

УДК: 534.25

**ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН
ПРИ ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ ЛИТИЯ-
ПАРАТЕЛЛУРИТ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ**

© 2019 г. Н. В. Поликарпова^{1,2}

¹*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова*

Физический факультет

²*Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН*

**E-mail: polikarpnv@gmail.com*

Приводятся результаты исследования закономерностей распространения и преломления объёмных акустических волн в акустооптических кристаллах. Рассмотрено поведение акустических волн, как в неограниченной среде, так при их прохождении границы раздела двух анизотропных сред. Исследован один из практически интересных для акустооптических устройств случаев. В качестве рабочих сред, были выбраны кристаллы парателлуриата и ниобата лития активно используемые в акустооптике. Сильная анизотропия упругих свойств рассматриваемых материалов позволяет наблюдать новые эффекты, которые невозможно реализовать в изотропной среде. Кроме того, обсуждаются особенности использования акустической анизотропии кристаллов в акустооптических устройствах и показываются преимущества приборов с использованием

акустической анизотропии по сравнению с аналогичными приборами, в которых данная анизотропия не является принципиальным фактором.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое применение в физике находят анизотропные материалы, свойства которых зависят от направления. В частности, сильную анизотропию физических свойств демонстрируют некоторые кристаллические среды. В таких кристаллах величины фазовой и групповой скорости акустических волн зависят от направления распространения волны. Для ряда материалов эффекты анизотропии выражены особенно сильно: скорости в различных направлениях различаются на величину того же порядка, что и сами скорости. К этим кристаллам можно отнести: парателлурит, каломель, теллур, и др. Все эти среды широко используются на практике, в частности, при создании акустооптических устройств, например, видеоспектрометров [1-3]. В акустооптических спектрометрах, допускающих получение отфильтрованных стереоскопических изображений, используется явление взаимодействия световых лучей с дифракционными решетками, индуцированными акустическими возмущениями [1-23]. Свет испытывает дифракцию на акустической волне и формирует характерную дифракционную картину.

При акустооптическом взаимодействии решающую роль играет акустическая волна. Необходимо знать, какого типа упругие волны существуют и каким образом, они распространяются в материале, а также иметь данные об

их фазовых, групповых скоростях, направлениях векторов поляризации, интенсивностях и т.д. Оптимальное управление лазерным излучением можно осуществить только при полном понимании особенностей распространения акустических пучков в среде, а также их поведения на границе раздела двух сред [4-23]. Поэтому решение задачи отражения и преломления волн на границе двух анизотропных сред может найти применение в акустооптике, а неожиданные режимы отражения и преломления волн могут открыть возможность для построения акустооптических устройств нового типа [4-23]. В частности, тех, которые допускают обработку стереоскопических изображений [1-3].

ПРЕЛОМЛЕНИЕ ПЛОСКИХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ-ЛИТИЯ-ПАРАТЕЛЛУРИТ

Известно, что в акустооптических устройствах, исследование закономерностей возбуждения звуковой волны преобразователем является одной из ключевых задач. Для ее решения необходимо детально исследовать вопросы возникновения упругих волн при прохождении ими границы раздела двух сред. Так настоящая работа посвящена рассмотрению особенностей поведения акустических волн на поверхности, располагающейся между двумя анизотропными средами. Исследуются преломленные волны в кристалле после их трансформации на границе раздела, их количество, направления фазовых и

групповых скоростей. Для анализа в качестве одной из рабочих сред выбран кристалл парателлури́та, как основной материал, использующийся при создании акустооптических устройств для анализа изображений. Кроме того, этот материал представляет особый интерес благодаря исключительно сильной анизотропии упругих свойств, что позволяет наблюдать в нем эффекты, которые невозможно реализовать в изотропной среде [4-23]. В качестве исходной среды в данной работе рассматривается пьезоэлектрический кристалл ниобата лития, широко распространенный в различных устройствах для возбуждения звука. Рассмотрение преломления выполнено для наиболее характерного для практики сочетания срезов данных материалов: плоскость (100) в ниобате лития и плоскость (001) в кристалле парателлури́та (рис. 1). Поиск направлений распространения преломлённых волн осуществляется с помощью уравнений распространения для каждой среды и граничных условий на поверхности раздела. Необходимо отметить, что в настоящей работе используется приближение, в котором преломление и отражение волн происходит на границе двух полубесконечных сред, в то время как на практике одна из сред часто представляет собой тонкую пластину, если исходная среда не является буфером. Конечная толщина пластинки изменяет граничные условия со стороны ниобата лития, тем не менее, соответствующие эффекты могут быть учтены с использованием принципа суперпозиции и результатов настоящей работы.

При исследовании закономерностей распространения волн были рассчитаны зависимости акустической фазовой скорости от направления распространения волны в кристаллах парателлурита и ниобата лития (рис. 1), относящихся к тетрагональной и тригональной сингониям соответственно [1-23]. Для каждого материала построены поверхности обратных скоростей в выбранных плоскостях (рис. 1). Необходимо отметить, что быстрая квазипродольная волна и медленная сдвиговая мода в парателлурите демонстрируют сильную анизотропию. Скорость поперечной волны, диаграмма медленностей которой представляет собой окружность, не зависит от направления.

При прохождении монохроматической плоской упругой волны через границу раздела двух кристаллических сред, в общем случае, возникают три волны по каждую сторону от границы [4]. Возможные отраженные и преломленные волны рассчитываются исходя из известных принципов [5]. В кристалле ниобата лития направление волнового вектора падающей волны выбирается под углом θ к нормали границы раздела. Углы отражения и преломления и определяются как угол между волновым вектором и нормалью к границе в соответствующей среде. Необходимо отметить, что одному и тому же углу падения могут отвечать три различных значения фазовой скорости, соответствующие трем различным поверхностям медленностей в ниобате лития с соответствующими поляризациями. Эти поверхности показаны на рисунке пунктирной, штрих-пунктирной и непрерывной линиями, что соответствует

двум квазисдвиговым и одной квазипродольной волне, соответственно. После того как задан тип волны, находится проекция волнового вектора исходной моды на границу раздела. Далее, вдоль границы раздела откладывается отрезок равный исходной проекции. Затем строится перпендикуляр до пересечения с поверхностями обратных скоростей. Места пересечений укажут направления возможных отраженных и преломленных волн, имеющих такую же тангенциальную составляющую волнового вектора, что и исходная волна.

В качестве основных характеристик преломленных волн, построены зависимости углов преломления для фазовых и групповых скоростей от направления падающей волны θ . На первом этапе проведен анализ поведения фазовых скоростей, соответствующих преломленным волнам. Угол падения θ изменялся в диапазоне значений от $-90^\circ < \theta < 90^\circ$. Для каждого типа волны, падающей на границу раздела, найдены три возможные преломленные волны и построены соответствующие графики. На графиках показаны углы преломления ψ в зависимости от угла падения θ .

Практически всегда, когда исследуется распространение звука в анизотропной среде, возникает задача о направлении переноса энергии акустической волной. В кристаллических средах, в общем случае, направление волнового вектора звука не совпадает с направлением переноса энергии, так называемым, лучевым вектором [1-23]. В данной работе выполнен расчет направлений групповых скоростей преломленных волн в парателлурите (при падении волны из ниобата лития) в зависимости от угла падения θ . На рисунке

1 видно, что всего в каждом кристалле для выбранного направления фазовой скорости могут распространяться 3 волны с различными поляризациями, фазовыми и групповыми скоростями [4]. При этом у поперечной волны в ниобате лития и у поперечной волны в парателлурите поляризации всегда направлены перпендикулярно рассматриваемым плоскостям, т.е. эти волны являются чистыми поперечными модами. Поляризации же быстрой квазипродольной волны и медленной квазипоперечной волны в ниобате лития, а также быстрой волны и медленной волны в парателлурите лежат в рассматриваемых плоскостях. Можно сделать вывод, что чистая поперечная волна в ниобате лития сможет возбуждать только быструю сдвиговую волну в парателлурите, никак не влияя при этом на поведение квазипродольной и квазипоперечной волн. И, наоборот, волны в ниобате лития, у которых поляризация лежит в плоскости падения, смогут возбудить только волны, поляризация которых лежит в плоскости преломления.

Легко видеть, что в ниобате лития анизотропия выражена достаточно слабо для всех трех волн, в то время как парателлурит демонстрирует уникальное изменение скорости возможных волн (от 616 м/с для медленной волны в направлении [110] до 3055 м/с в направлении [100]). Данное обстоятельство позволяет предположить, что изменение ориентации парателлурита в плоскости (001) будет значительно сильнее влиять на направления распространения преломленных волн, чем поворот ниобата лития. Поэтому целесообразным

будет рассмотрение конфигураций с разными углами поворота кристалла парателлурита и фиксированным углом поворота ниобата лития.

Здесь мы рассмотрели два варианта распространения волн. В первом случае рассматривалось падение квазипродольной (QL) волны (показана сплошной линией). При этом кристалл ниобата лития расположен так, что ось [001] ортогональна границе, а ось [010] направлена вдоль границы раздела (рис. 1). Во втором случае считалось, что в ниобате лития распространяется квазипоперечная (QS) волна (показана пунктирной линией), при этом ориентация ниобата лития осталась прежней. Как было отмечено выше, поперечная волна, показанная штрихпунктирной линией, в ниобате лития не представляла интереса и не рассматривалась, так как она влияет только на поведение изотропной моды в парателлурите.

На рис. 1 угол падения θ – это угол между волновым вектором падающей волны и нормалью к границе раздела, угол преломления ψ – это угол между волновым вектором преломленной волны и нормалью к границе, а угол преломления χ – это угол между направлением потока энергии и нормалью к границе раздела. Рассмотрение выполнено для различных ориентаций кристалла парателлурита под углом α относительно границы. Для каждой новой конфигурации построены зависимости углов преломления χ от угла падения θ .

ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ ЛИТИЯ - ПАРАТЕЛЛУРИТ ДЛЯ БЫСТРОЙ КВАЗИПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ

В данном разделе работы считалось, что в ниобате лития возбуждается быстрая квазипродольная волна. На рис. 2(а) рассмотрен случай, когда кристаллографические оси кристалла парателлурита составляют угол $\alpha = 35^\circ$ градусов с границей раздела. Для каждого случая были построены зависимости угла преломления для групповой скорости χ от угла падения θ (рис. 2(в)). Они обладают интересным свойством. Можно видеть, что одному и тому же значению угла преломления энергии χ соответствует широкий диапазон углов падения θ . Это говорит о том, что углы преломления χ практически не зависят от угла падения. График для быстрой преломленной волны, показанной непрерывной линией, слабо варьируется во всем интервале углов падения. То же можно сказать и про медленную преломленную моду, показанную пунктиром. В данном случае углы преломления также практически не изменяются. Это означает, что преломленные волны остаются фиксированными в пространстве при любых углах падения, и система нечувствительна к тому, в каком направлении распространяется падающая волна. Схема на рис. 2(г) иллюстрирует данный случай. Пунктиром показаны различные направления падающей волны, в то время как групповые скорости преломленных волн не изменяют своего направления. Аналогичные зависимости в изотропных средах очень сильно отличаются от полученных и напоминают кривую, показанную штрихпунктиром на рис. 2(в). Вид зависимостей говорит о том, что

одновременно в указанном срезе реализуется несколько необычных физических явлений.

Во-первых, необходимо отметить, что углы преломления для групповой скорости χ с нормалью к границе раздела достигают величины $\chi = 10^\circ$ для быстрой моды, показанной непрерывной линией, и $\chi = -65^\circ$ для медленной моды, описываемой пунктиром. При этом данные углы противоположны по знаку, то есть энергетические потоки преломленных волн направлены в разные стороны относительно нормали. Это означает, что быстрая волна, соответствующая положительному значению χ , лежит там, где обычно находятся преломленные волны, для изотропной среды. Медленная волна, соответствующая отрицательному углу χ , находится в третьем квадранте. Подобное поведение волны, позволяет говорить о том, что она испытывает отрицательное (обратное) преломление, причем угол преломления составляет величину превышающую 60° . Более того, при стремлении угла падения к $\theta = 90^\circ$ угол между исходной волной и обратно преломленной волной не превышает 30° . Можно ожидать, что рассмотрение сред с более сильной анизотропией позволит уменьшить угол между исходной и обратно преломленной волной. Иными словами, удастся сделать эффект обратного преломления более значительным.

Как было сказано, преломленные волны направлены в разные стороны относительно нормали к границе. Однако подобное поведение наблюдается и для других углов падения. На графике существуют длительные участки, на

которых кривые почти параллельны оси абсцисс. То есть изменение угла падения не влияет на картину преломления, и, поэтому, не будет сказываться на том, насколько точно вырезан исходный кристалл, что удобно при создании устройств.

Также из рис. 2(в) можно видеть, что нулевому углу падения соответствуют ненулевые углы преломления. Подобное преломление волн не характерно для изотропных сред.

Таким образом, можно сказать, что почти все привычные законы преломления для изотропных сред нарушаются в этом случае. Также интересна ситуация, когда кристаллографические оси кристалла парателлуриита составляют угол равный $\alpha = 45^{\circ}$ с границей раздела. Рассчитанные зависимости для углов преломления в случае групповых скоростей представлены на рис. 3(в) и демонстрируют интересную особенность. В частности, угол преломления для быстрой волны, показанной на рис. 3(в) сплошной линией, не только не зависит от угла падения, но и всегда равен 0. Это говорит о том, что, несмотря на различные направления исходной волны, преломленная мода направлена нормально по отношению к поверхности раздела, что позволит реализовать легкое возбуждение этой волны на практике. Рис. 3(г) иллюстрирует именно данный случай. Пунктирные линии на рисунке соответствуют всем возможным направлениям падающей волны. Однако преломленная волна при этом не изменяет своего направления в диапазоне углов падения $-90^{\circ} < \theta < 90^{\circ}$.

В процессе работы были также рассмотрены все возможные варианты поворотов, как кристалла ниобата лития, так и кристалла парателлурита. Оказалось, что описанные выше характерные особенности распространения волн повторяются и для других конфигураций, а рассмотренные случаи достаточно полно описывают общие закономерности распространения волн, которые характерны для границы раздела ниобат-лития парателлурит.

ПРЕЛОМЛЕНИЕ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ ЛИТИЯ - ПАРАТЕЛЛУРИТ ДЛЯ МЕДЛЕННОЙ КВАЗИПОПЕРЕЧНОЙ ВОЛНЫ

В работе также были рассчитаны зависимости углов преломления от углов падения для случая возбуждения медленной волны в ниобате лития, показанной пунктиром. На рис. 4(а) кристаллографические оси кристалла парателлурита составляют угол $\alpha = 40^\circ$ градусов с границей раздела. Графики на рис. 4(в) в этом случае повторяют общие закономерности. Можно видеть, что и в данном случае на графиках зависимостей существуют протяженные области, параллельные оси абсцисс. Это говорит о том, что одному и тому же значению угла преломления соответствует весьма широкий диапазон углов падения θ . Кроме того, на рис. 4(в) наблюдается пересечение графиков, что соответствует коллинеарному распространению потоков энергии для преломленных волн, в то время как волновые векторы этих волн не совпадают. Подобное поведение волн иллюстрирует рис. 4(д) для $\theta = 34^\circ$. Рис. 4(г) и Рис. 4(е) показывают поведение волн, до того, как совпадают их групповые скорости и после. Причем, для угла $\theta > 34^\circ$ наблюдается положительное преломление, а

при $\theta < 34^\circ$ наблюдается отрицательное преломление для квазипоперечной волны. Также хотелось бы отметить, что, в отличие от исходной быстрой волны, при рассмотрении исходной медленной квазипоперечной волны, наблюдаются области углов падения, при которых углы преломления резко меняют ориентацию, и могут даже происходить их изменения скачком. Дальнейшее рассмотрение поведения преломленных волн показывает, что и в других случаях также можно наблюдать указанные эффекты, причем для этого не требуется выполнения каких-либо особых условий эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано явление преломления упругих волн на границе раздела двух анизотропных сред: ниобата лития - парателлурит как наиболее часто используемых в акустооптике, например, в акустооптических видеоспектротреях. Показано, что преломление волн происходит принципиально иным образом, чем в изотропных средах. Это характерно как для фазовых, так и для групповых скоростей ультразвука.

Обнаружены случаи, при которых угол преломления для потока энергии упругой волны в кристалле парателлурита не зависит от угла падения в кристалле ниобата лития. Это означает, что одному и тому же значению угла преломления соответствует широкий диапазон значений углов падения. Другими словами, изменение направления падающей волны в кристалле ниобата лития на величину порядка одного градуса не влияет на направление распространения потоков энергии преломленных волн. Это является важным

преимуществом при разработке технологии производства акустооптических устройств.

Анализ показал, что на границе раздела анизотропных сред может наблюдаться и обратное преломление, при котором энергия преломленной волны составляет с исходной модой малый угол, не превышающий величины 30 градусов. Подобное явление также наблюдается в широком диапазоне углов падения. Наконец, на практике может реализоваться случай, когда при нормальном падении акустической волны на границу ниобат лития - парателлурит углы преломления для групповых скоростей практически всегда отличны от 0. Также возможна и взаимная ориентация кристаллов ниобата лития и парателлурита, при которой энергия преломленной волны направлена ортогонально границе раздела, в то время как угол падения волны отличен от нуля. Это позволит эффективно возбудить необходимую акустическую моду в акустооптическом устройстве.

Описанные эффекты, без ограничения общности, можно ожидать и в других анизотропных материалах. При этом величина отрицательного угла преломления для групповой скорости волны будет варьироваться в зависимости от степени анизотропии данного материала. Подобная возможность существует во всех срезах кристаллов ниобата лития и парателлурита. Существенно, что необычные явления можно ожидать и в периодических структурах иной физической природы, например, таких как фононные кристаллы. Изменяя соответствующие параметры материала, можно

влиять желаемым образом на анизотропию материала, а, следовательно, и на величину эффекта. А главным итогом данной работы является вывод, что предсказанные особенности поведения волн необходимо учитывать при создании новых приборов акустики и акустооптики.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского Научного фонда, грант № 19-19-00606.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Machikhin A.S., Batshev V.I., Pozhar V.Ed., Naumov A.A., Gorevoy A.V.* // Optics Letters. 2018. V. 43. № 5. P. 1087.
2. *Machikhin A.S., Pozhar V.Ed.* // Technical Physics Letters. 2014. V. 40. № 9. P. 803.
3. *Machikhin A.S., Batshev V.I., Pozhar V.Ed.* // JOSA A. V. 34. № 7. P. 1109.
4. *Auld B.* Acoustic Waves and Fields in Solids. New York: Robert Krieger, 1990.
5. *Волошинов В.Б., Поликарпова Н.В., Можяев В.Г.* // Акуст. журн. 2006. Т. 52. № 3. С. 297; *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V., Mozhaev V.G.* // Acoust. Physics. 2006. V. 52. № 3. P. 245.
6. *Буров В. А., Волошинов В.Б., Дмитриев К.В., Поликарпова Н.В.* // УФН. 2011. Т. 181. № 11. С. 1205; *Burov V.A., Voloshinov V.B., Dmitriev K.V., Polikarpova N.V.* // Phys. Usp. 2011. V. 54. P. 1165.
7. *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // J. Acoust. Soc. Am. 2009. V. 125. № 2. P. 772.

8. *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // *Applied Optics*. 2009. V. 48. P. C55.
9. *Voloshinov V.B., Gupta N., Knyazev G. A., Polikarpova N.V.*// *Journal of Optics*. 2011. V. 13. № 1. P. 015706. P. 930.
10. *Дьяконов Е.А., Волошинов В.Б., Поликарпова Н.В.* // *Акуст. журн.* 2012. Т. 58. № 1. С.121-131; *D'yakonov E.A., Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // *Acoust. Physics*. 2012. V. 58. № 1. P. 107.
11. *Поликарпова Н.В., Мальнева П.В.* // *Известия РАН. Серия физическая.* 2012. Т. 76. № 12. С. 1422; *Polikarpova N.V., Malneva P.V.* // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2012. V. 76. №. 12. P. 1269.
12. *Поликарпова Н.В., Мальнева П.В., Волошинов В.Б.* // *Акуст. журн.* 2013. Т. 59. № 3. С. 332; *Polikarpova N.V., Mal'neva P.V., Voloshinov V.B.* // *Acoustical Physics*. 2013. V. 59. № 3, P. 291.
13. *Polikarpova N.V., Malneva P.V.* // *Acta Acustica United with Acustica*. 2014. V. 100. № 3. P. 427.
14. *Balakshy V.I., Kuznetsov Yu.I., Mantsevich S.N., Polikarpova N.V.* // *Optics & Laser Technology*. 2014. V. 62. P. 89.
15. *Polikarpova N.V., Voloshinov V.B., Reznikov A.M.* // *Physics of Wave Phenomena*. 2015. V. 23. № 1. P. 52.
16. *Polikarpova N.V., Voloshinov V.B.* // *Acta Physica Polonica A*, издательство Polska Akademia Nauk. 2015. V. 127. № 1. P. 96.
17. *Voloshinov V.B., Djakonov E.A., Polikarpova N.V.* // *Acta Physica Polonica A*. 2015. V. 127. № 1. P. 36.

18. *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // *Physics procedia*. 2015. V. 70. P. 749.
19. *Поликарпова Н.В., Волошинов В.Б.* // *Известия РАН, Серия физическая*. 2015. Т. 79. № 10. С. 1432; *Polikarpova N. V., Voloshinov V. B.* // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physics*. 2015. V. 79. № 10. P. 1274.
20. *Дьяконов Е.А., Волошинов В.Б., Поликарпова Н.В.* // *Оптика и спектроскопия*. 2015. Т. 118. № 1. С. 172; *Dyakonov E.A., Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // *Optics and Spectroscopy*. 2015. V. 118. № 1. P. 166.
21. *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V.* // *Phys. Lett. A*. V. 2018. V. 382. № 33. P. 2226.
22. *Voloshinov V.B., Polikarpova N.V., Ivanova P.A., Khorkin V.S.* // *Applied Optics*. 2018. V. 57. № 10. P. C19.
23. *Поликарпова Н.В., Волошинов В.Б., Иванова П.А.* // *Акуст. журн.* 2019. Т. 65. № 6. С. 1.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ В СТАТЬЕ

Н. В. Поликарпова

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

ПРИ ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ ЛИТИЯ- ПАРАТЕЛЛУРИТ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Рис. 1. Общая схема преломления акустических волн на границе раздела ниобат лития – парателлурилит в случае наклонного падения в плоскости ХОУ: пунктирная линия – медленная квазисдвиговая волна, сплошная линия – быстрая продольная волна, штрих-пунктирная линия – быстрая квазисдвиговая волна, θ - угол падения между направлением фазовой скорости и нормалью к границе раздела для падающей волны, ψ - угол между направлением фазовой скорости и нормалью к границе раздела для преломленной волны, χ - угол между потоком энергии и нормалью к границе раздела для преломленной волны.

Рис. 2. Преломление акустических волн на границе раздела ниобат лития – парателлурилит. Падают быстрая квазипродольная волна, кристаллографические оси кристалла парателлурилита составляют угол $\alpha = 35^\circ$ градусов с границей раздела. (а) – Поверхности медленностей. (б) - Зависимость угла преломления ψ от угла падения звука θ . (в) - Зависимость угла преломления χ для

групповой скорости от угла падения звука θ . (г) – Схема преломления, в которой направление лучевых векторов преломленных волн практически не зависит от угла падения. (д) – Схема преломления, в которой минимальный угол между волновым вектором падающей волны и вектором групповой скорости не превышает 30 градусов.

Рис. 3. Преломление акустических волн на границе раздела ниобат лития – парателлуриит. Падают быстрая квазипродольная волна, кристаллографические оси кристалла парателлуриита составляют $\alpha = 45^\circ$ градусов с границей раздела. (а) - Поверхности медленностей. (б) - Зависимость угла преломления ψ от угла падения звука θ . (в) - Зависимость угла преломления χ для групповой скорости от угла падения звука θ . (г) – Схема преломления, в которой направление лучевых векторов для преломленной быстрой волны не зависит от угла падающей волны и ортогонально границе раздела.

Рис. 4. Преломление акустических волн на границе раздела ниобат лития – парателлуриит. Падают медленная квазипоперечная волна, кристаллографические оси кристалла парателлуриита составляют $\alpha = 40^\circ$ градусов с границей раздела. (а) - Поверхности медленностей. (б) - Зависимость угла преломления ψ от угла падения звука θ . (в) - Зависимость угла преломления χ для групповой скорости от угла падения звука θ . (г) - Направления групповых скоростей в парателлуриите для различных углов падения. При угле $\theta > 34^\circ$ обе преломленные волны составляют

положительный угол с нормалью. (д) - Схема преломления, в которой угол $\theta = 34^\circ$ групповые скорости преломленных волн совпадают и составляют положительный угол с нормалью. (е) - Схема преломления, в которой угол $\theta < 34^\circ$. Наблюдается обратное преломление для медленной квазипоперечной волны.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ СТАТЬИ:

Н. В. Поликарпова

ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

ПРИ ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА НИОБАТ ЛИТИЯ-

ПАРАТЕЛЛУРИТ В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Поликарпова Наталия Вячеславовна

Доцент, МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Кафедра физики колебаний

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический факультет, Кафедра физики колебаний, Лаб. 1-62.

Телефон: 84959394404

e-mail: polikarp@phys.msu.ru

Polikarpova N.V.

**Characteristics of acoustic waves during the refraction at the boundary
of lithium niobate-paratellurite crystals in the acousto-optic devices**

The paper presents the results of propagation and refraction of bulk acoustic waves in acousto-optic crystals. The acoustic waves behavior in an unbounded medium is considered as well as the behaviour on the boundary between two anisotropic media. One of the practically interesting cases for acousto-optical devices is elaborated. The paratellurite and lithium niobate crystals actively used in acousto-optics are examined. It is shown that the strong anisotropy of the elastic properties is responsible for the new effects that cannot be achieved in isotropic media. Moreover, new anisotropic effects may help to construct the acousto-optic devices with superior characteristics.

Faculty of Physics, M.V.Lomonosov Moscow State University, Leninskie
Gory, Moscow, 119991, Russia

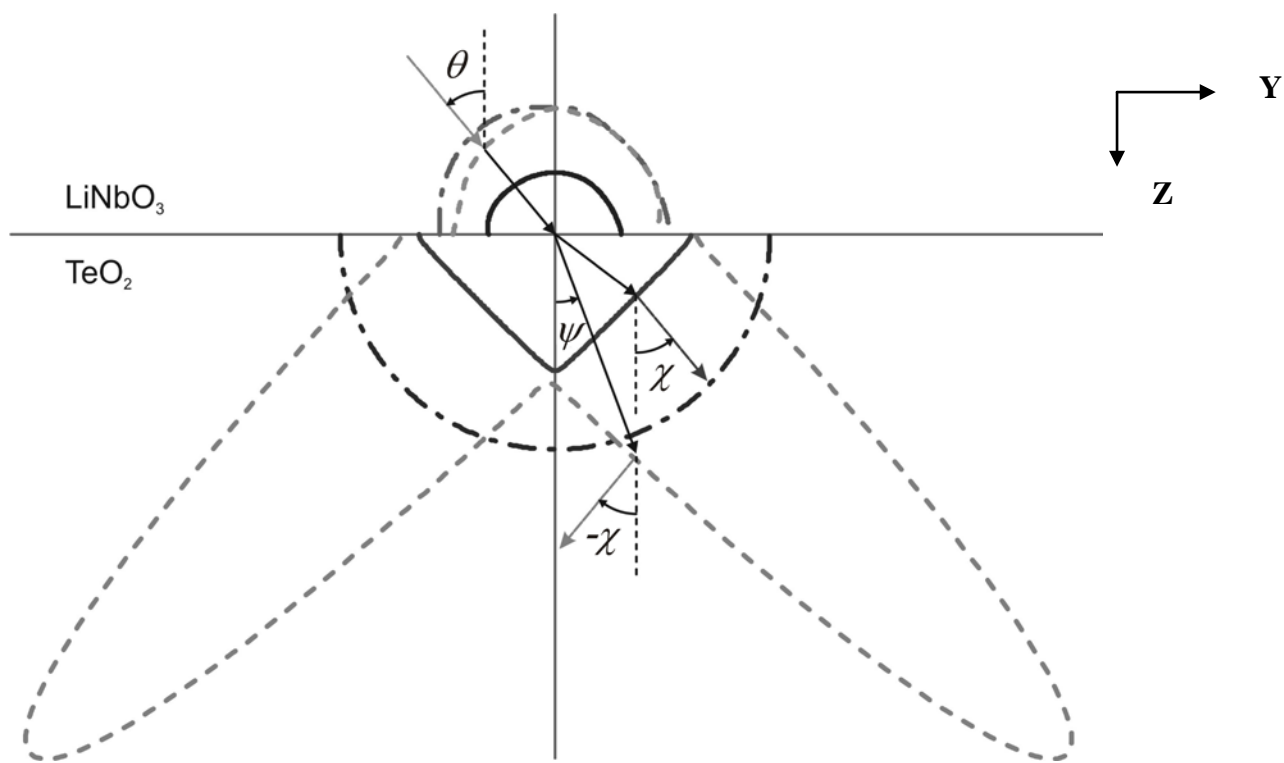


Рис. 1. Н. В. Поликарпова

Медленность

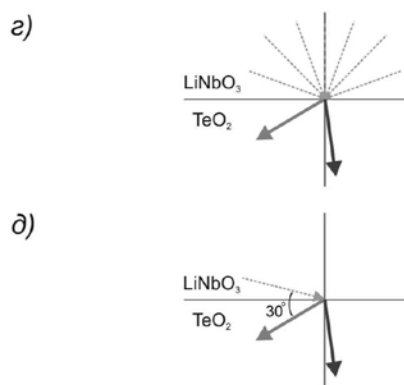
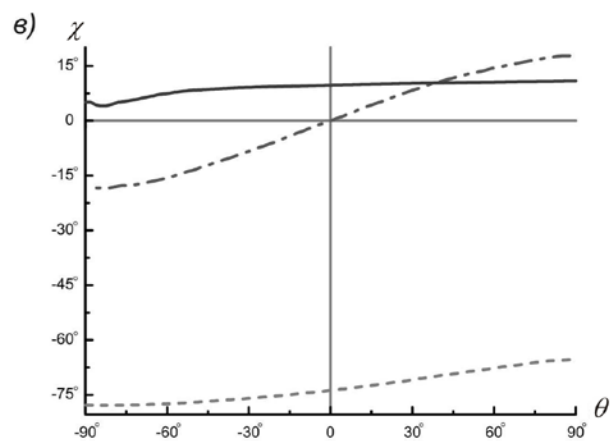
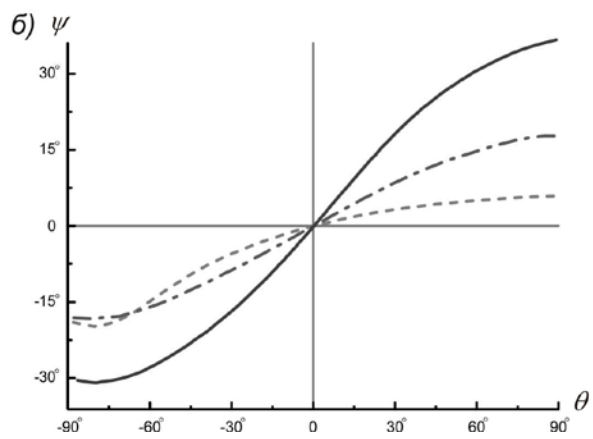
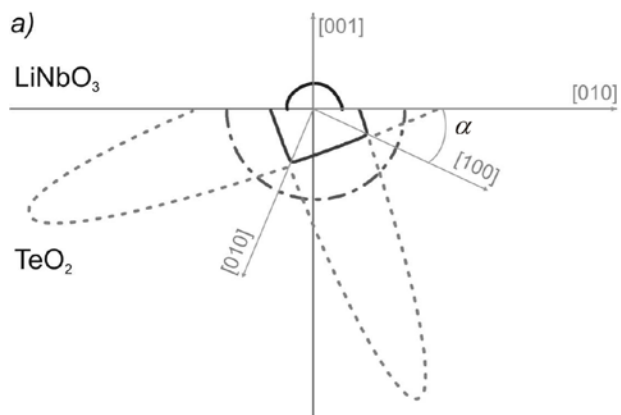


Рис. 2. Н. В. Поликарпова

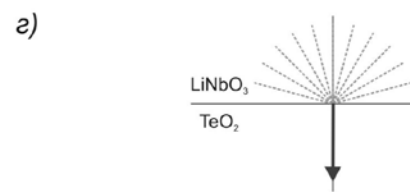
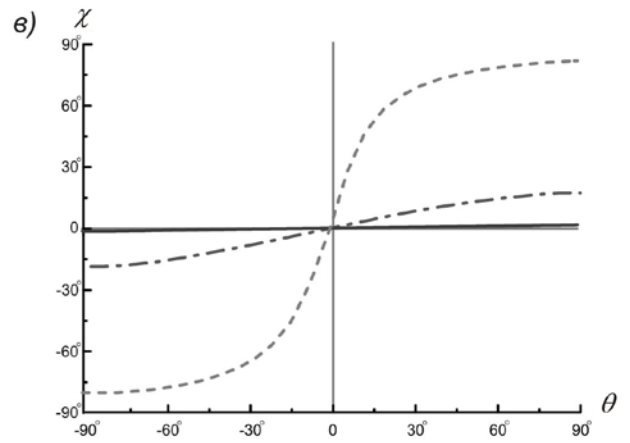
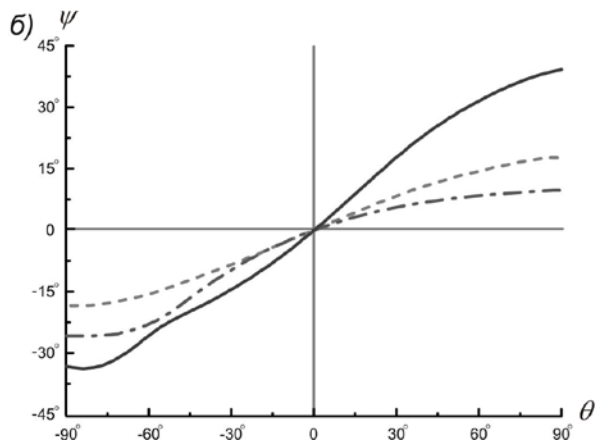
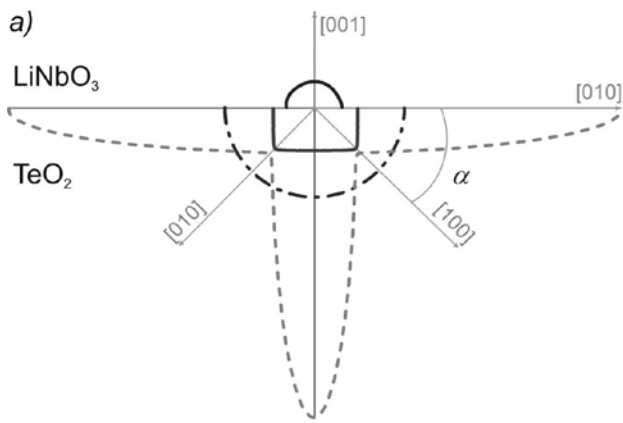


Рис. 3. Н. В. Поликарпова

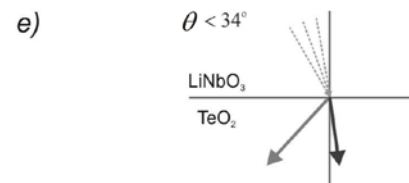
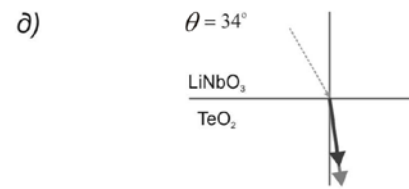
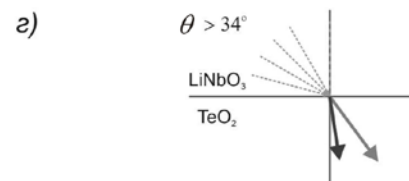
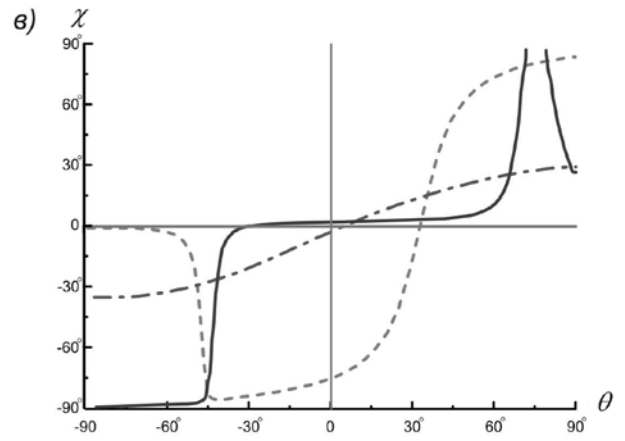
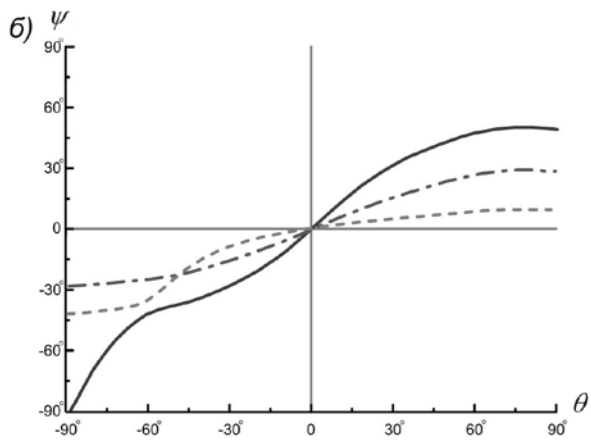
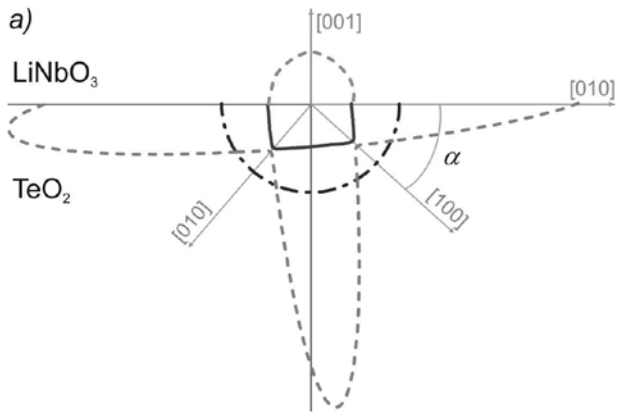


Рис. 4. Н. В. Поликарпова