

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ОТ ГИДРОМЕТЕООБРАЗОВАНИЙ

Цхакая К.Г.

Грузинский Технический Университет,
0175, ул. М. Костава 77, Тбилиси, Грузия.

Резюме

Решается задача о распределении размеров рассеивателя в виде мелких и крупных частиц, т.е. дается анализ определения области размеров частиц, начиная с которой уже не наблюдается релеевское рассеяние

Ключевые слова: Поляризационные характеристики. Частица. Радиолокация.

1. Введение

Последние десятилетия характеризуются широким развитием радиолокации. Особенно бурно эта область техники развивается в последние годы. При этом радиолокационные методы находят все возрастающее применение не только в специальных областях военной техники, но и в народном хозяйстве: в судо- и самолетовождении, метеорологии, управлении спутниками и ракетами, в научных исследованиях.

Источником информации о цели в радиолокационной системе является электромагнитная энергия, рассеиваемая целью в направлении на радиолокационный приемник. При прохождении радиоволн через облака и осадки в каждой отдельной частице возбуждаются электрические и магнитные диполи, квадруполь и т.д. При этом часть энергии превращается в частице в тепло, а часть вновь излучается в виде рассеянной волны, имеющей одинаковую частоту с проходящей волной.

В настоящей статье решается задача о разделении размеров рассеивателя в виде мелких и крупных частиц, т.е. дается анализ определения области размеров частиц, начиная с которой уже не наблюдается релеевское рассеяние.

2. Основная часть

В соответствии с теорией, развитой в работе Ми, эффективная площадь рассеяния сферической частицы может быть выражена в виде

$$\sigma = \frac{\lambda}{4\pi} \left| \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^n (2n+1) (c_n - b_n) \right|^2, \quad (1)$$

где c_n и b_n представляют собой амплитуды парциальных волн, рассеиваемых возбужденными в частице магнитными и электрическими диполями, квадрупольями и т.д. Их значения определяются соотношениями

$$c_n = i \frac{\psi_n(\rho)\psi_n'(m\rho) - m\psi_n'(\rho)\psi_n(m\rho)}{L_n(\rho)\psi_n'(m\rho) - mL_n'(\rho)\psi_n(m\rho)},$$

$$b_n = i \frac{\psi_n'(\rho)\psi_n(m\rho) - m\psi_n(\rho)\psi_n'(m\rho)}{L_n'(\rho)\psi_n(m\rho) - mL_n(\rho)\psi_n'(m\rho)},$$
(2)

в которых функции ψ и L выражаются через функции Бесселя и Ханкеля

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{\pi x}{2}} J_n + \frac{1}{2}(x), \quad L_n(x) = \sqrt{\frac{\pi x}{2}} H_n + \frac{1}{2}(x),$$

и их произведение.

Из выражений (1) и (2) видно, что амплитуда полей, отраженных частицами осадков при их возбуждении электромагнитной волной, определяется значением величины $\rho = 2\pi r/\lambda$, где r – радиус капли, и комплексным показателем преломления вещества капли m при данном значении длины волн λ .

Вычисление точных значений эффективного сечения рассеяния может быть произведено по формулам (1) и (2) с использованием рекуррентного соотношения

$$\psi_n(\rho) = \frac{2n-1}{\rho} \psi_{n-1}(\rho) - \psi_{n-2}(\rho)$$
(3)

и выражения

$$\psi_n'(\rho) = \psi_{n-1}(\rho) - \frac{n}{\rho} \psi_n(\rho).$$

В общем случае такие вычисления для широкого диапазона размеров отражающих частиц $\rho = 2\pi r/\lambda$ весьма затруднительны, и они были вычислены на компьютере. Однако, если длина волны λ существенно превосходит размеры капель, т.е. выполняется релеевское условие $\rho \ll 1$, то при вычислениях можно воспользоваться упрощенным выражением для эффективного сечения рассеяния. Если пренебречь членами, в которые ρ входит в степени выше пятой, то парциальные коэффициенты c_n и b_n принимают вид [1, 2, 3]

$$c_1 = -\frac{i}{45}(m^2 - 1)\rho^5, \quad b_2 = \frac{i}{15} \left(\frac{m^2 - 1}{2m^2 + 3} \right) \rho^5,$$

$$b_1 = -i \frac{2}{3} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \rho^3 \left[1 + \frac{3}{5} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \rho^2 - i \frac{2}{3} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \rho^3 \right].$$

Анализ этих выражений показывает, что член b_1 , описывающий парциальное поле электрического диполя, существенно превосходит два остальных члена. Поэтому, подставляя значение b_1 в (1), получаем выражение для эффективного сечения рассеяния дождевой и облачной капли в виде известного закона Релея:

$$\sigma(r, \lambda) = \frac{\lambda^2}{\pi} \rho^6 \left[\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right]^2.$$

Эта формула справедлива лишь для случая выпадения мелкокапельных осадков, для которых выполняется условие $\rho \ll 1$. При увеличении размеров частицы интенсивность возбуждения последующих парциальных волн возрастает и, соответственно, рассеянное поле будет формироваться парциальными волнами более высокого порядка (таблицы 1, 2, 3). Для крупнокапельных осадков c_n и b_n вычислены на компьютере по точным формулам Ми для широкого диапазона температур, размеров капель и длин волн. В формуле (1) суммирование происходит по n от 1 до 4, потому что мы брали частицы ρ от 0,1 до 2,6, т.е. размер частицы ρ определяет собой порядок того номера, на котором мы можем практически оборвать бесконечный ряд.

В частности, из таблицы 1 видно, что при $\lambda = 0,8$ см, $t = 10^0$ C, $n = 1$ и $\rho = 0,1$ имеем только один член c_1 , т.е. при релейском рассеянии остается только один член с коэффициентом c_1 , а остальные члены равны 0; для $\rho = 0,30$ имеется c_1, c_2 и b_1 , т.е. в рассеянном поле принимают участие дипольные и квадрупольные электрические и магнитные волны. При $\rho = 2,6$ имеется c_1, c_2, c_3, c_4 и b_1, b_2, b_3, b_4 т.е. в рассеянном поле будут участвовать волны более высокого порядка. Из приведенных нами таблиц 1, 2, 3 видно, что релейское рассеяние наблюдается при $\lambda = 3,2$ см до размера сферических частиц $\rho = 0,13$; для $\lambda = 1,6$ см – до $\rho = 0,18$; а для $\lambda = 0,8$ см – до $\rho = 0,2$. Таким образом, вычисленные значения c_n и b_n дают возможность определить область размеров частиц, начиная с которой уже не наблюдается релейское рассеяние.

Величины парциальных волн в зависимости от различных ρ
при $\lambda = 0,8$ см, $t = 10^0$ C, $m = 4,509 - 2,626i$

Таб.1

ρ	$Re c_n$				$Re b_n$			
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
0,10	0,0019							
0,20	0,0077				-0,0001			
0,25	0,0152				-0,0003			
0,30	0,0266	-0,0001			-0,0006			
0,35	0,0429	-0,0001			-0,0008			
0,40	0,0650	-0,0003			-0,0004			
0,50	0,1303	-0,0008			0,0008			
0,60	0,2251	-0,0021			0,0293			
0,70	0,3351	-0,0045			0,0651	-0,0002		
0,80	0,4262	-0,0088	0,0001		0,1075	-0,0010		
1,00	0,4845	-0,0265	0,0004		0,2031	-0,0060		
1,20	0,4640	-0,0630	0,0016		0,3107	-0,0176	0,0003	
1,30	0,4554	-0,0899	0,0027	-0,0001	0,3658	-0,0264	0,0007	
1,50	0,8417	-0,0991	-0,0013	-0,0003	0,9677	-0,0514	0,0021	
1,70	0,4764	-0,2158	0,0159	-0,0005	0,5437	-0,0863	0,0053	-0,0002
2,00	0,4801	-0,2426	0,0437	-0,0021	0,5776	-0,1538	0,0156	-0,0007
2,20	0,4397	0,2382	-0,0742	-0,0046	0,5329	-0,2040	0,0277	0,0017
2,40	0,3884	0,4306	-0,0743	0,0023	0,4319	-0,2530	0,0446	-0,0036
2,60	0,2259	-0,2427	0,1399	-0,0174	0,2817	-0,2949	0,0667	-0,0069

Величины парциальных волн в зависимости от различных ρ

при $\lambda = 1,6 \text{ см}$, $t = -10^0 \text{ C}$, $m = 4,4803 - 2,7500i$

Таб.2

ρ	Rec _n		Reb _n	
	n = 1	n = 2	n = 1	n = 2
0,10	0,0010			
0,11	0,0013			
0,12	0,0016			
0,13	0,0021			
0,14	0,0026			
0,15	0,0032			
0,16	0,0039			
0,17	0,0047			
0,18	0,0056		- 0,0001	
0,19	0,0066		- 0,0001	
0,20	0,0077		- 0,0001	
0,25	0,0153		- 0,0003	
0,30	0,0268	- 0,0001	- 0,0005	
0,35	0,0431	- 0,0001	- 0,0005	
0,40	0,0653	- 0,0003	0,0002	
0,50	0,1309	- 0,0008	0,0079	
0,60	0,2258	- 0,0021	0,0301	
0,70	0,3361	- 0,0045	0,0649	- 0,0003
0,80	0,4282	- 0,0088	0,1066	- 0,0011
1,00	0,4886	- 0,0266	0,2024	- 0,0060
1,20	0,4669	- 0,0633	0,3108	- 0,0175
1,30	0,4581	- 0,0805	0,3662	- 0,0263

Величины парциальных волн в зависимости от различных ρ

при $\lambda = 3,2 \text{ см}$, $t = 10^0 \text{ C}$, $m = 7,860 - 2,400i$

Таб.3

ρ	Rec _n			Reb _n	
	n = 1	n = 2	n = 3	n = 1	n = 2
0,10	0,0010				
0,11	0,0013				
0,12	0,0017				
0,13	0,0021			- 0,0001	
0,14	0,0027			- 0,0001	
0,15	0,0033			- 0,0001	
0,16	0,0040			- 0,0002	
0,17	0,0048			- 0,0003	
0,18	0,0057			- 0,0004	
0,19	0,0067			- 0,0005	
0,20	0,0079			- 0,0006	
0,25	0,0156			- 0,0018	
0,30	0,0275	- 0,0001		- 0,0031	
0,35	0,0445	- 0,0001		0,0004	
0,40	0,0678	- 0,0003		0,0135	
0,50	0,1344	- 0,0008		0,0423	
0,60	0,2202	- 0,0021		0,0661	- 0,0006
0,70	0,3276	- 0,0045		0,0979	- 0,0017
0,80	0,4368	- 0,0088	0,0001	0,0983	- 0,0025

Литература:

1. Степаненко В.Д. Радиолокационная метеорология. Л., Гидрометеиздат, 1973
2. Цхакая К.Г., Щупяцкий А.Б. Применение деполяризации радиолокационного сигнала для исследования микроструктуры облаков и осадков при бистатическом режиме. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, №7, 1974
3. Шифрин К.С., Зельманович И.Л. Таблицы по светорассеянию, том I, ч. II, Ленинград, Гидрометеиздат, 1966.

**ჰიდრომეტეოფარმონამენტების რადიოლოკაციური სიგნალების
პოლარიზაციული მახასიათებლები**

კ. ცხაკაია
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
0175, მ. კოსტავას ქ. 77, თბილისი, საქართველო
რეზიუმე

წყდება მცირე და მსხვილი ნაწილაკების სახით წარმოდგენილი გამბნევის ზომების განაწილების ამოცანა, ანუ მოცემულია ნაწილაკთა ზომების იმ არეს განსაზღვრის ანალიზი, რომლიდან დაწყებული რელის გაბნევა აღარ შეიმჩნევა.

**POLARIZATION CHARACTERISTICS OF RADIO-LOCATION SIGNALS
FROM HYDRO-METEO-FORMATIONS**

Tskhakaia K.G.
Georgian Technical University,
0175, 77, M. Kostava st., Tbilisi, Georgia

Summary

The problem is solved concerning the distribution of size of the scatter given in the form of small and large particles, i.e. the analysis of determination of that area of the size of particles is given, above which no Rayleigh's scattering is observed.