

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе
и довузовской подготовке
_____ А. А. Воронов
30 июня 2020 года

ПРОГРАММА

по дисциплине: **Общая физика: электричество и магнетизм**
по направлению подготовки: **03.03.01 «Прикладные математика и физика»**
физтех-школа: **для всех физтех-школ**
кафедра: **общей физики**
курс: 2
семестр: 3

Трудоёмкость:

теор. курс: базовая часть – 5 зачет. ед.;
физ. практикум: базовая часть – 3 зачет. ед.;
лекции – 60 часов
практические (семинарские)
занятия – 30 часов
лабораторные занятия – 60 часов

Экзамен – 3 семестр

Диф. зачёт – 3 семестр

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 150

Самостоятельная работа:
теор. курс – 105 часов
физ. практикум – 75 часов

Программу и задание составили:

д.ф.-м.н., проф. Ю.Р. Аланакян
д.ф.-м.н., проф. Г.Р. Локшин
к.ф.-м.н., доц. Л.М. Колдунов
к.ф.-м.н., доц. К.М. Крымский
к.т.н., доц. В.А. Овчинкин
к.ф.-м.н., доц. В.А. Петухов
к.ф.-м.н., доц. П.В. Попов
к.ф.-м.н., доц. Ю.Н. Филатов

Программа принята на заседании кафедры общей физики 15 мая 2020 года

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н., профессор

А. В. Максимычев

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

1. Электрические заряды и электрическое поле. Закон сохранения заряда. Напряжённость электрического поля. Закон Кулона. Система единиц СГСЭ. Принцип суперпозиции. Электрическое поле диполя. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме в интегральной и дифференциальной формах. Её применение для нахождения электростатических полей.
2. Потенциальный характер электростатического поля. Теорема о циркуляции электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь напряжённости поля с градиентом потенциала. Граничные условия для вектора E . Уравнения Пуассона и Лапласа. Проводники в электрическом поле. Граничные условия на поверхности проводника. Единственность решения электростатической задачи. Метод изображений.
3. Электрическое поле в веществе. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Вектор поляризации и вектор электрической индукции. Поляризуемость частиц среды. Диэлектрическая проницаемость среды. Теорема Гаусса в диэлектриках. Граничные условия на границе двух диэлектриков.
4. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Взаимная энергия зарядов. Энергия диполя во внешнем поле. Энергия в системе заряженных проводников. Силы в электрическом поле. Энергетический метод вычисления сил (метод виртуальных перемещений).
5. Постоянный ток. Сила тока. Объёмная и поверхностная плотности тока. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Уравнение непрерывности для плотности заряда. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа для электрических цепей. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца. Токи в неограниченных средах.
6. Магнитное поле постоянного тока в вакууме. Вектор магнитной индукции. Сила Лоренца. Сила Ампера. Закон Био–Савара. Теорема Гаусса для магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме в интегральной форме. Магнитное поле прямого провода, тороидальной катушки и соленоида.
7. Магнитный момент тока. Точечный магнитный диполь. Сила и момент сил, действующие на виток с током в магнитном поле. Эквивалентность витка с током и магнитного листка. Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме в дифференциальной форме.
8. Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагниченности. Токи проводимости и молекулярные токи. Теорема о циркуляции магнитного поля в веществе. Граничные условия на границе двух магнетиков.
9. Электромагнитная индукция. Поток магнитного поля. ЭДС индукции в движущихся проводниках. Вихревое электрическое поле. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции в интегральной и дифференциальной формах.

10. Коэффициенты само- и взаимной индукции. Установление тока в цепи, содержащей индуктивность. Теорема взаимности. Магнитная энергия токов. Локализация магнитной энергии в пространстве, объёмная плотность магнитной энергии. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле. Магнитные цепи. Подъёмная сила электромагнита.
11. Магнитные свойства вещества. Качественные представления о механизме намагничивания пара- и диамагнетиков. Понятие о ферромагнетиках. Ферромагнитный гистерезис. Магнитные свойства сверхпроводников I рода.
12. Относительный характер электрического и магнитного полей. Сила Лоренца. Преобразование \vec{E} и \vec{B} при смене системы отсчёта (при $v \ll c$). Поле равномерно движущегося точечного заряда. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Дрейф в скрещенных однородных полях. Эффект Холла, влияние магнитного поля на проводящие свойства сред.
13. Квазистационарные процессы в электрических цепях. Колебания в линейных системах. Колебательный контур. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность. Энергетический смысл добротности.
14. Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Амплитудная и фазовая характеристики. Резонанс. Процесс установления стационарных колебаний.
15. Установившиеся колебания в цепи переменного тока. Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы. Комплексное сопротивление (импеданс). Правила Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока.
16. Понятие о спектральном разложении. Спектр одиночного прямоугольного импульса и периодической последовательности импульсов. Соотношение неопределённостей. Вынужденные колебания под действием произвольной силы.
17. Спектральный анализ линейных систем. Частотная характеристика и импульсный отклик системы. Колебательный контур как спектральный прибор. Интегрирующая и дифференцирующая цепочки как высокочастотный и низкочастотный фильтры. Модуляция и детектирование сигналов. Амплитудная и фазовая модуляции. Квадратичное детектирование сигналов.
18. Электрические флуктуации. Тепловой шум, формула Найквиста. Дробовой шум, формула Шоттки. Флуктуационный предел измерения слабых сигналов.
19. Параметрическое возбуждение колебаний. Параметрический резонанс. Автоколебания в электрических цепях. Положительная обратная связь. Условие самовозбуждения. Роль нелинейности.
20. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Граничные условия. Ток смещения. Материальные уравнения.
21. Энергия переменного электромагнитного поля. Поток электромагнитной энергии, теорема Пойнтинга.

22. Волновое уравнение. Электромагнитные волны в однородном диэлектрике, их поперечность и скорость распространения. Электромагнитная природа света. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца. Плоская электромагнитная волна. Приближение сферической волны.
23. Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля. Явление Брюстера. Поток энергии в электромагнитной волне. Давление излучения. Электромагнитный импульс. Понятие о механизме излучения электромагнитных волн.
24. Понятие о линиях передачи энергии. Двухпроводная линия. Коэффициент стоячей волны. Согласованная нагрузка.
25. Электромагнитные волны в прямоугольном волноводе. Дисперсионное уравнение. Критическая частота. Объёмные резонаторы.
26. Элементы физики плазмы. Дебаевский радиус экранирования. Плазменные колебания, плазменная частота. Диэлектрическая проницаемость холодной плазмы. Проникновение электромагнитных волн в плазму.
27. Квазистационарное проникновение поля в проводящую среду, скин-эффект. Сжатие плазменного шнура под действием протекающего в нем тока, пинч-эффект.

Литература

Основная литература

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 3. — М.: Физматлит, 2004.
2. *Кингсеп А.С., Локишин Г.Р., Ольхов О.А.* Основы физики. Курс общей физики Т. 1. / под ред. А.С. Кингсеп — М.: Физматлит, 2007.
3. *Кириченко Н.А.* Электричество и магнетизм. — М.: МФТИ, 2011.

Дополнительная литература

4. *Калашников С.Г.* Электричество. — М.: Наука, 1997.
5. *Калашников Н.П., Смондырев М.А.* Основы физики. Т.1. — М.: Лаборатория знаний, 2017
6. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. — М.: Физматлит, 2003.
7. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1983.
8. *Фейнман Р.П.* Фейнмановские лекции по физике. Выпуски 5, 6, 7. — М.: Мир, 1977.
9. *Горелик Г.С.* Колебания и волны. — М.: Физматлит, 2006.
10. *Козел С.М., Локишин Г.Р.* Модулированные колебания, спектральный анализ, линейная фильтрация. — М.: МФТИ, 2009.

Электронные ресурсы: http://physics.mipt.ru/S_III/

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
для студентов 2-го курса на осенний семестр
2020/21 учебного года

Дата	№ нед.	Тема семинарских занятий	Задачи	
			I	II
1–7 сен.	1	Электрическое поле в вакууме. Поле диполя. Теорема Гаусса.	1.9 1.15 1.19 1.22	1.10 1.16 1.17 1.23
8–14 сен.	2	Потенциал. Проводники в электрическом поле. Метод изображений.	1.25 2.5 2.20 2.22	1.24 2.4 2.15 2.26 2.34
15–21 сен.	3	Электрическое поле в веществе.	3.7 T1 3.30 3.39	3.13 3.19 3.24 3.35
22–28 сен.	4	Энергия и силы в электрическом поле. Токи в неограниченных средах.	1.5 3.61 3.70 4.33	T2 3.43 3.67 4.23
29 сен – 5 окт	5	Магнитное поле постоянного тока. Теорема о циркуляции. Магнитный момент. Магнитный поток.	5.5 5.18 5.21 5.26	5.6 5.14 5.16 5.23
6–12 окт.	6	Магнитное поле в веществе.	6.5 6.7 6.9 6.18	6.3+6.4 6.12 6.15 6.17
13–19 окт.	7	Электромагнитная индукция. Теорема взаимности. Магнитная энергия. Силы в магнитном поле.	5.30 5.29 7.58 7.64	5.31 5.28 8.47 7.27 7.31
20–26 окт.	8	Сверхпроводники в магнитном поле. Движение заряженных частиц. Эффект Холла.	6.23 6.37 8.34 8.64	6.26 7.20 7.83 8.30 8.69
27 окт. – 2 ноя.	9	Контрольная работа (по группам)		
3–9 нояб.	10	Сдача 1-го задания		

10–16 нояб.	11	Переходные процессы и свободные колебания в электрических цепях. Вынужденные гармонические колебания.	9.8 9.48 10.6 10.20 10.39	9.27 9.36 9.54 10.22 10.41 10.59
17–23 нояб.	12	Модуляция, спектральный анализ. Параметрические колебания. Автоколебания.	11.10 11.15 11.35 11.37	11.13 11.33 11.24 11.36 11.55
24–30 нояб.	13	Уравнения Максвелла. Вектор Пойнтинга. Электромагнитные волны, формулы Френеля.	8.51 12.3 12.5/8 2.2(о)	12.22 12.27 12.81 Т3
1–7 дек.	14	Линии передачи энергии. Волноводы. Резонаторы.	12.43 12.46 12.52 12.68	12.42 12.48 12.76
8–14 дек.	15	Элементы физики плазмы. Скин-эффект.	12.55 12.96 12.58 Т4	12.53 12.56 12.61
15–21 дек.	Сдача 2-го задания			

Примечания

Номера задач указаны по «Сборнику задач по общему курсу физики. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Оптика / под ред. В.А. Овчинкина (4-е изд., испр. и доп.). — М.: Физматкнига, 2017». Задача 2.2(о) – из раздела «Оптика».

В каждой теме семинара задачи разбиты на 3 группы:

- 0** — задачи, которые студент должен решать в течение недели для подготовки к семинару;
- I** — задачи, рекомендованные для разбора на семинаре (преподаватель может разбирать на семинарах и другие равноценные задачи по своему выбору);
- II** — задачи для самостоятельного решения; их решения должны быть оформлены студентами в отдельных тетрадях и сданы преподавателю на проверку.

Решение всех задач обязательно для сдачи задания.

ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СЕМИНАРАМ (задачи группы 0)

Семинар 1

1. Вычислить отношение сил электростатического отталкивания и гравитационного притяжения двух протонов.

Ответ: $1,24 \cdot 10^{36}$.

2. Используя формулу для напряжённости поля точечного диполя с дипольным моментом \vec{p} , найдите напряжённость поля на оси диполя ($\alpha = 0$) и в перпендикулярном направлении ($\alpha = \pi/2$).

Ответ: $\vec{E}_1 = \frac{2\vec{p}}{r^3}$, $\vec{E}_1 = -\frac{\vec{p}}{r^3}$.

3. Найдите напряжённость поля равномерно заряженной тонкой пластины и равномерно заряженной сферы. Постройте графики $E(r)$.

4. Задача 1.20.

Семинар 2

1. Незаряженный проводящий шар вносится в электрическое поле с известным распределением потенциала $\varphi(\vec{r})$. Каким будет потенциал шара?

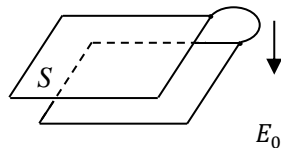
Ответ: $\varphi(\vec{r}_0)$, где \vec{r}_0 — радиус-вектор центра шара.

2. В опытах Резерфорда золотая фольга бомбардировалась α -частицами ${}^4_2\text{He}$ с кинетической энергией $W = 5$ МэВ. На какое минимальное расстояние может приблизиться α -частица к ядру золота ${}^{79}_{197}\text{Au}$? (заряд электрона $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ ед. СГС; $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12}$ эрг).

Ответ: $r_{\min} = 2 \cdot 79 \cdot \frac{e^2}{W} \left(1 + \frac{4}{197}\right) = 4,6 \cdot 10^{-12}$ см.

3. Напряжённость электрического поля Земли $E_0 = 130$ В/м, причём вектор $\vec{E}_0 \uparrow \vec{g}$. Какой заряд приобретёт горизонтально расположенный короткозамкнутый плоский конденсатор с площадью пластин $S = 1 \text{ м}^2$?

Ответ: $Q = 3,4$ ед. СГСЭ.



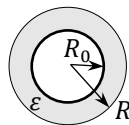
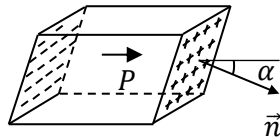
Семинар 3

1. Найдите плотность поляризационных зарядов на торцах однородно поляризованного параллелепипеда.

Ответ: $\sigma_{\text{пол}} = P \cos \alpha$.

2. Задача 3.1.

3. Проводящий шар радиуса R_0 несёт заряд q и окружён шаровым слоем диэлектрика с проницаемостью ϵ , вплотную прилегающим к поверхности шара. Внешний радиус равен R . Определить потенциал проводящего шара.



Ответ: $\varphi = \frac{q}{R} \left(1 + \frac{R-R_0}{\varepsilon R_0} \right)$.

Семинар 4

1. Поверхностная плотность заряда на пластинах плоского конденсатора, заполненного твёрдым диэлектриком с проницаемостью ε , равна $\pm\sigma$. Определите объёмную плотность электрической энергии w в конденсаторе, а также силу f , действующую на единицу площади обкладок.

Ответ: $w = \frac{2\pi\sigma^2}{\varepsilon}$, $f = 2\pi\sigma^2$.

2. Задача 3.50.

3. Конденсатор ёмкостью $C = 20$ см заполнен однородной слабопроводящей средой, имеющей малую проводимость $\lambda = 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 2$. Определить электрическое сопротивление между обкладками.

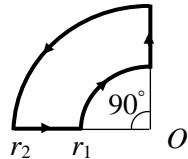
Ответ: $R \approx 8 \text{ кОм}$.

Семинар 5

1. Определите индукцию магнитного поля в центре крайнего витка длинного соленоида с плотностью намотки n витков/см. По виткам соленоида протекает постоянный ток I .

Ответ: $B = \frac{2\pi nI}{c}$.

2. Проводящий контур, по которому течёт постоянный ток I , состоит из отрезков дуг и радиусов (см. рис.). Определите индукцию магнитного поля в точке O .



Ответ: $B = \frac{\pi I}{2c} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$.

3. Плоский конденсатор с обкладками в виде круглых дисков радиуса R заполнен немагнитной слабо проводящей средой. Через конденсатор протекает постоянный ток I . Найдите индукцию магнитного поля на расстоянии $r \leq R$ от оси конденсатора.

Ответ: $B = \frac{2I}{c} \cdot \frac{r}{R^2}$.

Семинар 6

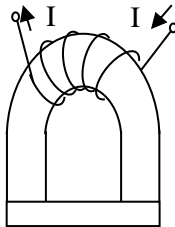
1. Длинный соленоид с плотностью намотки n витков/см заполнен диамагнитной средой с магнитной восприимчивостью $\chi < 0$. По виткам соленоида протекает ток I . Определите индукцию магнитного поля $B_{\text{мол}}$, создаваемую молекулярными токами. Как направлен $\vec{B}_{\text{мол}}$ относительно вектора магнитной индукции $\vec{B}_{\text{пров}}$, создаваемой токами проводимости?

Ответ: $B_{\text{мол}} = \frac{16\pi^2}{c} n\chi I$, $\vec{B}_{\text{мол}} \uparrow \downarrow \vec{B}_{\text{пров}}$.

2. Постоянный магнит длиной L с однородной намагниченностью I согнут в кольцо так, что между полюсами остался маленький зазор $\ell \ll L$. Определите магнитную индукцию в зазоре.

Ответ: $B = 4\pi I \frac{L}{L+\ell} \approx 4\pi I$.

3. Подкова электромагнита из мягкого железа с магнитной проницаемостью $\mu_1 \gg 1$ и имеет сечение S_1 . Подкова замкнута перемычкой, имеющей сечение S_2 и выполненной из магнитного материала с проницаемостью $\mu_2 \gg 1$. Пренебрегая рассеянием магнитного потока, определите отношения магнитных индукций B_1/B_2 и напряжённостей магнитного поля H_1/H_2 в подкове и перемычке.



Ответ: $\frac{B_1}{B_2} = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{H_1}{H_2} = \frac{\mu_2 S_2}{\mu_1 S_1}$.

Семинар 7

1. Тонкое кольцо радиуса r , имеющее электрическое сопротивление R , помещено в перпендикулярное ему однородное внешнее магнитное поле, убывающее по закону $B(t) = B_0 e^{-t/\tau}$. Пренебрегая самоиндукцией, найти ток в кольце $I(t)$ и тепло Q , которое выделится в кольце за большое время.

Ответ: $I(t) = \frac{\pi r^2}{cR\tau} B(t)$, $Q = \frac{I^2(0)}{2R} \tau$.

2. Задача 7.1.

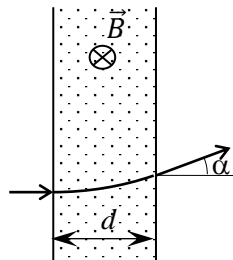
3. Определить давление магнитного поля на стенки длинного соленоида кругового сечения, в котором создано магнитное поле $B = 10$ Тл. Какова при этом должна быть поверхностная плотность тока i ?

Ответ: $P \approx 400$ атм, $i = 80$ кА/см.

Семинар 8

1. Задача 6.34.

2. Протон влетает в область поперечного магнитного поля $B = 5$ Тл со скоростью $v = 2,4 \cdot 10^{10}$ см/с. Толщина области, занятой полем, $d = 50$ см (см. рис.). Найти угол отклонения протона α от первоначального направления движения. Излучением пренебречь.



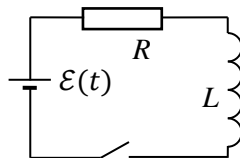
Ответ: $\alpha \approx \arcsin \frac{3}{5} \approx 37^\circ$.

3. Задача 8.9.

Семинар 11

1. Задача 9.4.

2. Найти зависимость тока в цепи $I(t)$ от времени в схеме на рис., если после замыкания ключа в момент $t = 0$ напряжение источника меняется по закону $\mathcal{E}(t) = At$. Рассмотреть случай $t \ll L/R$.



Ответ: $I(t) \approx \frac{At^2}{2L}$.

3. Некоторый двухполюсник, имеющий импеданс $Z = 3 + i\sqrt{3}$ [Ом], подключён к идеальному источнику переменной ЭДС с амплитудой $\mathcal{E}_0 = 2$ В. Найдите среднюю мощность, потребляемую двухполюсником.

Ответ: $P = 0,5$ Вт.

Семинар 12

1. Задача 11.1.

2. Задача 11.3(а, б).

3. Спектр сигнала $f(t)$ равен $F(\omega)$. Найти спектр сигнала $g(t) = f(t) \cdot \sin \omega_0 t$.

Ответ: $\frac{1}{2}(F(\omega + \omega_0) - F(\omega - \omega_0))$.

Семинар 13

1. Напряжение в плоском конденсаторе меняется по гармоническому закону $U = U_0 \sin \omega t$. Пластины имеют форму дисков радиуса R , расстояние между которыми $h \ll R$, между пластин — среда с проницаемостью ε . Пренебрегая краевыми эффектами, найти магнитное поле на расстоянии r от оси конденсатора. Частоту считать малой: $\omega \ll c/R$.

Ответ: $B \approx \frac{\omega r}{2c} \cdot \frac{\varepsilon U_0}{h} \cos \omega t$.

2. Используя выражение для вектора Пойнтинга, в условиях предыдущей задачи найти полный поток dW/dt электромагнитной энергии из конденсатора.

Ответ: $\frac{dW}{dt} = \frac{C U_0^2}{2} \sin 2\omega t$, где $C = \frac{\varepsilon \pi R^2}{h}$.

3. Задача 2.1 из раздела «Оптика».

Семинар 14

1. Плоская электромагнитная волна бежит в однородной среде в направлении оси z и имеет компоненты поля $E_x(z, t)$ и $B_y(z, t)$. Фазовая скорость волны равна v . Показать, что в любой момент времени $E_x = \frac{v}{c} B_y$.

2. При какой длине кабеля его нельзя при расчётах заменить эквивалентным точечным сопротивлением, если частота в цепи $\nu = 50$ Гц?

Ответ: $\ell \gtrsim 6 \cdot 10^3$ км.

3. Найти минимальную частоту электромагнитных колебаний в объёмном прямоугольном резонаторе со сторонами $1 \times 2 \times 3$ см, выполненном из идеального проводника.

Ответ: 9 ГГц.

Семинар 15

1. Температура электронов в плазме тлеющего разряда $T_e \sim 10^4$ К, концентрация $n_e \sim 10^9$ см⁻³. При каком радиусе трубки разряд можно считать квазинейтральным?

Ответ: $r \gg 0,2$ мм.

2. В условиях предыдущей задачи оцените кулоновскую энергию взаимодействия заряженных частиц в плазме (в расчёте на одну частицу). Можно ли считать такую плазму идеальным газом?

Ответ: $w_{\text{кул}} \sim 10^{-4}$ эВ; да, можно.

3. Радиосигнал с частотой $\nu = 4$ МГц посылается вертикально вверх и отражается от ионосферы на некоторой высоте. Определить концентрацию электронов в точке отражения.

Ответ: $n_e = 2 \cdot 10^5$ см⁻³.

4. Плазма имеет проводимость $\sigma \sim 10^{14}$ с⁻¹. Оценить коэффициент диффузии магнитного поля в плазме и глубину проникновения магнитного поля за время $\tau = 1$ мкс.

Ответ: $D_M \approx 70$ м²/с, $\delta \sim 1$ см.

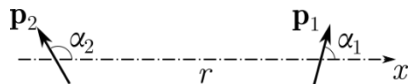
Текстовые задачи

T1. На обкладках плоского конденсатора размещены заряды q и $-q$. Зазор между обкладками заполнен веществом, диэлектрическая проницаемость которого меняется по закону $\varepsilon = \frac{1}{1+x/h}$, где x – расстояние до положительной пластины, h – расстояние между пластинами. Найдите распределение объёмной плотности поляризации заряда $\rho_{\text{пол}}$ в конденсаторе, а также его ёмкость C . Площадь пластин S .

Ответ: $\rho_{\text{пол}} = -\frac{q}{Sh}$, $C = \frac{S}{6\pi h}$.

T2. Молекула воды обладает постоянным электрическим дипольным моментом $p = 1,84$ Д (1 Д = 10^{-18} ед. СГС — «дебай»), внесистемная единица дипольного момента).

Две молекулы воды находятся на расстоянии $r = 35$ Å друг от друга так, что векторы их дипольных моментов \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 лежат в одной плоскости под углами α_1 и α_2 к линии, соединяющей их центры (ось x , см. рис.). Получите выражения для: 1) энергии взаимодействия молекул с произвольными величинами \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 ; 2) проекции F_x силы их взаимодействия; 3) момента сил, действующий на молекулу. Для



случая $\alpha_1 = \pi/2$, $\alpha_2 = \pm\pi/2$, рассчитайте величину и найдите направление вектора \mathbf{F} силы взаимодействия между молекулами и оцените величину ускорения, с которым будут двигаться молекулы при отсутствии других компенсирующих сил.

Ответ: для $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi/2$ $F_x = \frac{3p^2}{r^4} = +6,77 \cdot 10^{-10}$ дин – отталкивание,
 $a = \frac{F_x}{m} = 2,3 \cdot 10^{13} \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = 2,3 \cdot 10^{10} \text{g}$, где g – ускорение свободного падения.

Т3. (2016-6Б) В вакууме распространяются две плоские электромагнитные волны одинаковой частоты и амплитуды: одна вдоль оси x , а другая — вдоль оси y . Вектор \mathbf{E} обеих волн направлен по оси z . Найдите среднее по времени значение вектора плотности потока энергии $\langle \mathbf{S} \rangle$ во всех точках пространства. Укажите плоскости, через которые средний поток энергии максимален.

Т4. Оценить относительное уменьшение амплитуды сигнала из-за скин-эффекта в телевизионном коаксиальном кабеле длиной $L = 10$ м на частоте $f = 1$ ГГц (приблизительно верхняя граница дециметрового диапазона). Считать, что потери обусловлены в основном токами в центральном проводнике диаметром $D = 0,6$ мм, а потери в экране малы ввиду его большой площади. Проводимость меди $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ См/м, волновое сопротивление кабеля $\rho = 75$ Ом.

Ответ: $\Delta U/U \sim 0,4$.