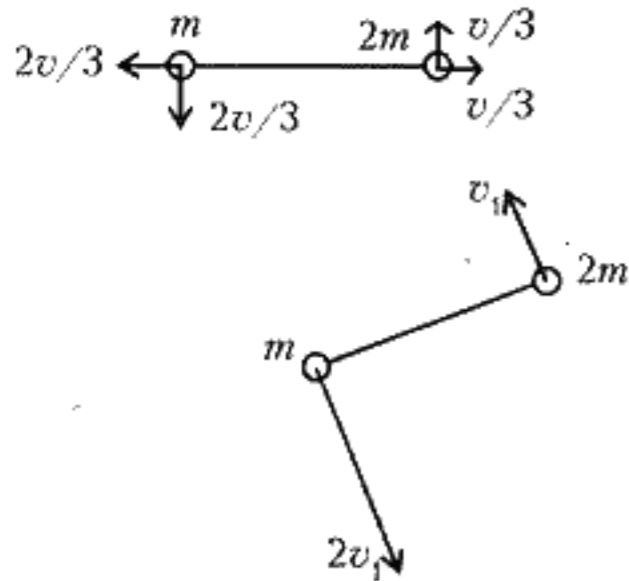


от легкого шарика, скорость легкого шарика такая же по величине, но перпендикулярная указанной прямой. При какой величине зарядов шарика при дальнейшем движении побывают дважды на расстоянии 3 м друг от друга? Гравитационным взаимодействием шариков пренебречь.

Заряды шариков не должны быть слишком велики — иначе шарика просто не разлетятся на расстояние  $3a$  (где  $a = 1$  м), заряды не должны быть и слишком малы — иначе шарика вообще разлетелись бы «на бесконечность» и не вернулись друг к другу. Итак, для того чтобы шарика побывали на указанном расстоянии дважды (а в этом случае — и многократно), их заряды



должны лежать в определенном интервале. Найдем его «верхнюю» границу — соответствующую случаю, когда максимальное расстояние между шариками составит  $3a$ . Для этого воспользуемся законом сохранения энергии — кинетическая энергия шариков уменьшается при разлете и на та-

кую же величину возрастает энергия электростатического взаимодействия зарядов. Однако не вся кинетическая энергия системы перейдет в электрическую — центр масс продолжает двигаться с неизменной скоростью, а шарика кроме «разлета» могут вращаться вокруг центра масс.

Перейдем в систему, связанную с центром масс шариков. Ее скорость удобно представить как сумму двух составляющих — вдоль линии шариков (начальный момент!) с величиной  $2v/3$  и перпендикулярно ей с величиной  $v/3$ .

На рисунке показаны скорости шариков в системе центра масс сразу после начала движения и на максимальном удалении  $3a$  (масштаб на рисунке не соблюдается — второй отрезок должен быть в 3 раза длиннее). Во втором случае шарика уже не разлетаются и их скорости перпендикулярны соединяющей их линии. Легко видеть, что скорость  $v_1$  тяжелого шарика во столько раз меньше скорости  $v/3$ , во сколько раз расстояние до центра масс для этого шарика больше начального, т.е.  $v_1 = v/9$ . Для легкого шарика эта скорость в два раза больше.

Запишем баланс энергий:

$$m \frac{4v^2}{9} + 2m \frac{v^2}{9} - m \frac{2v^2}{81} - 2m \frac{v^2}{2 \cdot 81} = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{3a} \right).$$

Отсюда получаем

$$q_1 = v \sqrt{\frac{68\pi\epsilon_0 m a}{18}} \approx 0,32 \text{ мкКл.}$$

Аналогично — для величины  $q_2$ , гарантирующей шарика от разлета на бесконечное расстояние. Но теперь можно не учитывать в энергии «вращательную» со-

ставляющую — при большом расстоянии между шариками она становится пренебрежимо малой, поэтому запишем

$$m \frac{4v^2}{9} + 2m \frac{v^2}{9} = \frac{q_2^2}{4\pi\epsilon_0 a}, \text{ и } q_2 = v \sqrt{\frac{8\pi\epsilon_0 m a}{3}} \approx 0,27 \text{ мкКл.}$$

Итак, при  $q_1 \geq q \geq q_2$  шарика побывают дважды (и еще много раз) на расстоянии 3 м друг от друга.

З.Рафаилов

Ф1620. Цепь на рисунке 1 содержит огромное коли-

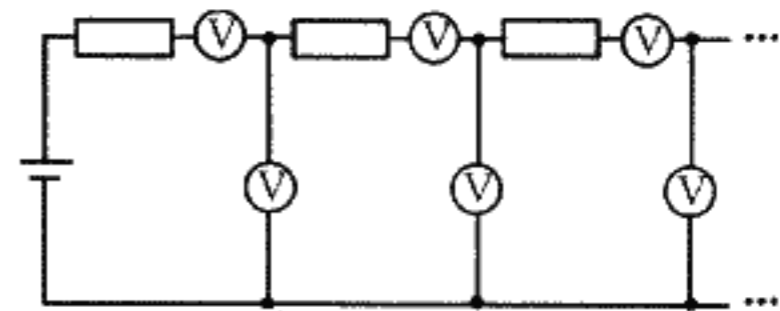


Рис.1

чество звеньев, каждое из которых состоит из резистора и двух вольтметров. Все вольтметры в цепи одинаковы, сопротивления всех резисторов равны между собой. Цепь подключают к батарейке, при этом первые два вольтметра показывают напряжения 6 В и 4 В (догадайтесь сами — какой показывает меньше, а какой больше). Найдите показания второй пары вольтметров. Найдите также сумму показаний всех вольтметров.

Обозначим сопротивление всей бесконечной цепочки  $X$ . Сопротивление такой цепочки не должно измениться при добавлении или отбрасывании одного звена (резистор и два вольтметра). Следовательно, параллельно

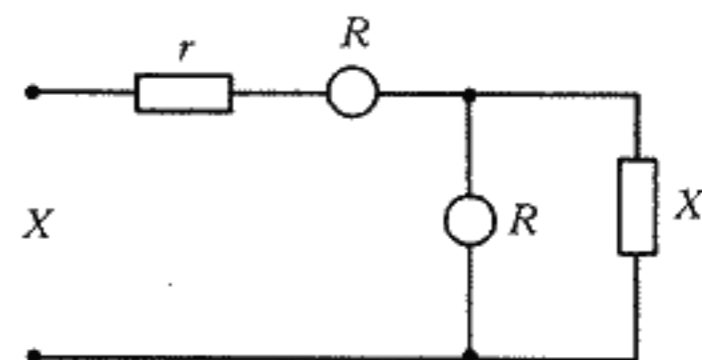


Рис.2

второму вольтметру включен резистор  $X$  (рис.2), и мы можем записать соотношения для упрощившейся схемы (вспомним показания вольтметров!):

$$\frac{RX}{R+X} = \frac{4R}{6}.$$

Отсюда  $X = 2R$ . Теперь легко найти величину  $r$ :

$$r + R + \frac{2R}{3} = X = 2R, \quad r = \frac{R}{3}.$$

Для первого звена напряжение на резисторе  $r$  получается 2 В, а напряжение батарейки составляет 12 В. Второе звено цепи (и бесконечная цепочка начиная со второго звена) подключено к напряжению 4 В, показания вольтметров этого звена в 3 раза меньше, чем первого звена, и т. д. Тогда понятно, что показания вольтметров второго звена составят 2 В и  $4/3$  В. Легко найти и сумму показаний вольтметров в этой цепи — первое звено даёт 10 В, второе в 3 раза меньше и т.д. Пользуясь формулой для нахождения суммы бес-