

ции, которую покажет вольтметр, будет равна

$$U = -\frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} + \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} + \frac{\Delta\Phi_3}{\Delta t} = -\frac{BR^2v}{2(R-r)} + \frac{Br^2v}{2(R-r)} + BRv = \frac{Bv(R-r)}{2}.$$

Задачу можно решить и другим, более простым способом, рассматривая не изменение магнитного потока через контуры, а движение проводников в магнитном поле. Заметим, что при движении катушки нескомпенсированная ЭДС возникает только на участке провода, начинающемся в точке касания катушки и стола и заканчивающемся в точке *A*. Это следует из того, что все идущие вверх участки намотанного на катушку

провода, кроме указанного, имеют соответствующие идущие вниз участки по другую сторону вертикальной оси симметрии катушки, и возникающие в этих участках провода ЭДС взаимно компенсируются. Остающийся «нескомпенсированным» участок провода имеет длину  $R - r$ , его начало в любой момент времени покоится, а конец движется вдоль стола со скоростью  $v$ , причем скорость точек этого воображаемого проводника, лежащих между его началом и концом, равномерно возрастает от 0 до  $v$ . Поэтому средняя скорость этого проводника направлена горизонтально и равна  $v_{cp} = v/2$ , а возникающая в нем ЭДС составляет

$$U = B(R-r)v_{cp} = \frac{Bv(R-r)}{2}.$$

*А. Якута*

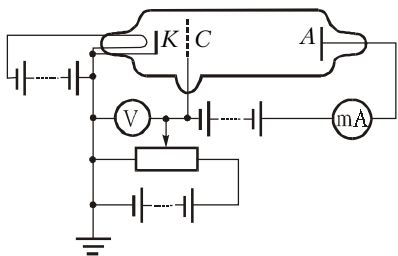
О Л И М П И А Д Ы

# VII Международный турнир «Компьютерная физика»

## Заочный тур. Опыт Франка и Герца

В начале XX века стала понятна недостаточность традиционных классических представлений для описания физических явлений в микромире. Получили развитие новые, квантовые представления о строении вещества. Первая квантовая модель атома водорода была создана Н.Бором в 1913 году. Согласно этой модели, электрон в атоме может иметь только строго определенные значения энергии (энергетические уровни), т.е. атом имеет дискретную структуру.

В 1913 году Дж.Франком и Г.Герцем был проведен эксперимент, доказавший наличие в атоме дискретных энергетических уровней (в 1925 году эта работа была удостоена Нобелевской премии по физике). Опыт состоял в следующем. К разрядной трубке, содержащей катод *K*, анод *A* и сетку *C*, подавалось напряжение, как показано на рисунке. Трубка заполнялась насыщенными парами ртути. Электроны эмитировались с поверхности катода, ускорялись в пространстве между *K* и *C*, а затем попадали в тормозящее поле между *C* и *A*. В процессе движения от катода к аноду электроны испытывали упругие и неупругие соударения с атомами ртути. При упругом соударении атом ртути оставался в основном состоянии, при неупругом переходил в возбужденное состояние. В эксперименте измерялся анодный ток (количество электронов, пришедших на анод) в зависимости



*Об условиях и порядке проведения этого турнира рассказано в предыдущем номере журнала «Квант», а также на сайте <http://www.informika.ru/text/goscom/gluon>.*

от величины напряжения между *K* и *C*. Анализ вольт-амперных характеристик привел к доказательству того, что при возбуждении атом теряет строго определенное значение энергии, т.е. атом имеет дискретную энергетическую структуру.

## Двумерная компьютерная модель опыта Франка и Герца

Для простоты будем считать, что движение электронов происходит всего в двух пространственных измерениях ( $x, z$ ), причем ось  $z$  направлена вдоль оси системы.

Предполагается моделировать движение электронов между *K* и *A* методом Монте-Карло (методом статистических испытаний). В рамках этого метода прослеживается судьба конкретного электрона, эмитируемого с катода и совершающего случайное движение в газе в результате упругих и неупругих столкновений с атомами ртути. Движение между столкновениями происходит под действием внешнего постоянного однородного электрического поля. Каждое столкновение происходит в случайный момент времени, и направление вектора скорости после рассеяния на атоме ртути является также случайным. Общее представление о физическом процессе – величине анодного тока, его зависимости от ускоряющего и тормозящего напряжений, энергетическом распределении электронов в определенной точке пространства и т.п. – получается в результате усреднения результатов анализа движения большого количества отдельно взятых электронов.

Пусть средняя частота упругих соударений  $\nu_0$  постоянна (т.е. не зависит от энергии). Потеря энергии в неупругих соударениях составляет  $\epsilon^* = 4,9$  эВ (энергия возбуждения),

*(Окончание см. на с.40)*