

УДК 621.371

ДВОЙНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В СЫПУЧЕЙ СРЕДЕ

Р. К. Белов, К. А. Горонина

Изучалось изменение поляризации волны миллиметрового диапазона при прохождении в сыпучей среде. Причиной изменения поляризации являлось анизотропное распределение частиц. Главные направления тензора диэлектрической проницаемости зависят от способа насыпания. Наблюдалась разность показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волн порядка 10^{-2} .

Неоднородные среды типа порошков, взвесей или волокнистых структур исследовались оптическими методами во многих работах. Представляет интерес анализ свойств таких сред на миллиметровых волнах. В частности, миллиметровые волны могут быть использованы для излучения сред, не прозрачных для света.

При исследовании распространения короткомиллиметровых волн в кварцевом песке и некоторых других средах было обнаружено, что волна меняет поляризацию, проходя в сыпучей среде. Это изменение зависит от способа насыпания. Если песок после насыпания перемешан, то происходит случайное изменение поляризации. Для количественной характеристики этого изменения приведем полученное из серии измерений среднее отношение P_{\perp}/P_{\parallel} мощностей компонент волны на выходе из слоя песка, поляризованных перпендикулярно и параллельно плоскости поляризации падающей волны. Для слоя толщиной 4 см на волне 1,6 мм величина $P_{\perp}/P_{\parallel} \approx 2 \cdot 10^{-2}$.

Хорошо воспроизводимое изменение поляризации создавал слой песка, если он насыпался в кювету из воронки через щель с длиной, равной размеру кюветы, поперечному по отношению к падающему лучу. При такой засыпке слой становится, подобно кристаллу, двоякопреломляющим. Наблюдалось, что волна, поляризованная вертикально или горизонтально, не меняет поляризацию, проходя в кювете. Если волна поляризована под другим углом, то она выходит из кюветы, поляризованной по эллипсу, который вырождается в круг или прямую при некоторых толщинах слоя. Аналогичные явления наблюдались в опытах с поваренной солью, которая в кристаллическом состоянии, в отличие от кварца, не обладает двойным преломлением.

На рис. 1 приведена схема установки, на которой проводились измерения. Плоская линейно поляризованная волна формируется рупорно-линзовой антенной и направляется на кювету с исследуемым веществом под небольшим углом. Диаметр облучаемой площадки кюветы около 5 см. Длина волны в воздухе $\lambda = 1,6$ мм. Плоскость поляризации можно устанавливать под различными углами к вертикали. Приемное устройство выделяет только одну компоненту с определенным относительно приемной антенны направлением электрического вектора. Вращая приемное устройство вокруг направления принимаемого луча, мож-

но исследовать эллипс поляризации волны, вышедшей из кюветы*. По ориентации эллипса поляризации и отношению его осей определялся

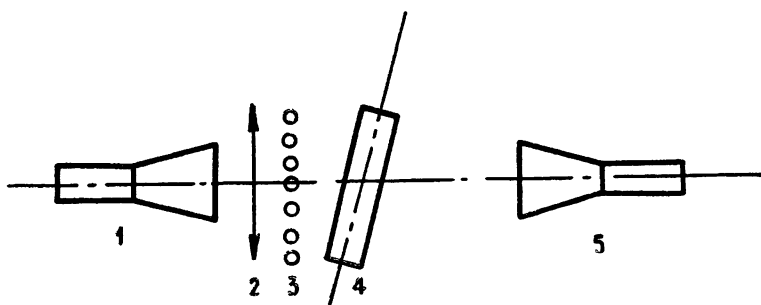


Рис. 1. Блок-схема установки:

1 — лампа ЛОВ с излучающим рупором, 2 — линза; 3 — поляризация решетка; 4 — кювета с исследуемым веществом; 5 — приемная антенна.

сдвиг фаз φ между компонентами с горизонтальной и вертикальной поляризациями.

Результаты измерений с песком приведены на рис. 2. Здесь изображена зависимость сдвига фаз φ от толщины слоя песка h , насыпанного в кювету, как описано выше. Вычисленная, исходя из отношения φ/h , разность показателей преломления обыкновенной и необыкновенной волн равна $\Delta n = 0,01^{**}$. С помощью кристаллической кварцевой пластинки была компенсирована разность фаз и определено, что показатель преломления больше для волны с горизонтальным электрическим вектором.

Отметим, что мощность волны ослабляется при прохождении в песке на $1,8 \text{ дБ} \cdot \text{см}^{-1}$, в соли на $6,3 \text{ дБ} \cdot \text{см}^{-1}$ ослабление не зависит от поляризации в пределах точности измерений. Соль и песок имели одинаковые средние размеры частиц примерно $0,2 \text{ мм}$. Форма песчинок неправильная, грани кристинок соли в большинстве случаев плоские.

Опыты с солью, проведенные так же, как с песком, показали, что изменение поляризации наблюдается и в этом случае, но результаты плохо повторяются; чаще всего соль насыпается неоднородно и несимметрично относительно вертикали. Повторяемость улучшается, если насыпать соль другим способом — через небольшое отверстие вблизи параллельной лучу узкой стёнки кюветы; при этом соль образует скос, поверхность которого наклонена под углом к горизонту $\approx 35^\circ$. Насыпанная таким образом соль обладает двойным преломлением. Главные на-

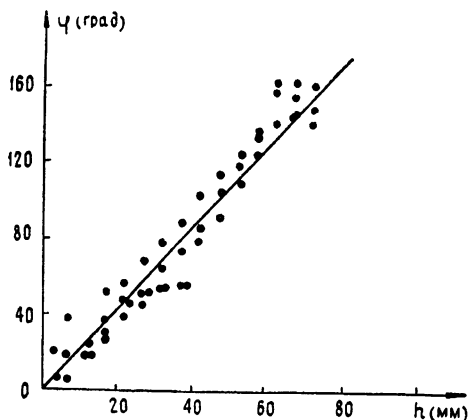


Рис. 2. Зависимость разности фаз волн с вертикальной и горизонтальной поляризацией от толщины слоя песка.

* Аналогичная установка описана подробнее в [1].

** Для кристалла кварца на волне $1,6 \text{ мкм}$ получена разность показателей преломления $n_e - n_o = 0,048$. Эта величина хорошо согласуется с измерениями на более коротких волнах [2].

правления Ox и Oy отмечены на рис. 3 а. Разность показателей преломления $\Delta n \approx 1,3 \cdot 10^{-2}$; больший показатель преломления имеет волна, у которой электрический вектор параллелен направлению Ox .

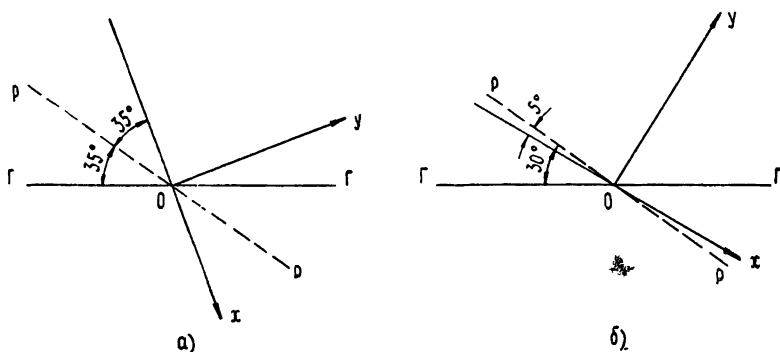


Рис. 3. Расположение главных направлений и поверхностей скола: а) для соли; б) для песка; ГГ—направление горизонтали, Ox , Oy — главные направления; $\rho\rho$ — поверхность скола.

Насыпание таким способом было произведено также и с песком. При этом получено расположение главных осей, изображенное на рис. 3 б. Разность показателей преломления $\Delta n = 1,6 \cdot 10^{-2}$, больший показатель преломления — для электрического вектора, параллельного Ox .

Можно допустить, что в песке возможна анизотропия двойного происхождения: упорядоченная ориентация оптических осей отдельных песчинок и анизотропное распределение зазоров между песчинками. Чтобы получить представление о характере анизотропии, был поставлен следующий опыт.

Насыпался слой песка толщиной 4 см, который создавал сдвиг фаз $\varphi = 90^\circ$, потом в песок вливалось масло, которое медленно просачивалось (полагаем, что взаимное расположение песчинок при этом не менялось). После заполнения маслом измерялся сдвиг фаз φ и определялась разность показателей преломления. Если бы диэлектрические проницаемости масла ϵ и кварца ϵ_k были равны, то двойное преломление, связанное с анизотропией зазоров между песчинками, исчезло бы вообще. У нас не было масла с $\epsilon = \epsilon_k$, опыт проведен с двумя маслами, у которых $\epsilon \neq \epsilon_k$.

На рис. 4 по оси абсцисс отложено ϵ , по оси ординат Δn . Из рисунка видно, что зависимость Δn от ϵ можно экстраполировать в точку $\epsilon = \epsilon_k$, $\Delta n = 0$.

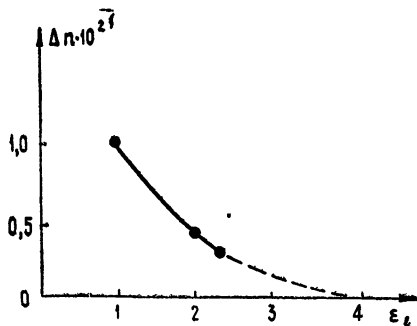


Рис. 4. Зависимость разности показателей преломления горизонтально и вертикально поляризованных волн от диэлектрической проницаемости среды между песчинками.

Следовательно, в песке так же, как и в соли, двойное преломление возникает из-за анизотропного распределения неоднородностей. В заклю-

чение заметим, что описанное здесь явление анизотропии в среде со случайной неоднородностью может быть причиной наблюдаемой на опыте деполяризации радиолокационных сигналов, отраженных от Луны.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Горонина, Р. К. Белов, Э. П. Сорокина, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 9, № 5, 975 (1966)
2. E. E. Russell, E. E. Bell, J. Opt. Soc. Am., 57, 341 (1967).

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
8 декабря 1968 г.

DOUBLE REFRACTION OF MILLIMETER WAVES IN ADRY MEDIUM

R. K. Belov, K. A. Goronina

The change of polarization of a millimeter wave propagating in a dry medium has been studied. The cause of the change of polarization is anisotropic particle distribution. The main directions of the permittivity tensor depend on the filling manner. The difference of the order of 10^{-2} between the refractive indices of ordinary and extra-ordinary waves is observed.
