

И, наконец, при  $r \gg D^2/\lambda$  волновой фронт становится сферическим, поле убывает как  $r^{-1}$  и осцилляции амплитуд в направлении распространения практически исчезают. Это дальняя зона А., где размер первой зоны Френеля становится больше раскрыва А. и где уже можно оперировать с обычным понятием ДН, т. е. зависимости амплитуды поля только от угловых координат.

**Параметры антенны.** ДН в общем случае записывается как комплексная ф-ция полярного  $\theta$  и азимутального  $\varphi$  углов:

$$\mathcal{F}(\theta, \varphi) = \mathcal{F}(\theta, \varphi) e(\theta, \varphi) \exp[i\Phi(\theta, \varphi)],$$

где  $\mathcal{F}(\theta, \varphi)$  — амплитудная ДН, обычно равная 1 в направлении главного максимума,  $e(\theta, \varphi)$  — единичная векторная функция, поляризация ДН,  $\Phi(\theta, \varphi)$  — фазовая ДН. Кроме амплитудной, часто используют ДН по мощности  $F(\theta, \varphi) = |\mathcal{F}(\theta, \varphi)|^2$  — угл. распределение плотности потока энергии излучения А. в дальней зоне.

Обе эти ДН сложных А. имеют лепестковую структуру, обусловленную интерференцией волн, излучаемых и рассеиваемых разл. элементами А. Там, где синфазно складываются поля всех элементов, формируется максимум, наз. главным. ДН  $\mathcal{F}(\theta, \varphi)$  и  $F(\theta, \varphi)$  обычно изображают в виде «объемной», рельефной картины, контурной карты с линиями равных уровней либо с помощью отдельных плоских сечений, чаще всего двух ортогональных плоских сечений, проходящих через направление гл. максимума и векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  (рис. 13). Т. к. осн. часть мощности, излучаемой А., сосредоточена в гл. лепестке, направленность излучения характеризуется его шириной, обычно по уровню половинной мощности  $\Delta\theta_{0,5}$ , иногда — углом между ближайшими нулями. Величина  $\Delta\theta_{0,5}$  определяет угловое разрешение А. и может быть приближенно оценена (в радианах) как  $\Delta\theta_{0,5} \approx \lambda/D \ll 1$  ( $D$  — размер А. в измеряемом сечении ДН) для остронаправленных А. с максимумом излучения, ориентированным перпендикулярно плоскости излучающего раскрыва (А. с поперечным излучением). Это соотношение совпадает с *Рэлеем критерием*, используемым в оптике для оценки разрешающей способности

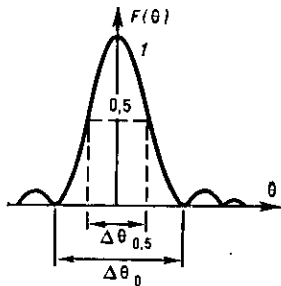


Рис. 13.

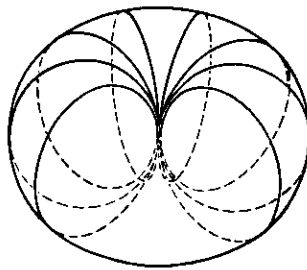


Рис. 14. Диаграммы направленности электрического и магнитного диполей.

систем. В т. н. сверхнаправленных А. это ограничение можно преодолеть за счёт создания резко осциллирующего фазового распределения (неустойчивого к малейшим флуктуациям). Кпд таких А. весьма мал, т. к. подавляющая часть энергии заключена в реактивном поле.

При уменьшении отношения  $D/\lambda$  ДН расширяется, однако даже у предельно малой А. ДН не является полностью изотропной из-за векторного характера эл. магн. поля (в акустике возможны изотропные ДН). Напр., ДН электрич. и магн. диполей имеет вид тороида, ось к-рого совпадает с осью диполя (рис. 14). Для А., излучающие элементы к-рых расположены вдоль нек-рой оси и питаются со сдвигом фаз, ориентирующих максимум излучения вдоль этой оси,  $\Delta\theta_{0,5} \approx (\lambda/D)^{1/2}$  (А. с продольным излучением).

Кроме главного, ДН содержит боковые и задние лепестки. Формирование этих лепестков удобно про-

следить на примере осесимметричной зеркальной А., где качественно боковые лепестки можно представить как результат интерференции «краевых волн», отразившихся от противоположных краёв раскрыва. На рис. 15 заштрихованы переходные области границ свет-тень, а кривые — гиперболы, линии пост. разности хода  $\lambda, 2\lambda, \dots, n\lambda$  от противоположных краёв раскрыва, соотв. максимумам первого, второго, ...,  $n$ -го боковых лепестков (т. е. краевые волны от обоих краёв приходят в фазе и их амплитуды складываются). Очевидно, боковой лепесток можно качественно считать сформировавшимся, если соответствующая ему гиперболы вышла за пределы заштрихованной области. По мере увеличения помера лепестка гиперболы приближаются к раскрыву А., т. е. дальние боковые лепестки формируются ближе к А. Задние лепестки определяются излучением облучателя А., прошедшим мимо зеркала, и дифракцией этого излучения на края зеркала. Обычно можно считать, что по мере удаления от А. общая энергия, излучаемая в задние лепестки, остаётся неизменной и лишь перераспределяется по углам. Шероховатости поверхности зеркала и детали конструкции А., рассеивая поле облучателя, приводят к появлению в ДН «фона» бокового и заднего излучения.

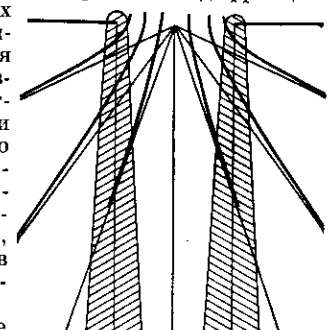


Рис. 15. Формирование боковых лепестков диаграммы направленности.

Кроме ДН по амплитуде и мощности часто используют поляризационные и фазовые ДН. Поляризац. ДН  $e(\theta, \varphi)$  — это зависимость поляризации поля (ориентации вектора  $\mathbf{E}$ ) от направления в дальней зоне (векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  в дальней зоне лежат в плоскости, нормальной к направлению распространения). Различают линейную и эллиптическую (в частности, круговую) поляризацию (см. *Поляризация волн*). Если плоскость, проходящая через  $e$  и  $n$  (направление распространения), с течением времени не меняет своей ориентации, то поляризация поля линейная, если конец вектора  $e$  описывает в плоскости, перпендикулярной  $n$ , эллипс или окружность (по часовой стрелке относительно  $n$  — правое вращение, против — левое), то поляризация эллиптическая или круговая. В общем виде поляризац. свойства полей излучения А. удобно описывать такими энергетич. параметрами, как *матрица когерентности* или *стоксовы параметры*. Последние имеют размерность плотности потока энергии и могут быть непосредственно измерены, что позволяет экспериментально исследовать поляризац. ДН.

Фазовая ДН  $\Phi(\theta, \varphi)$ , в отличие от амплитудной, зависит от расположения начала координат на А. Если можно найти такое положение начала координат, относительно к-рого фаза постоянна (не зависит от угла) или скачком меняется на  $\pm\pi$  при переходе от одного лепестка ДН к другому, то такое начало координат наз. фазовым центром А. Обладающие фазовым центром А. можно считать источником сферич. волн. В большинстве случаев А. не имеют фазового центра. Поэтому часто вводят условный фазовый центр — центр кривизны поверхности (или линии) равных фаз в заданном (обычно — главном) направлении.

**Энергетические параметры излучения антенны.** Важными параметрами А. также являются: КНД  $D(\theta, \varphi)$ , коэффициент усиления  $G = D\eta$ , где  $\eta$  — кпд А., коэффициент рассеяния  $\beta$  — доля мощности, излучаемой вне гл. лепестка (или любого телесного угла) ДН, ср. уровень боковых лепестков  $\alpha$ , а также диапазонность (полоса частот). КНД  $D(\theta, \varphi)$  характеризует степень концентрации (выигрыш) по мощности в данном направлении. Он равен отношению мощ-