

INVESTIGATION OF SUPERCONDUCTING TRANSITIONS OF BISMUTH CERAMICS IN MAGNETIC FIELDS UP TO 80 kOe

A. G. SARKISYAN, V. M. ARUTYUNYAN, E. V. PUTNYN',
N. M. DOBROVOL'SKY, V. M. ARAKELYAN, R. S. AKOPYAN

Two-step superconducting transitions in magnetic fields up to 10⁵ Oe and their transformation into one-step ones in stronger magnetic fields were observed in single phase samples of bismuth ceramics. This is attributed to the magnetic field concentration in intergrain layers due to the Meissner effect in the grains.

Изв. АН Армении, Физика, т. 25, вып. 5, 274—281 (1990)

УДК 535.3,361:621.371:551.576,593

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМУЛ РЭЛЕЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ И РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОТРАЖЕНИЯ ММ И СБММ ВОЛН В ОБЛАКАХ

Г. М. АЙВАЗЯН

Институт радиопизики и электроники АН Армении

(Поступила в редакцию 21 апреля 1990 г.)

Выполнены расчеты ослабления и радиолокационного отражения ММ и СБММ волн в облаках по точным формулам Ми и приближенным формулам Рэлея. Результаты сравнения позволили определить погрешности и границы применимости приближенных формул Рэлея для расчетов ослабления и радиолокационного отражения ММ и СБММ волн в облаках основных типов.

В в е д е н и е

Известно, что приближенные формулы Рэлея [1—3] можно использовать для расчетов ослабления и радиолокационного отражения электромагнитных волн в облаках при условии малости размеров капель по сравнению с длиной волны падающего излучения. Для случая присутствия в облаке малых капель (радиусами от 1 до 20 мкм) для миллиметрового диапазона (ММ) граница применимости формул Рэлея оценивалась ориентировочно не ниже $\lambda \sim 1-2$ мм (см., например, [4]).

Однако, в последние годы в облаках почти всех типов обнаружены неизвестные до этого крупные и сверхкрупные (см., например, [5—7]) капли размерами от 85 до 1500 и более мкм. Расширился и диапазон мелких капель — до 45 мкм. Несмотря на малую концентрацию сверхкрупных капель, они оказывают существенное влияние на рассеяние и радиолокационное отражение ММ и субмиллиметровых (СБММ) волн в облаках. В этой связи интересно знать, как влияют вышеуказанные капли на расчеты по приближенным формулам Рэлея в коротком ММ и СБММ диапазонах. Для этого нами выполнены расчеты по точным формулам Ми и приближенным формулам Рэлея коэффициентов ослабления и радиолокацион-

ного отражения для облаков основных типов, когда в них присутствуют капли двух фракций размеров капель: от 1 до 45 мкм и от 85 до 1500 и более мкм. Сравнение расчетов по точным и приближенным формулам позволило определить реальные погрешности использования приближенных формул и выяснить возможности использования формул Рэлея для расчетов в реальных облаках.

Оптические характеристики облака

Спектральные коэффициенты ослабления — $\Gamma_0(\lambda)$, рассеяния — $\Gamma_p(\lambda)$, поглощения — $\Gamma_n(\lambda)$ и радиолокационного отражения — $\Gamma_{рл}(\lambda)$, согласно точной теории Ми, вычисляются по формулам [1—3]:

$$\Gamma_i(\lambda) = 1,36439 \cdot 10^{-2} \int_{r_1}^{r_2} r^2 \cdot N \cdot f(r) \cdot K_i(m, \rho) dr, \quad \frac{д Б}{к м}$$

Здесь r — радиус капель в мкм, N — число капель в единице объема — $см^{-3}$, $f(r)$ — плотность распределения капель по размерам, $m = \tilde{n} - ik$ — комплексный показатель преломления, \tilde{n} — показатель преломления, k — показатель поглощения, $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$ — безразмерный параметр дифракции, λ — длина волны, $K_i(m, \rho)$ — факторы эффективностей (i принимает последовательно значения $0, p, n$ и $рл$) ослабления, рассеяния, поглощения и радиолокационного отражения. В ММ и СБММ диапазонах велики \tilde{n} и k в m . Широкий диапазон изменения ρ — от 0,001 до 400 и более. Поэтому возникла необходимость в разработке универсальной программы «ORION» для расчетов $\Gamma_0(\lambda)$, $\Gamma_p(\lambda)$, $\Gamma_n(\lambda)$ и $\Gamma_{рл}(\lambda)$. Коэффициенты Ми — a_n и b_n в $K_i(m, \rho)$ выбраны таким образом, что в него входят только три специальные функции: функции Риккати-Бесселя первого и второго рода действительного аргумента и логарифмическая производная функции Риккати-Бесселя первого рода мнимого аргумента [3, 8, 9]. В программе «ORION» специальные функции рассчитываются с точностью 15—20 точных знаков после запятой согласно математическим правилам точного счета: функция Риккати-Бесселя первого рода — обратной рекурсией [10—13], функция Риккати-Бесселя второго рода — прямой рекурсией [8], а логарифмическая производная от функции Риккати-Бесселя первого рода — алгоритмом Ленца [14, 15]. В качестве комплексных показателей преломления воды в ММ и СБММ диапазонах использовались данные, приведенные в таблице 1, где приводятся следующие данные: для всего ММ диапазона и пяти значений температуры значения $m = \tilde{n} - ik$ взяты из таблиц работы [16]. Для СБММ диапазона и пяти значений температур приводятся наши расчеты согласно [17]. В качестве плотностей распределений капель — по размерам $f(r)$ — для двух фракций размеров от 1 до 45 мкм и от 85 до 1500 и более мкм использовались данные из таблицы работы [18]. Как известно, фракция от 1 до 45 мкм описывается гамма-распределением [19], а фракция сверхжурпных капель —

степенным законом [5—7]. В таблицах [18] приводятся параметры распределений двух фракций размеров капель для 12 основных типов облаков.

Спектральные коэффициенты — $\Gamma_0^*(\lambda)$, $\Gamma_p^*(\lambda)$, $\Gamma_{II}^*(\lambda)$ и $\Gamma_{p.I}^*(\lambda)$ по приближенным формулам Рэлея вычислялись соответственно по формулам [1—3,8]:

Таблица 1

λ , мм	20°C	10°C	0°C	-10°C	-20°C
10000	5,60—2,84	5,00—2,80	4,37—2,60	3,75—2,26	3,21—1,82
9000	5,33—2,81	4,76—2,72	4,16—2,50	3,59—2,14	3,10—1,70
8000	5,05—2,76	4,51—2,63	3,95—2,37	3,43—2,01	2,99—1,57
7000	4,74—2,67	4,24—2,50	3,73—2,22	3,26—1,85	2,88—1,43
6000	4,42—2,55	3,96—2,35	3,51—2,05	3,10—1,68	2,77—1,28
5000	4,07—2,38	3,66—2,15	3,28—1,85	2,83—1,44	2,88—1,43
4000	3,70—2,15	3,36—1,91	3,04—1,61	2,77—1,27	2,57—0,92
3000	3,31—1,84	3,04—1,60	2,81—1,31	2,61—1,01	2,48—0,72
2000	2,90—1,42	2,73—1,20	2,59—0,81	2,48—0,71	2,41—0,49
1000	2,56—1,01	2,45—0,89	2,28—0,58	2,26—0,37	2,10—0,25
900	2,47—0,96	2,40—0,83	2,24—0,54	2,20—0,42	2,06—0,30
800	2,45—0,87	2,36—0,74	2,20—0,51	2,15—0,38	2,03—0,28
700	2,39—0,81	2,32—0,75	2,18—0,48	2,09—0,35	1,99—0,26
600	2,34—0,71	2,28—0,70	2,15—0,44	2,04—0,32	1,96—0,24
500	2,29—0,71	2,24—0,65	2,11—0,43	1,99—0,29	1,92—0,22
400	2,22—0,62	2,10—0,58	2,05—0,38	1,94—0,27	1,89—0,21
300	2,13—0,55	2,12—0,53	1,93—0,35	1,91—0,26	1,87—0,21
200	2,05—0,48	2,05—0,51	1,93—0,30	1,91—0,27	1,87—0,24
100	1,98—0,47	1,97—0,47	1,56—0,30	1,83—0,37	1,79—0,35

$$\Gamma_0^* = \left[\frac{3,42905 \cdot 10^1}{\lambda} \operatorname{Im}[\dots] \int_{r_1}^{r_2} N \cdot f(r) r^3 dr + \frac{5,67049 \cdot 10^1}{\lambda} \operatorname{Re} \left[\left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \int_{r_1}^{r_2} N \cdot f(r) \cdot r^5 dr \right] \right] \frac{\text{дБ}}{\text{км}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{Im}[\dots] = \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \left[1 + \frac{r^2}{15} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \frac{m^4 + 27m^2 + 38}{2m^2 + 3} \right] \right\},$$

$$m = \tilde{n} + ix$$

$$\Gamma_p^* = \frac{5,67049 \cdot 10^{-1}}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \int_{r_1}^{r_2} N \cdot f(r) r^5 dr \quad \frac{\text{дБ}}{\text{км}}, \quad (2)$$

$$\Gamma_{II}^* = \frac{3,42905 \cdot 10^{-1}}{\lambda} \operatorname{Im} \left(- \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \int_{r_1}^{r_2} N \cdot f(r) r^3 dr \quad \frac{\text{дБ}}{\text{км}}, \quad (3)$$

$$\Gamma_{p.I}^* = 10^{-6} \frac{\pi^3}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 64 \int_{r_1}^{r_2} N \cdot f(r) r^5 dr. \quad (4)$$

Используя программу "ORION", и приближенные формулы Рэля (2)–(4), мы рассчитали спектральные коэффициенты $\Gamma_0(\lambda)$, $\Gamma_0^*(\lambda)$, $\Gamma_p(\lambda)$, $\Gamma_p^*(\lambda)$, $\Gamma_{\Pi}(\lambda)$, $\Gamma_{\Pi}^*(\lambda)$ и $\Gamma_{рл}(\lambda)$, $\Gamma_{рл}^*(\lambda)$ для 19 значений длин волн из интервала 10–0,1 мм и пяти значений температур 20, 10, 0, –10 и –20°C с точностью пяти знаков после запятой.

Результаты сравнения

Сравним результаты расчетов для каждого из коэффициентов в отдельности.

Коэффициент ослабления $\Gamma_0(\lambda)$ и $\Gamma_0^*(\lambda)$

Для фракции размеров от 1 до 45 мкм в ММ диапазоне погрешность расчетов по приближенным формулам для слоистых облаков составляет доли процента. Для конвективных облаков: $Cu\ cong(\overline{m\lambda})$ погрешность не превышает 2%, а $Sb(\overline{m\lambda})$ для положительных температур погрешность порядка 2–8,4%, а для отрицательных температур — 1,5–2,3%. В СБММ диапазоне от 1 до 0,5 мм погрешность расчетов по приближенным формулам для слоистых облаков не превышает 1%. Для длин волн от 0,2 до 0,4 мм погрешность составляет от 1 до 12,5%. Для конвективных облаков $Cu\ cong(\overline{m\lambda})$ и $Sb(\overline{m\lambda})$ погрешность велика уже при $\lambda = 1$ мм. Для $\lambda < 1$ мм погрешность постепенно увеличивается и при $\lambda = 0,1$ мм она составляет 45%.

Для фракции размеров капель от 85 до 1500 мкм пользоваться формулой Рэля вообще невозможно в коротковолновой части ММ и в СБММ диапазонах. Подробности см. в нашей ранней работе [20].

Коэффициент поглощения $\Gamma_{\Pi}(\lambda)$ и $\Gamma_{\Pi}^*(\lambda)$

В таблице 2 приводятся результаты наших расчетов отношений $\Gamma_{\Pi}/\Gamma_{\Pi}^*$ для диапазона СБММ волн и мелких капель от 1 до 45 мм. В числителе — данные для $t = +20^\circ\text{C}$, а в знаменателе при -20°C . Величины $\Gamma_{\Pi}/\Gamma_{\Pi}^*$ несколько велики по сравнению с Γ_0/Γ_0^* , а, в основном, поведение обеих отношений идентичны, поэтому мы приводим подробную таблицу 2 только для $\Gamma_{\Pi}/\Gamma_{\Pi}^*$. Для слоистых облаков погрешность использования Γ_{Π}^* превышает 1% при $\lambda = 1$ мм. Для $\lambda \sim 0,6$ мм погрешность порядка 3%. Для конвективных облаков погрешность одинаково велика и изменяется в пределах от 10 до 80%.

Как показали наши ранние расчеты [20], расчет по приближенным формулам для фракции от 85 до 1500 мкм невозможно проводить для длин волн меньше 8–10 мм, из-за присутствия сверхкрупных капель в конвективных облаках.

Коэффициент рассеяния Γ_p и Γ_p^*

В ММ диапазоне для фракции размеров от 1 до 45 мкм наблюдалась удивительно высокая точность совпадения Γ_p и Γ_p^* для слоистых и конвективных облаков (точность совпадения 4–5 знаков после запятой).

Для $\lambda = 2$ мм и отдельных облаков различие составляет 0,1–0,2%. В СБММ диапазоне погрешность расчетов Γ_p^* несколько мала по срав-

нению с погрешностью расчетов Γ_{Π}^* и несколько превосходит погрешность расчетов Γ_0^* . Впервые здесь наблюдается величина отношений Γ_p/Γ_p^* меньшая единицы.

Таблица 2

Значения отношений $\Gamma_{\Pi}/\Gamma_{\Pi}^*$ в СБММ диапазоне для мелких капель. Числитель — для 20°C , знаменатель — для -20°C .

Тип облака	λ мм					
	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1
<i>Sc</i>	1,001	1,000	1,000	1,037	1,124	1,388
	1,005	1,008	1,013	1,026	1,099	1,285
<i>St</i>	1,007	1,010	1,015	1,031	1,104	1,335
	1,005	1,006	1,010	1,021	1,084	1,249
<i>Ns</i>	1,012	1,017	1,026	1,053	1,218	1,511
	1,007	1,010	1,018	1,036	1,143	1,372
<i>Ac</i>	1,007	1,010	1,016	1,033	1,112	1,349
	1,005	1,007	1,010	1,023	1,090	1,263
<i>As</i>	1,010	1,013	1,022	1,043	1,143	1,435
	1,006	1,009	1,014	1,029	1,114	1,318
<i>medi</i>	1,007	1,010	1,016	1,032	1,105	1,336
	1,004	1,006	1,010	1,022	1,084	1,248
<i>maxi</i>	1,017	1,023	1,032	1,074	1,244	1,654
	1,010	1,015	1,024	1,051	1,195	1,469
<i>Cu hum</i>	1,003	1,005	1,007	1,015	1,049	1,170
	1,001	1,003	1,005	1,010	1,039	1,130
<i>Cu med</i>	1,006	1,008	1,012	1,025	1,086	1,410
	1,004	1,005	1,009	1,018	1,068	1,210
<i>Cu cong</i>	1,011	1,016	1,024	1,048	1,161	1,608
	1,007	1,009	1,016	1,033	1,127	1,347
<i>Cu cong (max)</i>	1,023	1,033	1,052	1,104	1,333	1,662
	1,014	1,021	1,034	1,071	1,126	1,498
<i>Cb (max)</i>	1,070	1,099	1,157	1,312	1,770	1,400
	1,043	1,062	1,103	1,212	1,706	1,361

Коэффициенты радиолокационного отражения $\Gamma_{\text{рд}}(\lambda)$ и $\Gamma_{\text{рд}}^*(\lambda)$. Результаты расчетов в СБММ диапазоне и для мелких капель от 1 до 45 мкм приводятся в табл. 3. Погрешность в ММ диапазоне намного мала по сравнению с расчетами Γ_p^* , поэтому мы их здесь не приводим. Можно утверждать, что формула для $\Gamma_{\text{рд}}^*$ наиболее точная из всех рассмотренных формул Рэля. Отличительная особенность данных, приведенных в табл. 3 в том, что в большинстве случаев величины $\Gamma_{\text{рд}}/\Gamma_{\text{рд}}^*$ меньше единицы. Почти для всех типов облаков (кроме *Cb (max)*) и от 1 до 0,4 мм погрешность расчетов по $\Gamma_{\text{рд}}^*$ не превышает 1%. Погрешность велика для $\lambda < 0,4$ мм и особенно для *Cb (max)*. В отношениях $\Gamma_{\text{рд}}/\Gamma_{\text{рд}}^*$ наблюдаются два контрастных случая: очень

малая погрешность в длинноволновой части СБММ диапазона и рекордно большая погрешность в коротковолновой части СБММ диапазона.

Таблица 3

Значения отношений $\Gamma_{рл} / \Gamma_{рл}^*$ в СБММ диапазоне для мелких капель. Числитель — для 20°C , знаменатель — для -20°C .

λ мм Тип облака	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1
	<i>Sc</i>	1,000 1,000	1,000 0,998	1,000 0,996	0,996 0,989	0,951 0,942
<i>St</i>	1,000 1,000	1,000 0,998	1,000 0,996	0,996 0,990	0,958 0,949	0,646 0,645
<i>Ns</i>	1,000 0,999	1,000 0,997	0,999 0,995	0,994 0,986	0,935 0,925	0,472 0,482
<i>Ac</i>	1,000 0,999	1,000 0,998	1,000 0,996	0,996 0,989	0,955 0,946	0,622 0,623
<i>As</i>	1,000 0,998	1,000 0,998	0,999 0,995	0,995 0,988	0,945 0,936	0,541 0,547
<i>Medi</i>	1,000 0,999	1,000 1,000	1,000 0,996	0,996 0,990	0,958 0,950	0,646 0,645
<i>Maxi</i>	1,000 0,998	1,000 0,997	1,000 0,994	0,992 0,984	0,919 0,909	0,359 0,376
<i>Cu hum</i>	1,000 1,000	1,000 0,999	1,000 0,908	1,000 0,995	0,983 0,976	0,857 0,846
<i>Cu med</i>	1,000 1,000	1,000 0,999	1,000 0,907	0,997 0,992	0,966 0,958	0,714 0,708
<i>Cu cong</i>	1,001 0,999	1,000 0,999	0,999 0,995	0,995 0,987	0,940 0,930	0,504 0,511
<i>Cu cong (max)</i>	1,001 1,000	1,000 0,995	1,000 0,988	0,982 0,968	0,791 0,797	0,181 0,188
<i>Cb (max)</i>	1,001 0,992	0,997 0,985	0,983 0,966	0,912 0,898	0,315 0,338	$0,146 \cdot 10^{-2}$ $0,142 \cdot 10^{-2}$

Завершая рассмотрение сравнения точных и приближенных формул Рэлея следует отметить разнообразие погрешностей для различных коэффициентов, длин волн, температур и типов облаков. Поэтому прежде чем пользоваться приближенными формулами, следует иметь конкретное представление о том, для каких условий они применяются. В таблицах приводятся реальные погрешности для различных типов облаков и длин волн, когда облако состоит из мелких капель размерами в диапазоне от 1 до 45 мкм.

Сверхкрупные капли облаков внесли определенную коррективу в использовании приближенных формул Рэлея. Одно ясно, что из-за соизмеримости размеров сверхкрупных капель с длинами волн ММ и СБММ диапазонов во всех случаях пользоваться приближением Рэлея невозможно.

но в вышеуказанных диапазонах. Однако для определенных коэффициентов, а именно Γ_0 и Γ_n , можно просто не учитывать присутствие сверхкрупных капель в облаках и расчеты проводить только для фракции размеров от 1 до 45 мкм. На это указывают наши расчеты [21] для основных типов облаков. Велико влияние сверхкрупных капель на коэффициенты Γ_p и Γ_{p1} (см. также [21]), где пользоваться приближенными формулами невозможно для всех типов облаков, если вопрос касается длин волн меньше 8—10 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. Гостехиздат, М., 1951.
2. Шифрин К. С. Введение в оптику океана. Гидрометеоздат, Л., 1983.
3. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. Мир, М., 1971.
4. Акваланова А. Б., Кутуза Б. Г. Радиотехника и электроника, 23, 1792 (1978).
5. Радиация в облачной атмосфере. Под редакцией Фейгельсон Е. М. Гидрометеоздат, Л., 1981.
6. Мазин И. П., Шметер С. М. Облака, строение и физика образования. Гидрометеоздат, Л., 1983.
7. Pruppacher H. R. and Klett J. D. Microphysics of clouds and precipitation D. Reidel Publish Co. 1978.
8. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. Мир, М., 1986.
9. Dave J. V. Applied Optics. v. 8, №1, 155, 1969.
10. British Association for the Advancement of Science, Mathematical Tables. v. 10, Bessel Functions, part 2, Functions of Positive Integer Order, Cambridge (H. P. London), 1952.
11. Hilderbrand F. B. Introduction to Numerical Analysis. New York, 1974.
12. Allen E. E. МТАС. №55, 162, 1956.
13. Goldstein M. and Thaler R. M. МТАС, 13, 102 (1959).
14. Lentz W. J. Applied Optics 15, 668 (1976).
15. Lentz W. J. Rept. no ECOM—5509, AD—767223/1GA, Sep. 73, 160, 1973.
16. Розенберг В. И. Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами. Гидрометеоздат, Л., 1972.
17. Айвазян Г. М. Изв. АН АрмССР, Физика, т. 25, вып. 6 (1990).
18. Айвазян Г. М. Труды ГГО, вып. 538, I, 1990.
19. Левин Л. М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. Изд. АН СССР, М., 1961.
20. Айвазян Г. М. Изв. АН АрмССР, Физика, 22, 280 (1987).
21. Айвазян Г. М. Труды ГГО, вып. 538, II, 1990.

ԱՄՊԵՐՈՒՄ ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՆՈՑ ԵՎ ՍՈՒՐՄԻԼԻՄԵՏՐԱՆՈՑ ԱԼԻՔՆԵՐԻ
ՌԱԴԻՈԼՈՂԱՑՅՈՒՆ ԱՐՏԱՑՈՂՄԱՆ ԵՎ ԹՈՒԼԱՑՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐԻ
ՀԱՄԱՐ ՌԵԼՅԵՒ ԲԱՆԱԶԵՎԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

2. Մ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

Կատարվել են ամպերում միլիմետրանոց և սուբմիլիմետրանոց ալիքների թուլացման և ուղիղուղիացիոն արտացոլման հաշվարկներ ճշգրիտ տեսության և Ռեյլեյի մոտավոր բանաձևերով: Համեմատության արդյունքները թույլ են տվել որոշել հիմնական տեսակի ամպերում միլիմետրանոց և սուբմիլիմետրանոց ալիքների թուլացման և ուղիղուղիացիոն արտացոլման հաշվարկներում Ռեյլեյի մոտավոր բանաձևերի և սխալների կիրառելիության սահմանները:

ON THE POSSIBILITY OF USING RAYLEIGH FORMULAE FOR CALCULATIONS OF EXTINCTION AND BACKSCATTERING OF MILLIMETRE AND SUBMILLIMETRE WAVES IN CLOUDS

H. M. AJVAZIAN

The calculations of extinction and backscattering of millimetre and submillimetre waves in clouds were made according to the exact Mie theory and approximate Rayleigh formulae. The results of comparison allowed us to determine the limits of applicability of approximate Rayleigh formulae as well as the errors of these calculations for principal types of clouds.

Изв. АН Армении, Физика, т. 25, вып. 5, 281—288 (1990)

УДК 536

ПОТОКИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

О. С. ЕРИЦЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 20 января 1990 г.)

Рассмотрено распространение монохроматической электромагнитной волны вдоль оси недиспергирующего холестерического жидкого кристалла вне области дифракционного отражения. Определены потоки энергии, создаваемые пространственными фурье-компонентами волнового поля, которых, как известно — восемь: по четыре компоненты с правой и левой круговой поляризациями. Обсуждена постановка граничной задачи в связи с требованием, согласно которому энергия преломленной волны должна оттекать от границы, а не притекать к ней.

1. Введение. Предварительные соотношения

Волновое поле в холестерическом жидком кристалле (ХЖК), при распространении волны вдоль оси ХЖК, содержит, как известно, четыре пары связанных друг с другом пространственных фурье-компонент: одна из компонент в каждой паре имеет правую круговую поляризацию, другая — левую (см. [1], [2]). Несмотря на то, что оптические исследования ХЖК ведутся давно, вопросам, касающимся энергетических характеристик, не уделяется достаточного внимания. Между тем эти вопросы представляют самостоятельный интерес для электродинамики, так как ХЖК — интересные объекты для этой области. Энергетические соотношения в принципе должны быть вовлечены в рассмотрение также при решении граничных задач. Дело в том, что указание Л. И. Мандельштама о необоснованности производимого обычно отождествления с преломленной той волны, волновой вектор которой направлен в глубь среды, в настоящее время приходится иметь в виду нередко, — и преломленной следует считать ту волну, у которой в глубь среды направлен вектор Пойнтинга, а не волновой вектор. Имеются ситуации ([3], [4]), когда эти два вектора направлены существенно в разные стороны, даже в противоположные, и для любой среды при первом рассмотрении граничных задач, на наш взгляд,