

Отражение плоской электромагнитной волны от квадратного участка поверхности

Пусть длина плоской монохроматической электромагнитной волны λ много меньше характерных размеров неровностей поверхности твердого или жидкого вещества, проводящего электрический ток (т.е. $\lambda \ll r_{\text{cor}}$, где r_{cor} – радиус автокорреляции высот неровностей отражающей поверхности). В этом случае неровную поверхность можно разбить на множество ровных квадратных участков (фасетов), и рассматривать отражение лучей электромагнитной волны от каждого фасета по отдельности (рис. П.1.1 а,б).

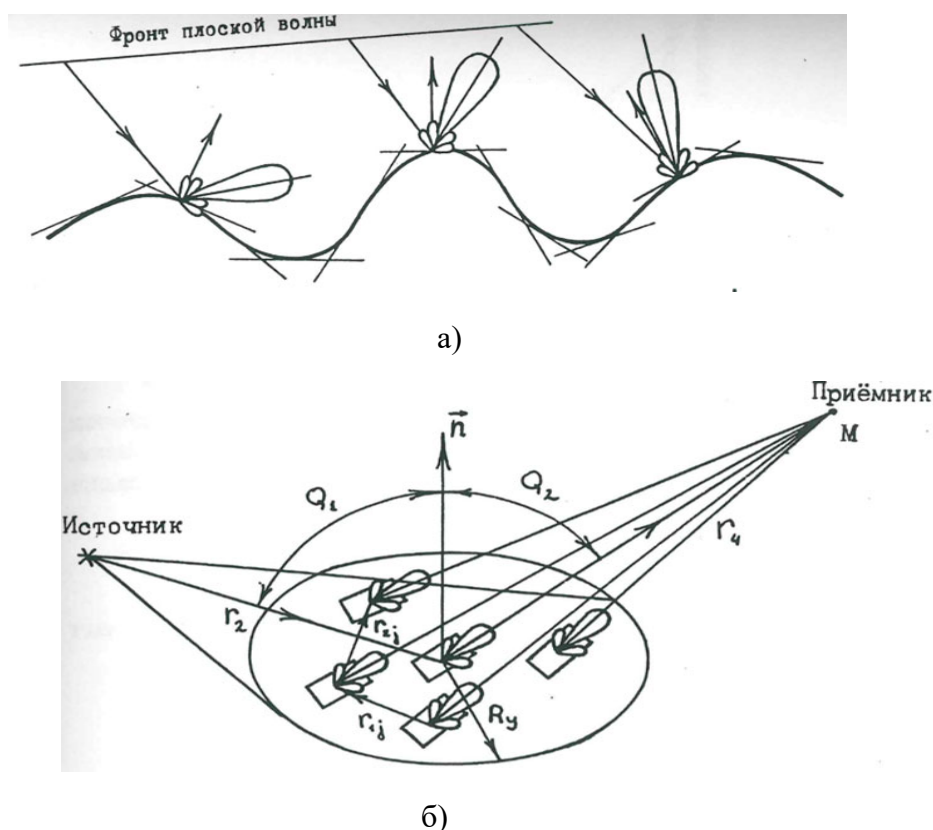


Рис. П.1.1 Рассеяние электромагнитной волны на поверхности, аппроксимированной ровными квадратными участками (фасетами). а) Максимуму главного лепестка диаграммы рассеяния каждого фасета направлен по законам геометрической оптики: лежит в плоскости падения и угол отражения равен углу падения; б) В сторону антенны приемника направлены только те главные лепестки диаграмм рассеяния, фасеты которых ориентированы соответствующим образом

Под «лучом» электромагнитной волны здесь подразумевается цилиндр, ось которого соединяет источник электромагнитной волны с центром отражающего фасета, а диаметр основания данного цилиндра примерно совпадает с размером одной из сторон b_n квадратного фасета.

Определим диаграмму рассеяния плоской монохроматической электромагнитной волны (ЭМВ) на одном фасете, идеально проводящем электрический ток. Предположим, что точка излучения (излучатель, рис. П.1.1б) и точка наблюдения (приемник) находятся на большом расстоянии от фасета (т.е. $b_n \ll r_2$ и $b_n \ll r_4$), так что падающие на фасет и отраженные от фасета лучи ЭМВ можно считать практически параллельными. При этом сигнал, отправляемый от любой точки на квадратном фасете к антенне приемника имеет вид

$$E_i(x, y) = \frac{E_m}{r_1} \exp \left\{ i \left(\omega_1 t + \frac{2\pi}{\lambda} \left[x(\cos \nu \sin \omega + \cos \vartheta \sin \gamma) + y(\cos \nu \cos \omega + \cos \vartheta \cos \gamma) - r_2 \right] \right) \right\} \quad (\text{П.1.1})$$

где x и y определяют координаты каждой точки на квадратном фасете;

E_m – Амплитуда напряжённости монохроматической ЭМВ возле излучателя.

r_1 – расстояние от источника ЭМВ до центра фасета (рис. П.1.1б);

r_2 – расстояние от центра фасета до антенны приемника лучей ЭМВ, отраженных от фасета (рис. П.1.1 б);

ω_1 – частота колебаний монохроматической электромагнитной волны;

ϑ, γ – углы, задающие направление луча ЭМВ, падающего на фасет (рис. П.1.2);

ν, ω – углы, задающие направление луча ЭМВ, отраженного от фасета.

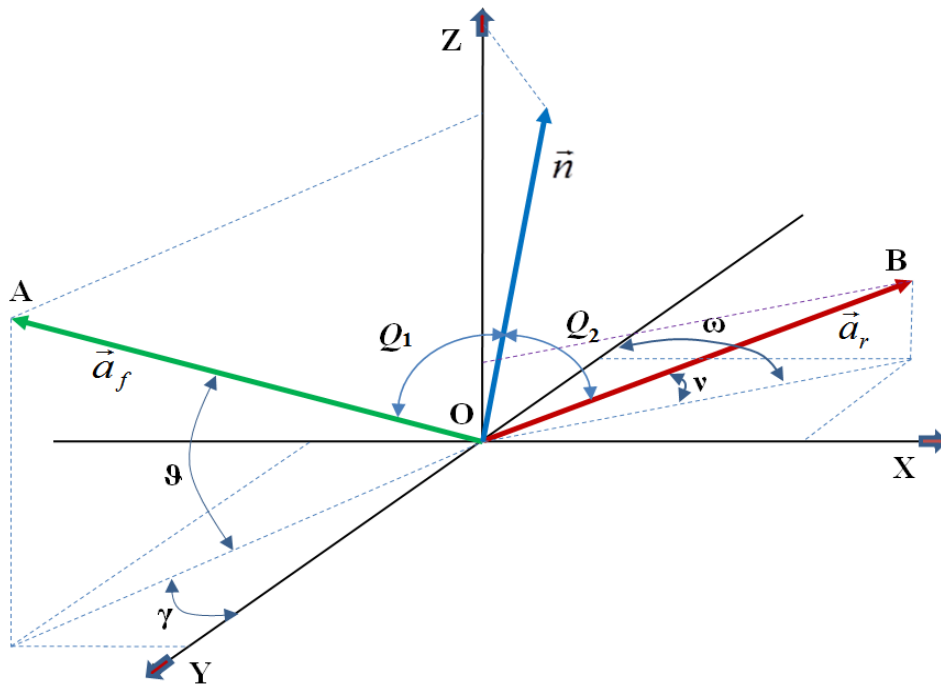


Рис. П.1.2 Углы ϑ, γ определяют направление луча ЭМВ, падающего на фасет; углы ν, ω определяют направление луча ЭМВ, отраженного от фасета

Интегрируя выражение (П.1.1) по всей площади фасета, получим

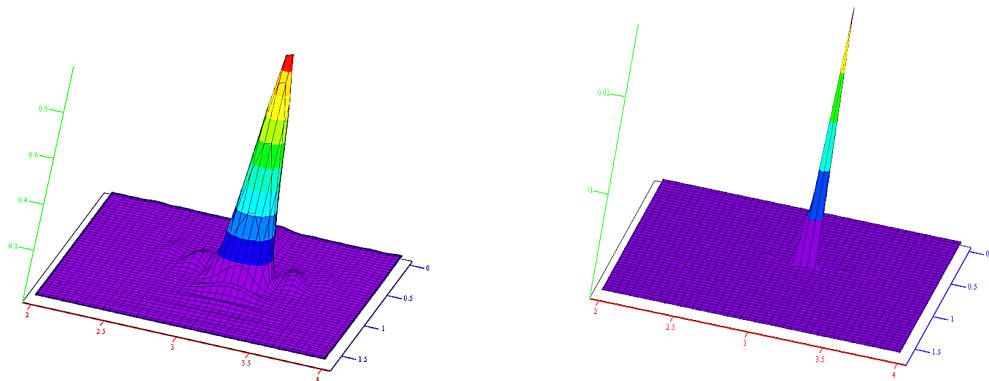
$$E_{\Sigma} = \iint_{b_n^2} E_i(x, y) dx dy = \frac{\sin \left\{ \frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \sin \omega + \cos \vartheta \sin \gamma) \right\}}{\frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \sin \omega + \cos \vartheta \sin \gamma)} \times$$

$$\times \frac{\sin \left\{ \frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \cos \omega + \cos \vartheta \cos \gamma) \right\}}{\frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \cos \omega + \cos \vartheta \cos \gamma)} \times \frac{E_m}{r_1} \exp \left\{ i \left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 \right) \right\} \quad (\text{П.1.2})$$

Первый и второй сомножители в выражении (П.1.2), возведенные в квадрат, является искомой диаграммой рассеяния по мощности плоской, монохроматической ЭМВ от идеально проводящего и ровного квадратного участка поверхности (фасета)

$$D_r(\nu, \omega / \vartheta, \gamma) = \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \sin \omega + \cos \vartheta \sin \gamma) \right\}}{\left[\frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \sin \omega + \cos \vartheta \sin \gamma) \right]^2} \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \cos \omega + \cos \vartheta \cos \gamma) \right\}}{\left[\frac{2\pi b_n}{\lambda} (\cos \nu \cos \omega + \cos \vartheta \cos \gamma) \right]^2} \quad (\text{П.1.3})$$

Диаграммы рассеяния, рассчитанные по формуле (П.1.3), показаны на рис. П.1.3 (смотрите Приложение 12)



а) при $\vartheta = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $b_n / \lambda = 3$

б) при $\vartheta = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $b_n / \lambda = 50$

Рис. П.1.3. Диаграммы рассеяния по мощности плоской, монохроматической ЭМВ от идеально проводящего и ровного квадратного участка поверхности (фасета). Расчеты выполнены по формуле (П.1.3) с помощью программного обеспечения MathCad

Сечение диаграммы рассеяния (П.1.3) в плоскости падения и отражения луча ЭМВ показана на рис. П.1.4.

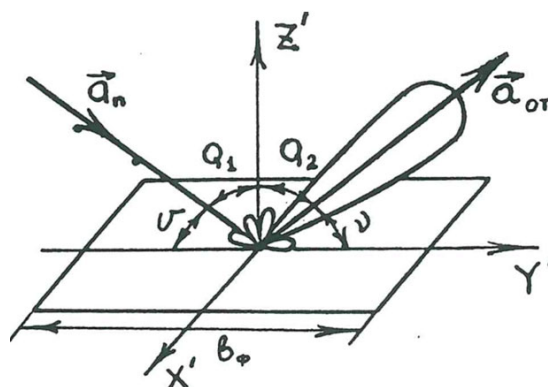


Рис. П.1.4 Сечение диаграммы рассеяния луча плоской электромагнитной волны от равно-го квадратного участка поверхности (фасета), проводящего электрический ток

Из диаграмм рассеяния (ДР), показанных на рис. П.1.3, видно, что при увеличении отношения b_n / λ главный лепесток ДР утончается и вытягивается, а боковые лепестки исчезают. При больших b_n по отношению к λ (т.е. при $b_n / \lambda \rightarrow \infty$) диаграмма рассеяния (П.1.3) вырождается в дельта функцию, т.е. отраженный большим фасетом луч ЭМВ становится бесконечно тонким. В этом случае законы отражения луча света от фасета (т.е. законы геометрической оптики) полностью совпадают с законами упругого отражения частиц от твердой поверхности при аналогичных условиях (т.е. когда частицы много меньше размеров твердой поверхности).

Другими словами в данном случае поведение луча света полностью соответствует поведению частицы (которую условно можно назвать фотоном). Фотон практически без потерь отражается от «зеркальной» поверхности по законам геометрической оптики, точно так же как отражаются от твердой поверхности упругие частицы типа: электрона или протона и т.д. Потери энергии на разогрев отражающей поверхности при соударениях с частицами и другие второстепенные эффекты, в рассматриваемой модели не учитываются.

Поэтому, в данной статье под микрочастицами подразумеваются любые частицы: фермионы (например, электроны) и бозоны (например, фотоны), размеры которых много меньше характерных неровностей отражающей поверхности (кирхгофовское приближение), и отражающиеся от данной поверхности по законам геометрической оптики.

В связи с вышесказанным, все выводы, сделанные в этой статье, касаются как упругих частиц, так и лучей ЭМВ (света), при выполнении вышеуказанных условий.