На правах рукописи

БЕНИАССИ МОХАМЕД

СООТНОШЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ТЕОРИИ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ВОЛН

(01.04.02. - теоретическая физика)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 1995

Работа выполнена на кафедре теоретической физики
Российского Университета дружбы народов

Научный руководитель-
доктор физико-математических наук
Ю.Н. Барабаненков

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор
С.А. Никитов
кандидат физико-математических наук
В.Д. Озрин

Ведущая организация
Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологической службы / ВНИИМС /

Защита диссертации состоится "21" ноября 1995 г. в 16^00 ч. на заседании диссертационного совета К 053.22.01. в Российском Университете дружбы народов по адресу: 117302, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 3, зал № 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского Университета дружбы народов по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Автореферат разос[illegible] [illegible] ктября 1995 г.

Ученый секретарь
диссертационного со[illegible]
кандидат физико-ма[illegible] [illegible]ких наук
доцент В.И. Санюк

19.10.95г. Объем 1п. л. Тир. 100 Зак. 539
Тип. РУДН, Орджоникидзе, 3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Явления многократного рассеяния волновых полей в случайно-неоднородных средах вызывают в настоящее время широкий интерес и встречаются в различных областях физики. Бурное развитие теории многократного рассеяния за последнее десятилетие обусловлено, несомненно, экспериментальным открытием универсального эффекта когерентного усиления обратного рассеяния света в случайно-неоднородной среде (Y. Kuga and A. Ishimaru, 1984 ; M.P. van Albada and A. Lagendijk, 1985), ранее теоретически предсказанного (K.M. Watson, 1969 ; D.A. de Wolf, 1971 ; Ю.Н. Барабаненков, 1973). Эффект когерентного усиления обратного рассеяния света тесно примыкает по своей физической природе к явлению слабой локализации электронов в примесной системе, которое считается предвестником явления сильной локализации Андерсона (P.W. Anderson, 1958). Поэтому после открытия когерентного усиления обратного рассеяния появились оптимистические прогнозы о возможности сильной локализации света и других классических волновых полей в плотных сильно рассеивающих дискретных случайно-неоднородных средах, состоящих, например, из резонансных рассеивателей. Однако вскоре было обращено внимание на то, что в плотных средах возможны эффекты корреляций рассеивателей (Ю.Н. Барабаненков, 1982) и их взаимного облучения (B.A. Van Tiggelen, A. Lagendijk and A. Tip, 1990), которые могут не только не приближать распространение света к режиму локализации, но даже удалять от него. В итоге, в настоящее время существует мнение, что путь к наблюдению локализации света и других классических волновых полей лежит через детальную разработку теории многократного рассеяния волн в плотных сильно рассеивающих дискретных случайно-неоднородных средах.

В теории многократного рассеяния можно выделить два независимо существующих подхода: метод композиции операторов рассеяния Ватсона (М. Гольдбергер и К. Ватсон, 1967) и метод инвариантного погружения Амбарцумяна (В.А. Амбарцумян, 1943) . Метод композиции операторов рассеяния Ватсона ведёт через диаграммную технику Фейнмана к системе уравнений Дайсона и Бете-Салпитера. Метод инвариантного погружения Амбарцумяна, перенесённый Кляцкиным на волновые поля, позволяет записать матричное уравнение Риккати для матричного коэффициента отражения волнового поля по амплитуде от слоя трёхмерной случайно-неоднородной среды (В.И. Кляцкин, 1986) . Для одномерной случайно-неоднородной среды матричное уравнение Риккати вырождается в одномерное, которое допускает исследование методом уравнения Эйнштейна - Фоккера - Планка (В.И. Кляцкин, 1980) . Пока не показано, что уравнения Дайсона и Бете-Салпитера являются асимптотически точными в каком-то приближении. Тем не менее эти уравнения физически наглядны, непосредственно ведут к феноменологической теории переноса излучения , позволили предсказать эффект когерентного усиления обратного рассеяния, применяется к рассмотрению любых дискретных случайно-неоднородных сред. (Ю.Н. Барабаненков, 1975) . Уравнение Эйнштейна - Фоккера - Планка является асимптотически точным и приводит к явлению локализации волн в одномерной случайно-неоднородной среде (G. C. Papanicolaou, 1971) . К сожалению, область применимости этого уравнения ограничена случаем оптически слабых в смысле Борновского приближения рассеивателей с точки зрения дискретной рассеивающей среды.

Как можно было заметить , метод уравнений Дайсона и Бете-Салпитера и метод уравнения Эйнштейна - Фоккера - Планка имеют свои преимущества и недостатки. Возможно по этой причине за последние годы получил распространение метод трансфер-матриц (матриц переноса) (J. B. Pendry , 1990-91). В методе трансфер-матриц рассматривается модель случайно-

неоднородной среды, состоящей из системы слоёв . Слои ориентированы перпендикулярно к некоторому заданному направлению и не перекрываются между собой. В остальном же слои произвольны и считаются, вообще говоря, состоящими из трёхмерной случайно-неоднородной среды. Трансфер-матрица связывает между собой амплитуды встречных волн в соседних промежутках между слоями , причем эта связь устанавливается как правило на основе наглядных физических представлений. Следует отметить, что одномерная модель случайно-неоднородной среды в виде системы однородных слоёв (одномерных рассеивателей) подробно исследована в пионерской работе Газаряна (Ю.Л. Газарян, 1969). В этой работе на основе наглядных представлений записана полная система соотношений для амплитуд встречных волн между слоями, а также коэффициентов отражения и прохождения всей системы слоёв (соотношения переноса) . Полученные соотношения переноса решены Газаряном при условии статистической независимости и точечности рассеивателей , что позволило продемонстрировать явление локализации волн в одномерной модели дискретной случайно-неоднородной среды из некоррелированных рассеивателей . Полученный Газаряном результат , как и следовало ожидать , совпал в пределе оптически слабых рассеивателей с результатом решения уравнения Эйнштейна - Фоккера - Планка .

<u>Целью работы является</u> :

1. Последовательное обобщение соотношений переноса Газаряна на волновые поля в трёхмерной среде методом композиции операторов рассеяния Ватсона.
2. Вывод из соотношений переноса системы матричных рекуррентных уравнений, удовлетворяющей принципу " динамической причинности " и выражающей коэффициенты прохождения и отражения n слоёв через значения этих коэффициентов для $n-1$ слоя.
3. Вывод обобщенного матричного уравнения Риккати для коэф-

фициента отражения волнового поля от трехмерной среды из соотношений переноса .

4. Проверка коректности известного выражения для трансфер-матрицы волнового поля в трёхмерной среде на основе соотношений переноса .

5. Исследование режима делокализации при прохождении волнового излучения через одномерную дискретную случайно-неоднородную среду из отталкивающихся рассеивателей .

Научная новизна и положения, выносимые на защиту , состоят в следующем:

I. Дан последовательный вывод обобщеных матричных соотношений переноса Газаряна для волнового поля в трехмерной среде методом композиции операторов рассеяния Ватсона.

2. Путем исключения из соотношений переноса амплитуд встречных волн в промежутках между слоями, выводится система матричных рекуррентных уравнений, выражающая коэффициенты прохождения и отражения n слоёв через значения этих коэффициентов для n-I слоя.

3. Показано, что метод инвариантного погружения Амбарцумяна с матричным уравнением Риккати для коэффициента отражения волнового поля от трёхмерной среды является следствием метода композиции операторов рассеяния Ватсона в форме обобщенных матричных соотношений переноса Газаряна .

4. Показано, что известное в литературе выражение для трансфер-матрицы волнового поля в трёхмерной среде, записанное в терминах коэффициентов отражения и прохождения одного из n слоёв , может быть получено из соотношений переноса только приближенно.

5. Теоритически установлен режим делокализации при прохождении волнового излучения через слой одномерной дискретной случайно-неоднородной среды из отталкивающихся оптически

слабых рассеивателей, малых по сравнению с длиной волны, в пределе их плотной упаковки. Установленный режим делокализации является физическим следствием перехода от одномерной случайно-неоднородной среды к оптически однородной среде на основе одномерной модели жидкости.

6. Полученные в работе матричные соотношения переноса для волнового поля в трёхмерной среде представляют собой основу точного и более перспективного подхода в теории многократного рассеяния волн по сравнению с подходом, известным под названием метода трансфер-матриц.

Практическая значимость работы.

Разработанный в диссертации метод матричных соотношений переноса может быть использован при теоретическом исследовании проблемы существования режима локализации классических волновых полей при их распространении в трёхмерных случайно-неоднородных средах.

Апробация работы. Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на:

- научных семинарах кафедры теоритической физики РУДН.
- ежегодных научных конфиренциях факультета физико-математических и естественных наук РУДН в 1993, 1994, 1995 г.г.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в четырех печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 120 наименований. Диссертация содержит 125 страниц текста, 4 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации для современной теории многократного рассеяния волн, приводится обзор публикаций по этой теме, формулируются цель исследований, кратко изложены содержание и основные результаты диссертации по главам, охарактеризованы их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе, состоящей из 7 параграфов, излагаются основы метода композиции операторов рассеяния Ватсона, метода инвариантного погружения Амбарцумяна и уравнения Риккати, метода трансфер-матриц, соотношений переноса Газаряна для одномерной дискретной случайно-неоднородной среды, явления локализации волнового излучения при прохождении через слой одномерной случайно-неоднородной среды. Исходным является волновое стохастическое уравнение для скалярного поля $\Psi(\vec{r})$ в случайно-неоднородной среде с эффективным случайным рассеивающим потенциалом $V(\vec{r})$, которое в символической операторной форме с учетом граничных условий записывается в виде интегрального уравнения Липпмана-Швингера

$$\Psi = \Psi_0 + G_0 V \Psi \qquad (I)$$

здесь $\Psi_0(\vec{r})$ - падающее поле от внешних источников и $G_0(\vec{r}-\vec{r}')$ - функция Грина в свободном пространстве. Рассеивающий потенциал дискретной среды имеет вид суммы $V(\vec{r}) = \sum_{m=1}^{n} V_0(\vec{r}-\vec{r}_m)$, где $V_0(\vec{r}-\vec{r}_m)$ - потенциал m-го рассеивателя с центром в точке $\vec{r}_m$. Решение волнового уравнения (I) представляется в виде

$$\Psi = \Psi_0 + G_0 T \Psi_0 \qquad (2)$$

где $T(\vec{r},\vec{r}')$ - оператор рассеяния.
Метод композиции операторов рассеяния Ватсона решает проблему вычисления оператора рассеяния системы рассеивателей, если заданы операторы рассеяния $t_m(\vec{r},\vec{r}')$ изолированных рассеивателей. Эта проблема решается посредством следующей системы уравнений

$$T = \sum_{m=1}^{n} T_m$$

$$T_m = t_m + t_m G_0 \sum_{\substack{m'=1 \\ m' \neq m}}^{n} T_{m'} \qquad (3)$$

здесь каждый оператор T_m описывает рассеяние волны на m - ом рассеивателе в присутствии остальных рассеивателей. Как видим, оператор многократного рассеяния T_m равен оператору рассеяния изолированного рассеивателя t_m плюс эффект остальных рассеивателей.

Во второй главе, состоящей из 2 параграфов, дается последовательный вывод обобщенных матричных соотношений переноса Газаряна для волнового поля в трёхмерной случайно-неоднородной среде в виде системы n не перекрывающихся между собой и перпендикулярных оси Z слоёв (рис.I).

рис.Iа

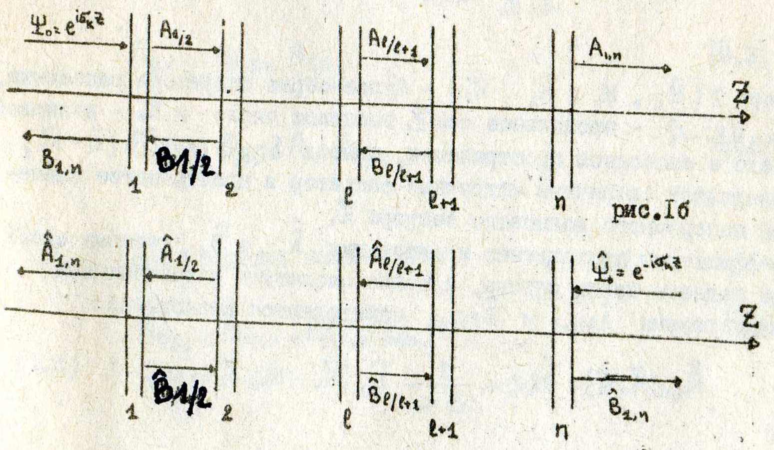

рис.Iб

Рассматриваются две стандартные задачи о падении волны на систему слоёв слева (рис. I.а) и справа (рис.I.б). Коэффициенты прохождения и отражения $A_{1,n}(\vec{K}_\perp, \vec{K}'_\perp)$ и $B_{1,n}(\vec{K}_\perp, \vec{K}'_\perp)$ системы слоёв при падении волны слева, а также амплитуды встречных волн между слоями $A_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp, \vec{K}'_\perp)$ и $B_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp, \vec{K}'_\perp)$ выражаются через оператор рассеяния системы слоёв $T_{1,n}$ и операторы многократного рассеяния $T^m_{1,n}$ отдельных слоёв, соответственно, посредством следующих соотношений

$$A_{1,n}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \delta_{\vec{K}_\perp\vec{K}'_\perp} + \frac{1}{2i\sigma_K} T_{1,n}(\vec{K}_\perp,\sigma_K;\vec{K}'_\perp,\sigma_{K'}) \qquad (4.\mathrm{I})$$

$$B_{1,n}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \frac{1}{2i\sigma_K} T_{1,n}(\vec{K}_\perp,-\sigma_K;\vec{K}'_\perp,\sigma_{K'}) \qquad (4.2)$$

$$A_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \delta_{\vec{K}_\perp\vec{K}'_\perp} + \frac{1}{2i\sigma_K} \sum_{m=1}^{\ell} T^m_{1,n}(\vec{K}_\perp,\sigma_K;\vec{K}'_\perp,\sigma_{K'}) \qquad (4.3)$$

$$B_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \frac{1}{2i\sigma_K} \sum_{m=\ell+1}^{n} T^m_{1,n}(\vec{K}_\perp,-\sigma_K;\vec{K}'_\perp,\sigma_{K'}) \qquad (4.4)$$

здесь $T(\vec{K}_\perp, K_z; \vec{K}'_\perp, K'_z)$ - Фурье-образ оператора рассеяния, $\sigma_K = \sqrt{K_0^2 - K_\perp^2}$ - продольное оси Z волновое число и K_0 - волновое число в свободном пространстве, символ $\delta_{\vec{K}_\perp\vec{K}'_\perp} = (2\pi)^2\,\delta(\vec{K}_\perp - \vec{K}'_\perp)$ определяет еденичный матричный оператор в пространстве значений поперечного волнового вектора $\vec{K}_\perp$. Коэффициенты прохождения и отражения $\hat{A}_{1,n}$ и $\hat{B}_{1,n}$ системы слоёв при падении волны справа, а также амплитуды встречных волн между слоями $\hat{A}_{\ell/\ell+1}$ и $\hat{B}_{\ell/\ell+1}$ определяются аналогично

$$\hat{A}_{1,n}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \delta_{\vec{K}_\perp\vec{K}'_\perp} + \frac{1}{2i\sigma_K} T_{1,n}(\vec{K}_\perp,-\sigma_K;\vec{K}'_\perp,-\sigma_{K'}) \qquad (5.\mathrm{I})$$

$$\hat{B}_{1,n}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \frac{1}{2i\sigma_K} T_{1,n}(\vec{K}_\perp,\sigma_K;\vec{K}'_\perp,-\sigma_{K'}) \qquad (5.2)$$

$$\hat{A}_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \delta_{\vec{K}_\perp\vec{K}'_\perp} + \frac{1}{2i\sigma_K} \sum_{m=\ell+1}^{n} T^m_{1n}(\vec{K}_\perp,-\sigma_K;\vec{K}'_\perp,-\sigma_{K'}) \qquad (5.3)$$

$$\hat{B}_{\ell/\ell+1}(\vec{K}_\perp,\vec{K}'_\perp) = \frac{1}{2i\sigma_K} \sum_{m=1}^{\ell} T^m_{1n}(\vec{K}_\perp,\sigma_K;\vec{K}'_\perp,-\sigma_{K'}) \qquad (5.4)$$

Применение правила композиции операторов рассеяния Ватсона (3) приводит к следующей матричной системе уравнений для случая падения волны слева

$$A_{\ell/\ell+1} = A_{1,\ell} + \hat{B}_{1,\ell}\, B_{\ell/\ell+1} \qquad (6.\mathrm{I})$$

$$B_{\ell/\ell+1} = B_{\ell+1,n}\, A_{\ell/\ell+1} \qquad (6.2)$$

$$A_{1,n} = A_{\ell+1,n}\, A_{\ell/\ell+1} \qquad (6.3)$$

$$B_{1,n} = B_{1,\ell} + \hat{A}_{1,\ell}\, B_{\ell/\ell+1} \qquad (6.4)$$

и для случая падения волны справа

$$\hat{A}_{\ell/\ell+1} = \hat{A}_{\ell+1,n} + B_{\ell+1,n}\, \hat{B}_{\ell/\ell+1} \qquad (7.\mathrm{I})$$

$$\hat{B}_{\ell/\ell+1} = \hat{B}_{1,\ell}\, \hat{A}_{\ell/\ell+1} \tag{7.2}$$

$$\hat{A}_{1,n} = \hat{A}_{1,\ell}\, \hat{A}_{\ell/\ell+1} \tag{7.3}$$

$$\hat{B}_{1,n} = \hat{B}_{\ell+1,n} + A_{\ell+1,n}\, \hat{B}_{\ell/\ell+1} \tag{7.4}$$

В этих уравнениях выступают матричные произведения операторов в пространстве значений поперечного волнового числа.

В третьей главе, состоящей из четырех параграфов, рассматривается четыре приложения полученных обобщенных матричных соотношений переноса.

Для одномерной случайно-неоднородной среды, когда потенциал каждого слоя зависит только от координаты Z и Фурье-образ оператора рассеяния принимает вид

$$T(\vec{K}_1, K_z; \vec{K}_1', K_z') = \delta_{\vec{K}_1 \vec{K}_1'}\, T(\vec{K}_1; K_z, K_z') \tag{8}$$

матричные соотношения (6.I) - (6.4) и (7.I) - (7.4) преобразуются в одномерные соотношения Газаряна.

Исключением из соотношений переноса (6.I) - (6.4) и (7.I) - (7.4) при $\ell = n-1$ амплитуд встречных волн в промежутках между слоями выводится следующая система рекуррентных уравнений для коэффициентов прохождения и отражения системы слоёв

$$A_{1,n} = A_{n,n} \left(1 - \hat{B}_{1,n-1} B_{n,n}\right)^{-1} A_{1,n-1} \tag{9.I}$$

$$B_{1,n} = B_{1,n-1} + \hat{A}_{1,n-1} B_{n,n} \left(1 - \hat{B}_{1,n-1} B_{n,n}\right)^{-1} A_{1,n-1} \tag{9.2}$$

$$\hat{A}_{1,n} = \hat{A}_{1,n-1} \left(1 - B_{n,n} \hat{B}_{1,n-1}\right)^{-1} \hat{A}_{n,n} \tag{9.3}$$

$$\hat{B}_{1,n} = \hat{B}_{n,n} + A_{n,n} \hat{B}_{1,n-1} \left(1 - B_{n,n} \hat{B}_{1,n-1}\right)^{-1} \hat{A}_{n,n} \tag{9.4}$$

Из рекуррентного уравнения (9.4) в предположении, что толщина ΔL n-го слоя является физический бесконечно малой, $\Delta L \to 0$, выводится обобщенное матричное уравнение Риккати для коэффициента отражения системы слоёв в виде

$$\frac{\hat{B}_{1,n} - \hat{B}_{1,n-1}}{\Delta L} = \frac{\hat{B}_{n,n}}{\Delta L} + \frac{\Delta A_{n,n}}{\Delta L} \cdot \hat{B}_{1,n-1} +$$

$$+ \hat{B}_{1,n-1} \frac{\Delta \hat{A}_{n,n}}{\Delta L} + \hat{B}_{1,n-1} \frac{B_{n,n}}{\Delta L} \hat{B}_{1,n-1} \tag{IO}$$

где положено

$$A_{n,n} = 1 + \Delta A_{n,n}\,,$$
$$\hat{A}_{n,n} = 1 + \Delta \hat{A}_{n,n} \tag{II}$$

Показывается, что соотношения (7.I) - (7.4) приводят к фундаментальной трансфер-матрице M_n (J. B. Pendry , I99I), которая записывается в терминах коэффициентов прохождения и отражения одного n-го слоя и выступает в равенстве

$$\begin{bmatrix} \hat{A}^{-1}_{1,n} \\ \\ \hat{B}_{1,n}\ \hat{A}^{-1}_{1,n} \end{bmatrix} = M_n \begin{bmatrix} \hat{A}^{-1}_{1,n-1} \\ \\ \hat{B}_{1,n-1}\ \hat{A}^{-1}_{1,n-1} \end{bmatrix} \qquad (I2)$$

Однако предположение о возможности использования фундаментальной трансфер-матрицы M_ℓ в равенстве (J.B. Pendry , I993)

$$\begin{bmatrix} A_{\ell/\ell+1} \\ \\ B_{\ell/\ell+1} \end{bmatrix} = M_\ell \begin{bmatrix} A_{\ell-1/\ell} \\ \\ B_{\ell-1/\ell} \end{bmatrix} \qquad (I3)$$

является, вообще говоря, неверным, как это следует из соотношений (6.I) - (6.4) .

В четвертой главе, состоящей из двух параграфов, полученные соотношения переноса применяются к актуальной физической проблеме делокализации волнового излучения при прохождении через одномерную случайно-неоднородную среду.

Как известно (G. C. Papanicolaou, I97I) , средний квадрат модуля коэффициента прохождения волнового излучения через слой случайно-неоднородной одномерной среды толщины L является экспоненциально малой величиной порядка $\exp(-\gamma L)$

Коэффициент ослабления γ в случае дискретной среды в виде статистического ансамбля отталкивающихся одномерных оптически слабых рассеивателей допускает, как показывается, следующее представление

$$\gamma = \frac{1}{4}\left(\frac{\varepsilon_1-\varepsilon_0}{\bar{\varepsilon}}\right)^2 K^2 \left|\Theta(2K)\right|^2 n\, S(2K) \qquad (I4)$$

здесь ε_1 и ε_0 - диэлектрическая проницаемость изолированого рассеивателя и свободного пространства ; K - волновое число, отвечающее средней диэлектрической проницаемости среды $\bar{\varepsilon}$; $\Theta(K)$- Фурье-образ характеристической функции изолированого рассеивателя, n и $S(K)$ - плотность и структурный фактор одномерной модели жидкости . Для среды из рассеивателей, диаметр которых " a " и радиус корреляций $Z_{кор}$ малы по сравнению с длиной волны

$$K Z_{кор} \ll 1 \qquad (I5)$$

коэффициент ослабления (I4) оказывается на основе уравнения состояния Тонкса равным

$$\gamma \cong \frac{1}{4}\left(\frac{\varepsilon_1-\varepsilon_0}{\bar{\varepsilon}}\right)^2 (Ka)^2 n (1 - na)^2 \qquad (I6)$$

и стримится к нулю в пределе $na \to 1$ плотной упаковки рассеивателей.

Сделанное предположение (I5) о малости радиуса корреляций рассеивателей по сравнению с длиной волны обосновывается с помощью теории одномерной модели жидкости (M. Kac, G.E. Uhlenbeck, and P.C. Hemmer, 1963-1964).

В заключении приводятся основные результаты диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

I. Дан вывод обобщенных матричных соотношений переноса Газаряна для волнового поля в трёхмерной среде методом композиции операторов рассеяния Ватсона.

2. Дан вывод системы матричных рекуррентных уравнений, выражающей коэффициенты прохождения и отражения n слоёв через значения этих коэффициентов для n-I слоя.

3. Показано, что метод инвариантного погружения Амбарцумяна с матричным уравнением Риккати для коэффициента отражения волнового поля от трёхмерной среды является следствием метода композиции операторов рассеяния Ватсона в форме обобщенных матричных соотношений переноса Газаряна.

4. Показано, что выражение для трансфер-матрицы волнового поля в трёхмерной среде, записанное в терминах коэффициентов отражения и прохождения одного из n слоёв, может быть получено из соотношений переноса только приближенно.

5. Теоретически установлен режим делокализации при прохождении волнового излучения через слой одномерной дискретной случайно-неоднородной среды из отталкивающихся оптически слабых рассеивателей, малых по сравнению с длиной волны, в пределе их плотной упаковки.

6. Полученные матричные соотношения переноса для волнового поля в трёхмерной среде представляют основу точного и более перспективного подхода в теории многократного рассеяния волн по сравнению с подходом, известным под названием метода трансфер-матриц.

Основные результаты диссертации отражены в следующих опубликованных работах:

I. Магелинский В.Б., Мохамед Бениасси. Некоторые приложения вариационного метода для матрицы плотности. //Тезисы докладов XXVIII научной конференции факультета физико-математических и естественных наук.-Ч.I-М.:Изд-во РУДН.-1992.-С.32.

2. Барабаненков Ю.Н., Бениасси Мохамед. Метод дополнительного слоя в теории многократного рассеяния волн. //Тезисы докладов XXX научной конференции факультета физико-математических и естественных наук.-Ч.I-М.:Изд-во РУДН.-1994.-С.38.

3. Барабаненков Ю.Н., Бениасси Мохамед. Делокализация света при переходе от одномерной случайно-неоднородной среды к оптически однородной среде. //Тезисы докладов XXXI научной конференции факультета физико-математических и естественных наук.-Ч.2-М.:Изд-во РУДН.-1995.-С.55.

4. Барабаненков Ю.Н., Бениасси Мохамед. Делокализация света при переходе от одномерной случайно-неоднородной среды к оптически однородной среде. //Вестник РУДН.-1995.-сер.физ.-№ 3, вып.I.-С.

BENYASSI MOHAMED (Morocco)

Transfer relations in the theory of wave multiple scattering.

In the thesis there are considered some general properties of wave transmission through and reflection from an inhomogeneous medium.The medium is thought as being a system of n parallel three-dimensional slabs.A subject of interest are the matrix transmission and reflection coefficients of the system of slabs as well as the matrix amplitudes of waves in spaces between slabs.

A general result of the thesis is a total system of exact matrix equations for these matrix quantities (transfer relations) obtained by using the Watson composition rule of scattering operators.It is shown that obtained matrix relations take the form of known algebraic relations in the case one-dimensional slabs (Gazarian,1969).By excluding the matrix amplitudes of waves between slabs from the transfer relations it is derived a reccurent system of matrix equations which expresses the transmission and reflection coefficients of system of n slabs through the reflection and transmission coefficients of system of n-1 slabs.The derived reccurent system of matrix equations leads by a natural way as there is demonstrated in the thesis to matrix invariant imbedding method (Ambarzumian,1943) in the form of a composition rule for reflection coefficient of a slab by adding a supplementary slab as well as to fundamental transfer matrix (Pendry,1991) and generalized matrix Riccati equation for reflection coefficient.

The transfer relations are applied in the thesis to a physical problem of wave delocalization by transmission through a random medium consisting of the Gibbs statistical ensemble of one-dimensional scatterers.The scatterers are supposed to be optically weak and interacting by repulsive forces.As ussually it is considered a power of the known exponential decay of the averaged intensity of wave transmitted through the random medium of a given thickness.It is shown this power tends to zero in the limit of dense packing of the medium by scatterers.

БЕНИАССИ МОХАМЕД (Марокко)

Соотношения переноса в теории многократного рассеяния волн

В диссертации изучаются некоторые общие свойства прохождения волн через неоднородную среду и их отражения от неоднородной среды. Среда представляется состоящей из системы n параллельных трёхмерных слоёв. Рассматриваются коэффициенты прохождения и отражения по амплитуде для системы слоёв, а также амплитуды встречных волн между слоями. Основным результатом диссертации является полная система точных матричных уравнений (соотношений переноса) для рассматриваемых величин, полученная методом композиции операторов рассеяния Ватсона. Проверено, что данные матричные соотношения переноса переходят в известные алгебраические соотношения в случае одномерных слоёв (Газарян, 1969). Путем исключения из соотношений переноса амплитуд встречных волн между слоями, выводится система матричных рекуррентных уравнений, выражающая коэффициенты прохождения и отражения n слоёв через значения этих коэффициентов для n-I слоя. Показано, что метод инвариантного погружения Амбарцумяна с матричным уравнением Риккати для коэффициента отражения по амплитуде волнового поля от трёхмерной среды является следствием метода композиции операторов рассеяния Ватсона в форме обобщенных матричных соотношений переноса Газаряна. Установлено, что соотношения переноса приводят к фундаментальной трансфер-матрице (Pendry, 1991). Полученные соотношения переноса применяются к физической проблеме делокализации волнового излучения при прохождении через одномерную случайно-неоднородную среду, состоящую из статистического ансамбля одномерных отталкивающихся рассеивателей. Рассеиватели предполагаются оптически слабыми, и их диаметр и радиус корреляций - малыми по сравнению с длиной волны. При этих условиях показывается, что коэффициент известного экспоненциального убывания средней интенсивности прошедшего через среду света с ростом её толщины стремится к нулю по мере приближения распределения рассеивателей к состоянию плотной упаковки.