

Почему вращается вертушка?

**А.КАРАЧИ, Д.КУЗОВКИН, В.СУХОМЕСОВ,
С.ТОДЫШЕВ**

ЕСЛИ ИЗОГНУТЬ ПРОВОЛОЧКУ, как показано на рисунке 1, повесить на иглу и подключить к борну (полюсу) электрофорной машины, а машину привести во вращение, то и вертушка начинает вращаться. При этом вращение происходит при подключении вертушки как к «минусу», так и к «плюсу» машины.

Краткое упоминание об этом опыте и описание его механизма мы нашли

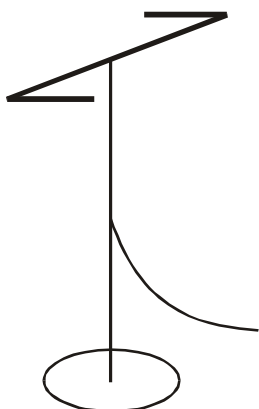


Рис. 1

лишь в книге Дж.Уокера «Физический фейерверк» (М.: Мир, 1979): «Эта вертушка была предметом споров на протяжении двух столетий... В учебной физической лаборатории иногда демонстрируют вертушку, которая приводится в движение подключением ее к высоковольтному источнику постоянного напряжения... Вертушка крутится потому, что воздух вблизи ее острия ионизируется. В сильном электрическом поле образовавшиеся ионы и острие оказываются заряженными одинаково и отталкиваются».

Мы решили исследовать этот процесс и попробовать его объяснить. Вертушку сделали из медной проволоки диаметром 1 мм с лаковой изоляцией. Для усиления эффекта электрофорную машину заменили высоковольтным преобразователем «Разряд-1», так что на вертушку теперь подавалось напряжение 5000 В. Вот что у нас получилось.

Прежде всего, опыты показали, что скорость вращения вертушки зависит от взаимного расположения вертушки и провода, которым она подсоединялась к преобразователю. При некотором их взаимном расположении вертушка совсем не вращалась.

Поставив вертушку на середину дна ведра, подводящий провод расположили вплотную к его дну и стенке и с помощью гальванометра измеряли ток, текущий через вертушку. Оказалось, что величина тока при подключении вертушки и к «минусу», и к «плюсу» преобразователя не превышала 1 мкА и возникал некий запирающий эффект.

Шарик, предварительно заряженный отрицательно от эбонитовой палочки, потертой о шерсть, подключали к электрометру и опускали в зону вертушки. В случае подключения вертушки к «минусу» был обнаружен отрицательный заряд, а в другом случае – положительный.

Вертушка начинала вращаться, если ее ставили на дно банки из-под селедки, – запирающий эффект ослабевал.

Подсоединили ведро и вертушку к разным борнам преобразователя. Независимо от знаков на ведре и на вертушке, частота вращения вертушки возросла до 35–40 об/с (измеряли стробоскопом). При этом резко возрос и ток – он оказался более 20 мкА, а при изменении знака на вертушке гальванометр фиксировал изменение направления тока.

Эти опыты, казалось, и подтверждали ионный механизм вращения вертушки, и противоречили ему.

Затем мы решили провести опыты под колоколом вакуумной тарелки. При понижении давления в воздухе должен появиться тлеющий разряд, по форме которого можно определить характер движения электронов и ионов. От запирающего эффекта мы избавились, прилепив пластилином к внутренней стороне колокола по его окружности алюминиевую фольгу, кото-

рую проволочкой соединили с одним из электродов тарелки, а иглу с вертушкой укрепили на брусках в середине тарелки.

С помощью вакуумного насоса начали откачивать воздух из-под колокола, и при давлении около 0,3 атм появился тлеющий разряд. Наши ожидания полностью оправдались. Наблюдаемая форма канала тлеющего разряда позволила убедиться в том, что при «минусе» на вертушке с торцов концов вертушки срывается поток электронов, движущихся по параболе к фольге, а при изменении полярности электронные пучки вырываются из фольги и также по параболе летят к торцам концов вертушки. Особенно отчетливо это наблюдалось в момент включения преобразователя.

Все эти эксперименты снимались видеокамерой, что позволяло проводить просмотр в режиме паузы. Но, к сожалению, всей красоты наблюдаемых эффектов видеосъемка не дает.

Однако на этом мы не остановились.

Прикрепив пластилином к фольге по окружности гвоздики, острыми к центру вертушки на ее высоте, мы создали резко неоднородное поле и повторили весь эксперимент. В этом случае вышеописанные эффекты выглядели еще убедительнее и красивее. Для большей наглядности мы «застопорили» вертушку пластилиновым столбиком и получили возможность без помех разглядывать форму канала тлеющего разряда.

Затем мы повесили на иглу прямую проволочку и опять повторили весь эксперимент. Проволочка не вращалась, хотя мы и пытались вывести ее из состояния покоя, резко поворачивая тарелку. Возникла мысль, что вращение происходит за счет электронных пучков. Однако, когда под колоколом тарелки было создано разрежение на пределе возможностей насоса и были повторены опыты, оказалось, что вертушка не вращается! Небольшое свечение остатков газа явно говорило о том, что электронные пучки как шли, так и идут. Следовательно, вращение вертушки происходит не за счет электронных пучков?

Мы осторожно начали впускать под колокол воздух – при давлении около 0,1–0,12 атм вращение вертушки возобновилось. Значит, ее заставляют вращаться ионы?

И еще один опыт. Проволочку вблизи концов загнули кольцами в противоположных направлениях, причем

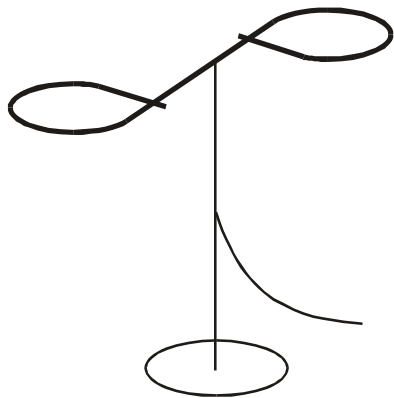


Рис. 2

так, чтобы концы упирались в проволочку (рис.2). При подаче на такую вертушку как «плюса», так и «минуса» вращение происходило против часовой стрелки. Но если концы колец не упираются в проволочку, вертушка при любом знаке вращается по часовой стрелке.

Затем мы провели серию наблюдений за поведением вертушки в ведре, заполненном водой или компрессорным маслом, при условии что вертушка и ведро подключались к разным борнам преобразователя.

Оказалось, что в воде вертушка не вращалась. Возможно, это связано с тем, что относительная диэлектрическая проницаемость воды равна 81 и напряжение, равное 5000 В в воздухе, превращается в воде в 60 В. Для проверки мы поставили вертушку в пустое ведро и подали напряжение 44 В – вертушка не вращалась.

Относительная диэлектрическая проницаемость масла всего 2,5. В масле вертушка вращалась, правда весьма медленно, так как велико механическое сопротивление движению. Вблизи концов вертушки возникало свечение, образовывался канал пузырьков (масло кипело) и наблюдалось движение масла от торцов концов вертушки.

И тут появилась идея. Похоже, что механизм вращения вертушки тот же, что и у прямого воздушного реактивного двигателя. В нем набегающий поток воздуха нагревается в камере сгорания, с большой скоростью выбрасывается из сопла и создает реактивную силу. У вертушки роль «камеры сгорания» играет электрический ток, который «разогревает» нейтральные молекулы, в результате чего их импульсы возле торцов концов вертушки возрастают – и вертушка вращается. Приток новых молекул обеспечивает окружающая среда.

(Похожий механизм вращения – у крыльчатки радиометра, но там нагревание воздуха происходит за счет излучения, а разность скоростей движения молекул возникает за счет различия температур зачерненной и блестящей сторон крыльчатки.)

Чтобы убедиться в правильности нашего предположения, надо было нагреть воздух возле торцов концов вертушки, не подключая ее к преобразователю, и посмотреть, будет ли вертушка вращаться. Горящие свечи не помогли. Тогда между электродами, расположенными в вертикальной плоскости и подключенными к пре-

образователю, создали искровой разряд и в его зону поместили конец вертушки. Вращение началось, но ... происходило оно исключительно за счет электростатического взаимодействия, порожденного электростатической индукцией.

При этом выяснилось, что если торцы вертушки обработать напильником, чтобы они не имели заострений, вертушка все равно вращается.

Пробовали подавать переменное напряжение с выходной обмотки трансформатора преобразователя – вертушка вращалась. А как красиво выглядел этот опыт при возникновении тлеющего разряда!

Итак, пора делать выводы.

Во-первых, для вращения вертушки не является необходимым ни заострение ее концов, ни подключение к источнику постоянного напряжения.

Во-вторых, весьма вероятно, что вращение вертушки происходит за счет нескомпенсированного импульса газовых молекул, взаимодействующих с вертушкой. Большой импульс имеют молекулы газа, нагревающегося в зоне канала электрического разряда, вблизи торцов концов вертушки.

В-третьих, электрический ток в этих опытах оказывается необходимым и наиболее удобным средством нагревания среды.

Однако осталось сомнение: может быть, при вращении вертушки имеет место и ионный механизм, и тепловой? Но в какой пропорции?..