

Рис. 1

между пластинами (в полостях). Когда электрическое поле направлено вправо, электроны, пролетающие через входную полость, замедляются, а когда влево – ускоряются, так что вылетающие из входной полости электроны образуют сгустки (группы) на определенном расстоянии. Если выходная полость помещена в точку образования сгустка, электрическое поле в этой полости будет поглощать энергию из сгустка при условии, что разность фаз (временная задержка) выбрана соответствующим образом.

Пусть сигнал (напряжение, подаваемое на пластины) имеет прямоугольную форму с периодом  $T = 1,0 \cdot 10^{-9}$  с. Напряжение меняется в интервале  $U = \pm 0,5$  В, начальная скорость электронов  $v_0 = 2,0 \cdot 10^6$  м/с, отношение заряда к массе  $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг. Расстояние  $a$  между пластинами настолько мало, что временем прохождения электрона через полость можно пренебречь. С точностью до четырех значащих цифр вычислите следующие величины:

а) расстояние  $b$ , на котором электроны образуют сгусток; (1,5 б.)

б) необходимую разность фаз, которую должен обеспечить фазовый сместитель. (1 б.)

**В. Межмолекулярное расстояние.** Пусть  $d_1$  и  $d_2$  представляют собой средние расстояния между центрами молекул воды в жидкой и газообразной фазах соответственно. Предположим, что обе фазы находятся при  $100^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении, а пар ведет себя, как идеальный газ. Используя следующие данные: плотность воды в жидкой фазе  $\rho = 1,0 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса воды  $M = 1,8 \cdot 10^{-2}$  кг/моль, атмосферное давление  $p_a = 1,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль · К), число Авогадро  $N_A = 6,0 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>, подсчитайте отношение  $d_2/d_1$ . (2,5 б.)

**С. Простой генератор пилообразного сигнала.** Напряжение  $U_0$  пилообразной формы может быть получено между пластинами конденсатора  $C$ , показанного на рисунке 2. Резистор  $R$  представляет собой переменное сопротивление,  $U_i$  – напряжение идеальной батареи, а  $SG$  – искровой промежуток, состоящий из двух электродов с регулируемым расстоянием между ними. Когда напряжение, подаваемое на электроды, превосходит напряжение пробоя  $U_n$ , воздух между электродами ионизируется, в промежутке происходит короткое замыкание, и он остается в таком состоянии до тех пор, пока напряжение на промежутке не станет очень маленьким.

а) Изобразите график зависимости напряжения  $U_0$  на конденсаторе от времени  $t$  после того, как ключ будет замкнут. (0,5 б.)

б) Какое условие должно выполняться, чтобы получить почти линейно изменяющееся пилообразное напряжение  $U_0$ ? (0,2 б.)

в) В случае, когда условие б) выполнено, получите упро-

щенное выражение для периода  $T$  пилообразного напряжения. (0,4 б.)

д) Что вы должны менять ( $R$  или  $SG$ , или то и другое), чтобы изменить только период? (0,2 б.)

е) Что вы должны менять ( $R$  или  $SG$ , или то и другое), чтобы изменить только амплитуду? (0,2 б.)

ф) Вам дан дополнительный источник постоянного тока, напряжение которого можно изменять. Придумайте и нарисуйте новую цепь, указав полярность включения этого источника и его напряжение, с помощью которой можно получить пилообразное напряжение  $U'_0$ , изображенное на рисунке 3. (1 б.)

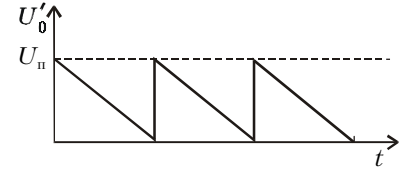


Рис. 3

**Д. Атомный пучок.**

Узкий пучок атомов можно получить, нагревая совокупность атомов в печи до некоторой температуры  $T$  и позволяя атомам вылетать горизонтально через маленькое (атомных размеров) отверстие диаметром  $D$  на одной стороне печи. Оцените диаметр пучка после того, как он пройдет в горизонтальном направлении расстояние  $L$ . Масса атома равна  $M$ . (2,5 б.)

**Задача 2. Система двойной звезды**

а) Хорошо известно, что большинство звезд образуют двойные системы. Одна из двойных систем состоит из обычной звезды с массой  $m_0$  и радиусом  $R$  и более массивной и плотной нейтронной звезды с массой  $M$ , вращающихся вокруг друг друга. Наблюдения такой двойной системы с Земли (движением которой можно пренебречь) дают следующую информацию: максимальное угловое смещение обычной звезды равно  $\Delta\theta$ , а максимальное угловое смещение нейтронной звезды равно  $\Delta\phi$  (рис.4); время, требуемое на такие смещения, равно  $\tau$ ; характеристики излучения обычной звезды указывают, что температура ее поверхности равна  $T$ , а энергия излучения, падающего на единицу

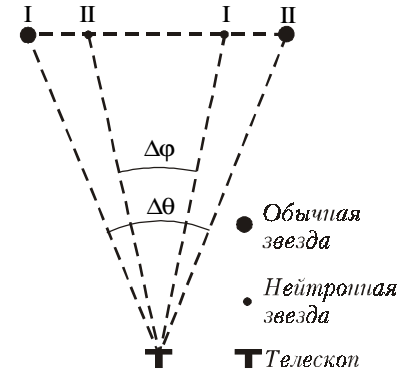


Рис. 4

площади поверхности Земли в единицу времени, равна  $P$ ; линия кальция в этом излучении смещена от своей нормальной длины волны  $\lambda_0$  на величину  $\Delta\lambda$  только из-за гравитационного поля обычной звезды (для этого расчета эффективная масса фотона принимается равной  $h/(c\lambda)$ ). Выразите расстояние  $l$  от Земли до этой системы только через заданные наблюдаемые величины и универсальные константы. (7 б.)

б) Предположим, что  $M \gg m_0$ , так что обычная звезда вращается вокруг нейтронной звезды по круговой орбите радиусом  $r_0$ . Пусть обычная звезда начинает излучать газ по направлению к нейтронной звезде со скоростью  $v_0$  относительно обычной звезды. Считая гравитационное воздействие нейтронной звезды на движение испущенного газа значительно большим влияния обычной звезды и пренебрегая изменениями орбиты обычной звезды, найдите расстояние  $r_{\text{max}}$  максимального сближения этого газа и нейтронной звезды. (3 б.)