

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ**ЛЕКЦИОННАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ ПОНДЕРОМОТОРНЫХ СИЛ
В ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ ПРИ ПОМОЩИ МЫЛЬНОЙ ПЛЕНКИ**

Идея использовать мыльные пузыри для демонстрации пондеромоторных сил, действующих на поверхность заряженного проводника, не нова¹. Однако при осуществлении такой демонстрации в условиях большой аудитории экспериментатор наталкивается на ряд трудностей, обусловленных малой устойчивостью мыльных пузырей. Сообщить выдутьому на конце трубки мыльному пузырю достаточный электрический заряд так, чтобы можно было при этом наблюдать увеличение диаметра пузыря, практически невозможно. Трудности значительно снижаются, если для указанной демонстрации воспользоваться мыльной пленкой, состоящей из большого количества шаровых сегментов (рис. 1). Такая пленка может быть легко получена в лабораторной чашке, наполненной раствором мыла в воде, выдуванием через опущенную в раствор трубку.

Для демонстрации пондеромоторных сил чашка с мыльной пленкой устанавливается на хорошо изолирующую подставку, например из эбонита или фарфора. В чашку опускается электрод, присоединенный к одному из полюсов электрической индукционной машины. Второй полюс машины заземляется. Вместо индукционной машины с соблюдением необходимых мер предосторожности может быть использован и какой-либо другой источник напряжения, порядка 10—30 кВ. Над чашкой на высоте 10—30 см или сбоку примерно на таком же расстоянии следует расположить заземленные металлические предметы, имеющие, например, форму стержня, шара или диска.

При включении индукционной машины мыльная пленка заряжается и выпуклые части ее поверхности начинают под действием пондеромоторных сил заметно вытягиваться в сторону заземленных предметов. Пример такого растяжения пленки показан на фотографии рис. 2. При дальнейшем увеличении заряда пленки наиболее вытянувшиеся ее части, принимающие форму острия, лопаются. На фотографии рис. 3 показан момент, непосредственно перед разрывом пленки. На этой фотографии ясно видно образовавшееся «мыльное острие». С острия в сторону металлических предметов срываются капельки раствора и мелкие мыльные пузыри, летящие затем по траекториям, близким к силовым линиям электрического поля. Таким образом, удается одновременно демонстрировать стекание зарядов с острых выступов проводящего тела.

При демонстрации опыта в большой аудитории общее освещение должно быть выключено, а чашка с пленкой освещена одной лабораторной лампой сверху, а другой — снизу, со стороны зрителей.

Количественный расчет опыта весьма сложен, но является достаточно наглядным качественное пояснение опыта. В условиях лекционной демонстрации можно ограничиться следующим пояснением. На поверхность незаряженной пленки действуют: давление воздуха внутри сегмента, ограниченного пленкой, направленное наружу;

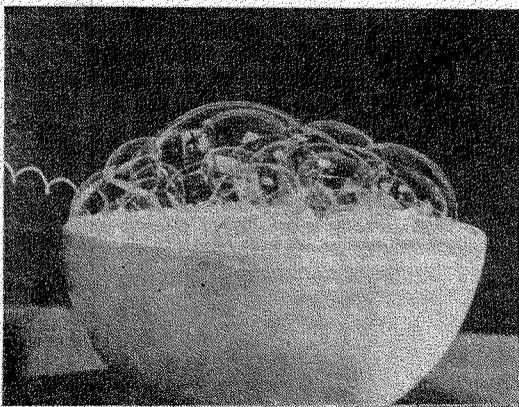


Рис. 1.

атмосферное давление p_a и давление p_n , вызванное поверхностным натяжением пленки. Давления p_a и p_n направлены внутрь сегмента. Если пленка достаточно тонка, то силу тяжести можно не учитывать. Перечисленные давления при определенном радиусе сегмента уравновешиваются, причем равновесие является устойчивым ².

При заряджении пленки электричеством к существующим давлениям добавляется действующее на внешнюю поверхность пленки, рассматриваемой как проводник, давление p_o , вызванное пондеромоторными силами. Давление p_o направлено наружу и равно $2\sigma^2$, где σ — поверхностная плотность заряда. На наиболее выступающих частях пленки электростатическое отталкивание σ и, следовательно, p_o больше, чем в других частях пленки. По этой причине давление p_o максимально в средних частях внешних

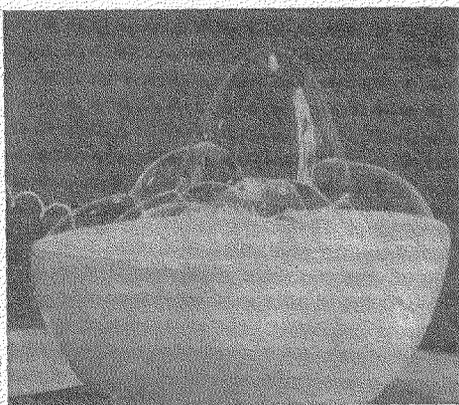


Рис. 2.

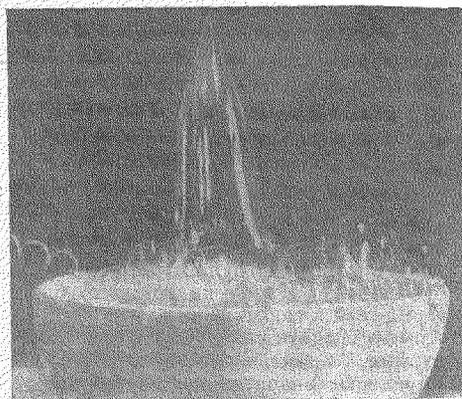


Рис. 3.

сегментов и эти части пленки вытягиваются, что вызывает дальнейшее увеличение плотности заряда σ на них. Однако при вытягивании сегмента радиус кривизны R его центральной части уменьшается, что вызывает увеличение давления $p_n = \frac{\alpha}{R}$, где α — коэффициент поверхностного натяжения. Увеличение p_n в некоторых пределах компенсирует рост давления p_o . Поэтому вытянувшиеся части заряженной пленки способны иногда достаточно долго сохранять свою форму, прежде чем происходит их разрыв.

При наличии в аудитории источника сжатого воздуха легко показать следующий вариант демонстрации, который можно условно назвать «стрельбой» мыльными пузырями по металлическому шару.

На стеклянную трубку надевается бумажный наконечник, обернутый несколькими витками медного провода. Провод соединяется с заземленным полюсом индукционной машины. Металлический шар (или диск) на изолирующей подставке соединяется с незаземленным полюсом машины. Стеклянная трубка насаживается на резиновую, соединенную с источником сжатого воздуха. Затем бумажный наконечник трубки опускается в мыльный раствор и в трубку пускают слабую струю воздуха. При приближении расположенной горизонтально трубки открытым концом к шару из нее вырываются мыльные пузыри, летящие затем к шару. Приближающиеся к шару достаточно большие пузыри под действием пондеромоторных сил заметно деформируются. Величина мыльных пузырей легко регулируется изменениями скорости истечения воздуха из трубки и расстояния трубки от шара.

Л. Н. Каниц

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Е. Тамм, Основы теории электричества. М., Гостехиздат, 1954.
2. С. П. Стрелков, И. А. Эльцин, И. А. Яковлев, Сборник задач по общему курсу физики, изд. 2-е, Часть 1, объяснение к задаче 475. М., Физматгиз, 1960.