

## § 24. Электроконвекционные явления (электрофорез, электроэндосмос и др.)

Электрическая поляризация и контактная электризация тел проявляются весьма разнообразно. Они приводят, в частности, к ряду *электроконвекционных* явлений, т. е. явлений, при которых наблюдается перемещение макроскопических количеств вещества под действием электрических сил.

В § 12 было пояснено, что возникновение контактной разности потенциалов при тесном соприкосновении разнородных тел происходит всегда и представляет собой результат выравнивания полных термодинамических потенциалов электронов в металлах или ионов в электролитах. Эта *контактная электризация* разнородных тел, проявляющаяся, в частности, в так называемой «электризации

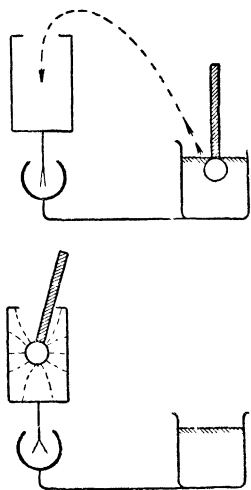


Рис. 58. Опыт, демонстрирующий электризацию при контакте.

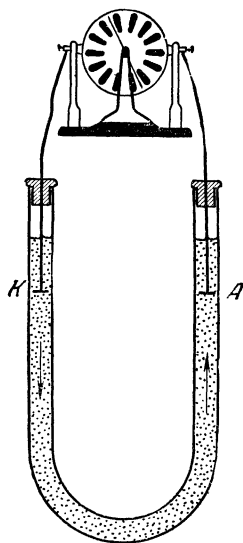


Рис. 59. Электрофорез.

при трении», обычно сопровождается (когда контакт окажется нарушенным) адсорбцией молекул и ионов на поверхностях, несущих заряды.

Частица какого-либо твердого вещества, погруженная в воду или другую жидкость, электризуется вследствие контактной разности потенциалов; жидкость приобретает противоположный заряд. На рис. 58 представлена схема опыта, доказывающего, что при погружении твердого тела в жидкость действительно происходит контактная электризация: парафиновый шарик на стеклянной ножке опускают в воду и затем переносят его в металлическую коробку («коробку Фарадея»), соединенную с электрометром. Этот опыт обнаруживает, что парафиновый шарик заряжается отрицательным электричеством, а вода приобретает положительный заряд.

Аналогично можно наблюдать контактную электризацию, погружая в ртуть стержень из стекла, сургуча, янтаря и т. д.

Электризация твердых частиц, взвешенных в жидкости, может быть обнаружена по их перемещению в электрическом поле. Схема такого опыта пока-

зана на рис. 59. Электрическое поле здесь создается между электродами *K* и *A* высоковольтной электрофорной машины. В качестве «взвеси» можно взять любую металлическую суспензию в воде, взвесь глины, шеллака, крахмала, эмульсию водяных капель в анилине и т. д. Во всех перечисленных случаях взвешенные частицы или капельки заряжаются отрицательно и движутся к аноду. Их движение легко проследить, наблюдая взвесь в микроскоп. В других случаях взвешенные частицы, например частицы гидратов окисей металлов, метилвиолета, метиленовой сини и др., приобретают положительный заряд.

Описанное явление называют *электрофорезом*<sup>1)</sup> (часто его называют также *катафорезом*). Это явление было открыто Рейсом в 1807 г. в Москве; Рейс тогда же открыл и другое явление: *электроэндосмос*<sup>2)</sup>. Электроэндосмос представляет собой электрофорез жидкости при неподвижности твердой фазы. Чтобы наблюдать перемещение жидкости в электрическом поле, в трубку с жидкостью помещают какое-либо пористое вещество — пемзу, пробку из ваты, войлока или песка и т. п. На рис. 60 показано, что вода, которая в большинстве случаев заряжается положительно, переместилась под действием электрического поля к катоду и уровень ее здесь несколько поднялся. Электроэндосмос можно осуществить, заменив пористое тело достаточно длинным и тонким капилляром.

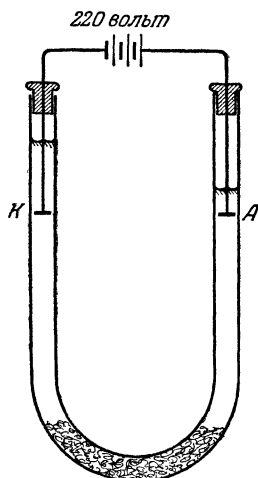


Рис. 60. Электроэндосмос.

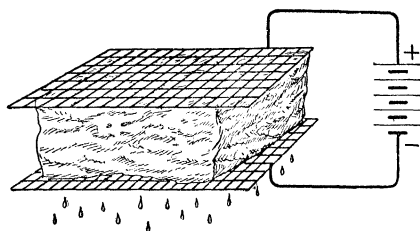


Рис. 61. Схема осуществления сушки посредством электроэндосмоса.

Электрофорез широко используется в коллоидной химии. Его применяют также при некоторых производственных процессах. Например, при производстве водонепроницаемых тканей при помощи электрофореза заполняют поры ткани тонко размельченным глиноземом или гидратом окиси алюминия.

Электроэндосмос довольно широко применяют в технике при *холодной электрической сушке* различных пористых и волокнистых веществ. На рис. 61 представлена схема опыта, поясняющего, как электроэндосмос используется для просушивания веществ. Тук влажного пористого или волокнистого вещества помещают между металлическими сетками, которые служат электродами. Электроэндосмос заставляет воду перемещаться вниз, к катоду, и стекать сквозь сетку.

Электроконвекционные процессы применяют также при очистке каолина для производства высококачественного фарфора, при очистке фруктовых соков, при отделении эмульсий в нефтяной промышленности и т. д.

Электрофорез заключается в движении взвешенных в жидкости твердых частиц или капелек эмульсии под действием электрического поля. Но существует и обратное явление: вследствие движения взвешенных частиц в жидкости

<sup>1)</sup> От греч. phoros—н е с у щ и й.

<sup>2)</sup> От греч. endon—в н у т р и и osmos—т о л ч о к, д в и ж е н и е.

возникает электрическое поле. На рис. 62 показана схема опыта, демонстрирующего явление, *обратное электрофорезу*. Песчинки падают через столб жидкости под действием силы тяжести. Между металлическими пластинками, помещенными у концов водяного столба, возникает электрическое поле, и вольтметр обнаруживает создавшуюся разность потенциалов.

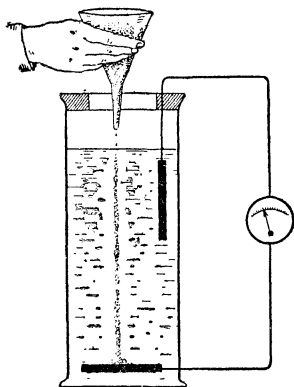


Рис. 62. Явление, обратное электрофорезу.

Существует также явление, *обратное электроэндосмосу*. Его открыл и исследовал в 1859 г. Квинке (рис. 63).

В цилиндрический сосуд подводится вода, которая действием избыточного давления  $\Delta p$  проталкивается через пористую пробку, разделяющую сосуд на две части. В левой и правой частях сосуда помещены платиновые пластинки, к которым припаяны провода, выведенные наружу для подключения к вольтметру. Проталкивание жидкости через пористое тело электризует жидкость, причем обычно так, что выходящая жидкость электризуется положительно, а жидкость, не успевшая проникнуть через пористую перегородку, приобретает отрицательный заряд. Возникающая на электродах разность потенциалов пропорциональна перепаду давления, проталкивающего жидкость; эта разность потенциалов зависит также от вещества жидкости и вещества перегородки, но не зависит ни от

толщины, ни от величины поверхности пористой перегородки (если они не слишком малы). При проталкивании воды через пористую перегородку из кварцевого песка при разности давлений в одну атмосферу на электродах создается разность

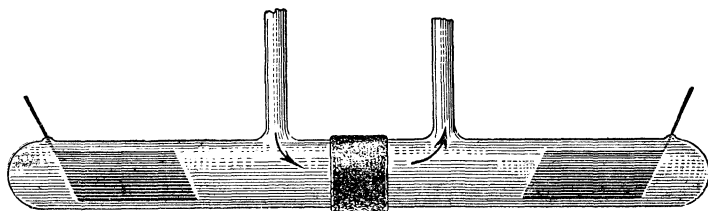


Рис. 63. Явление, обратное электроэндосмосу.

потенциалов около 7 в. При проталкивании воды через жженую глину под действием того же перепада давления в одну атмосферу создается разность потенциалов всего 0,4 в.

Теория описанных явлений была разработана Гельмгольцем, М. Смолуховским и др.

Вследствие электрической поляризации диэлектрики, внесенные в электрическое поле, оказываются под действием механической силы, которая увлекает диэлектрик в область максимальной напряженности поля. Притяжение наэлектризованными телами легких предметов — пушинок, пыли, кусочков бумаги — представляет собой простейший пример «пндеромоторного» действия электрического поля на диэлектрики. Это явление используют в технике, устраивая электрические улавливатели пыли, частиц дыма и т. п. (*электрофилттры*).

Капельки жидкого диэлектрика с большой диэлектрической постоянной, взвешенные в жидкости с меньшей диэлектрической постоянной, притягиваются наэлектризованным предметом, погруженным в жидкость. Иначе говоря, подобные капельки эмульсии, попадая в неоднородное электрическое поле, увлекают

ся, подобно пушинкам в воздухе, в область максимальной напряженности поля (рис. 64).

Такие перемещения диэлектриков соответствуют принципу минимума потенциальной энергии. Действительно, возьмем, как наиболее простое, выражение потенциальной энергии металлического шарика радиуса  $r$ , имеющего заряд  $Q$  и находящегося в среде с диэлектрической постоянной  $\epsilon$ :

$$W = \frac{Q^2}{2\epsilon r} \quad (16)$$

[эта формула получается из формул (11) и (3) главы II].

Мы видим, что потенциальная энергия наэлектризованного шарика, или, иначе говоря, *энергия его электрического поля, убывает при увеличении диэлектрической постоянной вещества*, окружающего шарик. Механическая энергия перемещения диэлектрика с большой диэлектрической постоянной к наэлектризованному телу создается за счет убывания электрической энергии поля. Молекулярная картина этого явления состоит в том, что наэлектризованное тело поляризует диэлектрик и притягивает его с силой, которая равна геометрической сумме сил притяжения наэлектризованным телом всех молекулярных диполей диэлектрика.

Пузырьки любого газа в жидкости отталкиваются от наэлектризованного тела (рис. 65). Это понятно: жидкость как среда с большей, чем у газа, диэлектрической постоянной притягивается к наэлектризованному телу, что и создает в отношении пузырьков как бы выталкивательную силу, аналогичную архимедовой силе.

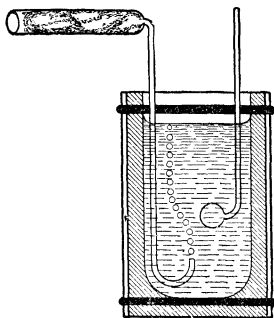


Рис. 65. Газовые пузырьки в жидкостях отталкиваются от наэлектризованного тела.

ных капель, заряжаются положительно.

Более поздние экспериментальные исследования выявили ограниченную применимость правила Гезехуса; при диспергировании некоторых веществ (и в определенных условиях даже воды) мельчайшие брызги и пыль иногда заряжаются — в противоречии с правилом Гезехуса — положительно,

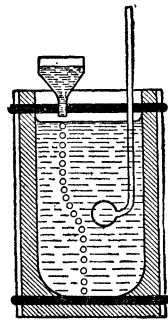


Рис. 64. Капли воды, падающие в легкое масло, притягиваются наэлектризованным телом.