

УДК 538.56:625.365

## Безотражательное поглощение электромагнитного излучения при его падении под углом на просветленную поглощающую подложку

*Р. М. Касимов, С. Р. Касимова*

*Найдены условия возникновения полного безотражательного поглощения электромагнитной волны при ее падении под углом на поглощающую подложку бесконечной толщины с нанесенным на нее слоем непоглощающего диэлектрика. Исследуются их зависимость от толщины слоя просветляющего покрытия, угла падения волны и диэлектрических свойств материала подложки и покрытия.*

PACS: 41.20.-q

*Ключевые слова:* электромагнитное излучение, поглощение, просветление, слой, подложка.

### Введение

В результате исследований характеристик отражения электромагнитной волны от поглощающей диэлектрической подложки с нанесенным на нее слоем диэлектрического покрытия установлена возможность полного поглощения излучения в такой двухслойной системе [1]. При этом поглощение падающего излучения носит спектральный характер и проявляется в области дисперсии вещества подложки при строго определенных избирательных значениях частоты излучения и толщины слоя покрытия [2]. Следует ожидать, что подобное поглощение возможно и при падении волны под углом на такую двухслойную систему.

### Физическая модель и ее расчет

Для решения данной задачи рассмотрим падение под углом  $\alpha_0$  плоскополяризованной волны на двухслойную систему, составленную из поглощающей подложки бесконечной толщины и нанесенного на нее непоглощающего покрытия с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$ . Толщина  $l$  слоя покрытия регулируема, а вещество подложки имеет комплексное значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ , где  $\epsilon'$  — его диэлектрическая проницаемость и  $\epsilon''$  — диэлектрические потери. С учетом положения вектора электрической поляризации  $\mathbf{E}$  волны по отношению к плоскости ее падения будем различать случаи отражения параллельно-поляризованной (ПАП) и поперечно-поляризованной (ПОП) волны, соответственно, когда вектор  $\mathbf{E}$  параллелен или перпендикулярен плоскости падения волны.

**Касимов Расим Мустафа оглы**, зав. лабораторией.  
**Касимова Севда Расим гызы**, доцент.  
 Институт химических проблем НАН Азербайджана.  
 Азербайджан, AZ1143, г. Баку, пр. Г. Джавида, 29.  
 Тел. (99412) 439-38-71. Факс (99412) 510-85-93.  
 E-mail: ИТРСНТ@itpcht.ab.az chem@science.az

*Статья поступила в редакцию 19 августа 2010 г.*

© Касимов Р. М., Касимова С. Р., 2011

В зависимости от типа поляризации падающей волны комплексное выражение для коэффициента отражения волны  $\hat{R}$  от рассматриваемой плоской слоистой системы имеет вид:

*при отражении ПОП-волны*

$$\hat{R} = \frac{Z_d \cos \alpha_0 - Z_0 \cos \alpha_1}{Z_d \cos \alpha_0 + Z_0 \cos \alpha_1}; \quad (1)$$

*при отражении ПАП-волны*

$$\hat{R} = \frac{Z_0 \cos \alpha_0 - Z_d \cos \alpha_1}{Z_0 \cos \alpha_0 + Z_d \cos \alpha_1},$$

где  $Z_0$  — волновое сопротивление вакуума;

$\alpha_1$  — угол преломления волны в материале покрытия;

$$\cos \alpha_0 = \sqrt{1 - p};$$

$$\cos \alpha_1 = \sqrt{1 - p / \epsilon_1};$$

$$p = \sin^2 \alpha_0 \quad [3].$$

Входящие в уравнения (1) входные сопротивления  $Z_d$  системы покрытие—подложка определяются выражениями:

*для ПОП-волны*

$$Z_d = Z_1 \frac{Z \cos \alpha_1 + Z_1 \cos \alpha \cdot \text{th}(\gamma l \cos \alpha_1)}{Z_1 \cos \alpha + Z \cos \alpha_1 \cdot \text{th}(\gamma l \cos \alpha_1)},$$

*для ПАП-волны*

$$Z_d = Z_1 \frac{Z \cos \alpha + Z_1 \cos \alpha_1 \cdot \text{th}(\gamma l \cos \alpha_1)}{Z_1 \cos \alpha_1 + Z \cos \alpha \cdot \text{th}(\gamma l \cos \alpha_1)}, \quad (2)$$

где  $Z_1, Z$  — волновые сопротивления, соответственно, материалов покрытия и подложки;

$\alpha$  — угол преломления волны в веществе подложки;

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - p / \hat{\epsilon}};$$

$\gamma = i2\pi\sqrt{\epsilon_1} / \lambda$  — постоянная распространения волны в материале покрытия;

$\lambda$  — длина волны падающего излучения.

Безотражательному поглощению волны в рассматриваемой слоистой системе соответствуют условия:

для ПОП-волны

$$Z_d = Z_0 \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_0}; \quad (3)$$

для ПАП-волны

$$Z_d = Z_0 \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}.$$

Поскольку  $Z_1 = Z_0 / \sqrt{\varepsilon_1}$ ;  $Z = Z_0 / \sqrt{\hat{\varepsilon}}$ , с учетом выражения (2) имеем:

для ПОП-волны

$$\frac{\sqrt{\varepsilon_1 - p} + i\sqrt{\hat{\varepsilon} - p} \cdot \operatorname{tg} 2\pi x}{\sqrt{\hat{\varepsilon} - p} + i\sqrt{\varepsilon_1 - p} \cdot \operatorname{tg} 2\pi x} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - p}{1 - p}}; \quad (4)$$

для ПАП-волны

$$\frac{\varepsilon_1 \sqrt{\hat{\varepsilon} - p} + i\hat{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon_1 - p} \cdot \operatorname{tg} 2\pi x}{\hat{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon_1 - p} + i\varepsilon_1 \sqrt{\hat{\varepsilon} - p} \cdot \operatorname{tg} 2\pi x} = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{1 - p}{\varepsilon_1 - p}}, \quad (5)$$

где  $x = \frac{l}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_1 - p}$ .

Входящие в уравнения (4) и (5) величины  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$  и  $\varepsilon_1$  связаны с коэффициентом преломления  $n$ , экстинкцией  $\chi$ , фактором диэлектрических потерь  $y$  подложки и коэффициентом преломления волны  $n_1$  покрытия известными соотношениями

$$\varepsilon' = n^2 (1 - y^2); \quad \varepsilon'' = 2n^2 y; \quad \varepsilon_1 = n_1^2; \quad y = \frac{\chi}{n}, \quad (6)$$

где  $n = \lambda / \lambda_d$ ;

$$n_1 = \lambda / \lambda_{1d};$$

$$y = \operatorname{tg} \delta / 2;$$

$$\delta = \operatorname{arctg} \varepsilon'' / \varepsilon';$$

$\lambda_d$ ,  $\lambda_{1d}$  – длина волны, соответственно, в веществе подложки и покрытия.

Для удобства дальнейшего рассмотрения введем обозначения:

$$\bar{\varepsilon}' = \frac{\varepsilon' - p}{1 - p}; \quad \bar{\varepsilon}'' = \frac{\varepsilon''}{1 - p}; \quad \bar{\varepsilon}_1 = \frac{\varepsilon_1 - p}{1 - p}, \quad (7)$$

где  $\bar{\varepsilon}'$ ,  $\bar{\varepsilon}''$ ,  $\bar{\varepsilon}_1$  по аналогии с выражениями (6) представим в виде:

$$\bar{\varepsilon}' = \bar{n}^2 (1 - \bar{y}^2); \quad \bar{\varepsilon}'' = 2\bar{n}^2 \bar{y}; \quad \bar{\varepsilon}_1 = \bar{n}_1^2, \quad (8)$$

здесь  $\bar{n} = \bar{\lambda} / \bar{\lambda}_d$ ;  $\bar{n}_1 = \bar{\lambda} / \bar{\lambda}_{1d}$ ;  $\bar{y} = \operatorname{tg} \bar{\delta} / 2$ ;  $\bar{\delta} = \operatorname{arctg} \bar{\varepsilon}'' / \bar{\varepsilon}'$ ;  $\bar{\lambda} = \lambda / \sqrt{1 - p}$ ;  $\bar{\lambda}_d$ ,  $\bar{\lambda}_{1d} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_1 - p}$  — длина волны, соответственно, в вакууме, веществе

подложки и покрытия по направлению распространения волны.

Используя эти обозначения в уравнениях (4) и (5), получим после преобразований:

для ПОП-волны

$$Y = \frac{1}{P} \sqrt{(\bar{n}_1 P - 1)(1 - P / \bar{n}_1)}; \quad (9)$$

для ПАП-волны

$$Y = \frac{1}{P} \sqrt{(\bar{n}_1 P / n_1^2 - 1)(1 - n_1^2 P / \bar{n}_1)}; \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} 4\pi x = \frac{2PY}{1 - P^2(1 + Y^2)}, \quad (11)$$

где в зависимости от типа поляризации волны, входящие в эти уравнения параметры  $P$  и  $Y$  определяются следующими соотношениями:

для ПОП-волны

$$P = \frac{\bar{n}}{\bar{n}_1}; \quad Y = \bar{y}; \quad (12)$$

для ПАП-волны

$$P = \frac{n^2 \bar{n}_1 (1 - y^2) + 2y\bar{y}}{n_1^2 \bar{n} (1 + \bar{y}^2)}; \quad Y = \frac{2y - \bar{y}(1 - y^2)}{(1 - y^2) + 2y\bar{y}}. \quad (13)$$

Известно, что при использовании в рассматриваемой двухслойной системе непоглощающей подложки, условия ее просветления выполняются при толщине слоя покрытия, кратной  $\bar{\lambda}_{1d} / 4$ , и независимо от типа поляризации падающего под углом электромагнитного излучения [4]. Вместе с тем, безотражательное прохождение ПАП-волны через подобную непоглощающую двухслойную систему возможно также и под углом Брюстера. Последнее может иметь место при отсутствии покрытия или при ее толщине, кратной  $\bar{\lambda}_{1d} / 2$  [4]. При наличии же в рассматриваемой системе поглощающей подложки в этой связи допустимо, что при соответствующем подборе толщины покрытия условия безотражательного гашения в ней падающего излучения могут выполняться как при определенном просветляющем угле падения ПОП- и ПАП-волн, так и при угле падения ПАП-волны, аналоге углу Брюстера для прозрачных сред.

Для возможной реализации обоих вариантов примем, что условия безотражательного гашения волны в подложке имеет место при толщине покрытия, близкой к величинам кратным  $\bar{\lambda}_{1d} / 4$  или  $\bar{\lambda}_{1d} / 4$ , соответственно, при углах просветления и углах Брюстера:

при углах просветления

$$x = \frac{l}{\lambda_{1d}} = \frac{2N - 1}{4} + \Delta; \quad (14)$$

при углах Брюстера

$$x = \frac{l}{\bar{\lambda}_{1d}} = \frac{N}{2} + \Delta, \quad (15)$$

где  $N$  — целые натуральные числа.

В обоих вариантах безотражательного поглощения волны входящий в (14) и (15) в случае поглощающей подложки параметр  $\Delta$  отличен от нуля и определяется из совместного решения уравнений (11), (14) или (11), (15):

$$\Delta = \frac{1}{4\pi} \operatorname{arctg} \frac{2PY}{1 - P^2(1 + Y^2)}. \quad (16)$$

В частном случае нормального падения волны на рассматриваемую двухслойную систему  $\alpha_0 = 0$ ,  $p = 0$ ,  $\bar{n} = n$ ,  $\bar{y} = y$ ,  $\bar{n}_1 = n_1$ . Тогда  $P = n/n_1$ ,  $Y = y$ ,  $A = n_1$  и уравнения (9)—(11) представимы в виде:

$$y = \frac{1}{n} \sqrt{(n-1)(n_1^2 - n)}; \quad (17)$$

$$\operatorname{tg} 4\pi x = \frac{2nn_1y}{n_1^2 - n^2(1 + y^2)}, \quad (18)$$

которые совпадают с уравнениями, полученными в работе [1].

Как следует из уравнений (14) и (15), при заданных избирательных значениях  $\alpha_0$ ,  $n$ ,  $y$  и  $n_1$  безотражательное прохождение волны должно иметь место при толщинах слоя просветляющего покрытия, отстоящих друг от друга на расстоянии  $\bar{\lambda}_{1d}/2$ . При осциллирующем и незатухающем характере зависимости модуля коэффициента отражения волны  $\rho$  от толщины  $l$  слоя покрытия для рассматриваемой системы, при этих толщинах минимумы этой зависимости достигают нулевой величины. В этой связи входящий в уравнения (14) и (15) целочисленный параметр  $N$  указывает на порядковый номер соответствующего нулевого минимума  $\rho$ .

Уравнения (9)—(16) определяют условия безотражательного поглощения электромагнитного излучения при его падении под углом на систему покрытие—поглощающая подложка. Они были использованы для нахождения зависимостей между избирательными значениями  $n$ ,  $\chi$ ,  $n_1$  веществ подложки и покрытия, величины отклонения  $\Delta$  толщины слоя  $l_0$  от величин, кратных  $\bar{\lambda}_{1d}/4$ , длины волны излучения  $\lambda$  и угла падения волны  $\alpha_0$ , при которых выполняются условия полного поглощения электромагнитного излучения в рассматриваемой двухслойной системе.

На рис. 1 и 2 даны, соответственно, семейства зависимостей  $\chi$  и  $\Delta$  от  $n$  при  $n_1 = 1,5$  и различных

значениях угла падения ПОП- и ПАП-волн. Зависимости  $\chi$  от  $n$  имеют параболическую форму и характер их поведения от угла падения волны  $\alpha_0$  зависит от типа ее поляризации. При нормальном падении волны ( $\alpha_0 = 0$ ) зависимость пересекает ось абсцисс в точках  $n = 1$  и  $n = n_1^2$ . В случае падения ПОП-волны с увеличением  $\alpha_0$  функции  $\chi(n)$  располагаются над ограничивающей кривой для  $\alpha_0 = 0$ , они возрастают по величине и при достижении значения  $\alpha_0 = 90^\circ$  уходят в бесконечность. При этом их правые части пересекают ось абсцисс при значениях  $n_{\text{пр}}$ , соответствующим условиям просветления непоглощающей подложки. Величины  $n_{\text{пр}}$  находятся из следующего выражения, вытекающего из уравнения (4) при  $y = 0$  и  $x = (2N - 1)/4$ :

$$n = \sqrt{p + \frac{(n_1^2 - p)^2}{(1 - p)}}. \quad (19)$$

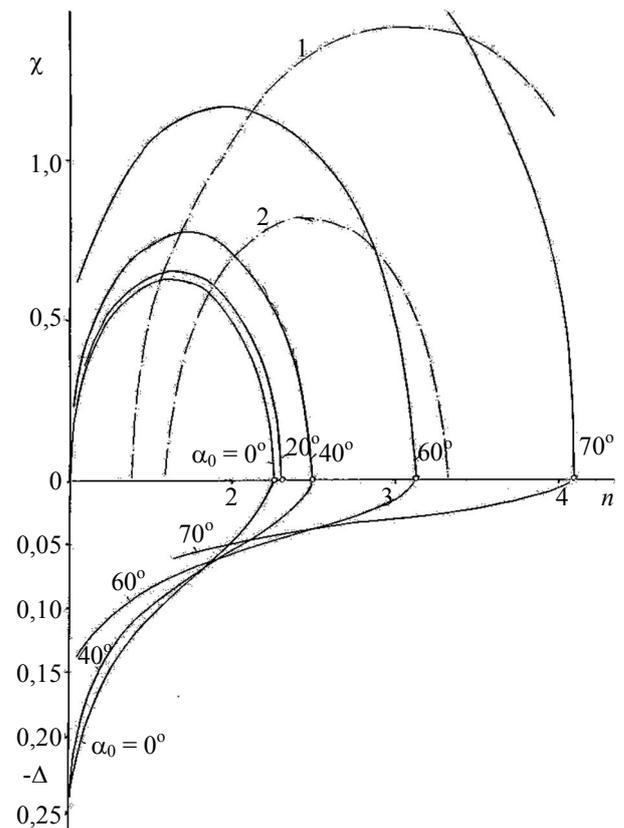
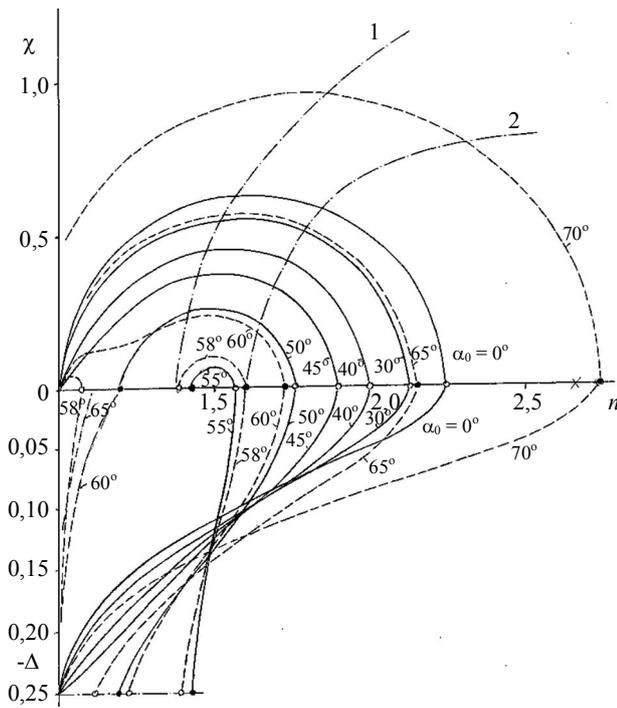


Рис. 1. Зависимости между коэффициентом преломления волны  $n$  и экстинкцией  $\chi$  вещества подложки и величиной отклонения  $\Delta$  толщины слоя покрытия от величин кратных  $\bar{\lambda}_{1d}/4$  (сплошные линии) при безотражательном поглощении под углом  $\alpha_0$  ПОП-излучения при наличии у подложки нанесенного на нее слоя покрытия с коэффициентом преломления волны  $n_1 = 1,5$  и  $N = 1$ . Зависимости  $\chi$  от  $n$  при дебаевском типе дисперсии волн у ацетона (1) и 4-этилпиридина (2):

$\bar{\lambda}_{1d}$  — длина волны в веществе покрытия по направлению распространения волны;  $N$  — номер нулевого минимума отраженного сигнала



**Рис. 2.** Зависимости между коэффициентом преломления волны  $n$  и экстинкцией  $\chi$  вещества подложки и величиной отклонения  $\Delta$  толщины слоя покрытия от величин кратных  $\bar{\lambda}_{1d}/4$  (сплошные линии) и кратных  $\bar{\lambda}_{1d}/2$  (штриховые линии) при безотражательном поглощении под углом  $\alpha_0$  ПАП-излучения при наличии у подложки нанесенного на нее покрытия с коэффициентом преломления подложки  $n_1 = 1,5$  и  $N = 1$ . Зависимости  $\chi$  от  $n$  при дебаевском типе дисперсии волн у ацетона (1) и 4-этилпиридина (2):  $\bar{\lambda}_{1d}$  — длина волны в веществе покрытия по направлению распространения волны;  $N$  — номер нулевого минимума отраженного сигнала

Характерно, что величина отклонения  $\Delta$  толщины просветляющего слоя от  $\bar{\lambda}_{1d}/4$  отрицательна во всем интервале изменения  $n$  и  $\alpha_0$ . При  $y = 0$  она равна нулю, с уменьшением  $n$  возрастает по абсолютной величине и достигает своего предельного значения 0,25 (см. рис. 1).

В случае падения ПАП-волны параболические по форме зависимости  $\chi$  от  $n$  (см. рис. 2) с ростом величины  $\alpha_0$  смещаются вниз к оси абсцисс по отношению к ограничивающей кривой  $\chi(n)$ , соответствующей случаю нормального падения волны ( $\alpha_0 = 0$ ). В интервале углов падения волны  $0-45^\circ$  они пересекают ось абсцисс в точках  $n = 1$  ( $\Delta = -0,25$ ) и  $n = n_{пр}$  ( $\Delta = 0$ ). Величины последних соответствуют условиям просветления непоглощающей подложки и находятся из следующего выражения, вытекающего из уравнения (3) при  $y = 0$  и  $x = (2N - 1)/4$ :

$$n_{пр} = \sqrt{\frac{1 \pm \sqrt{1 - 4ap}}{2a}}, \quad (20)$$

где  $a = \frac{(n_1^2 - p)^2}{n_1^8(1 - p)}$ .

При  $\alpha_0 > 45^\circ$  зависимости  $\chi(n)$  продолжают с ростом  $\alpha_0$  смещаться вниз, однако они уже пересекаются с осью абсцисс в точках  $n = n_{бр}$  ( $\Delta = -0,25$ ) и  $n = n_{пр}$  ( $\Delta = 0$ ), где  $n_{пр} > n_{бр}$ . Величина  $n_{пр}$  определяется тем же выражением (20), а значение  $n_{бр}$  находится из уравнения Брюстера

$$n_{бр} = \text{arctg} \alpha_0. \quad (21)$$

Это значение  $n_{бр}$  определяет существование угла падения волны, при котором возможно ее безотражательное прохождение в непоглощающую подложку в отсутствии покрытия.

С дальнейшим возрастанием угла падения  $\alpha_0$  зависимость  $\chi(n)$  продолжает смещаться вниз и при некотором граничном значении  $\alpha_r$  стягивается в точку, лежащую на оси абсцисс при значении  $n = n_1$ , вытекающему из совместного решения уравнений (20) и (21) при условии  $\alpha_{бр} = \alpha_{пр}$ . С последующим ростом  $\alpha_0$  функция  $y(n)$  возрождается. У нее возникают две ветви, отмеченные на рис. 2 пунктирными линиями. Одна из них, которая реализуется при более высоких значениях  $n$  и при толщинах слоя покрытия, определяемыми уравнением (15), имеет две точки пересечения с осью абсцисс при  $n = n_{бр}$  ( $\Delta = 0$ ) и  $n = n_{пр}$  ( $\Delta = -0,25$ ), где  $n_{бр} > n_{пр}$ . Меньшая из них определяется из уравнений (20) и соответствует условиям просветления непоглощающей подложки, а большая — из уравнения Брюстера (21). У другой ветви функции  $\chi(n)$  более высокому значению  $n$  точки пересечения ее с осью абсцисс соответствуют условия просветления. При угле падения волны  $\alpha_0 = \alpha_{гр}$ , при которой выполняется условие  $4ap = 1$ , обе ветви объединяются и с последующем увеличением  $\alpha_0$  правая граница функции  $\chi(n)$  с ростом  $\alpha_0$  устремляется в бесконечность.

Как и в случае прохождения ПОП-волны, величина отклонения  $\Delta$  толщины слоя покрытия от  $\bar{\lambda}_{1d}/4$  (для просветляющих углов  $\alpha_{пр}$ ) или от  $\bar{\lambda}_{1d}/2$  (для углов Брюстера  $\alpha_{бр}$ ) отрицательна во всем интервале изменения  $n$  и  $\alpha_0$ . При  $y = 0$  она равна нулю, с уменьшением  $n$  возрастает по абсолютной величине и достигает своего предельного значения  $-0,25$  (см. рис. 2).

Нахождение избирательных значений толщины просветляющего покрытия, длины и угла падения волны, при которых возникает безотражательное прохождение излучения в подложку, становится возможным, если известны коэффициент преломления  $n_1$  покрытия и частотные зависимости  $n$ ,  $\chi$  вещества подложки. Как правило, диэлектриче-

ские свойства поглощающих диэлектриков, в частности полярных жидкостей, достаточно хорошо описываются уравнениями Дебая:

$$\varepsilon' = \varepsilon_0 + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad \varepsilon'' = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty}{1 + (\omega\tau)^2} \omega\tau, \quad (22)$$

где  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$  — соответственно, статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость вещества;

$\tau$  — время релаксации;

$\omega$  — круговая частота [5].

С учетом соотношений (6) между оптическими и диэлектрическими свойствами вещества уравнение Дебая представляется в следующем виде

$$\chi = \sqrt{4an^2 + b^2 - (n^2 + a)}, \quad (23)$$

где  $a = (\varepsilon_0 + \varepsilon_\infty)/2$ ;  $b = (\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty)/2$ .

Решая совместно уравнения (9), (10) и (23), можно вычислить при заданных величинах  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$ ,  $\tau$ ,  $n_1$  и  $\alpha_0$  избирательные значения  $n$  и  $y$ , а следовательно  $\lambda_0$  и  $l_0$ , при которых возникает полное поглощение падающей волны в выбранном материале подложки. Графическая иллюстрация подобного метода расчета представлена на рис. 1 и 2, где штрих-пунктирными линиями даны в координатной плоскости  $[n, y]$  вычисленные по уравнению (23) зависимости  $\chi(n)$  двух полярных жидкостей с известными значениями  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$ . Точки их пересечения с найденной при заданном значении  $\alpha_0$  зависимо-

стью  $\chi(n)$ , определяемые соответственно уравнениями (9) и (10), в конечном итоге позволяют рассчитать искомые избирательные значения  $\lambda_0$ ,  $l_0$  для выбранного вещества подложки и покрытия.

Установленная выше закономерность в изменении формы функции  $\chi(n)$  с возрастанием  $\alpha_0$  указывает на возможность появления двухзначности в определении  $\lambda_0$  и  $l_0$  при прохождении ПАП-волны. В этом случае при  $\alpha_0 < \alpha_T$  избирательные значения  $\lambda_0$  и  $l_0$  определяются с использованием уравнения (14) и соответствуют условиям просветления, тогда как при  $\alpha_0 > \alpha_T$  они определяются с использованием уравнений (15) и соответствуют условиям, аналогичным безотражательному прохождению волны в прозрачных средах под углом Брюстера.

В таблице приведены данные расчета избирательных значений длины волны излучения  $\lambda_0$  и первых трех толщин  $l_0$  слоя покрытия поглощающей подложки, при которых выполняются условия полного поглощения падающего излучения в двухслойной системе. В качестве вещества подложки использованы ряд полярных жидкостей с известными значениями  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$  и  $\tau$ , а в качестве вещества просветляющего покрытия — вещество со значением  $n_1 = 1,5$  [5]. Как следует из данных таблицы, при определенном подборе толщины слоя покрытия безотражательное поглощение ПАП-волны в жидкости возможно при падении волны на двухслойную систему как под углами просветления, так и под углами, аналогами угла Брюстера для прозрачных сред.

**Избирательные значения толщины  $l_0$  слоя просветляющего покрытия и длины волны  $\lambda_0$  падающего излучения ряда полярных жидкостей дебаевского типа при различных углах падения волны**

Вещество подложки	$\alpha_{пр}$ , град	$\alpha_{бр}$ , град	При просветляющих углах			При углах Брюстера		
			$\lambda_0$ , см	$l_0$ , см		$\lambda_0$ , см	$l_0$ , см	
				$N_0 = 1$	$N_0 = 2$		$N_0 = 1$	$N_0 = 2$
Ацетон $\varepsilon_0 = 21,2$ ; $\varepsilon_\infty = 1,90$ ; $\tau = 3,01 \cdot 10^{-12}$ с	0	—	0,0584	0,0059	0,0254	0,0585	0,0059	0,0254
	20	—	0,0618	0,0065	0,0277	0,0551	0,0055	0,0244
	40	—	0,0773	0,0096	0,0381	0,0394	0,0036	0,0182
	50	—	0,0987	0,0138	0,0521	0,0199	0,0014	0,0091
	60	60	0,1545	0,0251	0,0881	0,0180	0,0049	0,0123
	65	65	0,2277	0,0402	0,1354	0,0532	0,0160	0,0384
4-этилпиридин $\varepsilon_0 = 11,0$ ; $\varepsilon_\infty = 2,52$ ; $\tau = 22 \cdot 10^{-12}$ с	0	—	1,1331	0,1378	0,5155	1,1331	0,1378	0,5155
	20	—	1,2133	0,1539	0,5692	1,0568	0,1298	0,4916
	40	—	1,5991	0,2308	0,8208	0,7313	0,0904	0,3602
	50	—	2,2104	0,3540	1,2110	0,3667	0,0463	0,1885
	60	60	5,2651	0,9823	3,1318	0,3247	0,1086	0,2412
	65	65	—	—	—	0,9978	0,3413	0,7588
Хлорбензол $\varepsilon_0 = 5,74$ ; $\varepsilon_\infty = 2,55$ ; $\tau = 7,0 \cdot 10^{-12}$ с	0	—	1,5384	0,2212	0,7340	1,5384	0,2211	0,7340
	20	—	1,9494	0,2965	0,9639	1,2811	0,1840	0,6227
	40	—	—	—	—	0,6826	0,0952	0,3470
	50	—	—	—	—	0,2992	0,0408	0,1568
	60	60	—	—	—	0,2613	0,0901	0,1968
	65	65	—	—	—	1,0851	0,4034	0,8574

Примечание.  $\alpha_{пр}$  — просветляющие углы;  $\alpha_{бр}$  — углы Брюстера;  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$ ,  $\tau$  — соответственно, статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости и время релаксации жидкости;  $N$  — номер нулевого минимума отраженного сигнала.

Для подтверждения полученных результатов были проведены исследования характеристик отражения ПАП- и ПОП-волн от двухслойных систем, где подложкой была полярная жидкость, а покрытием — непоглощающее вещество с  $n_1 = 1,5$ . По уравнениям (1) и (2) определялись зависимости модуля коэффициента отражения волны  $R$  подобных систем от угла падения волны  $\alpha_0$  при заданных диэлектрических свойствах веществ системы и при избирательной величине толщины слоя покрытия, предварительно вычисленной по уравнениям (14) или (15).

Если в качестве материала подложки выбран 4-этилпиридин, то согласно данным расчета безотражательное поглощение ПОП-излучения с дли-

ной волны  $\lambda = 3,2$  см в данной жидкости ожидаемо при падении волны под углом  $54,6^\circ$  и при первой возможной толщине просветляющего слоя покрытия, равному  $0,56$  см ( $N = 1$ ). В случае использования в качестве вещества подложки метилового спирта, отражение ПОП-излучения той же волны будет отсутствовать при  $\alpha_0 = 68,6^\circ$  и  $l_0 = 0,61$  см для  $N = 1$  (рис. 3). При падении ПАП-излучения с  $\lambda = 3,2$  см на двухслойную систему, где подложкой является этиловый спирт, его безотражательное поглощение ожидаемо не только под просветляющим углом  $\alpha_0 = 36,3^\circ$  и толщине слоя покрытия  $l_0 = 0,50$  см (для  $N = 1$ ), но и под углом Брюстера  $64,0^\circ$  и толщине слоя покрытия  $\alpha_0 = 1,22$  см для  $N = 1$  (рис. 4).

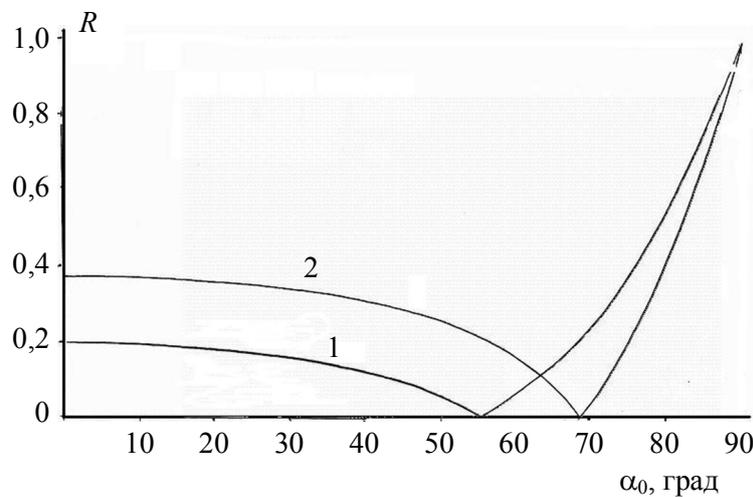


Рис. 3. Зависимости модуля коэффициента отражения волны  $R$  от угла падения  $\alpha_0$  ПОП-волны для 4-этилпиридина (1) и метилового спирта (2) при  $N = 1$  и толщине слоя покрытия  $0,56$  и  $0,61$  см, соответственно. Длина волны падающего излучения  $\lambda = 3,2$  см; температура  $20^\circ\text{C}$ ;  $N$  — номер нулевого минимума отраженного сигнала

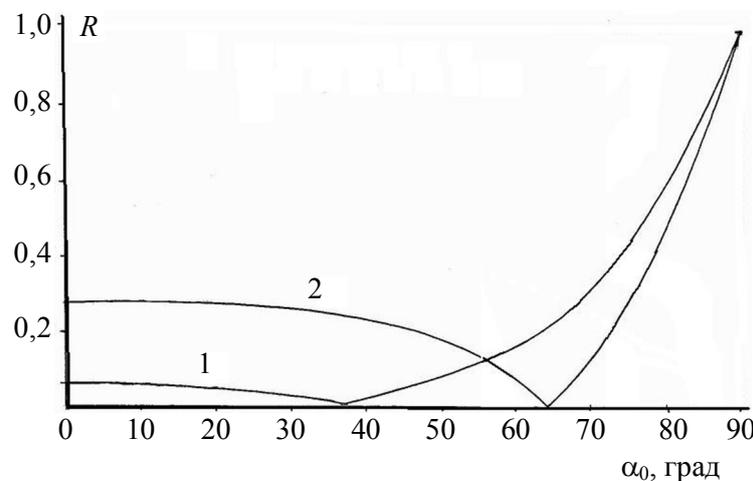


Рис. 4. Зависимости модуля коэффициента отражения волны  $R$  от угла падения  $\alpha_0$  ПАП-волны для этилового спирта при  $N = 1$  и толщине слоя покрытия  $0,50$  см для просветляющих углов (1) и  $1,22$  см — для углов Брюстера (2), соответственно. Длина волны падающего излучения  $\lambda = 3,2$  см; температура  $20^\circ\text{C}$ ;  $N$  — номер нулевого минимума отраженного сигнала

### З а к л ю ч е н и е

Выявленные условия существования безотражательного прохождения плоско-поляризованной волны под углом к просветленной поглощающей подложке позволяют осуществить целенаправленный поиск материалов при проектировании неотражающих элементов, в частности тепловых приемников излучения.

### Л и т е р а т у р а

1. Каджар Ч. О., Касимов Р. М., Касимова С. Р.// Прикладная физика. 2000. № 4. С. 101.
2. Каджар Ч. О., Касимова С. Р.// Известия НАН Азербайджана, сер. физ.-мат. и техн. наук. 2004. Т. 24. № 5. С. 85.
3. Preisner J.// NTZ Arch. 1989. V. 11. No. 4. P. 175—182.
4. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. — М.: Изд-во АН СССР, 1967.
5. Ахадов Я. Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей. — М.: Изд-во МАИ, 1999.

## Reflectionless absorption of electromagnetic radiation at its falling at an angle on the clarified swallowing wafer

R. M. Kasimov, S. R. Kasimova

Institute of Chemical Problems, 29 Javid av., Baku, AZ1143, Azerbaijan

E-mail: ITPCHT@itpcht.ab.az chem@science.az

*Conditions of occurrence complete reflectionless absorption of an electromagnetic wave at its falling at an angle on swallowing wafer of an infinite thickness with the layer put on it not swallowing dielectric are found. Their dependence on a thickness of a layer of a clarifying coating, an angle of incidence of a wave and dielectric properties of a material of a wafer and a coating are researched.*

PACS: 41.20.-q

*Keywords:* electromagnetic radiation, absorption, clarification, layer, wafer.

Bibliography — 5 references.

Received August 19, 2010