

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛЛОВ

На правах рукописи

ГОРЕНЦВЕИГ Владимир Иосифович

УДК 539.2

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТЕОРИИ СДВИГОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ 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

Втор

Харьков – 1993



00825609 (U)

Робота виконана в фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.И. Веркіна Академії Наук України.

Научний керівник - член-кореспондент АН України,
доктор фізико-математических наук
професор А.М. Косевич

Офіційні опоненти - доктор фізико-математических наук
професор Ф.Г. Басс
(Інститут радіоелектроніки АН України);
доктор фізико-математических наук
ведучий научний співробітник А.С. Рожавський
(ФТИНТ АН України)

Ведуча організація - Харківський державний університет,
кафедра теоретическої фізики

Захита состоїться "24" марта 1993 г. в 15⁰⁰ часів
на засіданні спеціалізованого совета К.138.01.01
при Інституті монокристаллів АН України (310001, г. Харків,
пр. Леніна, 60)

С дисертацією можна ознакоMITься в научній бібліотеці
Інститута монокристаллів АН України

Автореферат розіслан "17" февраля 1993 г.

Учений секретар спеціалізованого
совета К.138.01.01
кандидат техніческих наук

В. Стефаніка

Л. В. Атрошенко

В. Стефаніка

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы проявляется большой интерес к изучению влияния нелинейных свойств среды на распространение волн. Для поверхностных акустических волн такие эффекты являются весьма существенными, поскольку даже при не очень больших мощностях источника колебаний амплитуда волны, локализованной у поверхности кристалла, может быть не малой.

Для сдвиговых упругих волн у поверхности твердого тела учет нелинейности является особенно важным, так как существуют чисто сдвиговые волны, локализация которых вблизи поверхности полностью обусловлена нелинейными свойствами среды.

Цель диссертации. Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию влияния нелинейности упругой среды на распространение в ней сдвиговых поверхностных волн при условии, что не происходит возбуждения волн вертикальной поляризации. Значительное внимание уделено чисто сдвиговым волнам у свободной поверхности твердого тела, локализация которых обусловлена нелинейностью среды, — исследованы их пространственная форма, условия возбуждения и влияние взаимодействия волны основной частоты с высшими гармониками.

Рассмотрены нелинейные сдвиговые волны, локализованные у поверхности раздела двух упругих сред. Исследовано влияние нелинейности упругих свойств пластины на сдвиговые волны в системе, состоящей из пластины и упругой подложки.

Научная новизна. Приведенные в диссертации результаты получены впервые, за исключением того, что возможность локализации чисто сдвиговой волны у свободной поверхности упругой среды за счет ее нелинейности была обнаружена В. Г. Мохаевым*).

*) Mozháev V. G. A new type of surface acoustic waves in solids due to nonlinear elasticity // Phys. Lett. A. — 1989. — 139, N 7. — P. 333-337.

Практическая ценность проведенных в диссертационной работе исследований связана как с дальнейшим развитием теории нелинейных поверхностных акустических волн, так и с возможностью использования полученных в диссертации результатов для экспериментального обнаружения новых эффектов в распространении акустических волн большой амплитуды. Эти эффекты могут найти техническое применение в акусто-электронных устройствах, а также в методах ультразвукового контроля дефектов и свойств приповерхностного слоя различных изделий.

Положения, выносимые на защиту.

1. Показано, что у свободной поверхности среды с фокусирующей нелинейностью упругих свойств может существовать набор чисто сдвиговых волн, огибающие которых описываются N -солитонными решениями нелинейного уравнения Шредингера. Локализация этих волн у поверхности полностью обусловлена нелинейностью среды. Характерная длина локализации может составлять несколько десятков длин волн при реально достижимых амплитудах. Полученные нелинейные поверхностные моды обладают собственной модуляцией амплитуды и фазы вдоль направления распространения волн.

2. Выяснено, что возбуждение каждой нелинейной сдвиговой поверхностной моды с помощью источника колебаний, локализованных у поверхности кристалла в некотором его начальном сечении, должно происходить пороговым образом в зависимости от площади профиля амплитуды возбуждающих колебаний.

3. Получена в общем виде система связанных нелинейных уравнений для огибающих сдвиговых волн основной и высших гармоник и указана процедура последовательных приближений для ее решения. Для стационарной волны у свободной поверхности фокусирующей среды найден профиль амплитуды третьей гармоники, которая имеет максимум на определенной глубине; его величина составляет порядка 10% от величины максимума первой гармоники.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы проявляется большой интерес к изучению влияния нелинейных свойств среды на распространение волн. Для поверхностных акустических волн такие эффекты являются весьма существенными, поскольку даже при не очень больших мощностях источника колебаний амплитуда волны, локализованной у поверхности кристалла, может быть не малой.

Для сдвиговых упругих волн у поверхности твердого тела учет нелинейности является особенно важным, так как существуют чисто сдвиговые волны, локализация которых вблизи поверхности полностью обусловлена нелинейными свойствами среды.

Цель диссертации. Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию влияния нелинейности упругой среды на распространение в ней сдвиговых поверхностных волн при условии, что не происходит возбуждения волн вертикальной поляризации. Значительное внимание уделено чисто сдвиговым волнам у свободной поверхности твердого тела, локализация которых обусловлена нелинейностью среды, — исследованы их пространственная форма, условия возбуждения и влияние взаимодействия волны основной частоты с высшими гармониками.

Рассмотрены нелинейные сдвиговые волны, локализованные у поверхности раздела двух упругих сред. Исследовано влияние нелинейности упругих свойств пластины на сдвиговые волны в системе, состоящей из пластины и упругой подложки.

Научная новизна. Приведенные в диссертации результаты получены впервые, за исключением того, что возможность локализации чисто сдвиговой волны у свободной поверхности упругой среды за счет ее нелинейности была обнаружена В. Г. Можаевым*).

*) Mozháev V. G. A new type of surface acoustic waves in solids due to nonlinear elasticity // Phys. Lett. A. — 1989. — 139, N 7. — P. 333-337.

Практическая ценность проведенных в диссертационной работе исследований связана как с дальнейшим развитием теории нелинейных поверхностных акустических волн, так и с возможностью использования полученных в диссертации результатов для экспериментального обнаружения новых эффектов в распространении акустических волн большой амплитуды. Эти эффекты могут найти техническое применение в акусто-электронных устройствах, а также в методах ультразвукового контроля дефектов и свойств приповерхностного слоя различных изделий.

Положения, выносимые на защиту.

1. Показано, что у свободной поверхности среды с фокусирующей нелинейностью упругих свойств может существовать набор чисто сдвиговых волн, огибающие которых описываются N-солитонными решениями нелинейного уравнения Шредингера. Локализация этих волн у поверхности полностью обусловлена нелинейностью среды. Характерная длина локализации может составлять несколько десятков длин волн при реально достижимых амплитудах. Полученные нелинейные поверхностные моды обладают собственной модуляцией амплитуды и фазы вдоль направления распространения волны.
2. Выяснено, что возбуждение каждой нелинейной сдвиговой поверхностной моды с помощью источника колебаний, локализованных у поверхности кристалла в некотором его начальном сечении, должно происходить пороговым образом в зависимости от площади профиля амплитуды возбуждающих колебаний.
3. Получена в общем виде система связанных нелинейных уравнений для огибающих сдвиговых волн основной и высших гармоник и указана процедура последовательных приближений для ее решения. Для стационарной волны у свободной поверхности фокусирующей среды найден профиль амплитуды третьей гармоники, которая имеет максимум на определенной глубине; его величина составляет порядка 10% от величины максимума первой гармоники.

4. Показано, что вдоль поверхности раздела двух нелинейных упругих сред при определенных соотношениях между их параметрами могут распространяться локализованные чисто сдвиговые волны. Для существования этих волн при заданной частоте максимум амплитуды волны должен превышать определенное пороговое значение.

5. Рассмотрены чисто сдвиговые волны в нелинейном фокусирующем слое, лежащем на упругом полупространстве. Показано, что в такой системе существуют два типа сдвиговых мод, один из которых обобщает линейные волны Лява. Моды второго типа, имеющие кноидальный профиль амплитуды в слое, возникают при превышении максимумом амплитуды определенного порогового значения, а в пределе линейной теории упругости отсутствуют.

Апробация работы. Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, были представлены на IV Международной конференции по физике поверхности (Закопане, Польша, 1989 г.), Международной конференции "Нелинейные явления - следующее десятилетие" (Лос-Аламос, США, 1990 г.), Всесоюзном семинаре "Поверхностные волны в твердых телах и слоистых структурах" (Новосибирск, 1990 г.), XI Европейской конференции по физике поверхности (Саламанка, Испания, 1990 г.), XII Европейской конференции по физике поверхности (Стокгольм, Швеция, 1991 г.).

Публикации. Материалы диссертации изложены в 4 статьях, опубликованных во всесоюзных и международных физических журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 12 рисунков. Список литературы включает 47 наименований. Общий объем диссертации составляет 122 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель диссертационной работы. Указаны новизна и практическая ценность полученных результатов, кратко изложено содержание диссертации. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приведен список публикаций по материалам диссертации.

В **первой главе** дан краткий обзор типов и свойств поверхностных волн, существующих в линейной теории упругости. Приведены сведения о волнах вертикальной поляризации (волны Рэлея и Стоунли). Основное внимание уделено чисто сдвиговым волнам и факторам, обуславливающим их локализацию у поверхности кристалла. Рассмотрены волны в упругом полупространстве с расположенным на нем твердым слоем (волны Лява), а также волны, локализованные у поверхности за счет приповерхностных искажений, пространственной дисперсии или пьезоэффекта.

Вторая глава посвящена чисто сдвиговым волнам, локализованным у свободной поверхности упругой среды за счет ее нелинейности. Исследованы пространственная форма этих волн, условия их возбуждения и влияние взаимодействия волн основной частоты с высшими гармониками.

В разделе 2.1 приведено волновое уравнение с учетом кубической нелинейности для волн чисто сдвиговой поляризации у поверхности кристалла в случае, когда не происходит возбуждения волн вертикальной поляризации. Указано условие применимости этого уравнения, заключающееся в малости нелинейных членов по сравнению с линейными. В предположении медленности зависимости смещения от глубины (ось z) по сравнению с волновой зависимостью вдоль направления распространения (ось x) произведен переход к упрощенному уравнению:

$$c^{-2}u_{tt} - u_{xx} - u_{zz} = \alpha u_x^2 u_{xx} \quad (1)$$

Это уравнение содержит один параметр нелинейности (α), в

зависимости от знака которого среда называется фокусирующей ($\alpha < 0$) или дефокусирующей ($\alpha > 0$). Полученное уравнение применимо при условиях

$$|u_z^2| \ll |u_x^2| \ll |\alpha|^{-1} \quad (2)$$

и является исходным для дальнейшего рассмотрения.

В разделе 2.2. проведен анализ обнаруженного В.Г.Можаевым эффекта нелинейной локализации чисто сдвиговой волны у свободной поверхности упругого полупространства, когда граничное условие имеет вид

$$u_z|_{z=0} = 0. \quad (3)$$

Рассмотрены случаи фокусирующей и дефокусирующей нелинейности. В случае фокусирующей среды, когда решение для амплитуды волны имеет вид

$$U(z) = U_* \operatorname{sech}[(z - z_*)/l], \quad (4)$$

где

$$z_* = 0, \quad (5)$$

характерная длина локализации обратно пропорциональна максимуму U_* амплитуды волны:

$$l^{-1} = (|\alpha|/8)^{1/2} k^2 U_*. \quad (6)$$

Произведена оценка длины локализации при реальных значениях параметра нелинейности и реально достижимых амплитудах, показывающая, что эта длина может составлять несколько десятков длин волн.

В случае дефокусирующей среды решение уравнения для амплитуды волны имеет вид

$$U(z) = U_* \operatorname{cosech}[(z - z_*)/l], \quad (7)$$

который не удовлетворяет граничному условию (3) на свободной поверхности.

В разделе 2.3 рассматривается волна, огибающая которой изменяется вдоль направления распространения:

$$u = \frac{1}{2} V(x, z) \exp(i(k_0 x - \omega t)) + \text{к.с.}, \quad k_0 = \omega/c. \quad (8)$$

Для медленно меняющейся огибающей,

$$|V_x| \ll k_0 |V|, \quad (9)$$

получено нелинейное уравнение Шредингера:

$$i2k_0 V_x + V_{zz} - \frac{\alpha}{4} k_0^4 |V|^2 V = 0. \quad (10)$$

Рассмотрены N-солитонные решения этого уравнения и выяснено, что при специальном выборе их произвольных параметров соответствующие сдвиговые волны удовлетворяют граничному условию на свободной поверхности и локализованы вблизи нее. Полученные нелинейные поверхностные моды обладают собственной модуляцией амплитуды ($U = |V|$) и фазы вдоль направления распространения волны (см. рис. 1); пространственная частота нелинейной самомодуляции пропорциональна квадрату максимума амплитуды волны.

В разделе 2.4 рассмотрена задача возбуждения нелинейных поверхностных сдвиговых мод с помощью локализованных у поверхности кристалла колебаний в некотором его поперечном сечении. С использованием метода обратной задачи рассеяния показано, что каждая из мод возбуждается пороговым образом в зависимости от площади профиля $W(z)$ амплитуды начальных колебаний. Мода с номером N возбуждается при условии

$$\frac{\pi}{4}(2N - 1) \leq \sigma < \frac{\pi}{4}(2N + 1), \quad (11)$$

где безразмерная площадь начального возбуждения

$$\sigma = \int_0^{\infty} dz W(z) / U_* l. \quad (12)$$

В случае прямоугольного профиля $W(z)$ исследована зависимость частоты модуляции и амплитуды возбуждаемых волн от площади профиля начальных колебаний. Сделана оценка минимальной мощности q_N источника, необходимой для возбуждения нелинейных мод первого ($N = 1$) и второго ($N = 2$) порядков, показывающая реальную возможность возбуждения этих волн:

$$q_1 = 1 \text{ Вт/см}^2, \quad q_2 = 10 \text{ Вт/см}^2. \quad (13)$$

В разделе 2.5 исследуется взаимодействие волны основной

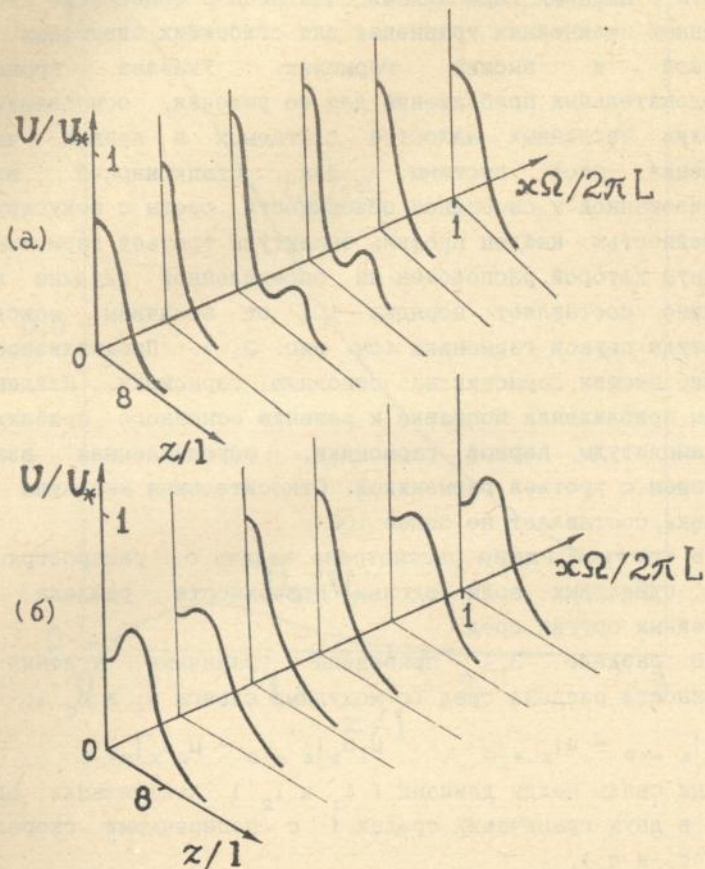


Рис. 1. Модуляция амплитуды поверхностной волны 2-го порядка вдоль направления распространения ($L = kl^2$) для двух значений относительной пространственной частоты:
 а) $\Omega = 1/4$; б) $\Omega = 1/6$.

частоты с высшими гармониками. Получена в общем виде система связанных нелинейных уравнений для огибающих сдвиговых волн основной и высших гармоник. Указана процедура последовательных приближений для ее решения, основанная на иерархии численных малостей слагаемых в правых частях уравнений этой системы. Для стационарной волны, локализованной у свободной поверхности среды с фокусирующей нелинейностью, найден профиль амплитуды третьей гармоники максимум которой расположен на определенной глубине и по величине составляет порядка 10% от величины максимума амплитуды первой гармоники (см. рис. 2). Проанализировано влияние высших гармоник на основную гармонику. Найдена в первом приближении поправка к решению основного приближения для амплитуды первой гармоники, обусловленная взаимодействием с третьей гармоникой. Относительная величина этой поправки составляет не более 10%.

В третьей главе рассмотрена задача о распространении чисто сдвиговых волн вдоль поверхности раздела двух нелинейных пружин сред.

В разделе 3.1 приведены граничные условия на поверхности раздела сред (с модулями сдвига μ_1 и μ_2):

$$u|_{z=+0} = u|_{z=-0} ; \quad \mu_1 u_z|_{z=+0} = \mu_2 u_z|_{z=-0} . \quad (14)$$

Указана связь между длинами (l_1 и l_2) локализации единой волны в двух граничащих средах (с поперечными скоростями звука c_1 и c_2),

$$c_1^2(k^2 - l_1^{-2}) = c_2^2(k^2 - l_2^{-2}) , \quad (15)$$

играющая важную роль при выяснении условий существования волны.

В разделе 3.2 исследован случай, когда граничат две фокусирующие среды, а в разделе 3.3 - фокусирующая и дефокусирующая среды. Получены соотношения между параметрами сред, при которых вдоль поверхности раздела могут распространяться локализованные чисто сдвиговые волны. Показано, что для существования этих волн при заданном

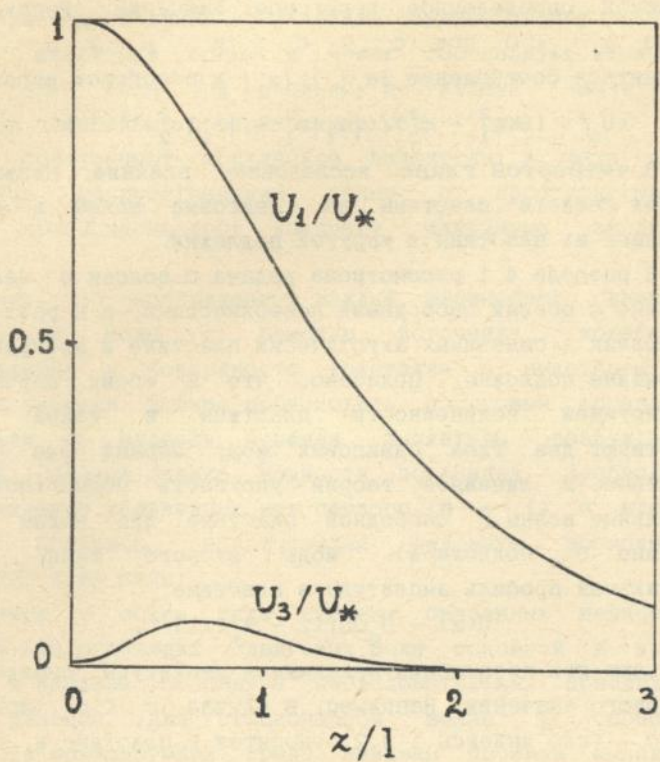


Рис. 2. Зависимость амплитуды первой (верхняя кривая) и третьей (нижняя кривая) гармоник волны 1-го порядка от глубины.

значении волнового числа максимум U_m амплитуды волны должен превышать определенное пороговое значение. Например, в случае $\alpha_{1,2} < 0$ при $c_1 > c_2$ и $\mu_1 > \mu_2$ должны выполняться соотношения $|\alpha_1| > |\alpha_2|$ и пороговое неравенство

$$U_m \geq [8(c_1^2 - c_2^2)/(|\alpha_1|c_1^2 - |\alpha_2|c_2^2)]^{1/2}/k \quad (16)$$

В четвертой главе исследовано влияние нелинейности упругих свойств пластины на сдвиговые волны в системе, состоящей из пластины и упругой подложки.

В разделе 4.1 рассмотрена задача о волнах в нелинейной пластине с обеими свободными поверхностями, а в разделе 4.2 - о волнах в связанных акустически пластине и неограниченной по толщине подложке. Показано, что в обоих случаях при фокусирующей нелинейности пластины в такой системе существуют два типа сдвиговых мод. Первый тип обобщает известные в линейной теории упругости моды (поперечные нормальные волны в свободной пластине или волны Лява в пластине с подложкой). Моды второго типа, имеющие кноидальный профиль амплитуды в пластине,

$$U(z) = U_m \operatorname{dn}[(z - z_*)/l] \quad (17)$$

возникают при превышении максимумом амплитуды определенного порогового значения. Например, в случае $c_1 < c_2$ при $\mu_1/\mu_2 > c_1/c_2$ (где индексы 1 и 2 относятся к пластине и подложке соответственно) должно выполняться неравенство

$$U_m \geq \mu_2 [8(c_2 - c_1)/|\alpha|(\mu_1 c_2 - \mu_2 c_1)]^{1/2}/k \quad (18)$$

В пластине с подложкой оба типа мод могут существовать как в случае замедляющей ($c_1 < c_2$), так и в случае ускоряющей ($c_1 > c_2$) пластины.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Показано, что у свободной поверхности упругой среды с фокусирующей нелинейностью может существовать набор чисто сдвиговых волн, огибающие которых описываются N -солитонными решениями нелинейного уравнения Шредингера. Локализация этих волн у поверхности полностью обусловлена нелинейностью

среды. Характерная длина локализации обратно пропорциональна максимуму амплитуды волны и может составлять несколько десятков длин волн при реально достижимых амплитудах. Полученные нелинейные поверхностные моды (при $N \geq 2$) обладают собственной модуляцией амплитуды и фазы вдоль направления распространения волны с пространственной частотой пропорциональной квадрату максимума амплитуды волны.

2. Выяснено, что возбуждение каждой нелинейной сдвиговой поверхностной моды с помощью источника колебаний, локализованных у поверхности кристалла в некотором его начальном сечении, должно происходить пороговым образом в зависимости от площади профиля амплитуды возбуждающих колебаний. Сделана оценка мощности источника, необходимой для возбуждения нелинейных мод первого ($N = 1$) и второго ($N = 2$) порядков, показывающая реальную возможность возбуждения этих волн.

3. Получена в общем виде система связанных нелинейных уравнений для огибающих сдвиговых волн основной и высших гармоник и найдена процедура последовательных приближений для ее решения. Для стационарной волны у свободной поверхности фокусирующей среды найдены профиль амплитуды третьей гармоники (максимум которой расположен на определенной глубине и составляет по величине порядка 10% от величины максимума первой гармоники) и малая поправка к решению основного приближения для амплитуды первой гармоники, обусловленная взаимодействием с третьей гармоникой.

4. Показано, что вдоль поверхности раздела двух нелинейных упругих сред при определенных соотношениях между их параметрами могут распространяться локализованные чисто сдвиговые волны. Для существования этих волн при заданном значении волнового числа максимум амплитуды волны должен превышать определенное пороговое значение.

5. Исследовано влияние нелинейности упругих свойств пластины

на чисто сдвиговые волны в системе, состоящей из пластины и неограниченной по толщине упругой подложки. Показано, что в такой системе в случае фокусирующей нелинейности существуют два типа сдвиговых мод, один из которых обобщает известные в линейной теории упругости волны Лява. Моды второго типа, имеющие кноидальный профиль амплитуды в пластине, возникают, если максимум амплитуды превышает определенное пороговое значение. Оба типа нелинейных мод могут существовать как для замедляющей, так и для ускоряющей пластины.

Основные результаты диссертации **опубликованы** в следующих статьях:

1. V. I. Gorentsveig, Yu. S. Kivshar, A. M. Kosevich, and E. S. Syrkin Nonlinear surface elastic modes in crystals // Phys. Lett. A. - 1990. - 144, No. 8, 9. - P. 479-486.
2. В. И. Горенцвейг, Ю. С. Кившарь, Е. С. Сыркин. Нелинейные сдвиговые волны, локализованные у границы раздела двух упругих сред // Письма в ЖТФ. - 1990. - 16, вып. 20. - С. 41-46.
3. В. И. Горенцвейг, Ю. С. Кившарь, А. М. Косевич, Е. С. Сыркин. Самомодулированные нелинейные сдвиговые поверхностные акустические волны в кристаллах // ФНТ. - 1990. - 16, N 11. - С. 1472-1482.
4. V. I. Gorentsveig, Yu. S. Kivshar, A. M. Kosevich, and E. S. Syrkin. Nonlinear surface modes in crystals // Int. J. Engng. Sci. - 1991. - 29, No. 3. - P. 271-279.

среды. Характерная длина локализации обратно пропорциональна максимуму амплитуды волны и может составлять несколько десятков длин волн при реально достижимых амплитудах. Полученные нелинейные поверхностные моды (при $N \geq 2$) обладают собственной модуляцией амплитуды и фазы вдоль направления распространения волны с пространственной частотой пропорциональной квадрату максимума амплитуды волны.

2. Выяснено, что возбуждение каждой нелинейной сдвиговой поверхностной моды с помощью источника колебаний, локализованных у поверхности кристалла в некотором его начальном сечении, должно происходить пороговым образом в зависимости от площади профиля амплитуды возбуждающих колебаний. Сделана оценка мощности источника, необходимой для возбуждения нелинейных мод первого ($N = 1$) и второго ($N = 2$) порядков, показывающая реальную возможность возбуждения этих волн.

3. Получена в общем виде система связанных нелинейных уравнений для огибающих сдвиговых волн основной и высших гармоник и найдена процедура последовательных приближений для ее решения. Для стационарной волны у свободной поверхности фокусирующей среды найдены профиль амплитуды третьей гармоники (максимум которой расположен на определенной глубине и составляет по величине порядка 10% от величины максимума первой гармоники) и малая поправка к решению основного приближения для амплитуды первой гармоники, обусловленная взаимодействием с третьей гармоникой.

4. Показано, что вдоль поверхности раздела двух нелинейных упругих сред при определенных соотношениях между их параметрами могут распространяться локализованные чисто сдвиговые волны. Для существования этих волн при заданном значении волнового числа максимум амплитуды волны должен превышать определенное пороговое значение.

5. Исследовано влияние нелинейности упругих свойств пластины

ИИВ Ш. В. С.
АН Укр.

на чисто сдвиговые волны в системе, состоящей из пластины и неограниченной по толщине упругой подложки. Показано, что в такой системе в случае фокусирующей нелинейности существуют два типа сдвиговых мод, один из которых обобщает известные в линейной теории упругости волны Лява. Моды второго типа, имеющие кноидальный профиль амплитуды в пластине, возникают, если максимум амплитуды превышает определенное пороговое значение. Оба типа нелинейных мод могут существовать как для замедляющей, так и для ускоряющей пластины.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. V. I. Gorentsveig, Yu. S. Kivshar, A. M. Kosevich, and E. S. Syrkin Nonlinear surface elastic modes in crystals // Phys. Lett. A. - 1990. - 144, No. 8, 9. - P. 479-486.
2. В. И. Горенцвейг, Ю. С. Кившарь, Е. С. Сыркин. Нелинейные сдвиговые волны, локализованные у границы раздела двух упругих сред // Письма в ЖТФ. - 1990. - 16, вып. 20. - С. 41-46.
3. В. И. Горенцвейг, Ю. С. Кившарь, А. М. Косевич, Е. С. Сыркин. Самомодулированные нелинейные сдвиговые поверхностные акустические волны в кристаллах // ФНТ. - 1990. - 16, N 11. - С. 1472-1482.
4. V. I. Gorentsveig, Yu. S. Kivshar, A. M. Kosevich, and E. S. Syrkin, Nonlinear surface modes in crystals // Int. J. Engng. Sci. - 1991. - 29, No. 3. - P. 271-279.

Горенцвейг Владимир Иосифович

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ТЕОРИИ СДВИГОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Подписано к печати 18.01.93 г.
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 0,8.
Тираж 100. Зак. 1. Бесплатно.

Ротапринт Института монокристаллов
Харьков, пр. Ленина, 60
30-70-97

AB 26.774

AB 26.774