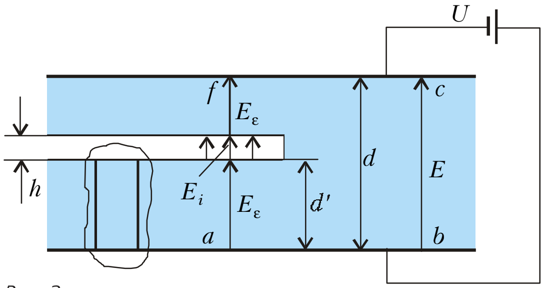

Рис. 3

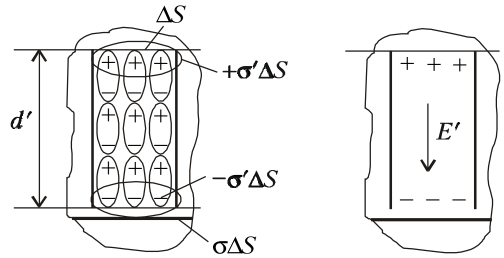

Рис. 4

Рассмотренный тип течения газожидкостной смеси (когда газовый пузырь заполняет все сечение потока) представляется нежелательным с точки зрения производства, например, газированной воды, ибо обе фазы, как видно, полностью разделены, а их как раз хотелось бы смешать. Поэтому обсудим далее более благоприятный случай. Пусть теперь газовый «пузырь» представляет собою плоскую «щель» шириной h, параллельную пластинам конденсатора (см. рис.1 и 3). По-прежнему перемещая некий пробный заряд по контуру $abcfa$ (см. рис.3), мы должны совершить нулевую работу. Другими словами, разность потенциалов между точками a и f равна таковой для точек b и c:

$$E_\varepsilon(d-h)+E_ih=U\,, \qquad (3)$$

где E_i — напряженность поля в щели, а E_ε – в диэлектрике (жидкости) с обеих сторон от щели. Кроме того, учтем, что

$$E_i=\varepsilon E_\varepsilon. \qquad (4)$$

Собственно говоря, в школьном учебнике так и написано: «Диэлектрическая проницаемость среды – это физическая величина, показывающая, во сколько раз модуль напряженности электрического поля (E_ε) внутри однородного диэлектрика меньше модуля напряженности поля (E_i) в вакууме». И дана справедливая оговорка, что такое определение справедливо лишь в частных случаях – например, для пластин в однородном поле (и несправедливо для шаровой полости). Поэтому подумаем еще раз, что такое ε. (Ранее мы приняли его как множитель, который показывает, во сколько раз увеличивается емкость плоского конденсатора с диэлектриком по сравнению со случаем пустого конденсатора.) Мысленно вырежем из нашего устройства призму с поперечным сечением площадью ΔS (рис.4). Пластина конденсатора несет заряд $+\sigma\Delta S$, и поле над этой пластиной (в вакууме) равно $E_i=\sigma/\varepsilon_0$ (а ниже этой пластины, т.е. вне конденсатора, оно равно нулю). Кусок диэлектрика в выделенной призме, попав во внешнее (по отношению к нему) поле E_i, поляризуется. Этот факт условно показан в виде нескольких диполей, выстроившихся вертикально. Видно, что внутри диэлектрика заряды противоположных знаков, принадлежащие соседним диполям, компенсируют друг друга, а на поверхностях диэлектрика торчат их «хвосты» с зарядами $\pm\sigma'\Delta S$. Дипольный момент этого призматического куска диэлектрика равен $\Delta p = \sigma'\Delta Sd'$ и направлен вверх (от отрицательного заряда к положительному). А напряженность поля, порожденного этими поляризационными зарядами, равна $E'=-\sigma'/\varepsilon_0$ и направлена противоположно дипольному моменту и внешнему полю. Таким образом, напряженность суммарного электрического поля равна

$$E_\varepsilon=E'+E_i=-\frac{\sigma'}{\varepsilon_0}+\frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

Остался последний шаг. Введем еще одно понятие – объемную плотность дипольного момента:

$$P=\frac{\Delta p}{\Delta Sd'}=\sigma'=-\varepsilon_0E'.$$

Вот она-то и связана с суммарным полем в диэлектрике соотношением

$$P=\varepsilon_0(\varepsilon-1)E_\varepsilon,$$

которое и можно считать более общим локальным определением диэлектрической проницаемости, приемлемым для любой точки однородного или неоднородного диэлектрика.

Из соотношений (3) и (4) легко найти электрический заряд на пластинах в том случае, когда рассматриваемый газовый «пузырь» длиннее длины конденсатора l (и выступает за его края):

$$q=\varepsilon_0\varepsilon SE_\varepsilon=\varepsilon_0S\frac{U}{d}\langle\varepsilon\rangle.$$

Здесь введено обозначение среднеобъемной диэлектрической проницаемости

$$\langle\varepsilon\rangle=\frac{\varepsilon}{1+(\varepsilon-1)h/d},$$

которая учитывает долю объема h/d, занятую плоским «пузырем».

Если теперь аналогично (1) рассмотреть процесс постепенного вдвигания этого «пузыря» в конденсатор с постоянной скоростью v, то аналогично (2) можно найти ток в цепи:

$$I=\frac{-\varepsilon_0SU}{d}\frac{v}{l}\frac{\varepsilon(\varepsilon-1)h/d}{1+(\varepsilon-1)h/d}.$$

Это выражение явно отличается от выражения (2) и совпадает с ним по модулю лишь в случае $h/d\to1$, когда в конденсатор вдвигается газовый пузырь (см. падающую ветвь $I(t)$ на рисунке 2).

Но пора вспомнить о пузырьках (см. левую часть рис.1), таких маленьких и круглых. Хотя каждый из них мал, их суммарный относительный объем может изменяться в широких пределах – от нуля (совсем нет газовой фазы) до единицы (все пузырьки слились в один газовый «снаряд»). Трудность описания такой среды усугубляется тем, что радиусы пузырьков могут быть различны, расстояния между ними случайны; сталкиваясь, они могут сливаться в более крупные или дробиться. А тут еще электрическое поле, которое поляризует их и заставляет дополнительно взаимодействовать, как и положено диполям. Кстати, а в каком поле находится каждый из них? Конечно, в поле, порожденном всеми зарядами – и свободными (на проводящих пластинах конденсатора), и связанными (поляризационными). И что же означают слова «пузырек находится в поле»? По-видимому, это значит, что он находится в поле, которое осталось бы, если бы пузырек был удален, – тогда в возникшей полости осталось бы поле, порожденное всеми оставшимися электрическими зарядами. С этой проблемой до нас мучились многие замечательные ученые: Ленгмюр, Клаузиус, Моссотти, Лоренц и др.

Все эти слова сказаны для того, чтобы обрисовать сложность проблемы. Конечно, ученый скажет так: давайте разобьем проблему на части. Сначала рассмотрим один сферический пузырек в безграничной жидкости, в которой достаточно далеко от пузырька (на «бесконечности») задано однородное поле E_ε. Потом предположим, что пузырьков много — N