

Лабораторная работа 3-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПЛОСКОМ КОНДЕНСАТОРЕ

Цель работы: определить объемную плотность энергии электростатического поля плоского конденсатора; установить зависимость ее величины от разности потенциалов между обкладками конденсатора; рассчитать относительную диэлектрическую проницаемость жидкого диэлектрика.

Введение

Электрические поля обладают определенным запасом энергии. Энергия поля - функция нескольких независимых переменных, прежде всего она зависит от величины объема, занимаемого полем. Если рассматривать, например, поле электрического конденсатора, то его энергия зависит и от величины разности потенциалов на обкладках. Поэтому для сравнения полей вводится специальная количественная характеристика поля - объемная плотность энергии, определяемая как количество энергии в единицах объема электрического поля. Для однородных полей она одинакова для всех точек объема, занимаемого полем. И общая энергия такого поля определяется умножением объемной плотности энергии на объем поля. Для неоднородных полей умножение заменяется интегрированием по всему объему поля.

Объемная плотность энергии электрического поля определяется экспериментально. Величина объемной плотности энергии зависит от среды, в которой находится электрическое поле. Свойства среды учитываются ее диэлектрической проницаемостью. Таким образом, характеристика поля - объемная плотность энергии, и характеристика среды - диэлектрическая проницаемость, однозначно связаны друг с другом. Поэтому, экспериментально установив одну из них, можно вычислить другую.

1. Энергия электрического поля конденсатора

Источниками электростатических полей служат неподвижные электрические заряды, которые обладают потенциальной энергией. Следовательно, носителями этой энергии являются и порожд-

даемые зарядами поля. Поэтому энергию постоянного электрического поля можно определить, локализуя ее на зарядах или в отдельных точках поля.

Электрически заряженное тело обладает запасом энергии, называемой собственной энергией и зависящей от распределения заряда в телах. Подсчитаем энергию заряженного тела, например, уединенного проводника.

Пусть проводник имеет заряд q и потенциал j . При переносе на проводник дополнительного бесконечно малого заряда dq из бесконечности необходимо совершить работу $dA = j dq$. Поскольку электрическая емкость уединенного проводника определяется величиной заряда и потенциалом проводника, $C = \frac{q}{j}$, то

$$dA = \frac{q}{C} dq.$$

При передаче проводнику заряда q такими малыми порциями необходимо совершить работу

$$A = \int_0^q \frac{q}{C} dq = \frac{q^2}{2C}. \quad (1)$$

Используя закон сохранения энергии $A = W - 0$, можем записать собственную энергию заряженного тела $W = \frac{q^2}{2C}$, или $W = \frac{q \cdot j}{2}$.

Этой энергией обладает и окружающее это заряженное тело электрическое поле.

Энергия взаимодействия двух заряженных тел численно равна работе сближения этих тел из бесконечности до расстояния r между ними [1,2,3]:

$$W = q_1 j_1 = q_2 j_2 = \frac{1}{2} (q_1 j_1 + q_2 j_2), \quad (2)$$

где j_1 - потенциал поля второго заряженного тела в точке расположения первого тела, а j_2 - потенциал поля первого заряженного тела в точке нахождения второго тела. Тогда энергия взаимодействия двух одинаковых параллельных проводящих пластин (плоский конденсатор) с соответствующими зарядами $q_1 = +q$ и $q_2 = -q$ определится выражением

$$W = \frac{1}{2}(q_1 j_1 - q_2 j_2) = \frac{1}{2} q \Delta j, \quad (3)$$

где Δj - разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Найдем выражение энергии плоского конденсатора через характеристики электрического поля и среды, в которой существует это поле. Если обкладки конденсатора заряжены равномерно с поверхностной плотностью заряда S , то напряженность поля конденсатора

$$E = \frac{S}{\epsilon \epsilon_0}, \quad (4)$$

где ϵ_0 - электрическая постоянная; ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды (т.е. диэлектрика, помещенного между пластинами конденсатора).

Как следует из выражения (2), поле плоского конденсатора однородно, т.е. не меняется от точки к точке. Характеристики электрического поля - напряженность и потенциал - в одной и той же точке поля связаны соотношением $\vec{E} = - \text{grad} j$.

Так как поля внутри плоского конденсатора однородные, можно записать

$$E = \frac{\Delta j}{d}, \quad (5)$$

где d - расстояние между пластинами.

Учтем, что заряд на каждой пластине

$$q = S S. \quad (6)$$

Здесь S - ее площадь.

Подставив (2), (3) и (4) в формулу (1), получим

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 \cdot d \cdot S = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2 V, \quad (7)$$

где $V = d \cdot S$ - объем конденсатора, т.е. объем электрического поля, так как поле целиком сосредоточено внутри конденсатора. Тогда объемная плотность энергии поля конденсатора выразится следующим образом:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E^2. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что величина объемной плотности энергии поля зависит от характеристики диэлектрика, находящегося между обкладками конденсатора

2. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков

Диэлектрики – это вещества, не проводящие электрический ток, т.к. в них нет свободных носителей зарядов, которые могли бы упорядоченно двигаться под действием электрического поля и создать ток проводимости.

Все молекулы таких веществ электрически нейтральны. Тем не менее, такие молекулы обладают некоторыми электрическими свойствами в зависимости от распределения в молекуле положительных и отрицательных зарядов. “Центры тяжести” положительных и отрицательных зарядов молекулы могут совпадать и не совпадать пространственно. В первом приближении молекулу можно рассматривать как электрический диполь, с электрическим дипольным моментом, определяемым величиной суммарного положительного заряда всех атомных ядер молекулы q и вектором \vec{l} , проведенным из “центра тяжести” электронов в молекуле к “центру тяжести” положительных зарядов атомных ядер, (плечом диполя)

$$\vec{p}_e = q \vec{l}. \quad (9)$$

Как любой электрический диполь, молекула создает электрическое поле.

По своим свойствам все диэлектрики подразделяются на три группы: неполярные, полярные, ионные.

У неполярных диэлектриков (N_2 , H_2 , O_2 , CO_2 , CH_4) в отсутствие внешнего магнитного поля “центры тяжести” положительных и отрицательных зарядов в молекулах совпадают, $l=0$, и дипольные моменты равны нулю. Во внешнем электрическом поле происходит деформация электронных оболочек атомов и молекул. “Центры тяжести” положительных и отрицательных зарядов смещаются друг относительно друга в противоположные стороны (положительные по полю, отрицательные - против поля), $l \neq 0$. Неполярная молекула диэлектрика во внешнем электрическом поле приобретает индуцированный (наведенный) диполь-

ный электрический момент, пропорциональный напряженности \vec{E} поля:

$$\vec{p}_e = a e_0 \vec{E}, \quad (10)$$

где a - поляризуемость молекулы, зависящая от объема молекулы. неполярную молекулу можно уподобить квазиупругому диполю, длина плеча которого пропорциональна растягивающей силе, т.е. напряженности внешнего электрического поля. Векторы \vec{p}_e всегда совпадают по направлению с вектором \vec{E} . Поляризуемость a не зависит от температуры, что объясняется малой инертностью электронов. Электроны всегда смещаются в молекуле в направлении силы $-e\vec{E}$, действующей со стороны внешнего электрического поля.

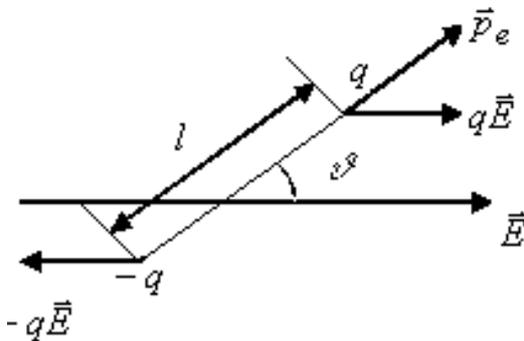


Рис.1

У полярных диэлектриков (H_2O, NH_3, SO_3, CO) электроны молекул (атомов) расположены относительно атомных ядер асимметрично. В результате “центры тяжести” положительных и отрицательных зарядов смещены друг относительно друга даже в отсутствие внешнего

электрического поля. Молекулы полярного диэлектрика по своим электрическим свойствам подобны жестким диполям, имеющим постоянный (по модулю) электрический дипольный момент $p_e = const$. Вследствие теплового движения при отсутствии внешнего электрического поля дипольные моменты полярных молекул ориентированы в пространстве хаотично и их результирующий момент равен нулю.

При внесении в однородное электрическое поле на жесткий диполь действует пара сил, момент которой равен $\vec{M} = [p_e \vec{E}]$ и направлен перпендикулярно к плоскости, проходящей через векторы \vec{p}_e и \vec{E} , причем из конца вектора \vec{M} вращение от \vec{p}_e к \vec{E} по кратчайшему пути видно происходящим против часовой стрелки (рис.1). На рисунке момент \vec{M} направлен за чертеж и стремится развернуть диполь так, чтобы вектор \vec{p}_e совпал по на-

правлению с \vec{E} . В результате поворота диполей по полю возникает отличный от нуля результирующий момент.

Третью группу диэлектриков составляют вещества, молекулы которых имеют ионное строение ($NaCl$, KCl , KBr). Ионные кристаллы представляют собой пространственные решетки с правильным чередованием ионов разных знаков. В таких кристаллах нельзя выделить отдельные молекулы. Их надо рассматривать как систему двух вдвинутых одна в другую ионных подрешеток. При внесении такого кристалла в электрическое поле происходит некоторая деформация кристаллической решетки или относительное смещение подрешеток, приводящее к возникновению дипольных моментов.

Процесс ориентации диполей или появления под воздействием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей называется поляризацией диэлектрика.

Различают три вида поляризации:

электронная, или деформационная, поляризация диэлектрика с неполярными молекулами заключается в возникновении у атомов индуцированного дипольного момента за счет деформации электронных орбит, направленного вдоль поля. Тепловое движение молекул не оказывает влияния на электронную поляризацию. В газообразных и жидких полярных диэлектриках электронная поляризация происходит одновременно с ориентационной;

ориентационная, или дипольная, поляризация диэлектрика с полярными молекулами заключается в ориентации имеющихся дипольных моментов молекул по полю. Полной ориентации препятствует тепловое движение. В результате совместного воздействия электрического поля и теплового движения устанавливается преимущественная ориентация дипольных моментов по полю, возрастающая с увеличением напряженности электрического поля и понижением температуры;

ионная поляризация заключается в смещении подрешетки положительных ионов вдоль поля, а отрицательных – против поля, приводящем к возникновению дипольных моментов.

Количественной мерой поляризации диэлектрика является вектор поляризованности \vec{P} . Поляризованностью (вектором поляризации) называется отношение электрического дипольного момента малого объема диэлектрика к величине ΔV этого объема:

$$\mathbf{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_{ei} \quad (11)$$

где \mathbf{p}_{ei} - электрический дипольный момент i -ой молекулы, n - общее число молекул в объеме ΔV . Т.е. поляризованность – это электрический дипольный момент элементарного объема диэлектрика. Этот объем настолько мал, что в его пределах электрическое поле можно считать однородным, но, одновременно, содержит достаточно большое количество молекул n , так что к ним можно применять статистические методы исследования.

Поляризованность неполярного электрически изотропного диэлектрика в электрическом поле \mathbf{E} равна

$$\mathbf{P} = n_0 \mathbf{p}_e, \quad (12)$$

где n_0 - концентрация молекул, \mathbf{p}_e - индуцированный дипольный момент одной молекулы. С учетом (10) получим

$$\mathbf{P} = n_0 \epsilon_0 a \mathbf{E} = \epsilon_0 c \mathbf{E}. \quad (13)$$

Безразмерная величина $c = a n_0$ называется относительной диэлектрической восприимчивостью вещества.

Поляризованность полярного диэлектрика в электрическом поле

$$\mathbf{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_{ei} = \frac{n}{\Delta V} \langle \mathbf{p}_e \rangle = n_0 \langle \mathbf{p}_e \rangle, \quad (14)$$

где $\langle \mathbf{p}_e \rangle$ - среднее значение вектора дипольного момента для всех n молекул, содержащихся в объеме ΔV диэлектрика. Дипольные моменты \mathbf{p}_{ei} молекул – жестких диполей равны по модулю и отличаются только ориентацией в поле. Для слабых электрических полей, напряженность которых \mathbf{E} удовлетворяет условию: $E \ll \frac{kT}{p_e}$, поляризованность определяется выражением (13),

где диэлектрическая восприимчивость c полярного диэлектрика вычисляется по формуле

$$c = \frac{n_0 p_e^2}{3 \epsilon_0 kT} \quad (15)$$

В полярных диэлектриках обычно происходит и ориентационная и электронная поляризации.

У электрически изотропных диэлектриков диэлектрическая восприимчивость ϵ - величина скалярная, и вектор поляризованности \vec{P} совпадает по направлению с вектором напряженности поля \vec{E} . У анизотропных диэлектриков диэлектрическая восприимчивость ϵ - величина тензорная. В такой среде векторы \vec{P} и

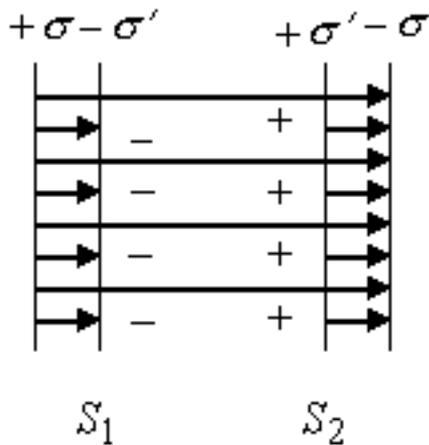


Рис.2

\vec{E} коллинеарны лишь при определенных направлениях поля в среде. Для всех остальных направлений поля вектор \vec{P} не коллинеарен \vec{E} и, следовательно, не пропорционален \vec{E} .

В поле \vec{E}_0 , создаваемом двумя бесконечными параллельными разноименно заряженными плоскостями в результате поляризации диэлектрика в тонких слоях у ограничивающих его поверхностей S_1 и S_2 возникают не скомпенсированные связанные заряды, называемые поверхностными поляризационными зарядами или связанными зарядами (рис.2). У поверхности S_1 , в которую силовые линии входят, возникает избыток отрицательных зарядов молекул-диполей с поверхностной плотностью $-\sigma'$, а у противоположной поверхности S_2 - избыток положительных зарядов с поверхностной плотностью $+\sigma'$. Величины $-\sigma'$ и $+\sigma'$ меньше плотности свободных зарядов $+\sigma$ и $-\sigma$ плоскостей S_1 и S_2 , то не все поле \vec{E} компенсируется полем зарядов диэлектрика. Часть линий напряженности пройдет сквозь диэлектрик, другая часть обрывается на связанных зарядах. Следовательно, поляризация диэлектрика вызывает уменьшение в нем поля по сравнению с первоначальным внешним полем. Вне диэлектрика $\vec{E} = \vec{E}_0$. Появление связанных зарядов в результате поляризации диэлектрика приводит к возникновению дополнительного электрического поля, напряженность которого

$\vec{E}' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0}$. Результирующее поле внутри диэлектрика

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}' = \vec{E}_0 - \frac{\sigma'}{\epsilon_0}. \quad (16)$$

Определим поверхностную плотность связанных зарядов. Из (11) полный дипольный момент пластинки диэлектрика $\mathbf{p}_V = \mathbf{P}V = \mathbf{P}Sd$, где S - площадь грани пластинки, d - ее толщина. С другой стороны полный дипольный момент определится произведением связанного заряда каждой грани на расстояние между ними $\mathbf{p} = |q|\mathbf{l} = \mathbf{s}'Sd$. Таким образом $\mathbf{p}_V = \mathbf{s}'Sd$, следовательно, $\mathbf{P}Sd = \mathbf{s}'Sd$ или

$$\mathbf{s}' = \mathbf{P}, \quad (17)$$

т.е. поверхностная плотность связанных зарядов \mathbf{s}' равна поляризованности \mathbf{P} .

Используя выражения (13) и (17), получим из (16) $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 - c\mathbf{E}$, откуда напряженность результирующего поля внутри диэлектрика равна

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 / (1 + c) = \mathbf{E}_0 / e. \quad (18)$$

Безразмерная величина $e = 1 + c$ называется диэлектрической проницаемостью среды, которая показывает, во сколько раз поле ослабляется диэлектриком, и характеризует количественно свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле.

3. Силы, действующие на диэлектрик в неоднородном электрическом поле

Экспериментальное определение объемной плотности энергии электрического поля плоского конденсатора в данной работе основано на явлении перемещения диэлектрика в неоднородном электрическом поле. Однородность поля в плоском конденсаторе нарушается на его краях (краевой эффект) - здесь напряженность поля меньше, чем в средней части конденсатора. Диэлектрик же с элементарным дипольным моментом \mathbf{p} в неоднородном электрическом поле втягивается в область более сильного поля [1, § 19]. К этому заключению приводят следующие рассуждения. Выберем систему координат в неоднородном электростатическом поле (рис.3), направив ось X перпендикулярно плоскости чертежа. Напряженность поля показана стрелками вправо. В этом же направлении

уменьшается поле (плотность расположения силовых линий уменьшается). Пусть направление плеча \vec{l} диполя совпадает по направлению с направлением радиус-вектора \vec{r} , проведенного из начала координат 0.

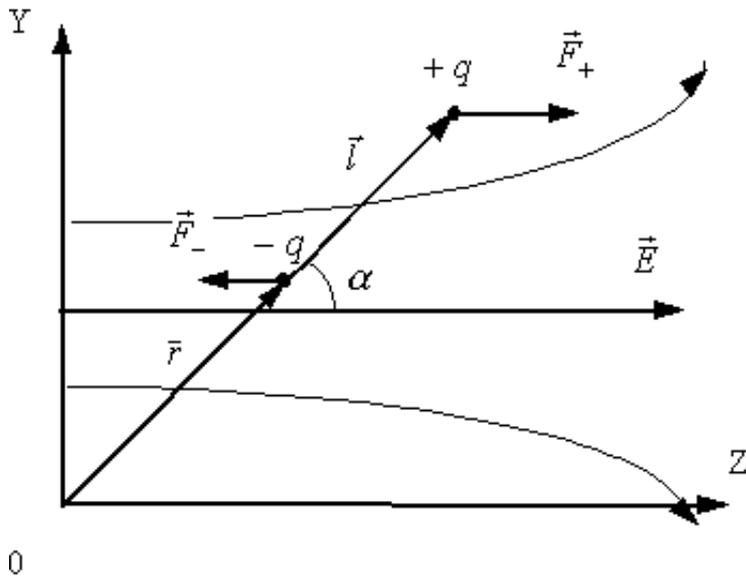


Рис.3 Действие сил со стороны электрического поля на диполь.

Результирующая сила, действующая со стороны поля на диполь,

$$\vec{F}_p = \vec{F}_+ + \vec{F}_- = q(\vec{E}_+ + \vec{E}_-) = q[\vec{E}(\vec{r} + \vec{l}) - \vec{E}(\vec{r})] \quad (19)$$

где q - заряд диполя; $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r} + \vec{l})$ - напряженность поля в точке расположения положительного заряда, а $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r})$ - напряженность поля в точке расположения отрицательного заряда; \vec{F}_+ и \vec{F}_- - силы, действующие со стороны поля, соответственно, на положительный и отрицательный заряды диполя.

Напряженность поля в точке расположения положительного заряда можно записать как

$$\vec{E}(\vec{r} + \vec{l}) = \vec{E}(\vec{r}) + \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} l_x + \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} l_y + \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} l_z \quad (20)$$

Тогда

$$\vec{F}_p = ql_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + ql_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + ql_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = p_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} + p_y \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} + p_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \quad (21)$$

Поэтому

$$\vec{F}_p = \left(p_x \frac{\partial}{\partial x} + p_y \frac{\partial}{\partial y} + p_z \frac{\partial}{\partial z} \right) \vec{E} = (\vec{p} \nabla) \vec{E} \quad (22)$$

Пусть поле меняется только по оси Z (уменьшается). Тогда

$$\vec{F}_p = -p_z \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = -ql_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = -ql \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \cos \alpha \quad (23)$$

Если $a \gg p/2$, то величина $F_p = F_z$ - положительная, следовательно, диполь выталкивается из поля, т.е. перемещается в область более слабого поля. Если же $a \ll p/2$, то, в этом случае (как на рис. 3), F_z - отрицательная, и диполь втягивается в область более сильного поля. При поляризации диэлектрика под действием электрического поля реализуется вторая ситуация. Сила, с которой поле действует на единицу объема диэлектрика, равна

$$\dot{\vec{F}} = (\dot{\vec{P}} \nabla) \dot{\vec{E}} \quad (24)$$

где $\dot{\vec{P}}$ - вектор поляризации диэлектрика. Величина этой силы

$$F = |\dot{\vec{P}}| \cdot |grad \dot{\vec{E}}| \cdot \cos \left(\dot{\vec{P}} \wedge \dot{\vec{E}} \right) \quad (25)$$

Когда $grad \dot{\vec{E}} \neq 0$, диэлектрик должен втягиваться в область более сильного поля под действием этой силы. Если плоский конденсатор, соединенный с источником напряжения, частично погрузить в жидкий диэлектрик, то жидкость втягивается в область более сильного поля между обкладками конденсатора (рис. 4). Введя в рассмотрение систему координат, у которой ось Z направлена вертикально, результирующую (пондеромоторную) силу запишем

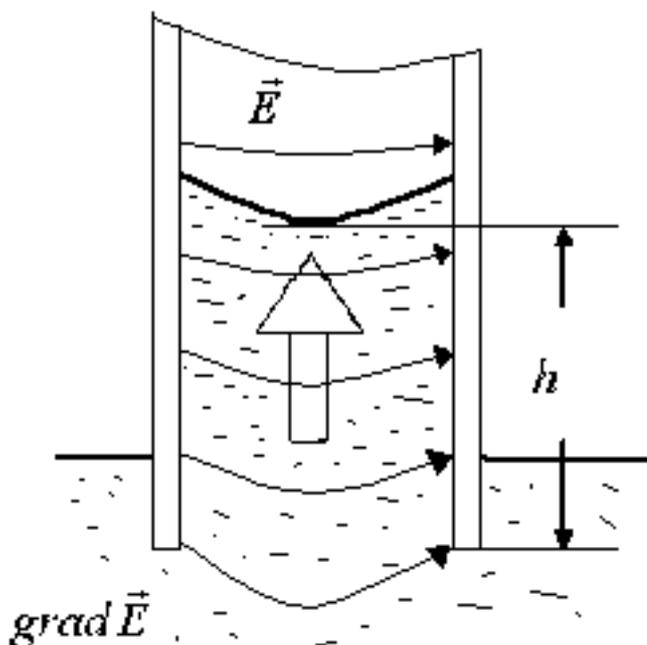


Рис. 4 Схема электрического поля конденсатора, нижний конец которого помещен в жидкий диэлектрик.

$$\dot{\vec{F}} = P \frac{\Delta E}{\Delta Z} \cos a \cdot \dot{\vec{k}}, \quad (26)$$

где \dot{k} - единичный вектор направления оси Z ;

$$\text{Cos } a = \text{Cos} \left(\begin{matrix} \mathbf{r} \wedge \mathbf{r} \\ P \quad E \end{matrix} \right).$$

Пондеромоторными силами называют силы, действующие на весомые тела (в прошлом в физике, наряду с обычными веществами, признавалось существование многих невесомых субстанций, например, теплород, эфир, электрические и магнитные жидкости и пр.; современная физика отказалась от них, но термин сохранился).

Примерами пондеромоторных сил являются кулоновы силы, силы Ампера и др., т.е. первопричиной возникновения пондеромоторных сил являются электрические заряды, сообщаемые телам. Подробно ознакомиться с методом вычисления пондеромоторных сил и с исследованием механизма их возникновения можно в работе [2, параграфы 32-34]. Под действием силы \dot{F} диэлектрик поднимается до тех пор, пока эта сила не уравновесится силой гидростатического давления столба жидкости высотой h . При этом совершается работа A за счет источника напряжения: $\dot{F} \cdot \dot{h} = F \cdot h = P_g \cdot S' \cdot h$. (27)

где P_g - гидростатическое давление столба жидкости; S' - площадь его поперечного сечения.

4. Расчетные формулы для определения W и e в эксперименте

Работа (27), совершаемая за счет источника напряжения, численно равна изменению энергии электрического поля конденсатора:

$$A = W_2 - W_1 \quad . \quad (28)$$

где W_1 - энергия электрического поля в воздухе в объеме той части конденсатора, которую в последствии занимает столб жидкости высотой h ; W_2 - энергия электрического поля в жидкости в той же части объема конденсатора. При этом

$$W_1 = \frac{e_0 e_1 E^2}{2} S' \cdot h \quad (29)$$

$$W_2 = \frac{e_0 e_2 E^2}{2} S' \cdot h \quad (30)$$

(здесь $\epsilon_0 \approx 1$ - относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, а ϵ_2 - относительная диэлектрическая проницаемость жидкости). Подставляя (27), (29), (30) в выражение (28), получим

$$P_g \cdot S' \cdot h = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 E}{2} S' \cdot h - \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 E}{2} S' \cdot h ,$$

откуда

$$P_g = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_2 - \epsilon_1) E^2}{2} \quad (31)$$

Из выражения (31) находим

$$\epsilon_2 = \frac{2P_g + \epsilon_0 \epsilon_1 E^2}{\epsilon_0 E^2} = \frac{2P_g}{\epsilon_0 E^2} + \epsilon_1$$

окончательно

$$\epsilon_2 = \frac{2P_g}{\epsilon_0 E^2} + 1 , \quad (32)$$

Полагая в (8) $\epsilon = \epsilon_2$, получим для объемной плотности энергии электрического поля в конденсаторе $w = P_g + \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 E^2}{2}$.

С учетом того, что $P_g = r q h$ (r - плотность жидкости) и $E = \frac{U}{d}$,
окончательно

$$w = r q h + \frac{\epsilon_0 U^2}{2 d^2} . \quad (33)$$

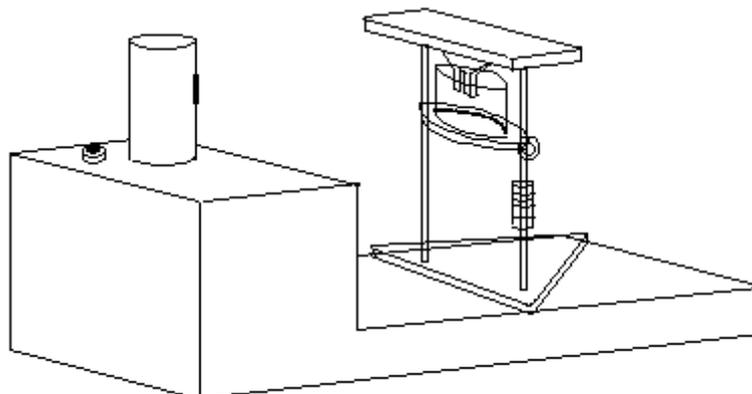


Рис.5.Общий вид установки.

Итак, задавая значения напряжения U на конденсаторе и опре-

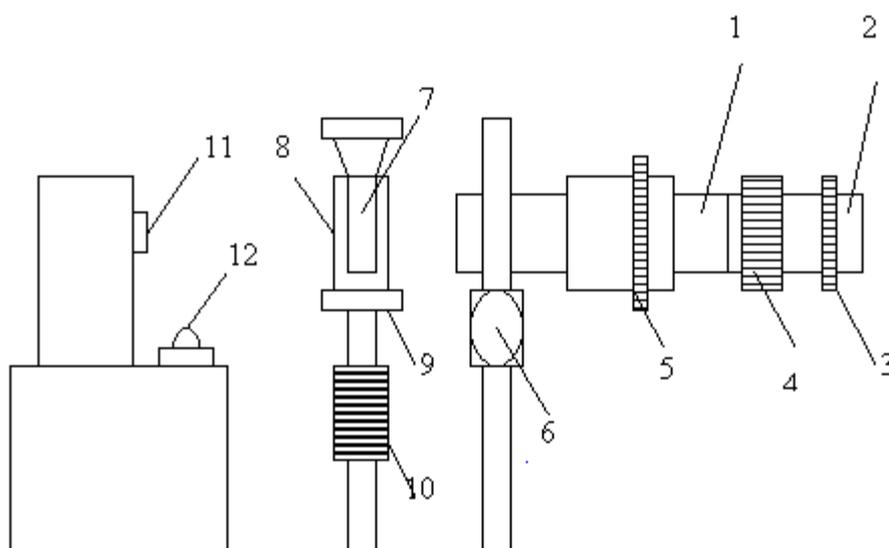


Рис. 6. Установка для наблюдения подъема жидкости в поле конденсатора.

1 - микроскоп; 2 - окуляр микроскопа; 3 - наводка резкости шкалы микроскопа; 4 - винтовая рукоятка для поворота шкалы; 5 - наводка резкости изображения мениска жидкости; 6 - винты для бокового перемещения изображения; 7 - конденсатор; 8 - кювета с исследуемой жидкостью; 9 - столик для установки кюветы; 10 - винт для вертикального перемещения столика; 11 - подсветка; 12 - кнопка для кратковременной подачи напряжения на обкладки конденсатора.

деляя экспериментально h и d , можно по формуле (33) рассчитывать значения объемной плотности энергии электрического поля в различных жидких диэлектриках, а по формуле (32) - значения диэлектрических проницаемостей ϵ этих диэлектриков.

5. Приборы и оборудование

Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР).

Повышающий трансформатор 140/600 В.

Вольтметр на 600 В.

Установка для наблюдения подъема жидкости в поле конденсатора с микроскопом (рис. 5-7)

Набор стеклянных кювет с различными жидкими диэлектриками.

6. Рабочее задание и порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме, приведенной на рис.8.
2. Залить в кювету 8 (рис. 6) исследуемую жидкость и поместить кювету на столик 9 так, чтобы нижняя часть конденсатора входила в жидкость.

3. Включить лампочку подсветки и с помощью соответствующих винтов и рукояток добиться четкого изображения линии мениска жидкости в поле зрения микроскопа.

4. Измерить расстояние d между пластинами конденсатора по шкале микроскопа.

5. Повернув на 90 градусов шкалу микроскопа, фиксировать

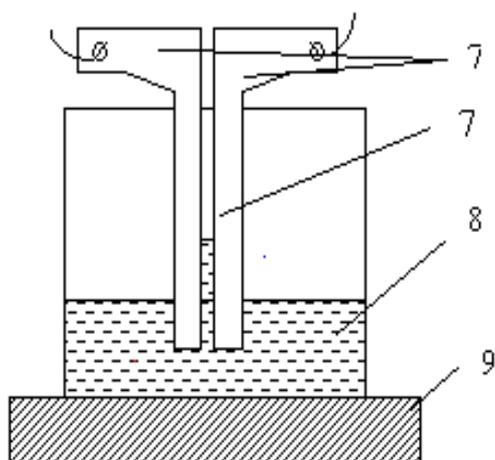
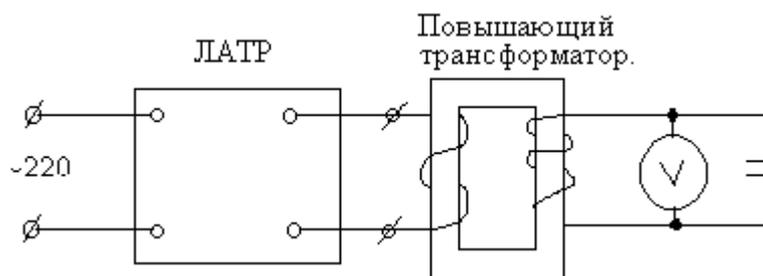


Рис.7. Фрагмент экспериментальной установки: 7 - конденсатор; 8 - кювета с исследуемой жидкостью; 9 - столик для установки кюветы;

высоты подъема h исследуемой жидкости в электрическом поле конденсатора. Напряженность поля конденсатора зависит от напряжения U , подаваемого на пластины конденсатора от повышающего трансформатора нажатием кнопки 12. Изменение величины U осуществляется вращением рукоятки ЛАТРа; значения U измеряются по шкале вольтметра V (см. рис. 8.)

6. Изменение высоты подъема жидкого диэлектрика h начинать с задания максимального напряжения U (для керосина, бензола и некоторых других жидкостей - с 600В, для спирта - с 200В), а затем продолжать по мере его уменьшения равными сту-

Рис. 8 Электрическая схема установки



пенями (количество опытов для каждой жидкости и виды жидкостей по указывает преподаватель).

7. Определить значения ϵ_2 для каждого опыта по формуле (32), рассчитать окончательный результат по методу Стьюдента и

сравнить его с табличным значением относительной диэлектрической проницаемости исследуемой жидкости.

8. По формуле (33) определить значения объемной плотности энергии электрического поля конденсатора и построить график зависимости w от U^2 .

9. Обсудить полученные результаты
Данные измерений занести в таблицу.

Возможный образец таблицы результатов измерений

Опы т N	Жид- кость	$Z, \text{дв}$	$d, \text{л}$	$n, \text{дв}$	$h, \text{м}$	$U, \text{В}$	ϵ_2	$w, \text{Дж/м}$
1								
2								
3								
ит.д.								

Примечания:

- 1) Цена деления шкалы микроскопа 0,016 мм/дел.
- 2) Измерение высоты поднятия спирта следует производить быстро, пока спирт не прогреется.

7. Контрольные вопросы

Какой проводник называется уединенным?

Что называется поверхностной плотностью заряда?

Какие поля называются однородными?

Почему поле конденсатора целиком локализовано между его обкладками?

Что такое объемная плотность энергии поля?

Чем обусловлена величина объемной плотности энергии электрического поля плоского конденсатора?

Что определяет относительная диэлектрическая проницаемость вещества?

Какие силы называются пондермоторными?

Чем отличаются диэлектриков разных типов?

Что такое поляризация диэлектрика? Перечислить виды поляризации.

Что такое поляризованность?

Что показывает диэлектрическая проницаемость среды?

В чем различие поляризации диэлектриков с полярными и неполярными молекулами?

Выведите связь между диэлектрической восприимчивостью вещества и проницаемостью среды.

Чем обусловлено втягивание диэлектрика в поле конденсатора?

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа, 1983, 463с.
2. Сивухин Н.В. Общий курс физики. т.3. Электричество. М.: Наука, 1977, 687с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1973, т.2., 431с.