выбираем параметры задания:

$$R_1 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$R_2 = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$q_1 = 2 \text{ нКл} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл};$$

$$q_2 = -1 \text{ нКл} = -1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл};$$

$$r_1 = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$r_2 = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$r_3 = 10 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ м}.$$

Теорема Остроградского-Гаусса для электростатических полей утверждает, что поток вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  через произвольную замкнутую поверхность равен отношению суммарного электрического заряда  $q$ , заключенного внутри данной поверхности, к диэлектрической постоянной  $\epsilon_0$ .

$$\oint_S E_n ds = \frac{q}{\epsilon_0},$$

На расстоянии  $r$  от центра сферы менее  $R_1$  (область I) никаких электрических зарядов нет. Следовательно, напряженность электростатического поля в этой области равна нулю

$$E_I = 0 \text{ при } r < R_1 = 5 \text{ см.} \quad (1)$$

На расстоянии  $r = R_1$  происходит скачок величины напряженности электростатического поля  $E$  от нуля до некоторого значения. В пространстве между двумя концентрическими заряженными сферами (область II) напряженность поля убывает в соответствии с соотношением

$$E_{II} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ при } R_1 \leq r < R_2. \quad (2)$$

На расстоянии, равном  $r = R_2$ , вновь происходит скачок величины напряженности электростатического поля  $E$ , обусловленный зарядом второй сферы  $q_2$ . При расстояниях  $r \geq R_2$  (область III) напряженность поля убывает в соответствии с соотношением

$$E_{III} = \frac{q_1 + q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3)$$

Определим напряженность электростатического поля в заданных точках, соответствующих расстояниям  $r_1, r_2, r_3$ .

Первая точка находится в области I, и величина напряженности в соответствии с выражением (1)  $E_{r_1} = 0$ .

Вторая точка находится в области II, и величина напряженности  $E_{r_2}$  определяется по формуле (2).

Подставив значения, определим

$$E_{r_2} = \frac{2 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 36 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^3 \text{ В/м.}$$

Третья точка находится в области III, и величина напряженности  $E_{r_3}$  определяется по формуле (3).

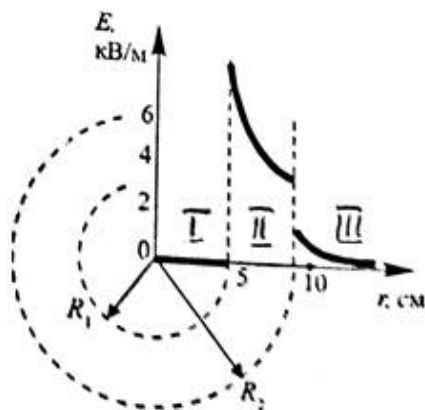
Подставив значения, определим

$$E_{r_3} = \frac{2 \cdot 10^{-9} + (-1 \cdot 10^{-9})}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ В/м}.$$

Проверка размерности используемых формул

$$[E] = \frac{[\text{Кл}]}{[\text{Ф/м}][\text{м}^2]} = \frac{[\text{Кл}]}{[\text{Ф}][\text{м}]} = \frac{[\text{Кл}]}{[\text{Кл/В}][\text{м}]} = [\text{В/м}].$$

В соответствии с полученными соотношениями (1), (2), (3) построим график зависимости напряженности электростатического поля от расстояния до центра сфер  $E = E(r)$ .



В результате выполнения расчетно-графической работы:

1. получены соотношения - (1), (2), (3) -, определяющие зависимость напряженности электростатического поля  $E$  от расстояния до центра сферических поверхностей;

2. рассчитаны значения напряженности электростатического поля в трех заданных точках, соответствующих расстоянию до центра сферических поверхностей  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ;

3. проведена проверка размерности полученных формул;  
 4. построен график зависимости напряженности электростатического поля, созданного двумя сферическими заряженными поверхностями от расстояния до их центра  $E = E(r)$ .

## 6. ПРИЛОЖЕНИЕ

### Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	$10^{18}$	деци	д	$10^{-1}$
пэта	П	$10^{15}$	санتي	с	$10^{-2}$
тера	Т	$10^{12}$	милли	м	$10^{-3}$
гига	Г	$10^9$	микро	мк	$10^{-6}$
мега	М	$10^6$	нано	н	$10^{-9}$
кило	к	$10^3$	пико	п	$10^{-12}$
гекто	г	$10^2$	фемто	ф	$10^{-15}$
дека	да	$10^1$	атто	а	$10^{-18}$

### Греческий алфавит

Обозначения букв	Названия букв	Обозначения букв	Названия букв
A, α	альфа	N, ν	ню
B, β	бета	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	гамма	Ο, ο	омикрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пи
E, ε	эпсилон	Ρ, ρ	ро
Z, ζ	дзета	Σ, σ	сигма
H, η	эта	Τ, τ	тау
Θ, θ	тэта	Υ, υ	ипсилон
I, ι	йота	Φ, φ	фи
K, κ	каппа	Χ, χ	хи
Λ, λ	лямбда	Ψ, ψ	пси
M, μ	мю	Ω, ω	омега

## 7. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. - СПб., М.: Лань, 2009.
2. *Детлаф А.А.* Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. - М.: Высшая школа, 2009.
3. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. - СПб., М.: Лань, 2009.
4. *Иродов И.Е.* Сборник задач.- СПб., М.: Лань, 2010.
5. *Рогачев Н.М.* Решение задач по курсу общей физики. - СПб., М.: Лань, 2008.
6. *Савельев И.В.* Курс физики: в 3 т. - СПб., М.: Лань, 2008. –Т. 2.
7. *Савельев И.В.* Сборник вопросов и задач по общей физике. - СПб., М.: Лань, 2007.
8. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики: в 5 т. - М.: Наука, 2009.
9. *Смирнова Н.Н.* Молекулярная физика и термодинамика: Методические указания и контрольные задания для самостоятельной работы / Н.Н. Смирнова, А.С. Мустафаев, В.В. Фицак. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2011.- 36 с.
10. *Трофимова Т.И.* Курс физики. - М.: Высшая школа, 2009.
11. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики с решениями. - М.: Высшая школа, 2009.
12. *Фриш С.Э.* Курс общей физики / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. - СПб., М.: Лань, 2008.
13. *Чертов А. Г.* Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. - М.: Физматлит, 2009.
14. *Яворский Б.М.* Основы физики: в 2 т. / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. - М.: Наука, 2009. – Т. 2

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЁТА И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	4
2. РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА ПО РАСЧЁТНО- ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ .....	5
3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ .....	6
4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ .....	10
5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	23
6. ПРИЛОЖЕНИЕ .....	26
7. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.	27