

## ЗАДАЧА

Имеется  $n$  идеально проводящих тел в вакууме с зарядами  $q_1, q_2, \dots, q_n$  и потенциалами  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ . Какое количество тепла будет выделяться ежесекундно, если пространство между этими телами заполнить однородной жидкостью с электропроводностью  $\lambda$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , а потенциалы тел поддерживать при прежних значениях?

**Решение.** При заполнении пространства проводящей жидкостью электрическое поле между телами не изменится. Количество же ежесекундно выделяющегося тепла определится выражением  $Q = \sum \mathcal{I}_k \varphi_k$ . Ток, текущий с поверхности  $k$ -го проводника,

$$\mathcal{I}_k = \oint I_N dS,$$

где  $N$  — наружная нормаль к этой поверхности. Заряд на поверхности  $k$ -го проводника

$$q_k = \frac{1}{4\pi} \oint D_N dS = \frac{\epsilon}{4\pi} \oint E_N dS.$$

В результате находим

$$Q = \frac{4\pi\lambda}{\epsilon} \sum q_k \varphi_k.$$

## § 47. Электролитическая ванна

1. При конструировании электронных, ионных и многих других приборов надо знать электрические поля между электродами сложной конфигурации. Теоретический расчет таких полей практически невозможен. Экспериментальные измерения полей внутри самих приборов не всегда могут дать достаточную точность ввиду малости размеров отдельных деталей, вблизи которых необходимо измерить распределение поля, а также потому, что многие места внутри конструируемого прибора недоступны для введения зонда. Для экспериментального решения этой задачи применяется *метод электролитической ванны*. Изготавливаются увеличенные подобные и подобно расположенные модели электродов, погружаемые затем в однородную слабо проводящую жидкость (электролит), например в водопроводную воду. Потенциалы электродов модели должны быть пропорциональны потенциалам соответствующих электродов прибора. При этом условии, как показано в предыдущем параграфе, модель воспроизведет в увеличенном масштабе эквипотенциальные поверхности и силовые линии электрического поля заряженных электродов. Поскольку исследуемое пространство теперь заполнено проводящей средой, измерение потенциалов легко осуществить с помощью зонда.

2. При практическом применении метода электролитической ванны возникают экспериментальные трудности. Одна из них заключается в следующем. Размеры ванны должны быть велики по сравнению с размерами исследуемой системы электродов. Сами

электроды должны быть погружены в ванну глубоко, чтобы наличие свободной поверхности электролита существенно не искажало исследуемое поле. Но тогда ванна приняла бы слишком большие размеры, затрудняющие экспериментирование с ней. Потребовались бы какие-то приспособления для введения и удержания зонда в нужных точках пространства, а они привели бы к заметным искажениям исследуемого поля. Кроме того, некоторые существенные области изучаемого поля могли бы оказаться недоступными для введения зонда, например все части пространства, полностью окруженные замкнутой металлической оболочкой. Существует изящный способ преодоления подобных трудностей, называемый *методом сечений*. Метод сечений применим для исследования полей, обладающих осевой симметрией. Это — наиболее важный случай, встречающийся на практике. Очевидно, достаточно исследовать распределение электрического потенциала в любой плоскости симметрии, проходящей через ось модели.

Допустим, что исследуемая модель электродов погружена в электролит, заполняющий все бесконечное пространство. Рассечем мысленно ее горизонтальной плоскостью, проходящей через ось симметрии модели. Все силовые линии и линии тока, проходящие через любую точку рассматриваемого сечения, не выходят из его плоскости. Поэтому удаление верхней половины модели и электролита, заполняющего верхнее полупространство, никак не скажется на распределении потенциала и электрическом поле во всем нижнем полупространстве и в самом сечении.

Это может быть доказано и строго математически. Действительно, после удаления всех частей модели и электролита из верхнего полупространства образуется свободная плоская поверхность, ограничивающая нижнее полупространство. В стационарном состоянии токи могут течь вдоль самой границы, но не могут пересекать ее. Так как  $\mathbf{j} = \lambda \mathbf{E}$ , то отсюда следует, что на границе нормальная составляющая вектора  $\mathbf{E}$  равна нулю. Потенциалы всех электродов заданы, в нижнем полупространстве потенциал удовлетворяет уравнению Лапласа  $\Delta \varphi = 0$ . Этими условиями потенциал и поле  $\mathbf{E}$  в нижнем полупространстве определяются однозначно. Но в точности таким же условиям эти величины удовлетворяли и до того, как были удалены из верхнего полупространства электролит и все верхние части разрезанной модели, так как и в этом случае поле  $\mathbf{E}$  в рассматриваемом сечении не имело нормальной составляющей. Этим наше утверждение доказано.

Теперь ясно, что для воспроизведения изучаемого поля нет необходимости применять цельные электроды. Достаточно взять их половинки, получающиеся разрезанием цельных электродов по плоскости, проходящей через ось симметрии. Это и используется в методе сечений. Изготовленные половинки электродов погружаются в ванну таким образом, чтобы плоскость разреза совместилась

со свободной поверхностью электролита. Распределение потенциала достаточно измерить на одной только свободной поверхности, что экспериментально очень удобно.

3. На рис. 127 приведена принципиальная схема электролитической ванны. Электрическое поле образуется между электродами  $A$  и  $B$ . Зондом  $S$  может служить кончик тонкой металлической проволоки. Гальванометр включается между зондом  $S$  и подвижной точкой  $C$  делителя напряжения. Вместо гальванометра лучше пользоваться электронным осциллографом, соединив точки  $S$  и  $C$ , например, с его вертикальными пластинами. Перемещая зонд по

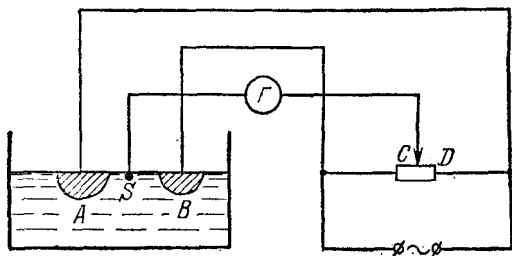


Рис. 127.

поверхности электролита, находят такие положения его, при которых ток через гальванометр обращается в нуль. Во всех этих положениях потенциал зонда равен потенциалу точки  $C$  делителя напряжения. Все отмеченные точки лежат, таким образом, на линии постоянного потенциала — эквипотенциальной линии. Движение зонда с помощью специальных рычагов передается штифту пантографа, который отмечает положения соответствующих точек на листе бумаги. Соединяя отмеченные точки плавной кривой, находят эквипотенциальную линию в увеличенном масштабе. Затем повторяют то же самое при другом положении движка  $C$ , находят другую эквипотенциальную линию и т. д.

Если на электроды подавать постоянное напряжение, то по электролиту будут течь постоянные токи, сопровождающиеся электролизом и выделением на электродах составных частей электролита. Эти токи нарушали бы однородность электролита, приводя к поляризации электродов и к изменению напряжения между ними. Во избежание этого на электроды подают *переменное напряжение*, например, от клемм городского тока. Условия, при выполнении которых результаты, полученные выше для постоянных полей, могут быть распространены на переменные поля, будут сформулированы ниже (см. задачу к § 144).