

– сбои позиционирования потребителей возможны при мощных помехах, вызывающих неправильную расшифровку кодового сигнала (солнечная активность, геофизические факторы, приводящие к возмущениям в ионосфере);

– промышленные помехи также могут быть причиной сбойных ситуаций.

Автор выражает благодарность сотрудникам РСДБ-лабораторий и радиоастрономических обсерваторий НИРФИ и Вентспилского международного радиоастрономического центра, проводившим все экспериментальные работы.

Работа поддержана Госконтрактом № П683 от 20 мая 2010г. на выполнение поисковых НИР по направлению «Астрономия, астрофизика и исследования космического пространства» по проблеме «Развитие и применение радиоинтерферометрических методов для исследования космических объектов и характеристик наземных антенных комплексов», номер госрегистрации 01201061443 от 10.09.2010 и грантом РФФИ № 10-02-00875.

Список литературы:

- [1] Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Тихомиров Ю.В. Измерение параметров антенн по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. //Изв. вузов «Радиофизика». 2011. Т. 54, № 3. С. 177–184.
- [2] Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. Особенности работы радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2011. – Воронеж, НПФ «Саквоее» ООО, 12–14 апреля 2011 г., Труды т. 3, с. 1858–1869.
- [3] Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. О возможности калибровки радиоинтерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов. IV Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2011). – С.-Петербург, ИПА РАН, 10–14 октября 2011г., Тезисы докладов, С. 120.
- [4] Беликович В.В., Грач С.М., Караштин А.Н., Котик Д.С., Токарев Ю.В. Стенд «Сура»: Исследования атмосферы и космического пространства (обзор) Изв.ВУЗов. Радиофизика, 2007, 50, 545–576.

Т.М. Заборонкова, Н.Ф. Яшина
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА АНИЗОТРОПНЫХ СТРУКТУРАХ

В статье рассмотрено отражение и преломление электромагнитных волн при нормальном падении на анизотропные плоскостойкие структуры. Получены коэффициенты отражения и преломления при продольной и поперечной по отношению к направлению падения волны ориентации оси анизотропии. Обсуждается влияние гиротропии среды на отражательные характеристики. Предлагается способ диагностики параметров анизотропных и бианизотропных сред.

В работе исследуется нормальное падение электромагнитной волны на плоский анизотропный слой ширины d_1 со стенками конечной толщины d_2 , расположенный в вакууме. Ось гиротропии направлена вдоль оси oz . Диэлектрическая среда внутри слоя описывается тензором диэлектрической проницаемости, ненулевые компоненты которого равны $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \epsilon_{\perp}$, $\epsilon_{zz} = \eta$, $\epsilon_{xy} = -\epsilon_{yx} = -ig$. Рассматриваются две ориентации оси: продольная и поперечная по отношению к границам слоя. Диэлектриче-

ская проницаемость стенок равна ε . Получены выражения для коэффициентов отражения и прохождения при падении волн двух видов поляризации. Целью работы является выявление существенных особенностей прохождения волн разной поляризации сквозь анизотропный слой с последующим применением результатов для диагностики электродинамических свойств искусственных композитных материалов.

В случае продольной оси гиротропии получены следующие выражения для коэффициентов отражения и прохождения:

1) Для E – поляризованной волны ($\vec{E} = \hat{E}_0 E_0 \exp i(\omega t - k_0 x)$)

$$R_E = \frac{iA_1(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, \eta, d_{1,2})}{\Delta_1(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, \eta, d_{1,2})}, \quad T_E = e^{ik_0(d_1+2d_2)} \frac{2\varepsilon\sqrt{\eta}}{\Delta_1(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, \eta, d_{1,2})};$$

2) Для H – поляризованной волны ($\vec{H} = \hat{H}_0 E_0 \exp i(\omega t - k_0 x)$)

$$R_H = \frac{iA_2(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})}{\Delta_2(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})}, \quad T_H = e^{ik_0(d_1+2d_2)} \frac{2\varepsilon\sqrt{\varepsilon_{\perp}(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2)}}{\Delta_2(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})},$$

где $k_0 = \omega\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$.

Отметим, что для продольной оси гиротропии в случае E – поляризованной волны функции A_1 и Δ_1 не зависят от параметра гиротропии g .

Для поперечной оси гиротропии коэффициенты отражения и прохождения E – поляризованной волны ($\vec{E} = \hat{E}_0 E_0 \exp i(\omega t - k_0 z)$) определяются выражениями:

$$R'_E = \frac{A_3(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})}{\Delta_3(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})}, \quad T'_E = \frac{A_4(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})}{\Delta_3(\varepsilon, \varepsilon_{\perp}, g, \eta, d_{1,2})};$$

Для H -поляризованной волны ($\vec{H} = \hat{H}_0 E_0 \exp i(\omega t - k_0 z)$) получаем $R'_H = -R'_E$ и $T'_H = T'_E$. Следовательно, для продольной оси гиротропии в рассматриваемом случае коэффициенты отражения и прохождения не зависят от типа поляризации волны. При конечной толщине стенок выражения для функций A и Δ имеют громоздкий вид и здесь не приводятся. Ниже мы представим выражения лишь для одного практически важного случая геометрии задачи, а именно, гиротропного слоя, расположенного в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ε . Заметим, что этот случай соответствует предельному переходу $k_0\sqrt{\varepsilon}d_2 \rightarrow \infty$ в строгих выражениях для $R_{E,H}$ и $T_{E,H}$. В результате для продольной оси гиротропии имеем:

$$R_E = \frac{i(\varepsilon - \eta)\sinh h_E d}{2\sqrt{\varepsilon\eta}\cosh h_E d + i(\varepsilon + \eta)\sinh h_E d}, \quad T_E = \frac{2\sqrt{\varepsilon\eta}\exp(ikd)}{2\sqrt{\varepsilon\eta}\cosh h_E d + i(\varepsilon + \eta)\sinh h_E d};$$

$$R_H = \frac{i(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2 - \varepsilon\varepsilon_{\perp})\sinh h_H d}{2\sqrt{\varepsilon\varepsilon_{\perp}(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2)}\cosh h_H d + i(\varepsilon\varepsilon_{\perp} + \varepsilon_{\perp}^2 - g^2)\sinh h_H d},$$

$$T_H = \frac{2\sqrt{\varepsilon_{\perp}\varepsilon(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2)}\exp(ikd)}{2\sqrt{\varepsilon\varepsilon_{\perp}(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2)}\cosh h_H d + i(\varepsilon\varepsilon_{\perp} + \varepsilon_{\perp}^2 - g^2)\sinh h_H d},$$

где $k = k_0\sqrt{\varepsilon}$, $d = d_1$, $h_E = k_0\sqrt{\eta}$, $h_H = k_0\sqrt{(\varepsilon_{\perp}^2 - g^2)\varepsilon_{\perp}^{-1}}$.

В случае поперечного направления оси гиротропии выражения для функций A и Δ входящие в выражения $R'_{E,H}$ и $T'_{E,H}$ записываются в виде

$$\begin{aligned} A_3 &= (h_1 h_2 - k^2) \left[(h_1 h_2 + k^2) (1 - \cos(h_1 + h_2)d) - ik(h_1 + h_2) \sin(h_1 + h_2)d \right] \\ A_4 &= k \left[2k(k_0^2 \varepsilon_{\perp} + h_1 h_2) (\cosh_1 d + \cosh_2 d) + i(h_1 + h_2) (h_1 h_2 + k^2) (\sinh_1 d + \sinh_2 d) \right] \\ \Delta_3 &= 2 \left(k(h_1 + h_2) \cos(h_1 + h_2)d + i(h_1 h_2 + k^2) \sin(h_1 + h_2)d \right)^2, \end{aligned}$$

где $h_{1,2} = k_0 \sqrt{\varepsilon_{\perp} \mu g}$ – постоянные распространения в слое. Очевидно, что распространение волн внутри слоя возможно лишь в области частот, где постоянные распространения $h_{E,H}$ и $h_{1,2}$ являются действительными величинами. Из выражений для коэффициентов отражения не сложно получить следующие условия безотражательного режима: $\sinh_{E,H} d = 0$, $\sin(h_1 + h_2)d = 0$.

При условии малости гиротропии ($|g| \ll |\varepsilon_{\perp}|$) для тонкого анизотропного слоя ($h_{E,H} d \ll 1$), выражения для коэффициентов $R_{E,H}$ и $T_{E,H}$ существенно упрощаются.

В случаях продольной и поперечной ориентаций оси анизотропии из представленных выше выражений нетрудно получить соотношения между коэффициентами отражения: $\frac{R_E}{R_H} \approx \frac{(\varepsilon - \eta)}{(\varepsilon - \varepsilon_{\perp})}$, $\frac{R'_E}{R'_H} \approx -1$. Таким образом, проводя измерение коэффициента

отражения для двух типов поляризации волны (Е- и Н-), на основании соотношений между коэффициентами отражения можно определить тип ориентации оси анизотропии в слое, а в случае продольной оси (при известном значении ε) и соотношение между компонентами тензора (ε_{\perp} и η).

Кроме того, был рассмотрен случай композитного би-анизотропного слоя, расположенного в однородной среде с диэлектрической проницаемостью \mathcal{E} . Среда внутри слоя описывается тензорами диэлектрической и магнитной проницаемости с ненулевыми диагональными компонентами $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{\perp}$, $\varepsilon_{zz} = \varepsilon_{\parallel}$, $\mu_{xx} = \mu_{yy} = \mu_{\perp}$, $\mu_{zz} = \mu_{\parallel}$. Выражения для коэффициентов $R_{E,H}$ и $T_{E,H}$ представляются в виде:

1) для Е-поляризованной волны ($\vec{E} = \vec{E}_0 \exp(i(\omega t - k_0 x))$) коэффициенты имеют вид

$$R''_E = \frac{i \left(\varepsilon - \frac{\varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}} \right) \sinh''_E d}{\sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}} 2 \cosh''_E d + i \left(\varepsilon + \frac{\varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}} \right) \sinh''_E d}}, \quad T''_E = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}}} 2 \exp(ikd)}{\sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}} 2 \cosh''_E d + i \left(\varepsilon + \frac{\varepsilon_{\parallel}}{\mu_{\perp}} \right) \sinh''_E d}}.$$

2) для Н – поляризованной волны ($\vec{H} = \vec{H}_0 \exp(i(\omega t - k_0 x))$)

$$R''_H = \frac{i \left(1 - \frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}} \right) \sinh''_H d}{\sqrt{\frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}} 2 \cosh''_H d + i \left(1 + \frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}} \right) \sinh''_H d}}, \quad T''_H = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}}} 2 \exp(ikd)}{\sqrt{\frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}} 2 \cosh''_H d + i \left(1 + \frac{\varepsilon \mu_{\parallel}}{\varepsilon_{\perp}} \right) \sinh''_H d}},$$

где $h''_E = k_0 \sqrt{\mu_{\perp} \varepsilon_{\parallel}}$ и $h''_H = k_0 \sqrt{\varepsilon_{\perp} \mu_{\parallel}}$ постоянные распространения в композитном

слое. Безотражательный режим в рассматриваемом случае реализуется при условии: $\sin h''_{E,H} d = 0$.

В приближении тонкого слоя ($h''_{E,H} d \ll 1$) получаем следующее соотношение между коэффициентами отражения R''_E и R''_H : $\frac{R''_E}{R''_H} \approx \frac{(\varepsilon\mu_{\perp} - \varepsilon_{\parallel})}{(\varepsilon_{\perp} - \varepsilon\mu_{\parallel})}$. При известном значении величины диэлектрической проницаемости стенок слоя ε по результатам измерения коэффициентов отражения для двух поляризаций волн можно заключить является ли среда би-анизотропной, а также оценить: 1) при больших значениях ε соотношение между компонентами магнитного тензора $\mu_{\perp}, \mu_{\parallel}$, 2) при малых ε – соотношение между компонентами диэлектрического тензора $\varepsilon_{\perp}, \varepsilon_{\parallel}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-02-97013).

Н.В. Лукин
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

СВЯЗЬ НЕОБРАТИМОСТИ С НЕСОХРАНЕНИЕМ ЧЕТНОСТИ

Предложена математическая схема, сочетающая обратимость уравнений, выполнение законов сохранения и содержащая необратимость процессов, позволяющая совместить их с не сохранением комбинированной четности в квантовой теории поля.

Хотя зарядовое сопряжение, пространственная инверсия и обращение времени, т.е. C, P, T -симметрии, и их сочетания исследуются уже в течение нескольких десятков лет, причины их существования и особенно нарушений остаются неясными. Кажется, что, несмотря на усилия в их экспериментальном изучении, число направлений таких исследований не уменьшается, а скорее растет. Это же можно сказать и о возможных теоретических схемах, которые могли бы описать уже известные, установленные экспериментально, причины и условия сохранения этих симметрий и их сочетаний, а также их нарушений [1].

Расширение направлений исследований говорит, по-видимому, о том, что еще не сформулирован такой подход, который, может быть не учитывая конкретные условия и детали процессов, мог бы содержать необходимые особенности математической схемы, способной описать условия и сохранения, и нарушения этих симметрий.

Сформулируем минимальные требования к простейшей такой схеме:

- а) уравнения, лежащие в ее основе, обратимы;
- б) выполнение всех необходимых законов сохранения, вытекающих из этих уравнений;
- в) схема должна содержать и обратимые, и необратимые процессы в замкнутой физической системе;
- г) наблюдаемые, вычисленные на основе схемы, должны допускать физическую интерпретацию, сопоставимую с различием «правого» и «левого» в экспериментальных результатах.

Разумеется, эти требования могут рассматриваться лишь как необходимые.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в работах по несохранению четности P и комбинированной четности CP , которые тесно связаны с теоремой Лю-