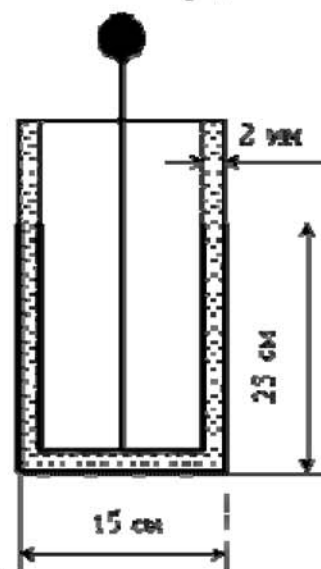


«Мушенброкова машина», или лейденская банка

Способность накапливать заряды присуща и уединенным проводникам, и устройствам, называемым конденсаторами. После того как получена формула плоского конденсатора и дана формула емкости уединенного шара, я часто на уроках в 10-м классе предлагаю



разобрать несколько задач из сборника задач А.В.Цингера [1].

- № 1116. Емкость конденсатора тем больше, чем больше поверхность обкладок и чем меньше расстояние между ними. Почему же для увеличения емкости лейденской банки не оклеивают станионом всю ее поверхность доверху? Почему лейденские банки не делают из более тонкого стекла?
- № 1118. Диаметр основания лейденской банки $D=15\text{ см}$, высота слоя станиола $h=25\text{ см}$, толщина стекла $d=2\text{ мм}$ (рис. 1). Диэлектрическая проницаемость стекла $\epsilon=6$. Вычислите приблизительно емкость этой банки и радиус R изолированного шара, который обладал бы такой емкостью.

Указанные в задаче размеры лейденской банки несколько превосходят размеры конденсаторов электрофорной машины и близки к модели, когда-то выпускавшейся для физических кабинетов. Показав лейденскую банку и ее устройство «в натуре» и обсудив задачу № 1116, приступаем к расчету радиуса изолированного шара, равного по емкости лейденской банке (расчет самой емкости оставляю на дом).

Дано: $D = 15\text{ см}$, $h = 25\text{ см}$, $d = 2\text{ мм} = 0,2\text{ см}$, $\epsilon = 6$.	Решение $C_{\text{лб}} = (\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S) / d$ – формула плоского конденсатора. $S = S_{\text{бок}} + S_{\text{дно}} = \pi D h + \pi D^2 / 4$.
Найти: R .	$C_{\text{ш}} = 4\pi \epsilon_0 R$ – емкость шара. $C_{\text{ш}} = C_{\text{лб}}$ – по условию задачи. $4\pi \epsilon_0 R = [\epsilon \cdot \epsilon_0 (\pi D h + \pi D^2 / 4)] / d$. $R = [\epsilon (D h + D^2 / 4)] / (4 d)$.
Расчет	

$$R = \frac{6(15 \text{ см} \cdot 25 \text{ см} + 0,25 \cdot 15 \text{ см} \cdot 15 \text{ см})}{4 \cdot 0,2 \text{ см}} \approx 3234 \text{ см} \approx 32,3 \text{ м.}$$

Ответ. 32,3 м.

Итак, диаметр шара, способного накопить заряд, какой накапливает банка, умещающаяся в руках, – примерно 65 м, что сравнимо с высотой 20-этажного дома. Так ученики получают наглядное представление о конденсаторе как о накопителе заряда.

Электрофорная машина – самый удивительный прибор из демонстрационного оборудования школьного кабинета. Стоит обратить внимание ребят на то, что возникающие мощные электрические искры связаны со способностью конденсаторов быстро накапливать и отдавать значительный электрический заряд (энергию). Именно возможность получать мощные электрические разряды заставила ученых XVIII в. обратить внимание на лейденскую банку – простейший конденсатор.

Существует много версий того, как возникла «мушенброкова машина» (такое название дал М.В.Ломоносов [2]). Вот одна из них [3]: «В 1745 г. немецкий каноник Эвальд Юрген фон Клейст, пытаясь, по-видимому, изготовить себе электризованную воду, которая считалась полезной для здоровья, и независимо от него лейденский физик Мушенбрук, продев в горлышко банки с водой гвоздь, дотронулись им до проводников электрической машины; затем, прервав контакт, они притронулись другой рукой к гвоздю и испытали очень сильный удар, вызвавший онемение руки и плеча, а у Мушенбрука даже “все тело содрогнулось, как от молнии”» (рис. 2).

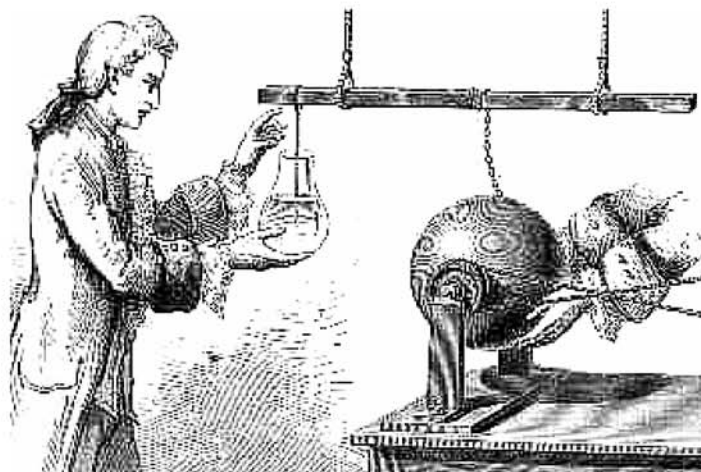


Рис. 2. Опыт Мушенбрука

В пользу этой версии (хотя есть и другие* говорит то, что в середине XVIII в. проводились «широкомасштабные» опыты по электризации воды. «Вода – то же вещество, писал Л.Эйлер [5], – которое легко получает электричество путем передачи. Удавалось наэлектризовать целый пруд, так что, когда к нему приближали палец, видно было как из него выскакивали искры, и чувствовалась боль». Хотя в другом письме сам Эйлер высказывает осторожный пессимизм относительно возможности наэлектризовать целый пруд. Но в письме № 149 он специально пишет «О лейденском опыте» и приводит подробный рисунок установки. На рисунке видна самая обыкновенная банка с водой! И хотя Л.Эйлер дает объяснение действия лейденской банки в духе развиваемой им теории эфира, предваряет он его такими словами: «...знаменитый лейденский опыт, который тем более удивителен, что трудно понять, каким образом колба и вода резервуара способствуют усилению эффекта электричества до столь ужасных размеров» [5]. Недаром

М.В.Ломоносов называет этот конденсатор «машиной», как нечто неизведанное и хитроумное (в словаре В.И.Даля: машинистый – сложный и хитрый устройством), а производимое действие таково, что упоминает о ней он в связи с гибелью Г.Рихмана в 1753 г.: «Мушенброковой машины при том не было» [2], – не она виновата!»



Рис. 3. Пара лейденских банок, изготовленная студентами в 1890–1910 гг. Банки имеют разные наконечники – сферический и игольчатый. Скорее всего они использовались при изучении электрических разрядов в воздухе

Для нас более, наверное, непостижимо, как от банки с водой ученые пришли к современным конденсаторам: «...воду заменили дробью, а затем наружная поверхность покрывалась тонкими свинцовыми пластинами; позднее внутреннюю и наружную поверхности стали покрывать оловянной фольгой, и банка приобрела современный вид. При проведении исследований с банкой в 1746 г. было установлено, что количество электричества, собираемое в банке, пропорционально размеру обкладок и обратно пропорционально толщине изоляционного слоя» [4].

Урок должен пробуждать интерес к знанию и познанию (рис. 3–5). Эту банальную истину часто легче высказать, чем претворить в жизнь. Поэтому задача, допускающая наглядную демонстрацию (а школьникам в сильной степени еще присуще конкретное мышление!), сопровождаемая небольшим экскурсом в историю (нужно показать, как удивительно человеческая мысль через воду, ртуть, свинцовые дробинки дошла до тонких листов фольги, разделенных бумагой), может оживить изложение материала и в обычном классе, и в классе с углубленным изучением физики. Закончить урок (или часть урока) можно демонстрацией «начинки» современного бумажного конденсатора.



Рис. 4. Батарея из девяти лейденских банок. При закорачивании раздается звук, как при выстреле батареи ружей



Рис. 5. Лейденская банка из Королевского шотландского музея в Эдинбурге

Литература

1. А.В.Цингер. Задачи и вопросы по физике. – ГОНТИ, 1938.
2. М.В.Ломоносов. Изъяснения, надлежащие к слову о электрических воздушных явлениях. /ПСС. Т. 3. Труды по физике. – М.–Л.: Изд. АН СССР, 1952.
3. М.Льоцци. История физики. – М.: Мир, 1970.
4. О.Н.Веселовский, Я.А.Шнейберг. Очерки по истории электротехники. – М.: Изд. МЭИ, 1993.
5. Л.Эйлер. Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях./Письмо № 138. – СПб.: Наука, 2002.

*«Зная, что стекло не проводит электричества, Мушенбрук (1692–1761 гг.) в 1745 г. взял стеклянную банку (колбу), наполненную водой, опустил в нее медную проволоку, висевшую на кондукторе электрической машины и, взяв банку в правую руку, попросил своего помощника вращать шар машины. При этом он правильно предположил, что заряды, поступающие с кондуктора, будут накапливаться в стеклянной банке. После того, как, по его мнению, в банке накопилось достаточное количество зарядов, он решил левой рукой отсоединить медную проволоку. При этом он ощутил сильный удар, ему показалось, что пришел конец. В письме к Реомюру в Париж (1746 г.) он писал, что этот “новый и страшный опыт советую самим никак не повторять” и что “ради короны Франции” он не согласится подвергнуться “столь ужасному сотрясению”» [4].