

## Электромагнитные волны

ЗАДАЧА 1. Две радиоантенны  $A$  и  $B$  излучают волны на частоте  $f = 7,5$  МГц в фазе друг с другом. Расстояние между антеннами  $L = 110$  м. В каких точках  $P$  между ними сигнал максимален?

$$AP \text{ и } BP = \frac{L}{2} \pm \frac{L}{2} = n \lambda$$

ЗАДАЧА 2. Две антенны  $A$  и  $B$  излучают волны на частоте  $f = 3$  МГц в фазе друг с другом. Расстояние между ними  $L = 200$  м. На каком минимальном расстоянии  $l = BC$  интенсивность сигнала минимальна, если  $BC \perp AB$ ?

$$(1 = u \text{ или } n \lambda) \text{ и } \frac{L}{\sqrt{1+u^2}} - \frac{\sqrt{1+u^2}}{2T} = x$$

ЗАДАЧА 3. Две антенны излучают волны на частоте  $f = 800$  кГц в фазе друг с другом. Расстояние между ними  $L = 150$  м. Приёмник расположен очень далеко от антенн. В каких направлениях интенсивность принимаемого сигнала максимальна?

$$\frac{L}{\sqrt{1+u^2}} = n \lambda \text{ или } \frac{L}{\sqrt{1+u^2}} = \phi$$

ЗАДАЧА 4. (МФТИ, 1982) Плоская электромагнитная волна частотой  $f$ , сформированная рупорной антенной, падает перпендикулярно на плоский отражающий экран.

1) Определить амплитуду отражённой волны, если измеритель напряжённости электрического поля при перемещении между экраном и рупором зафиксировал максимальную амплитуду поля  $A_1$  и минимальную  $A_2$ .

2) Определить расстояние между соседними максимумами при перемещении измерителя.

$$\frac{fL}{c} = x \Delta \left( \frac{L}{2V} - \frac{L}{2V} = V \right)$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 1981) Приёмник радиосигналов, наблюдающий за появлением спутника Земли из-за горизонта, расположен на берегу озера на высоте  $H = 3$  м над поверхностью воды. По мере поднятия спутника над горизонтом наблюдаются периодические изменения интенсивности принимаемого радиосигнала. Определите частоту радиосигнала спутника, если последовательные максимумы интенсивности наблюдались при углах возвышения спутника над горизонтом  $\alpha_1 = 3^\circ$  и  $\alpha_2 = 6^\circ$ . Поверхность озера можно считать идеально отражающим зеркалом.

$$n \lambda \approx \frac{(10 - 2\alpha) H c}{\alpha} = f$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 1981) Коротковолновый передатчик работает на частоте  $f = 30$  МГц. Приёмник находится на расстоянии  $L = 2000$  км от него. Радиоволны достигают приёмника, отражаясь от ионосферных слоёв, расположенных на высотах  $h_1 = 100$  км и  $h_2 = 300$  км. Найти закон изменения интенсивности сигнала при перемещении приёмника вдоль прямой, соединяющей его с передатчиком. Перемещение мало по сравнению с  $L$ .

$$\Delta x \approx \frac{(L - \frac{L}{2}) f c}{2T} = x \Delta$$

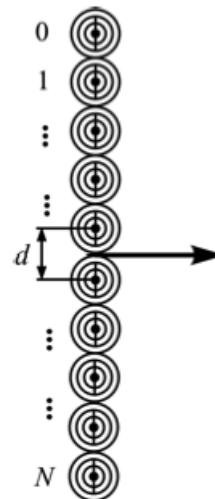
Задача 7. (МФТИ, 1981) Радиоизлучение от звезды, расположенной в плоскости экватора, принимается с помощью двух антенн, находящихся на экваторе на расстоянии  $L = 200$  м друг от друга. Сигналы с антенн подаются по кабелям одинаковой длины на приёмник. Найти закон изменения амплитуды напряжения на входном контуре приёмника в результате вращения Земли. Приём ведется на длине волны 1 м. Звезда мало отклоняется от зенита за время наблюдения.

$$\frac{U}{V} \approx \frac{v}{c} = \dots$$

Задача 8. (МОШ, 2011, 11) СВЧ-антенна радиолокатора устроена следующим образом: вдоль прямой линии на равных расстояниях  $d = 2,5$  см друг от друга расположены  $N = 100$  излучателей электромагнитных волн длиной  $\lambda = 2d$  (см. рисунок). Каждый из них излучает сферическую волну, причём модуль напряжённости поля  $n$ -го излучателя ( $0 \leq n \leq N$ ) изменяется по закону

$$E(t) = A \sin \left( \omega t - kr_n + \frac{n\pi}{2} \cos \Omega t \right),$$

где  $r_n$  — расстояние от данного излучателя,  $k = 2\pi/\lambda$  — волновое число, а  $\Omega \ll \omega$ . Найдите, как зависит от времени угол между лучом, излучаемым радиолокатором в плоскости рисунка, и нормалью к цепочке излучателей. Оцените угловую ширину луча и его угловую скорость.



См. конец листка

Задача 9. (Всеросс., 2015, финал, 11) Космический объект, движущийся вдоль некоторой прямой с постоянной скоростью, испускает периодические радиоимпульсы. Астроном установил, что за время наблюдения  $\Delta t$  видимое направление на этот объект изменилось на малый угол  $\Delta\varphi$ , а период между моментами прихода радиоимпульсов изменился от  $T$  до  $T + \Delta T$ , где  $\Delta T \ll T$ . Найдите расстояние от наблюдателя до объекта. Скорость радиоимпульсов равна скорости света  $c$ .

$$\frac{z(\Delta\varphi)L}{4\Delta T \Delta T^2} = \dots$$

### Ответ к задаче 8

Антенна испускает узкий луч, угол  $\varphi$  отклонения которого (от нормали к цепочке излучателей) меняется по закону

$$\varphi(t) = \arcsin \left( \frac{1}{2} \cos \Omega t \right),$$

причём угол максимального отклонения  $\varphi_{\max} = 30^\circ$ . При  $\varphi = 0$  максимальная угловая скорость качания луча  $\dot{\varphi}_{\max} = \Omega/2$ , а угловая ширина луча  $\Delta\varphi_{\min} = 2/N = 0,02$  рад.