

1. Гуляев Ю. В., Любченко В. Е.—ДАН СССР, 1980, 250, № 5, с. 1116.
2. Nejjib U. R.—Int. J. Electron., 1974, 36, № 1, p. 81.
3. Борисов В. Н., Брянцева Т. А. и др.—Радиотехника и электроника, 1981, 26, № 1, с. 173.
4. Уткин Г. М. Автоколебательные системы и волновые усилители.—М.: Сов. радио, 1978.
5. Пожела Ю. К. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках.—М.: Наука, 1978.
6. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн.—М.: Наука, 1978.
7. Коупленд Дж.—ТИИЭР, 1969, 57, № 10, с. 91.
8. Митропольский Ю. А., Мосеевков Б. И. Асимптотические решения уравнений в частных производных.—Киев: Вища школа, 1976.

Куйбышевский государственный
университет

Поступила в редакцию
9 ноября 1981 г.,
после доработки
26 апреля 1982 г.

УДК 537.874.7

ОБ ЭФФЕКТЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШАРА, ЧАСТИЧНО ЭКРАНИРОВАННОГО ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩИМ СФЕРИЧЕСКИМ СЕГМЕНТОМ

А. В. Сулима

Эффект увеличения отражающей способности диэлектрического шара со сферическим сегментом впервые отмечен в [1], где задача рассеяния плоской электромагнитной волны диэлектрическим шаром, на теневой стороне которого расположен идеально проводящий сегмент, решалась приближенно методом геометрической оптики. В данной работе на основе строгого решения задачи о рассеянии плоской электромагнитной волны диэлектрическим шаром с идеально проводящим и бесконечно тонким сферическим сегментом [2] определена зависимость величины энергии, рассеиваемой в обратном направлении, от угловых размеров сегмента, диэлектрической проницаемости и волновых размеров шара.

В [2] задача о рассеянии плоской электромагнитной волны диэлектрическим шаром, на теневой стороне которого расположен идеально проводящий и бесконечно тонкий сферический сегмент, сведена к задаче нахождения решения двух связанных систем линейных алгебраических уравнений второго рода. Метод получения решения заключается в использовании интегрального представления Меллера—Дирихле для присоединенных полиномов Лежандра, преобразующего исходную систему функциональных уравнений к системе интегральных уравнений Абеля первого рода, аналитического решения данной системы и последующего применения метода полуобращения [3]. Окончательная система уравнений допускает как аналитическое решение при $\theta_0(kb)^4 \ll 1$ (θ_0 — угловой размер сегмента, k — волновое число, b — радиус шара), поскольку норма матрицы системы линейных алгебраических уравнений мала, так и эффективное численное решение методом редукции при произвольных значениях kb и θ_0 . Метод редукции заключается в усечении бесконечной системы уравнений до конечного порядка и в последующем применении одного из стандартных методов решения системы уравнений.

Порядок редукции системы линейных алгебраических уравнений — N , определяемый скоростью убывания матричных элементов, при расчетах выбирался из численного эксперимента. Оптимальным значением для N , позволяющим получить требуемую точность решения и обеспечивающим минимальные затраты машинного времени, оказалась $N = 2kb + 12$. Такой выбор N обеспечивает абсолютную погрешность решения системы линейных алгебраических уравнений не ниже 10^{-5} .

Высокой точности решения позволяет также достичь использование обратной рекурсии для вычисления сферических функций Бесселя первого рода и их представление в нормализованной форме, что позволяет производить вычисление сферических функций Бесселя с точностью, ограничиваемой лишь погрешностью вычисления встроенных тригонометрических функций для произвольных значений индекса и аргумента.

В работе исследовались две характеристики рассеянного поля: σ_d — радиолокационное сечение рассеяния и $\langle \cos \theta \rangle Q$ — фактор асимметрии, определяемый (см., например, [4]) следующим образом:

$$\langle \cos \theta \rangle Q = (kb)^{-1} \int_0^{\pi} f(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta,$$

где $f(\theta)$ — функция, описывающая зависимость интенсивности рассеянного поля в дальней зоне от полярного угла θ . Интегральная характеристика $\langle \cos \theta \rangle \theta$ удобна тем, что позволяет судить о том, в каком направлении — прямом (направление распространения волны) или обратном — рассеивается большая часть энергии.

На рис. 1 приведены результаты расчетов фактора асимметрии в зависимости от волнового размера шара kb при различных значениях θ_0 и $\epsilon=2,57$. При $\theta_0=5^\circ$ фактор асимметрии в диапазоне значений $0 < kb \leq 10$ положителен, и присутствие сегмента практически не сказывается на характеристиках рассеяния шара. Отличие в значениях фактора асимметрии диэлектрического шара и шара с малым ($\theta_0 < 5^\circ$) сферическим сегментом наблюдается лишь во втором знаке после запятой. Увеличение угловых размеров сегмента приводит к увеличению его влияния на характеристики рассеяния диэлектрического шара. Так, при $\theta_0=10^\circ$ и $kb > 5$ фактор асимметрии принимает отрицательные значения, а радиолокационное сечение рассеяния резко возрастает и в 5—10 раз превосходит значения радиолокационного сечения рассеяния диэлектрического шара. Максимум рассеяния в обратном направлении наблюдается при $\theta_0=25^\circ$. Фактор асимметрии при $\theta_0=25^\circ$ (прерывистая линия) для значений $kb > 2,8$ колеблется вблизи нуля, т. е. в прямом и обратном направлениях рассеивается примерно одинаковое количество энергии. Дальнейшее увеличение θ_0 приводит к уменьшению рассеяния в обратном направлении в области $kb > 3$ и к формированию области отрицательных значений фактора асимметрии при $kb < 3$, характерной для идеально проводящего шара. Примером этому является зависимость фактора асимметрии от kb при $\theta_0=90^\circ$ (штрихпунктирная линия). Очевидно, что в области значений $\theta_0 > 90^\circ$ главную роль в формировании поля, рассеянного в обратном направлении, начинает играть оболочка, экранирующая диэлектрический шар, и данная структура по своим электродинамическим свойствам становится похожей на идеально проводящий шар. Исключения составляют те значения kb , при которых наблюдаются резонансные явления в сферическом резонаторе, образуемом сферическим экраном.

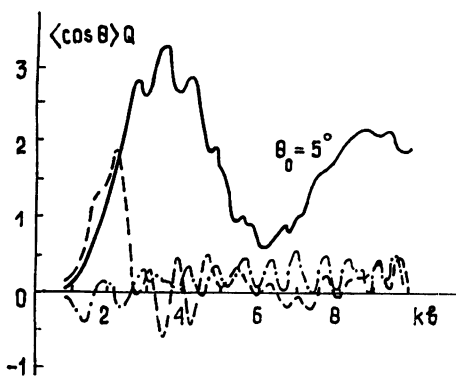


Рис. 1.

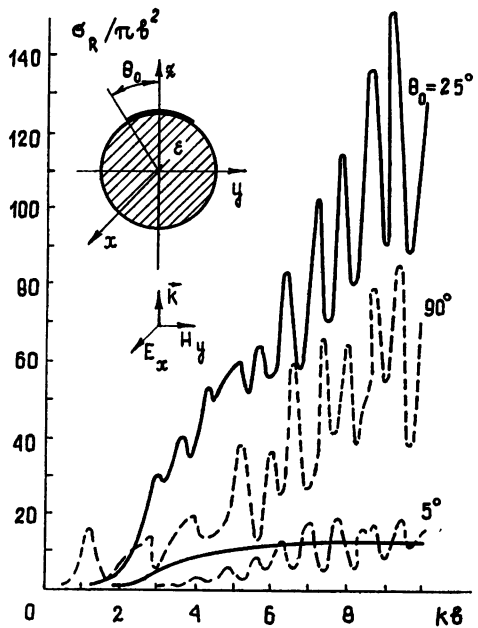


Рис. 2.

На рис. 2 приведены результаты расчетов σ_R в зависимости от kb для различных значений θ_0 . Эти результаты хорошо согласуются с данными, приведенными на рис. 1. Так, в диапазоне значений $2 < kb \leq 10$ максимум излучения в направлении на источник наблюдается при $\theta_0=25^\circ$. При $\theta_0=90^\circ$ рассеяние в обратном направлении значительно меньше, а при $\theta_0=5^\circ$ значения σ_R совпадают со значениями σ_R для диэлектрического шара. На рис. 2 приведен результат расчета σ_R для сферического сегмента с угловым размером $\theta_0=25^\circ$ (нижняя сплошная кривая) от kb . Хорошо видно, что сферический сегмент малых угловых размеров, как и диэлектрический шар, слабо рассеивает энергию в направлении на источник.

Существенное влияние на величину энергии, рассеиваемой в обратном направлении, оказывает величина диэлектрической проницаемости шара. Увеличение ϵ приводит к ослаблению рассеяния в обратном направлении, так при $\epsilon=5$ и $\theta_0=20^\circ$ наибольшее значение $\sigma_R/\pi b^2$ меньше двадцати.

Таким образом, в диапазоне значений $kb=1\div 10$ диэлектрический шар с $\epsilon=2\div 5$, частично экранированный сферическим сегментом, угловые размеры которого лежат в пределах $10\div 70^\circ$, рассеивает в направлении на источник примерно в десять раз больше энергии, чем диэлектрический шар и сферический сегмент, взятые раздельно.

Из приведенных результатов следует, что наложение характеристик тел простой формы не всегда правомерно, так как в результате объединения двух простых тел может возникнуть рассеиватель, обладающий качественно новыми свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Atlas D., Glover K. M. Proceedings 1 interdisciplinery conference on electromagnetic scattering. Potsdam N. Y. August 12—16. 1962. New York: Pergamon Press, 1962.
- 2 Виноградов С. С., Сулима А. В.—ДАН УССР, 1982, № 5, с. 55.
- 3 Шестопалов В. М. Метод Римана—Гильберта в теории дифракции и распространения электромагнитных волн.— Харьков: Гос. ун-т, 1971.
4. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами.— М.: ИЛ, 1961.

Харьковский государственный
университет

Поступила в редакцию
30 апреля 1982 г.