

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ ИМ. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ВОЛКОВ МИХАИЛ АНДРЕЕВИЧ

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛОВ И
НАНОТРУБОК С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПУАССОНА
НЕКОТОРЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

01.02.04 -механика деформируемого твердого тела

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор, Городцов В.А.

Москва -2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1	
Задачи растяжения прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных кристаллов с различным видом анизотропии	21
1.1. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона при растяжении тела с прямолинейной анизотропией.....	21
1.2. Экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях	23
1.3. Постановка задачи радиально неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок.....	25
1.4. Решение задачи радиально неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок.....	27
1.5. Выводы по Главе 1.....	36
Глава 2	
Изменчивость модуля Юнга и коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов различных кристаллических систем.....	37
2.1. Семиконстантные ромбоэдрические кристаллы	37
2.2. Шестиконстантные тетрагональные кристаллы.....	42
2.3. Орторомбические кристаллы.....	47
2.4. Моноклинные и триклинные кристаллы.....	51
2.5. Выводы по Главе 2.....	55
Глава 3	
Изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных трубок из кристаллов различных кристаллических систем	57
3.1. Трубки из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов.....	57
3.2. Трубки из шестиконстантных тетрагональных кристаллов.....	62
3.3. Трубки из орторомбических кристаллов	71
3.4. Трубки из моноклинных кристаллов	80
3.5. Выводы по Главе 3.....	85
Заключение.....	86

Литература.....	88
Приложение 1. Упругая деформация анизотропных тел.	
Кристаллические системы.....	99
Приложение 2. Таблицы.....	106
Приложение 3. Рисунки.....	161

Введение

В современных приложениях механики твердого тела все большее внимание уделяется аномальным свойствам материалов. Это касается прежде всего отрицательности коэффициента Пуассона.

Классическая механика твердого тела сначала опиралась на теорию упругости изотропных материалов. В последующем, трудами Сен-Венана, В. Фойгта, П.В. Бехтерева, С.А. Амбрацумяна, С.Г. Лехницкого, Я.Х. Рыхлевского, Ф.И. Федорова, Ю.И. Сиротина, Т. Тинга, Б.Д. Аннина, Н.И. Остросаблина были разработаны основные разделы теории упругости анизотропных сред.

В линейной теории упругости изотропного тела определяющими являются два параметра, в качестве которых можно выбрать модуль Юнга (отношение напряжения к деформации при одноосном растяжении) и коэффициент Пуассона (взятое с обратным знаком отношение поперечной деформации к продольной). Вследствие термодинамических ограничений, модуль Юнга всегда положителен, а коэффициент Пуассона ограничен интервалом между -1 и 0.5 [1]. Долгое время господствовало мнение, что коэффициент Пуассона реальных материалов не может принимать отрицательные значения. В случае анизотропных материалов число независимых параметров возрастает, их количество, в зависимости от вида анизотропии, меняется от 3 до 21. Величина модуля Юнга анизотропных материалов зависит от направления растяжения, но всегда остается положительной. Коэффициент Пуассона таких материалов зависит и от направления растяжения, и от выбранного поперечного направления, а на его величину, как положительную, так и отрицательную, вообще не накладываются теоретические ограничения [2].

Первое упоминание кристаллического материала с отрицательным коэффициентом Пуассона относится к монографии Лява 1927 г. [3], где говорится, что у пирита (железного колчедана) он равен -0.14 . Однако, активное исследование материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона началось после публикаций 1987 и 1988 годов [4,5]. В этих работах коэффициент Пуассона

полимерных и металлических пен, в результате специальной обработки, становился отрицательным и достигал значения -0.7 .

В настоящее время выделяют два типа материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона. К первому типу относятся метаматериалы – материалы, аномальные свойства которых получаются за счет искусственно созданной структуры. К их числу относятся пены [4,5], полимерные микропористые материалы [6-10], хиральные структуры [11,12], структуры, составленные из жестких вращающихся элементов [13], композиционные [14-16] и гранулированные [17] материалы. Ко второму типу относятся кристаллы различных кристаллических систем [18-44] и цеолиты [45-49]. В [9] было предложено называть материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона ауксетиками (от греческого «auxetos» - «это может расширяться»). В некоторых направлениях коэффициент Пуассона кристаллов может быть положительным, а в других отрицательным. Такие кристаллы именуют частичными ауксетиками. Если же коэффициент Пуассона отрицателен для всех направлений, то такой кристалл называют полным ауксетиком. Материалы, коэффициент Пуассона которых всегда положителен, называют неауксетиками.

Классификация ауксетиков среди кубических кристаллов была выполнена в [23-25]. При помощи двух безразмерных параметров, построенных на основе упругих постоянных кристаллов, были определены области, соответствующие неауксетикам, частичным и полным ауксетикам. Параметры, использованные в [24], учитывают влияние гидростатического давления. В [25] определены экстремальные значения всех кубических кристаллов, перечисленных в справочнике [50]. Установлено, что большинство из них является частичными ауксетиками, и немногие – полными.

Работы [18-32] посвящены анализу экстремальных значений коэффициента Пуассона и направлений, для которых они достигаются. При этом, использовалось нестандартное определение коэффициента Пуассона через отношение площадей материала в деформированном и недеформированном состояниях [51]. Анализ изменчивости такого площадного коэффициента Пуассона кубических кристаллов

выполнен в [26,27]. Авторами определены условия, необходимые для того, чтобы площадной коэффициент Пуассона был отрицателен при растяжении вдоль направлений [100], [110] и [111].

Анализ гексагональных ауксетиков проведен в [27-29,43,44]. Несмотря на большое количество известных гексагональных кристаллов (более 150 в [50]), как было выяснено, коэффициент Пуассона может быть отрицательным только у 6 из них: MoS_2 , C_7H_{12} , Zn , Vc-2.4 at\% Cu , TiB_2 , Vc .

Возможность коэффициента Пуассона кристалла α -кристобалита (полиморф кварца, относящийся к тетрагональной системе) принимать отрицательные значения обсуждается в [30-32]. Посредством бриллюэновской спектроскопии в [30] определены упругие константы данного кристалла и вычислены его экстремальные значения. Установлено, что данный кристалл является частичным ауксетиком. Максимальная величина его коэффициента Пуассона, согласно [30], равна 0.08, а минимальная -0.5. В [31] определены стационарные точки коэффициента Пуассона тетрагональных кристаллов и глобальный минимум коэффициента Пуассона α -кристобалита, который значительно отличался от результата работы [30].

Изменчивость упругих характеристик некоторых орторомбических кристаллов исследована в [33,34]. В [33] определены значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона при растяжении по нормали к кристаллографическим плоскостям (100), (010), (001), (110), (101) и (011). Авторами установлено, что кристаллы Aragonite (CaCO_3), Baryte (BaSO_4), Celestite, Iodic acid (HIO_3), Magnesium sulfate (MgSO_4), Rochelle salt ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Sodium tartrate ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{Na}_2$), Strontium formate ($\text{Sr}(\text{COOH})_2$), Sulfur (S), Topaz ($\text{Al}_2(\text{F,OH})_2\text{SiO}_4$), α -Uranium (α -U), Zinc sulfate (ZnSO_4) являются частичными ауксетиками. В [34] на основании экспериментальных данных детально проанализирована изменчивость коэффициента Пуассона сплава CuAlNi (14 wt% Al, 3.0 wt% Ni). Установлено, что коэффициент Пуассона данного кристалла может принимать отрицательные значения для некоторых направлений растяжения. В частности, когда направление

растяжения и поперечное направление лежат в плоскости (010), коэффициент Пуассона отрицателен для всех возможных ориентаций.

В [35] проведен анализ изменчивости коэффициента Пуассона кристаллов моноклинной системы в двух частных случаях. В первом случае направление растяжения направлено по нормали к плоскости симметрии, а поперечное направление лежит в данной плоскости. Во втором случае направление растяжения и поперечное направление лежат в плоскости симметрии. В первом случае частичными ауксетиками являются кристаллы Aegerite-augite, Amazonite (Felspar: Soda-potash), Augite, Betaine phosphate ($((\text{CH}_3)_3\text{BCH}_2\text{COO}\cdot\text{H}_3\text{PO}_4)$), Bismuth vanadate (BiVO_4), Cesium dihydrogen phosphate (CsH_2PO_4), β -Fluorododecane ($\beta\text{-F}_6\text{H}_4\text{F}_6$), Lanthanum niobate (LaNbO_4), Microcline (Feldspar), Orthoclase (Felspar: Soda-potash), Plagioclase, Potassium cobalt cyanide ($\text{K}_2\text{Co}(\text{CN})_6$). Во втором случае ауксетиками являются кристаллы Anthracene tetracyanobenzene, Biphenyl ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}$), Cesium deuterium selenide ($\text{CsD}(\text{SeO}_3)$), Coesite (SiO_2), Durene, Hyalophane ($(\text{Ba},\text{K})\text{Al}_2\text{Si}_{12}\text{O}_8$), Labradorite, Zirconium oxide (ZrO_2).

Анализ ауксетичности кристаллов кубической, гексагональной, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической и шестиконстантной ромбоэдрической систем выполнен в серии работ [36-41]. Авторами определены условия, необходимые и достаточные для того, чтобы коэффициент Пуассона принимал отрицательные значения при растяжении в некоторых направлениях (в частности, вдоль кристаллографических осей). Для ряда кристаллов построены характеристические поверхности нулевого коэффициента Пуассона и исследована зависимость их формы от температуры. Показано, что с ростом температуры площадь этих поверхностей увеличивается и некоторые кристаллы, являющиеся частичными ауксетиками при комнатной температуре, становятся полными ауксетиками.

В [42] получены условия для определения стационарных точек модуля Юнга, коэффициента Пуассона и модуля сдвига. На основе этих условий предложен алгоритм поиска экстремальных значений данных характеристик. Результаты работы алгоритма продемонстрированы на примере моноклинных кристаллов

Lanthanum niobate (LaNbO_4) и Cesium dihydrogen phosphate (CsH_2PO_4). Максимальный и минимальный коэффициент Пуассона этих кристаллов составил 3.95 и -3.01 и 2.70 и -1.93, соответственно. У кристалла LaNbO_4 экстремумы коэффициента Пуассона достигаются при растяжении в направлении совпадающем с кристаллографической осью 2, что согласуется с результатами более ранней работы [35].

Анализ изменчивости коэффициента Пуассона кристаллов кубической, гексагональной, тетрагональной, орторомбической и моноклинной систем при растяжении в кристаллографической плоскости (100) выполнен в [43]. Авторами определены кристаллы, являющиеся ауксетиками при растяжении в данной плоскости.

Зависимость коэффициента Пуассона кристаллов всех систем от величины параметра анизотропии A^* , равного отношению квадратов максимальной и минимальной скоростей волн сдвига в кристалле, изучена в [44]. В работе не обнаружено соотношения, применимого ко всем кристаллическим системам, устанавливающего связь между направлениями, для которых достигается ауксетичность, с величиной параметра анизотропии и значением коэффициента Пуассона. Установлено, что кубические кристаллы, для которых $A^* > 4$, являются частичными ауксетиками. В работе, на основании экспериментальных данных из различных источников, определены экстремальные значения коэффициента Пуассона для большого количества кристаллов всех систем и направления, для которых они достигаются.

Первое упоминание нанотрубок из углерода относится к работе [52]. Углеродные волокна, содержащие трубки различного диаметра, синтезированы в [53]. Активное исследование свойств нанотрубок началось после публикаций [54,55], где сообщается о синтезе многослойных и однослойных углеродных нанотрубок, соответственно. Способность к образованию трубок у неорганических соединений со слоистой структурой была обнаружена в [56-60] для дихалькогенидов молибдена и вольфрама. В [61-65] установлено, что модуль Юнга нанотрубок из углерода и нитрида бора превосходит 1 ТПа.

Возможность коэффициента Пуассона углеродных и металлических нанотрубок принимать отрицательные значения обсуждается в работах [66] и [67], соответственно. Согласно [66], углеродные нанотрубки являются неауксетиками. В [67] изменчивость коэффициента Пуассона рассмотрена для металлических нанотрубок с прямоугольным сечением. Согласно [67], коэффициент Пуассона таких структур принимал отрицательные значения у трубок из серебра, никеля, меди, золота, палладия и платины.

Для синтеза углеродных нанотрубок часто используют методы испарения [68,69], синтез в плазме [70] и метод химического парофазного осаждения [71]. Синтез различных нанотрубок осуществляется при помощи методов испарения [72,73], химического метода [74], золь-гелевой технологии [75] и посредством сворачивания прямолинейно-анизотропных кристаллических пластин [76-79].

Впервые метод сворачивания кристаллических пластин в трубки представлен в работе [76] для гетероструктур и получил дальнейшее развитие в [77-79]. Суть метода заключается в напылении материала будущей трубки (функциональный слой) на подложку с жертвенным слоем. За счет различий параметров кристаллических решеток жертвенного и функционального слоев в них возникает поле напряжений. После вытравливания жертвенного слоя, происходит релаксация напряжений и функциональный слой сворачивается в трубку. В зависимости от вида напряженного состояния (растяжение или сжатие), функциональный слой сворачивается либо к подложке, либо от нее. Используя различные способы нанесения, можно добиться того, чтобы толщина функционального слоя, соответственно и стенок трубки, составляла один атомный слой. При помощи данного метода можно задавать местоположение, где окажется готовая трубка. Получаемые таким образом трубки могут достигать в диаметре от долей нанометров до микрон, что позволяет рассматривать их как цилиндрически-анизотропные нано/микротрубки (при цилиндрической анизотропии базис прямоугольной декартовой системы координат, в котором определены модули упругости кристалла, совпадает в каждой точке трубки с локальным базисом цилиндрической системы координат).

Одним из способов описания деформирования нанотрубок в рамках теории упругости, является использование модели цилиндрически-анизотропного полого стержня [80]. В [81-84], с применением этой модели, решена задача Сен-Венана для трубок из кристаллов различных систем. В [83] выполнен анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона трубок из гексагональных и ромбоэдрических кристаллов. Коэффициенты Пуассона трубок из 6 гексагональных ауксетиков [29] принимают отрицательные значения только у 3 (MoS_2 , Zn, C_7H_{12}). Ауксетичность обнаружена у трубок из гексагональных кристаллов, являющихся неауксетиками при прямолинейной анизотропии. Некоторые трубки из ромбоэдрических кристаллов так же обладают отрицательным коэффициентом Пуассона. Оценки величины модуля Юнга трубок из графита, полученные в [81,83], соответствуют значениям из [61-64]. В [84] проведен анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных хиральных трубок из кубических кристаллов. Определена зависимость знака коэффициентов Пуассона от безразмерных параметров, использованных в [22]. Установлено, что при переходе от прямолинейной к цилиндрической анизотропии количество ауксетиков возрастает. Если среди прямолинейно-анизотропных кубических кристаллов коэффициент Пуассона может принимать отрицательные значения у половины кристаллов, то практически все цилиндрически-анизотропные хиральные трубки из них являются ауксетиками.

Для описания трубок молекулярных размеров используются методы молекулярной динамики. Значительный вклад в разработку этих методов внесен Норманом Г.Э., Кривцовым А.М., Фоминым В.М., Коробейниковым С.Н. С их помощью определены упругие и пластические свойства кристаллов, тонких пластинок и трубок.

Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона обладают потенциалом для практического применения. Ауксетические пены подходят для изготовления из них мебельных подушек [85,86], обеспечивая лучшее распределение нагрузки, чем обычные пены. Пены с отрицательным

коэффициентом Пуассона могут быть использованы для создания умных фильтров [87], диаметр пор которых меняется при деформировании, что облегчает очистку и позволяет регулировать диаметр фильтруемых частиц. Фильтр с такими же свойствами [88] возможно получить при помощи ткани, содержащей волокна с отрицательным коэффициентом Пуассона [89]. Ткани, содержащие ауксетические волокна, можно использовать для высвобождения вещества, хранящегося внутри них [88]. Ауксетики подходят для создания из них крепежных деталей, заклепок [90]. Для извлечения таких деталей требуются большие усилия, чем при использовании обычных материалов. Ауксетики подходят для создания спортивного защитного обмундирования (шлемы, маты и т.п.) [91,92] за счет улучшенного поглощения удара [93], что позволяет делать его легче и тоньше. Использование ауксетиков в слоистых композитах способствует улучшению их эффективных характеристик в сравнении с композитами состоящих только из материалов с положительным коэффициентом Пуассона. Эффективный модуль Юнга таких композитов имеет большую величину, чем при использовании изотропных неауксетических слоев [94-97]. Эффективный коэффициент Пуассона (отрицательный) композитов по своей абсолютной величине может превосходить коэффициенты Пуассона составляющих (ауксетических и неауксетических) слоев [98]. Ауксетические микропористые полимеры обладают потенциалом для их использования в биомедицине. На их основе возможно создание сосудистых расширителей, используемых в сердечно-сосудистой хирургии и артериальных протезов [99]. Нанотрубки с отрицательным коэффициентом Пуассона могут быть использованы в качестве молекулярных фильтров с переменной проницаемостью [100].

В диссертации исследована изменчивость коэффициента Пуассона и модуля Юнга прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных кристаллов различных кристаллических систем (семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной). Выявлены многочисленные кристаллы с отрицательным коэффициентом Пуассона.

В **Главе 1** обсуждаются задачи растяжения прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных кристаллов триклинной, моноклинной, орторомбической, шестиконстантной тетрагональной и семиконстантной ромбоэдрической систем. В **разделе 1.1** анализируются зависимости модуля Юнга и коэффициента Пуассона от направления растяжения и поперечного направления, заданные с помощью углов Эйлера. В **разделе 1.2** на основании выражений, представленных в предыдущем разделе, аналитически определены экстремумы модуля Юнга и коэффициента Пуассона при растяжении вдоль кристаллографических осей. В **разделе 1.3**, в рамках теории упругости, выполнена постановка задачи растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок, при условии, что поверхности трубки свободны от напряжений, а крутящий момент отсутствует. Для решения используется полуобратный метод Сен-Венана. В соответствии с принципом Сен-Венана, считается, что на отдалении от торцов трубки можно пренебречь зависимостью от продольной координаты. Принимая во внимание симметрию граничных условий и поперечного сечения, пренебрегаем зависимостью от окружной координаты. В **разделе 1.4** решена задача радиально-неоднородного растяжения хиральных трубок из кристаллов различных кристаллических систем, поставленная в **разделе 1.3**. Получены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона (характеризующих деформацию в радиальном и окружном направлениях) от угла хиральности, параметра толщины (отношения внешнего и внутреннего радиусов), упругих постоянных и радиальной координаты.

В **Главе 2** обсуждаются результаты численного анализа, выполненного на основе экспериментальных данных, собранных в справочнике [50], модуля Юнга и коэффициента Пуассона, представленных в **разделах 1.1** и **1.2**. Среди всех данных из [50], для анализа были отобраны те, что получены при нормальных условиях. У кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем определены глобальные экстремумы модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Для коэффициента Пуассона дополнительно определены экстремумы при частных ориентациях и осредненные по всем углам значения коэффициенты Пуассона. В

каждом разделе проведено сравнение результатов, полученных в диссертации, с результатами публикаций, обсуждаемых во **Введении**. В **разделе 2.1** анализируется изменчивость модуля Юнга и коэффициента Пуассона семиконстантных ромбоэдрических кристаллов. Из 9 кристаллов, представленных в справочнике [50], ауксетиками являются 3: SbI_3 , $\text{Pb}_{4.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ и MgSiO_3 . При растяжении вдоль кристаллографических осей ауксетичность обнаружена только у кристалла SbI_3 . У всех семиконстантных ромбоэдрических кристаллов осредненный коэффициент Пуассона положителен и лежит в диапазоне от 0.1 до 0.3. Модуль Юнга большинства семиконстантных ромбоэдрических кристаллов не превышает 100 ГПа. В **разделе 2.2** анализируется изменчивость модуля Юнга и коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных кристаллов. Из 85 кристаллов, представленных в справочнике [50], частичными ауксетиками являются 49. Среди них обнаружен один кристалл с отрицательным осредненным коэффициентом Пуассона: FeGe_2 . При растяжении вдоль кристаллографических осей ауксетиком является 21 кристалл. Если направление растяжения меняется в одной из кристаллографических плоскостей (100), (010) и (001), коэффициент Пуассона может принимать отрицательные значения уже у 46 кристаллов. Модуль Юнга шестиконстантных тетрагональных кристаллов характеризуется большой изменчивостью. Более чем в 2 раза он возрастает у 54 кристаллов, причем у ряда кристаллов он возрастает более чем на порядок. В **разделе 2.3** выполнен анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона орторомбических кристаллов. Из 136 орторомбических кристаллов, представленных в справочнике [50], частичными ауксетиками являются 51. При растяжении вдоль кристаллографических осей ауксетичность обнаружена для 14 кристаллов. В случае растяжения в кристаллографических плоскостях (100), (010) и (001) ауксетиком является 41 кристалл. Модуль Юнга орторомбических кристаллов также характеризуются большой изменчивостью. Более чем у половины кристаллов (73) он возрастает более чем в 2 раза. Модуль Юнга кристаллов $\text{CH}_3\text{NCH}_2\text{COO}\cdot\text{H}_3\text{BO}_3$, I и $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ возрастает на порядок. В **разделе 2.4** обсуждается изменчивость коэффициента Пуассона моноклинных и триклинных

кристаллов. Среди 69 моноклинных кристаллов частичными ауксетиками являются 43, а 27 являются ауксетиками при растяжении вдоль кристаллографических осей. Необходимо отметить, что практически все они имеют отрицательный коэффициент Пуассона при растяжении по нормали к плоскости симметрии в моноклинном кристалле (вдоль оси 2). Среди 5 триклинных кристаллов ($\text{CuSO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{KH}_3\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, LiHC_2O_4 , $\text{NaHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_3(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) обнаружен один ауксетик ($\text{NaHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Коэффициент Пуассона всех триклинных кристаллов положителен при растяжении вдоль кристаллографических осей.

В **Главе 3** обсуждаются результаты численного анализа модуля Юнга и коэффициентов Пуассона, зависимости которых от упругих постоянных, угла хиральности, параметра толщины и радиальной координаты получены в **разделе 1.4**, в случае трубок из кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической и моноклинной систем. Для каждой системы определены значения модуля Юнга и коэффициентов Пуассона тонкостенных трубок и значения угла хиральности и параметра толщины, при которых коэффициенты Пуассона равны нулю. При анализе изменчивости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона хиральных трубок акцент сделан на тонкостенных трубках. В **разделе 3.1** анализируется изменчивость коэффициентов Пуассона и модуля Юнга трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов. Для таких трубок показано, что угол хиральности не оказывает влияния на их модуль Юнга и коэффициенты Пуассона. Обе эти характеристики монотонно изменяются с параметром толщины. С переходом от прямолинейной к цилиндрической анизотропии количество ауксетиков увеличивается и равно 6 (SbI_3 , BiI_3 (83K), $\text{Pb}_{4.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Ge}_3\text{O}_{11}$, $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$, $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}(\text{s}^E)$, MgSiO_3). Отрицательные значения может принимать как радиальный, так и окружной коэффициенты Пуассона. В тонкостенном случае ауксетиком является только трубка из кристалла SbI_3 , окружной коэффициент Пуассона которой меньше нуля. Модуль Юнга превосходит 250 ГПа только для Ve_2SiO_4 и MgSiO_3 . В **разделе 3.2** анализируется изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона 85 трубок

из шестиконстантных тетрагональных кристаллов, значения упругих постоянных которых собраны в справочнике [50]. Эти характеристики монотонно изменяются с параметром толщины и периодически меняются с углом хиральности. Поверхности модуля Юнга и коэффициентов Пуассона симметричны относительно угла хиральности $\pi/4$. Определены значения коэффициентов Пуассона тонкостенных трубок при нулевом угле хиральности и при угле хиральности равном $\pi/4$. При нулевой хиральности коэффициент Пуассона отрицателен у 21 тонкостенной трубки, а с ростом параметра толщины их количество возрастает до 55. При угле хиральности равном $\pi/4$ насчитывается 24 тонкостенные ауксетические трубки, а с увеличением параметра толщины их количество достигает 59. У тонкостенных трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов отрицательным может быть, как окружной, так и радиальный коэффициент Пуассона. Модуль Юнга трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов возрастает с параметром толщины. У большинства трубок он увеличивается не более чем на 10%. Значения модуля Юнга практически всех трубок в тонкостенном случае совпадают с экстремумами модуля Юнга прямолинейно-анизотропных шестиконстантных тетрагональных кристаллов. В **разделе 3.3** изучена изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона хиральных трубок из 136 орторомбических кристаллов из справочника [50]. Данные характеристики являются периодическими функциями угла хиральности с периодом π (симметричны относительно $\pi/2$). Изменение модуля Юнга и коэффициентов Пуассона с углом хиральности и параметром толщины у трубок из орторомбических кристаллов носит более сложный характер, чем у трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов. В диссертации установлено, что эти характеристики изменяются немонотонно с изменением угла хиральности от 0 до $\pi/2$. Коэффициенты Пуассона некоторых кристаллов немонотонно изменяются и с параметром толщины. При нулевом угле хиральности обнаружено 11 тонкостенных ауксетических трубок, с ростом параметра толщины их количество возрастает до 91. При угле хиральности равном $\pi/2$ эти значения составляют 5 и 89, соответственно. Коэффициенты Пуассона трубок из орторомбических кристаллов

характеризуются большой изменчивостью своих величин. На одной поверхности трубки разница между максимальным и минимальным значением разница может составлять несколько единиц. Модуль Юнга нескольких трубок может превосходить 300 ГПа. У двух трубок (из кристаллов $((\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{COO}\cdot(\text{CH})_2(\text{COOH})_2$ и I) максимальное значение модуля Юнга более чем на порядок превосходит минимальное. В разделе 3.4 изучена изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона трубок из моноклинных кристаллов при угле хиральности равному нулю и $\pi/2$. Так же, как и в случае трубок из орторомбических кристаллов, модуль Юнга и коэффициенты Пуассона трубок из моноклинных кристаллов являются периодическими функциями угла хиральности с периодом π и симметричны относительно $\pi/2$. При нулевой хиральности насчитывается 7 ауксетических тонкостенных трубок, количество которых возрастает до 48 с ростом параметра толщины. При угле хиральности равном $\pi/2$ количество тонкостенных ауксетических трубок равно 16, при больших параметрах толщины их количество составляет 53. Модуль Юнга трубок из моноклинных кристаллов может значительно (в несколько раз) меняться как с углом хиральности, так и с параметром толщины. Так, у трубки из кристалла LaNbO_4 при нулевой хиральности модуль Юнга толстостенной трубки в 5 раз выше чем у тонкостенной (15.0 ГПа). При значении угла хиральности в $\pi/2$ у толстостенной трубки модуль Юнга почти в 2 раза больше чем у тонкостенной (67.6 ГПа). У тонкостенных трубок значения модуля Юнга при нулевой хиральности и при $\pi/2$ различаются в 5 раз.

Целями данной работы являются:

- получение аналитических зависимостей механических характеристик цилиндрически-анизотропных нано/микротрубок от их толщины, хиральности и упругих постоянных кристалла;
- исследование изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных кристаллов шестиконстантной тетрагональной, семиконстантной ромбоэдрической, орторомбической, моноклинной и триклинной систем;

- выявление кристаллов с отрицательным коэффициентом Пуассона.

Апробация результатов исследования

Результаты исследования представлены на международных конференциях

- XLII Summer School-Conference “Advanced Problems in Mechanics”. Saint-Petersburg, June 30 – July 5, 2014.
- 5th International Conference. Auxetics and other materials and models with “negative” characteristics. Poland, Poznan, 15-19 September, 2014.
- Международная молодежная научная конференция XLI Гагаринские чтения Москва, 7-9 апреля 2015.
- Международная молодежная научная конференция XLII Гагаринские чтения. Москва, 12-15 апреля 2016.

Публикации

[A1] Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Механические характеристики 7-ми константных ромбоэдрических кристаллов и нано/микротрубок из них // Письма о материалах, 2016, Т.6, Вып.2, С.93-97 (Scopus).

[A2] Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Auxetics among 6-constant tetragonal crystals // Письма о материалах, 2015, Т.5, Вып.4, С.409-413 (Scopus).

[A3] Волков М.А. Экстремальные значения коэффициента Пуассона триклинных и моноклинных кристаллов. Письма о материалах, 2014, Т.3, Вып.4, С.167-170 (Scopus).

[A4] Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Negative Poisson's ratio for six-constant tetragonal nano/microtubes // Physica Status Solidi (b), 2015, V.252, P.1580-1586, DOI: 10.1002/pssb.201451649, WOS: 000357992600022 (Web of Science, Scopus).

[A5] Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Auxeticity in nano/microtubes produced from orthorhombic crystals // Smart Materials and Structures,

2016, V.25, N.5, P.054006, DOI: 10.1088/0964-1726/25/5/054006, WOS: 000375589600009 (Web of Science, Scopus).

Личный вклад автора

С участием автора выполнена постановка и решение задач, рассмотренных в [A1-A5,A6]. В [A1,A2,A4,A5] автор участвовал в получении и проверке аналитических результатов, им выполнен численный анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона семиконстантных ромбоэдрических, шестиконстантных тетрагональных, орторомбических кристаллов и трубок из них. В [A3] автор получил аналитические результаты и провел численный анализ коэффициента Пуассона моноклинных кристаллов из них и выполнил анализ полученных данных. В препринте [A6] с участием автора выполнен анализ изменчивости коэффициента Пуассона и модуля Юнга прямолинейно-анизотропных орторомбических кристаллов. В материалах конференции [A7] автор получил аналитические зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона трубок из моноклинных кристаллов и провел численный анализ их изменчивости.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех Глав, заключения, списка литературы и трех Приложений.

В **первой Главе** рассмотрены задачи растяжения прямолинейно-анизотропных кристаллов и цилиндрически-анизотропных хиральных трубок из них. При прямолинейной анизотропии получены зависимости модуля Юнга и коэффициента Пуассона от ориентации кристаллографических осей относительно направления растяжения. При цилиндрической анизотропии зависимости этих характеристик получены от угла хиральности, толщины стенок трубки, упругих постоянных и радиальной координаты.

Во **второй Главе** исследована изменчивость модуля Юнга и коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов семиконстантной

ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем. Для кристаллов этих систем определены значения глобальных экстремумов коэффициента Пуассона и модуля Юнга, определены экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях и его осредненные по всем направлениям значения. Выявлены кристаллы с отрицательным коэффициентом Пуассона.

В **третьей Главе** изучена изменчивость цилиндрически-анизотропных трубок из кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической и моноклинной систем. Определены трубки-ауксетики и условия, при которых коэффициент Пуассона становится отрицательным.

Заключение содержит основные результаты диссертации.

В **приложении 1** приведен закон Гука анизотропных тел, вид коэффициентов упругости для кристаллов различных систем и как они изменяются при повороте кристаллографической системы координат.

В **приложении 2** содержится табличный материал, посвященный изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных, орторомбических, моноклинных и триклинных кристаллов и трубок из них.

В **приложении 3** содержится дополнительный иллюстративный материал, демонстрирующий поведение коэффициентов Пуассона некоторых трубок из орторомбических кристаллов.

Количество страниц в диссертации – 165, в том числе 18 таблиц и 12 иллюстраций, список литературы содержит 113 наименований. В приложениях содержится 18 таблиц и 5 иллюстраций.

Автор выражает благодарность за внимание к работе и полезные руководящие идеи зав. лабораторией механики прочности и разрушения материалов и конструкций, член-корр. РАН Роберту Вениаминовичу Гольдштейну. За помощь в проведении исследований и в подготовке работы диссертант

благодарен д.ф.-м.н., профессору Валентину Александровичу Городцову и к.ф.-
м.н. Дмитрию Сергеевичу Лисовенко.

Глава 1

Задачи растяжения прямолинейно- и цилиндрически- анизотропных кристаллов с различным видом анизотропии

[А3,А5]

1.1. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона при растяжении тела с прямолинейной анизотропией

При описании растяжения прямолинейно-анизотропного кристалла будем использовать две системы координат: кристаллографическую и лабораторную. В первой определены значения упругих постоянных кристалла, вторая используется для описания направления растяжения. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона анизотропного материала определяются выражениями [51]

$$E^{-1}(\mathbf{n}) = s_{ijkl} n_i n_j n_k n_l, \quad (1.1)$$

$$\nu(\mathbf{n}, \mathbf{m}) = -\frac{s_{ijkl} n_i n_j m_k m_l}{s_{qrst} n_q n_r n_s n_t}, \quad (1.2)$$

где \mathbf{n} - единичный вектор в лабораторной системе координат, соответствующий направлению растяжения, \mathbf{m} - единичный вектор, перпендикулярный вектору \mathbf{n} , s_{ijkl} - тензорные коэффициенты податливости. От четырехиндексных тензорных коэффициентов податливости перейдем к двухиндексным матричным

коэффициентам (связь между тензорными и матричными обозначениями обсуждается в **Приложении 1**). Осуществив поворот лабораторной системы координат на углы Эйлера φ, θ, ψ и приняв $\mathbf{n} = (0, 0, 1)^T$ и $\mathbf{m} = (1, 0, 0)^T$, получим следующие выражения для \mathbf{n} и \mathbf{m} в кристаллографической системе координат

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} \sin \varphi \sin \theta \\ -\cos \varphi \sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix}, \quad \mathbf{m} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \psi - \sin \varphi \cos \theta \sin \psi \\ \sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \cos \theta \sin \psi \\ \sin \theta \sin \psi \end{pmatrix}.$$

В случае кристаллов триклинной (наименее симметричной) системы зависимости модуля Юнга и коэффициента Пуассона (1.1) и (1.2) от матричных коэффициентов податливости и углов Эйлера можно представить в виде

$$E^{-1}(\varphi, \theta) = A_1(\varphi) \cos^4 \theta + s_{33} \sin^4 \theta + A_2(\varphi) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + \\ + A_3(\varphi) \cos^3 \theta \sin \theta + A_4(\varphi) \cos \theta \sin^3 \theta, \quad (1.3)$$

$$-\frac{\nu(\varphi, \theta, \psi)}{E(\varphi, \theta)} = B_1(\varphi, \theta) \cos^2 \psi + B_2(\varphi, \theta) \sin^2 \psi + B_3(\varphi, \theta) \cos \psi \sin \psi, \quad (1.4)$$

где

$$A_1(\varphi) = s_{11} \sin^4 \varphi + s_{22} \cos^4 \varphi + (2s_{12} + s_{66}) \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi - \\ - 2(s_{16} \sin^2 \varphi + s_{26} \cos^2 \varphi) \cos \varphi \sin \varphi,$$

$$A_2(\varphi) = (2s_{13} + s_{55}) \sin^2 \varphi + (2s_{23} + s_{44}) \cos^2 \varphi + 2(s_{36} + s_{45}) \cos \varphi \sin \varphi,$$

$$A_3(\varphi) = 2(s_{34} \cos \varphi + s_{35} \sin \varphi),$$

$$A_4(\varphi) = 2(s_{15} \sin \varphi - s_{14} \cos \varphi) \sin^2 \varphi + 2(s_{25} \sin \varphi - s_{24} \cos \varphi) \cos^2 \varphi - \\ - 2(s_{56} \sin \varphi - s_{46} \cos \varphi) \cos \varphi \sin \varphi,$$

$$B_1(\varphi, \theta) = b_{11} \cos^2 \varphi + 2b_{12} \cos \varphi \sin \varphi + b_{22} \sin^2 \varphi,$$

$$B_2(\varphi, \theta) = (b_{11} \sin^2 \varphi + b_{22} \cos^2 \varphi) \cos^2 \theta + b_{33} \sin^2 \theta - \\ - 2b_{12} \cos \varphi \sin \varphi \cos^2 \theta + 2(b_{23} \cos \varphi - b_{13} \sin \varphi) \cos \theta \sin \theta,$$

$$B_3(\varphi, \theta) = 2(b_{22} - b_{11})\cos\varphi\sin\varphi\cos\theta + 2(b_{13}\cos\varphi + b_{23}\sin\varphi)\sin\theta + \\ + 2b_{12}\cos^2\varphi\cos\theta,$$

$$b_{ij} = s_{ijkl} n_k n_l.$$

1.2. Экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях [A3]

Частным случаем одноосного растяжения кристалла является растяжение вдоль одной из кристаллографических осей. Для таких частных ориентаций нетрудно аналитически определить условия, при которых достигаются экстремальные значения коэффициента Пуассона:

$$1) \mathbf{n} = (1, 0, 0)^T, \mathbf{m} = (0, \cos\psi, \sin\psi)^T$$

Заданный вектор \mathbf{n} соответствует растяжению кристалла вдоль оси 1 и значению углов Эйлера $\varphi = \pi/2$ и $\theta = \pi/2$. Зависимость коэффициента Пуассона от коэффициентов податливости и угла ψ имеет вид

$$v(\psi) = -\frac{s_{12}\cos^2\psi + s_{13}\sin^2\psi + s_{14}\cos\psi\sin\psi}{s_{11}}. \quad (1.5)$$

Первая производная обращается в нуль, если выполняется равенство

$$\frac{2\operatorname{tg}\psi}{1 - \operatorname{tg}^2\psi} = -k_1, \quad k_1 = \frac{s_{14}}{s_{13} - s_{12}}, \quad \psi_{1,2} = \operatorname{arctg}\left(\frac{1 \pm \sqrt{1 + k_1^2}}{k_1}\right).$$

При помощи второй производной коэффициента Пуассона

$$\frac{d^2v(\psi)}{d\psi^2} = \frac{2}{\cos^2\psi} (\operatorname{tg}\psi - 1),$$

для каждого кристалла возможно определить какому экстремуму соответствуют ψ_1 и ψ_2 . Выражение (1.5) справедливо для триклинных и ромбоэдрических кристаллов. В случае кристаллов прочих систем оно упрощается и для моноклинных, орторомбических, тетрагональных и гексагональных кристаллов коэффициент Пуассона определяется выражением

$$v(\psi) = -\frac{s_{12} \cos^2 \psi + s_{13} \sin^2 \psi}{s_{11}}.$$

Очевидно, что для кристаллов этих систем экстремумы достигаются при $\psi = 0$ и $\psi = \pi/2$. Коэффициенты податливости s_{12} и s_{13} у кубических кристаллов равны. Поэтому, при растяжении вдоль этой кристаллографической оси, коэффициент Пуассона принимает постоянное значение $\nu = -s_{12}/s_{11}$. В силу симметрии, при растяжении вдоль других кристаллографических осей, коэффициент Пуассона кубических кристаллов имеет эту же величину.

$$2) \mathbf{n} = (0,1,0)^T, \mathbf{m} = (-\cos \psi, 0, \sin \psi)^T$$

Данному \mathbf{n} соответствует растяжение кристалла вдоль оси 2 и значения углов Эйлера $\varphi = 0$ и $\theta = \pi/2$. Аналогично предыдущему случаю, получим

$$v(\psi) = -\frac{s_{12} \cos^2 \psi + s_{23} \sin^2 \psi + s_{25} \cos \psi \sin \psi}{s_{22}}. \quad (1.6)$$

Найдя первую производную (1.6), установим, что она обращается в нуль при

$$\psi_{1,2} = \operatorname{arctg} \left(\frac{1 \pm \sqrt{1 + k_2^2}}{k_2} \right), \quad k_2 = \frac{s_{25}}{s_{23} - s_{12}}.$$

При помощи второй производной коэффициента Пуассона возможно установить, какому экстремуму соответствуют ψ_1 и ψ_2 . Выражение (1.6) справедливо для кристаллов триклинной, моноклинной и семиконстантной ромбоэдрической систем. Для орторомбических, тетрагональных, шестиконстантных ромбоэдрических и гексагональных кристаллов (1.6) упрощается

$$v(\psi) = -\frac{s_{12} \cos^2 \psi + s_{23} \sin^2 \psi}{s_{22}}.$$

$$3) \mathbf{n} = (0,0,1)^T, \mathbf{m} = (\cos(\varphi + \psi), \sin(\varphi + \psi), 0)^T$$

Вектору \mathbf{n} такого вида соответствует растяжение кристалла вдоль оси 3 и $\theta = 0$. Поскольку повороты по φ и ψ соответствуют повороту вокруг одной оси, то рассмотрим поворот на угол $\psi' = \varphi + \psi$. Зависимость коэффициента Пуассона от коэффициентов податливости и угла ψ' имеет вид

$$v(\psi') = -\frac{s_{13} \cos^2 \psi' + s_{23} \sin^2 \psi' + s_{36} \cos \psi' \sin \psi'}{s_{33}}. \quad (1.7)$$

Первая производная равна нулю при

$$\psi'_{1,2} = \operatorname{arctg} \left(\frac{1 \pm \sqrt{1 + k_3^2}}{k_3} \right), \quad k_3 = \frac{s_{36}}{s_{23} - s_{13}}.$$

При помощи второй производной коэффициента Пуассона возможно установиться какому экстремуму соответствуют данные значения угла. Выражение (1.7) справедливо для триклинных и моноклинных кристаллов (вторая установка). Для кристаллов моноклинной (первая установка), орторомбической и гексагональной систем (1.7) упрощается

$$v(\psi') = -\frac{s_{13} \cos^2 \psi' + s_{23} \sin^2 \psi'}{s_{33}}$$

Для оставшихся систем $s_{13} = s_{23}$, и коэффициент Пуассона является постоянным.

Модули Юнга при растяжении вдоль осей 1, 2 и 3 равны s_{11}^{-1} , s_{22}^{-1} и s_{33}^{-1} , соответственно.

Помимо перечисленных, мы находим экстремумы коэффициента Пуассона для частных ориентаций более общего вида, когда направление растяжения лежит в одной из кристаллографических плоскостей (1,0,0), (0,1,0) и (0,0,1), т.е. $n_1 = 0$, $n_2 = 0$ и $n_3 = 0$, соответственно. Для таких частных ориентаций экстремальные значения коэффициента Пуассона определены при помощи численных методов.

1.3. Постановка задачи радиально неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок [A5]

Рассмотрим, в рамках теории упругости, задачу растяжения цилиндрически-анизотропной трубки, поверхности которой свободны от напряжений, а на торцах отсутствует крутящий момент. В цилиндрической системе координат (r, φ, z) граничные условия имеют вид

$$\sigma_{rr}|_{r=r_0} = \sigma_{rr}|_{r=R_0} = 0, \quad \sigma_{rz}|_{r=r_0} = \sigma_{rz}|_{r=R_0} = 0, \quad \sigma_{r\varphi}|_{r=r_0} = \sigma_{r\varphi}|_{r=R_0} = 0, \quad (1.8)$$

$$\int_S \sigma_{zz} dS = P_z, \quad \int_S \sigma_{\varphi z} r dS = M_z = 0, \quad (1.9)$$

где r_0 – внутренний радиус трубки, R_0 – внешний радиус.

Для каждого элемента объема трубки локально существует соответствие между цилиндрической системой координат трубки (r, φ, z) и кристаллографической системой координат $(1, 2, 3)$ вида $1 \rightarrow z$, $2 \rightarrow -\varphi$, $3 \rightarrow r$. Предположим, что направления осей 1 и z (соответственно 2 и φ) могут отличаться на угол α . Тогда, осуществив поворот, описываемый матрицей

$$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

кристаллографической системы координат 123, перейдем к системе координат $1'2'3'$. Считаем, что для каждого α справедливо локальное соответствие вида $1' \rightarrow z$, $2' \rightarrow -\varphi$, $3' \rightarrow r$. В результате поворота кристаллическая решетка трубки становится спиральной относительно продольной оси. В силу асимметрии решетки трубки и её зеркального отражения, трубки с $\alpha \neq 0$ являются хиральными. Зависимости матричных коэффициентов податливости в повернутой системе координат (эффективных коэффициентов податливости) от угла хиральности α приведены в **Приложении 1**.

Для решения задачи используем полуобратный метод Сен-Венана. Согласно этому методу, исходя из физических соображений, возможно сделать некоторые предположения о виде решения. После чего, проверяется удовлетворяет ли решение, полученное с учетом сделанных предположений, уравнениям теории упругости и граничным условиям. Считая трубку достаточно протяженной, принимая во внимание принцип Сен-Венана, полагаем, что напряжения и деформации трубки не зависят от продольной координаты. Согласно принципу Сен-Венана, на удалении от концов стержня напряжения и деформации, вызываемые двумя системами сил, главный вектор и главный момент которых

совпадают, мало отличаются. Учитывая симметрию поперечного сечения и граничных условий, пренебрегаем зависимостью от угловой координаты.

Таким образом, задача сводится к одномерной, где напряженно-деформированное состояние является радиально-неоднородным. В цилиндрической системе координат закон Гука имеет вид

$$\begin{cases} u_{zz}(r) = s'_{11}\sigma_{zz}(r) + s'_{12}\sigma_{\varphi\varphi}(r) + s'_{13}\sigma_{rr}(r) - s'_{14}\sigma_{r\varphi}(r) + s'_{15}\sigma_{rz}(r) - s'_{16}\sigma_{\varphi z}(r) \\ u_{\varphi\varphi}(r) = s'_{12}\sigma_{zz}(r) + s'_{22}\sigma_{\varphi\varphi}(r) + s'_{23}\sigma_{rr}(r) - s'_{24}\sigma_{r\varphi}(r) + s'_{25}\sigma_{rz}(r) - s'_{26}\sigma_{\varphi z}(r) \\ u_{rr}(r) = s'_{13}\sigma_{zz}(r) + s'_{23}\sigma_{\varphi\varphi}(r) + s'_{33}\sigma_{rr}(r) - s'_{34}\sigma_{r\varphi}(r) + s'_{35}\sigma_{rz}(r) - s'_{36}\sigma_{\varphi z}(r) \\ 2u_{r\varphi}(r) = -s'_{14}\sigma_{zz}(r) - s'_{24}\sigma_{\varphi\varphi}(r) - s'_{23}\sigma_{rr}(r) + s'_{44}\sigma_{r\varphi}(r) - s'_{45}\sigma_{rz}(r) + s'_{46}\sigma_{\varphi z}(r) \\ 2u_{rz}(r) = s'_{15}\sigma_{zz}(r) + s'_{25}\sigma_{\varphi\varphi}(r) + s'_{35}\sigma_{rr}(r) - s'_{45}\sigma_{r\varphi}(r) + s'_{55}\sigma_{rz}(r) - s'_{56}\sigma_{\varphi z}(r) \\ 2u_{\varphi z}(r) = -s'_{16}\sigma_{zz}(r) - s'_{26}\sigma_{\varphi\varphi}(r) + s'_{36}\sigma_{rr}(r) + s'_{46}\sigma_{r\varphi}(r) - s'_{56}\sigma_{rz}(r) + s'_{66}\sigma_{\varphi z}(r) \end{cases} \quad (1.10)$$

Поскольку напряжения зависят только от радиальной координаты, то уравнения равновесия можно привести к виду

$$\sigma_{rr}(r) = \frac{d}{dr}(r\sigma_{\varphi\varphi}(r)), \quad \frac{d}{dr}(r\sigma_{rz}(r)) = 0, \quad \frac{d}{dr}(r^2\sigma_{r\varphi}(r)) = 0. \quad (1.11)$$

Граничные условия (1.9), с учетом радиальной неоднородности задачи и предполагая равномерное распределение нагрузки на торцах, запишутся следующим образом

$$\int_{r_0}^{R_0} \sigma_{zz}(r)rdr = \int_{r_0}^{R_0} Pr dr = \frac{P(R_0^2 - r_0^2)}{2}, \quad \int_{r_0}^{R_0} \sigma_{\varphi z}(r)r^2 dr = 0, \quad (1.12)$$

где P – нагрузка, приходящаяся на единицу поверхности. Условия на поверхностях трубки (1.8) не изменятся.

1.4. Решение задачи радиально неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок [A5]

Проинтегрировав второе и третье уравнение равновесия (1.11), получим

$$\sigma_{rz}(r) = c_0/r, \quad \sigma_{r\varphi}(r) = c_1/r^2, \quad c_i = \text{const}.$$

Принимая во внимание условия на поверхностях трубки (1.8), на поле напряжений налагаются следующие ограничения

$$\sigma_{r\varphi}(\mathbf{r}) = 0, \quad \sigma_{rz}(\mathbf{r}) = 0. \quad (1.13)$$

Закон Гука (1.10), с учетом ограничений (1.13), примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{zz}(\mathbf{r}) = s'_{11} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) + s'_{12} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) + s'_{13} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) - s'_{16} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \\ u_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) = s'_{12} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) + s'_{22} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) + s'_{23} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) - s'_{26} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \\ u_{rr}(\mathbf{r}) = s'_{13} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) + s'_{23} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) + s'_{33} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) - s'_{36} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \\ 2u_{r\varphi}(\mathbf{r}) = -s'_{14} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) - s'_{24} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) - s'_{34} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) + s'_{46} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \\ 2u_{rz}(\mathbf{r}) = s'_{15} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) + s'_{25} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) + s'_{35} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) - s'_{56} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \\ 2u_{\varphi z}(\mathbf{r}) = -s'_{16} \sigma_{zz}(\mathbf{r}) - s'_{26} \sigma_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}) + s'_{36} \sigma_{rr}(\mathbf{r}) + s'_{66} \sigma_{\varphi z}(\mathbf{r}) \end{array} \right. \quad (1.14)$$

Используя дифференциальные связи между компонентами вектора смещений и компонентами тензора деформаций

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_r(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial r} &= u_{rr}(\mathbf{r}), \quad \frac{\partial u_z(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial z} = u_{zz}(\mathbf{r}), \\ \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial \varphi} + \frac{u_r(\mathbf{r}, \varphi, z)}{r} &= u_{\varphi\varphi}(\mathbf{r}), \\ \frac{1}{r} \frac{\partial u_r(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial \varphi} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u_\varphi(\mathbf{r}, \varphi, z)}{r} \right) &= 2u_{r\varphi}(\mathbf{r}), \\ \frac{\partial u_\varphi(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial \varphi} &= 2u_{\varphi z}(\mathbf{r}), \\ \frac{\partial u_r(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial z} + \frac{\partial u_z(\mathbf{r}, \varphi, z)}{\partial r} &= 2u_{rz}(\mathbf{r}), \end{aligned} \quad (1.15)$$

восстановим поле смещений, возникающее в трубке. Проинтегрировав второе, пятое и шестое уравнения (1.15), получим

$$\begin{aligned} u_z(\mathbf{r}, \varphi, z) &= u_{zz}(\mathbf{r})z + g_1(\mathbf{r}, \varphi), \\ u_\varphi(\mathbf{r}, \varphi, z) &= 2u_{\varphi z}(\mathbf{r})z - \frac{z}{r} \frac{\partial g_1(\mathbf{r}, \varphi)}{\partial \varphi} + g_2(\mathbf{r}, \varphi), \\ u_r(\mathbf{r}, \varphi, z) &= -\frac{\partial u_{zz}(\mathbf{r})}{\partial r} \frac{z^2}{2} - \left(\frac{\partial g_1(\mathbf{r}, \varphi)}{\partial r} - 2u_{rz}(\mathbf{r}) \right) z + g_3(\mathbf{r}, \varphi). \end{aligned}$$

Подставив получившиеся компоненты вектора смещений в оставшиеся уравнения и сгруппировав результаты по степеням z , придем к системам уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^2 u_{zz}(r)}{dr^2} = 0 \\ \frac{du_{zz}(r)}{dr} = 0 \end{cases},$$

$$\begin{cases} 2 \frac{\partial u_{rz}(r)}{\partial r} = \frac{\partial^2 g(r, \varphi)}{\partial r^2} \\ -\frac{1}{r^2} \frac{\partial g_1(r, \varphi)}{\partial \varphi^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial g_1(r, \varphi)}{\partial r} + \frac{2u_{rz}(r)}{2} = 0, \\ \frac{\partial u_{\varphi z}(r)}{\partial r} - \frac{u_{\varphi z}(r)}{r} - \frac{\partial}{\partial r \partial \varphi} \left(\frac{g_1(r, \varphi)}{r} \right) = 0 \end{cases} \quad (1.16)$$

$$\begin{cases} u_{rr}(r) = \frac{\partial g_3(r, \varphi)}{\partial r} \\ ru_{\varphi\varphi}(r) = \frac{\partial g_2(r, \varphi)}{\partial \varphi} + g_3(r, \varphi) \\ 2u_{r\varphi}(r) = r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{g_2(r, \varphi)}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial g_3(r, \varphi)}{\partial \varphi} \end{cases}.$$

Из первой системы видно, что деформация вдоль оси z постоянна. При помощи второй системы уравнений (1.16) устанавливается вид функции $g_1(r, \varphi)$ и компоненты тензора деформаций $u_{\varphi z}(r)$. Интегрирование первого уравнения системы с последующей подстановкой во второе дает

$$g_1(r, \varphi) = \int 2u_{rz}(r) dr + A_1 \cos \varphi + A_2 \sin \varphi + A_3 \varphi + A_4, \quad A_i = \text{const}.$$

Подставив в третье уравнение $g_1(r, \varphi)$ и внося $u_{\varphi z}$ под дифференциал, получим

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{u_{\varphi z}(r)}{r} \right) = -\frac{A_3}{r^3}.$$

Проинтегрировав данное выражение, установим характер зависимости $u_{\varphi z}(r)$ от радиальной координаты

$$2u_{\varphi z}(r) = A_3 r^{-1} + A_5 r, \quad A_i = \text{const}.$$

При помощи третьей системы (1.16) определим $g_2(r, \varphi)$, $g_3(r, \varphi)$ и дифференциальную связь между компонентами деформации $u_{rr}(r)$ и $u_{\varphi\varphi}(r)$.

Проинтегрировав первое уравнение системы, получим

$$g_3(r, \varphi) = \int u_{rr}(r) dr + F(\varphi).$$

Затем, продифференцируем второе уравнение данной системы по r , третье по φ и вычтем их друг из друга. Подставив в получившееся уравнение второе уравнение системы, получим

$$\left(r \frac{d}{dr} - 1 \right) \left[\int u_{rr}(r) dr - r u_{\varphi\varphi}(r) \right] = \left(\frac{d^2}{d\varphi^2} + 1 \right) F(\varphi).$$

Равенство возможно только в том случае, если выражения с обеих сторон равны константе

$$\left(r \frac{d}{dr} - 1 \right) \left[\int u_{rr}(r) dr - r u_{\varphi\varphi}(r) \right] = A_6, \quad \left(\frac{d^2}{d\varphi^2} + 1 \right) F(\varphi) = A_6.$$

Откуда,

$$F(\varphi) = A_7 \cos \varphi + A_8 \sin \varphi + A_6, \quad \int u_{rr}(r) dr - r u_{\varphi\varphi}(r) = A_9 r - A_6.$$

При помощи третьего уравнения системы, с использованием выражений для $g_3(r, \varphi)$ и $F(\varphi)$, найдем

$$g_2(r, \varphi) = r \int \frac{2u_{r\varphi}(r)}{r} dr + \frac{dF(\varphi)}{d\varphi} + K(\varphi)r.$$

Подставив функции $g_2(r, \varphi)$ и $g_3(r, \varphi)$ во второе уравнение системы и, воспользовавшись связью между $u_{rr}(r)$ и $u_{\varphi\varphi}(r)$, установим

$$K(\varphi) = -A_9 \varphi + A_{10}.$$

Для однозначности поля смещений, потребуем, чтобы $A_3 = 0$ и $A_9 = 0$. Итоговое поле смещений:

$$u_z = \varepsilon z + \int 2u_{rz}(r) dr - r f_1(\varphi) + C_0,$$

$$u_\varphi = \tau r z + C_1 r + z \frac{df_1(\varphi)}{d\varphi} + \frac{df_2(\varphi)}{d\varphi} + r \int \frac{2u_{r\varphi}(r)}{r} dr,$$

$$u_r = ru_{\varphi\varphi}(r) + zf_1(\varphi) + f_2(\varphi),$$

$$f_1(\varphi) = F_1 \cos \varphi + F_2 \sin \varphi, \quad f_2(\varphi) = F_3 \cos \varphi + F_4 \sin \varphi,$$

$$F_i = \text{const}, \quad C_i = \text{const}, \quad \varepsilon = u_{zz} = \text{const}.$$

Условия на компоненты деформаций, выполнение которых необходимо для однозначности поля смещений, принимают вид

$$u_{rr}(r) = \frac{d}{dr}(ru_{\varphi\varphi}(r)), \quad 2u_{\varphi z}(r) = \tau r \quad (1.17)$$

где τ – угол закручивания. Это поле смещений получено при линейном законе Гука. В случае нелинейных определяющих соотношений целесообразно использовать уравнения совместности (для вывода выражений для смещений) [101,102].

При помощи оставшегося уравнения равновесия (1.11), закона Гука (1.14) и связей (1.17) получим неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка для $\sigma_{rr}(r)$

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} (r\sigma_{rr}(r)) \right) - a_0 \sigma_{rr}(r) = (1 - a_1)a_0 \varepsilon + (4 - a_2)a_0 \tau r, \quad (1.18)$$

где

$$a_0 \equiv \frac{t_{11}t_{33} - t_{13}^2}{t_{11}t_{22} - t_{12}^2}, \quad a_1 \equiv \frac{t_{13} - t_{12}}{t_{11}(t_{22} - t_{33}) + t_{13}^2 - t_{12}^2},$$

$$a_2 \equiv \frac{1}{s'_{66}} \frac{s'_{16}(t_{13} - 2t_{12}) + (2s'_{26} - s'_{36})t_{11}}{t_{11}(4t_{22} - t_{33}) + t_{13}^2 - 4t_{12}^2},$$

$$t_{mn} \equiv s'_{mn} - \frac{s'_{m6}s'_{n6}}{s'_{66}}.$$

Решение уравнения (1.18) имеет степенной вид

$$\sigma_{rr}(r) = a_1 \varepsilon + a_2 \tau r_0 \frac{r}{r_0} + a_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + a_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}, \quad (1.19)$$

$$\lambda_{\pm} = -1 \pm \sqrt{a_0}, \quad a_+ = \text{const}, \quad a_- = \text{const}.$$

Остальные компоненты поля напряжений найдем путем подстановки (1.19) в закон Гука (1.14) и уравнения равновесия (1.11)

$$\sigma_{\varphi\varphi}(r) = a_1 \varepsilon + 2a_2 \tau r_0 \left(\frac{r}{r_0} \right) + (1 + \lambda_+) a_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + (1 + \lambda_-) a_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}, \quad (1.20)$$

$$\begin{aligned} t_{11} \sigma_{zz}(r) = & \left[1 - a_1 (t_{12} + t_{13}) \right] \varepsilon + \left[\frac{s'_{16}}{s'_{66}} - a_2 (2t_{12} + t_{13}) \right] \tau r_0 \left(\frac{r}{r_0} \right) - \\ & - a_+ \left[t_{13} + t_{12} (1 + \lambda_+) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} - a_- \left[t_{13} + t_{12} (1 + \lambda_-) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}, \end{aligned} \quad (1.21)$$

$$\begin{aligned} s'_{66} \sigma_{\varphi z}(r) = & \left[\frac{s'_{16}}{t_{11}} + a_1 \left(s'_{26} + s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \right] \varepsilon + \\ & + \left[1 + \frac{s'_{16}}{s'_{66} t_{11}} + a_2 \left(2s'_{26} + s'_{36} - s'_{16} \frac{2t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \right] \tau r_0 \left(\frac{r}{r_0} \right) + \\ & + a_+ \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_+) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \\ & + a_- \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_-) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}. \end{aligned} \quad (1.22)$$

Коэффициенты a_+ и a_- определим из граничных условий (1.8)

$$\begin{aligned} a_+ = & a_1 \frac{\rho^{\lambda_-} - 1}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \varepsilon + a_2 \frac{\rho^{\lambda_-} - \rho}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \tau r_0, \\ a_- = & a_1 \frac{1 - \rho^{\lambda_+}}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \varepsilon + a_2 \frac{\rho - \rho^{\lambda_+}}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \tau r_0, \end{aligned} \quad (1.23)$$

$$\rho = R_0 / r_0,$$

где ρ – параметр толщины. Угол закручивания τ найдем из граничного условия (1.12) на крутящий момент

$$\pi_0 = \Lambda \varepsilon, \quad \Lambda = -\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2}, \quad (1.24)$$

$$\begin{aligned} \Lambda_1 = & \frac{s'_{16}}{t_{11}} \frac{\rho^3 - 1}{3} + a_1 \left\{ \left(s'_{26} + s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \frac{\rho^3 - 1}{3} + \right. \\ & + \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_+) \right] \frac{\rho^{\lambda_+ + 3} - 1}{\lambda_+ + 3} \frac{\rho^{\lambda_-} - 1}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} + \\ & \left. + \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_-) \right] \frac{\rho^{\lambda_- + 3} - 1}{\lambda_- + 3} \frac{\rho^{\lambda_-} - 1}{\rho^{\lambda_-} - \rho^{\lambda_+}} \right\}, \\ \Lambda_2 = & \left(1 + \frac{s'^2_{16}}{s'_{66} t_{11}} \right) \frac{\rho^4 - 1}{4} + a_2 \left\{ \left(2s'_{26} + s'_{36} - s'_{16} \frac{2t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \frac{\rho^4 - 1}{4} + \right. \\ & + \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_+) \right] \frac{\rho^{\lambda_+ + 3} - 1}{\lambda_+ + 3} \frac{\rho^{\lambda_+} - \rho}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} + \\ & \left. + \left[s'_{36} - s'_{16} \frac{t_{13}}{t_{11}} + \left(s'_{26} - s'_{16} \frac{t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_-) \right] \frac{\rho^{\lambda_- + 3} - 1}{\lambda_- + 3} \frac{\rho^{\lambda_-} - \rho}{\rho^{\lambda_-} - \rho^{\lambda_+}} \right\}. \end{aligned}$$

Модуль Юнга соответствует отношению растягивающей нагрузки P к продольной деформации ε . После интегрирования первого условия на торцах (1.12), используя выражения для σ_{zz} (1.21) и значения коэффициентов a_+ и a_- (1.23), получим зависимость модуля Юнга от эффективных коэффициентов податливости и параметра толщины

$$\begin{aligned} E = \frac{P}{\varepsilon} = & \frac{1}{t_{11}} - a_1 \frac{t_{12} + t_{13}}{t_{11}} + \frac{2}{3} \Lambda \left(\frac{s'_{16}}{s'_{66} t_{11}} - a_2 \frac{2t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \frac{\rho^3 - 1}{\rho^2 - 1} - \\ & - 2 \frac{t_{13} + t_{12} (1 + \lambda_+)}{t_{11}} \frac{a_1 (\rho^{\lambda_-} - 1) + \Lambda a_2 (\rho^{\lambda_-} - \rho)}{(\rho^2 - 1) (\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-})} \frac{\rho^{\lambda_+ + 2} - 1}{\lambda_+ + 2} - \\ & - 2 \frac{t_{13} + t_{12} (1 + \lambda_-)}{t_{11}} \frac{a_1 (\rho^{\lambda_-} - 1) + \Lambda a_2 (\rho^{\lambda_-} - \rho)}{(\rho^2 - 1) (\rho^{\lambda_-} - \rho^{\lambda_+})} \frac{\rho^{\lambda_- + 2} - 1}{\lambda_- + 2}. \end{aligned} \quad (1.25)$$

Коэффициент Пуассона определяется как взятое с обратным знаком отношение поперечной деформации к продольной. Рассмотрим два коэффициента Пуассона: «радиальный» $\nu_{rz} = -u_{rr}/u_{zz}$ и «окружной» $\nu_{\varphi z} = -u_{\varphi\varphi}/u_{zz}$. Зависимости коэффициентов Пуассона от эффективных коэффициентов податливости, параметра толщины и радиальной координаты найдем из закона Гука (1.14) при помощи напряжений (1.19)-(1.24)

$$\begin{aligned}
-\nu_{rz} = & \frac{t_{13}}{t_{11}} + a_1 \left(t_{23} + t_{33} - t_{13} \frac{t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) + \\
& + \Lambda \left[\frac{s'_{16} t_{13}}{s'_{66} t_{11}} - \frac{s'_{36}}{s'_{66}} + a_2 \left(2t_{23} + t_{33} - t_{13} \frac{2t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right) + \\
& + \left[t_{33} - \frac{t_{13}^2}{t_{11}} + \left(t_{23} - \frac{t_{13}t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_+) \right] \frac{a_1(\rho^{\lambda_-} - 1) + \Lambda a_2(\rho^{\lambda_-} - \rho)}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \\
& + \left[t_{33} - \frac{t_{13}^2}{t_{11}} + \left(t_{23} - \frac{t_{13}t_{12}}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_-) \right] \frac{a_1(\rho^{\lambda_+} - 1) + \Lambda a_2(\rho^{\lambda_+} - \rho)}{\rho^{\lambda_-} - \rho^{\lambda_+}} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-},
\end{aligned} \tag{1.26}$$

$$\begin{aligned}
-\nu_{\varphi z} = & \frac{t_{12}}{t_{11}} + a_1 \left(t_{22} + t_{23} - t_{12} \frac{t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) + \\
& + \Lambda \left[\frac{s'_{16} t_{12}}{s'_{66} t_{11}} - \frac{s'_{26}}{s'_{66}} + a_2 \left(2t_{22} + t_{23} - t_{12} \frac{2t_{12} + t_{13}}{t_{11}} \right) \right] \left(\frac{r}{r_0} \right) + \\
& + \left[t_{23} - \frac{t_{12}t_{13}}{t_{11}} + \left(t_{22} - \frac{t_{12}^2}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_+) \right] \frac{a_1(\rho^{\lambda_-} - 1) + \Lambda a_2(\rho^{\lambda_-} - \rho)}{\rho^{\lambda_+} - \rho^{\lambda_-}} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \\
& + \left[t_{23} - \frac{t_{12}t_{13}}{t_{11}} + \left(t_{22} - \frac{t_{12}^2}{t_{11}} \right) (1 + \lambda_-) \right] \frac{a_1(\rho^{\lambda_+} - 1) + \Lambda a_2(\rho^{\lambda_+} - \rho)}{\rho^{\lambda_-} - \rho^{\lambda_+}} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}.
\end{aligned} \tag{1.27}$$

В диссертации исследована изменчивость коэффициента Пуассона для двух частных случаев: на внутренней ($r = r_0$) и внешней ($r = R_0$) поверхностях.

Выражение (1.24) устанавливает линейную связь между продольной деформацией трубки и углом закручивания и носит название эффект Пойнтинга.

Впервые этот эффект обнаружен для медной проволоки в [103], где он носил квадратичный характер. Существование линейного эффекта Пойнтинга впервые обнаружено для семиконстантных тетрагональных трубок в [104]. В случае сред с нелинейными определяющими соотношениями имеет место нелинейный эффект Пойнтинга [102, 105].

1.5. Выводы по Главе 1

В **Главе 1** определены экстремумы коэффициента Пуассона и модуля Юнга прямолинейно-анизотропных кристаллов при растяжении вдоль кристаллографических осей. В рамках теории упругости, при помощи полубратного метода Сен-Вена, решена задача растяжения цилиндрически-анизотропной хиральной трубки, поверхности которой свободны от напряжений, а на торцах отсутствует крутящий момент. Определены поля смещений, напряжений и деформаций, возникающие в такой трубке. Получены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона от параметра толщины трубки, угла хиральности, значений коэффициентов податливости и радиальной координаты.

Глава 2

Изменчивость модуля Юнга и коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов различных кристаллических систем [A1,A2,A3,A6]

2.1. Семиконстантные ромбоэдрические кристаллы [A1]

Для описания упругих свойств кристаллов семиконстантной ромбоэдрической системы необходимо 15 постоянных, из которых 7 являются независимыми (матрица коэффициентов податливости и связи между её элементами приведены в **Приложении 1**). Выражения для модуля Юнга и коэффициента Пуассона (1.3) и (1.4), в случае кристаллов семиконстантной ромбоэдрической системы, упрощаются

$$E^{-1}(\varphi, \theta) = s_{11} \sin^4 \theta + (2s_{13} + s_{44}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + s_{33} \cos^4 \theta - \\ - 2 \sin^3 \theta \cos \theta [s_{14} (3 \cos \varphi - 4 \cos^3 \varphi) + s_{15} (3 \sin \varphi - 4 \sin^3 \varphi)], \quad (2.1)$$

$$-\frac{\nu(\varphi, \theta, \psi)}{E(\varphi, \theta)} = A(\varphi, \theta) \cos^2 \psi + B(\varphi, \theta) \sin^2 \psi + D(\varphi, \theta) \cos \psi \sin \psi, \quad (2.2)$$

$$A(\varphi, \theta) = s_{12} \sin^2 \theta + s_{13} \cos^2 \theta + \\ + [s_{14} (3 \cos \varphi - 4 \cos^3 \varphi) + s_{15} (3 \sin \varphi - 4 \sin^3 \varphi)] \cos \theta \sin \theta,$$

$$B(\varphi, \theta) = s_{13} \sin^4 \theta + (s_{11} + s_{33} - s_{44}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta - \\ - [s_{14}(3 \cos \varphi - 4 \cos^3 \varphi) + s_{15}(3 \sin \varphi - 4 \sin^3 \varphi)] \cos 2\theta \cos \theta \sin \theta,$$

$$D(\varphi, \theta) = [s_{14}(3 \sin \varphi - 4 \sin^3 \varphi) - s_{15}(3 \cos \varphi - 4 \cos^3 \varphi)](2 \sin \theta - 3 \sin^3 \theta).$$

Модуль Юнга (2.1) и коэффициент Пуассона (2.2) являются периодическими функциями углов Эйлера с периодами $T_\varphi = 2\pi$, $T_\theta = \pi$ и $T_\psi = 2\pi$, $T_\theta = 2\pi$, $T_\psi = \pi$, соответственно.

Глобальные экстремумы, экстремумы при частных ориентациях и осредненные значения коэффициента Пуассона семиконстантных ромбоэдрических кристаллов приведены в Табл. 2.1. Здесь и далее, жирным выделены случаи совпадения значений глобальных экстремумов с экстремумами при частных ориентациях. Под осредненным значением понимается осредненный по всем углам коэффициент Пуассона

$$\langle \nu \rangle = \frac{1}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin \theta \cdot \nu(\varphi, \theta, \psi) d\theta.$$

Глобальные экстремумы коэффициента Пуассона определены при помощи метода уровней и уточнены при помощи метода дифференциальной эволюции, представленного в библиотеке `scipy` на языке программирования Python.

В диссертации анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона кристаллов различных систем выполнен на основании экспериментальных данных для коэффициентов податливости из справочника [50]. Упругие постоянные ряда пьезоэлектрических кристаллов определены при постоянной напряженности электрического поля (s^E), при постоянной электрической индукции (s^D), поляризации (s^P). Для некоторых кристаллов константы определены при постоянной энтропии (s^S). В большинстве случаев значения коэффициентов податливости в [50] приведены в точности в 3 значащих знака. В связи с этим, все полученные значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона приведены с той же точностью.

Табл. 2.1 Экстремальные и осредненные по всем углам значения коэффициента Пуассона семиконстантных ромбоэдрических кристаллов

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1 = 1$		при $n_2 = 1$		при $n_3 = 1$
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\min}	
SbI_3	-0.60	0.71	0.10	-0.44	0.62	-0.46	0.62	0.40
Be_2SiO_4	0.22	0.37	0.28	0.23	0.34	0.22	0.35	0.28
BiI_3 (83K)	0.01	0.47	0.23	0.01	0.40	0.10	0.31	0.27
$\text{Ce}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	0.17	0.54	0.32	0.21	0.42	0.20	0.43	0.38
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	-0.07	0.73	0.30	0.01	0.66	0.10	0.57	0.21
$\text{Pb}_{4.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Ge}_3\text{O}_{11}$	0.15	0.34	0.25	0.15	0.34	0.15	0.34	0.21
$\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$	0.13	0.34	0.25	0.13	0.34	0.13	0.34	0.20
$\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}, s^E$	0.12	0.37	0.25	0.12	0.36	0.12	0.37	0.19
	0.12	0.37	0.25	0.12	0.36	0.12	0.37	0.19
MgSiO_3	-0.02	0.51	0.25	0.03	0.63	0.04	0.45	0.11

Табл. 2.2 Экстремальные значения модуля Юнга семиконстантных ромбоэдрических кристаллов

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
SbI_3	6.10	15.2
Be_2SiO_4	236	316
BiI_3 (83K)	16.8	27.1
$\text{Ce}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	14.6	25.5
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	70.2	192
$\text{Pb}_{4.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Ge}_3\text{O}_{11}$	54.8	80.0
$\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$	54.9	87.0
$\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}, s^E$	52.5	87.7
	51.8	86.2
MgSiO_3	226	434

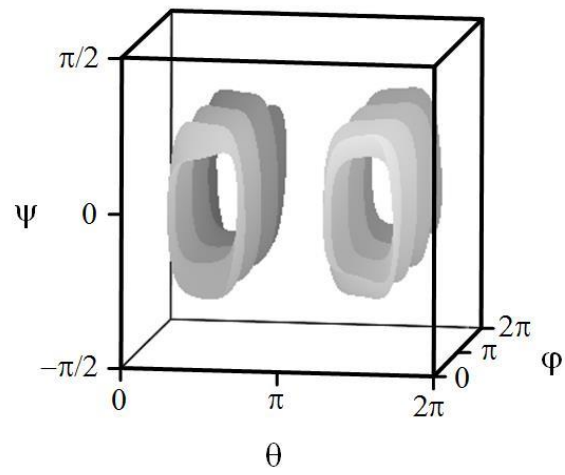
В [50] приведены значения упругих постоянных 9 кристаллов, относящихся к семиконстантной ромбоэдрической системе. Среди них частичными ауксетиками являются 3 кристалла: SbI_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ и MgSiO_3 . Средние значения коэффициента Пуассона всех кристаллов положительны и меняются в диапазоне 0.1-0.3.

Поверхность нулевого уровня $\nu(\varphi, \theta, \psi) = 0$ (поверхность ауксетичности) удобно использовать для пространственного изображения зон ориентаций кристаллов с отрицательным коэффициентом Пуассона. Множество значений углов Эйлера, заключенное внутри этих поверхностей, соответствует ориентациям, для которых коэффициент Пуассона отрицателен. Поверхности ауксетичности семиконстантных ромбоэдрических ауксетиков представлены на Рис.2.1. Эти поверхности, на основании их топологии, можно отнести к 2 типам: «открытому» и «закрытому». К открытому типу относится поверхность ауксетичности кристалла SbI_3 , к закрытому – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и MgSiO_3 . При некоторых значениях двух углов Эйлера, коэффициент Пуассона кристаллов с поверхностью ауксетичности «открытого» типа является отрицательным для любых значений третьего угла.

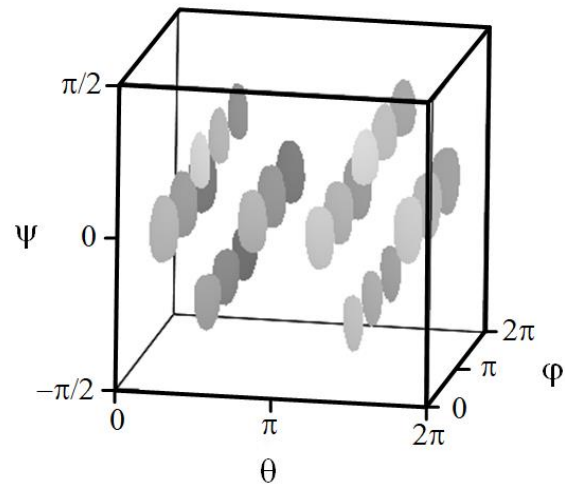
Экстремальные значения модуля Юнга семиконстантных ромбоэдрических кристаллов приведены в Табл. 2.2. У большинства кристаллов максимальный модуль Юнга не превышает 100 ГПа. Исключениями являются Be_2SiO_4 ($E_{\max} = 316$ ГПа), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ($E_{\max} = 192$ ГПа) и MgSiO_3 ($E_{\max} = 434$ ГПа). Максимальный модуль Юнга более чем в 2 раза превосходит минимальный у кристаллов SbI_3 и $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Близкое отношение модулей Юнга у кристалла MgSiO_3 ($E_{\max} / E_{\min} = 1.91$). Подчеркнем, что эти кристаллы представляют полный список семиконстантных ромбоэдрических ауксетиков.

Экстремальные значения коэффициента Пуассона кристалла MgSiO_3 , определенные в [44], совпадают с результатами, представленными в диссертации.

(a)



(б)



(в)

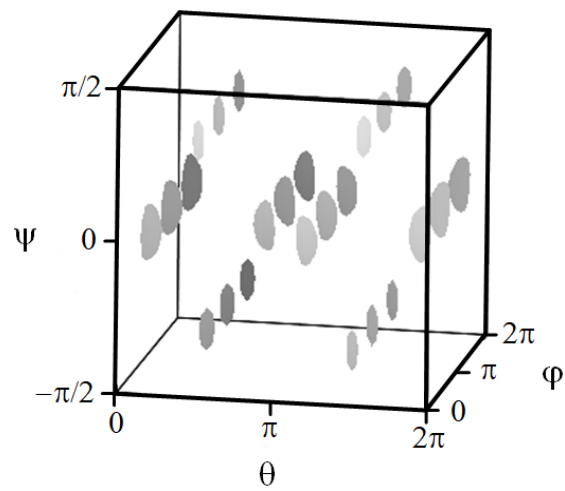


Рис. 2.1 Поверхности ауксетичности кристаллов SbI_3 (а) , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (б) и MgSiO_3 (в)

2.2. Шестиконстантные тетрагональные кристаллы [A2]

Для описания упругих свойств кристаллов шестиконстантной тетрагональной системы необходимо 9 постоянных, из которых 6 являются независимыми (матрица коэффициентов податливости и связи между её элементами приведены в **Приложении 1**). С учетом связей между постоянными, выражения для модуля Юнга и коэффициента Пуассона (1.3) и (1.4) могут быть записаны в виде

$$E^{-1}(\varphi, \theta) = s_{11} - \frac{\Delta_1}{2} \sin^2 2\varphi \sin^4 \theta - 2\Delta_2 \cos^2 \theta + \Delta_3 \cos^4 \theta, \quad (2.3)$$

$$-\frac{\nu(\varphi, \theta, \psi)}{E(\varphi, \theta)} = A(\varphi, \theta) \cos^2 \psi + B(\varphi, \theta) \sin^2 \psi + D(\varphi, \theta) \sin \psi \cos \psi, \quad (2.4)$$

$$A(\varphi, \theta) = s_{12} \sin^2 \theta + s_{13} \cos^2 \theta + \frac{\Delta_1}{2} \sin^2 2\varphi \sin^2 \theta,$$

$$B(\varphi, \theta) = s_{13} + \frac{1}{4} \left(\Delta_3 - \frac{\Delta_1}{2} \sin^2 2\varphi \right) \sin^2 2\theta, \quad D(\varphi, \theta) = \frac{\Delta_1}{2} \sin 4\varphi \sin^2 \theta \cos \theta,$$

$$\Delta_1 \equiv s_{11} - s_{12} - \frac{1}{2} s_{66}, \quad \Delta_2 \equiv s_{11} - s_{13} - \frac{1}{2} s_{44}, \quad \Delta_3 \equiv s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44}.$$

Периодичность (2.3) и (2.4) составляет $T_\varphi = \pi/2$, $T_\theta = \pi$ и $T_\psi = \pi/2$, $T_\theta = 2\pi$, $T_\psi = \pi$, соответственно.

Из 85 шестиконстантных тетрагональных кристаллов, перечисленных в [50], ауксетиками являются 49 (около 60%). Кристаллы с наибольшей изменчивостью коэффициента Пуассона ($\nu_{\max} - \nu_{\min} \geq 1$) приведены в Табл. 2.3. Для них представлены значения глобальных экстремумов коэффициента Пуассона, экстремальные значения при частных ориентациях и его осредненные значения. Наименьшие значения коэффициента Пуассона достигаются у кристаллов Hg_2Br_2 , Hg_2Cl_2 и Hg_2I_2 для которых он равен -1.02, -0.91 и -0.96, соответственно. Среди кристаллов, перечисленных в Табл. 2.3, значения глобальных экстремумов совпадают с экстремумами при частных ориентациях только у $\text{NH}_4\text{H}_2\text{AsO}_4$, BaTiO_3 и FeGe_2 . В силу симметрии, при растяжении вдоль оси 3 коэффициент Пуассона имеет постоянную величину.

Табл. 2.3 Глобальные экстремумы, экстремумы при частных ориентациях и осредненные значения коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных кристаллов с большой изменчивостью коэффициента Пуассона

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1 = 1$		при $n_2 = 1$		v при $n_3 = 1$
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	
NH ₄ H ₂ AsO ₄	-0.06	0.66	0.35	-0.06	0.66	-0.06	0.66	0.26
	-0.34	0.73	0.33	-0.34	0.73	-0.34	0.73	0.29
BaTiO ₃ , s ^D	-0.13	1.03	0.38	0.29	0.65	0.29	0.65	0.33
	-0.18	0.98	0.35	0.19	0.67	0.19	0.67	0.33
CsH ₂ AsO ₄	-0.11	0.88	0.32	0.01	0.03	0.01	0.03	0.03
InBi	-0.21	0.97	0.37	0.35	0.61	0.35	0.61	0.36
In-3.4 at% Cd	-0.32	1.22	0.45	0.46	0.50	0.46	0.50	0.47
In-3.42 at% Cd	-0.33	1.22	0.45	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47
In-5 at% Pb	-0.30	1.17	0.45	0.21	0.75	0.21	0.75	0.44
In-10 at% Tl	-0.47	1.35	0.46	0.43	0.53	0.43	0.53	0.49
In-11.5 at% Tl	-0.41	1.32	0.46	0.40	0.56	0.40	0.56	0.48
In-15 at% Tl	-0.48	1.38	0.46	0.46	0.50	0.46	0.50	0.48
FeGe ₂	-0.77	0.39	-0.13	-0.04	0.39	-0.04	0.39	0.03
Hg ₂ Br ₂	-1.02	1.94	0.40	0.02	0.90	0.02	0.90	0.61
Hg ₂ Cl ₂	-0.91	1.75	0.40	0.02	0.91	0.02	0.91	0.43
Hg ₂ I ₂	-0.96	1.98	0.40	0.03	0.88	0.03	0.88	0.88
TeO ₂	-0.80	1.49	0.35	0.02	0.91	0.02	0.91	0.23
	-0.85	1.55	0.35	0.02	0.92	0.02	0.92	0.22
(NH ₂) ₂ CO	-0.80	1.89	0.44	-0.17	0.53	-0.17	0.53	0.78
	-0.98	1.73	0.37	-0.07	0.16	-0.07	0.16	0.33

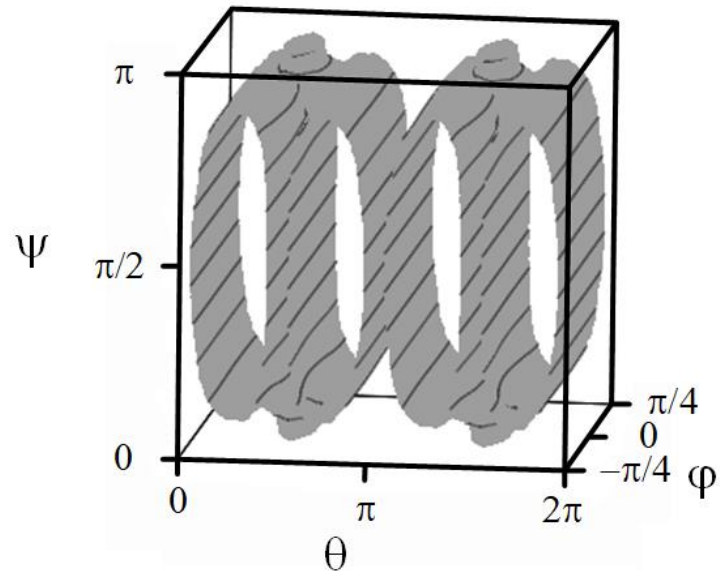
Значения глобальных экстремумов коэффициента Пуассона всех шестиконстантных тетрагональных кристаллов собраны в Табл. П1 и Табл. П2 **Приложения 2**, где они сопоставлены с экстремумами при растяжении вдоль одной из кристаллографических осей и с экстремумами при частных ориентациях более общего вида, соответственно.

Средние значения коэффициента Пуассона большинства кристаллов меняются в диапазоне 0.25-0.35. Важным исключением является кристалл FeGe_2 , чей средний коэффициент Пуассона равен -0.02. Поверхность ауксетичности этого кристалла представлена на Рис. 2.2(а). Она относится к «открытому» типу и, как видно из рисунка, области с отрицательным коэффициентом Пуассона преобладают над областями где он положителен. У шестиконстантных тетрагональных кристаллов появляется еще один тип поверхности ауксетичности – «смешанный». Он является комбинацией «открытого» и «закрытого» типов. Поверхность ауксетичности такого типа представлена на Рис. 2.2(б) для кристалла $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$.

Среди всех шестиконстантных тетрагональных кристаллов глобальные экстремумы совпадают с экстремумами при частных ориентациях у 36 кристаллов и, в основном, соответствуют растяжению вдоль оси 1 или 2. Количество ауксетиков, при растяжении в этих направлениях, равно 21. Отрицательный коэффициент Пуассона наибольшей абсолютной величины, при растяжении вдоль кристаллографических осей, имеют кристаллы RbD_2AsO_4 и RbD_2AsO_4 , с $\nu_{\min} = -0.41$ и $\nu_{\min} = -0.37$, соответственно. Один кристалл ($(\text{K}_{1/6}\text{Na}_{1/6}\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/6})\text{Nb}_2\text{O}_6$ при s^D) является ауксетиком при растяжении вдоль оси 3. При этом, его величина близка к величине глобального экстремума.

В случае частных ориентаций более общего вида, количество кристаллов, для которых значения глобальных экстремумов совпадают с экстремумами при частных ориентациях, возрастает и достигает 77. При растяжении в плоскостях (100), (010) и (001) ауксетиками являются 46 кристаллов.

(a)



(б)

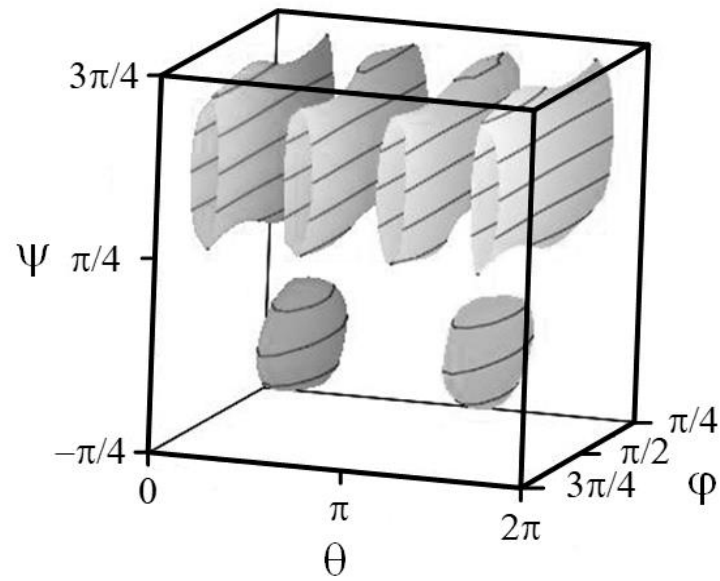


Рис. 2.2 Поверхности ауксетичности кристаллов FeGe_2 (а) и $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (б)

Экстремальные значения модуля Юнга представлены в Табл. ПЗ **Приложения 2**. Максимальный модуль Юнга целого ряда кристаллов превосходит 300 ГПа, а именно: LuPO_4 ($E_{\max} = 308$ ГПа), BaTiO_3 , s^D ($E_{\max} \approx 250 \div 325$ ГПа), CoPt ($E_{\max} = 337$ ГПа), SnO_2 ($E_{\max} = 368$ ГПа), TiO_2 ($E_{\max} = 385$ ГПа), ZrSiO_4 ($E_{\max} = 400$ ГПа), GeO_2 ($E_{\max} = 465$ ГПа), MoSi_2 ($E_{\max} = 488$ ГПа), WSi_2 ($E_{\max} = 529$ ГПа), Stishovite ($E_{\max} = 654$ ГПа), PdPb_2 (684 ГПа). Более чем в 2 раза он превосходит минимальный у 54 кристаллов, причем почти все из них являются ауксетиками. На порядок модуль Юнга возрастает у кристаллов Hg_2I_2 ($E_{\max}/E_{\min} \approx 35$), Hg_2Br_2 ($E_{\max}/E_{\min} \approx 30$), Hg_2Cl_2 ($E_{\max}/E_{\min} = 24$), TeO_2 ($E_{\max}/E_{\min} \approx 13 \div 14$), $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ($E_{\max}/E_{\min} \geq 12$), FeGe_2 ($E_{\max}/E_{\min} \approx 11$).

Экстремальные значения коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных кристаллов определены в [39,43,44]. Среди кристаллов данной системы, проанализированных в [44], в справочнике [50] находятся лишь 13. Экстремальные значения совпали для всех этих кристаллов, кроме одного: ZrSiO_4 (Zircon), максимальные значения коэффициента Пуассона которого совпадают, тогда как минимальные равны 0.01 ([44]) и 0.07 (в диссертации). В [43] рассмотрен частный случай растяжения кристаллов в плоскости (100) ($n_1 = 0$) и определены экстремальные значения коэффициента Пуассона, совпадающие со значениями из Табл. П2 **Приложения 2**. В [39] продемонстрировано, что ауксетиками являются кристаллы $(\text{NH})_4\text{H}_2\text{PO}_4$, KH_2PO_4 , RbD_2AsO_4 , RbH_2AsO_4 , Hg_2Cl_2 , Hg_2Br_2 , Hg_2I_2 , In и сплавы InTl (10 at% Tl, 11.5 at% Tl, 15 at% Tl). Для кристаллов Hg_2Br_2 , и Hg_2I_2 приведены экстремальные значения коэффициента Пуассона. Результаты, представленные в диссертации, согласуются с результатами работы [39].

2.3. Орторомбические кристаллы [А6]

Для описания упругих свойств кристаллов орторомбической системы необходимо 9 независимых постоянных (матрица коэффициентов податливости приведена в **Приложении 1**). Модуль Юнга и коэффициент Пуассона (1.3), (1.4), для кристаллов данной системы, записывается в виде

$$E^{-1}(\varphi, \theta) = [s_{11} \sin^4 \varphi + s_{22} \cos^4 \varphi + (2s_{12} + s_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi] \sin^4 \theta + \\ + s_{33} \cos^4 \theta + [(2s_{13} + s_{55}) \sin^2 \varphi + (2s_{23} + s_{44}) \cos^2 \varphi] \sin^2 \theta \cos^2 \theta, \quad (2.5)$$

$$-\frac{\nu(\varphi, \theta, \psi)}{E(\varphi, \theta)} = A(\varphi, \theta) \cos^2 \psi + B(\varphi, \theta) \sin^2 \psi + D(\varphi, \theta) \sin \psi \cos \psi, \quad (2.6)$$

$$A(\varphi, \theta) = s_{13} \cos^2 \varphi + s_{23} \sin^2 \varphi + [(s_{11} + s_{22} - 2s_{12} - s_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \\ + s_{12} - s_{13} \cos^2 \varphi - s_{23} \sin^2 \varphi] \sin^2 \theta,$$

$$B(\varphi, \theta) = s_{13} \sin^2 \varphi + s_{23} \cos^2 \varphi + [s_{11} \sin^4 \varphi + (2s_{12} + s_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \\ + s_{22} \cos^4 \varphi + s_{33} - (2s_{13} + s_{55}) \sin^2 \varphi - (2s_{23} + s_{44}) \cos^2 \varphi] \sin^2 \theta \cos^2 \theta,$$

$$D(\varphi, \theta) = \sin \varphi \cos \varphi \cos \theta \{ 2(s_{23} - s_{13}) \cos^2 \theta + [2s_{22} \cos^2 \varphi - \\ - 2s_{11} \sin^2 \varphi - (2s_{12} + s_{66}) \cos 2\varphi + s_{55} - s_{44}] \sin^2 \theta \}.$$

Периодичность выражений (2.5), (2.6) составляет $T_\varphi = \pi$, $T_\theta = \pi$ и $T_\psi = \pi$, $T_\theta = 2\pi$, $T_\psi = \pi$, соответственно.

Среди 136 орторомбических кристаллов, значения упругих постоянных которых собраны в [50], насчитывается 51 частичный ауксетик. В Табл. 2.4 представлены значения глобальных экстремумов, экстремумов при частных ориентациях и средние значения коэффициента Пуассона орторомбических кристаллов, обладающих наибольшей изменчивостью коэффициента

Табл. 2.4 Глобальные экстремумы коэффициента Пуассона, экстремумы при частных ориентациях и осредненные значения коэффициента Пуассона кристаллов орторомбической системы

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1=1$		при $n_2=1$		при $n_3=1$	
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}
$(\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{COO} \cdot \text{H}_3\text{BO}_3$	-0.39	1.22	0.41	0.07	0.74	0.36	0.41	0.04	0.38
$\text{Cd}(\text{COOH})_2$	-0.09	0.98	0.35	0.28	0.98	0.11	0.43	0.35	0.38
$\text{Ca}(\text{COOH})_2$	-0.23	0.81	0.31	0.37	0.80	0.09	0.46	0.18	0.41
Cu-14 wt% Al - 3.0 wt% Ni	-0.70	1.43	0.40	-0.50	1.29	0.44	0.55	-0.70	1.43
$[\text{CN}_3\text{H}_6]_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4$	-0.28	0.94	0.39	0.39	0.55	0.24	0.58	0.31	0.53
I	-0.48	1.31	0.30	0.30	0.53	-0.48	0.94	-0.37	1.31
Iododurene	-0.27	0.91	0.33	0.17	0.69	0.18	0.66	0.30	0.34
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	-0.16	0.84	0.35	-0.16	0.82	0.31	0.55	-0.09	0.84
PbBr_2	-0.19	0.90	0.36	0.09	0.55	0.11	0.47	0.35	0.51
$\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_3\text{H}_6$	-0.91	1.05	0.20	-0.91	0.80	0.56	0.99	-0.46	0.71
AgTlSe	-0.42	1.07	0.39	-0.42	1.06	-0.32	1.00	0.52	0.64
$(\text{Fe},\text{Mg})_2(\text{Al},\text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O},\text{OH})_2$	-0.20	0.95	0.32	0.19	0.25	0.04	0.85	0.05	0.68
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	-0.28	1.00	0.36	0.07	0.39	0.21	0.23	0.11	0.58
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ (293K)	-0.37	1.07	0.36	0.02	0.37	0.07	0.27	0.13	0.53
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	-0.48	0.76	0.22	-0.07	0.52	0.32	0.76	-0.15	0.49

Пуассона ($v_{\max} - v_{\min} \geq 1$). Наименьшие значения коэффициента Пуассона достигаются у кристаллов $C_6N_2O_3H_6$ (-0.91) и Cu-14 wt% Al 3.0-wt% Ni (-0.70).

Глобальные экстремумы, экстремумы при частных ориентациях и средние значения коэффициента Пуассона всех орторомбических кристаллов приведены в Табл. П4 и Табл. П5 **Приложения 2**. Их средний коэффициент Пуассона является положительным и у большинства лежит в диапазоне от 0.25 до 0.35.

При растяжении вдоль одной из кристаллографических осей, глобальные экстремумы совпадают с экстремумами при частных ориентациях у 64 кристаллов. При таких ориентациях насчитывается 14 ауксетиков. Для большинства из них коэффициент Пуассона имеет небольшую величину – порядка нескольких сотых. При растяжении в одной из кристаллографических плоскостей, количество кристаллов, для которых глобальные экстремумы совпадают с экстремумами при частных ориентациях, возрастает. Их число составляет 108, включая 41 частичный ауксетик.

Экстремальные значения модуля Юнга орторомбических кристаллов собраны в Табл. П6 **Приложения 2**. У большинства кристаллов максимальный модуль Юнга не превосходит 300 ГПа, за исключением Al_2SiO_4 (310 ГПа у Andalusite и 325 ГПа у Silimanite), $BeAl_2O_4$ (479 ГПа), $(Fe,Mg)_2(Al,Fe^{+3})_9O_6SiO_4(O,OH)_2$ (313 ГПа) и $Al_2(F,OH)_2SiO_4$ (318 ГПа). У 73 кристаллов (около половины) максимальный модуль Юнга более чем в 2 раза превосходит минимальный. Большинство из них являются ауксетиками. Примерно в 10 раз он возрастает у кристаллов $CH_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$ ($E_{\max}/E_{\min} = 9.89$), I ($E_{\max}/E_{\min} = 10.1$), $SC(NH_2)_2$ ($E_{\max}/E_{\min} = 9.96$) и $SC(NH_2)_2$ (293K) ($E_{\max}/E_{\min} = 11.8$). Все эти кристаллы являются ауксетиками с большой изменчивостью коэффициента Пуассона.

Изменчивость коэффициента Пуассона орторомбических кристаллов исследована в [33,34,40,43,44]. В [44] определены глобальные экстремумы коэффициента Пуассона, которые совпадают со значениями, приведенными в диссертации. В [43] экстремумы коэффициента Пуассона определены в случае

растяжения в кристаллографической плоскости (100). Для всех перечисленных в работе кристаллов экстремальные значения совпадают со значениями в Табл. П5 **Приложения 2** при $n_3 = 0$. Изменчивость коэффициента Пуассона кристалла Cu-14 wt% Al - 3.0 wt% Ni изучена в [34]. Сопоставить результаты, представленные в диссертации, с данными, представленными в статье, удалось только в случае растяжения данного кристалла вдоль кристаллографической оси 1, для которого максимальные и минимальные значения коэффициента Пуассона совпадают и равны $\nu_{\max} = 1.29$ и $\nu_{\min} = -0.50$, соответственно. В [33] значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона определены при растяжении в различных направлениях, в том числе вдоль кристаллографических осей. Значения коэффициента Пуассона при растяжении вдоль кристаллографических осей, представленные в диссертации, значительно отличаются от тех, что представлены в [33]. Это может быть связано с тем, что значения упругих постоянных, использованные в [33], взяты из справочника [106], тогда как в диссертации использованы значения из [50]. В работе [40] установлено, что при комнатной температуре кристаллы Ga, CaCO₃, BaMnF₄, LiGaO₂, Cd(COOH)₂, (C₆H₅)₂CO, Ca(COOH)₂, Na₂CoGeO₄, NH₄B₅O₈·4H₂O являются ауксетиками, что согласуется с результатами диссертации.

2.4. Моноклинные и триклинные кристаллы [A3]

В случае моноклинных кристаллов выражения (1.3) и (1.4) для модуля Юнга и коэффициента Пуассона незначительно изменяются и имеют периодичность $T_\varphi = 2\pi$, $T_\theta = 2\pi$ и $T_\psi = \pi$, соответственно. Для описания свойств моноклинных кристаллов необходимо 13 независимых коэффициентов, а для триклинных – 21. Матрицы коэффициентов податливости кристаллов этих систем представлены в **Приложении 1**. В справочнике [50] приведены значения упругих постоянных для 70 моноклинных кристаллов.

В большинстве случаев значения коэффициентов податливости получены составителями справочника [50] посредством их пересчета из коэффициентов жесткости, опубликованных в первоисточниках. Автором, в результате перепроверки, уточнены значения коэффициентов податливости некоторых кристаллов. Список этих кристаллов, значения коэффициентов податливости из справочника и их уточненные значения представлены в Табл. 2.5. В диссертации кристалл $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при s^E исключен из анализа в силу кардинальных различий между величинами коэффициентов податливости в Табл. 2.5 и отсутствием доступа к первоисточнику.

Из 69 моноклинных кристаллов, проанализированных в диссертации, коэффициент Пуассона принимает отрицательные значения у 43. Наибольшей его изменчивостью обладают ауксетические кристаллы, перечисленные в Табл. 2.6. Минимальные значения коэффициента Пуассона кристаллов CsH_2PO_4 и LaNbO_4 значительно меньше единицы и составляют -1.93, -3.01, соответственно. При этом, их средний коэффициент Пуассона имеет значительную величину (0.42 и 0.46, соответственно). Необходимо отметить, что при растяжении вдоль оси 2 оба являются ауксетиками, а экстремальные значения коэффициента Пуассона кристалла LaNbO_4 совпадают с значениями глобальных экстремумов.

Табл. 2.5 Кристаллы моноклинной системы с уточненными значениями матричных коэффициентов податливости

Кристалл	Индекс	Значение из [50], ТПа ⁻¹	Значение при пересчете из коэффициентов жесткости, ТПа ⁻¹
Anorthite, CaAl ₂ Si ₂ O ₈	15	-3.60	3.69
Diallage	13	-0.91	-1.04
	23	-0.67	-0.27
Dibenzyl, C ₁₄ H ₁₄ , второй набор	23	115	-115
Diopside, CaMgSi ₂ O ₆	15	-0.40	-0.33
Lithium sulfate monohydrate, Li ₂ SO ₄ ·H ₂ O, s ^E	44	73.1	-83.3
	66	37.9	-43.2
	46	7.2	-81.7
Te(OH) ₆ ·2NH ₄ - H ₂ PO ₄ ·(NH ₄) ₂ PO ₄ (293K)	44	84.3	94.5
	66	53.0	59.4

Табл. 2.6 Кристаллы моноклинной системы с большой изменчивостью ($v_{\max} - v_{\min} \geq 1$) коэффициента Пуассона

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	v при $n_1 = 1$		v при $n_2 = 1$		v при $n_3 = 1$	
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}
Anthracene- tetracyanobenzene	-1.03	1.86	0.39	0.36	0.61	-0.26	0.38	-0.16	0.41
C ₁₂ H ₁₀	-0.25	1.08	0.33	-0.07	0.65	0.31	0.53	-0.16	0.91
C ₁₂ D ₁₀	-0.12	0.97	0.34	-0.01	0.59	0.27	0.53	-0.03	0.82
CsD(SeO ₃)	-0.30	1.04	0.39	-0.14	0.82	-0.02	1.02	-0.18	0.90
CsH ₂ PO ₄	-1.93	2.70	0.42	0.12	0.64	-1.49	2.27	-0.18	1.52
Durene	-0.12	0.88	0.34	-0.01	0.81	0.05	0.88	-0.02	0.36
β -F ₆ H ₄ F ₆	-0.58	1.23	0.35	-0.13	1.01	-0.34	0.84	0.23	0.68
LaNbO ₄	-3.01	3.95	0.46	-0.25	1.42	-3.01	3.95	0.21	0.65
LiC ₄ H ₅ ·C ₄ H ₆ O ₅ , s ^E	-0.59	0.91	0.32	0.29	0.39	-0.13	0.76	0.26	0.52
(COOH) ₂ ·2H ₂ O	-0.18	0.89	0.33	0.20	0.71	0.04	0.43	0.24	0.44
KHCO ₃	-0.49	1.37	0.38	0.10	0.60	0.25	0.29	0.12	0.64
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	-1.13	1.27	0.37	0.06	0.78	-0.31	0.92	0.05	1.13
C ₄ H ₆ O ₆ , s ^E	-0.21	0.89	0.32	0.28	0.69	-0.04	0.35	0.39	0.47
C ₆ H ₅ C ₆ H ₄ C ₆ H ₅ (Hydrogenated)	-0.15	0.92	0.33	0	0.57	0.22	0.56	0	0.79
C ₆ H ₅ C ₆ H ₄ C ₆ H ₅ (Deuterated)	-0.13	0.91	0.34	0.02	0.56	0.21	0.56	0.05	0.75
SnF ₂	-0.20	0.82	0.23	0.04	0.51	0.15	0.41	0.02	0.66

Экстремальные и средние значения коэффициента Пуассона всех моноклинных кристаллов собраны в Табл. П7 **Приложения 2**. Средний коэффициент Пуассона почти всех кристаллов находится между 0.20 и 0.40. При растяжении вдоль одной из кристаллографических осей хотя бы один глобальный экстремум совпадает с экстремумом при частной ориентации у 26 кристаллов, 27 кристаллов являются ауксетиками. В случае растяжения вдоль оси 2 (по нормали к плоскости симметрии кристалла) ауксетичность наблюдается для 24 кристаллов.

Значения коэффициента Пуассона различных моноклинных кристаллов получены в [35,42,44]. В [42] его экстремумы определены для кристаллов CsH_2PO_4 и LaNbO_4 . Значения, полученные в [42], совпали с результатами, представленными в диссертации. Анализ изменчивости коэффициента Пуассона моноклинных кристаллов выполнен в [44]. Всего авторами проанализировано 19 кристаллов и для каждого определены его экстремальные значения и направления при которых они достигаются. Представленные авторами значения, согласуются с данными, представленными в диссертации. Анализ изменчивости коэффициента Пуассона для частных случаев ориентации направления растяжения и поперечного направления проведен в [35]. В случае растяжения вдоль оси 2, минимальные значения коэффициента Пуассона совпали для всех кристаллов, проанализированных в данной работе, кроме K_2CON_6 . Для этого кристалла, в [35] $\nu_{\min} = -3.00$, в диссертации $\nu_{\min} = -0.31$. В [44] минимальное значение коэффициента Пуассона данного кристалла $\nu_{\min} = -0.36$.

В справочнике [50] собраны значения упругих постоянных для 5 кристаллов триклинной системы. Среди них отрицательный коэффициент Пуассона обнаружен только для кристалла $\text{NaHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\nu_{\min} = -0.01$. При растяжении вдоль кристаллографических осей ни один триклинный кристалл ауксетиком не является. Средний коэффициент Пуассона триклинных кристаллов лежит в диапазоне 0.30-0.37. Значения глобальных экстремумов, экстремумов при частных ориентациях и средние значения коэффициента Пуассона собраны в Табл. П8 **Приложения 2**.

Глобальные экстремумы коэффициента Пуассона триклинных кристаллов, определенные в [44], совпадают, с учетом численных погрешностей, со значениями, представленными в диссертации.

Периодичность коэффициента Пуассона триклинных кристаллов совпадает с его периодичностью у моноклинных кристаллов.

2.5. Выводы по Главе 2

В Главе 2 проведен анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем. Установлено, что более половины проанализированных кристаллов являются частичными ауксетиками. Не обнаружено ни одного полного ауксетика. Средний коэффициент Пуассона большинства изученных кристаллов меняется между 0.25 и 0.35. Отрицательный средний коэффициент Пуассона обнаружен только у кристалла FeGe_2 , относящегося к шестиконстантной тетрагональной системе. Наибольшей абсолютной величиной отрицательного коэффициента Пуассона обладает кристалл моноклинной системы LaNbO_4 .

Примерно у трети семиконстантных ромбоэдрических, шестиконстантных тетрагональных и моноклинных кристаллов значение хотя бы одного глобального экстремума совпадает с экстремальными значениями при растяжении вдоль из одной кристаллографических осей. В случае орторомбических кристаллов это справедливо почти для половины. Экстремумы совпадают только у одного (из пяти) триклинного кристалла. Ауксетиками, при растяжении вдоль кристаллографических осей, является более 20% шестиконстантных тетрагональных кристаллов. При растяжении в этих направлениях, ауксетиками являются 10% орторомбических кристаллов. Один семиконстантный ромбоэдрический кристалл является ауксетиком при растяжении в таких направлениях. Коэффициент Пуассона всех триклинных кристаллов положителен при растяжении вдоль кристаллографических осей.

Экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях более общего вида, когда направление растяжения лежит в одной из плоскостей (100), (010) или (001), определены для шестиконстантных тетрагональных и орторомбических кристаллов. Хотя бы один глобальный экстремум совпадает с экстремумом при частной ориентации для 90% и 75% кристаллов соответственно. С такими ограничениями на направление растяжения ауксетиками являются более

половины шестиконстантных тетрагональных кристаллов и около трети орторомбических.

Практически для всех ауксетических кристаллов максимальный модуль Юнга имеет в 2 раза большую величину чем минимальный.

Глава 3

Изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных трубок из кристаллов различных кристаллических систем [A1,A4,A5,A7]

3.1. Трубки из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов [A1]

Для трубок из кристаллов семиконстантной ромбоэдрической системы выражения для модуля Юнга и коэффициентов Пуассона (1.25)-(1.27) значительно упрощаются

$$E = \frac{1}{s_{11}} \left(1 - \frac{s_{13}^2 - s_{12}^2}{s_{11}^2 + s_{13}^2 - s_{12}^2 - s_{11}s_{33}} - 2 \frac{s_{13} + ks_{12}}{\lambda_+ + 2} A_+ \frac{\rho^{\lambda_+ + 2} - 1}{\rho^2 - 1} - 2 \frac{s_{13} - ks_{12}}{\lambda_- + 2} A_- \frac{\rho^{\lambda_- + 2} - 1}{\rho^2 - 1} \right),$$

$$v_{rz} = -\frac{1}{s_{11}} \left[s_{13} + \alpha_1 \frac{s_{13} - s_{12}}{s_{11}^2 + s_{13}^2 - s_{12}^2 - s_{11}s_{33}} + \alpha_k A_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \alpha_{-k} A_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-} \right],$$

$$v_{\varphi z} = -\frac{1}{s_{11}} \left[s_{12} + \beta_1 \frac{s_{13} - s_{12}}{s_{11}^2 + s_{13}^2 - s_{12}^2 - s_{11}s_{33}} + \beta_k A_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \beta_{-k} A_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-} \right],$$

$$\alpha_q \equiv s_{11}s_{33} - s_{13}^2 + qs_{13}(s_{11} - s_{12}), \quad \beta_q \equiv q(s_{11}^2 - s_{12}^2) + s_{13}(s_{11} - s_{12}), \quad q = 1, \pm k.$$

Модуль Юнга и коэффициенты Пуассона цилиндрически-анизотропных трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов не зависят от угла хиральности,

поскольку он оказывает влияние исключительно на эффективные коэффициенты податливости s'_{14} и s'_{15} , которые не содержатся в (1.25)-(1.27).

Значения коэффициентов Пуассона ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ тонкостенных трубок, критические значения параметра толщины, при которых коэффициент Пуассона равен нулю, приведены в Табл. 3.1. Тонкостенные трубки являются предельным случаем, позволяющем оценить характеристики нанотрубок. Коэффициенты Пуассона таких трубок имеют близкие значения на внутренней и внешней поверхностях, неотличимые друг от друга при трехзначной точности. При вычислении значений модуля Юнга и коэффициентов Пуассона тонкостенных трубок параметр толщины принят $\rho = 1.01$.

Среди представленных в Табл. 3.1, неауксетиками являются 3 трубки из 9. Радиальный коэффициент Пуассона (ν_{rz}) становится меньше нуля у 4 трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов. Окружной коэффициент Пуассона ($\nu_{\varphi z}$) трубок SbI_3 и BiI_3 (83К) отрицательные значения принимает. Зависимости ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ от параметра толщины для трубок из этих двух кристаллов представлены на Рис. 3.1 и Рис. 3.2. Коэффициенты Пуассона обеих трубок качественно ведут себя одинаково, отличия носят количественный характер. Так, ν_{rz} в обоих случаях остается положительным для всех значений параметра толщины, возрастая на внутренней поверхности трубки и убывая на внешней. Аналогично, $\nu_{\varphi z}$ на внутренней поверхности растет по мере увеличения параметра толщины, а на внешней убывает. В случае трубки из SbI_3 $\nu_{\varphi z}$ отрицателен на обеих поверхностях при $\rho < 5.44$, становясь положительным на внешней поверхности при больших значениях параметра толщины. Данный коэффициент Пуассона у трубки из кристалла BiI_3 положителен при малых ρ на обеих поверхностях. При росте параметра толщины на внутренней поверхности он убывает и при $\rho > 2.08$ становится отрицательным. Оба коэффициента Пуассона на внешних поверхностях, при больших значениях параметра толщины, выходят на площадку.

Табл. 3.1 Коэффициенты Пуассона цилиндрически-анизотропных трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов

Кристалл	ν_{rz} $\rho-1 \ll 1$	$\nu_{\varphi z}$ $\rho-1 \ll 1$	ρ_{cr} для ν_{rz}		ρ_{cr} для $\nu_{\varphi z}$	
			$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
SbI ₃	0.62	-0.44	–	–	–	5.44
Be ₂ SiO ₄	0.23	0.34	–	–	–	–
BiI ₃ (83K)	0.31	0.10	–	–	2.08	–
Ce ₂ Mg ₃ (NO ₃) ₁₂ ·24H ₂ O	0.27	0.37	–	–	–	–
CaMg(CO ₃) ₂	0.33	0.34	–	–	–	–
Pb _{4.7} Ba _{0.3} Ge ₃ O ₁₁	0.15	0.34	33.1	–	–	–
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁	0.13	0.34	24.0	–	–	–
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁ , s ^E	0.12	0.36	16.5	–	–	–
	0.12	0.36	16.4	–	–	–
MgSiO ₃	0.12	0.37	24.9	–	–	–

Табл. 3.2 Модуль Юнга цилиндрически-анизотропных трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов

Кристалл	E, ГПа	
	$\rho-1 \ll 1$	$\rho = 10$
SbI ₃	9.45	11.7
Be ₂ SiO ₄	260	261
BiI ₃ (83K)	25.1	25.3
Ce ₂ Mg ₃ (NO ₃) ₁₂ ·24H ₂ O	15.9	15.9
CaMg(CO ₃) ₂	142	142
Pb _{4.7} Ba _{0.3} Ge ₃ O ₁₁	56.8	57.3
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁	57.1	57.7
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁ , s ^E	56.5	57.3
	55.7	56.5
MgSiO ₃	385	390

Значения модуля Юнга тонкостенных и толстенных ($\rho = 10$) трубок приведены в Табл. 3.2. Влияние параметра толщины на модуль Юнга семиконстантных ромбоэдрических трубок невелико. При $\rho = 10$ модуль Юнга лишь на проценты и доли процентов превышает модуль Юнга тонкостенных трубок. Наибольшими значениями модуля Юнга обладают трубки из кристаллов Be_2SiO_4 и MgSiO_3 .

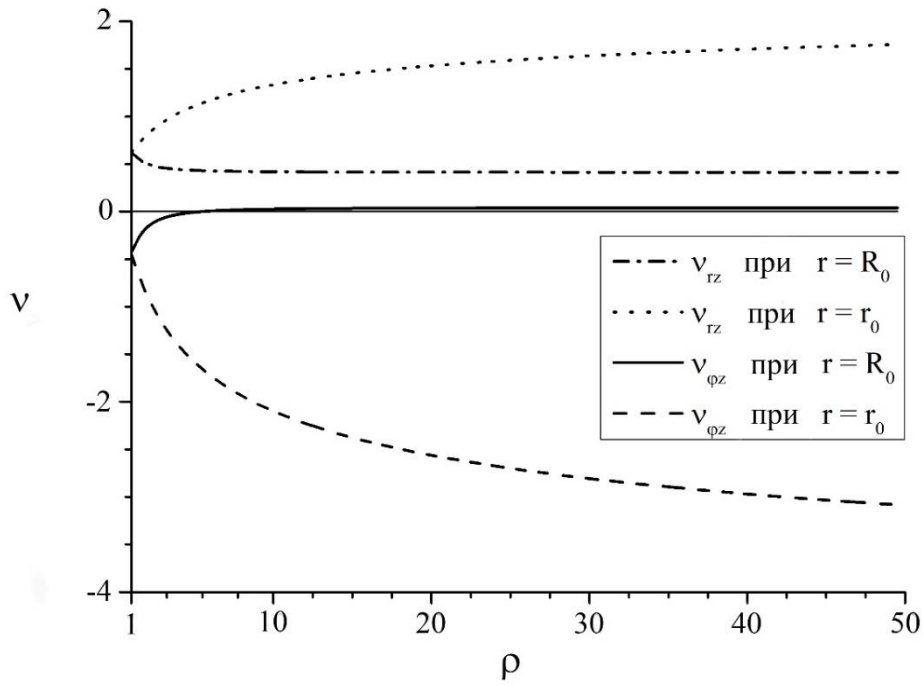


Рис. 3.1 Зависимость коэффициентов Пуассона от параметра толщины трубок из кристалла SbI_3

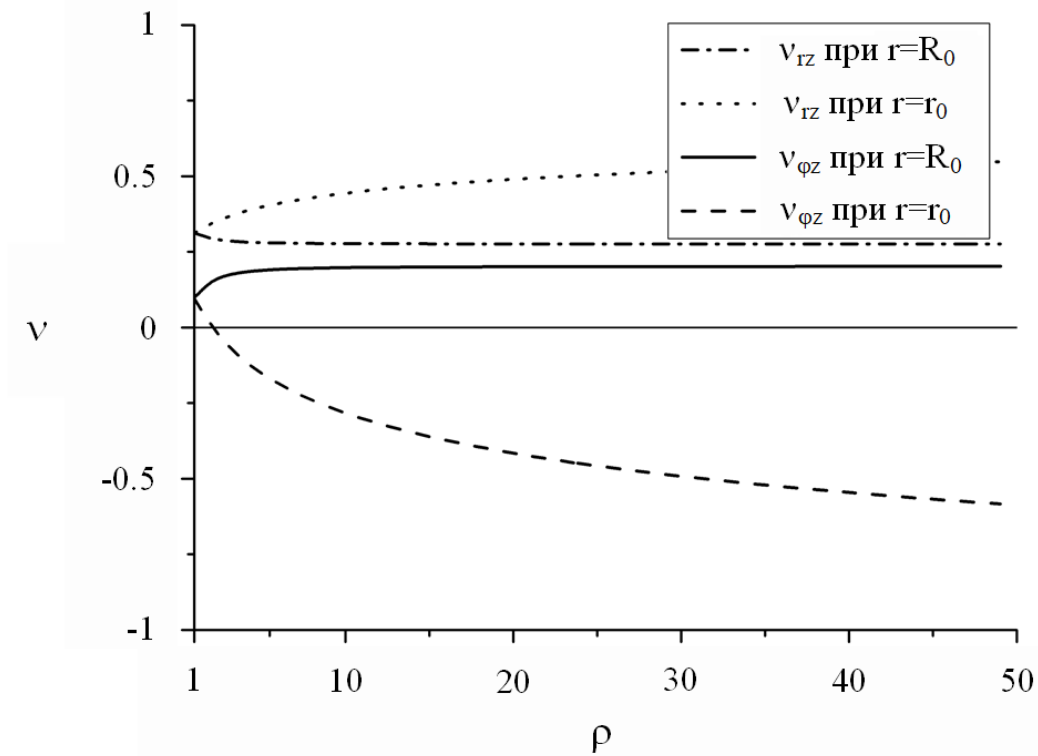


Рис. 3.2 Зависимость коэффициентов Пуассона от параметра толщины трубок из кристалла ViI_3 при 93К

3.2. Трубки из шестиконстантных тетрагональных кристаллов [A4]

Для трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов выражения для модуля Юнга и коэффициентов Пуассона (1.25)-(1.27) упрощаются и принимают вид

$$E = \frac{1}{S} \left[s'_{66} + \frac{a_2}{a_0 + a_1} \alpha_1 + \left(s'_{16} + \frac{a_3}{4a_0 + a_1} \alpha_2 \right) \frac{2}{3} \Lambda \frac{\rho^3 - 1}{\rho^2 - 1} - \right. \\ \left. - 2\alpha_k a_+ \frac{\rho^{\lambda_+ + 2} - 1}{(\lambda_+ + 2)(\rho^2 - 1)} - 2\alpha_{-k} a_- \frac{\rho^{\lambda_- + 2} - 1}{(\lambda_- + 2)(\rho^2 - 1)} \right], \quad (3.1)$$

$$v_{rz} = -\frac{s'_{13}s'_{66}}{S} - \frac{s'_{13}s'_{16}}{S} \Lambda \left(\frac{r}{r_0} \right) + \frac{a_2}{a_0 + a_1} \left(s'_{13} + s'_{33} - \frac{s'_{13}}{S} \alpha_1 \right) + \\ + \frac{a_3}{4a_0 + a_1} \left(s'_{33} + 2s'_{13} - \frac{s'_{13}}{S} \alpha_2 \right) \Lambda \left(\frac{r}{r_0} \right) + \\ + \left(\frac{s'_{13}}{S} \alpha_k - ks'_{13} - s'_{33} \right) a_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} + \left(\frac{s'_{13}}{S} \alpha_{-k} + ks'_{13} - s'_{33} \right) a_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-}, \quad (3.2)$$

$$v_{\varphi z} = \frac{1}{S} \left[- (s'_{12}s'_{66} + s'_{16}{}^2) - s'_{16} (s'_{11} + s'_{12}) \Lambda \left(\frac{r}{r_0} \right) + \right. \\ + (s'_{11}s'_{66} - s'_{12}s'_{66} - 2s'_{16}{}^2) \left[\beta_1 \frac{a_2}{a_0 + a_1} + \beta_2 \frac{a_3}{4a_0 + a_1} \Lambda \left(\frac{r}{r_0} \right) - \right. \\ \left. \left. - \beta_k a_+ \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_+} - \beta_{-k} a_- \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\lambda_-} \right] \right], \quad (3.3)$$

$$S \equiv s'_{11}s'_{66} - s'_{16}{}^2, \quad \alpha_q \equiv s'_{13}s'_{66} + q(s'_{12}s'_{66} + s'_{16}{}^2) \quad (q = 1, 2, \pm k),$$

$$\beta_q \equiv s'_{13} + q(s'_{12} + s'_{11}) \quad (q = 1, 2, \pm k).$$

Поверхности, описываемые (3.1)-(3.3), симметричны относительно $\alpha = \pi/4$ и имеют период $T_\alpha = \pi/2$. Максимальные и минимальные значения всегда соответствуют $\alpha = 0$ или $\alpha = \pi/4$.

Значения коэффициентов Пуассона всех тонкостенных трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов и критические значения параметра толщины перечислены в Табл. П9 и Табл. П10 **Приложения 2** при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/4$, соответственно. С переходом от прямолинейной к цилиндрической анизотропии количество ауксетических кристаллов увеличивается. Так, при нулевом угле

хиральности коэффициент Пуассона может становится отрицательным у 55 трубок из 85, при $\alpha = \pi/4$ насчитывается 59 ауксетических трубок. Среди трубок, перечисленных в таблицах, выделим те, которые являются ауксетиками в тонкостенном случае, поскольку этот предельный случай позволяет выявить нанотрубки с отрицательным коэффициентом Пуассона. При нулевом угле хиральности выявлена 21 тонкостенная ауксетическая трубка, которые перечислены в Табл. 3.3. В Табл. 3.4 приведены значения коэффициентов Пуассона 24 ауксетических трубок при $\alpha = \pi/4$.

Большинство тонкостенных ауксетических трубок имеют отрицательный коэффициент Пуассона в окружном направлении ($\nu_{\varphi z}$), который остается отрицательным на внутренней поверхности при всех значениях параметра толщины и возрастает на внешней поверхности, становясь положительным при малых ρ . Коэффициент Пуассона $\nu_{\varphi z}$ трех трубок остается отрицательным на обеих поверхностях при всех значениях параметра толщины. При $\alpha = 0$ это трубки из кристаллов RbD_2AsO_4 и RbH_2AsO_4 , при $\alpha = \pi/4$ – трубка из кристалла Stishovite.

Поверхности коэффициентов Пуассона ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ трубки из кристалла RbH_2AsO_4 представлены на Рис. 3.3. На внешней поверхности величина ν_{rz} практически не изменяется с углом хиральности и параметром толщины (Рис. 3.3(б)). На внутренней поверхности (Рис. 3.3(а)), за счет влияния угла хиральности, коэффициент Пуассона принимает отрицательные значения в некоторой окрестности $\alpha = \pi/4$ при $\rho > 2.99$. Для коэффициента Пуассона $\nu_{\varphi z}$ влияние на его величину угла хиральности и параметра толщины носит заметный характер. На Рис. 3.3(в,г) видно, что в окрестности $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$ существуют области, в которых $\nu_{\varphi z}$ отрицателен на обеих поверхностях трубки. Наименьшие значения коэффициента Пуассона в этих областях достигаются при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$.

Табл. 3.3 Ауксетические тонкостенные трубки из шестиконстантных тетрагональных кристаллов и их критические значения параметра толщины при $\alpha = 0$

Кристалл	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
NH ₄ H ₂ AsO ₄	0.66	-0.06	–	–	–	1.18
	0.73	-0.34	–	–	–	2.66
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	1.10	-0.46	–	–	–	2.39
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.66	-0.12	–	–	–	1.43
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	0.58	-0.11	–	–	–	1.42
BaClF	0.72	-0.04	–	–	–	1.11
FeGe ₂	0.39	-0.04	–	–	–	1.21
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E	-0.03	0.35	19.4	–	–	–
Li ₂ B ₄ O ₇ , s ^E	0.61	-0.13	–	–	–	1.54
LuAsO ₄	0.32	-0.02	–	–	–	1.16
HgI ₂	0.80	-0.11	–	–	–	1.31
KD ₂ AsO ₄	0.52	-0.07	–	–	–	1.29
KD ₂ PO ₄	0.25	-0.13	–	–	–	2.80
KH ₂ AsO ₄	0.30	-0.05	–	–	–	1.37
KH ₂ PO ₄	0.28	-0.13	–	–	–	2.40
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D	-0.15	0.33	7.26	–	–	–
RbD ₂ AsO ₄	0.18	-0.41	–	–	–	–
RbH ₂ AsO ₄	0.08	-0.37	–	–	–	–
RbH ₂ PO ₄	0.27	-0.14	–	–	–	3.55
TlSe	0.53	-0.22	–	–	–	2.16
	0.45	-0.10	–	–	–	1.55
(NH ₂) ₂ CO	0.53	-0.17	–	–	–	1.81
	0.16	-0.07	–	–	–	2.27
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂	0.67	-0.14	–	–	–	1.47

Табл. 3.4 Ауксетические тонкостенные трубки из шестиконстантных тетрагональных кристаллов и их критические значения параметра толщины при $\alpha = \pi/4$

Кристалл	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
BaClF	0.73	-0.06	–	–	–	1.16
BaTiO ₃ , s ^E	1.04	-0.13	–	–	–	1.27
	0.98	-0.18	–	–	–	1.42
CdGeAs ₂	0.78	-0.09	–	–	–	1.24
	0.72	-0.05	–	–	–	1.15
CoF ₂	0.47	-0.12	–	–	–	1.63
GeO ₂	0.35	-0.11	–	–	–	1.87
In	1.31	-0.42	–	–	–	1.85
	1.64	-0.69	–	–	–	2.25
InBi	0.97	-0.05	–	–	–	1.10
In-3.4 at% Cd	1.22	-0.32	–	–	–	1.65
In-3.42 at% Cd	1.22	-0.33	–	–	–	1.67
In-10 at% Tl	1.35	-0.47	–	–	–	1.93
In-11.5 at% Tl	1.32	-0.41	–	–	–	1.80
In-15 at% Tl	1.38	-0.48	–	–	–	1.94
FeF ₂	0.58	-0.13	–	–	–	1.51
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E	-0.04	0.14	–	–	–	–
MgF ₂	0.31	-0.01	–	–	–	1.09
MnF ₂	0.47	-0.07	–	–	–	1.34
Hg ₂ I ₂	0.25	-0.19	–	–	–	3.78
NiF ₂	0.44	-0.04	–	–	–	1.21
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D	-0.16	0.31	8.29	–	–	–
Stishovite	0.27	-0.04	–	–	–	–
TeO ₂	0.26	-0.18	–	–	–	4.36
	0.26	-0.18	–	–	–	3.98
SnO ₂	0.38	-0.11	–	–	–	1.74
TiO ₂	0.32	-0.03	–	–	–	1.23
ZnF ₂	0.46	-0.05	–	–	–	1.21
	0.46	-0.05	–	–	–	1.23

Коэффициент Пуассона ν_{rz} двух тонкостенных трубок $\text{Pb}_{0.346}\text{Ba}_{0.59}\text{Na}_{0.036}\text{Li}_{0.028}\text{-Nb}_2\text{O}_6$ (s^E) и $(\text{K}_{1/6}\text{Na}_{1/6}\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/6})\text{Nb}_2\text{O}_6$ (s^D) может быть отрицательным. Для обеих трубок ν_{rz} имеет относительно небольшую величину и при нулевом угле хиральности становится положительным на внутренней поверхности. При $\alpha = \pi/4$ у первой трубки он отрицателен на обеих поверхностях при всех значениях параметра толщины, у второй он становится положительным при $\rho > 8.29$.

Поверхности коэффициентов Пуассона ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ трубки из кристалла $(\text{K}_{1/6}\text{Na}_{1/6}\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/6})\text{Nb}_2\text{O}_6$ (s^D) изображены на Рис. 3.4. Величина обоих коэффициентов Пуассона практически не изменяется с углом хиральности. Радиальный коэффициент Пуассона отрицателен на обеих поверхностях при всех α и $\rho < 7.8$. При этом, на внешней поверхности он почти не изменяет свою величину с параметром толщины, а на внутренней разница между его величиной при $\rho = 10$ и $\rho = 1.01$ составляет менее 0.2. Окружной коэффициент Пуассона этой трубки всегда положителен.

Примером сильного влияния параметра толщины и угла хиральности на величину коэффициентов Пуассона служит трубка из кристалла Hg_2I_2 . Поверхности коэффициентов Пуассона данной трубки представлены на Рис. 3.5. В тонкостенном случае, с изменением угла хиральности, величина окружного коэффициента Пуассона меняется с 0.88 ($\alpha = 0$) до -0.19 ($\alpha = \pi/4$). При $\rho = 10$ данный коэффициент Пуассона по своей абсолютной величине в несколько раз превосходит значения у тонкостенных трубок. При нулевой хиральности он возрастает до 3.19, а при $\alpha = \pi/4$ убывает до -1.33. На Рис. 3.5(в)-(г) продемонстрировано, что существуют области, где $\nu_{\varphi z}$ принимает отрицательные значения на обеих поверхностях трубки.

Не обнаружено ни одной трубки из шестиконстантных тетрагональных кристаллов, для которой оба коэффициента Пуассона одновременно принимают отрицательные значения на внешней или внутренней поверхности.

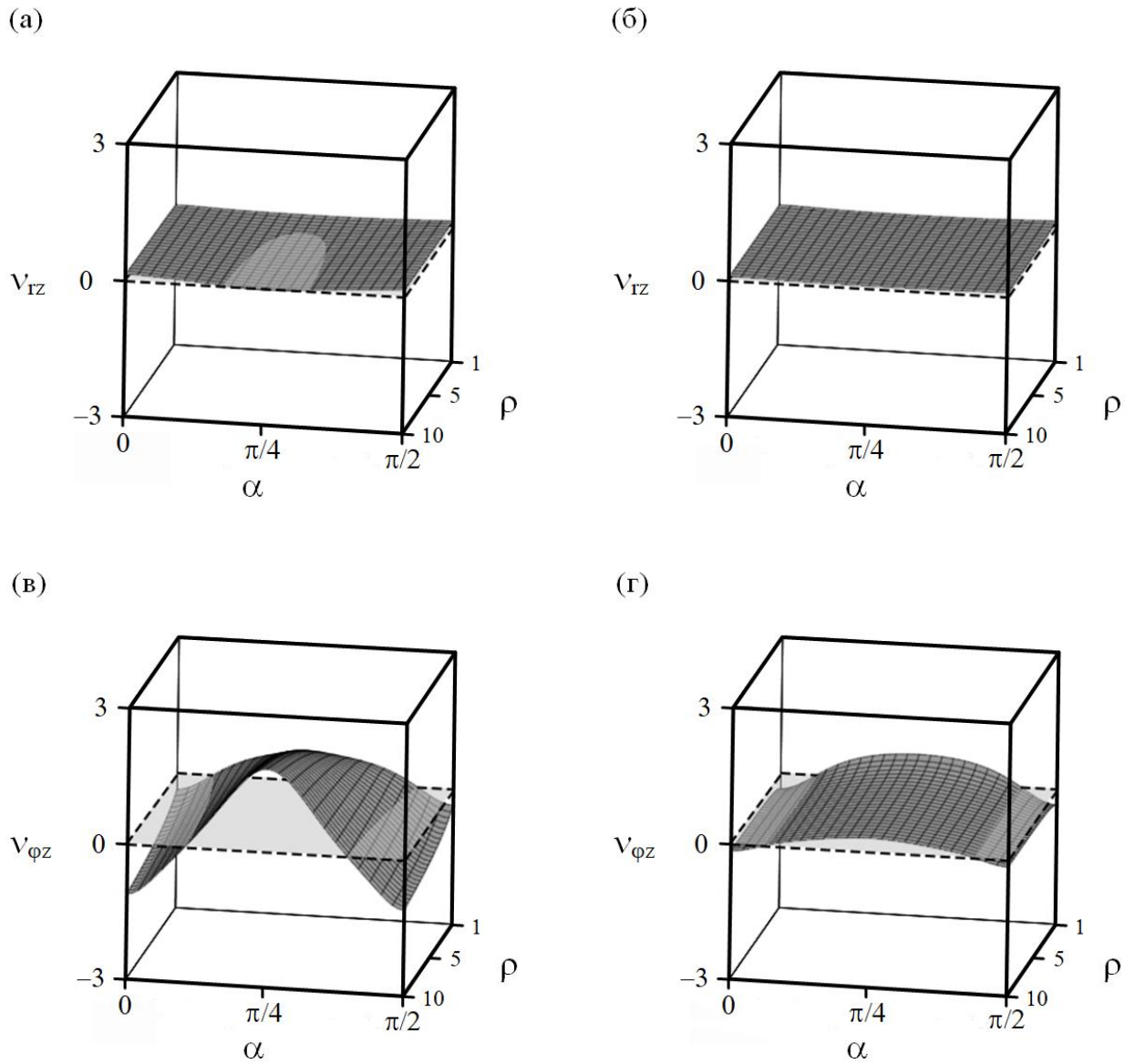


Рис. 3.3 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из шестиконстантного тетрагонального кристалла RbH_2AsO_4

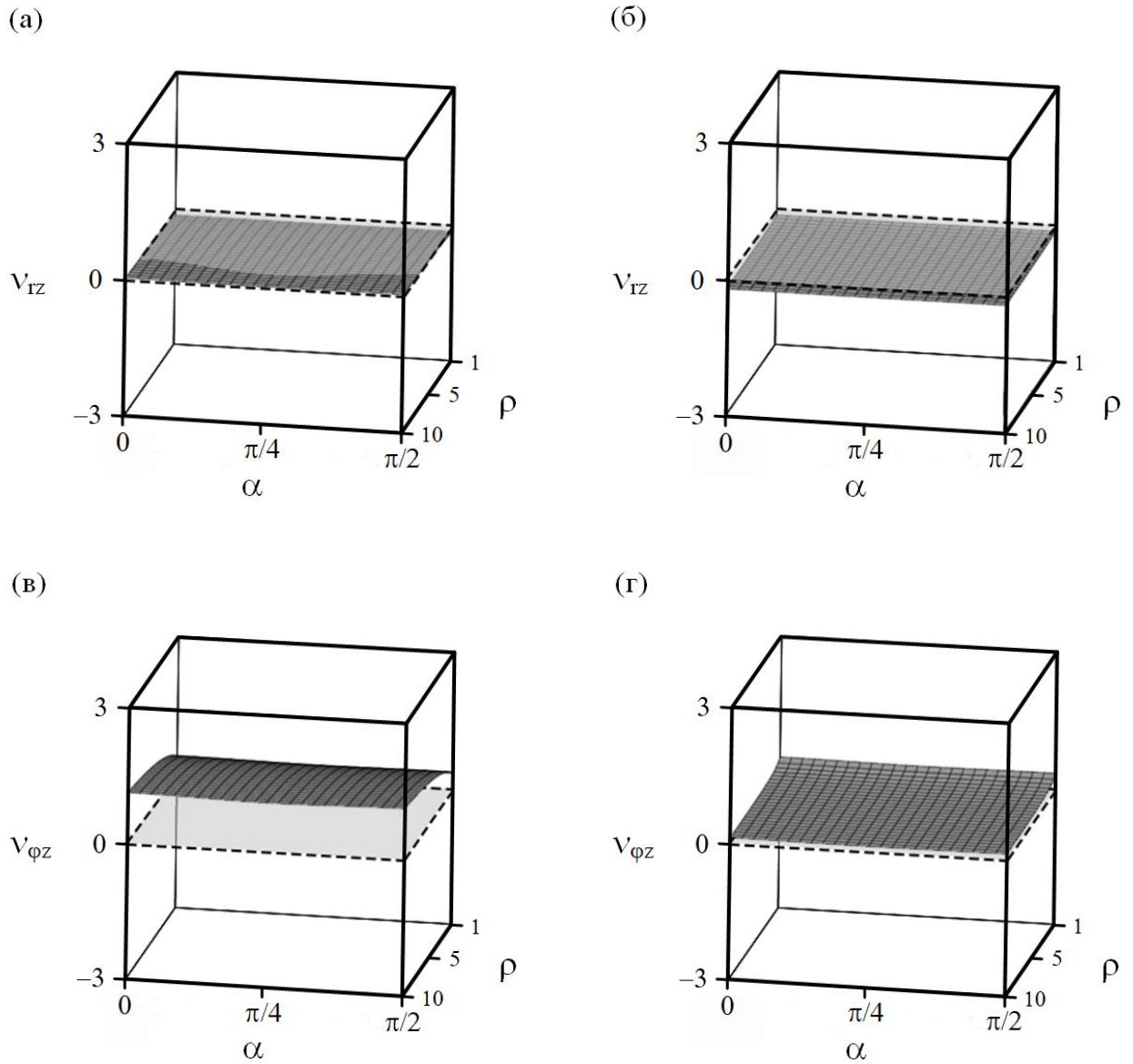


Рис. 3.4 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из шестиконстантного тетрагонального кристалла $(K_{1/6}Na_{1/6}Sr_{1/2}Ba_{1/6})Nb_2O_6$ при s^D

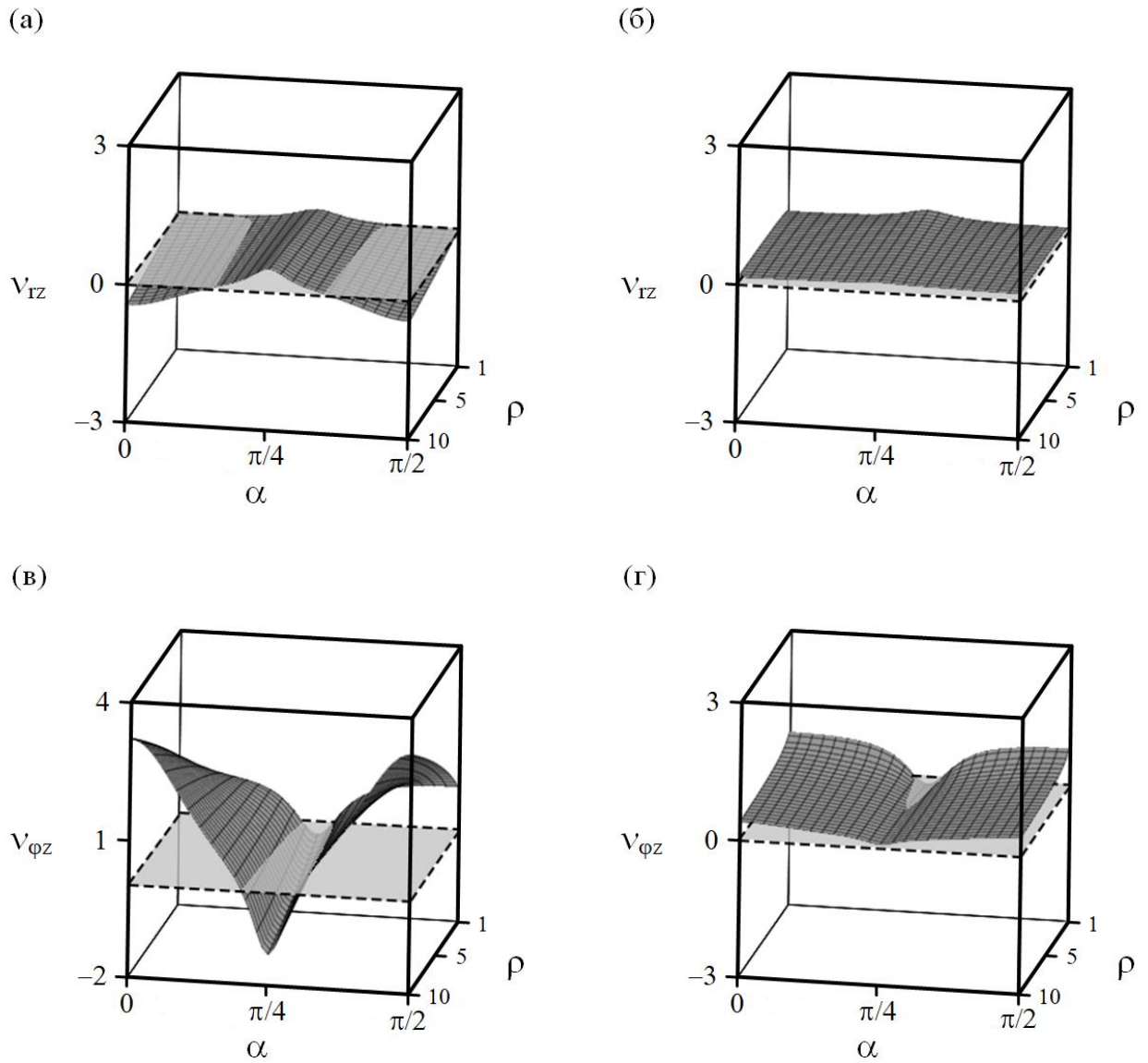


Рис. 3.5 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из шестиконстантного тетрагонального кристалла Hg_2I_2

Значения модуля Юнга тонкостенных и толстостенных трубок ($\rho = 10$) из тетрагональных шестиконстантных кристаллов приведены в Табл. П11 **Приложения 2**. У большинства тонкостенных трубок они совпадают хотя бы с одним экстремумом модуля Юнга при прямолинейной анизотропии. С параметром толщины модуль Юнга монотонно возрастает. Более чем у 60% трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов модуль Юнга при изменении параметра толщины с 1.01 до 10 увеличивается менее чем на 10%. Минимум в 2 раза модуль Юнга увеличивается у трубок из кристаллов Hg_2Br_2 ($E_{\text{толст}}/E_{\text{тонк}} = 2.12$), Hg_2Cl_2 ($E_{\text{толст}}/E_{\text{тонк}} = 2.25$) и TeO_2 ($E_{\text{толст}}/E_{\text{тонк}} = 2.1$) с изменением параметра толщины с 1.01 до 10 и нулевом угле хиральности. При $\alpha = \pi/4$ не обнаружено трубок, чей модуль Юнга возрастает более чем в 2 раза. С изменением угла хиральности с $\alpha = 0$ до $\alpha = \pi/4$ более чем в 2 раза модуль Юнга изменяется у 39 тонкостенных трубок. Среди них, практически на порядок модуль Юнга возрастает у трубок из кристаллов Hg_2Br_2 ($E_{\pi/4}/E_0 = 10.2$), Hg_2Cl_2 ($E_{\pi/4}/E_0 = 10.1$), Hg_2I_2 ($E_{\pi/4}/E_0 = 9.78$), TeO_2 ($E_{\pi/4}/E_0 = 12\div 14$) и $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ($E_{\pi/4}/E_0 = 6\div 12$).

3.3. Трубки из орторомбических кристаллов [A5]

Выражения для модуля Юнга и коэффициентов Пуассона трубок из орторомбических кристаллов совпадают с (1.25)-(1.27). Поверхности, построенные на основе этих выражений, имеют период $T_\alpha = \pi$ и симметричны относительно $\alpha = \pi/2$.

Значения коэффициентов Пуассона тонкостенных трубок из орторомбических кристаллов и критические значения параметра толщины перечислены в Табл. П12 и Табл. П13 **Приложения 2** при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$, соответственно. При нулевом угле хиральности коэффициент Пуассона может принимать отрицательные значения у 91 трубки из 136. Среди них обнаружено 48 трубок, у которых отрицательным становится радиальный коэффициент Пуассона, у оставшихся 43 – окружной. При $\alpha = \pi/2$ ауксетиками являются 89 трубок, при этом ν_{tz} может быть меньше нуля у 39 трубок, а $\nu_{\varphi z}$ у 50. Ни у одной трубки из орторомбических кристаллов оба коэффициента Пуассона одновременно не принимают отрицательные значения на внутренней или внешней поверхности.

Значения коэффициентов Пуассона тонкостенных ауксетических трубок и критические значения параметра толщины перечислены в Табл. 3.5 и Табл. 3.6 при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$, соответственно. При нулевой хиральности насчитывается 11 тонкостенных ауксетических трубок. Окружной коэффициент Пуассона двух трубок является отрицательным, для остальных радиальный коэффициент меньше нуля. У трубки из кристалла CaCO_3 ν_{tz} отрицателен на обеих поверхностях при любых значения параметра толщины и нулевом угле хиральности. То же справедливо для окружного коэффициента Пуассона трубки из $\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_4\text{H}_6$. При $\alpha = \pi/2$ ауксетиками являются 5 тонкостенных трубок. У двух из них отрицательным является $\nu_{\varphi z}$.

В отличие трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов, модуль Юнга и коэффициенты Пуассона трубок из орторомбических кристаллов меняются немонотонно с изменением угла хиральности. Примеры такого поведения представлены на Рис. 3.6 – Рис. 3.8 и Рис. П1 – П5 **Приложения 3**.

Табл. 3.5 Коэффициенты Пуассона тонкостенных ауксетических трубок из орторомбических кристаллов и критические значения параметра толщины при нулевом угле хиральности

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r=r_0$	$r=R_0$	$r=r_0$	$r=R_0$
$\text{NH}_4\text{B}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-0.02	0.72	–	1.80	–	–
CaCO_3	-0.06	0.44	–	–	–	–
BaMnF_4, s^E	0.87	-0.05	–	–	–	1.11
$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CO}$	-0.02	0.55	–	1.13	–	–
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	-0.50	1.29	–	8.64	–	–
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	-0.16	0.82	–	1.86	–	–
$\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_3\text{H}_6$	-0.91	0.80	–	–	–	–
AgTlSe	1.06	-0.42	–	–	–	2.08
NaBF_4 (293K)	-0.01	0.34	–	1.16	–	–
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	-0.07	0.52	–	1.98	–	–
$\alpha\text{-U}$	-0.02	0.24	–	1.42	–	–

Табл. 3.6 Коэффициенты Пуассона тонкостенных ауксетических трубок из орторомбических кристаллов и критические значения параметра толщины при $\alpha = \pi/2$

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r=r_0$	$r=R_0$	$r=r_0$	$r=R_0$
BaMnF_4, s^E	0.54	-0.03	–	–	–	1.11
I	-0.48	0.94	–	–	–	–
AgTlSe	1.00	-0.32	–	–	–	1.82
TbF_3	-0.02	0.59	–	1.11	–	–
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4\text{HTI}$	-0.24	0.77	–	11.6	–	–

Трубки из кристалла $C_6N_2O_3H_6$ обладают сильной изменчивостью обоих коэффициентов Пуассона (Рис. 3.6). Радиальный коэффициент Пуассона отрицателен на обеих поверхностях при любых значениях параметра толщины и некоторых значениях угла хиральности. На внутренней поверхности (Рис. 3.6(а)) минимальная величина ν_{rz} составляет -3.22 ($\rho = 10$, $\alpha = 0$), а максимальная 1.05 ($\rho = 1.01$, $\alpha = 0.36\pi$). На внешней поверхности (Рис. 3.6(б)) минимальное значение радиального коэффициента Пуассона равно -0.90 ($\rho = 1.01$, $\alpha = 0$), а максимальное 1.14 ($\rho = 3.17$, $\alpha = 0.36\pi$). На обеих поверхностях он равен нулю при близких значениях угла хиральности, которые незначительно изменяются с параметром толщины. Большим изменениям подвергается окружной коэффициент Пуассона на внутренней поверхности данной трубки (Рис. 3.6(в)). Его минимальное значение составляет -0.37 ($\rho = 10$, $\alpha \approx 0.34\pi$), а максимальное 3.44 ($\rho = 10$, $\alpha = 0$).

Большая изменчивость окружного коэффициента Пуассона характерна для трубки из кристалла I (Рис. 3.7). Наибольшая изменчивость ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ достигается на внутренней поверхности (Рис. 3.7(а),(в)). Минимальное значение $\nu_{\varphi z}$ составляет -1.03 ($\rho = 10$, $\alpha \approx 0.22\pi$), а максимальное 4.19 ($\rho = 10$, $\alpha = \pi/2$), у ν_{rz} минимальное и максимальное значения равны -2.22 ($\rho = 10$, $\alpha = \pi/2$) и 0.65 ($\rho = 10$, $\alpha \approx 0.21\pi$), соответственно. При этом, в некоторой окрестности $\alpha = \pi/2$ ν_{rz} отрицателен на обеих поверхностях трубки (Рис. 3.7(а),(б)).

Трубки из $AgTlSe$ представляют собой пример сильного влияния параметра толщины на значения коэффициентов Пуассона (Рис. 3.8). Наибольшая разница, между экстремальными значениями ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$, как и в предыдущих случаях, имеет место на внутренней поверхности трубки. Коэффициент Пуассона ν_{rz} на данной поверхности всегда положителен и обладает большой величиной. Его минимальное значение составляет 1.00 ($\rho = 1.01$, $\alpha = \pi/2$), а максимальное 3.27 ($\rho = 10$, $\alpha = 0$). Противоположное поведение демонстрирует окружной коэффициент Пуассона. Он убывает по мере роста параметра толщины и отрицателен при всех значениях угла хиральности (Рис. 3.8(в)). Наименьшее его значение равно -3.32 при $\rho = 10$, $\alpha = 0$, а наибольшее -0.41 при $\rho = 10$, $\alpha = \pi/2$. На внешней поверхности он остается отрицательным при значениях, указанных в Табл. 3.5 и Табл. 3.6.

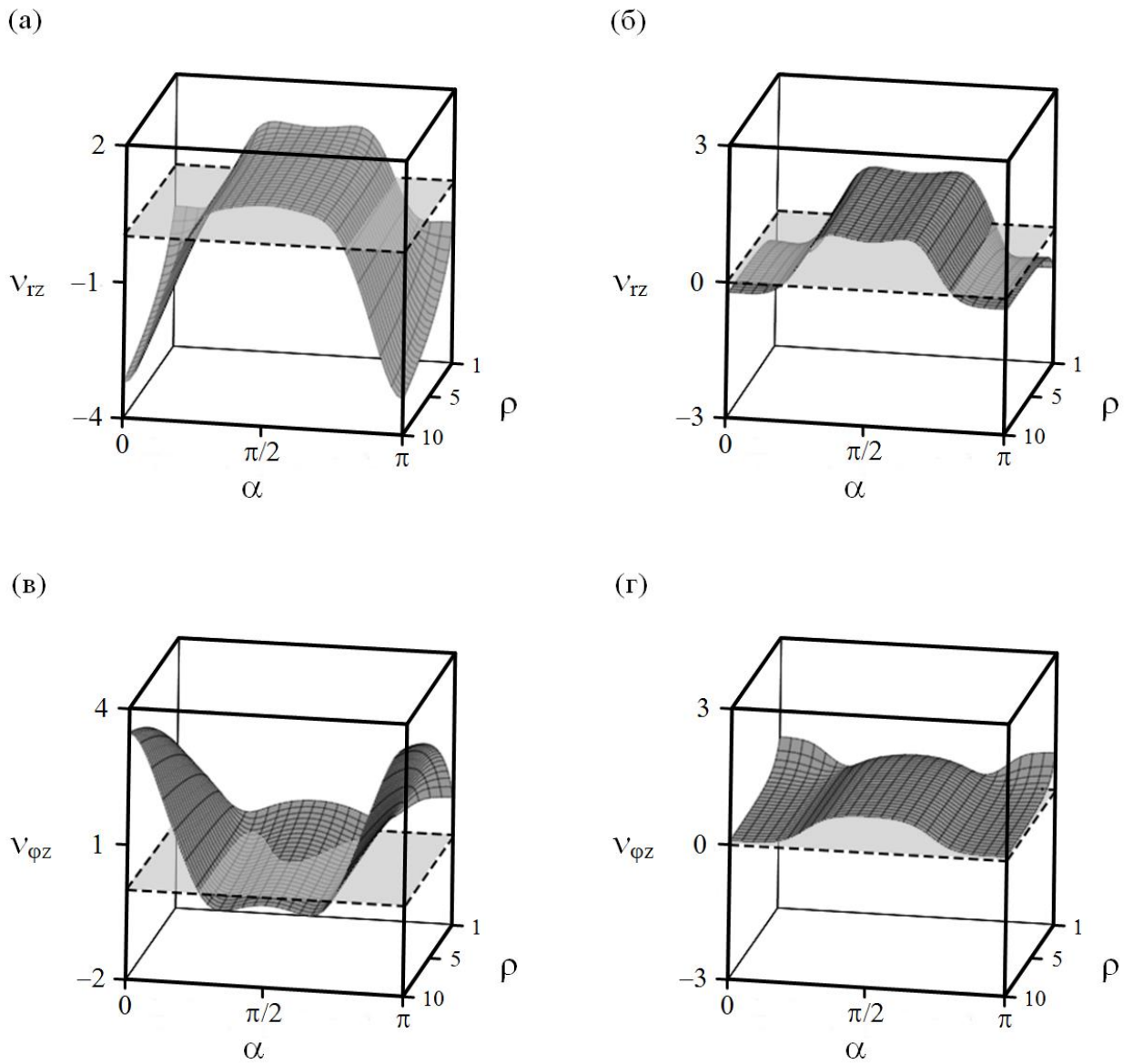
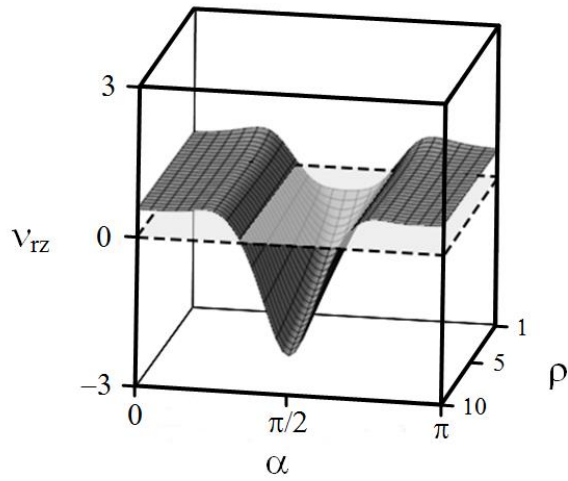
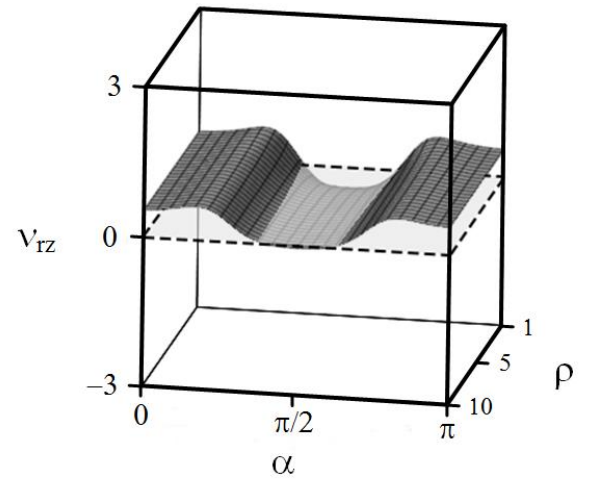


Рис. 3.6 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла $C_6N_2O_3H_6$

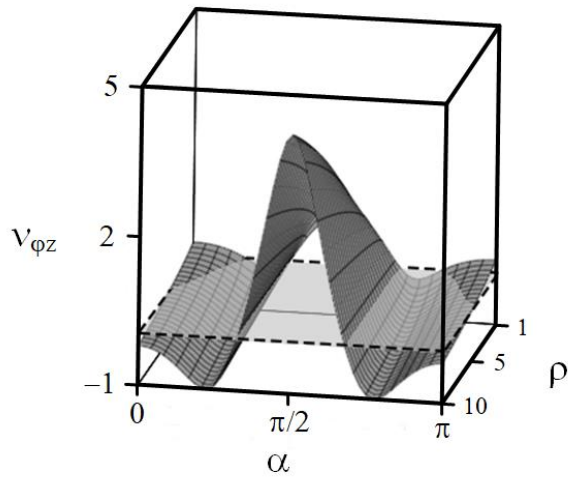
(a)



(б)



(в)



(г)

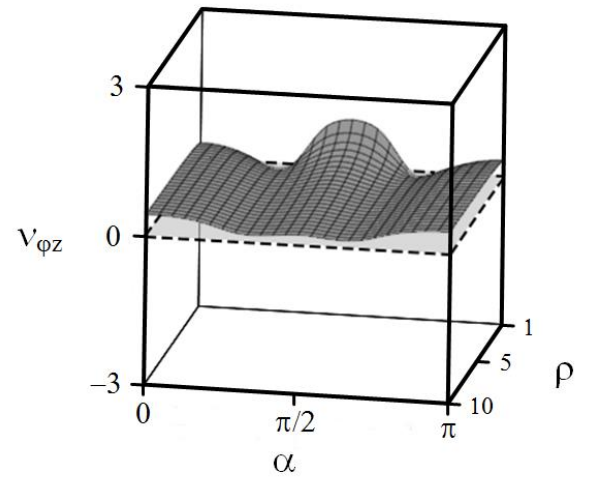


Рис. 3.7 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла I

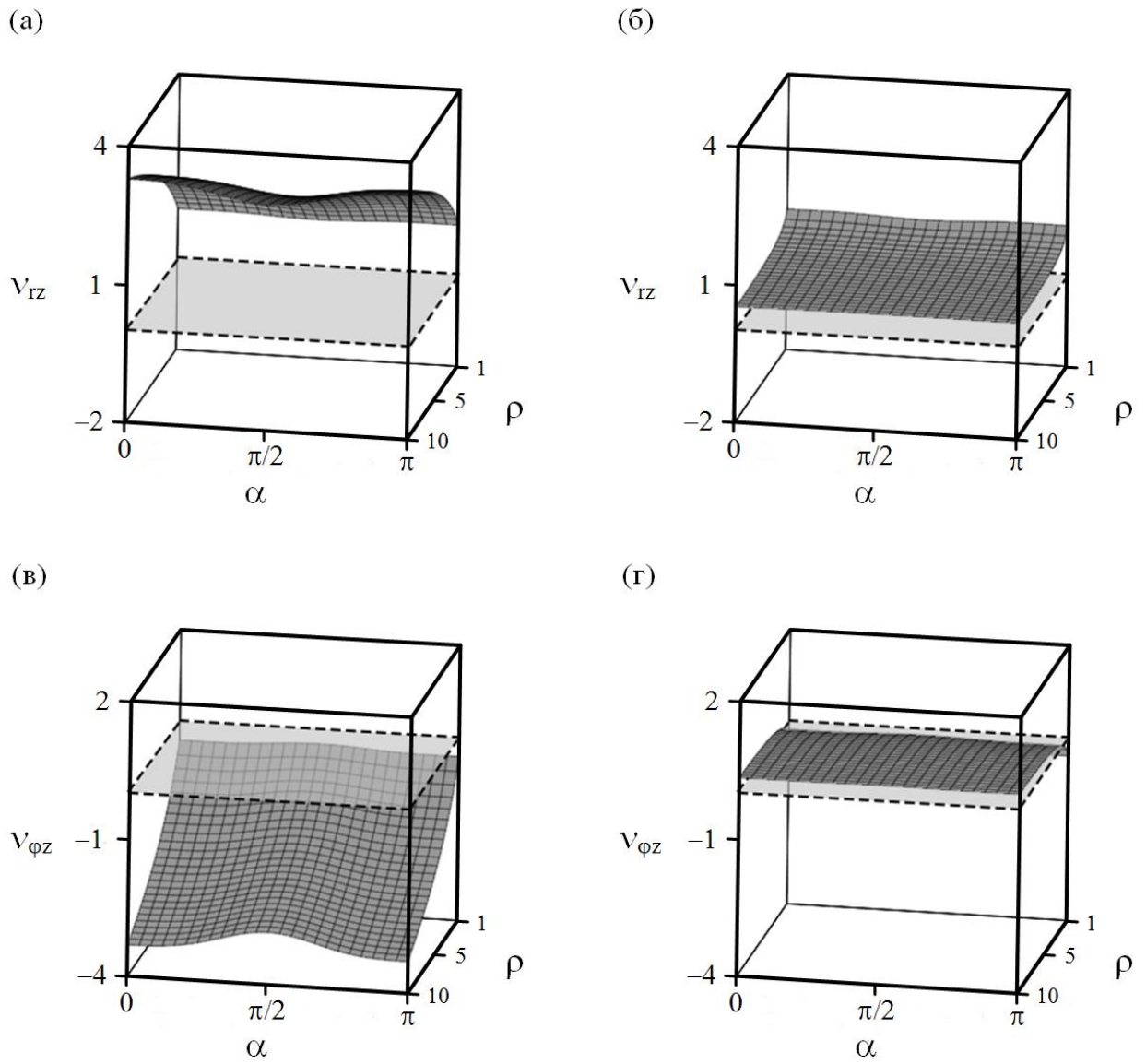


Рис. 3.8 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла AgTlSe

Коэффициенты Пуассона некоторых трубок из орторомбических кристаллов меняются немонотонно с изменением параметра толщины. Их список представлен в Табл. 3.7 - Табл. 3.9. В таблицы попали только трубки, у которых значения локального экстремума коэффициента Пуассона в интервале $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ и значения коэффициента Пуассона при $\rho = 1.01$ и $\rho = 10$ отличаются более чем на 0.1. Локальные экстремумы у всех трубок из данных таблиц достигаются при малых значения параметра толщины ($\rho < 3.5$).

Трубки, для которых радиальный коэффициент Пуассона меняется немонотонно на внешней поверхности перечислены в Табл. 3.7. У всех из них локальные экстремумы соответствуют максимальному значению на выбранном интервале. Поверхности коэффициента Пуассона трубок из $C_6N_2O_3H_6$ и I изображены на Рис. 3.6 и Рис. 3.7, соответственно. На рисунках наличие локальных экстремумов, в силу незначительных различий между величиной локального экстремума и величиной коэффициента Пуассона на одной из границ, не заметно.

Окружной коэффициент Пуассона меняется немонотонно относительно параметра толщины на внутренней поверхности у трубок, перечисленных в Табл. 3.8. Экстремумы коэффициента Пуассона соответствуют локальному минимуму и незначительно отличаются от одного из граничных значений. На внешней поверхности немонотонность $\nu_{\varphi z}$ замечена только у трубки из кристалла $(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (Табл. 3.9). Так же, как и в случае с ν_{rz} , экстремум соответствует локальному максимуму и незначительно отличается от граничных значений $\nu_{\varphi z}$.

Значения модуля Юнга тонкостенных и толстостенных трубок ($\rho = 10$) из орторомбических кристаллов при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$ приведены в Табл. П14 **Приложения 2**. При указанных условиях, модуль Юнга превосходит 300 ГПа у трубок из кристаллов $BeAl_2O_4$ и $(Fe, Mg)_2(Al, Fe^{+3})_9O_6SiO_4(O, OH)_2$. Примерно у трети трубок он увеличивается более чем в 2 раза при изменении ρ с 1.01 до 10. Модуль Юнга трубок из орторомбических кристаллов, так же как и коэффициенты Пуассона, немонотонно меняется вместе с углом хиральности. Ни для одной

Табл. 3.7 Локальные экстремумы v_{rz} в интервале $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ и значения v_{rz} при $\rho = 1.01$ и $\rho = 10$ на внешней поверхности трубки

Трубка	ρ_{extr}	α_{extr}	$v_{rz\ extr}$	v_{rz} при $\alpha = \alpha_{extr}$	
				$\rho=1.01$	$\rho=10$
Cu-14 wt% Al-3.0 wt% Ni	1.46	0.28π	0.71	0.70	0.67
I	1.57	0.20π	0.67	0.65	0.61
$C_6N_2O_3H_6$	3.17	0.36π	1.14	1.05	1.13

Табл. 3.8 Локальные экстремумы $v_{\varphi z}$ в интервале $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ и значения $v_{\varphi z}$ при $\rho = 1.01$ и $\rho = 10$ на внутренней поверхности трубки

Трубка	ρ_{extr}	α_{extr}	$v_{\varphi z\ extr}$	$v_{\varphi z}$ при $\alpha = \alpha_{extr}$	
				$\rho=1.01$	$\rho=10$
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	1.99	0.30π	0.32	0.33	0.36
$C_8H_4O_4NTI$	2.27	0.21π	0.28	0.30	0.34

Табл. 3.9 Локальные экстремумы $v_{\varphi z}$ в интервале $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ и значения $v_{\varphi z}$ при $\rho = 1.01$ и $\rho = 10$ на внешней поверхности трубки

Трубка	ρ_{extr}	α_{extr}	$v_{\varphi z\ extr}$	$v_{\varphi z}$ при $\alpha = \alpha_{extr}$	
				$\rho=1.01$	$\rho=10$
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	3.06	0.31π	0.41	0.39	0.40

Табл. 3.10 Минимальные и максимальные значения модуля Юнга трубок из орторомбических кристаллов с $E_{max}/E_{min} > 4$ при $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$

Трубка	E_{min} (ГПа)	ρ_{min}	α_{min}	E_{max} (ГПа)	ρ_{max}	α_{max}
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot (CH)_2(COOH)_2$	2.92	1.01	0.26π	37.0	10	0
SC(NH ₂) ₂	2.09	1.01	0.24π	24.7	10	0.50π
	2.39	1.01	0.24π	23.8	10	0.50π
Cu-14 wt% Al-3.0 wt% Ni	22.3	1.01	0.50π	168	10	0.20π
CaSO ₄	32.4	1.01	0.24π	175	10	0.50π
Ca(COOH) ₂	11.8	1.01	0.50π	53.2	10	0.23π
I	3.05	1.01	0	50.9	10	0.34π
$(Fe,Mg)_2(Al,Fe^{3+})_9O_6SiO_4(O,OH)_2$	73.0	1.01	0.50π	313	10	0
Cd(COOH) ₂	8.06	1.01	0.50π	33.9	10	0.21π

трубки не обнаружено отклонений от монотонного роста вместе с параметром толщины. Значения локальных экстремумов модуля Юнга трубок из орторомбических кристаллов в интервале $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$ приведены в Табл. П15 **Приложения 2**. Трубки, у которых он возрастает более чем в 4 раза в указанном интервале, перечислены в Табл. 3.10. Наибольшее отношение максимального и минимального модулей Юнга наблюдается у трубок с $E_{\min} < 10$ ГПа. Более чем в 10 раз он возрастает у трубок из $(\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{COO} \cdot (\text{CH})_2(\text{COOH})_2$, почти в 17 раз у трубки из кристалла I. Величина модуля Юнга превосходит 300 ГПа у трубок из кристаллов $(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O}, \text{OH})_2$ ($E_{\max} = 313$ ГПа), $\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$ ($E_{\max} = 318$ ГПа) и BeAl_2O_4 ($E_{\max} = 479$ ГПа).

3.4. Трубки из моноклинных кристаллов [A7]

В диссертации проведен анализ изменчивости коэффициента Пуассона и модуля Юнга трубок из моноклинных кристаллов в двух частных случаях локального соответствия между кристаллографической и цилиндрической системами координат. Первый случай эквивалентен нулевой хиральности и локальному соответствию между базисами вида $1 \rightarrow z, 2 \rightarrow -\varphi, 3 \rightarrow r$. Во втором случае локальное соответствие имеет вид $1 \rightarrow \varphi, 2 \rightarrow z, 3 \rightarrow r$, что эквивалентно $\alpha = \pi/2$.

Значения коэффициентов Пуассона тонкостенных трубок из моноклинных кристаллов и критические значения параметра толщины приведены в Табл. П16 и Табл. П17 **Приложения 2** при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$, соответственно. При первом локальном соответствии один из коэффициентов Пуассона может принимать отрицательные значения у 48 из 69 трубок, при втором – у 53.

При нулевой хиральности насчитывается 7 ауксетических тонкостенных трубок, перечисленных в Табл. 3.11. Коэффициент Пуассона ν_{rz} отрицателен у 4 трубок. При втором рассматриваемом локальном соответствии ($\alpha = \pi/2$) количество ауксетических тонкостенных трубок равно 16. Они перечислены в Табл. 3.12. Радиальный коэффициент Пуассона отрицателен у 13 трубок. У трубок из кристаллов Anthracene tetracyanobenzene и $K_2Co(CN)_6$ данный коэффициент Пуассона остается отрицательным при всех значениях параметра толщины. К ним можно добавить трубку из CsH_2PO_4 , у которой $\nu_{rz} = 0$ на внешней поверхности при $\rho_{cr} = 91.1$. Среди тонкостенных трубок, представленных в таблице, наибольшие абсолютные значения коэффициентов Пуассона имеют трубки из кристаллов $LaNbO_4$ и CsH_2PO_4 . В случае прямолинейной анизотропии оба этих кристалла являются ауксетиками при растяжении вдоль кристаллографической оси 2.

Зависимости коэффициентов Пуассона трубок из кристаллов CsH_2PO_4 и $LaNbO_4$ от параметра толщины представлены на Рис. 3.9 и Рис. 3.10, соответственно. При нулевом угле хиральности (Рис. 3.9(a)) радиальный коэффициент Пуассона трубки из CsH_2PO_4 практически не изменяется как на

Табл. 3.11 Коэффициенты Пуассона тонкостенных ауксетических трубок из моноклинных кристаллов и критические значения параметра толщины при нулевом угле хиральности

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$C_{12}H_{10}$	-0.07	0.65	–	1.71	–	–
$C_{12}D_{10}$	-0.01	0.59	–	1.10	–	–
$BiVO_4$	0.42	-0.01	–	–	–	1.07
$CsD(SeO_3)$	-0.14	0.82	–	1.67	–	–
Durene	-0.01	0.81	–	1.05	–	–
$\beta-F_6H_4F_6$	1.01	-0.13	–	–	–	1.29
$LaNbO_4$	1.42	-0.25	–	–	–	1.41

Табл. 3.12 Коэффициенты Пуассона тонкостенных ауксетических трубок из моноклинных кристаллов и критические значения параметра толщины при $\alpha = \pi/2$

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Anthracene tetracyanobenzene	-0.25	0.37	–	–	–	–
$BiVO_4$	0.34	-0.02	–	–	–	1.12
CsH_2PO_4	-1.34	2.13	–	91.1	–	–
SiO_2	-0.08	0.66	–	1.88	–	–
Feldspar: Labradorite	-0.06	0.65	–	1.80	–	–
Feldspar: Microcline	-0.05	0.69	–	2.10	–	–
Feldspar: Plagioclase, 9 (Albite)	-0.07	0.30	–	–	–	–
Feldspar: Soda-potash	2 (Microcline)	-0.05	–	2.27	–	–
	42 (Amazonite)	-0.04	–	1.64	–	–
	43 (Orthoclase)	-0.03	–	1.48	–	–
	209 (Microcline)	-0.03	–	1.29	–	–
	215 (Orthoclase)	-0.02	–	1.84	–	–
$\beta-F_6H_4F_6$	0.84	-0.33	–	–	–	2.14
$(Ba,K)Al_2Si_{12}O_8$	-0.03	0.66	–	1.37	–	–
$LaNbO_4$	2.08	-1.14	–	–	–	3.22
$K_2Co(CN)_6$	-0.05	0.14	–	–	–	–

внутренней, так и на внешней поверхности. Коэффициент Пуассона $\nu_{\varphi z}$ на внешней поверхности медленно возрастает (с 0.11 в тонкостенном случае) до 0.40 при $\rho = 10$, а на внутренней убывает, принимая значение -1.19 при $\rho = 10$. В случае второго локального соответствия ($\alpha = \pi/2$) величина обоих коэффициентов Пуассона на внутренних поверхностях трубки меняется в несколько раз. Окружной коэффициент Пуассона ($\nu_{\varphi z}$) положителен для всех значений ρ . Он возрастает на внутренней поверхности и, при $\rho = 10$, почти в 5 раз превосходит $\nu_{\varphi z}$ тонкостенной трубки. Аналогичным образом ведет себя радиальный коэффициент Пуассона на внутренней поверхности, где, при $\rho = 10$, он равен $\nu_{rz} = -6.54$, что почти в 5 раз больше чем у тонкостенной трубки. Схожее поведение наблюдается и у трубки из LaNbO_4 . При нулевом угле хиральности различия между коэффициентами Пуассона тонкостенных и толстостенных трубок существенно ниже, чем при $\alpha = \pi/2$. При втором локальном соответствии $\nu_{\varphi z}$ на внутренней поверхности увеличивается в 5 раз, а радиальный коэффициент Пуассона увеличивается почти в 4 раза на этой же поверхности.

Значения модуля Юнга тонкостенных и толстостенных трубок из моноклинных кристаллов при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$ приведены в Табл. П18 **Приложения 2**. Для большинства трубок из моноклинных кристаллов его величина незначительно меняется как с параметром толщины, так и с углом хиральности. Наибольшей изменчивостью модуля Юнга обладают трубки из кристаллов LaNbO_4 и CsH_2PO_4 . Модуль Юнга трубки из кристалла CsH_2PO_4 при нулевом угле хиральности увеличивается почти в 3 раза при изменении параметра толщины с 1.01 до 10. У тонкостенных трубок из этого кристалла при $\alpha = \pi/2$ модуль Юнга практически в 20 раз больше чем при нулевой хиральности. Модуль Юнга трубки из LaNbO_4 при нулевой хиральности, за счет влияния параметра толщины, возрастает в 5 раз, при $\alpha = \pi/2$ – в 2 раза. С изменением угла хиральности (от нуля до $\pi/2$) он возрастает почти в 5 раз у тонкостенных трубок.

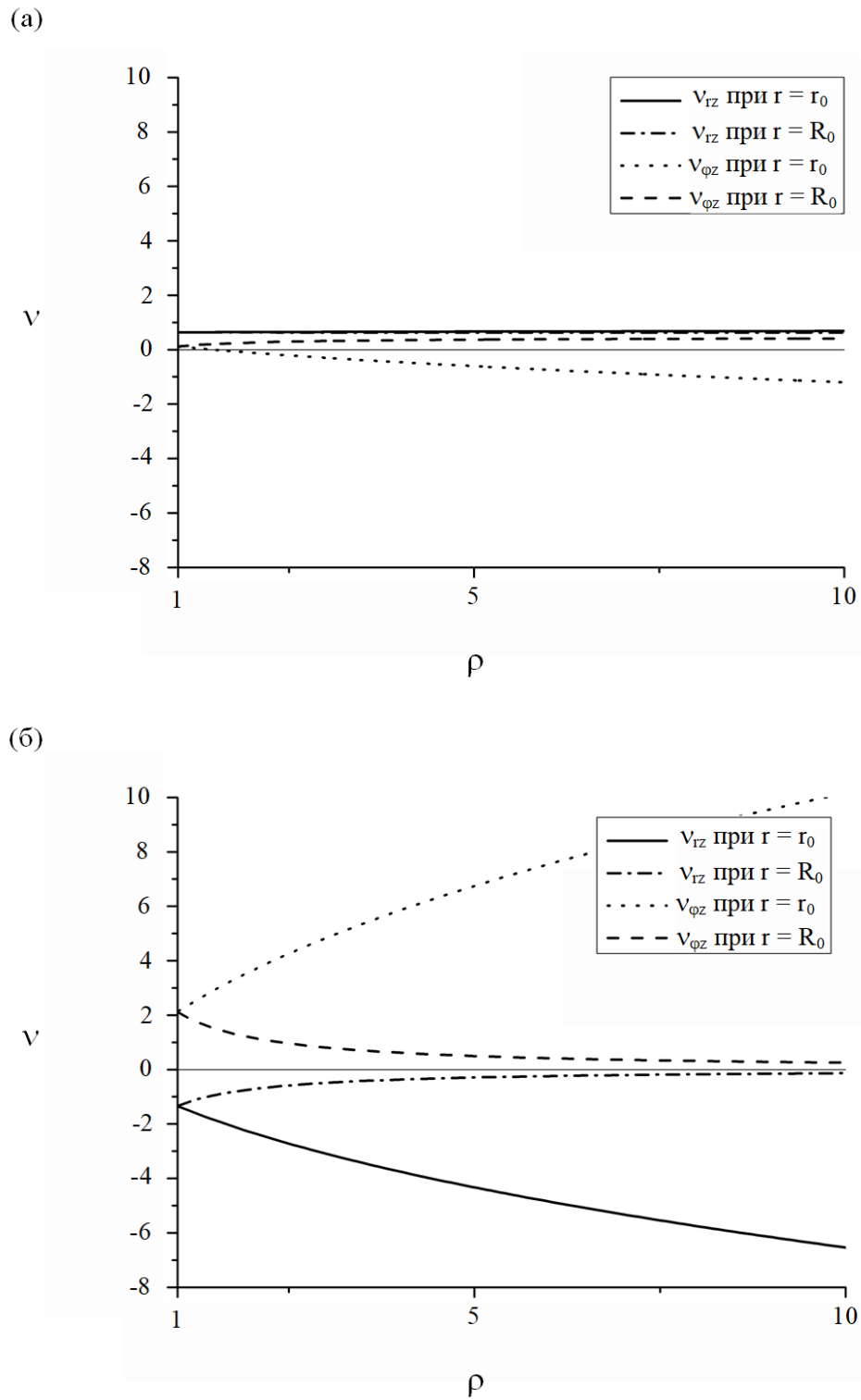


Рис. 3.9 Зависимость коэффициентов Пуассона трубки из моноклинного кристалла CsH_2PO_4 от параметра толщины при $\alpha = 0$ (а) и $\alpha = \pi/2$ (б)

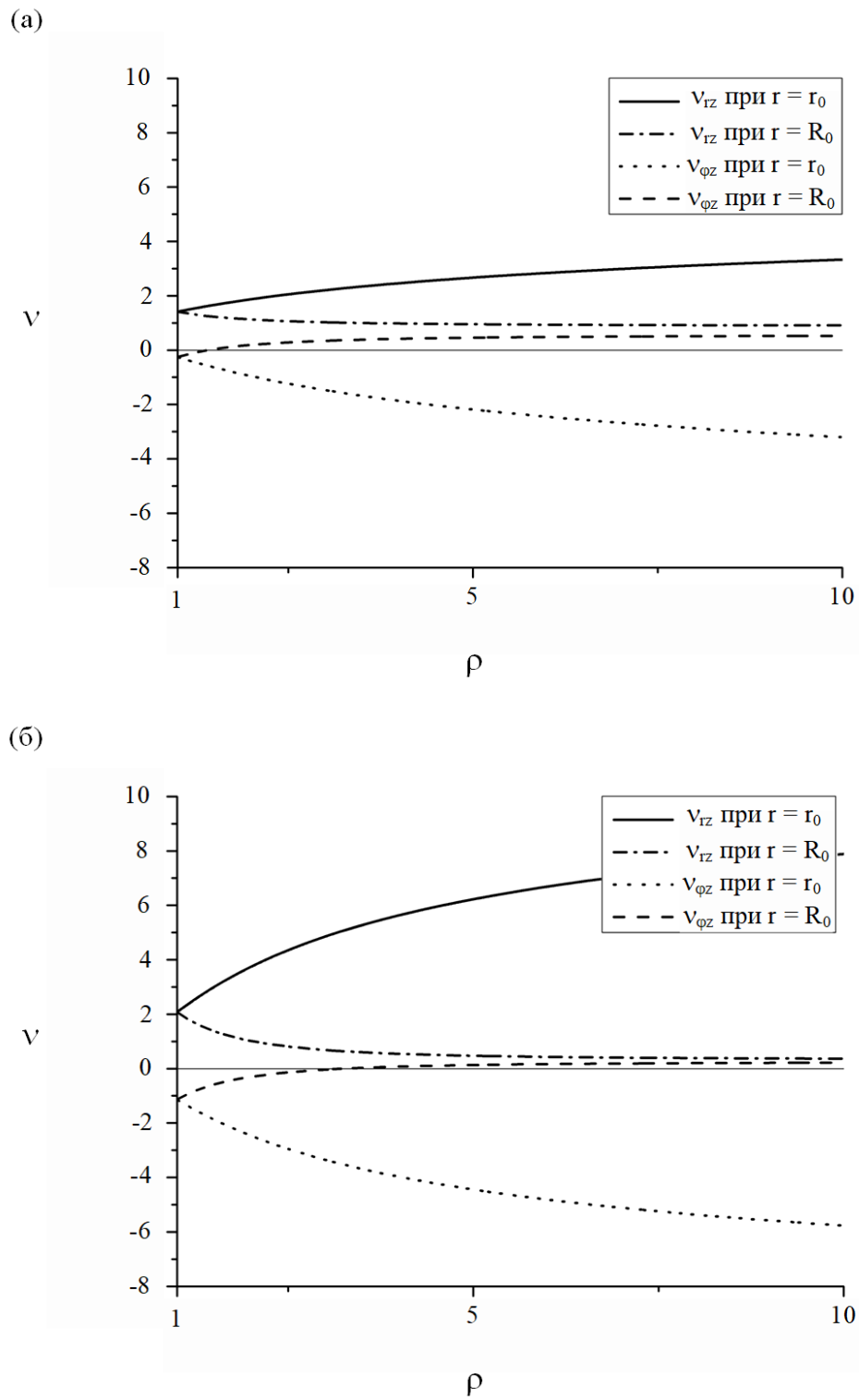


Рис. 3.10 Зависимость коэффициентов Пуассона трубки из моноклинного кристалла LaNbO_4 от параметра толщины при $\alpha = 0$ (а) и $\alpha = \pi/2$ (б)

3.5. Выводы по Главе 3

В Главе 3 проанализирована изменчивость модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных хиральных трубок из семиконстантных ромбоэдрических, шестиконстантных тетрагональных, орторомбических и моноклинных кристаллов. Определены критические значения параметра толщины, при которых коэффициент Пуассона равен нулю. Установлено, что при переходе от прямолинейной к цилиндрической анизотропии количество ауксетиков возрастает. Более чем у 60% трубок из кристаллов рассмотренных систем один из коэффициентов Пуассона становится отрицательным при определенных значениях параметра толщины и угла хиральности. Установлено, что модуль Юнга и коэффициенты Пуассона трубок из семиконстантных ромбоэдрических кристаллов не зависят от угла хиральности. Не обнаружено ни одной трубки, для которой оба коэффициента Пуассона одновременно были бы отрицательными на внешней или внутренней поверхности. Параметр толщины и угол хиральности могут оказывать существенное влияние на величину коэффициентов Пуассона. У некоторых трубок различие между величиной коэффициента Пуассона тонкостенной и толстостенной трубки при заданном угле хиральности может составлять несколько единиц.

Заключение

- В рамках теории упругости, при помощи полуобратного метода Сен-Венана, решена задача радиально-неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок из кристаллов моноклинной, орторомбической, шестиконстантной тетрагональной и семиконстантной ромбоэдрической систем. Получены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона таких трубок от упругих постоянных кристалла, угла хиральности, параметра толщины и радиальной координаты;
- На основании экспериментальных данных для упругих постоянных, при помощи численных методов, проведен анализ изменчивости коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем. Для всех возможных направлений растяжения и поперечных направлений, и при растяжении вдоль кристаллографических осей, определены экстремумы коэффициента Пуассона. При растяжении в кристаллографических плоскостях (100), (010) и (001), с помощью численных методов, определены экстремальные значения коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных и орторомбических кристаллов;
- Для прямолинейно-анизотропных кристаллов, на основании экспериментальных данных, определены осредненные по всем углам Эйлера значения коэффициента Пуассона. Обнаружен один кристалл, средний коэффициент Пуассона которого является отрицательным: FeGe_2 , относящийся к шестиконстантной тетрагональной системе;
- На основании экспериментальных данных, при помощи численных методов, определены экстремальные значения модуля Юнга семиконстантных ромбоэдрических, шестиконстантных тетрагональных и орторомбических кристаллов при прямолинейной анизотропии;

- Установлено, что более половины проанализированных прямолинейно-анизотропных кристаллов являются ауксетиками;
- Установлено, что максимальный модуль Юнга большинства прямолинейно-анизотропных ауксетиков более чем в 2 раза превосходит минимальный модуль Юнга при прямолинейной анизотропии;
- Для трубок из кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической и моноклинной систем, на основании экспериментальных данных для упругих постоянных, выполнен численный анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона;
- Установлено, что при переходе от прямолинейной к цилиндрической анизотропии количество кристаллов с отрицательным коэффициентом Пуассона увеличивается;
- Показано, что, в некоторых случаях, угол хиральности и параметр толщины оказывают сильное влияние на величину модуля Юнга и коэффициентов Пуассона. Разница между максимальной и минимальной величиной коэффициента Пуассона на одной из поверхностей трубки может составлять несколько единиц. Модуль Юнга некоторых трубок увеличивается более чем в 4 раза с изменением параметра толщины и угла хиральности.

Литература

- A1. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Механические характеристики 7-ми константных ромбоэдрических кристаллов и нано/микротрубок из них // Письма о материалах, 2016, Т.6, Вып.2, С.93-97.
- A2. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Auxetics among 6-constant tetragonal crystals // Письма о материалах, 2015, Т.5, Вып 4, С.409-413.
- A3. Волков М.А. Экстремальные значения коэффициента Пуассона триклинных и моноклинных кристаллов // Письма о материалах, 2014, Т.3, Вып.4, С.167-170.
- A4. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Negative Poisson's ratio for six-constant tetragonal nano/microtubes // Physica Status Solidi (b), 2015, V.252, P.1580-1586.
- A5. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Auxeticity in nano/microtubes produced from orthorhombic crystals // Smart Materials and Structures, 2016, V.25, N.5, P.054006.
- A6. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Прямолинейно-анизотропные ауксетики. Растяжение и кручение цилиндрически анизотропных хиральных нано/микротрубок из орторомбических кристаллов // Препринт №1107, 58с., 2015 (ISBN 978-5-91741-153-8).
- A7. Волков М.А. Изменчивость некоторых упругих характеристик прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных моноклинных кристаллов // Международная молодежная научная конференция XLII Гагаринские чтения. Москва, 12-15 апреля 2016, Материалы секции №4. Механика и моделирование материалов и технологий, С.18-19.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т.7. М: Физматлит, 2003, 264с.
2. Ting T.C.T., Chen T. Poisson's ratio for anisotropic elastic materials can have no bounds // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 2003, V.58, P.73-82.
3. Love A.E.H. A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, 4th ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1927.
4. Lakes R. Foam structures with a Negative Poisson's ratio // *Science*, 1987, V.235, P.1038-1040.
5. Friis E.A., Lakes R.S., Parks J.B. Negative Poisson's ratio polymeric and metal foams // *Journal of materials science*, 1988, V.23, P.4406-4414.
6. Evans K.E. Tensile network microstructures exhibiting negative Poisson's ratios // *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1989, V.22, P.1870-1876.
7. Caddock B.D., Evans K.E. Microporous materials with negative Poisson's ratios: I. Microstructure and mechanical properties // *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1989, V.22, No.12, P.1877-1882.
8. Evans K.E., Caddock B.D. Microporous materials with negative Poisson's ratios: II. Microstructure Mechanism and interpretation // *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1989, V.22, No.12, P.1883-1887.
9. Evans K.E., Nkansah M.A., Hutchinson I.J., Rogers S.C. Molecular network design // *Nature*, 1991, V.353, P.124.
10. Lim T.C., Alderson A., Alderson K.L. Experimental studies on the impact properties of auxetic materials // *Physica Status Solidi (b)*, 2014, V.251, P.307-313.
11. Lakes R. Deformation mechanisms in negative Poisson's ratio materials: structural aspects // *Journal of Materials Science*. 1991, V.26, P.2287-2292.
12. Grima J.N., Gatt R., Farrugia P.S. On the properties of auxetic meta-tetrachiral structures // *Physica Status Solidi (b)*, 2008, V.245, P.511-520.
13. Grima J.N., Evans K.E. Auxetic behavior from rotating squares // *Journal of Materials Science Letters*, 2000, V.19, P.1563-1565.

14. Alderson K.L., Simkins V.R., Coenen V.L., Davies P.J., Alderson A., Evans K.E. How to make auxetic fibre reinforced composites // *Physica Status Solidi (b)*, 2005, V.242, P.509-518.
15. Hall L.J. Coluci V.R., Galvão D.S., Kozlov M.E., Zhang M., Dantas S.O., Baughman R.H. Sign change of Poisson's ratio for carbon nanotube sheets // *Science*, 2008, V.320, P.504-507.
16. Chen L. Liu C., Wang J., Zang W., Hu C., Fan S. Auxetics materials with large negative Poisson's ratios based on highly oriented carbon nanotube structures // *Applied Physics Letters*, 2009, V.94, P.25311.
17. Bathurst R.J., Rothenburg L. Note on a random isotropic granular material with negative Poisson's ratio // *International Journal of Engineering Science*, 1988, V.26, P.373-383.
18. Milstein F., Huang G. Existence of a negative Poisson ratio in fcc crystals // *Physical Review B*, 1979, V.19, P.2030-2033.
19. Zhang Y., Wu R., Schurter H.M., Flatau A.B. Understanding of large auxetic properties of iron-gallium and iron-aluminum alloys // *Journal of Applied Physics*, 2010, V.108, P.023513.
20. Erdakos G.B., Ren S.-F. Poisson's ratios in diamond/zincblende crystals // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1997, V.59, P.21-26.
21. Baughman R.H., Shacklette J.M., Zakhidov A.A., Starström S. Negative Poisson's ratios as a common feature of cubic metals // *Nature*, 1998, V.392, P.362-364.
22. Krasavin V.V., Krasavin A.V. Auxeticity properties of cubic metal single crystals // *Physica Status Solidi (b)*, 2014, V.251, P.2314-2320.
23. Paszkiewicz T., Wolski S. Anisotropic properties of mechanical characteristics and auxeticity of cubic crystalline media // *Physica Status Solidi (b)*, 2007, V.244, P.966-977.
24. Brańka A.C., Heyes D.M., Wojciechowski K.W. Auxeticity of cubic materials // *Physica Status Solidi (b)*, 2009, V.246, P.2063-2071.

25. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Classification of cubic auxetic // *Physica Status Solidi (b)*, 2013, V.250, P.2038-2043.
26. Wojciechowcki K.W. Poisson's ratio of anisotropic systems // *Computational Methods in Science and Technology*, 2005, V.11, P.73-79.
27. Tokmakova S.P. Stereographic projections of Poisson's ratio in auxetic crystals // *Physica Status Solidi (b)*, 2005, V.242, P.721-729.
28. Lubarda V.A., Meyers M.A. On the negative Poisson ratio in monocrystalline zinc // *Scripta Materialia*, 1999, V.40, P.975-977.
29. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Variability of elastic properties of hexagonal auxetics // *Doklady Physics*, 2011, V.56, P.602-605.
30. Yenhaneh-Haeri A., Weidner D.J., Parise J.B. Elasticity of α -cristobalite: A silicon dioxide with negative Poisson's ratio // *Science*, 1992, V.257, P.650-652.
31. Guo C.Y., Wheeler L. Extreme Poisson's ratios and related elastic crystal properties // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2006, V.54, P.690-707.
32. Keskar N.R., Chelikowsky J.R. Negative Poisson's ratio in crystalline SiO₂ from first-principles calculations // *Nature*, 1992, V.358, P.222-224.
33. Zhang J.-M., Zhang Y., Xu K.-W., Ji V. Young's modulus surface and Poisson's ratio curve for orthorhombic crystals // *Journal of Chemical Crystallography*. 2008, V.38, P.733-741
34. Rovati M. On the negative Poisson's ratio of an orthorhombic alloy // *Scripta Materialia*, 2003, V.48, P.235-240.
35. Rovati M. Direction of auxeticity for monoclinic crystals // *Scripta Materialia*, 2004, V.51, P.1087-1091.
36. Раранський М.Д., Балазюк В.Н., Гунько М.М. Критерії та механізми виникнення ауксетичності кристалів кубічної сингонії // *Фізика прочності и пластичності*, 2015, Т.37, С.379-396.
37. Гунько М.Н., Олейнич-Лисюк А.В., Раранський Н.Д., Ташук А.Ю. Анализ особенностей деформаций ауксетического бериллия // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2015, Т.5, №5, С.13-17.

38. Раранський М.Д., Балазюк В.Н., Гунько М.М. Ауксетичні властивості кристалів гексагональної сингонії // Фізика і хімія твердого тіла, 2015, Т.1, №.1, С.34-43.
39. Раранський М.Д., Балазюк В.Н., Гунько М.М. Аномальні деформаційні властивості деяких монокристалів тетрагональної сингонії // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика, 2015, № 37, С.8-19.
40. Raransky M.D., Balazyuk V.N., Gunko M.M., Gevik V.B., Struk A.Y. Formation of auxetic surfaces in rhombic syngony single crystals // Proceedings of SPIE, 2015, V.9809, P.98090Q-1.
41. Раранський М.Д., Балазюк В.Н., Гунько М.М., Струк Я.К., Гевик В.Б. Аномальні деформаційні властивості та ауксетичність монокристалів тригональної сингонії // Металлофізика и новейшие технологии, 2017, Т.39, №.2, С.245-263.
42. Norris A. Extreme values of Poisson's ratio and other engineering moduli in anisotropic materials // Journal of Mechanics of Materials and Structures, 2006, V.1, P.793-812.
43. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Auxetic mechanics of crystalline materials // Mechanics of Solids, 2010, V.45, P.529-545.
44. Lethbridge Z.A.D., Walton R.I., Marmier A.S.H., Smith C.W., Evans K.E. Elastic anisotropy and extreme Poisson's ratios in single crystals // Acta Materiala, 2010, V.58, P.6444-6451.
45. Grima J.N., Jackson R., Alderson A., Evans K.E. Do zeolites have negative Poisson's ratios? // Advanced Materials, 2000, V.14, P.1912-1918.
46. Sanchez-Valle C., Sinogeikin S.V., Lethbridge Z.A.D., Walton R.I., Smith C.W., Evans K.E., Bass J.D. Brillouin scattering study on the single-crystal elastic properties of natrolite and analcime zeolites // Journal of Applied Physics, 2005, V.98, P.053508.
47. Alderson A., Davies P.J., Evans K.E., Alderson K.E., Grima J.N. Modelling of the mechanical and mass transport properties of auxetic molecular sieves: an

- idealistic inorganic (zeolitic) host-guest system // *Molecular Simulation*, 2005, V.31, P.889-896.
48. Grima J.N., Gatt R., Zammit V. Natrolite: A zeolite with negative Poisson's ratios // *Journal of Applied Physics*, 2007, V.101, P.086102.
49. Sanchez-Valle C., Lethbridge Z.A.D., Sinogeikin S.V., Williams J.J., Walton R.I., Evans K.E., Bass J.D. Negative Poisson's ratios in siliceous zeolite MFI-silicalite // *The Journal of Chemical Physics*, 2008, V.128, P.184503.
50. Landolt-Börnstein. Group III: Crystal and Solid State Physics. 29a. Second and Higher Order Constants. Berlin. Springer (1992).
51. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1976, 680с.
52. Радущкевич Л.В., Лукьянович В.М. О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте // *Журнал физической химии*, 1952, Т.26, С.88-95.
53. Oberlin A., Endo M. Filamentous growth of carbon through benzene decomposition // *Journal of Crystal Growth*, 1976, V.32, P.335-349.
54. Iijima S. Helical microtubes of graphitic carbon // *Nature*, 1991, V.354, P.56-58.
55. Iijima S., Ichihashi T. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter // *Nature*, 1993, V.363, P.603-605.
56. Chianelli R.R., Prestridge E.B., Pecoraro T.A., Deneufville J.P. Molybdenum disulfide in the poorly crystalline "rag" structure // *Science*, 1979, V.203, P.1105-1107.
57. Sanders J.V. High-resolution electron microscopy of some catalytic particles // *Chemica Scripta*, 1979, V.14, P.141-145.
58. Margulis L., Salitra G., Tenne R., Talianker M. Nested fullerene-like structures // *Nature*, 1993, V.365, P.113-114.
59. Hershinkel M., Gheber L.A., Volterra V., Hutchison J.L., Margulis L., Tenne R. Nested polyhedra of MX₂ (M = W, Mo; X = S, Se) probed by high-resolution electron microscopy and scanning tunneling microscopy // *Journal of the American Chemical Society*, 1994, V.116, P.1914-1917.

60. Feldman Y., Wasserman E., Srolovitch D.J., Tenne R. High rate, gas phase growth of MoS₂ nested inorganic fullerenes and nanotubes // *Science*, 1995, V.267, P.222-225.
61. Krishnan A., Dujardin E., Ebbesen T.W., Yianilos P.N., Treacy M.M.J. Young's modulus of single-walled nano-tubes // *Physical Review B*, 1998, V.58, P.14013.
62. Salvétat J.P., Kulik A.J., Bonard J.-M., Briggs G.A.D., Stöckli T., Méténier K., Bonnamy S., Béguin F., Burnham N.A., Forró L. Elastic modulus of ordered and disordered multiwalled carbon nanotubes // *Advanced Materials*, 1999, V.11, P.161-165.
63. Salvétat J.P., Briggs G.A.D., Bonard J.M., Bacsá R.R., Kulik A.J., Stöckli T., Burnham N.A., Forró L. Elastic and shear Moduli of single-walled carbon nanotube ropes // *Physical Review Letters*, 1999, V.82, P.944-947.
64. Salvétat J.P., Donard J.M., Thomson N.H., Kulik A.J., Forro L., Benoit W., Zuppiroli L. Mechanical properties of carbon nanotubes // *Applied Physics A*, 1999, V.69, P.255-260.
65. Chopra N.G., Zettl A. Measurement of the elastic modulus of a multi-wall boron nitride nanotube // *Solid State Communications*, 1998, V.105, P.297-300.
66. Yao Y.T., Alderson A., Alderson K.L. Can nanotubes display auxetic behavior? // *Physica Status Solidi (b)*, 2008, V.245, P.2373-2382.
67. Ho D.T., Kwon S.-Y., Kim S.Y. Metal [100] nanowires with negative Poisson's ratio // *Scientific Reports*, 2016, V.6, P.27560.
68. Ebbesen T.W., Ajayan P.M. Large-scale synthesis of carbon nanotubes // *Nature*, 1992, V.358, P.220-222.
69. Guo T., Nikolaev P., Rinzler A.G., Tomanek D., Colbert D.T., Smalley R. E. Self-assembly of tubular fullerenes // *The Journal of Physical Chemistry*, 1995, V.99, P.10694-10697.
70. Smiljanic O., Stansfield B.L., Dodelet J.-P., Serventi A., Désilets S. Gas-phase synthesis of SWNT by an atmospheric pressure plasma jet // *Chemical Physics Letters*, 2002, V.356, P.189-193.

71. José-Yacamán M., Miki-Yoshida M., Rendón L., Santiesteban J.G. Catalytic growth of carbon microtubules with fullerene structure // *Applied Physics Letters*, 1993, V.62, P.202-204.
72. Chopra N.G., Luyken R.J., Cherrey K., Crespi V.H., Cohen M.L., Louie S.G., Zettl A. Boron nitride nanotubes // *Science*, 1995, V.269, P.966-967.
73. Golberg D., Bando Y., Eremets M., Takemura K., Kurashima K., Yusa H. Nanotubes in boron nitride laser heated in high pressure // *Applied Physics Letter*, 1996, V.69, P.2045-2047.
74. Kasuga T., Hiramatsu M., Hoson A., Sekino T., Niihara K. Formation of titanium oxide nanotubes // *Langmuir*, 1998, V.14, P.3160-3163.
75. Zhang M., Bando Y., Wada K., Kurashima K. Synthesis of nanotubes and nanowires of silicon oxide // *Journal of Material Science Letters*, 1999, V.18, P.1911-1913.
76. Prinz V.Ya., Seleznev V.A., Samoylov V.A., Gutakovsky A.K. Nanoscale engineering using controllable formation of ultra-thin cracks in heterostructures // *Microelectronic Engineering*, 1996, V.30, P.439-442.
77. Schmidt O.G., Eberl K. Nanotechnology. Thin solid films roll up into nanotubes // *Nature*, 2001, V.410, P.168.
78. Schmidt O.G., Schmarje N., Deneke C., Müller C., Jin-Philip N.-Y. Three-dimensional nanoobjects evolving from a two-dimensional layer technology // *Advanced Materials*, 2001, V.10, P.756-759.
79. Mei Y., Solovev A.A., Sanchez S., Schmidt O.G. Rolled-up nanotech on polymers: from basic perception to self-propelled catalytic microengines // *Chemical Society Reviews*, 2011, V.40, P.2109-2119.
80. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М: Наука, 1977, 416с.
81. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. To the description of multi-layered nanotubes in models of cylindrically anisotropic elasticity // *Physical Mesomechanics*, 2010, V.13, P.12-20.

82. Устинов А.Ю. Две задачи Сен-Венана для кругового анизотропного цилиндра // Вестник СПбГУ. Серия 1. Математика, механика, астрономия, 2011, Вып.1, С.76-81.
83. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Young's moduli and Poisson's ratios of curvilinear anisotropic hexagonal and rhombohedral nanotubes. Nanotubes-auxetics // Doklady Physics, 2013, V.58, P.400-404.
84. Goldstein R.V., Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S., Volkov M.A. Negative Poisson's ratio for cubic crystals and nano/microtubes // Physical Mesomechanics, 2014, V.17, P.97-115.
85. Lakes R.S., Lowe A. Negative Poisson's ratio foam as seat cushion material // Cellular Polymers, 2000, V.19, P.157-167.
86. Wang Y.-C., Lakes R. Analytical parametric analysis of the contact problem of human buttocks and negative Poisson's ratio foam cushions // International Journal of Solids and Structures, 2002, V.39, P.4825-4838.
87. Alderson A., Rasburn J., Beg S.A., Mullarkey P.G., Perrie W., Evans K.E. An auxetic filter: A tunable filter displaying enhanced size selectivity or defouling properties // Industrial & Engineering Chemistry Research, 2000, V.39, P.654-665.
88. Hook P.B. Uses of auxetic fibers // US Patent No.: US8002879B2, 2011.
89. Miller W., Hook P.B., Smith C.W., Wang X., Evans K.E. The manufacture and characterization of a novel, low modulus, negative Poisson's ratio composite // Composites Science and Technology, 2009, V.69, P.651-655.
90. Choi J.B., Lakes R.S. Design of a fastener based on negative Poisson's ratio foam // Cellular Polymers, 1991, V.10, P.205-212.
91. Lakes R.S. Design consideration for materials with negative Poisson's ratios // Journal of Mechanical Design, 1993, V.115, P.696-700.
92. Sanami M., Ravirala N., Alderson K., Alderson A. Auxetic materials for sports applications // Procedia Engineering, 2014, V.72, P.453-458.

93. Park K.O., Choi J.B. Park J.-C., Park D.J., Kim J.K. An improvement in shock absorbing behavior of polyurethane foam with a negative Poisson effect // *Key Engineering Materials*, 2007, V.342-343, P.845-848.
94. Chirima G.T., Zied K.M., Ravirala N., Alderson K.L., Alderson A. Numerical and analytical modelling of multilayer adhesive-film interface systems // *Physica Status Solidi (b)*, 2009, V.246, P.2072-2082.
95. Kocer C., McKenzie D.R., Bilek M.M. Elastic properties of a material composed of alternating layers of negative and positive Poisson's ratio // *Materials Science and Engineering A*, 2009, V.505, P.111-115.
96. Lim T.-C. Out-of-plane modulus of semi-auxetic laminates // *European Journal of Mechanics A/Solids*, 2009, V.29, P.752-756.
97. Lim T.-C. Counterintuitive modulus from semi-auxetic laminates // *Physica Status Solidi (b)*, 2011, V.248, P.60-65.
98. Lim T.-C. On simultaneous positive and negative Poisson's ratio laminates // *Physica Status Solidi (b)*, 2007, V.244, P.910-918.
99. Evans K.E., Alderson A. Auxetic materials: functional materials and structures from lateral thinking! // *Advanced Materials*, 2000, V.12, P.617-628.
100. Carniero V.H., Meireles J., Puga H. Auxetic Materials – A Review // *Materials Science-Poland*, 2013, V.31, P.561-571.
101. Ломакин Е.В. Кручение стержней с зависящими от вида напряженного состояния упругими свойствами // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*, 2002, №4, С.30-38.
102. Ломакин Е.В. Кручение цилиндрических тел с изменяющимися деформационными свойствами // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*, 2008, №3, С.217-226.
103. Poynting J.H. On pressure perpendicular to the shear planes in finite pure shears, and on the lengthening of loaded wires when twisted // *Proceedings of the Royal Society A*, 1909, V.82, P.546-559.
104. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С. Кручение цилиндрически анизотропных нано/микротрубок из 7-константных

тетрагональных кристаллов. Эффект Пойнтинга // Физическая Мезомеханика, 2015, Т.18, N 6, С.5-11.

105. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980, 512с.

106. Gray D.E. American institute of physics handbook. New York, Mcgraw-Hill Book Company (1972), 1541p.

Приложение 1. Упругая деформация анизотропных тел. Кристаллические системы

Упругая деформация анизотропного тела описывается законом Гука [1]

$$u_{ij} = s_{ijkl} \sigma_{kl}, \quad \sigma_{ij} = s_{ijkl} u_{kl} \quad (\text{П1})$$

где u_{ij} – компоненты тензора деформаций, σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, s_{ijkl} – компоненты тензора податливостей 4-ого ранга, c_{ijkl} – компоненты тензора жесткостей 4-ого ранга. Тензора жесткостей и податливостей обладают следующими свойствами симметрии

$$s_{ijkl} = s_{jikl} = s_{ijlk} = s_{klij}, \quad c_{ijkl} = c_{jikl} = c_{ijlk} = c_{klij}$$

и связаны соотношением

$$s_{ijkl} c_{klrs} = (\delta_{ir} \delta_{js} + \delta_{is} \delta_{jr}) / 2,$$

где δ_{ij} – дельта-символ Кронекера.

Благодаря симметрии тензора податливостей и жесткостей возможно перейти от тензорных четырехиндексных обозначений к матричным двухиндексным, которые образуют симметричную матрицу. Индексы тензорных и матричных компонент связаны схемой [1]

тензорные обозначения	11	22	33	23, 32	13, 31	12, 21
матричные обозначения	1	2	3	4	5	6

а значения – соотношением

$$2^p s_{mn} = s_{ijkl}, \quad (\text{П2})$$

где s_{mn} – матричные коэффициенты податливости, $p = 0$, если m и n равны 1, 2 или 3; $p = 1$, если либо m , либо n не равно 1, 2 или 3; $p = 2$, если и m , и n не равны 1, 2 или 3.

В анизотропном теле (кристалле) имеет место симметрия кристаллической решетки относительно поворотов и отражений. В связи с этим, выделяют 7

кристаллических систем (сингоний) [2]: триклинная, моноклинная, орторомбическая, тетрагональная, ромбоэдрическая, гексагональная и кубическая. В данной последовательности каждая последующая система обладает большей симметрией, чем предыдущая. Матрицы коэффициентов податливости, соответствующие этим системам, имеют вид:

1) Триклинная система

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & s_{15} & s_{16} \\ & s_{22} & s_{23} & s_{13} & s_{25} & s_{26} \\ & & s_{33} & s_{34} & s_{35} & s_{36} \\ & & & s_{44} & s_{45} & s_{46} \\ & & & & s_{55} & s_{56} \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix};$$

2) Моноклинная система

Для кристаллов моноклинной системы выбирают две различных ориентации кристаллографической системы координат относительно элементов симметрии кристалла. При первом выборе (первая установка) кристаллографической осью 2 направлена так, чтобы она совпадала с направлением поворотной оси второго порядка. При втором выборе (вторая установка) вдоль оси второго порядка направлена кристаллографическая ось 3 [2]. Матрица коэффициентов податливости при первой установке

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & s_{15} & 0 \\ & s_{22} & s_{23} & 0 & s_{25} & 0 \\ & & s_{33} & 0 & s_{35} & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & s_{46} \\ & & & & s_{55} & 0 \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix},$$

при второй

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & s_{16} \\ & s_{22} & s_{23} & 0 & 0 & s_{26} \\ & & s_{33} & 0 & 0 & s_{36} \\ & & & s_{44} & s_{45} & 0 \\ & & & & s_{55} & 0 \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix};$$

3) Орторомбическая система

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & s_{22} & s_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{55} & 0 \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix};$$

4) Тетрагональная система

Для описания упругих свойств кристаллов тетрагональной системы с определенной степенью симметрии необходимо семь, а для более симметричных – шесть независимых коэффициентов. Матрица коэффициентов податливости семиконстантных тетрагональных кристаллов

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & s_{16} \\ & s_{22} & s_{13} & 0 & 0 & -s_{16} \\ & & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{55} & 0 \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix},$$

ШЕСТИКОНСТАНТНЫХ

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & s_{22} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{55} & 0 \\ & & & & & s_{66} \end{pmatrix};$$

5) Ромбоэдрическая система

Подобно кристаллам тетрагональной системы, для описания свойств кристаллов ромбоэдрической системы используются матрицы с семью и шестью независимыми коэффициентами. Матрица коэффициентов податливости семиконстантных ромбоэдрических кристаллов

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & s_{15} & 0 \\ & s_{22} & s_{13} & -s_{14} & -s_{15} & 0 \\ & & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & -2s_{15} \\ & & & & s_{55} & 2s_{14} \\ & & & & & 2(s_{11} - s_{12}) \end{pmatrix},$$

шестиконстантных

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & 0 & 0 \\ & s_{22} & s_{13} & -s_{14} & 0 & 0 \\ & & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{55} & 2s_{14} \\ & & & & & 2(s_{11} - s_{12}) \end{pmatrix};$$

б) Гексагональная система

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & s_{11} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & & s_{11} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{44} & 0 \\ & & & & & 2(s_{11} - s_{12}) \end{pmatrix};$$

7) Кубическая система

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & s_{11} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & & s_{11} & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44} & 0 & 0 \\ & & & & s_{44} & 0 \\ & & & & & s_{44} \end{pmatrix};$$

При повороте системы координат матричные коэффициенты податливости меняются по закону [3]

$$s'_{ij} = s_{mn} Q_{im} Q_{jn},$$

где s'_{ij} – матричные коэффициенты податливости в новой системе координат, s_{mn} – исходные коэффициенты податливости, Q_{ij} – компоненты матрицы

$$Q = \begin{pmatrix} a_{11}^2 & a_{12}^2 & a_{13}^2 & a_{12}a_{13} & a_{13}a_{11} & a_{12}a_{11} \\ a_{21}^2 & a_{22}^2 & a_{23}^2 & a_{23}a_{22} & a_{23}a_{21} & a_{22}a_{21} \\ a_{31}^2 & a_{32}^2 & a_{33}^2 & a_{33}a_{32} & a_{33}a_{31} & a_{32}a_{31} \\ 2a_{31}a_{21} & 2a_{32}a_{22} & 2a_{33}a_{23} & a_{33}a_{22} + a_{23}a_{32} & a_{33}a_{21} + a_{31}a_{23} & a_{31}a_{22} + a_{31}a_{21} \\ 2a_{31}a_{11} & 2a_{32}a_{12} & 2a_{33}a_{13} & a_{33}a_{12} + a_{32}a_{13} & a_{33}a_{11} + a_{31}a_{13} & a_{31}a_{12} + a_{32}a_{11} \\ 2a_{21}a_{11} & 2a_{12}a_{22} & 2a_{13}a_{23} & a_{13}a_{22} + a_{12}a_{23} & a_{13}a_{21} + a_{11}a_{23} & a_{11}a_{22} + a_{12}a_{21} \end{pmatrix},$$

где a_{ij} – компоненты матрицы поворота. В случае матрицы поворота

$$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

выражение (П13) в случае среды с общим видом анизотропии

$$s'_{11} = s_{11} \cos^4 \alpha + s_{22} \sin^4 \alpha + (2s_{12} + s_{66}) \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha + \\ + 2s_{16} \cos^3 \alpha \sin \alpha + 2s_{26} \cos \alpha \sin^3 \alpha,$$

$$s'_{22} = s_{11} \sin^4 \alpha + s_{22} \cos^4 \alpha + (2s_{12} + s_{66}) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \\ - 2s_{16} \cos \alpha \sin^3 \alpha - 2s_{26} \cos^3 \alpha \sin \alpha,$$

$$s'_{33} = s_{33},$$

$$s'_{44} = s_{44} \cos^2 \alpha + s_{55} \sin^2 \alpha - 2s_{45} \cos \alpha \sin \alpha,$$

$$s'_{55} = s_{44} \sin^2 \alpha + s_{55} \cos^2 \alpha + 2s_{45} \cos \alpha \sin \alpha,$$

$$s'_{66} = s_{66} + 4(s_{11} + s_{22} - 2s_{12} - s_{66}) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2(s_{26} - s_{16}) \cos 2\alpha \sin 2\alpha,$$

$$s'_{12} = s_{12} + (s_{11} + s_{22} - 2s_{12} - s_{66}) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + 2(s_{26} - s_{16}) \cos 2\alpha \sin 2\alpha,$$

$$s'_{13} = s_{13} \cos^2 \alpha + s_{23} \sin^2 \alpha + s_{36} \cos \alpha \sin \alpha,$$

$$s'_{14} = [s_{14} \cos \alpha - (s_{15} - s_{46}) \sin \alpha] \cos^2 \alpha + [(s_{24} - s_{56}) \cos \alpha - s_{25} \sin \alpha] \sin^2 \alpha,$$

$$s'_{15} = [(s_{14} + s_{56}) \sin \alpha + s_{15} \cos \alpha] \cos^2 \alpha + [s_{24} \sin \alpha + (s_{25} + s_{46}) \cos \alpha] \sin^2 \alpha,$$

$$s'_{16} = -(s_{11} - s_{12} - 0.5s_{66}) \cos 2\alpha \sin 2\alpha + (s_{22} - s_{11}) \cos \alpha \sin^3 \alpha + \\ + s_{16} \cos^2 \alpha (\cos 2\alpha - 2 \sin^2 \alpha) + s_{26} \sin^2 \alpha (\cos 2\alpha + 2 \cos^2 \alpha),$$

$$s'_{23} = s_{13} \sin^2 \alpha + s_{23} \cos^2 \alpha - s_{36} \cos \alpha \sin \alpha,$$

$$s'_{24} = [(s_{14} + s_{56}) \cos \alpha - s_{15} \sin \alpha] \sin^2 \alpha + [s_{24} \cos \alpha - (s_{25} + s_{46}) \sin \alpha] \cos^2 \alpha,$$

$$s'_{25} = [s_{14} \sin \alpha + (s_{15} - s_{46}) \cos \alpha] \sin^2 \alpha + [(s_{24} - s_{56}) \sin \alpha + s_{25} \cos \alpha] \cos^2 \alpha,$$

$$s'_{26} = (s_{11} - s_{12} - 0.5s_{66}) \cos 2\alpha \sin 2\alpha + (s_{22} - s_{11}) \cos^3 \alpha \sin \alpha + \\ + s_{16} \sin^2 \alpha (\cos 2\alpha - 2 \cos^2 \alpha) + s_{26} \cos^2 \alpha (\cos 2\alpha + 2 \sin^2 \alpha),$$

$$s'_{34} = s_{34} \cos \alpha - s_{35} \sin \alpha,$$

$$s'_{35} = s_{34} \sin \alpha + s_{35} \cos \alpha,$$

$$s'_{36} = 2(s_{23} - s_{13}) \cos \alpha \sin \alpha + s_{36} \cos 2\alpha,$$

$$s'_{45} = 2(s_{44} - s_{55}) \cos \alpha \sin \alpha + s_{45} \cos 2\alpha,$$

$$s'_{46} = 2[(s_{24} - s_{14}) \sin \alpha - (s_{25} - s_{15}) \cos \alpha] \cos \alpha \sin \alpha + \\ + (s_{46} \sin \alpha - s_{56} \cos \alpha) \cos 2\alpha,$$

$$s'_{56} = 2[(s_{24} - s_{14}) \sin \alpha + (s_{25} - s_{15}) \cos \alpha] \cos \alpha \sin \alpha + \\ + (s_{46} \sin \alpha + s_{56} \cos \alpha) \cos 2\alpha,$$

Литература

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М.: Мир, 1967, 386с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Т.5. Ч.1. М: Физматлит, 2002, 616с.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М: Наука, 1977, 416с.

Приложение 2. Таблицы

Табл. П1 Экстремальные и средние значения коэффициента Пуассона кристаллов шестиконстантной тетрагональной системы. Экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1 = 1$		при $n_2 = 1$		v при $n_3 = 1$
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	
Al ₂ Cu	0.19	0.54	0.34	0.27	0.33	0.27	0.33	0.30
	0.17	0.49	0.31	0.20	0.33	0.20	0.33	0.22
NH ₄ H ₂ AsO ₄	-0.06	0.66	0.35	-0.06	0.66	-0.06	0.66	0.26
	-0.34	0.73	0.33	-0.34	0.73	-0.34	0.73	0.29
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	-0.46	1.10	0.35	-0.46	1.10	-0.46	1.10	0.36
NH ₄ H ₂ PO ₄	-0.12	0.66	0.34	-0.12	0.66	-0.12	0.66	0.27
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	-0.11	0.59	0.32	-0.11	0.58	-0.11	0.58	0.25
BaClF	-0.05	0.73	0.31	-0.04	0.72	-0.04	0.72	0.35
BaLaGa ₃ O ₇	0.16	0.63	0.35	0.33	0.50	0.33	0.50	0.31
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ , s ^E	0.13	0.29	0.20	0.21	0.22	0.21	0.22	0.13
	0.14	0.42	0.27	0.26	0.32	0.26	0.32	0.20
BaTiO ₃ , s ^E	-0.13	1.03	0.38	0.29	0.65	0.29	0.65	0.33
	-0.18	0.98	0.35	0.19	0.67	0.19	0.67	0.33
BaTiO ₃ , s ^D	0.04	0.77	0.34	0.43	0.45	0.43	0.45	0.30
	-0.16	0.77	0.32	0.42	0.48	0.42	0.48	0.30
	-0.22	0.44	0.06	0.03	0.44	0.03	0.44	0.01
CdGeAs ₂	-0.09	0.78	0.33	0.33	0.48	0.33	0.48	0.39
	-0.05	0.73	0.33	0.35	0.45	0.35	0.45	0.38
β-CdP ₂ (300K)	0.02	0.52	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35	0.41
Ca ₂ Sr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	0.12	0.54	0.34	0.31	0.43	0.31	0.43	0.30
	0.14	0.51	0.34	0.27	0.44	0.27	0.44	0.35
CsH ₂ AsO ₄	-0.11	0.88	0.32	0.01	0.03	0.01	0.03	0.03
CsNiF ₃	0.06	0.72	0.36	0.06	0.45	0.06	0.45	0.16
CoF ₂	-0.12	0.69	0.34	0.15	0.64	0.15	0.64	0.38
CoPt	0	0.57	0.31	0.32	0.43	0.32	0.43	0.34
GeO ₂	-0.12	0.51	0.26	0.17	0.47	0.17	0.47	0.36
In	-0.42	1.31	0.45	0.31	0.64	0.31	0.64	0.48
	-0.71	1.64	0.47	-0.07	1.04	-0.07	1.04	0.49
InBi	-0.21	0.97	0.37	0.35	0.61	0.35	0.61	0.36
In-3.4 at% Cd	-0.32	1.22	0.45	0.46	0.50	0.46	0.50	0.47
In-3.42 at% Cd	-0.33	1.22	0.45	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47
In-5 at% Pb	-0.30	1.17	0.45	0.21	0.75	0.21	0.75	0.44
In-17 at% Pb	0.30	0.49	0.41	0.33	0.45	0.33	0.45	0.45
In-10 at% Tl	-0.47	1.35	0.46	0.43	0.53	0.43	0.53	0.49
In-11.5 at% Tl	-0.41	1.32	0.46	0.40	0.56	0.40	0.56	0.48
In-15 at% Tl	-0.48	1.38	0.46	0.46	0.50	0.46	0.50	0.48
FeF ₂	-0.13	0.70	0.36	0.19	0.62	0.19	0.62	0.42
FeGe ₂	-0.77	0.39	-0.13	-0.04	0.39	-0.04	0.39	0.03
La _{1.86} Sr _{0.14} CuO ₄	0.11	0.37	0.24	0.11	0.27	0.11	0.27	0.21

Табл. П1 (продолжение)

Кристалл	V _{min}	V _{max}	<v>	при n ₁ = 1		при n ₂ = 1		v при n ₃ = 1	
				V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}		
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.18	0.33	0.24	0.29	0.29	0.29	0.29	0.18	
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.08	0.29	0.15	0.13	0.29	0.13	0.08	0.29	
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E	-0.04	0.35	0.07	-0.03	0.35	-0.03	-0.04	0.35	
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.02	0.31	0.09	0.04	0.31	0.04	0.02	0.31	
Li ₂ B ₄ O ₇ , s ^E	-0.15	0.61	0.15	-0.13	0.61	-0.13	-0.15	0.61	
LuAsO ₄	-0.08	0.80	0.32	-0.02	0.32	-0.02	0.32	0.34	
LuPO ₄	-0.11	0.83	0.33	0.01	0.30	0.01	0.30	0.32	
MgF ₂	-0.01	0.57	0.28	0.13	0.57	0.13	0.57	0.27	
MnF ₂	-0.07	0.75	0.36	0.13	0.70	0.13	0.70	0.40	
Hg ₂ Br ₂	-1.02	1.94	0.40	0.02	0.90	0.02	0.90	0.61	
Hg ₂ Cl ₂	-0.91	1.75	0.40	0.02	0.91	0.02	0.91	0.43	
HgI ₂	-0.11	0.80	0.34	-0.11	0.80	-0.11	0.80	0.31	
Hg ₂ I ₂	-0.96	1.98	0.40	0.03	0.88	0.03	0.88	0.88	
MoSi ₂	0.10	0.22	0.15	0.13	0.22	0.13	0.22	0.16	
NiF ₂	-0.04	0.71	0.35	0.13	0.68	0.13	0.68	0.36	
α-NiSO ₄ ·6H ₂ O	-0.06	0.72	0.22	0.02	0.72	0.02	0.72	0.04	
	0	0.76	0.35	0.14	0.75	0.14	0.75	0.24	
PdPb ₂	0.22	0.59	0.39	0.35	0.38	0.35	0.38	0.34	
C(CH ₂ ONO ₂) ₄	0.06	0.58	0.30	0.06	0.58	0.06	0.58	0.33	
KD ₂ AsO ₄	-0.07	0.64	0.37	-0.07	0.52	-0.07	0.52	0.39	
KD ₂ PO ₄	-0.13	0.65	0.27	-0.13	0.25	-0.13	0.25	0.20	
KH ₂ AsO ₄	-0.05	0.63	0.29	-0.05	0.30	-0.05	0.30	0.21	
KH ₂ PO ₄	-0.13	0.65	0.28	-0.13	0.28	-0.13	0.28	0.21	
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D	0.06	0.40	0.22	0.21	0.40	0.21	0.40	0.20	
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D	0.09	0.30	0.22	0.26	0.30	0.26	0.30	0.19	
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.21	0.36	0.27	0.26	0.36	0.26	0.36	0.21	
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D	-0.16	0.33	0.05	-0.15	0.33	-0.15	0.33	-0.12	
RbD ₂ AsO ₄	-0.41	0.56	0.19	-0.41	0.18	-0.41	0.18	0.16	
RbH ₂ AsO ₄	-0.37	0.58	0.16	-0.37	0.08	-0.37	0.08	0.07	
RbH ₂ PO ₄	-0.14	0.76	0.29	-0.14	0.23	-0.14	0.23	0.18	
Scapolite	0.15	0.58	0.33	0.23	0.27	0.23	0.27	0.27	
	0.21	0.47	0.31	0.22	0.29	0.22	0.29	0.31	
AgGaS ₂	-0.06	0.83	0.38	0.29	0.55	0.29	0.55	0.40	
Ag ₂ SO ₄ ·4NH ₃	0.22	0.47	0.34	0.25	0.42	0.25	0.42	0.34	
Na ₂ S·9H ₂ O	0.27	0.42	0.32	0.31	0.32	0.31	0.32	0.27	
Stishovite	-0.04	0.44	0.22	0.16	0.40	0.16	0.40	0.31	
Sr _{1-x} Ba _x Nb ₂ O ₆	x=0.25	0.17	0.33	0.24	0.26	0.33	0.18	0.28	0.18
	x=0.39	0.19	0.36	0.26	0.26	0.36	0.19	0.36	0.19
	x=0.39, s ^E	0.12	0.33	0.23	0.27	0.33	0.12	0.33	0.12
	x=0.39, s ^P	0.26	0.42	0.32	0.30	0.42	0.26	0.42	0.26
	x=0.50, s ^E	0.09	0.30	0.19	0.22	0.28	0.22	0.28	0.13
	x=0.55	0.14	0.40	0.25	0.15	0.36	0.15	0.36	0.15

Табл. П1 (продолжение)

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1 = 1$		при $n_2 = 1$		v при $n_3 = 1$
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	
SrCIF	0.08	0.51	0.29	0.10	0.50	0.10	0.50	0.33
$\text{Sr}_4\text{LiKNb}_{10}\text{O}_{30}$, s^E	0.17	0.36	0.28	0.34	0.36	0.34	0.36	0.21
TeO ₂	-0.80	1.49	0.35	0.02	0.91	0.02	0.91	0.23
	-0.85	1.55	0.35	0.02	0.92	0.02	0.92	0.22
TlSe	-0.22	0.66	0.28	-0.22	0.53	-0.22	0.53	0.66
	-0.18	0.49	0.18	-0.10	0.45	-0.10	0.45	0.35
Sn	-0.03	0.80	0.36	0.10	0.76	0.10	0.76	0.29
SnO ₂	-0.11	0.62	0.30	0.14	0.59	0.14	0.59	0.35
TiO ₂	-0.03	0.68	0.29	0.13	0.59	0.13	0.59	0.33
WSi ₂	0.10	0.25	0.15	0.11	0.25	0.11	0.25	0.14
(NH ₂) ₂ CO	-0.80	1.89	0.44	-0.17	0.53	-0.17	0.53	0.78
	-0.98	1.73	0.37	-0.07	0.16	-0.07	0.16	0.33
Vesuvian	0.20	0.26	0.23	0.20	0.26	0.20	0.26	0.22
ZnF ₂	-0.05	0.65	0.35	0.16	0.63	0.16	0.63	0.39
	-0.05	0.66	0.35	0.16	0.63	0.16	0.63	0.39
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂	-0.14	0.67	0.31	-0.14	0.67	-0.14	0.67	0.42
α -ZnP ₂	0.08	0.38	0.26	0.08	0.36	0.08	0.36	0.28
ZrSiO ₄	0.07	0.62	0.30	0.07	0.28	0.07	0.28	0.30
Zr ₂ Ni	0.10	0.81	0.42	0.15	0.74	0.15	0.74	0.30

Табл. П2 Экстремальные и осредненные значения коэффициента Пуассона шестиконстантных тетрагональных кристаллов. Экстремумы при частных ориентациях более общего вида

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	при n ₁ = 0		при n ₂ = 0		v при n ₃ = 0	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
Al ₂ Cu	0.19	0.54	0.34	0.19	0.54	0.19	0.54	0.27	0.35
	0.17	0.49	0.31	0.17	0.49	0.17	0.49	0.19	0.35
NH ₄ H ₂ AsO ₄	-0.06	0.66	0.35	-0.06	0.66	-0.06	0.66	-0.06	0.66
	-0.34	0.73	0.33	-0.34	0.73	-0.34	0.73	-0.34	0.73
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	-0.46	1.10	0.35	-0.46	1.10	-0.46	1.10	-0.46	1.10
NH ₄ H ₂ PO ₄	-0.12	0.66	0.34	-0.12	0.66	-0.12	0.66	-0.12	0.66
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	-0.11	0.59	0.32	-0.11	0.58	-0.11	0.58	-0.11	0.59
BaClF	-0.05	0.73	0.31	-0.04	0.72	-0.04	0.72	-0.05	0.73
BaLaGa ₃ O ₇	0.16	0.63	0.35	0.22	0.50	0.22	0.50	0.16	0.63
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ , s ^E	0.13	0.29	0.20	0.13	0.28	0.13	0.28	0.17	0.23
	0.14	0.42	0.27	0.18	0.38	0.18	0.38	0.14	0.37
BaTiO ₃ , s ^E	0.13	0.29	0.20	0.13	0.28	0.13	0.28	0.17	0.23
	0.14	0.42	0.27	0.18	0.38	0.18	0.38	0.14	0.37
BaTiO ₃ , s ^D	-0.13	1.03	0.38	0.16	0.65	0.16	0.65	-0.13	1.04
	-0.18	0.98	0.35	0.18	0.67	0.18	0.67	-0.18	0.98
	0.04	0.77	0.34	0.04	0.56	0.04	0.56	0.04	0.77
CdGeAs ₂	-0.09	0.78	0.33	-0.08	0.68	-0.08	0.68	-0.09	0.78
	-0.05	0.73	0.33	-0.05	0.65	-0.05	0.65	-0.05	0.73
B-CdP ₂ (300K)	0.02	0.52	0.33	0.21	0.48	0.21	0.48	0.02	0.52
Ca ₂ Sr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	0.12	0.54	0.34	0.18	0.45	0.18	0.45	0.26	0.52
	0.14	0.51	0.34	0.21	0.44	0.21	0.44	0.27	0.44
CsH ₂ AsO ₄	-0.11	0.88	0.32	0.01	0.55	0.01	0.55	0.04	0.88
CsNiF ₃	0.06	0.72	0.36	0.06	0.72	0.06	0.72	0.06	0.45
CoF ₂	-0.12	0.69	0.34	0.11	0.66	0.11	0.66	-0.12	0.64
CoPt	0	0.57	0.31	0.04	0.56	0.04	0.56	0	0.57
GeO ₂	-0.12	0.51	0.26	0.09	0.51	0.09	0.51	-0.12	0.47
In	-0.42	1.31	0.45	-0.01	0.91	-0.01	0.91	-0.42	1.31
	-0.71	1.64	0.47	-0.18	1.09	-0.18	1.09	-0.69	1.64
InBi	-0.21	0.97	0.37	-0.21	0.80	-0.21	0.80	-0.05	0.97
In-3.4 at% Cd	-0.32	1.22	0.45	-0.11	1.01	-0.11	1.01	-0.32	1.22
In-3.42 at% Cd	-0.33	1.22	0.45	-0.12	1.01	-0.12	1.01	-0.33	1.22
In-5 at% Pb	-0.30	1.17	0.45	-0.30	1.17	-0.30	1.17	0.21	0.75
In-17 at% Pb	0.30	0.49	0.41	0.33	0.48	0.33	0.48	0.30	0.47
In-10 at% Tl	-0.47	1.35	0.46	-0.29	1.22	-0.29	1.22	-0.47	1.35
In-11.5 at% Tl	-0.41	1.32	0.46	-0.14	1.06	-0.14	1.06	-0.41	1.32
In-15 at% Tl	-0.48	1.38	0.46	-0.35	1.26	-0.35	1.26	-0.48	1.38
FeF ₂	-0.13	0.70	0.36	0.08	0.70	0.08	0.70	-0.13	0.62
FeGe ₂	-0.77	0.39	-0.13	-0.77	0.39	-0.77	0.39	-0.04	0.39
La _{1.86} Sr _{0.14} CuO ₄	0.11	0.37	0.24	0.11	0.31	0.11	0.31	0.11	0.37

Табл. П2 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	при n ₁ = 0		при n ₂ = 0		v при n ₃ = 0	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.18	0.33	0.24	0.18	0.29	0.18	0.29	0.20	0.33
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.08	0.29	0.15	0.08	0.29	0.08	0.29	0.13	0.29
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E	-0.04	0.35	0.07	-0.03	0.35	-0.03	0.35	-0.04	0.35
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.02	0.31	0.09	0.02	0.31	0.02	0.31	0.04	0.31
Li ₂ B ₄ O ₇ , s ^E	-0.15	0.61	0.15	-0.13	0.61	-0.13	0.61	-0.13	0.61
LuAsO ₄	-0.08	0.80	0.32	-0.02	0.44	-0.02	0.44	-0.02	0.72
LuPO ₄	-0.11	0.83	0.33	0.01	0.44	0.01	0.44	0.01	0.74
MgF ₂	-0.01	0.57	0.28	0.07	0.57	0.07	0.57	-0.01	0.57
MnF ₂	-0.07	0.75	0.36	0.04	0.75	0.04	0.75	-0.07	0.70
Hg ₂ Br ₂	-1.02	1.94	0.40	-1.02	1.94	-1.02	1.94	0.01	0.90
Hg ₂ Cl ₂	-0.91	1.75	0.40	-0.91	1.75	-0.91	1.75	0.02	0.91
HgI ₂	-0.11	0.80	0.34	-0.11	0.80	-0.11	0.80	-0.11	0.80
Hg ₂ I ₂	-0.96	1.98	0.40	-0.96	1.99	-0.96	1.99	-0.19	0.88
MoSi ₂	0.10	0.22	0.15	0.10	0.22	0.10	0.22	0.12	0.22
NiF ₂	-0.04	0.71	0.35	0.06	0.71	0.06	0.71	-0.04	0.68
α-NiSO ₄ ·6H ₂ O	-0.06	0.72	0.22	-0.06	0.72	-0.06	0.72	0.02	0.72
	0	0.76	0.35	0	0.76	0	0.76	0.14	0.75
PdPb ₂	0.22	0.59	0.39	0.23	0.58	0.23	0.58	0.35	0.38
C(CH ₂ ONO ₂) ₄	0.06	0.58	0.30	0.06	0.58	0.06	0.58	0.06	0.58
KD ₂ AsO ₄	-0.07	0.64	0.37	-0.07	0.64	-0.07	0.64	-0.07	0.63
KD ₂ PO ₄	-0.13	0.65	0.27	-0.13	0.48	-0.13	0.48	-0.13	0.65
KH ₂ AsO ₄	-0.05	0.63	0.29	-0.05	0.52	-0.05	0.52	-0.05	0.63
KH ₂ PO ₄	-0.13	0.65	0.28	-0.13	0.50	-0.13	0.50	-0.13	0.65
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D	0.06	0.40	0.22	0.06	0.40	0.06	0.40	0.20	0.40
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D	0.09	0.30	0.22	0.10	0.30	0.10	0.30	0.26	0.30
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.21	0.36	0.27	0.21	0.36	0.21	0.36	0.26	0.36
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D	-0.16	0.33	0.05	-0.15	0.33	-0.15	0.33	-0.16	0.33
RbD ₂ AsO ₄	-0.41	0.56	0.19	-0.41	0.42	-0.41	0.42	-0.41	0.56
RbH ₂ AsO ₄	-0.37	0.58	0.16	-0.37	0.37	-0.37	0.37	-0.37	0.58
RbH ₂ PO ₄	-0.14	0.76	0.29	-0.14	0.51	-0.14	0.51	-0.14	0.76
Scapolite	0.15	0.58	0.33	0.15	0.58	0.15	0.58	0.17	0.45
	0.21	0.47	0.31	0.21	0.47	0.21	0.47	0.21	0.30
AgGaS ₂	-0.06	0.83	0.38	0.11	0.60	0.11	0.60	-0.06	0.83
Ag ₂ SO ₄ ·4NH ₃	0.22	0.47	0.34	0.25	0.42	0.25	0.42	0.23	0.42

Табл. П2 (продолжение)

Кристалл	v_{\min}	v_{\max}	$\langle v \rangle$	при $n_1 = 0$		при $n_2 = 0$		v при $n_3 = 0$		
				v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	v_{\max}	v_{\min}	
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.27	0.42	0.32	0.27	0.33	0.27	0.33	0.27	0.42	
Stishovite	-0.04	0.44	0.22	0.05	0.44	0.05	0.44	-0.04	0.40	
$\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$	x=0.25	0.17	0.33	0.24	0.18	0.28	0.18	0.28	0.26	0.33
	x=0.39	0.19	0.36	0.26	0.19	0.36	0.19	0.36	0.26	0.36
	x=0.39, s^E	0.12	0.33	0.23	0.12	0.33	0.12	0.33	0.27	0.33
	x=0.39, s^P	0.26	0.42	0.32	0.26	0.42	0.26	0.42	0.30	0.42
	x=0.50, s^E	0.09	0.30	0.19	0.10	0.28	0.10	0.28	0.22	0.30
	x=0.55	0.14	0.40	0.25	0.15	0.36	0.15	0.36	0.14	0.40
SrClF	0.08	0.51	0.29	0.08	0.10	0.50	0.50	0.10	0.08	
$\text{Sr}_4\text{LiKNb}_{10}\text{O}_{30}, s^E$	0.17	0.36	0.28	0.34	0.17	0.36	0.36	0.17	0.34	
TeO_2	-0.80	1.49	0.35	-0.18	-0.80	1.49	1.49	-0.80	-0.18	
	-0.85	1.55	0.35	-0.17	-0.85	1.55	1.55	-0.85	-0.17	
TlSe	-0.22	0.66	0.28	-0.22	-0.22	0.66	0.66	-0.22	-0.22	
	-0.18	0.49	0.18	-0.10	-0.10	0.45	0.45	-0.10	-0.10	
Sn	-0.03	0.80	0.36	0.10	-0.03	0.80	0.80	-0.03	0.10	
SnO_2	-0.11	0.62	0.30	-0.11	0.08	0.62	0.62	0.08	-0.11	
TiO_2	-0.03	0.68	0.29	-0.03	0.02	0.63	0.63	0.02	-0.03	
WSi_2	0.10	0.25	0.15	0.11	0.10	0.25	0.25	0.10	0.11	
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	-0.80	1.89	0.44	-0.17	-0.17	0.78	0.78	-0.17	-0.17	
	-0.98	1.73	0.37	-0.07	-0.07	0.53	0.53	-0.07	-0.07	
Vesuvian	0.20	0.26	0.23	0.20	0.22	0.26	0.26	0.22	0.20	
ZnF_2	-0.05	0.65	0.35	-0.05	0.12	0.65	0.65	0.12	-0.05	
	-0.05	0.66	0.35	-0.05	0.11	0.66	0.66	0.11	-0.05	
$\text{Zn}[\text{C}(\text{NH}_2)_3]_2(\text{SO}_4)_2$	-0.14	0.67	0.31	-0.14	-0.14	0.67	0.67	-0.14	-0.14	
$\alpha\text{-ZnP}_2$	0.08	0.38	0.26	0.08	0.08	0.36	0.36	0.08	0.08	
ZrSiO_4	0.07	0.62	0.30	0.07	0.07	0.42	0.42	0.07	0.07	
Zr_2Ni	0.10	0.81	0.42	0.11	0.15	0.74	0.74	0.15	0.11	

Табл. ПЗ Экстремальные модули Юнга для шестиконстантных тетрагональных кристаллов

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
Al ₂ Cu	84.7	136
	86.0	141
NH ₄ H ₂ AsO ₄	17.9	50.5
	18.3	51.8
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	13.4	40.5
NH ₄ H ₂ PO ₄	19.3	54.6
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	19.5	52.6
BaClF	30.6	69.7
BaLaGa ₃ O ₇	61.9	125
BaSi ₂ TiO ₈ , s ^E	76.8	138
	81.6	159
BaTiO ₃ , s ^E	63.7	201
	66.9	200
BaTiO ₃ , s ^D	92.6	246
	100	325
	105	253
CdGeAs ₂	37.2	104
	41.8	107
β-CdP ₂ (300K)	53.5	84.5
Ca ₂ Sr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	5.93	8.18
	5.81	8.53
CsH ₂ AsO ₄	6.39	51.5
CsNiF ₃	15.9	90.9
CoF ₂	50.3	156
CoPt	175	337
GeO ₂	218	465
In	5.10	21.9
	2.28	22.2
InBi	11.3	47.0
In-3.4 at% Cd	5.71	22.4
In-3.42 at% Cd	5.75	22.4
In-5 at% Pb	5.46	21.4
In-17 at% Pb	19.3	21.2
In-10 at% Tl	4.18	24.6
In-11.5 at% Tl	4.55	22.0
In-15 at% Tl	3.76	23.3
FeF ₂	46.1	138
FeGe ₂	18.5	209
La _{1.86} Sr _{0.14} CuO ₄	158	222
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^E	104	194

Табл. ПЗ (продолжение)

Кристалл		E_{min} , ГПа	E_{max} , ГПа
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^D		110	177
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E		124	260
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^D		127	253
Li ₂ B ₄ O ₇ , s ^E		41.7	130
LuAsO ₄		66.8	255
LuPO ₄		75.4	308
MgF ₂		79.4	188
MnF ₂		36.2	131
Hg ₂ Br ₂		2.21	65.8
Hg ₂ Cl ₂		2.78	66.7
HgI ₂		7.23	24.6
Hg ₂ I ₂		1.85	64.1
MoSi ₂		383	488
NiF ₂		58.1	190
α -NiSO ₄ ·6H ₂ O		15.4	43.4
		15.1	48.2
PdPb ₂		425	684
C(CH ₂ ONO ₂) ₄		7.19	13.6
KD ₂ AsO ₄		20.1	57.8
KD ₂ PO ₄		19.6	63.3
KH ₂ AsO ₄		21.6	61.0
KH ₂ PO ₄		20.6	67.1
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^E		84.7	172
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D		117	187
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^E		112	189
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D		144	202
RbD ₂ AsO ₄		12.7	40.5
RbH ₂ AsO ₄		13.6	43.9
RbH ₂ PO ₄		12.5	59.2
Scapolite		47.1	95.2
		66.3	114
AgGaS ₂		27.9	69.7
Ag ₂ SO ₄ ·4NH ₃		21.0	29.9
Na ₂ S·9H ₂ O		22.5	26.4
Stishovite		338	654
Sr _{1-x} Ba _x Nb ₂ O ₆	x=0.25	122	190
	x=0.39	131	174
	x=0.39, s ^E	99.0	188
	x=0.39, s ^P	128	192
	x=0.50, s ^E	108	185
	x=0.55	131	158

Табл. ПЗ (продолжение)

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
SrClF	52.9	84.4
$Sr_4LiKNb_{10}O_{30}$, s ^E	104	181
TeO ₂	8.55	108
	8.26	118
TlSe	24.3	37.2
	28.2	60.1
Sn	23.6	67.6
SnO ₂	135	368
TiO ₂	147	385
WSi ₂	403	529
(NH ₂) ₂ CO	1.64	19.1
	1.91	46.1
Vesuvian	132	147
ZnF ₂	54.9	154
	54.3	154
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂	13.7	30.6
α -ZnP ₂	85.4	124
ZrSiO ₄	156	400
Zr ₂ Ni	34.7	92.6

Табл. П4 Экстремальные и средние значения коэффициента Пуассона кристаллов орторомбической системы. Экстремумы коэффициента Пуассона при частных ориентациях.

Кристалл	v _{min}	v _{max}	⟨v⟩	при n ₁ =1		при n ₂ =1		при n ₃ =1	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
C ₁₀ H ₆ (CH ₂) ₂	0.03	0.53	0.30	0.04	0.35	0.03	0.40	0.24	0.32
	-0.28	0.43	0.13	-0.28	0.43	-0.28	0.35	0.29	0.35
(NH ₄) ₂ BeF ₄	0.18	0.44	0.31	0.36	0.37	0.23	0.28	0.31	0.35
	0.16	0.43	0.31	0.33	0.43	0.26	0.28	0.31	0.38
	0.16	0.43	0.31	0.33	0.43	0.31	0.38	0.26	0.28
NH ₄ HC ₂ O ₄ ·1/2H ₂ O	0.05	0.82	0.32	0.26	0.27	0.13	0.82	0.05	0.30
(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	0.20	0.71	0.33	0.24	0.44	0.23	0.71	0.20	0.33
NH ₄ B ₅ O ₈ ·4H ₂ O	-0.10	0.85	0.38	-0.02	0.72	0.06	0.85	-0.10	0.26
NH ₄ ClO ₄	0	0.65	0.32	0.28	0.59	0	0.65	0	0.45
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.18	0.44	0.32	0.28	0.42	0.26	0.34	0.29	0.33
	0.17	0.46	0.32	0.29	0.31	0.23	0.38	0.26	0.46
Al ₂ SiO ₅ (Andalusite)	0.10	0.42	0.25	0.20	0.26	0.18	0.26	0.22	0.42
CaSO ₄	-0.05	0.76	0.29	0.07	0.12	0.13	0.27	0.13	0.16
SbSI	0.02	0.54	0.27	0.11	0.24	0.23	0.28	0.16	0.44
	-0.01	0.54	0.26	0.13	0.21	0.20	0.24	0.21	0.41
CaCO ₃	-0.06	0.44	0.18	-0.06	0.44	0.18	0.23	-0.04	0.20
BaMnF ₄ , s ^E	-0.05	0.87	0.34	-0.05	0.87	-0.03	0.54	0.44	0.44
Ba ₂ NaNb ₅ O ₁₅ , s ^E	0.14	0.39	0.24	0.23	0.37	0.24	0.39	0.14	0.15
BaSO ₄	0.05	0.62	0.32	0.15	0.53	0.13	0.49	0.23	0.23
C ₁₄ H ₁₂ N ₂	-0.02	0.76	0.36	0.07	0.60	0.20	0.67	0.02	0.61
(C ₆ H ₅) ₂ CO	-0.02	0.55	0.30	-0.02	0.55	0.34	0.46	-0.01	0.33
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ BO ₃	-0.39	1.22	0.41	0.07	0.74	0.36	0.41	0.04	0.38
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO· CaCl ₂ ·2H ₂ O	-0.08	0.79	0.36	0.26	0.36	0.09	0.68	0.12	0.70
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO· (CH) ₂ (COOH) ₂	-0.05	0.91	0.39	0.21	0.33	0.07	0.22	0.21	0.42
(Mg,Fe)SiO ₃	0.10	0.39	0.25	0.20	0.39	0.19	0.33	0.19	0.22
Mg _{0.84} Fe _{0.16} SiO ₃	0.08	0.37	0.21	0.19	0.37	0.17	0.26	0.18	0.22
Mg _{0.8} Fe _{0.2} SiO ₃	0.08	0.39	0.21	0.17	0.39	0.15	0.28	0.17	0.21
CdSb	0.06	0.61	0.24	0.10	0.12	0.14	0.21	0.10	0.19
	0.09	0.52	0.31	0.27	0.33	0.29	0.39	0.28	0.31
Cd(COOH) ₂	-0.09	0.98	0.35	0.28	0.98	0.11	0.43	0.35	0.38
CaB ₂ Si ₂ O ₈	0.02	0.48	0.23	0.15	0.29	0.14	0.27	0.13	0.48
Ca(COOH) ₂	-0.23	0.81	0.31	0.37	0.80	0.09	0.46	0.18	0.41
CaPd(CN) ₄ ·5H ₂ O	0.07	0.71	0.36	0.28	0.37	0.31	0.62	0.14	0.21
C ₁₂ H ₉ N-C ₆ H ₃ (NO ₂) ₃ , s ^D	0.08	0.77	0.33	0.11	0.19	0.09	0.49	0.09	0.77
C ₆ H ₄ COOHCOOCs	-0.07	0.74	0.32	0.38	0.73	0.11	0.50	0.15	0.35
Cs ₂ SO ₄	0.23	0.35	0.29	0.32	0.33	0.30	0.33	0.28	0.29
CsSCN	0.01	0.78	0.37	0.23	0.47	0.01	0.40	0.01	0.78
BeAl ₂ O ₄	0.15	0.29	0.23	0.17	0.23	0.19	0.23	0.15	0.25
C ₆ H ₈ O ₇ ·H ₂ O	0	0.74	0.36	0	0.74	0.17	0.49	0	0.50

Табл. П4 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	⟨v⟩	при n ₁ =1		при n ₂ =1		при n ₃ =1	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{min}	v _{max}	v _{min}
CuCl ₂ ·2H ₂ O	-0.02	0.52	0.29	0.22	0.30	0.32	0.40	0.26	0.29
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	-0.70	1.43	0.40	-0.50	1.29	0.44	0.55	-0.70	1.43
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Danburite)	0.06	0.47	0.22	0.20	0.27	0.06	0.35	0.06	0.47
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Datolite)	0.08	0.39	0.23	0.18	0.39	0.13	0.31	0.19	0.21
C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	-0.01	0.60	0.28	0.01	0.55	0.10	0.57	0.02	0.27
MgSiO ₃	0.15	0.36	0.22	0.17	0.36	0.18	0.28	0.18	0.23
Fe ₂ SiO ₄	0.16	0.56	0.34	0.24	0.41	0.24	0.31	0.21	0.45
	0.14	0.55	0.33	0.18	0.48	0.26	0.30	0.15	0.46
Fe ₂ SiO ₄ (synthetic), s ^S	0.13	0.56	0.33	0.17	0.48	0.26	0.31	0.14	0.47
Gd ₂ (MoO ₄) ₃	-0.03	0.35	0.20	0.10	0.20	0.13	0.24	0.33	0.34
Ga	0.14	0.36	0.23	0.14	0.36	0.17	0.31	0.20	0.28
C ₅ H ₁₀ CINO ₄	0.05	0.61	0.28	0.20	0.42	0.06	0.58	0.12	0.61
[CN ₃ H ₆][C ₄ H ₆ NO ₄	-0.18	0.77	0.34	0.23	0.55	0.33	0.52	0.28	0.41
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₈ H ₄ O ₄	-0.28	0.94	0.39	0.39	0.55	0.24	0.58	0.31	0.53
In ₄ Se ₃	-0.06	0.73	0.26	0	0.47	0.01	0.34	0.22	0.73
HIO ₃	0	0.40	0.17	0.01	0.40	0.01	0.38	0.19	0.24
	-0.02	0.51	0.20	0.05	0.51	0.04	0.34	0.21	0.25
DIO ₃	-0.02	0.51	0.20	0.05	0.51	0.04	0.34	0.21	0.25
I	-0.48	1.31	0.30	0.30	0.53	-0.48	0.94	-0.37	1.31
Iododurene	-0.27	0.91	0.33	0.17	0.69	0.18	0.66	0.30	0.34
N-Isopropylcarbazole	-0.16	0.84	0.35	-0.16	0.82	0.31	0.55	-0.09	0.84
La ₂ CuO ₄	0.04	0.45	0.27	0.20	0.45	0.21	0.44	0.27	0.29
PbBr ₂	-0.19	0.90	0.36	0.09	0.55	0.11	0.47	0.35	0.51
PbCl ₂	0.01	0.65	0.34	0.19	0.41	0.24	0.44	0.34	0.39
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^E	0.12	0.48	0.27	0.15	0.32	0.15	0.27	0.20	0.23
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^D	0.15	0.28	0.22	0.16	0.22	0.15	0.24	0.24	0.27
CH ₃ COOLi·2H ₂ O	0.04	0.68	0.33	0.04	0.09	0.20	0.30	0.09	0.28
LiNH ₄ SO ₄	0.10	0.49	0.33	0.23	0.42	0.28	0.31	0.30	0.48
	0.10	0.52	0.35	0.37	0.48	0.22	0.51	0.21	0.37
LiNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0	0.58	0.28	0.09	0.27	0.32	0.48	0.08	0.35
	0.10	0.54	0.32	0.20	0.39	0.28	0.46	0.27	0.31
LiCsSO ₄	0.13	0.58	0.30	0.24	0.58	0.26	0.32	0.13	0.37
LiCOOH·H ₂ O, s ^E	0.10	0.64	0.31	0.10	0.19	0.23	0.50	0.15	0.64
Li ₂ Ge ₇ O ₁₅	0.16	0.49	0.28	0.25	0.30	0.19	0.20	0.20	0.23
	0.15	0.48	0.28	0.25	0.30	0.19	0.19	0.19	0.23
LiHSeO ₃	0.10	0.59	0.28	0.10	0.39	0.18	0.30	0.10	0.59
LiGaO ₂ , s ^E	-0.03	0.26	0.15	0.07	0.19	0.05	0.22	0.18	0.25
LiGaO ₂ , s ^D	0.01	0.25	0.14	0.08	0.15	0.07	0.17	0.15	0.21
Li ₂ GeO ₃ , s ^E	0.09	0.34	0.24	0.23	0.24	0.26	0.27	0.27	0.27
	0.09	0.34	0.24	0.23	0.25	0.25	0.28	0.26	0.26
	0.02	0.22	0.14	0.11	0.17	0.12	0.18	0.18	0.19
Li ₂ GeO ₃ , 293K, s ^E	0.09	0.34	0.25	0.20	0.26	0.22	0.30	0.28	0.30
Li ₂ GeO ₃ , 293K, s ^D	0.10	0.33	0.24	0.19	0.24	0.25	0.26	0.24	0.29
Li ₂ GeO ₃ + 4 at% Si, s ^E	-0.12	0.27	0.11	0.08	0.18	0.10	0.19	0.09	0.10

Табл. П4 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	при n ₁ =1		при n ₂ =1		при n ₃ =1	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
LiSiO ₃ , s ^E	0.03	0.36	0.22	0.21	0.25	0.23	0.25	0.22	0.25
LiTiC ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0.11	0.54	0.32	0.20	0.39	0.27	0.46	0.27	0.31
MgBaF ₄	0.13	0.54	0.27	0.16	0.45	0.15	0.20	0.25	0.54
MgSO ₄ ·7H ₂ O	-0.10	0.75	0.37	0.32	0.51	0.40	0.43	0.30	0.43
	-0.05	0.65	0.33	0.37	0.37	0.31	0.40	0.33	0.44
C ₆ N ₂ O ₃ H ₆	-0.91	1.05	0.20	-0.91	0.80	0.56	0.99	-0.46	0.71
Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ ·2H ₂ O	0.01	0.53	0.27	0.08	0.41	0.20	0.34	0.15	0.49
NiSO ₄ ·7H ₂ O	-0.09	0.69	0.33	0.36	0.40	0.33	0.39	0.33	0.44
Co ₂ SiO ₄	0.18	0.46	0.32	0.28	0.37	0.21	0.34	0.20	0.42
(Mg ₉₃ Fe ₇) ₂ SiO ₄	0.14	0.34	0.25	0.22	0.25	0.14	0.28	0.15	0.33
(Mg _{92.71} Fe _{7.24} Mn _{0.04}) ₂ SiO ₄	0.14	0.34	0.25	0.22	0.25	0.14	0.28	0.15	0.33
(Mg ₉₂ Fe ₈) ₂ SiO ₄	0.11	0.35	0.25	0.20	0.26	0.11	0.28	0.19	0.34
(Mg ₈₉ Fe ₁₁ Ca _{0.1} Ni _{0.4} Mn _{0.1}) ₂ SiO ₄	0.14	0.35	0.25	0.21	0.28	0.16	0.26	0.15	0.32
Mg ₂ GeO ₄	0.13	0.36	0.25	0.23	0.24	0.14	0.26	0.15	0.30
Ni ₂ SiO ₄	0.21	0.38	0.29	0.30	0.32	0.21	0.35	0.21	0.38
Orthoferrosiite	0.10	0.52	0.28	0.25	0.52	0.16	0.37	0.24	0.28
K ₂ Ba(NO ₂) ₄	0.21	0.50	0.32	0.22	0.31	0.21	0.28	0.40	0.41
C ₆ H ₄ COOHCOOK	0.06	0.56	0.28	0.37	0.50	0.06	0.38	0.06	0.56
K ₂ Cd ₂ (SO ₄) ₃	0.18	0.40	0.27	0.20	0.22	0.18	0.39	0.20	0.40
KHSO ₄	0.15	0.45	0.30	0.31	0.40	0.15	0.41	0.19	0.40
KNO ₃ (II)	0.18	0.47	0.31	0.32	0.42	0.29	0.29	0.19	0.25
KNO ₃	0.17	0.45	0.32	0.29	0.45	0.35	0.36	0.17	0.28
KB ₅ O ₈ ·4H ₂ O	0.06	0.82	0.38	0.26	0.46	0.14	0.82	0.06	0.61
K ₂ SeO ₄	0.13	0.50	0.29	0.17	0.40	0.17	0.34	0.26	0.30
K ₂ SO ₄	0.18	0.36	0.27	0.25	0.29	0.26	0.27	0.25	0.30
K ₂ ZnCl ₄	0.13	0.47	0.30	0.27	0.38	0.13	0.38	0.17	0.35
(Mg _{1.6} Li _{0.2} Sc _{0.2})Si ₂ O ₆	0.04	0.47	0.27	0.11	0.45	0.22	0.30	0.14	0.40
(CD) ₄ N ₂	0.00	0.71	0.27	0.00	0.58	0.21	0.43	0.00	0.27
C ₆ H ₄ (OH) ₂	-0.08	0.83	0.35	0.18	0.21	0.38	0.83	0.23	0.59
KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	-0.06	0.81	0.36	0.29	0.34	0.18	0.43	0.19	0.53
C ₆ H ₄ COOHCOORb	-0.04	0.74	0.34	0.37	0.65	0.16	0.40	0.13	0.58
	-0.12	0.59	0.24	0.34	0.55	0.01	0.42	0.01	0.50
RbHSO ₄	0.07	0.59	0.31	0.15	0.37	0.07	0.49	0.07	0.21
Rb ₂ SO ₄	0.23	0.32	0.28	0.27	0.31	0.27	0.29	0.27	0.30
Rb ₂ ZnBr ₄	0.20	0.47	0.32	0.27	0.32	0.24	0.34	0.31	0.37
Rb ₂ ZnCl ₄	0.16	0.51	0.31	0.22	0.31	0.22	0.34	0.31	0.33
	0.16	0.52	0.32	0.24	0.35	0.19	0.40	0.27	0.39
Al ₂ SiO ₅ (Silimanite)	0.07	0.65	0.28	0.07	0.36	0.23	0.36	0.08	0.65
AgNO ₃	0.14	0.64	0.40	0.19	0.54	0.23	0.64	0.48	0.49
AgTlSe	-0.42	1.07	0.39	-0.42	1.06	-0.32	1.00	0.52	0.64
NaNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	-0.08	0.92	0.38	0.16	0.61	0.13	0.24	0.14	0.92
	0.01	0.83	0.41	0.27	0.39	0.40	0.40	0.39	0.55
Na ₂ CoGeO ₄ , s ^D	-0.03	0.73	0.36	0.20	0.63	0.29	0.52	0.24	0.44
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.05	0.60	0.29	0.16	0.34	0.28	0.33	0.33	0.59

Табл. П4 (продолжение)

Кристалл	V _{min}	V _{max}	<v>	при n ₁ =1		при n ₂ =1		при n ₃ =1	
				V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}
NaBF ₄ (293K)	-0.05	0.71	0.29	-0.01	0.34	0.21	0.26	-0.01	0.37
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	-0.02	0.57	0.28	0.28	0.35	0.19	0.44	0.16	0.30
NaNO ₂	0.09	0.64	0.32	0.17	0.21	0.15	0.33	0.16	0.44
Na ₂ SO ₄	0.08	0.46	0.29	0.24	0.32	0.12	0.34	0.08	0.29
Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ ·2H ₂ O	-0.05	0.88	0.40	0.31	0.32	0.34	0.38	0.41	0.44
(Fe,Mg) ₂ (Al,Fe ⁺³) ₉ O ₆ SiO ₄ (O,OH) ₂	-0.20	0.95	0.32	0.19	0.25	0.04	0.85	0.05	0.68
Sr(COOH) ₂	0.04	0.62	0.29	0.09	0.59	0.16	0.62	0.20	0.33
Sr(COOH) ₂ ·2H ₂ O	-0.39	0.28	0.03	-0.39	0.28	0.06	0.26	-0.35	0.06
	0.13	0.50	0.32	0.24	0.44	0.26	0.49	0.27	0.27
SrSO ₄	0.10	0.66	0.38	0.17	0.63	0.18	0.64	0.32	0.35
α-S	0.10	0.61	0.35	0.18	0.49	0.18	0.42	0.43	0.50
	0.08	0.61	0.24	0.10	0.18	0.12	0.41	0.09	0.61
Te ₂ V ₂ O ₉ , s ^E	0.04	0.44	0.20	0.06	0.20	0.16	0.20	0.06	0.24
Mn ₂ SiO ₄	0.21	0.44	0.31	0.30	0.36	0.21	0.35	0.22	0.44
TbF ₃	-0.02	0.62	0.33	0.36	0.62	-0.02	0.59	-0.01	0.53
Tb ₂ (MoO ₄) ₃ , s ^E	-0.01	0.57	0.26	0.12	0.21	0.12	0.42	0.28	0.57
C ₁₀ H ₁₈ (OH) ₂ ·H ₂ O	0.17	0.58	0.31	0.25	0.34	0.18	0.22	0.26	0.42
[N(CH ₃) ₄] ₂ ZnCl ₄	0.09	0.56	0.35	0.09	0.55	0.33	0.44	0.12	0.53
TiNO ₃	0.17	0.54	0.34	0.26	0.29	0.19	0.54	0.21	0.51
C ₈ H ₄ O ₄ HTI	-0.24	0.77	0.29	0.43	0.47	-0.24	0.77	-0.22	0.64
Tl ₂ SO ₄	0.19	0.50	0.36	0.28	0.50	0.25	0.49	0.32	0.35
SC(NH ₂) ₂	-0.28	1.00	0.36	0.07	0.39	0.21	0.23	0.11	0.58
SC(NH ₂) ₂ (293K)	-0.37	1.07	0.36	0.02	0.37	0.07	0.27	0.13	0.53
Sn-38.1 wt% Pb	0.33	0.40	0.36	0.36	0.37	0.36	0.37	0.33	0.35
C ₆ H ₃ Cl ₃	0.07	0.46	0.27	0.29	0.35	0.29	0.42	0.20	0.36
Ni ₃ B	-0.04	0.65	0.34	0.39	0.40	0.25	0.45	0.27	0.47
C ₂₄ H ₁₈	-0.06	0.77	0.34	0.22	0.24	0.18	0.48	0.20	0.47
(CH ₃ NHCH ₂ COOH) ₃ ·CaCl ₂	-0.48	0.76	0.22	-0.07	0.52	0.32	0.76	-0.15	0.49
Al ₂ (F,OH) ₂ SiO ₄	0.07	0.39	0.22	0.19	0.31	0.19	0.39	0.17	0.22
α-U	-0.02	0.54	0.20	-0.02	0.24	0.18	0.39	-0.02	0.54
(Fe,Mn)WO ₄	0.02	0.69	0.33	0.22	0.41	0.16	0.40	0.24	0.34
ZnSb	0.04	0.46	0.26	0.22	0.33	0.22	0.26	0.19	0.34
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	-0.15	0.71	0.27	0.12	0.37	0.16	0.29	0.17	0.30
	-0.04	0.66	0.34	0.27	0.44	0.22	0.48	0.36	0.47

Табл. П5 Экстремальные и осредненные значения коэффициента Пуассона орторомбических кристаллов. Экстремумы при частных ориентациях более общего вида

Кристалл	V _{min}	V _{max}	<v>	при n ₁ =0		при n ₂ =0		при n ₃ =0	
				V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}
C ₁₀ H ₆ (CH ₂) ₂	0.03	0.53	0.30	0.03	0.48	0.04	0.43	0.03	0.53
	-0.28	0.43	0.13	-0.28	0.35	-0.28	0.43	-0.28	0.43
(NH ₄) ₂ BeF ₄	0.18	0.44	0.31	0.21	0.35	0.29	0.44	0.23	0.37
	0.16	0.43	0.31	0.19	0.38	0.31	0.43	0.20	0.43
	0.16	0.43	0.31	0.19	0.38	0.20	0.43	0.31	0.43
NH ₄ HC ₂ O ₄ ·1/2H ₂ O	0.05	0.82	0.32	0.05	0.82	0.05	0.31	0.13	0.82
(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	0.20	0.71	0.33	0.20	0.71	0.20	0.44	0.23	0.71
NH ₄ B ₅ O ₈ ·4H ₂ O	-0.10	0.85	0.38	-0.10	0.85	-0.10	0.72	-0.02	0.85
NH ₄ ClO ₄	0	0.65	0.32	0	0.65	0	0.59	0	0.65
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.18	0.44	0.32	0.22	0.35	0.28	0.42	0.26	0.42
	0.17	0.46	0.32	0.23	0.46	0.26	0.46	0.19	0.38
Al ₂ SiO ₅ (Andalusite)	0.10	0.42	0.25	0.18	0.42	0.20	0.42	0.10	0.26
CaSO ₄	-0.05	0.76	0.29	0.09	0.44	0.07	0.35	0.05	0.76
SbSI	0.02	0.54	0.27	0.04	0.44	0.11	0.44	0.11	0.49
	-0.01	0.54	0.26	0.03	0.41	0.13	0.41	0.11	0.48
CaCO ₃	-0.06	0.44	0.18	-0.04	0.23	-0.06	0.44	-0.06	0.44
BaMnF ₄ , s ^E	-0.05	0.87	0.34	-0.03	0.54	-0.05	0.87	-0.05	0.87
Ba ₂ NaNb ₅ O ₁₅ , s ^E	0.14	0.39	0.24	0.14	0.39	0.14	0.37	0.23	0.39
BaSO ₄	0.05	0.62	0.32	0.13	0.55	0.15	0.53	0.13	0.53
C ₁₄ H ₁₂ N ₂	-0.02	0.76	0.36	0.02	0.67	0.02	0.61	0.07	0.71
(C ₆ H ₅) ₂ CO	-0.02	0.55	0.30	-0.01	0.46	-0.02	0.55	-0.02	0.55
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ BO ₃	-0.39	1.22	0.41	0.03	0.88	0.04	0.74	0.07	0.74
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·CaCl ₂ ·2H ₂ O	-0.08	0.79	0.36	0.09	0.70	-0.08	0.79	0.09	0.68
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·(CH) ₂ (COOH) ₂	-0.05	0.91	0.39	0.05	0.70	0.17	0.60	0.04	0.87
(Mg,Fe)SiO ₃	0.10	0.39	0.25	0.10	0.33	0.19	0.39	0.19	0.39
Mg _{0.84} Fe _{0.16} SiO ₃	0.08	0.37	0.21	0.08	0.27	0.18	0.37	0.17	0.37
Mg _{0.8} Fe _{0.2} SiO ₃	0.08	0.39	0.21	0.08	0.28	0.17	0.39	0.15	0.39
CdSb	0.06	0.61	0.24	0.06	0.61	0.10	0.19	0.09	0.44
	0.09	0.52	0.31	0.25	0.48	0.14	0.39	0.27	0.39
Cd(COOH) ₂	-0.09	0.98	0.35	-0.08	0.54	0.28	0.98	-0.01	0.98
CaB ₂ Si ₂ O ₈	0.02	0.48	0.23	0.13	0.48	0.13	0.48	0.02	0.30
Ca(COOH) ₂	-0.23	0.81	0.31	-0.09	0.55	0.18	0.81	-0.23	0.80
CaPd(CN) ₄ ·5H ₂ O	0.07	0.71	0.36	0.13	0.69	0.13	0.52	0.27	0.62
C ₁₂ H ₉ N-C ₆ H ₃ (NO ₂) ₃ , s ^D	0.08	0.77	0.33	0.09	0.77	0.09	0.77	0.09	0.49
C ₆ H ₄ COOHCOOCs	-0.07	0.74	0.32	-0.07	0.54	0.14	0.74	0.11	0.73
Cs ₂ SO ₄	0.23	0.35	0.29	0.23	0.33	0.23	0.34	0.27	0.35
CsSCN	0.01	0.78	0.37	0.01	0.78	0.01	0.78	0.01	0.51
BeAl ₂ O ₄	0.15	0.29	0.23	0.15	0.29	0.15	0.29	0.17	0.28
C ₆ H ₈ O ₇ ·H ₂ O	0	0.74	0.36	0	0.51	0	0.74	0	0.74
CuCl ₂ ·2H ₂ O	-0.02	0.52	0.29	0.24	0.47	0.22	0.32	-0.02	0.49
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	-0.70	1.43	0.40	-0.70	1.43	-0.70	1.43	-0.52	1.29
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Danburite)	0.06	0.47	0.22	0.06	0.47	0.06	0.47	0.06	0.35

Табл. П5 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	⟨v⟩	при n ₁ =0		при n ₂ =0		при n ₃ =0	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Datolite)	0.08	0.39	0.23	0.13	0.34	0.18	0.39	0.08	0.39
C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	-0.01	0.60	0.28	0.02	0.57	0.01	0.55	0.01	0.57
MgSiO ₃	0.15	0.36	0.22	0.15	0.28	0.17	0.36	0.17	0.36
Fe ₂ SiO ₄	0.16	0.56	0.34	0.16	0.56	0.21	0.45	0.24	0.41
	0.14	0.55	0.33	0.14	0.55	0.15	0.48	0.18	0.48
Fe ₂ SiO ₄ (synthetic), s ^S	0.13	0.56	0.33	0.13	0.56	0.14	0.48	0.17	0.48
Mg ₂ SiO ₄	0.14	0.33	0.24	0.14	0.33	0.14	0.32	0.15	0.27
Gd ₂ (MoO ₄) ₃	-0.03	0.35	0.20	0.13	0.34	0.10	0.34	-0.03	0.26
Ga	0.14	0.36	0.23	0.17	0.31	0.14	0.36	0.14	0.36
C ₅ H ₁₀ ClNO ₄	0.05	0.61	0.28	0.05	0.61	0.12	0.61	0.06	0.58
[CN ₃ H ₆]C ₄ H ₆ NO ₄	-0.18	0.77	0.34	0.12	0.59	-0.18	0.77	0.23	0.55
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₈ H ₄ O ₄	-0.28	0.94	0.39	0.10	0.69	0.07	0.76	-0.28	0.94
In ₄ Se ₃	-0.06	0.73	0.26	0.01	0.73	0	0.73	-0.06	0.47
HIO ₃	0	0.40	0.17	0	0.38	0.01	0.40	0.01	0.40
	-0.02	0.51	0.20	-0.02	0.34	0.05	0.51	0.04	0.51
DIO ₃	-0.02	0.51	0.20	-0.02	0.34	0.05	0.51	0.04	0.51
I	-0.48	1.31	0.30	-0.48	1.31	-0.41	1.31	-0.48	0.94
Iododurene	-0.27	0.91	0.33	-0.17	0.82	-0.27	0.91	0.05	0.69
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	-0.16	0.84	0.35	-0.09	0.84	-0.16	0.84	-0.16	0.82
La ₂ CuO ₄	0.04	0.45	0.27	0.15	0.45	0.14	0.45	0.04	0.45
PbBr ₂	-0.19	0.90	0.36	0.11	0.51	0.04	0.55	0.09	0.58
PbCl ₂	0.01	0.65	0.34	0.24	0.45	0.04	0.44	0.19	0.53
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^E	0.12	0.48	0.26	0.13	0.44	0.12	0.48	0.15	0.32
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^D	0.15	0.28	0.22	0.15	0.27	0.16	0.28	0.15	0.24
CH ₃ COOLi·2H ₂ O	0.04	0.68	0.33	0.07	0.64	0.04	0.68	0.04	0.65
LiNH ₄ SO ₄	0.10	0.49	0.32	0.19	0.49	0.23	0.48	0.10	0.45
	0.10	0.52	0.35	0.10	0.52	0.21	0.48	0.22	0.51
LiNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0.00	0.58	0.28	0.08	0.48	0.08	0.43	0.05	0.48
	0.11	0.54	0.32	0.26	0.46	0.18	0.50	0.17	0.47
LiCsSO ₄	0.13	0.58	0.30	0.13	0.37	0.13	0.58	0.20	0.58
LiCOOH·H ₂ O, s ^E	0.10	0.64	0.31	0.15	0.64	0.10	0.64	0.10	0.50
Li ₂ Ge ₇ O ₁₅	0.16	0.49	0.28	0.19	0.29	0.16	0.49	0.16	0.47
	0.15	0.48	0.28	0.18	0.27	0.15	0.48	0.16	0.47
LiHSeO ₃	0.10	0.59	0.28	0.10	0.59	0.10	0.59	0.10	0.39
LiGaO ₂ , s ^E	-0.03	0.26	0.15	0.05	0.25	0.07	0.26	-0.03	0.23
LiGaO ₂ , s ^D	0.01	0.25	0.14	0.07	0.21	0.08	0.25	0.01	0.18
Li ₂ GeO ₃ , s ^E	0.09	0.34	0.24	0.22	0.28	0.09	0.31	0.23	0.29
	0.09	0.34	0.24	0.22	0.28	0.09	0.31	0.23	0.31
	0.02	0.22	0.14	0.12	0.19	0.02	0.19	0.11	0.18
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^E	0.09	0.34	0.24	0.22	0.30	0.09	0.32	0.20	0.30
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^D	0.10	0.33	0.24	0.24	0.29	0.10	0.30	0.19	0.29
Li ₂ GeO ₃ + 4 at% Si, s ^E	-0.12	0.27	0.11	0.05	0.19	-0.12	0.18	0.08	0.27
Li ₂ SiO ₃ , s ^E	0.03	0.36	0.22	0.18	0.26	0.03	0.28	0.21	0.32
LiTiC ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0.11	0.54	0.32	0.26	0.46	0.18	0.49	0.17	0.47
MgBaF ₄	0.13	0.54	0.27	0.15	0.54	0.16	0.54	0.15	0.45

Табл. П5 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	при n ₁ =0		при n ₂ =0		при n ₃ =0	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
MgSO ₄ ·7H ₂ O	-0.10	0.75	0.37	0.30	0.45	-0.10	0.75	0.32	0.51
	-0.05	0.65	0.33	0.30	0.44	-0.05	0.65	0.19	0.47
C ₆ N ₂ O ₃ H ₆	-0.91	1.05	0.20	-0.57	0.99	-0.91	0.80	-0.91	1.05
Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ ·2H ₂ O	0.01	0.53	0.27	0.15	0.49	0.08	0.49	0.01	0.41
NiSO ₄ ·7H ₂ O	-0.09	0.69	0.33	0.24	0.44	-0.09	0.69	0.17	0.49
Co ₂ SiO ₄	0.18	0.46	0.32	0.18	0.46	0.20	0.42	0.21	0.37
(Mg ₉₃ Fe ₇) ₂ SiO ₄	0.14	0.34	0.25	0.14	0.34	0.15	0.33	0.14	0.28
(Mg _{92.71} Fe _{7.24} Mn _{0.04}) ₂ SiO ₄	0.14	0.34	0.25	0.14	0.34	0.15	0.33	0.14	0.28
(Mg ₉₂ Fe ₈) ₂ SiO ₄	0.11	0.35	0.25	0.11	0.35	0.19	0.34	0.11	0.28
(Mg ₈₉ Fe ₁₁ Ca _{0.1} Ni _{0.4} Mn _{0.1}) ₂ SiO ₄	0.14	0.35	0.25	0.14	0.35	0.15	0.32	0.16	0.28
Mg ₂ GeO ₄	0.13	0.36	0.25	0.13	0.36	0.15	0.36	0.14	0.28
Ni ₂ SiO ₄	0.21	0.38	0.29	0.21	0.38	0.21	0.38	0.21	0.35
Orthoferrosiite	0.10	0.52	0.28	0.10	0.37	0.23	0.52	0.16	0.52
K ₂ Ba(NO ₂) ₄	0.21	0.50	0.32	0.21	0.50	0.22	0.47	0.21	0.31
C ₆ H ₄ COOHCOOK	0.06	0.56	0.28	0.06	0.56	0.06	0.56	0.06	0.51
K ₂ Cd ₂ (SO ₄) ₃	0.18	0.40	0.27	0.18	0.40	0.20	0.40	0.18	0.39
KHSO ₄	0.15	0.45	0.30	0.15	0.41	0.19	0.40	0.15	0.41
KNO ₃ (II)	0.18	0.47	0.31	0.19	0.30	0.18	0.47	0.29	0.42
KNO ₃	0.17	0.45	0.32	0.17	0.36	0.17	0.45	0.29	0.45
KB ₅ O ₈ ·4H ₂ O	0.06	0.82	0.38	0.06	0.82	0.06	0.61	0.14	0.82
K ₂ SeO ₄	0.13	0.50	0.29	0.16	0.50	0.17	0.40	0.17	0.40
K ₂ SO ₄	0.18	0.36	0.27	0.21	0.30	0.24	0.30	0.24	0.35
K ₂ ZnCl ₄	0.13	0.47	0.30	0.13	0.38	0.17	0.41	0.13	0.47
(Mg _{1.6} Li _{0.2} Sc _{0.2})Si ₂ O ₆	0.04	0.47	0.27	0.10	0.40	0.11	0.45	0.11	0.45
(CD) ₄ N ₂	0	0.71	0.27	0	0.43	0	0.58	0	0.71
C ₆ H ₄ (OH) ₂	-0.08	0.83	0.35	0.23	0.83	-0.08	0.61	0.07	0.83
KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	-0.06	0.81	0.36	0.18	0.53	0.11	0.75	0.18	0.43
C ₆ H ₄ COOHCOORb	-0.04	0.74	0.34	-0.04	0.63	0.13	0.65	0.02	0.74
	-0.12	0.59	0.24	-0.12	0.53	0.01	0.55	0.01	0.59
RbHSO ₄	0.07	0.59	0.31	0.07	0.57	0.07	0.52	0.07	0.49
Rb ₂ SO ₄	0.23	0.32	0.28	0.24	0.30	0.26	0.31	0.27	0.31
Rb ₂ ZnBr ₄	0.20	0.47	0.32	0.24	0.37	0.27	0.37	0.20	0.47
Rb ₂ ZnCl ₄	0.16	0.51	0.31	0.22	0.35	0.22	0.34	0.16	0.51
	0.16	0.52	0.32	0.19	0.40	0.24	0.39	0.16	0.52
Al ₂ SiO ₅	0.07	0.65	0.28	0.08	0.65	0.07	0.65	0.07	0.36
AgNO ₃	0.14	0.64	0.40	0.23	0.64	0.19	0.54	0.15	0.64
AgTlSe	-0.42	1.07	0.39	-0.32	1.00	-0.42	1.06	-0.42	1.07
NaNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	-0.08	0.92	0.38	0.13	0.92	0.07	0.92	0.13	0.61
	0	0.83	0.41	0.33	0.56	0.16	0.73	0.27	0.42
Na ₂ CoGeO ₄ , s ^D	-0.03	0.73	0.36	0.24	0.52	-0.03	0.73	0.18	0.63
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.05	0.60	0.29	0.19	0.60	0.05	0.59	0.16	0.34
NaBF ₄ (293K)	-0.05	0.71	0.29	-0.01	0.37	-0.01	0.69	-0.01	0.37
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	-0.02	0.57	0.28	0.15	0.44	0.02	0.38	0.17	0.55
NaNO ₂	0.09	0.64	0.32	0.15	0.45	0.13	0.46	0.09	0.64
Na ₂ SO ₄	0.08	0.46	0.29	0.08	0.46	0.08	0.42	0.12	0.40

Табл. П5 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	⟨v⟩	при n ₁ =0		при n ₂ =0		при n ₃ =0	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ ·2H ₂ O	-0.05	0.88	0.40	0.34	0.44	0.13	0.78	0.31	0.39
(Fe,Mg) ₂ (Al,Fe ⁺³) ₉ O ₆ SiO ₄ (O,OH) ₂	-0.20	0.95	0.32	0.04	0.85	-0.15	0.74	-0.20	0.95
Sr(COOH) ₂	0.04	0.62	0.29	0.11	0.62	0.04	0.60	0.09	0.62
Sr(COOH) ₂ ·2H ₂ O	-0.39	0.28	0.03	-0.35	0.26	-0.39	0.28	-0.39	0.28
	0.13	0.50	0.32	0.20	0.49	0.24	0.44	0.24	0.49
SrSO ₄	0.10	0.66	0.38	0.18	0.64	0.15	0.63	0.17	0.64
α-S	0.10	0.61	0.35	0.18	0.53	0.18	0.53	0.18	0.49
	0.08	0.61	0.24	0.09	0.61	0.10	0.61	0.10	0.41
Te ₂ V ₂ O ₉ , s ^E	0.04	0.44	0.20	0.06	0.24	0.06	0.44	0.06	0.21
Mn ₂ SiO ₄	0.21	0.44	0.31	0.21	0.44	0.22	0.44	0.21	0.36
TbF ₃	-0.02	0.62	0.33	-0.02	0.59	-0.01	0.62	-0.02	0.62
Tb ₂ (MoO ₄) ₃ , s ^E	-0.01	0.57	0.26	0.12	0.57	0.12	0.57	-0.01	0.42
C ₁₀ H ₁₈ (OH ₂)·H ₂ O	0.17	0.58	0.31	0.18	0.44	0.17	0.58	0.18	0.34
[N(CH ₃) ₄] ₂ ZnCl ₄	0.09	0.56	0.35	0.12	0.56	0.09	0.55	0.09	0.55
TlNO ₃	0.17	0.54	0.34	0.19	0.54	0.21	0.51	0.19	0.54
C ₈ H ₄ O ₄ HTl	-0.24	0.77	0.29	-0.24	0.77	-0.22	0.64	-0.24	0.77
Tl ₂ SO ₄	0.19	0.50	0.36	0.19	0.50	0.24	0.50	0.25	0.50
SC(NH ₂) ₂	-0.28	1.00	0.36	0.11	0.61	0.07	0.58	0.06	0.83
SC(NH ₂) ₂ (293K)	-0.37	1.07	0.36	0.07	0.63	0.02	0.53	0.02	0.84
Sn-38.1 wt% Pb	0.33	0.40	0.36	0.33	0.40	0.33	0.39	0.36	0.38
C ₆ H ₃ Cl ₃	0.07	0.46	0.27	0.11	0.46	0.07	0.36	0.18	0.42
Ni ₃ B	-0.04	0.65	0.34	-0.04	0.65	0.27	0.47	0.16	0.48
C ₂₄ H ₁₈	-0.06	0.77	0.34	0.03	0.57	0.10	0.70	0.15	0.51
(CH ₃ NHCH ₂ COOH) ₃ ·CaCl ₂	-0.48	0.76	0.22	-0.15	0.76	-0.48	0.68	-0.11	0.76
Al ₂ (F,OH) ₂ SiO ₄	0.07	0.39	0.22	0.17	0.39	0.07	0.32	0.19	0.39
α-U	-0.02	0.54	0.20	-0.02	0.54	-0.02	0.54	-0.02	0.39
(Fe,Mn)WO ₄	0.02	0.69	0.33	0.16	0.40	0.22	0.41	0.10	0.67
ZnSb	0.04	0.46	0.26	0.19	0.41	0.09	0.34	0.20	0.33
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	-0.15	0.71	0.27	0.11	0.64	0.12	0.37	0.10	0.37
	-0.04	0.66	0.34	0.22	0.48	-0.04	0.66	0.16	0.51

Табл. П6 Экстремальные значения модуль Юнга орторомбических кристаллов

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
$C_{10}H_6(CH_2)_2$	5.64	12.3
	7.52	10.1
$(NH_4)_2BeF_4$	17.1	22.9
	16.6	26.4
	16.6	26.5
$NH_4HC_2O_4 \cdot 1/2H_2O$	10.5	61.0
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	14.8	33.0
$NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$	6.85	50.7
NH_4ClO_4	12.5	26.3
$(NH_4)_2SO_4$	20.3	26.2
	19.9	26.4
Al_2SiO_5 (Andalusite)	188	310
$CaSO_4$	32.4	175
SbSI	17.8	49.1
	17.5	49.9
$CaCO_3$	66.3	144
$BaMnF_4$, s^E	29.9	90.1
$Ba_2NaNb_5O_{15}$, s^E	120	204
$BaSO_4$	36.5	92.6
$C_{14}H_{12}N_2$	2.84	11.0
$(C_6H_5)_2CO$	4.22	9.50
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	1.85	18.3
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	7.63	23.6
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot (CH)_2(COOH)_2$	2.92	37.0
$(Mg,Fe)SiO_3$	129	159
$Mg_{0.84}Fe_{0.16}SiO_3$	139	199
$Mg_{0.8}Fe_{0.2}SiO_3$	134	197
CdSb	40.6	89.3
	41.8	64.9
$Cd(COOH)_2$	8.06	33.3
$CaB_2Si_2O_8$	117	210
$Ca(COOH)_2$	11.8	47.8
$CaPd(CN)_4 \cdot 5H_2O$	9.79	43.5
$C_{12}H_9N-C_6H_3(NO_2)_3$, s^D	4.47	11.4
$C_6H_4COOHCOOCs$	7.09	15.1
Cs_2SO_4	27.5	34.2
$CsSCN$	6.38	21.1
$BeAl_2O_4$	365	479
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	8.61	26.4
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	18.0	34.7
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	22.3	167
$CaB_2Si_2O_8$ (Danburite)	103	183
$CaB_2Si_2O_8$ (Datolite)	97.9	201
$C_6H_4(NO_2)_2$	5.68	19.4

Табл. П6 (продолжение)

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
MgSiO ₃	148	202
Fe ₂ SiO ₄	99.1	204
	95.8	208
Fe ₂ SiO ₄ (synthetic), s ^S	95.1	208
Mg ₂ SiO ₄	171	297
Gd ₂ (MoO ₄) ₃	49.8	83.3
Ga	71.4	118
C ₅ H ₁₀ CINO ₄	9.90	30.3
[CN ₃ H ₆]C ₄ H ₆ NO ₄	11.9	24.2
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₈ H ₄ O ₄	3.61	10.9
In ₄ Se ₃	23.8	62.7
	23.8	49.5
HIO ₃	23.8	49.3
DIO ₃	23.9	49.5
I	3.05	30.8
Iododuren	2.79	9.28
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	2.39	8.15
La ₂ CuO ₄	116	202
PbBr ₂	10.1	38.7
PbCl ₂	17.9	42.9
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^E	87.3	146
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^D	144	165
CH ₃ COOLi·2H ₂ O	11.6	53.8
LiNH ₄ SO ₄	26.2	36.5
	28.3	36.1
LiNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	19.1	49.1
	21.2	41.8
LiCsSO ₄	24.5	51.5
LiCOOH·H ₂ O, s ^E	13.7	38.7
Li ₂ Ge ₇ O ₁₅	95.6	165
	95.3	165
LiHSeO ₃	20.8	57.8
LiGaO ₂ , s ^E	110	139
LiGaO ₂ , s ^D	114	141
Li ₂ GeO ₃ , s ^E	95.1	126
	95.6	126
	93.5	121
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^D	95.2	126
	98.0	132
Li ₂ GeO ₃ + 4 at% Si, s ^E	89.9	123
Li ₂ SiO ₃ , s ^E	108	154
LiTiC ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	21.3	41.8
MgBaF ₄	61.9	129

Табл. П6 (продолжение)

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	16.1	29.1
	16.1	29.7
$C_6N_2O_3H_6$	3.51	19.6
$Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$	48.1	116
$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	16.4	31.6
Co_2SiO_4	133	240
$(Mg_{93}Fe_7)_2SiO_4$	167	291
$(Mg_{92.71}Fe_{7.24}Mn_{0.04})_2SiO_4$	167	291
$(Mg_{92}Fe_8)_2SiO_4$	170	292
$(Mg_{89}Fe_{11}Ca_{0.1}Ni_{0.4}Mn_{0.1})_2SiO_4$	162	286
Mg_2GeO_4	153	283
Ni_2SiO_4	175	270
Orthoferrosiite	96.2	145
$K_2Ba(NO_2)_4$	23.5	50.1
$C_6H_4COOHCOOK$	9.62	17.8
$K_2Cd_2(SO_4)_3$	54.4	64.1
$KHSO_4$	21.9	45.5
KNO_3 (II)	14.9	26.3
KNO_3	14.4	26.4
$KB_5O_8 \cdot 4H_2O$	10.2	43.1
K_2SeO_4	24.7	40.3
K_2SO_4	38.4	47.4
K_2ZnCl_4	13.3	20.8
$(Mg_{1.6}Li_{0.2}Sc_{0.2})Si_2O_6$	114	214
$(CD)_4N_2$	4.46	19.2
$C_6H_4(OH)_2$	5.26	10.9
$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	10.6	30.8
$C_6H_4COOHCOORb$	7.04	16.3
	6.99	15.0
$RbHSO_4$	14.3	32.6
Rb_2SO_4	36.9	40.7
Rb_2ZnBr_4	10.0	16.9
Rb_2ZnCl_4	11.1	22.2
	10.9	21.9
Al_2SiO_5 (Silimanite)	153	325
$AgNO_3$	11.3	29.2
$AgTlSe$	9.17	49.6
$NaNH_4C_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	10.3	27.0
	10.4	28.2
Na_2CoGeO_4, s^D	40.2	85.2
$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	16.7	38.1
$NaBF_4$ (293K)	13.9	51.7
Na_2GeO_3, s^E	54.5	94.7
$NaNO_2$	15.9	54.1

Табл. П6 (продолжение)

Кристалл	E_{\min} , ГПа	E_{\max} , ГПа
Na_2SO_4	42.6	93.5
$\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11.0	37.9
$(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O}, \text{OH})_2$	57.8	313
$\text{Sr}(\text{COOH})_2$	19.3	43.1
$\text{Sr}(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	22.9	39.6
	22.8	39.1
SrSO_4	39.0	87.7
α -S	11.5	33.3
	9.01	19.3
$\text{Te}_2\text{V}_2\text{O}_9$, s^E	50.8	85.5
Mn_2SiO_4	116	198
TbF_3	85.1	166
$\text{Tb}_2(\text{MoO}_4)_3$, s^E	54.9	78.6
$\text{C}_{10}\text{H}_{18}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6.89	11.6
$[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_2\text{ZnCl}_4$	5.62	9.69
TlNO_3	17.6	32.9
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4\text{HTl}$	6.67	14.7
Tl_2SO_4	21.0	28.2
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	2.39	23.8
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ (293K)	2.09	24.6
Sn-38.1 wt% Pb	38.3	43.7
$\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	5.41	8.84
Ni_3B	150	259
$\text{C}_{24}\text{H}_{18}$	3.22	13.1
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	12.6	44.9
$\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$	226	318
α -U	149	288
$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	68.0	190
ZnSb	59.8	101
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	16.1	48.8
	15.6	30.0

Табл. П7 Экстремальные и осредненные значения коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных моноклинных кристаллов

Кристалл	V _{min}	V _{max}	<v>	v при n ₁ = 1		v при n ₂ = 1		v при n ₃ = 1		
				V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}	V _{min}	V _{max}	
NaFeSi ₂ O ₆	0.11	0.48	0.28	0.23	0.33	0.11	0.36	0.16	0.31	
Aegirite-augite	-0.01	0.64	0.29	0.15	0.42	-0.01	0.53	0.26	0.29	
NaAlSi ₃ O ₈	0.01	0.67	0.29	0.22	0.26	0.01	0.49	0.06	0.46	
Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.16	0.67	0.33	0.23	0.50	0.21	0.32	0.23	0.62	
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	0.05	0.57	0.29	0.21	0.27	0.11	0.51	0.09	0.31	
Anthracene-tetracyanobenzene	-1.03	1.86	0.39	0.36	0.61	-0.26	0.38	-0.16	0.41	
Augite	-0.10	0.53	0.23	0.26	0.33	-0.10	0.41	0.04	0.36	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ AsO ₄	-0.05	0.61	0.31	0.21	0.51	0.17	0.44	0.20	0.39	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO(COOH) ₂ ·H ₂ O	0.04	0.80	0.34	0.09	0.49	0.04	0.80	0.25	0.27	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ PO ₄	-0.03	0.80	0.34	0.08	0.62	-0.03	0.59	0.30	0.31	
C ₁₂ H ₁₀	-0.25	1.08	0.33	-0.07	0.65	0.31	0.53	-0.16	0.91	
C ₁₂ D ₁₀	-0.12	0.97	0.34	-0.01	0.59	0.27	0.53	-0.03	0.82	
BiVO ₄	-0.03	0.68	0.25	-0.01	0.42	-0.03	0.36	0.37	0.62	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.02	0.70	0.35	0.09	0.63	0.13	0.60	0.09	0.36	
	-0.12	0.70	0.35	0.14	0.56	0.17	0.67	0.07	0.48	
CsD(SeO ₃)	-0.30	1.04	0.39	-0.14	0.82	-0.02	1.02	-0.18	0.90	
CsH ₂ PO ₄	-1.93	2.70	0.42	0.12	0.64	-1.49	2.27	-0.18	1.52	
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.17	0.66	0.33	0.23	0.51	0.22	0.32	0.23	0.62	
CoSO ₄ ·7H ₂ O	0.04	0.67	0.36	0.33	0.44	0.08	0.62	0.14	0.43	
SiO ₂	-0.11	0.73	0.29	0.31	0.35	-0.11	0.69	-0.06	0.63	
Cu(COOH) ₂ ·4H ₂ O	-0.01	0.90	0.35	0.18	0.66	0.17	0.83	0.13	0.23	
Diallage	0.01	0.41	0.21	0.12	0.34	0.01	0.36	0.13	0.18	
C ₁₄ H ₁₄	-0.10	0.61	0.30	0.32	0.35	0.27	0.33	0.31	0.35	
	-0.19	0.74	0.33	0.27	0.33	0.25	0.46	0.33	0.50	
p-Dichlorobenzophenone	0.04	0.65	0.33	0.10	0.31	0.05	0.65	0.14	0.37	
CaMgSi ₂ O ₆	0.09	0.51	0.27	0.29	0.39	0.09	0.37	0.12	0.35	
	0.10	0.49	0.25	0.25	0.37	0.15	0.30	0.20	0.25	
Durene	-0.12	0.88	0.34	-0.01	0.81	0.05	0.88	-0.02	0.36	
Epitode	0.06	0.55	0.26	0.16	0.24	0.12	0.30	0.12	0.15	
C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₆	0	1.27	0.35	0.09	0.99	0	0.58	0.18	0.33	
Feldspar	Labradorite	-0.08	0.68	0.31	0.28	0.36	-0.08	0.68	-0.06	0.53
	Microcline	-0.14	0.78	0.29	0.21	0.26	-0.14	0.78	-0.04	0.42
	Oligoclase	-0.17	0.76	0.30	0.10	0.38	-0.17	0.53	0.08	0.66

Табл. П7 (продолжение)

Кристалл		v _{min}	v _{max}	<v>	v при n ₁ = 1		v при n ₂ = 1		v при n ₃ = 1	
					v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
Feldspars, Plagioclase	9 (Albite)	-0.40	0.71	0.26	0.18	0.27	-0.40	0.64	-0.07	0.47
	24 (Oligoclase)	0.09	0.63	0.29	0.21	0.24	0.12	0.42	0.10	0.40
	29 (Oligoclase)	0.07	0.62	0.29	0.22	0.24	0.10	0.45	0.08	0.40
	53 (Labradorite)	0.06	0.61	0.30	0.24	0.26	0.08	0.49	0.08	0.38
	56 (Labradorite)	0.08	0.61	0.30	0.23	0.25	0.11	0.49	0.09	0.35
Feldspars, Soda-potash	2 (Microcline)	-0.07	0.82	0.29	0.18	0.21	-0.07	0.65	-0.03	0.54
	42 (Amazonite)	-0.05	0.74	0.29	0.18	0.26	-0.05	0.61	-0.03	0.56
	43 (Orthoclase)	-0.04	0.73	0.30	0.19	0.27	-0.04	0.61	-0.02	0.52
	60 (Anorthoclase)	-0.13	0.88	0.33	0.17	0.32	0.08	0.61	0.07	0.63
	61 (Microcline)	0	0.74	0.30	0.18	0.25	0.06	0.60	0.04	0.51
	209 (Microcline)	-0.07	0.83	0.32	0.24	0.27	-0.07	0.83	-0.02	0.55
	215 (Orthoclase)	-0.13	0.78	0.27	0.14	0.17	-0.11	0.55	-0.02	0.43
β-F ₆ H ₄ F ₆		-0.58	1.23	0.35	-0.13	1.01	-0.34	0.84	0.23	0.68
CaFeSi ₂ O ₆		0.11	0.47	0.28	0.22	0.28	0.20	0.28	0.23	0.38
Hornblende		0.01	0.49	0.29	0.21	0.26	0.01	0.49	0.27	0.43
		0.09	0.49	0.28	0.22	0.26	0.14	0.41	0.17	0.36
(Ba,K)Al ₂ Si ₁₂ O ₈		-0.03	0.75	0.31	0.21	0.29	-0.03	0.66	-0.02	0.63
Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O		0.17	0.65	0.33	0.23	0.51	0.22	0.31	0.23	0.62
FeSO ₄ ·7H ₂ O		0.17	0.56	0.36	0.28	0.43	0.24	0.48	0.28	0.33
NaAlSi ₂ O ₆		0.13	0.45	0.26	0.16	0.35	0.18	0.32	0.17	0.24
LaNbO ₄		-3.01	3.95	0.46	-0.25	1.42	-3.01	3.95	0.21	0.65
LiC ₄ H ₅ ·C ₄ H ₆ O ₅ , s ^E		-0.59	0.91	0.32	0.29	0.39	-0.13	0.76	0.26	0.52
Li ₂ SO ₄ ·H ₂ O		-0.03	0.47	0.25	0.24	0.33	0.04	0.41	0.20	0.33
(COOH) ₂ ·2H ₂ O		-0.18	0.89	0.33	0.20	0.71	0.04	0.43	0.24	0.44
K ₂ Co(CN) ₆		-0.35	0.62	0.19	-0.10	0.39	-0.31	0.40	-0.10	0.62
KHCO ₃		-0.49	1.37	0.38	0.10	0.60	0.25	0.29	0.12	0.64
KHC ₂ O ₄		0	1.00	0.35	0.05	0.33	0.07	1.00	0.25	0.37
K ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O		-0.02	0.96	0.34	0.07	0.62	0.02	0.69	0.10	0.82
C ₆ H ₁₂ O ₅ ·H ₂ O		0.09	0.71	0.34	0.48	0.62	0.09	0.43	0.15	0.37
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O		-1.13	1.27	0.37	0.06	0.78	-0.31	0.92	0.05	1.13
LiAlSi ₂ O ₆		0.09	0.51	0.26	0.12	0.34	0.11	0.34	0.16	0.28
Stilbene		-0.22	0.75	0.33	0.35	0.51	0.30	0.43	0.24	0.47
C ₄ H ₆ O ₆ , s ^E		-0.21	0.89	0.32	0.28	0.69	-0.04	0.35	0.39	0.47

Табл. П7 (продолжение)

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	v при n ₁ = 1		v при n ₂ = 1		v при n ₃ = 1		
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	
C ₂ H ₇ O ₃ NS	-0.01	0.95	0.33	0.09	0.89	0.11	0.95	0.20	0.32	
Te(OH) ₆ ·2NH ₄ H ₂ PO ₄ ·(NH ₄) ₂ HPO ₄ (293K)	0	0.58	0.31	0.06	0.58	0.27	0.53	0.07	0.42	
C ₆ H ₅ C ₆ H ₄ C ₆ H ₅	Hydrogenated	-0.15	0.92	0.33	0	0.57	0.22	0.56	0	0.79
	Deuterated	-0.13	0.91	0.34	0.02	0.56	0.21	0.56	0.05	0.75
SnF ₂	-0.20	0.83	0.23	0.04	0.51	0.15	0.41	0.02	0.66	
C ₁₄ H ₁₀	-0.26	0.60	0.23	0	0.35	0.21	0.59	0.01	0.32	
ZrO ₂		-0.63	0.58	0.05	0.03	0.37	-0.63	0.50	-0.32	0.02
		-0.10	0.81	0.27	0.03	0.37	0.05	0.81	0.02	0.33

Табл. П8 Экстремальные и осредненные значения коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных триклинных кристаллов

Кристалл	v _{min}	v _{max}	<v>	v при n ₁ = 1		v при n ₂ = 1		v при n ₃ = 1	
				v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}	v _{min}	v _{max}
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.11	0.60	0.32	0.24	0.47	0.18	0.30	0.40	0.44
	0.11	0.66	0.37	0.30	0.38	0.19	0.51	0.25	0.65
KH ₃ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	0.01	1.03	0.33	0.14	0.20	0.20	0.33	0.12	0.49
LiHC ₂ O ₄ ·H ₂ O	0.01	0.91	0.30	0.16	0.38	0.11	0.41	0.07	0.29
NaHC ₂ O ₄ ·H ₂ O	-0.01	0.75	0.32	0.06	0.25	0.03	0.75	0.12	0.43
NH ₄ H ₃ (C ₂ O ₄)·2H ₂ O	0.01	0.97	0.33	0.11	0.23	0.21	0.39	0.23	0.41

Табл. П9 Коэффициенты Пуассона ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ тонких трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов при нулевом угле хиральности и критические значения параметра толщины

Кристалл	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Al ₂ Cu	0.33	0.27	–	–	–	–
	0.20	0.33	–	–	–	–
NH ₄ H ₂ AsO ₄	0.66	-0.06	–	–	–	1.18
	0.73	-0.34	–	–	–	2.66
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	1.10	-0.46	–	–	–	2.39
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.66	-0.12	–	–	–	1.43
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	0.58	-0.11	–	–	–	1.42
BaClF	0.72	-0.04	–	–	–	1.11
BaLaGa ₃ O ₇	0.50	0.33	–	–	18.0	–
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ , s ^E	0.22	0.21	–	–	–	–
	0.32	0.26	–	–	–	–
BaTiO ₃ , s ^E	0.65	0.29	–	–	3.59	–
	0.67	0.19	–	–	1.94	–
BaTiO ₃ , s ^D	0.45	0.43	–	–	–	–
	0.48	0.42	–	–	–	–
	0.03	0.44	12.7	–	–	–
CdGeAs ₂	0.48	0.33	–	–	15.2	–
	0.45	0.35	–	–	80.1	–
β -CdP ₂ (300K)	0.35	0.35	–	–	–	–
Ca ₂ Sr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	0.31	0.43	–	–	–	–
	0.44	0.27	–	–	7.95	–
CsH ₂ AsO ₄	0.03	0.01	–	–	2.01	–
CsNiF ₃	0.06	0.45	5.41	–	–	–
CoF ₂	0.15	0.64	2.93	–	–	–
CoPt	0.32	0.43	–	–	–	–
GeO ₂	0.17	0.47	7.57	–	–	–
In	0.64	0.31	–	–	3.87	–
	1.04	-0.07	–	–	–	1.14
InBi	0.61	0.35	–	–	7.19	–
In-3.4 at% Cd	0.46	0.50	–	–	–	–
In-3.42 at% Cd	0.47	0.49	–	–	–	–
In-5 at% Pb	0.21	0.75	2.13	–	–	–
In-17 at% Pb	0.45	0.33	–	–	20.1	–
In-10 at% Tl	0.53	0.43	–	–	–	–
In-11.5 at% Tl	0.56	0.40	–	–	18.7	–
In-15 at% Tl	0.46	0.50	–	–	–	–
FeF ₂	0.19	0.62	3.38	–	–	–
FeGe ₂	0.39	-0.04	–	–	–	1.21
La _{1.86} Sr _{0.14} CuO ₄	0.27	0.11	–	–	2.98	–
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.29	0.29	–	–	–	–

Табл. П9 (продолжение)

Кристалл	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $v_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$Pb_{0.37}Ba_{0.63}Nb_2O_6, s^D$	0.13	0.29	–	–	–	–
$Pb_{0.346}Ba_{0.59}Na_{0.036}Li_{0.028}-Nb_2O_6, s^E$	-0.03	0.35	19.4	–	–	–
$Pb_{0.346}Ba_{0.59}Na_{0.036}Li_{0.028}-Nb_2O_6, s^D$	0.04	0.31	–	–	–	–
$Li_2B_4O_7, s^E$	0.61	-0.13	–	–	–	1.54
$LuAsO_4$	0.32	-0.02	–	–	–	1.16
$LuPO_4$	0.30	0.01	–	–	1.04	–
MgF_2	0.13	0.57	3.77	–	–	–
MnF_2	0.13	0.70	2.24	–	–	–
Hg_2Br_2	0.02	0.90	1.23	–	–	–
Hg_2Cl_2	0.02	0.91	1.20	–	–	–
HgI_2	0.80	-0.11	–	–	–	1.31
Hg_2I_2	0.02	0.88	1.30	–	–	–
$MoSi_2$	0.13	0.22	–	–	–	–
NiF_2	0.13	0.68	2.44	–	–	–
$\alpha-NiSO_4 \cdot 6H_2O$	0.02	0.72	1.92	–	–	–
	0.14	0.75	1.97	–	–	–
$PdPb_2$	0.35	0.38	–	–	–	–
$C(CH_2ONO_2)_4$	0.58	0.06	–	–	1.26	–
KD_2AsO_4	0.52	-0.07	–	–	–	1.29
KD_2PO_4	0.25	-0.13	–	–	–	2.80
KH_2AsO_4	0.30	-0.05	–	–	–	1.37
KH_2PO_4	0.28	-0.13	–	–	–	2.40
$K_{2.89}Li_{1.55}Nb_{5.11}O_{15}, s^E$	0.40	0.21	–	–	5.97	–
$K_{2.89}Li_{1.55}Nb_{5.11}O_{15}, s^D$	0.30	0.26	–	–	–	–
$(K_{1/6}Na_{1/6}Sr_{1/2}Ba_{1/6})Nb_2O_6, s^E$	0.36	0.26	–	–	–	–
$(K_{1/6}Na_{1/6}Sr_{1/2}Ba_{1/6})Nb_2O_6, s^D$	-0.15	0.33	7.26	–	–	–
RbD_2AsO_4	0.18	-0.41	–	–	–	–
RbH_2AsO_4	0.08	-0.37	–	–	–	–
RbH_2PO_4	0.27	-0.14	–	–	–	3.55
Scapolite	0.23	0.27	–	–	–	–
	0.22	0.29	–	–	–	–
$AgGaS_2$	0.55	0.29	–	–	4.97	–
$Ag_2SO_4 \cdot 4NH_3$	0.25	0.42	27.3	–	–	–
$Na_2S \cdot 9H_2O$	0.31	0.32	–	–	–	–
Stishovite	0.16	0.40	13.1	–	–	–
$Sr_{1-x}Ba_xNb_2O_6$	x=0.25	0.28	0.27	–	–	–
	x=0.39	0.26	0.36	–	–	–
	x=0.39, s^E	0.33	0.27	–	–	–
	x=0.39, s^P	0.42	0.30	–	–	41.9
	x=0.50, s^E	0.22	0.28	–	–	–
	x=0.55	0.15	0.36	43.3	–	–
SrClF	0.50	0.10	–	–	1.53	–
$Sr_4LiKNb_{10}O_{30}, s^E$	0.36	0.34	–	–	–	–

Табл. П9 (продолжение)

Кристалл	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $v_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
TeO ₂	0.02	0.91	1.22	–	–	–
	0.02	0.92	1.19	–	–	–
TlSe	0.53	-0.22	–	–	–	2.16
	0.45	-0.10	–	–	–	1.55
Sn	0.10	0.76	1.81	–	–	–
SnO ₂	0.14	0.59	3.44	–	–	–
TiO ₂	0.13	0.59	3.38	–	–	–
WSi ₂	0.11	0.25	–	–	–	–
(NH ₂) ₂ CO	0.53	-0.17	–	–	–	1.81
	0.16	-0.07	–	–	–	2.27
Vesuvian	0.20	0.26	–	–	–	–
ZnF ₂	0.16	0.63	3.16	–	–	–
	0.16	0.63	3.09	–	–	–
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂	0.67	-0.14	–	–	–	1.47
α -ZnP ₂	0.36	0.08	–	–	1.65	–
ZrSiO ₄	0.28	0.07	–	–	1.71	–
Zr ₂ Ni	0.15	0.74	2.04	–	–	–

Табл. П10 Коэффициенты Пуассона ν_{rz} и $\nu_{\varphi z}$ тонкостенных трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов при $\alpha = \pi/4$, и критические значения параметра толщины

Кристалл	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} для $\nu_{rz} = 0$		ρ_{cr} для $\nu_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Al ₂ Cu	0.29	0.35	–	–	–	–
	0.19	0.35	85.4	–	–	–
NH ₄ H ₂ AsO ₄	0.26	0.59	6.20	–	–	–
	0.27	0.50	16.5	–	–	–
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	0.42	0.45	–	–	–	–
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.23	0.60	4.67	–	–	–
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	0.21	0.59	4.82	–	–	–
BaClF	0.73	-0.06	–	–	–	1.16
BaLaGa ₃ O ₇	0.63	0.16	–	–	1.77	–
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ , s ^E	0.23	0.17	–	–	–	–
	0.37	0.14	–	–	2.73	–
BaTiO ₃ , s ^E	1.04	-0.13	–	–	–	1.27
	0.98	-0.18	–	–	–	1.42
BaTiO ₃ , s ^D	0.77	0.04	–	–	1.11	–
	0.77	0.07	–	–	1.20	–
	0.04	0.22	–	–	–	–
CdGeAs ₂	0.78	-0.09	–	–	–	1.24
	0.72	-0.05	–	–	–	1.15
β -CdP ₂ (300K)	0.52	0.02	–	–	1.10	–
Ca ₂ Sr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	0.26	0.52	11.1	–	–	–
	0.36	0.41	–	–	–	–
CsH ₂ AsO ₄	0	0.88	1.29	–	–	–
CsNiF ₃	0.06	0.45	5.47	–	–	–
CoF ₂	0.47	-0.12	–	–	–	1.63
CoPt	0.57	0	–	–	–	1.01
GeO ₂	0.35	-0.11	–	–	–	1.87
In	1.31	-0.42	–	–	–	1.85
	1.64	-0.69	–	–	–	2.25
InBi	0.97	-0.05	–	–	–	1.10
In-3.4 at% Cd	1.22	-0.32	–	–	–	1.65
In-3.42 at% Cd	1.22	-0.33	–	–	–	1.67
In-5 at% Pb	0.55	0.35	–	–	10.2	–
In-17 at% Pb	0.47	0.30	–	–	9.47	–
In-10 at% Tl	1.35	-0.47	–	–	–	1.93
In-11.5 at% Tl	1.32	-0.41	–	–	–	1.80
In-15 at% Tl	1.38	-0.48	–	–	–	1.94

Табл. П10 (продолжение)

Кристалл	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	$\rho_{сг}$ ДЛЯ $v_{rz} = 0$		$\rho_{сг}$ ДЛЯ $v_{\varphi z} = 0$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
FeF ₂	0.58	-0.13	–	–	–	1.51
FeGe ₂	0.35	0.07	–	–	1.67	–
La _{1.86} Sr _{0.14} CuO ₄	0.19	0.37	62.9	–	–	–
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.33	0.20	–	–	16.2	–
Pb _{0.37} Ba _{0.63} Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.13	0.27	–	–	–	–
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^E	-0.04	0.14	–	–	–	–
Pb _{0.346} Ba _{0.59} Na _{0.036} Li _{0.028} -Nb ₂ O ₆ , s ^D	0.06	0.11	–	–	–	–
Li ₂ B ₄ O ₇ , s ^E	0.52	0.03	–	–	1.13	–
LuAsO ₄	0.09	0.72	2.03	–	–	–
LuPO ₄	0.08	0.74	1.91	–	–	–
MgF ₂	0.31	-0.01	–	–	–	1.09
MnF ₂	0.47	-0.07	–	–	–	1.34
Hg ₂ Br ₂	0.21	0.01	–	–	1.08	–
Hg ₂ Cl ₂	0.18	0.13	–	–	9.37	–
HgI ₂	0.25	0.65	3.69	–	–	–
Hg ₂ I ₂	0.25	-0.19	–	–	–	3.78
MoSi ₂	0.14	0.12	–	–	–	–
NiF ₂	0.44	-0.04	–	–	–	1.21
α -NiSO ₄ ·6H ₂ O	0.06	0.22	–	–	–	–
	0.46	0.20	–	–	3.54	–
PdPb ₂	0.35	0.37	–	–	–	–
C(CH ₂ ONO ₂) ₄	0.46	0.26	–	–	6.28	–
KD ₂ AsO ₄	0.18	0.63	3.26	–	–	–
KD ₂ PO ₄	0.08	0.65	2.53	–	–	–
KH ₂ AsO ₄	0.11	0.63	2.86	–	–	–
KH ₂ PO ₄	0.09	0.65	2.51	–	–	–
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^E	0.40	0.20	–	–	5.29	–
K _{2.89} Li _{1.55} Nb _{5.11} O ₁₅ , s ^D	0.29	0.28	–	–	–	–
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^E	0.33	0.32	–	–	–	–
(K _{1/6} Na _{1/6} Sr _{1/2} Ba _{1/6})Nb ₂ O ₆ , s ^D	-0.16	0.31	8.29	–	–	–
RbD ₂ AsO ₄	0.06	0.56	3.33	–	–	–
RbH ₂ AsO ₄	0.02	0.58	2.99	–	–	–
RbH ₂ PO ₄	0.05	0.76	1.77	–	–	–
Scapolite	0.17	0.45	9.65	–	–	–
	0.21	0.30	–	–	–	–
AgGaS ₂	0.84	0.06	–	–	–	1.16
Ag ₂ SO ₄ ·4NH ₃	0.33	0.23	–	–	15.6	–
Na ₂ S·9H ₂ O	0.27	0.42	–	–	–	–
Stishovite	0.27	-0.04	–	–	–	–

Табл. П10 (продолжение)

Кристалл		v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ $v_{rz} = 0$		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z} = 0$	
		$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$Sr_{1-x}Ba_xNb_2O_6$	$x=0.25$	0.26	0.33	–	–	–	–
	$x=0.39$	0.26	0.36	–	–	–	–
	$x=0.39, s^E$	0.31	0.30	–	–	–	–
	$x=0.39, s^P$	0.41	0.33	–	–	–	–
	$x=0.50, s^E$	0.22	0.30	–	–	–	–
	$x=0.55$	0.14	0.40	18.0	–	–	–
SrClF		0.51	0.08	–	–	1.39	–
$Sr_4LiKNb_{10}O_{30}, s^E$		0.36	0.34	–	–	–	–
TeO ₂		0.26	-0.18	–	–	–	4.36
		0.26	-0.18	–	–	–	3.98
TlSe		0.53	-0.22	–	–	–	2.16
		0.33	0.18	–	–	4.53	–
Sn		0.28	0.36	–	–	–	–
SnO ₂		0.38	-0.11	–	–	–	1.74
TiO ₂		0.32	-0.03	–	–	–	1.23
WSi ₂		0.13	0.11	–	–	–	–
(NH ₂) ₂ CO		0.08	0.82	1.53	–	–	–
		0.01	0.91	1.21	–	–	–
Vesuvian		0.20	0.24	–	–	–	–
ZnF ₂		0.46	-0.05	–	–	–	1.21
		0.46	-0.05	–	–	–	1.23
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂		0.43	0.28	–	–	9.33	–
α -ZnP ₂		0.25	0.37	–	–	–	–
ZrSiO ₄		0.12	0.61	3.02	–	–	–
Zr ₂ Ni		0.11	0.81	1.62	–	–	–

Табл. П11 Модули Юнга трубок из шестиконстантных тетрагональных кристаллов при двух различных значениях угла хиральности α и параметра толщины ρ

Кристалл	E, ГПа			
	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/4$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
Al ₂ Cu	136	136	120	121
	128	129	125	125
NH ₄ H ₂ AsO ₄	50.5	54.3	19.7	20.3
	51.8	61.3	19.3	19.5
NH ₄ H ₂ AsO ₄ 44% deuterated	40.5	58.0	15.3	15.3
NH ₄ H ₂ PO ₄	54.6	59.7	19.3	20.1
ND ₄ D ₂ PO ₄ , s ^E	52.6	56.4	19.5	20.3
BaClF	61.7	67.7	62.7	69.3
BaLaGa ₃ O ₇	99.7	100	125	130
Ba ₂ Si ₂ TiO ₈ , s ^E	132	132	138	138
	136	137	159	160
BaTiO ₃ , s ^E	124	127	198	238
	136	141	198	238
BaTiO ₃ , s ^D	138	138	235	254
	160	160	256	275
	182	188	253	255
CdGeAs ₂	46.3	46.5	74.6	84.3
	50.3	50.5	80.3	88.7
β -CdP ₂ (300K)	53.5	53.5	79.9	83.8
CaSr(C ₂ H ₅ CO ₂) ₆	7.04	7.07	5.93	6.03
	7.25	7.29	5.87	5.87
CsH ₂ AsO ₄	51.5	51.6	6.39	11.0
CsNiF ₃	34.4	35.9	34.5	36.0
CoF ₂	50.3	54.7	156	166
CoPt	175	176	311	328
GeO ₂	218	224	456	477
In	6.72	6.87	13.9	23.1
	4.83	5.99	7.62	21.9
InBi	18.9	19.2	30.3	35.3
In-3.4 at% Cd	5.71	5.72	15.2	22.5
In-3.42 at% Cd	5.75	5.75	15.1	22.5
In-5 at% Pb	5.46	6.16	14.1	14.2
In-17 at% Pb	20.4	20.5	21.2	21.3
In-10 at% Tl	4.46	4.47	11.5	20.5
In-11.5 at% Tl	5.32	5.35	12.5	20.7
In-15 at% Tl	3.76	3.76	11.2	20.3
FeF ₂	46.1	49.1	138	152
FeGe ₂	209	211	188	188

Табл. П11 (продолжение)

Кристалл	E, ГПа			
	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/4$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
$\text{La}_{1.86}\text{Sr}_{0.14}\text{CuO}_4$	222	223	159	160
$\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6, s^E$	172	172	194	195
$\text{Pb}_{0.37}\text{Ba}_{0.63}\text{Nb}_2\text{O}_6, s^D$	172	173	177	178
$\text{Pb}_{0.346}\text{Ba}_{0.59}\text{Na}_{0.036}\text{Li}_{0.028}\text{-Nb}_2\text{O}_6, s^E$	196	201	260	261
$\text{Pb}_{0.346}\text{Ba}_{0.59}\text{Na}_{0.036}\text{Li}_{0.028}\text{-Nb}_2\text{O}_6, s^D$	196	199	253	253
$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7, s^E$	112	121	95.9	99.3
LuAsO_4	245	251	66.8	79.6
LuPO_4	286	291	75.4	91.9
MgF_2	79.4	84.3	188	192
MnF_2	36.2	41.5	131	138
Hg_2Br_2	2.21	4.68	22.5	22.8
Hg_2Cl_2	2.78	6.26	28.2	28.2
HgI_2	24.4	27.5	7.63	8.01
Hg_2I_2	1.85	3.45	18.1	19.0
MoSi_2	383	384	434	434
NiF_2	58.1	65.2	190	198
$\alpha\text{-NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	15.4	18.4	43.4	43.6
	15.1	17.3	48.2	48.7
PdPb_2	677	677	684	684
$\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$	12.5	13.1	9.90	9.98
KD_2AsO_4	57.8	61.7	20.1	21.5
KD_2PO_4	63.3	65.0	19.6	22.0
KH_2AsO_4	61.0	62.3	21.6	23.6
KH_2PO_4	67.1	69.2	20.6	23.1
$\text{K}_{2.89}\text{Li}_{1.55}\text{Nb}_{5.11}\text{O}_{15}, s^E$	167	168	168	169
$\text{K}_{2.89}\text{Li}_{1.55}\text{Nb}_{5.11}\text{O}_{15}, s^D$	185	185	180	180
$(\text{K}_{1/6}\text{Na}_{1/6}\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/6})\text{Nb}_2\text{O}_6, s^E$	189	189	175	175
$(\text{K}_{1/6}\text{Na}_{1/6}\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/6})\text{Nb}_2\text{O}_6, s^D$	196	205	202	211
RbD_2AsO_4	40.5	43.5	12.7	13.8
RbH_2AsO_4	43.9	45.7	13.6	15.0
RbH_2PO_4	59.2	60.7	12.5	15.8
Scapolite	81.3	81.3	61.4	62.7
	81.3	81.4	79.3	79.5
AgGaS_2	38.2	38.7	57.6	65.8
$\text{Ag}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{NH}_3$	21.6	21.7	28.7	28.7
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	26.4	26.4	22.8	22.9
Stishovite	338	343	581	592

Табл. П11 (продолжение)

Кристалл		E, ГПа			
		$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/4$	
		$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
Sr _{1-x} Ba _x Nb ₂ O ₆	x=0.25	190	190	175	175
	x=0.39	174	175	174	175
	x=0.39, s ^E	188	188	181	181
	x=0.39, s ^P	192	193	184	185
	x=0.50, s ^E	185	185	179	180
	x=0.55	155	157	146	148
SrClF		80.0	82.3	81.6	84.3
Sr ₄ LiKNb ₁₀ O ₃₀ , s ^E		180	180	180	180
TeO ₂		8.55	17.3	108	113
		8.26	18.0	117	122
TlSe		24.3	27.5	24.3	27.6
		37.7	39.9	28.2	28.4
Sn		23.6	28.8	64.4	64.5
SnO ₂		135	144	368	387
TiO ₂		147	158	371	380
WSi ₂		403	405	482	482
(NH ₂) ₂ CO		10.5	11.8	1.64	2.32
		22.3	22.6	1.91	4.17
Vesuvian		133	133	135	135
ZnF ₂		54.9	59.2	154	162
		54.3	58.7	154	163
Zn[C(NH ₂) ₃] ₂ (SO ₄) ₂		21.9	24.7	14.0	14.0
α -ZnP ₂		124	126	85.4	85.7
ZrSiO ₄		377	381	156	170
Zr ₂ Ni		46.3	53.2	34.7	44.0

Табл. П12 Коэффициенты Пуассона тонкостенных трубок из орторомбических кристаллов при нулевом угле хиральности, и критические значения параметра толщины

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\phi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\phi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$C_{10}H_6(CH_2)_2$	0.35	0.04	–	–	1.25	–
	0.43	-0.28	–	–	–	3.81
$(NH_4)_2BeF_4$	0.36	0.37	–	–	–	–
	0.33	0.43	–	–	–	–
	0.43	0.33	–	–	–	–
$NH_4HC_2O_4 \cdot 1/2H_2O$	0.26	0.27	–	–	–	–
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	0.44	0.24	–	–	7.35	–
$NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$	-0.02	0.72	–	1.80	–	–
NH_4ClO_4	0.22	0.59	16.1	–	–	–
$(NH_4)_2SO_4$	0.28	0.42	86.7	–	–	–
	0.29	0.31	–	–	–	–
Al_2SiO_5 (Andalusite)	0.26	0.20	–	–	26.1	–
$CaSO_4$	0.12	0.07	–	–	9.97	–
SbSI	0.11	0.24	15.1	–	–	–
	0.13	0.21	69.3	–	–	–
$CaCO_3$	-0.06	0.44	–	–	–	–
$BaMnF_4$, s^E	0.87	-0.05	–	–	–	1.11
$Ba_2NaNb_5O_{15}$, s^E	0.23	0.37	–	–	–	–
$BaSO_4$	0.15	0.53	5.56	–	–	–
$C_{14}H_{12}N_2$	0.07	0.60	1.33	–	–	–
$(C_6H_5)_2CO$	-0.02	0.55	–	1.13	–	–
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	0.07	0.74	1.42	–	–	–
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.36	0.26	–	–	19.7	–
$(CH_3)_3NCH_2COO (CH)_2(COOH)_2$	0.33	0.21	–	–	6.77	–
$(Mg,Fe)SiO_3$	0.20	0.39	43.5	–	–	–
$Mg_{0.84}Fe_{0.16}SiO_3$	0.19	0.37	65.6	–	–	–
$Mg_{0.8}Fe_{0.2}SiO_3$	0.17	0.39	34.7	–	–	–
CdSb	0.10	0.12	–	–	–	–
	0.27	0.33	–	–	–	–
$Cd(COOH)_2$	0.28	0.98	3.73	–	–	–
$CaB_2Si_2O_8$	0.29	0.15	–	–	4.57	–
$Ca(COOH)_2$	0.37	0.80	10.1	–	–	–
$CaPd(CN)_4 \cdot 5H_2O$	0.28	0.37	–	–	–	–
$C_{12}H_9N-C_6H_3(NO_2)_3$, s^D	0.11	0.19	14.7	–	–	–
$C_6H_4COOHCOOCs$	0.38	0.73	15.6	–	–	–
Cs_2SO_4	0.33	0.32	–	–	–	–
$CsSCN$	0.47	0.23	–	–	3.71	–
$BeAl_2O_4$	0.17	0.23	–	–	–	–
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	0.00	0.74	–	1.01	–	–
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	0.30	0.22	–	–	–	–
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	-0.50	1.29	–	8.64	–	–
$CaB_2Si_2O_8$ (Danburite)	0.27	0.20	–	–	28.3	–

Табл. П12 (продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Datolite)	0.39	0.18	–	–	3.68	–
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$	0.01	0.55	1.21	–	–	–
MgSiO_3	0.17	0.36	34.6	–	–	–
Fe_2SiO_4	0.24	0.41	31.8	–	–	–
Fe_2SiO_4 (synthetic), s^S	0.17	0.48	5.58	–	–	–
Mg_2SiO_4	0.21	0.25	–	–	–	–
$\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$	0.20	0.10	–	–	3.70	–
Ga	0.14	0.36	14.5	–	–	–
$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{ClNO}$	0.20	0.42	28.1	–	–	–
$[\text{CN}_3\text{H}_6]\text{C}_4\text{H}_6\text{NO}_4$	0.23	0.55	4.95	–	–	–
$[\text{CN}_3\text{H}_6]_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4$	0.39	0.55	45.1	–	–	–
In_4Se_3	0.47	0.00	–	–	1.02	–
HIO_3	0.40	0.01	–	–	1.05	–
	0.51	0.05	–	–	1.25	–
DIO_3	0.51	0.05	–	–	1.25	–
I	0.53	0.30	–	–	4.91	–
Iododurene	0.17	0.69	2.57	–	–	–
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	-0.16	0.82	–	1.86	–	–
La_2CuO_4	0.20	0.45	12.6	–	–	–
PbBr_2	0.55	0.09	–	–	1.40	–
PbCl_2	0.41	0.19	–	–	3.66	–
$\text{Pb}_2\text{KNb}_5\text{O}_{15}$, s^E	0.32	0.15	–	–	3.71	–
$\text{Pb}_2\text{KNb}_5\text{O}_{15}$, s^D	0.22	0.16	–	–	21.2	–
$\text{CH}_3\text{COOLi} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.04	0.09	25.0	–	–	–
LiNH_4SO_4	0.42	0.23	–	–	5.10	–
	0.37	0.48	–	–	–	–
$\text{LiNH}_4\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.09	0.27	3.88	–	–	–
	0.39	0.20	–	–	5.49	–
LiCsSO_4	0.58	0.24	–	–	3.24	–
$\text{LiCOOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$, s^E	0.10	0.19	8.96	–	–	–
$\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$	0.30	0.25	–	–	–	–
	0.30	0.25	–	–	–	–
LiHSeO_3	0.39	0.11	–	–	1.89	–
LiGaO_2 , s^E	0.19	0.07	–	–	2.37	–
LiGaO_2 , s^D	0.15	0.08	–	–	4.86	–
Li_2GeO_3 , s^E	0.24	0.23	–	–	–	–
	0.23	0.25	–	–	–	–
	0.17	0.11	–	–	7.78	–
Li_2GeO_3 (293K) s^E	0.26	0.20	–	–	65.4	–
Li_2GeO_3 (293K) s^D	0.19	0.24	–	–	–	–
$\text{Li}_2\text{GeO}_3 + 4 \text{ at\% Si}$, s^E	0.08	0.18	–	–	–	–
Li_2SiO_3 , s^E	0.25	0.21	–	–	–	–
$\text{LiTiC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.39	0.20	–	–	5.39	–
MgBaF_4	0.45	0.16	–	–	2.29	–

Табл. П12 (продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(p - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.32	0.51	22.3	—	—	—
	0.37	0.37	—	—	—	—
C ₆ N ₂ O ₃ H ₆	-0.91	0.80	—	—	—	—
Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ ·2H ₂ O	0.08	0.41	3.28	—	—	—
NiSO ₄ ·7H ₂ O	0.36	0.40	—	—	—	—
Co ₂ SiO ₄	0.28	0.37	—	—	—	—
(Mg ₉₃ Fe ₇) ₂ SiO ₄	0.22	0.25	—	—	—	—
(Mg _{92.71} Fe _{7.24} Mn _{0.04}) ₂ SiO ₄	0.22	0.25	—	—	—	—
(Mg ₉₂ Fe ₈) ₂ SiO ₄	0.26	0.20	—	—	23.8	—
(Mg ₈₉ Fe ₁₁ Ca _{0.1} Ni _{0.4} Mn _{0.1}) ₂ SiO ₄	0.21	0.28	—	—	—	—
Mg ₂ GeO ₄	0.23	0.24	—	—	—	—
Ni ₂ SiO ₄	0.30	0.32	—	—	—	—
Orthoferrosiite	0.25	0.52	20.4	—	—	—
K ₂ Ba(NO ₂) ₄	0.22	0.31	—	—	—	—
C ₆ H ₄ COOHCOOK	0.50	0.37	—	—	18.2	—
K ₂ Cd ₂ (SO ₄) ₃	0.22	0.20	—	—	—	—
KHSO ₄	0.40	0.31	—	—	70.0	—
KNO ₃ (II)	0.42	0.32	—	—	—	—
KNO ₃	0.29	0.45	—	—	—	—
KB ₅ O ₈ ·4H ₂ O	0.26	0.46	8.67	—	—	—
K ₂ SeO ₄	0.40	0.17	—	—	3.23	—
K ₂ SO ₄	0.29	0.25	—	—	—	—
K ₂ ZnCl ₄	0.27	0.38	—	—	—	—
(Mg _{1.6} Li _{0.2} Sc _{0.2})Si ₂ O ₆	0.11	0.45	4.45	—	—	—
(CD) ₄ N ₂	0.00	0.58	—	—	—	—
C ₆ H ₄ (OH) ₂	0.18	0.21	—	—	—	—
KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	0.34	0.29	—	—	—	—
C ₆ H ₄ COOHCOORb	0.65	0.37	—	—	5.55	—
	0.55	0.34	—	—	9.25	—
RbHSO ₄	0.15	0.37	—	—	—	—
Rb ₂ SO ₄	0.31	0.27	—	—	—	—
Rb ₂ ZnBr ₄	0.27	0.32	—	—	—	—
Rb ₂ ZnCl ₄	0.22	0.31	—	—	—	—
	0.24	0.35	—	—	—	—
Al ₂ SiO ₅ (Silimanite)	0.07	0.36	2.30	—	—	—
AgNO ₃	0.19	0.54	3.81	—	—	—
AgTlSe	1.06	-0.42	—	—	—	2.08
NaNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	0.61	0.16	—	—	1.81	—
	0.39	0.27	—	—	16.1	—
Na ₂ CoGeO ₄ , s ^D	0.20	0.63	3.07	—	—	—
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.34	0.16	—	—	3.49	—
NaBF ₄ (293K)	-0.01	0.34	—	1.16	—	—
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	0.28	0.35	—	—	—	—
NaNO ₂	0.21	0.17	—	—	89.0	—
Na ₂ SO ₄	0.32	0.24	—	—	—	—

Табл. П12 (продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	$\rho_{ср}$ ДЛЯ v_{rz}		$\rho_{ср}$ ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.31	0.32	–	–	–	–
$(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O}, \text{OH})_2$	0.25	0.19	–	–	66.1	–
$\text{Sr}(\text{COOH})_2$	0.09	0.59	2.31	–	–	–
$\text{Sr}(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-0.39	0.28	–	–	–	4.34
	0.24	0.44	25.1	–	–	–
SrSO_4	0.17	0.63	2.99	–	–	–
$\alpha\text{-S}$	0.18	0.49	7.16	–	–	–
	0.10	0.18	16.4	–	–	–
$\text{Te}_2\text{V}_2\text{O}_9, s^E$	0.06	0.20	13.1	–	–	–
Mn_2SiO_4	0.30	0.36	–	–	–	–
TbF_3	0.62	0.36	–	–	9.18	–
$\text{Tb}_2(\text{MoO}_4)_3, s^E$	0.21	0.12	–	–	4.93	–
$\text{C}_{10}\text{H}_{18}(\text{OH}_2) \text{H}_2\text{O}$	0.34	0.26	–	–	14.3	–
$[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_2\text{ZnCl}_4$	0.09	0.55	1.95	–	–	–
TlNO_3	0.29	0.26	–	–	–	–
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4\text{HTl}$	0.43	0.47	–	–	–	–
Tl_2SO_4	0.28	0.50	16.1	–	–	–
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	0.39	0.07	–	–	1.46	–
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2 (293\text{K})$	0.37	0.02	–	–	1.13	–
Sn-38.1 wt\% Pb	0.37	0.36	–	–	–	–
$\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	0.35	0.29	–	–	–	–
Ni_3B	0.39	0.40	–	–	–	–
$\text{C}_{24}\text{H}_{18}$	0.22	0.24	–	–	–	–
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	-0.07	0.52	–	1.98	–	–
$\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$	0.19	0.31	–	–	–	–
$\alpha\text{-U}$	-0.02	0.24	–	1.42	–	–
$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	0.22	0.41	41.3	–	–	–
ZnSb	0.33	0.22	–	–	11.4	–
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.12	0.37	10.3	–	–	–
	0.44	0.27	–	–	7.21	–

Табл. П13 Коэффициенты Пуассона тонкостенных трубок из орторомбических кристаллов при $\alpha = \pi/2$, и критические значения параметра толщины

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
$C_{10}H_6(CH_2)_2$	0.40	0.03	–	–	1.18	–
	0.35	-0.28	–	–	–	6.53
$(NH_4)_2BeF_4$	0.23	0.28	–	–	–	–
	0.26	0.28	–	–	–	–
	0.38	0.31	–	–	–	–
$NH_4HC_2O_4 \cdot 1/2H_2O$	0.71	0.23	–	–	–	–
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	0.71	0.23	–	–	2.22	–
$NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$	0.06	0.85	4.77	–	–	–
NH_4ClO_4	0.00	0.65	–	–	–	–
$(NH_4)_2SO_4$	0.26	0.34	–	–	–	–
	0.38	0.23	–	–	7.37	–
Al_2SiO_5 (Andalusite)	0.18	0.26	–	–	–	–
$CaSO_4$	0.27	0.13	–	–	3.98	–
SbSI	0.28	0.23	–	–	44.3	–
	0.24	0.20	–	–	53.5	–
$CaCO_3$	0.18	0.23	–	–	–	–
$BaMnF_4$, s^E	0.54	-0.03	–	–	–	1.11
$Ba_2NaNb_5O_{15}$, s^E	0.24	0.39	–	–	–	–
$BaSO_4$	0.13	0.49	5.27	–	–	–
$C_{14}H_{12}N_2$	0.67	0.20	–	–	2.09	–
$(C_6H_5)_2CO$	0.34	0.46	–	–	–	–
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	0.36	0.41	–	–	–	–
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.68	0.09	–	–	1.30	–
$(CH_3)_3NCH_2COO (CH)_2(COOH)_2$	0.22	0.07	–	–	2.09	–
$(Mg,Fe)SiO_3$	0.19	0.33	–	–	–	–
$Mg_{0.84}Fe_{0.16}SiO_3$	0.17	0.26	–	–	–	–
$Mg_{0.8}Fe_{0.2}SiO_3$	0.15	0.28	–	–	–	–
CdSb	0.21	0.14	–	–	14.6	–
	0.29	0.39	–	–	–	–
$Cd(COOH)_2$	0.11	0.43	2.35	–	–	–
$CaB_2Si_2O_8$	0.14	0.27	20.2	–	–	–
$Ca(COOH)_2$	0.09	0.46	1.87	–	–	–
$CaPd(CN)_4 \cdot 5H_2O$	0.31	0.62	27.4	–	–	–
$C_{12}H_9N-C_6H_3(NO_2)_3$, s^D	0.49	0.09	–	–	1.52	–
$C_6H_4COOHCOOCs$	0.11	0.50	2.00	–	–	–
Cs_2SO_4	0.33	0.30	–	–	–	–
$CsSCN$	0.01	0.40	1.12	–	–	–
$BeAl_2O_4$	0.23	0.19	–	–	–	–
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	0.17	0.49	18.1	–	–	–
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	0.40	0.32	–	–	–	–
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	0.44	0.55	–	–	–	–
$CaB_2Si_2O_8$ (Danburite)	0.06	0.35	2.49	–	–	–

Табл. П13(продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(p - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Datolite)	0.31	0.13	–	–	3.27	–
C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	0.10	0.57	10.5	–	–	–
MgSiO ₃	0.18	0.28	–	–	–	–
Fe ₂ SiO ₄	0.31	0.24	–	–	89.0	–
	0.30	0.26	–	–	–	–
Fe ₂ SiO ₄ (synthetic), s ^S	0.31	0.26	–	–	–	–
Mg ₂ SiO ₄	0.27	0.15	–	–	5.78	–
Gd ₂ (MoO ₄) ₃	0.24	0.13	–	–	4.00	–
Ga	0.17	0.31	93.8	–	–	–
C ₅ H ₁₀ CINO	0.06	0.58	1.81	–	–	–
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₄ H ₆ NO ₄	0.33	0.52	33.9	–	–	–
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₈ H ₄ O ₄	0.24	0.58	3.85	–	–	–
In ₄ Se ₃	0.34	0.01	–	–	1.05	–
HIO ₃	0.38	0.01	–	–	1.04	–
	0.34	0.04	–	–	1.30	–
DIO ₃	0.34	0.04	–	–	1.30	–
I	-0.48	0.94	–	–	–	–
Iododurene	0.18	0.66	2.85	–	–	–
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	0.55	0.31	–	–	6.28	–
La ₂ CuO ₄	0.21	0.44	16.2	–	–	–
PbBr ₂	0.47	0.11	–	–	1.67	–
PbCl ₂	0.44	0.24	–	–	4.96	–
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^E	0.27	0.15	–	–	5.32	–
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^D	0.24	0.15	–	–	8.45	–
CH ₃ COOLi·2H ₂ O	0.30	0.20	–	–	9.61	–
LiNH ₄ SO ₄	0.31	0.28	–	–	–	–
	0.22	0.51	5.40	–	–	–
LiNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0.48	0.32	–	–	13.4	–
	0.46	0.28	–	–	7.63	–
LiCsSO ₄	0.26	0.32	–	–	–	–
LiCOOH·H ₂ O, s ^E	0.50	0.23	–	–	3.35	–
Li ₂ Ge ₇ O ₁₅	0.20	0.19	–	–	–	–
	0.19	0.19	–	–	–	–
LiHSeO ₃	0.18	0.30	24.7	–	–	–
LiGaO ₂ , s ^E	0.22	0.05	–	–	1.76	–
LiGaO ₂ , s ^D	0.17	0.07	–	–	2.74	–
Li ₂ GeO ₃ , s ^E	0.27	0.26	–	–	–	–
	0.25	0.28	–	–	–	–
	0.18	0.12	–	–	8.60	–
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^E	0.30	0.22	–	–	25.8	–
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^D	0.25	0.26	–	–	–	–
Li ₂ GeO ₃ + 4 at% Si, s ^E	0.10	0.19	–	–	–	–
Li ₂ SiO ₃ , s ^E	0.25	0.23	–	–	–	–
LiTiC ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	0.46	0.27	–	–	7.24	–
MgBaF ₄	0.20	0.15	–	–	25.8	–

Табл. П13 (продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.40	0.43	–	–	–	–
	0.40	0.31	–	–	40.5	–
C ₆ N ₂ O ₃ H ₆	0.99	0.56	–	–	6.04	–
Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ ·2H ₂ O	0.20	0.34	–	–	–	–
NiSO ₄ ·7H ₂ O	0.39	0.33	–	–	–	–
Co ₂ SiO ₄	0.34	0.21	–	–	9.61	–
(Mg ₉₃ Fe ₇) ₂ SiO ₄	0.28	0.14	–	–	4.89	–
(Mg _{92.71} Fe _{7.24} Mn _{0.04}) ₂ SiO ₄	0.28	0.14	–	–	4.89	–
(Mg ₉₂ Fe ₈) ₂ SiO ₄	0.28	0.11	–	–	2.94	–
(Mg ₈₉ Fe ₁₁ Ca _{0.1} Ni _{0.4} Mn _{0.1}) ₂ SiO ₄	0.26	0.16	–	–	9.72	–
Mg ₂ GeO ₄	0.26	0.14	–	–	5.39	–
Ni ₂ SiO ₄	0.35	0.21	–	–	8.47	–
Orthoferrosiite	0.16	0.37	13.3	–	–	–
K ₂ Ba(NO ₂) ₄	0.21	0.28	–	–	–	–
C ₆ H ₄ COOHCOOK	0.06	0.38	1.69	–	–	–
K ₂ Cd ₂ (SO ₄) ₃	0.39	0.18	–	–	3.49	–
KHSO ₄	0.41	0.15	–	–	2.66	–
KNO ₃ (II)	0.29	0.29	–	–	–	–
KNO ₃	0.36	0.35	–	–	–	–
KB ₅ O ₈ ·4H ₂ O	0.82	0.14	–	–	1.47	–
K ₂ SeO ₄	0.34	0.17	–	–	4.29	–
K ₂ SO ₄	0.26	0.27	–	–	–	–
K ₂ ZnCl ₄	0.13	0.38	6.16	–	–	–
(Mg _{1.6} Li _{0.2} Sc _{0.2})Si ₂ O ₆	0.22	0.30	–	–	–	–
(CD) ₄ N ₂	0.43	0.21	–	–	–	–
C ₆ H ₄ (OH) ₂	0.83	0.38	–	–	3.17	–
KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	0.18	0.43	7.11	–	–	–
C ₆ H ₄ COOHCOORb	0.16	0.40	3.42	–	–	–
	0.01	0.42	1.07	–	–	–
RbHSO ₄	0.06	0.49	2.92	–	–	–
Rb ₂ SO ₄	0.29	0.27	–	–	–	–
Rb ₂ ZnBr ₄	0.24	0.34	–	–	–	–
Rb ₂ ZnCl ₄	0.22	0.34	–	–	–	–
	0.19	0.40	15.0	–	–	–
Al ₂ SiO ₅ (Silimanite)	0.36	0.23	–	–	8.13	–
AgNO ₃	0.23	0.64	4.43	–	–	–
AgTlSe	1.00	-0.32	–	–	–	1.82
NaNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	0.13	0.24	8.78	–	–	–
	0.40	0.40	–	–	–	–
Na ₂ CoGeO ₄ , s ^D	0.29	0.52	15.3	–	–	–
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.33	0.28	–	–	56.8	–
NaBF ₄ (293K)	0.21	0.26	–	–	–	–
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	0.19	0.44	10.5	–	–	–
NaNO ₂	0.15	0.33	18.2	–	–	–

Табл. П13 (продолжение)

Трубка	v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1 \ll 1)$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Na_2SO_4	0.12	0.34	7.75	—	—	—
$\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.34	0.38	—	—	—	—
$(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O}, \text{OH})_2$	0.85	0.04	—	—	1.11	—
$\text{Sr}(\text{COOH})_2$	0.16	0.62	4.60	—	—	—
$\text{Sr}(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.06	0.26	—	—	—	—
	0.26	0.49	21.6	—	—	—
SrSO_4	0.18	0.64	3.36	—	—	—
$\alpha\text{-S}$	0.18	0.42	9.50	—	—	—
	0.41	0.12	—	—	1.93	—
$\text{Te}_2\text{V}_2\text{O}_9, s^E$	0.20	0.16	—	—	—	—
Mn_2SiO_4	0.35	0.21	—	—	8.05	—
TbF_3	-0.02	0.59	—	1.11	—	—
$\text{Tb}_2(\text{MoO}_4)_3, s^E$	0.42	0.12	—	—	1.85	—
$\text{C}_{10}\text{H}_{18}(\text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}$	0.18	0.22	—	—	—	—
$[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_2\text{ZnCl}_4$	0.33	0.44	—	—	—	—
TlNO_3	0.54	0.19	—	—	2.39	—
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4\text{HTl}$	-0.24	0.77	—	11.6	—	—
Tl_2SO_4	0.25	0.49	10.6	—	—	—
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	0.23	0.21	—	—	—	—
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2 (293\text{K})$	0.27	0.07	—	—	1.78	—
Sn-38.1 wt\% Pb	0.36	0.37	—	—	—	—
$\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	0.29	0.42	—	—	—	—
Ni_3B	0.25	0.45	12.4	—	—	—
$\text{C}_{24}\text{H}_{18}$	0.18	0.48	8.46	—	—	—
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	0.32	0.76	43.9	—	—	—
$\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4$	0.19	0.39	36.1	—	—	—
$\alpha\text{-U}$	0.39	0.18	—	—	3.31	—
$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$	0.16	0.40	9.15	—	—	—
ZnSb	0.22	0.26	—	—	—	—
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.16	0.29	—	—	—	—
	0.48	0.22	—	—	3.55	—

Табл. П14 Модули Юнга тонкостенных ($\rho - 1 \ll 1$) и толстостенных ($\rho = 10$) хиральных орторомбических трубок при $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi/2$

Трубка	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
$C_{10}H_6(CH_2)_2$	12.3	12.5	10.8	11.1
	9.09	10.0	8.93	9.64
$(NH_4)_2BeF_4$	22.7	22.7	17.1	17.1
	25.8	25.8	16.6	16.6
	25.8	25.8	24.6	24.7
$NH_4HC_2O_4 \cdot 1/2H_2O$	61.0	61.0	28.8	31.7
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	33.0	33.2	31.9	33.2
$NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$	9.84	13.5	11.6	15.2
NH_4ClO_4	12.8	13.5	14.1	15.9
$(NH_4)_2SO_4$	24.8	24.9	20.3	20.4
	26.4	26.4	19.9	20.0
Al_2SiO_5 (Andalusite)	188	188	251	251
$CaSO_4$	90.9	91.0	175	175
SbSI	27.5	27.7	26.2	26.2
	27.5	27.6	26.2	26.3
$CaCO_3$	143	148	75.8	75.8
$BaMnF_4, s^E$	58.8	65.4	36.6	39.9
$Ba_2NaNb_5O_{15}, s^E$	189	189	195	195
$BaSO_4$	58.1	60.5	53.2	55.3
$C_{14}H_{12}N_2$	11.0	11.2	3.66	4.05
$(C_6H_5)_2CO$	7.69	8.17	6.37	6.39
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	16.8	17.8	9.24	9.25
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	23.6	23.6	7.86	9.30
$(CH_3)_3NCH_2COO (CH)_2(COOH)_2$	37.0	37.0	12.2	12.4
$(Mg,Fe)SiO_3$	154	155	129	1297
$Mg_{0.84}Fe_{0.16}SiO_3$	193	194	139	139
$Mg_{0.8}Fe_{0.2}SiO_3$	190	192	134	135
CdSb	76.9	76.9	89.3	89.4
	49.5	49.6	58.1	58.3
$Cd(COOH)_2$	18.5	20.1	8.06	8.64
$CaB_2Si_2O_8$	117	118	208	208
$Ca(COOH)_2$	20.4	21.1	11.8	12.5
$CaPd(CN)_4 \cdot 5H_2O$	23.9	23.9	39.5	40.0
$C_{12}H_9N-C_6H_3(NO_2)_3, s^D$	11.3	11.3	5.67	6.04
$C_6H_4COOHCOOCs$	10.4	10.7	7.09	7.48
Cs_2SO_4	32.7	32.7	30.9	30.9
$CsSCN$	10.1	10.3	17.4	17.8
$BeAl_2O_4$	478	479	386	386
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	13.9	15.7	9.17	9.63
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	20.4	20.4	29.5	29.5

Табл. П14 (продолжение)

Трубка	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	52.1	105	22.3	22.7
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Danburite)	103	103	179	181
CaB ₂ Si ₂ O ₈ (Datolite)	201	202	146	147
C ₆ H ₄ (NO ₂) ₂	7.18	7.92	7.38	7.91
MgSiO ₃	190	191	148	149
Fe ₂ SiO ₄	204	204	120	120
	207	210	110	110
Fe ₂ SiO ₄ (synthetic), s ^S	207	210	110	110
Mg ₂ SiO ₄	297	297	171	172
Gd ₂ (MoO ₄) ₃	49.8	49.9	62.5	62.7
Ga	82.0	82.8	71.4	71.8
C ₅ H ₁₀ ClNO	9.90	10.1	13.9	14.97
[CN ₃ H ₆]C ₄ H ₆ NO ₄	12.6	12.9	11.9	12.0
[CN ₃ H ₆] ₂ C ₈ H ₄ O ₄	3.61	3.64	3.80	3.92
In ₄ Se ₃	23.8	26.3	58.8	59.4
HIO ₃	49.5	50.5	38.3	39.4
	49.3	50.7	38.8	39.4
DIO ₃	49.5	50.9	38.8	39.4
I	3.05	3.21	9.71	11.7
Iododurene	2.91	3.18	2.79	3.03
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	6.30	6.93	2.39	2.48
La ₂ CuO ₄	117	119	116	118
PbBr ₂	19.7	20.8	24.7	25.3
PbCl ₂	27.3	27.6	33.2	33.4
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^E	146	147	144	145
Pb ₂ KNb ₅ O ₁₅ , s ^D	150	150	145	145
CH ₃ COOLi·2H ₂ O	24.6	24.6	53.8	53.8
LiNH ₄ SO ₄	26.2	26.4	31.7	31.8
	28.3	28.4	29.8	30.3
LiNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·H ₂ O	33.3	33.6	39.1	39.2
	30.9	31.1	41.8	42.0
LiCsSO ₄	38.6	39.6	51.0	51.0
LiCOOH·H ₂ O, s ^E	16.7	16.7	20.3	20.5
Li ₂ Ge ₇ O ₁₅	165	165	128	128
	165	165	126	126
LiHSeO ₃	20.8	21.6	57.8	57.9
LiGaO ₂ , s ^E	137	137	110	111
LiGaO ₂ , s ^D	139	139	114	114
Li ₂ GeO ₃ , s ^E	97.2	97.2	108	108
	97.4	97.4	108	108
	96.2	96.2	106	106
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^E	97.2	97.2	107	107
Li ₂ GeO ₃ (293K), s ^D	101	101	109	109

Табл. П14 (продолжение)

Трубка	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
$\text{Li}_2\text{GeO}_3 + 4 \text{ at\% Si, s}^E$	96.2	96.4	106	106
$\text{Li}_2\text{SiO}_3, \text{s}^E$	118	118	133	133
$\text{LiTiC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	31.2	31.4	41.8	42.1
MgBaF_4	70.9	72.3	69.4	69.5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	19.0	19.1	16.1	16.1
	19.2	19.2	16.1	16.2
$\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_3\text{H}_6$	7.00	11.5	4.91	5.35
$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	58.1	59.6	48.1	48.4
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20.0	20.0	16.4	16.4
Co_2SiO_4	240	241	138	139
$(\text{Mg}_{93}\text{Fe}_7)_2\text{SiO}_4$	291	291	167	168
$(\text{Mg}_{92.71}\text{Fe}_{7.24}\text{Mn}_{0.04})_2\text{SiO}_4$	291	291	167	168
$(\text{Mg}_{92}\text{Fe}_8)_2\text{SiO}_4$	292	292	170	171
$(\text{Mg}_{89}\text{Fe}_{11}\text{Ca}_{0.1}\text{Ni}_{0.4}\text{Mn}_{0.1})_2\text{SiO}_4$	286	286	164	165
Mg_2GeO_4	282	282	161	162
Ni_2SiO_4	270	270	175	176
Orthoferrosiite	137	138	96.2	97.4
$\text{K}_2\text{Ba}(\text{NO}_2)_4$	27.8	27.8	25.8	25.9
$\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOOK}$	9.62	9.66	10.1	10.3
$\text{K}_2\text{Cd}_2(\text{SO}_4)_3$	61.3	61.4	54.9	55.5
KHSO_4	45.5	45.5	22.0	22.5
KNO_3 (II)	26.3	26.4	23.8	23.8
KNO_3	26.4	26.5	20.1	20.1
$\text{KB}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	43.1	43.2	13.6	16.5
K_2SeO_4	40.3	40.7	39.5	39.7
K_2SO_4	42.4	42.4	45.9	45.9
K_2ZnCl_4	15.6	15.7	15.7	15.9
$(\text{Mg}_{1.6}\text{Li}_{0.2}\text{Sc}_{0.2})\text{Si}_2\text{O}_6$	172	176	114	115
$(\text{CD})_4\text{N}_2$	19.2	19.7	7.09	7.19
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	5.26	5.26	9.43	9.71
$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	19.6	19.7	29.5	29.8
$\text{C}_6\text{H}_4\text{COOHCOORb}$	7.81	7.97	8.55	8.64
	7.63	7.72	9.43	9.71
RbHSO_4	22.9	23.2	30.1	31.2
Rb_2SO_4	38.8	38.8	39.8	39.8
Rb_2ZnBr_4	12.2	12.2	12.9	12.9
Rb_2ZnCl_4	14.6	14.6	15.6	16.0
	13.5	13.5	15.3	15.4
Al_2SiO_5 (Silimanite)	242	245	153	154
AgNO_3	11.3	11.9	13.5	14.2
AgTlSe	18.7	26.3	14.4	22.2
$\text{NaNH}_4\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	17.9	19.2	26.3	26.4
	17.5	17.6	26.0	26.0

Табл. П14 (продолжение)

Трубка	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$	
	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$	$\rho - 1 \ll 1$	$\rho = 10$
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	16.7	16.9	29.4	29.4
NaBF ₄ (293K)	39.4	40.3	29.9	29.9
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	66.0	66.0	83.8	84.7
NaNO ₂	25.1	25.1	49.8	50.0
Na ₂ SO ₄	65.4	65.5	93.5	94.1
Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ ·2H ₂ O	27.0	27.0	31.6	31.7
(Fe,Mg) ₂ (Al,Fe ⁺³) ₉ O ₆ SiO ₄ (O,OH) ₂	313	313	73.0	102
Sr(COOH) ₂	19.3	21.0	20.0	21.4
Sr(COOH) ₂ ·2H ₂ O	35.2	38.3	32.3	32.5
	26.2	26.5	29.3	29.7
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	16.7	16.9	29.4	29.4
NaBF ₄ (293K)	39.4	40.3	29.9	29.9
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	66.0	66.0	83.8	84.7
NaNO ₂	25.1	25.1	49.8	50.0
Na ₂ SO ₄	65.4	65.5	93.5	94.1
Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ ·2H ₂ O	27.0	27.0	31.6	31.7
(Fe,Mg) ₂ (Al,Fe ⁺³) ₉ O ₆ SiO ₄ (O,OH) ₂	313	313	73.0	102
Sr(COOH) ₂	19.3	21.0	20.0	21.4
Sr(COOH) ₂ ·2H ₂ O	35.2	38.3	32.3	32.5
	26.2	26.5	29.3	29.7
SrSO ₄	45.5	48.9	45.9	49.1
α -S	14.1	14.4	12.0	12.3
	13.4	13.4	9.01	9.26
Te ₂ V ₂ O ₉ , s ^E	85.5	85.7	71.4	71.5
Mn ₂ SiO ₄	198	198	116	116
TbF ₃	101	103	163	171
Tb ₂ (MoO ₄) ₃ , s ^E	55.6	55.7	54.9	56.1
C ₁₀ H ₁₈ (OH) ₂ H ₂ O	9.43	9.45	8.33	8.34
[N(CH ₃) ₄] ₂ ZnCl ₄	7.40	7.75	5.92	5.95
TiNO ₃	28.4	28.4	21.4	22.1
C ₈ H ₄ O ₄ HTl	6.67	6.67	11.0	13.1
Tl ₂ SO ₄	21.7	22.0	21.0	21.3
SC(NH ₂) ₂	7.52	7.93	23.8	23.8
SC(NH ₂) ₂ (293K)	8.09	8.57	24.6	24.7
Sn-38.1 wt% Pb	42.2	42.2	43.7	43.7
C ₆ H ₃ Cl ₃	5.41	5.41	7.94	7.96
Ni ₃ B	150	150	166	167
C ₂₄ H ₁₈	5.26	5.26	10.5	10.7
(CH ₃ NHCH ₂ COOH) ₃ ·CaCl ₂	12.6	14.6	18.5	19.4
Al ₂ (F,OH) ₂ SiO ₄	226	227	283	285
α -U	204	206	149	151
(Fe,Mn)WO ₄	125	126	123	125
ZnSb	72.5	72.7	87.7	87.7
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	33.9	34.3	26.5	26.7
	19.2	19.3	15.9	16.1

Табл. П15 Минимальные и максимальные значения модуля Юнга хиральных трубок из орторомбических кристаллов при $1.01 \leq \rho \leq 10$ и $0 \leq \alpha \leq \pi/2$

Трубка	E_{\min} , ГПа	ρ_{\min}	α_{\min}	E_{\max} , ГПа	ρ_{\max}	α_{\max}
$C_{10}H_6(CH_2)_2$	5.64	1.01	0.26π	12.5	10.0	0
	8.18	1.01	0.26π	10.0	10.0	0
$(NH_4)_2BeF_4$	17.1	1.01	0.50π	22.9	10.0	0.12π
	16.6	1.01	0.50π	26.4	10.0	0.14π
	22.1	1.01	0.27π	25.8	10.0	0
$NH_4HC_2O_4 \cdot 1/2H_2O$	26.2	1.01	0.32π	61.0	10.0	0
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	31.9	1.01	0.50π	33.2	10.0	0
$NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$	9.84	1.01	0	35.0	10.0	0.26π
NH_4ClO_4	12.8	1.01	0	26.0	10.0	0.26π
$(NH_4)_2SO_4$	20.3	1.01	0.50π	25.8	10.0	0.18π
	19.9	1.01	0.50π	26.4	10.0	0.09π
Al_2SiO_5 (Andalusite)	188	1.01	0	260	10.0	0.34π
$CaSO_4$	32.4	1.01	0.24π	175	10.0	0.50π
SbSI	17.8	1.01	0.26π	27.7	10.0	0
	17.5	1.01	0.26π	27.6	10.0	0
$CaCO_3$	75.8	1.01	0.50π	148	10.0	0
$BaMnF_4$, s^E	36.6	1.01	0.50π	65.4	10.0	0
$Ba_2NaNb_5O_{15}$, s^E	189	1.01	0	204	10.0	0.27π
$BaSO_4$	53.2	1.01	0.50π	73.7	10.0	0.24π
$C_{14}H_{12}N_2$	3.66	1.01	0.50π	11.2	10.0	0
$(C_6H_5)_2CO$	6.37	1.01	0.50π	9.5	10.0	0.22π
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot H_3BO_3$	9.24	1.01	0.50π	18.6	10.0	0.15π
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot CaCl_2 \cdot 2H_2O$	7.63	1.01	0.37π	23.6	10.0	0
$(CH_3)_3NCH_2COO \cdot (CH)_2(COOH)_2$	2.92	1.01	0.26π	37.0	10.0	0
$(Mg,Fe)SiO_3$	129	1.01	0.50π	155	10.0	0
$Mg_{0.84}Fe_{0.16}SiO_3$	139	1.01	0.50π	199	10.0	0.15π
$Mg_{0.8}Fe_{0.2}SiO_3$	134	1.01	0.50π	198	10.0	0.15π
CdSb	53.8	1.01	0.24π	89.4	10.0	0.50π
	49.5	1.01	0	59.9	10.0	0.33π
$Cd(COOH)_2$	8.06	1.01	0.50π	33.9	10.0	0.21π
$CaB_2Si_2O_8$	117	1.01	0	210	10.0	0.40π
$Ca(COOH)_2$	11.8	1.01	0.50π	53.2	10.0	0.23π
$CaPd(CN)_4 \cdot 5H_2O$	23.9	1.01	0	43.5	10.0	0.33π
$C_{12}H_9N-C_6H_3(NO_2)_3$, s^D	5.40	1.01	0.34π	11.3	10.0	0
$C_6H_4COOHCOOCs$	7.09	1.01	0.50π	14.8	10.0	0.22π
Cs_2SO_4	30.9	1.01	0.50π	33.8	10.0	0.21π
$CsSCN$	8.81	1.01	0.20π	17.8	10.0	0.50π
$BeAl_2O_4$	379	1.01	0.34π	479	10.0	0
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	9.17	1.01	0.50π	16.8	10.0	0.17π
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	20.4	1.01	0	35.9	10.0	0.30π
Cu-14 wt% Al 3.0 wt% Ni	22.3	1.01	0.50π	168	10.0	0.20π
$CaB_2Si_2O_8$ (Danburite)	103	1.01	0	184	10.0	0.39π
$CaB_2Si_2O_8$ (Datolite)	146	1.01	0.50π	202	10.0	0.04π

Табл. П15 (продолжение)

Трубка	E_{\min} , ГПа	ρ_{\min}	α_{\min}	E_{\max} , ГПа	ρ_{\max}	α_{\max}
$C_6H_4(NO_2)_2$	7.18	1.01	0	13.0	10.0	0.25π
$MgSiO_3$	148	1.01	0.50π	202	10.0	0.18π
Fe_2SiO_4	120	1.01	0.50π	204	10.0	0
	110	1.01	0.50π	210	10.0	0
Fe_2SiO_4, s^S	110	1.01	0.50π	210	10.0	0
Mg_2SiO_4	171	1.01	0.50π	297	10.0	0
$Gd_2(MoO_4)_3$	49.8	1.01	0	66.8	10.0	0.31π
Ga	71.4	1.01	0.50π	95.5	10.0	0.22π
$C_5H_{10}ClNO_4$	9.90	1.01	0	19.7	10.0	0.29π
$[CN_3H_6]C_4H_6NO_4$	11.9	1.01	0.50π	19.9	10.0	0.25π
$[CN_3H_6]_2C_8H_4O_4$	3.61	1.01	0	13.8	10.0	0.25π
In_4Se_3	23.8	1.01	0	59.4	10.0	0.50π
HIO_3	37.8	1.01	0.36π	50.5	10.0	0
	37.8	1.01	0.34π	50.7	10.0	0
DIO_3	37.8	1.01	0.34π	50.9	10.0	0
I	3.05	1.01	0	13.5	10.0	0.34π
Iododurene	2.79	1.01	0.50π	8.60	10.0	0.25π
<i>N</i> -Isopropylcarbazole	2.39	1.01	0.50π	7.59	10.0	0.16π
La_2CuO_4	116	1.01	0.50π	206	10.0	0.25π
$PbBr_2$	10.1	1.01	0.24π	25.3	10.0	0.50π
$PbCl_2$	17.9	1.01	0.24π	33.4	10.0	0.50π
$Pb_2KNb_5O_{15}, s^E$	144	1.01	0.50π	147	10.0	0
$Pb_2KNb_5O_{15}, s^D$	145	1.01	0.50π	150	10.0	0
$CH_3COOLi \cdot 2H_2O$	13.9	1.01	0.23π	53.8	10.0	0.50π
$LiNH_4SO_4$	26.2	1.01	0	35.7	10.0	0.29π
	28.3	1.01	0	36.1	10.0	0.26π
$LiNH_4C_4H_4O_6 \cdot H_2O$	33.3	1.01	0	50.0	10.0	0.28π
	30.9	1.01	0	42.1	10.0	0.44π
$LiCsSO_4$	38.6	1.01	0	51.5	10.0	0.37π
$LiCOOH \cdot H_2O, s^E$	13.7	1.01	0.23π	20.5	10.0	0.50π
$Li_2Ge_7O_{15}$	96.9	1.01	0.27π	165	10.0	0
	96.9	1.01	0.28π	165	10.0	0
$LiHSeO_3$	20.8	1.01	0	57.9	10.0	0.50π
$LiGaO_2, s^E$	110	1.01	0.50π	140	10.0	0.16π
$LiGaO_2, s^D$	113	1.01	0.50π	140	10.0	0.13π
Li_2GeO_3, s^E	95.1	1.01	0.19π	108	10.0	0.50π
	95.6	1.01	0.18π	108	10.0	0.50π
	93.5	1.01	0.20π	106	10.0	0.50π
$Li_2GeO_3 (293K), s^E$	95.2	1.01	0.19π	107	10.0	0.50π
$Li_2GeO_3 (293K), s^D$	98.0	1.01	0.2π	109	10.0	0.50π
$Li_2GeO_3 + 4 \text{ at\% Si}, s^E$	89.9	1.01	0.22π	106	10.0	0.50π
Li_2SiO_3, s^E	108	1.01	0.22π	134	10.0	0.50π
$LiTiC_4H_4O_6 \cdot H_2O$	31.2	1.01	0	42.1	10.0	0.45π
$MgBaF_4$	61.9	1.01	0.26π	72.3	10.0	0

Табл. П15 (продолжение)

Трубка	E_{\min} , ГПа	ρ_{\min}	α_{\min}	E_{\max} , ГПа	ρ_{\max}	α_{\max}
MgSO ₄ ·7H ₂ O	16.1	1.01	0.50π	22.2	10.0	0.22π
	16.1	1.01	0.50π	22.0	10.0	0.22π
C ₆ N ₂ O ₃ H ₆	4.91	1.01	0.50π	13.8	10.0	0.22π
Na ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ ·2H ₂ O	48.1	1.01	0.50π	84.4	10.0	0.20π
NiSO ₄ ·7H ₂ O	16.4	1.01	0.50π	24.0	10.0	0.22π
Co ₂ SiO ₄	138	1.01	0.50π	241	10.0	0
(Mg ₉₃ Fe ₇) ₂ SiO ₄	167	1.01	0.50π	291	10.0	0
(Mg _{92.71} Fe _{7.24} Mn _{0.04}) ₂ SiO ₄	167	1.01	0.50π	291	10.0	0
(Mg ₉₂ Fe ₈) ₂ SiO ₄	170	1.01	0.50π	292	10.0	0
(Mg ₈₉ Fe ₁₁ Ca _{0.1} Ni _{0.4} Mn _{0.1}) ₂ SiO ₄	164	1.01	0.50π	286	10.0	0
Mg ₂ GeO ₄	161	1.01	0.50π	282	10.0	0
Ni ₂ SiO ₄	175	1.01	0.50π	270	10.0	0
Orthoferrosilite	96.2	1.01	0.50π	142	10.0	0.15π
K ₂ Ba(NO ₂) ₄	25.8	1.01	0.50π	27.8	10.0	0
C ₆ H ₄ COOHCOOK	9.62	1.01	0	14.2	10.0	0.25π
K ₂ Cd ₂ (SO ₄) ₃	54.5	1.01	0.35π	61.4	10.0	0
KHSO ₄	21.9	1.01	0.40π	45.5	10.0	0
KNO ₃ (II)	22.6	1.01	0.29π	26.4	10.0	0
KNO ₃	20.1	1.01	0.50π	26.5	10.0	0
KB ₅ O ₈ ·4H ₂ O	13.6	1.01	0.43π	43.2	10.0	0
K ₂ SeO ₄	37.6	1.01	0.27π	40.7	10.0	0
K ₂ SO ₄	38.4	1.01	0.23π	45.9	10.0	0.50π
K ₂ ZnCl ₄	13.3	1.01	0.25π	15.9	10.0	0.50π
(Mg _{1.6} Li _{0.2} Sc _{0.2})Si ₂ O ₆	114	1.01	0.50π	179	10.0	0.13π
(CD) ₄ N ₂	4.88	1.01	0.29π	19.7	10.0	0
C ₆ H ₄ (OH) ₂	5.26	1.01	0	10.2	10.0	0.35π
KNaC ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	19.6	1.01	0	29.8	10.0	0.50π
C ₆ H ₄ COOHCOORb	7.81	1.01	0	13.9	10.0	0.25π
	7.63	1.01	0	13.6	10.0	0.27π
RbHSO ₄	22.9	1.01	0	32.0	10.0	0.35π
Rb ₂ SO ₄	36.9	1.01	0.24π	39.8	10.0	0.50π
Rb ₂ ZnBr ₄	10.0	1.01	0.24π	12.9	10.0	0.50π
Rb ₂ ZnCl ₄	11.1	1.01	0.24π	16.0	10.0	0.50π
	10.9	1.01	0.24π	15.4	10.0	0.50π
Al ₂ SiO ₅ (Silimanite)	153	1.01	0.50π	245	10.0	0
AgNO ₃	11.3	1.01	0	26.0	10.0	0.26π
AgTlSe	14.4	1.01	0.50π	26.3	10.0	0.08π
NaNH ₄ C ₄ H ₄ O ₆ ·4H ₂ O	17.9	1.01	0	26.4	10.0	0.50π
	17.5	1.01	0	26.0	10.0	0.50π
Na ₂ CoGeO ₄ , s ^D	40.2	1.01	0.50π	86.4	10.0	0.24π
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	16.7	1.01	0	29.4	10.0	0.50π
NaBF ₄ (293K)	29.6	1.01	0.37π	40.3	10.0	0
Na ₂ GeO ₃ , s ^E	54.5	1.01	0.22π	84.7	10.0	0.50π
NaNO ₂	15.9	1.01	0.23π	50.0	10.0	0.50π
Na ₂ SO ₄	63.0	1.01	0.17π	94.1	10.0	0.50π

Табл. П15 (продолжение)

Трубка	E_{\min} , ГПа	ρ_{\min}	α_{\min}	E_{\max} , ГПа	ρ_{\max}	α_{\max}
$\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	26.9	1.01	0.12π	31.7	10.0	0.50π
$(\text{Fe},\text{Mg})_2(\text{Al},\text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6\text{SiO}_4(\text{O},\text{OH})_2$	73.0	1.01	0.50π	313	10.0	0
$\text{Sr}(\text{COOH})_2$	19.3	1.01	0	43.3	10.0	0.26π
$\text{Sr}(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	32.3	1.01	0.50π	40.7	10.0	0.21π
	26.2	1.01	0	39.2	10.0	0.27π
SrSO_4	45.5	1.01	0	74.9	10.0	0.25π
$\alpha\text{-S}$	12.0	1.01	0.50π	18.6	10.0	0.23π
	9.01	1.01	0.50π	13.4	10.0	0
$\text{Te}_2\text{V}_2\text{O}_9, s^E$	71.4	1.01	0.50π	85.7	10.0	0
Mn_2SiO_4	116	1.01	0.50π	198	10.0	0
TbF_3	101	1.01	0	171	10.0	0.50π
$\text{Tb}_2(\text{MoO}_4)_3; s^E$	54.9	1.01	0.50π	65.1	10.0	0.26π
$\text{C}_{10}\text{H}_{18}(\text{OH}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$	8.33	1.01	0.50π	9.45	10.0	0
$[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_2\text{ZnCl}_4$	5.92	1.01	0.50π	8.33	10.0	0.19π
TlNO_3	18.8	1.01	0.29π	28.4	10.0	0
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4\text{HTl}$	6.67	1.01	0	14.9	10.0	0.32π
Tl_2SO_4	21.0	1.01	0.50π	22.5	10.0	0.21π
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2$	2.39	1.01	0.24π	23.8	10.0	0.50π
$\text{SC}(\text{NH}_2)_2 (293\text{K})$	2.09	1.01	0.24π	24.7	10.0	0.50π
Sn-38.1 wt\% Pb	41.9	1.01	0.18π	43.7	10.0	0.50π
$\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	5.41	1.01	0	8.49	10.0	0.33π
Ni_3B	150	1.01	0	236	10.0	0.26π
$\text{C}_{24}\text{H}_{18}$	5.07	1.01	0.15π	10.7	10.0	0.50π
$(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$	12.6	1.01	0	46.2	10.0	0.27π
$\text{Al}_2(\text{F},\text{OH})_2\text{SiO}_4$	226	1.01	0	318	10.0	0.30π
$\alpha\text{-U}$	149	1.01	0.50π	206	10.0	0
$(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$	68.0	1.01	0.25π	126	10.0	0
ZnSb	72.5	1.01	0	87.7	10.0	0.50π
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	26.5	1.01	0.50π	40.5	10.0	0.21π
	15.9	1.01	0.50π	20.2	10.0	0.19π

Табл. П16 Коэффициенты Пуассона тонкостенных нехиральных трубок из моноклинных кристаллов и критические значения параметра толщины

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\phi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\phi z}$		
	$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$	
NaFeSi ₂ O ₆	0.23	0.33	–	–	–	–	
Aegerite-augite	0.15	0.42	11.6	–	–	–	
NaAlSi ₃ O ₈	0.26	0.22	–	–	–	–	
Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.23	0.50	9.25	–	–	–	
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	0.21	0.27	–	–	–	–	
Anthracene tetracyanobenzene	0.61	0.36	–	–	7.74	–	
Augite	0.26	0.33	–	–	–	–	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ AsO ₄	0.21	0.51	7.69	–	–	–	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·(COOH) ₂ ·2H ₂ O	0.09	0.49	2.87	–	–	–	
(CH ₃) ₃ BCH ₂ COO·H ₃ PO ₄	0.62	0.08	–	–	1.32	–	
C ₁₂ H ₁₀	-0.07	0.65	–	1.71	–	–	
C ₁₂ D ₁₀	-0.01	0.59	–	1.10	–	–	
BiVO ₄	0.42	-0.01	–	–	–	1.07	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.09	0.63	1.92	–	–	–	
	0.14	0.56	2.23	–	–	–	
CsD(SeO ₃)	-0.14	0.82	–	1.67	–	–	
CsH ₂ PO ₄	0.64	0.12	–	–	1.50	–	
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.23	0.51	8.56	–	–	–	
CoSO ₄ ·7H ₂ O	0.33	0.44	–	–	–	–	
SiO ₂	0.35	0.31	–	–	–	–	
Cu(COOH) ₂ ·4H ₂ O	0.18	0.66	2.23	–	–	–	
Diallage	0.12	0.34	33.3	–	–	–	
C ₁₄ H ₁₄	0.35	0.32	–	–	–	–	
	0.33	0.27	–	–	–	–	
p-Dichlorobenzophenone	0.31	0.10	–	–	2.09	–	
CaMgSi ₂ O ₆	0.27	0.39	–	–	–	–	
	0.25	0.37	–	–	–	–	
Durene	-0.01	0.81	–	1.05	–	–	
Epidote	0.16	0.24	–	–	–	–	
C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₆	0.99	0.09	–	–	1.21	–	
Feldspar: Labradorite	0.28	0.36	–	–	–	–	
Feldspar: Microcline	0.21	0.26	–	–	–	–	
Feldspar: Oligoclase	0.38	0.10	–	–	1.78	–	
Feldspar: Plagioclase	9 (Albite)	0.27	0.18	–	–	10.3	–
	24 (Oligoclase)	0.24	0.21	–	–	–	–
	29 (Oligoclase)	0.24	0.22	–	–	–	–
	53 (Labradorite)	0.24	0.26	–	–	–	–
	56 (Labradorite)	0.23	0.25	–	–	–	–

Табл. П16 (продолжение)

Трубка		v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
		$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Feldspar: Soda-potash	2 (Microcline)	0.21	0.18	–	–	–	–
	42 (Amazonite)	0.26	0.18	–	–	28.6	–
	43 (Orthoclase)	0.27	0.19	–	–	68.4	–
	60 (Anorthoclase)	0.32	0.17	–	–	5.55	–
	61 (Microcline)	0.25	0.18	–	–	89.1	–
	209 (Microcline)	0.27	0.24	–	–	–	–
	215 (Orthoclase)	0.17	0.14	–	–	–	–
$\beta\text{-F}_6\text{H}_4\text{F}_6$		1.01	-0.13	–	–	–	1.29
$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$		0.22	0.28	–	–	–	–
Hornblende (I)		0.26	0.21	–	–	39.4	–
Hornblende (II)		0.22	0.26	–	–	–	–
$(\text{Ba},\text{K})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$		0.29	0.21	–	–	54.8	–
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$		0.23	0.51	8.45	–	–	–
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		0.28	0.43	87.5	–	–	–
$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$		0.17	0.32	56.2	–	–	–
LaNbO_4		1.42	-0.25	–	–	–	1.41
$\text{LiC}_4\text{H}_5 \cdot \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5, s^E$		0.39	0.29	–	–	22.8	–
$\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.33	0.24	–	–	20.2	–
$(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0.20	0.71	7.60	–	–	–
$\text{K}_2\text{Co}(\text{CN})_6$		0.39	0.10	–	–	1.75	–
KHCO_3		0.60	0.10	–	–	1.44	–
KHC_2O_4		0.05	0.33	3.06	–	–	–
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.07	0.62	1.57	–	–	–
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.62	0.48	–	–	68.2	–
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		0.06	0.78	1.37	–	–	–
$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$		0.12	0.34	12.1	–	–	–
Stilbene		0.51	0.35	–	–	19.8	–
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6, s^E$		0.69	0.28	–	–	2.69	–
$\text{C}_2\text{H}_7\text{O}_3\text{NS}$		0.89	0.09	–	–	1.24	–
$\text{Te}(\text{OH})_6 \cdot 2\text{NH}_4\text{-H}_2\text{PO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$		0.06	0.58	1.55	–	–	–
SnF_2		0.04	0.51	1.42	–	–	–
$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$		0.01	0.35	1.07	–	–	–
ZrO_2		0.03	0.37	–	1.53	–	–
		0.03	0.37	1.34	–	–	–

Табл. П17 Коэффициенты Пуассона тонкостенных трубок из моноклинных кристаллов и критические значения параметра толщины при $\alpha = \pi / 4$

Трубка	ν_{rz}	$\nu_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ ν_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $\nu_{\varphi z}$	
	$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
NaFeSi ₂ O ₆	0.13	0.35	9.09	—	—	—
Aegerite-augite	0.15	0.37	16.0	—	—	—
NaAlSi ₃ O ₈	0.07	0.44	2.40	—	—	—
Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.29	0.24	—	—	84.5	—
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	0.12	0.50	4.26	—	—	—
Anthracene tetracyanobenzene	-0.25	0.37	—	—	—	—
Augite	0.02	0.29	1.62	—	—	—
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ AsO ₄	0.28	0.34	—	—	—	—
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·(COOH) ₂ ·2H ₂ O	0.13	0.71	3.65	—	—	—
(CH ₃) ₃ BCH ₂ COO·H ₃ PO ₄	0.49	0.07	—	—	1.34	—
C ₁₂ H ₁₀	0.31	0.53	70.1	—	—	—
C ₁₂ D ₁₀	0.30	0.50	62.7	—	—	—
BiVO ₄	0.34	-0.02	—	—	—	1.12
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.26	0.47	—	—	—	—
	0.54	0.29	—	—	6.86	—
CsD(SeO ₃)	0.47	0.53	—	—	—	—
CsH ₂ PO ₄	-1.34	2.13	—	91.1	—	—
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0.29	0.24	—	—	—	—
CoSO ₄ ·7H ₂ O	0.14	0.56	2.69	—	—	—
SiO ₂	-0.08	0.66	—	1.88	—	—
Cu(COOH) ₂ ·4H ₂ O	0.33	0.67	13.8	—	—	—
Diallage	0.08	0.33	10.3	—	—	—
C ₁₄ H ₁₄	0.30	0.30	—	—	—	—
	0.46	0.25	—	—	4.76	—
p-Dichlorobenzophenone	0.63	0.07	—	—	1.27	—
CaMgSi ₂ O ₆	0.09	0.37	3.60	—	—	—
	0.15	0.29	50.8	—	—	—
Durene	0.11	0.82	2.64	—	—	—
Epidote	0.14	0.28	—	—	—	—
C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₆	0.49	0.08	—	—	1.44	—
Feldspar: Labradorite	-0.06	0.65	—	1.80	—	—
Feldspar: Microcline	-0.05	0.69	—	2.10	—	—
Feldspar: Oligoclase	0.12	0.25	10.8	—	—	—
Feldspar: Plagioclase	9 (Albite)	-0.07	0.30	—	—	—
	24 (Oligoclase)	0.12	0.42	5.36	—	—
	29 (Oligoclase)	0.10	0.45	3.84	—	—
	53 (Labradorite)	0.09	0.48	3.08	—	—
	56 (Labradorite)	0.11	0.49	4.01	—	—

Табл. П17 (продолжение)

Трубка		v_{rz}	$v_{\varphi z}$	ρ_{cr} ДЛЯ v_{rz}		ρ_{cr} ДЛЯ $v_{\varphi z}$	
		$(\rho - 1) \ll 1$		$r = r_0$	$r = R_0$	$r = r_0$	$r = R_0$
Feldspar: Soda-potash	2 (Microcline)	-0.05	0.63	–	2.27	–	–
	42 (Amazonite)	-0.04	0.59	–	1.64	–	–
	43 (Orthoclase)	-0.03	0.60	–	1.48	–	–
	60 (Anorthoclase)	0.12	0.57	2.67	–	–	–
	61 (Microcline)	0.06	0.60	1.89	–	–	–
	209 (Microcline)	-0.03	0.79	–	1.29	–	–
	215 (Orthoclase)	-0.02	0.46	–	1.84	–	–
$\beta\text{-F}_6\text{H}_4\text{F}_6$		0.84	-0.33	–	–	–	2.14
$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$		0.27	0.21	–	–	27.9	–
Hornblende (I)		0.23	0.28	–	–	–	–
Hornblende (II)		0.16	0.39	11.9	–	–	–
$(\text{Ba},\text{K})\text{Al}_2\text{Si}_{12}\text{O}_8$		-0.03	0.66	–	1.37	–	–
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$		0.29	0.24	–	–	–	–
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		0.26	0.47	19.7	–	–	–
$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$		0.21	0.29	–	–	–	–
LaNbO_4		2.08	-1.14	–	–	–	3.22
$\text{LiC}_4\text{H}_5 \cdot \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5, s^E$		0.26	0.38	54.2	–	–	–
$\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.20	0.24	–	–	–	–
$(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0.07	0.41	2.32	–	–	–
$\text{K}_2\text{Co}(\text{CN})_6$		-0.05	0.14	–	–	–	–
KHCO_3		0.28	0.26	–	–	–	–
KHC_2O_4		0.09	0.97	3.39	–	–	–
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.34	0.37	–	–	–	–
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$		0.18	0.34	8.78	–	–	–
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		0.38	0.23	–	–	6.83	–
$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$		0.17	0.28	–	–	–	–
Stilbene		0.31	0.42	–	–	–	–
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6, s^E$		0.23	0.08	–	–	2.31	–
$\text{C}_2\text{H}_7\text{O}_3\text{NS}$		0.91	0.15	–	–	1.42	–
$\text{Te}(\text{OH})_6 \cdot 2\text{NH}_4\text{-H}_2\text{PO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$		0.31	0.49	–	–	–	–
SnF_2		0.40	0.16	–	–	3.00	–
$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$		0.43	0.37	–	–	–	–
ZrO_2		-0.49	0.36	–	–	–	6.94
		0.50	0.36	–	–	82.7	–

Табл. П18 Модуль Юнга тонкостенных и толстостенных ($\rho = 10$) трубок из моноклинных кристаллов при различных углах хиральности

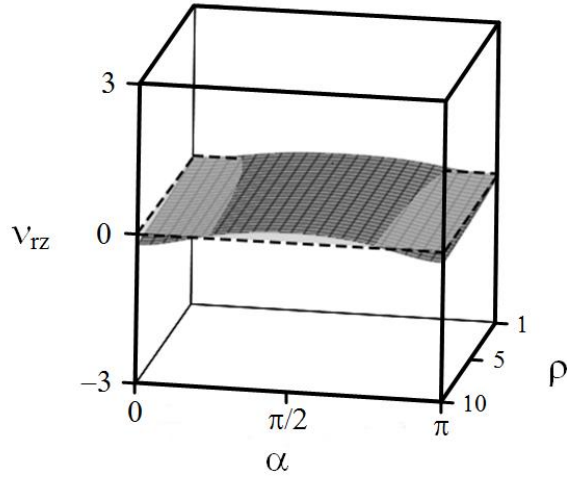
Трубка	E, ГПа				
	$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$		
	$(\rho - 1) \ll 1$	$\rho = 10$	$(\rho - 1) \ll 1$	$\rho = 10$	
NaFeSi ₂ O ₆	145	146	153	155	
Aegerite-augite	105	107	93.5	94.7	
NaAlSi ₃ O ₈	56.0	56.0	110	112	
Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	26.0	26.3	12.3	12.3	
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	89.3	89.4	167	170	
Anthracene tetracyanobenzene	11.9	12.0	12.4	13.2	
Augite	135	135	121	123	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·H ₃ AsO ₄	14.9	15.1	9.90	9.91	
(CH ₃) ₃ NCH ₂ COO·(COOH) ₂ ·2H ₂ O	6.90	7.44	9.92	10.8	
(CH ₃) ₃ BCH ₂ COO·H ₃ PO ₄	16.0	16.7	13.2	13.7	
C ₁₂ H ₁₀	3.53	4.06	2.89	2.95	
C ₁₂ D ₁₀	4.70	5.17	4.00	4.07	
BiVO ₄	68.0	71.9	92.6	94.6	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	48.3	51.2	35.8	36.4	
	64.9	66.2	33.9	34.6	
CsD(SeO ₃)	11.1	13.5	7.14	7.15	
CsH ₂ PO ₄	0.55	1.44	9.71	11.8	
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	27.0	27.2	12.7	12.7	
CoSO ₄ ·7H ₂ O	18.2	18.3	23.3	24.1	
SiO ₂	88.5	88.6	189	201	
Cu(COOH) ₂ ·4H ₂ O	20.0	21.1	20.4	21.0	
Diallage	128	130	125	127	
C ₁₄ H ₁₄	4.93	4.93	4.65	4.65	
	4.42	4.43	4.03	4.08	
p-Dichlorobenzophenone	13.8	13.8	10.3	11.0	
CaMgSi ₂ O ₆	145	146	139	142	
	175	176	139	140	
Durene	2.84	3.97	2.85	3.68	
Epidote	188	189	213	214	
C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₆	29.9	33.4	27.4	28.1	
Feldspar: Labradorite	64.1	64.3	116	125	
Feldspar: Microcline	49.5	49.6	132	140	
Feldspar: Oligoclase	50.5	52.5	133	133	
Feldspar: Plagioclase	9 (Albite)	59.5	59.7	100	102
	24 (Oligoclase)	62.9	62.9	124	125
	29 (Oligoclase)	64.5	64.5	128	130
	53 (Labradorite)	72.5	72.5	134	137
	56 (Labradorite)	74.1	74.1	143	145

Табл. П18 (продолжение)

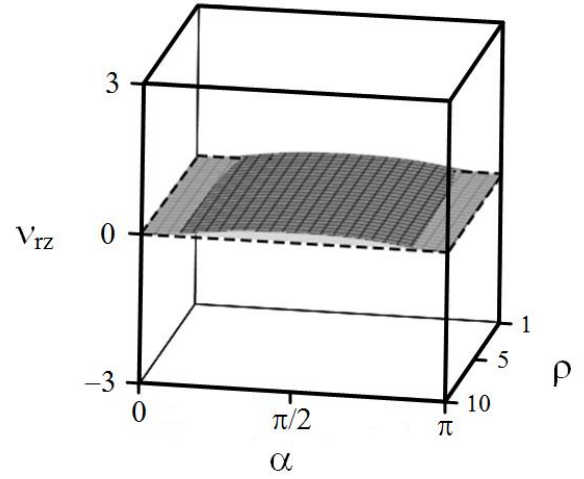
Трубка		E, ГПа			
		$\alpha = 0$		$\alpha = \pi/2$	
		$(\rho - 1) \ll 1$	$\rho = 10$	$(\rho - 1) \ll 1$	$\rho = 10$
Feldspar: Soda-potash	2 (Microcline)	40.3	40.3	142	147
	42 (Amazonite)	37.6	37.8	126	130
	43 (Orthoclase)	39.7	39.8	125	129
	60 (Anorthoclase)	38.2	38.7	127	129
	61 (Microcline)	39.8	40.0	134	137
	209 (Microcline)	37.9	37.9	125	132
	215 (Orthoclase)	41.3	41.3	133	136
	β -F ₆ H ₄ F ₆	1.62	2.63	4.00	4.42
	CaFeSi ₂ O ₆	185	185	137	137
	Hornblende (I)	89.3	89.4	121	121
	Hornblende (II)	98.0	98.1	145	146
	(Ba,K)Al ₂ Si ₁₂ O ₈	42.0	42.2	133	139
	Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	27.2	27.5	12.8	12.9
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	21.3	21.4	23.3	23.5
	NaAlSi ₂ O ₆	233	234	208	209
	LaNbO ₄	15.0	65.6	67.6	103
	LiC ₄ H ₅ ·C ₄ H ₆ O ₅ , s ^E	9.13	9.16	12.0	12.0
	Li ₂ SO ₄ ·H ₂ O, s ^E	44.4	45.0	46.9	47.0
	Li ₂ SO ₄ ·H ₂ O	43.7	43.7	44.4	44.5
	(COOH) ₂ ·2H ₂ O	12.6	13.2	7.25	7.70
	K ₂ Co(CN) ₆	16.1	16.6	22.7	22.8
	KHCO ₃	14.9	16.6	38.0	38.0
	KHC ₂ O ₄	9.43	10.2	27.6	30.7
	K ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	18.0	19.0	10.8	10.8
	C ₆ H ₁₂ O ₅ ·H ₂ O	20.2	20.3	14.5	14.6
	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	20.0	20.9	5.95	6.07
	LiAlSi ₂ O ₆	189	191	157	157
	Stilbene	4.41	4.43	5.29	5.30
	C ₄ H ₆ O ₆ , s ^E	46.3	46.8	13.0	13.2
	C ₂ H ₇ O ₃ NS	18.2	20.4	29.4	30.9
	Te(OH) ₆ ·2NH ₄ -H ₂ PO ₄ ·(NH ₄) ₂ PO ₄	29.1	30.8	24.7	24.9
	SnF ₂	40.2	40.8	12.9	13.3
	C ₁₄ H ₁₀	6.67	6.83	7.14	7.15
	ZrO ₂	290	296	282	322
		289	295	281	282

Приложение 3. Рисунки

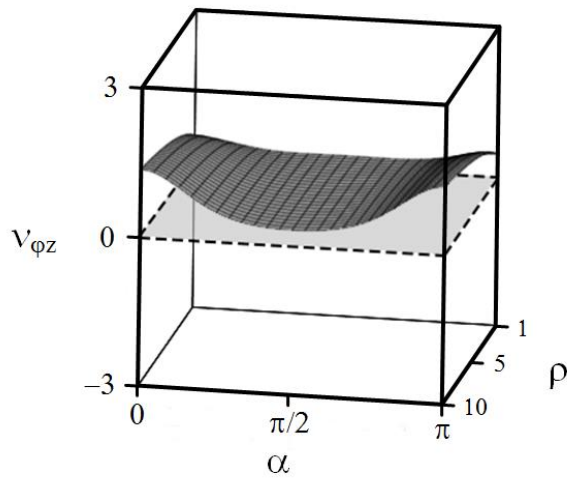
(а)



(б)



(в)



(г)

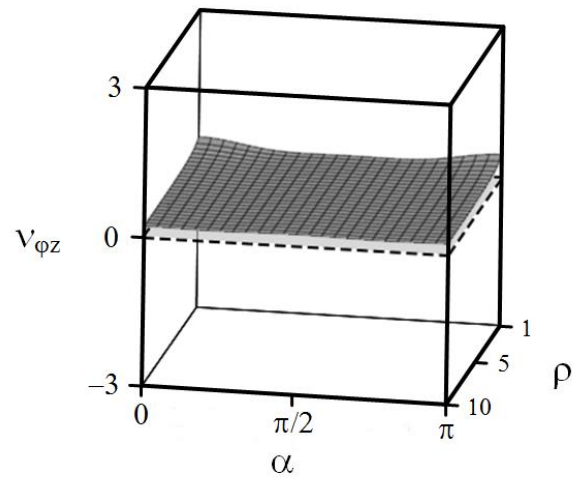


Рис. П1 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла CaCO_3

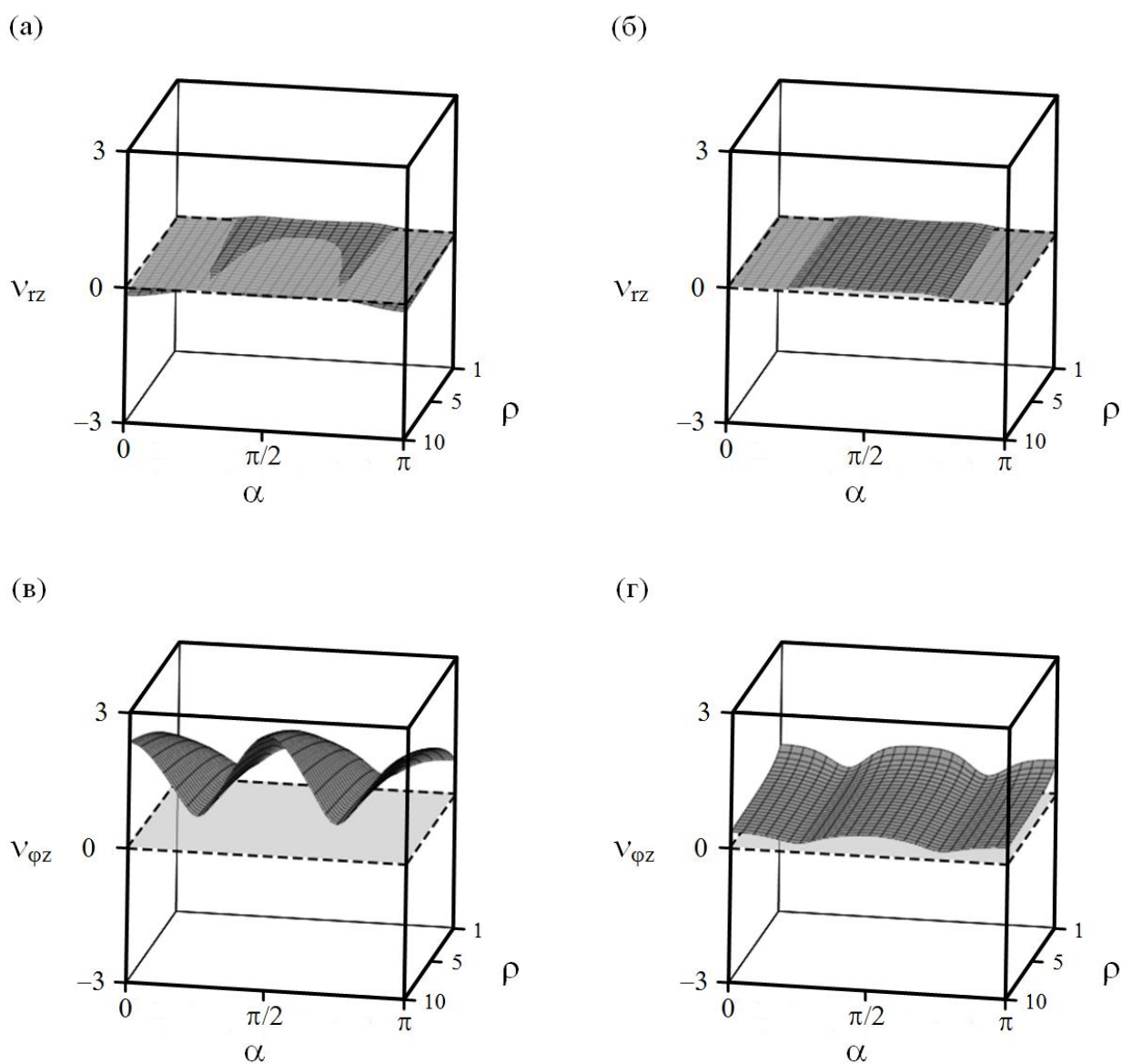


Рис. П2 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла $\text{NH}_4\text{B}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

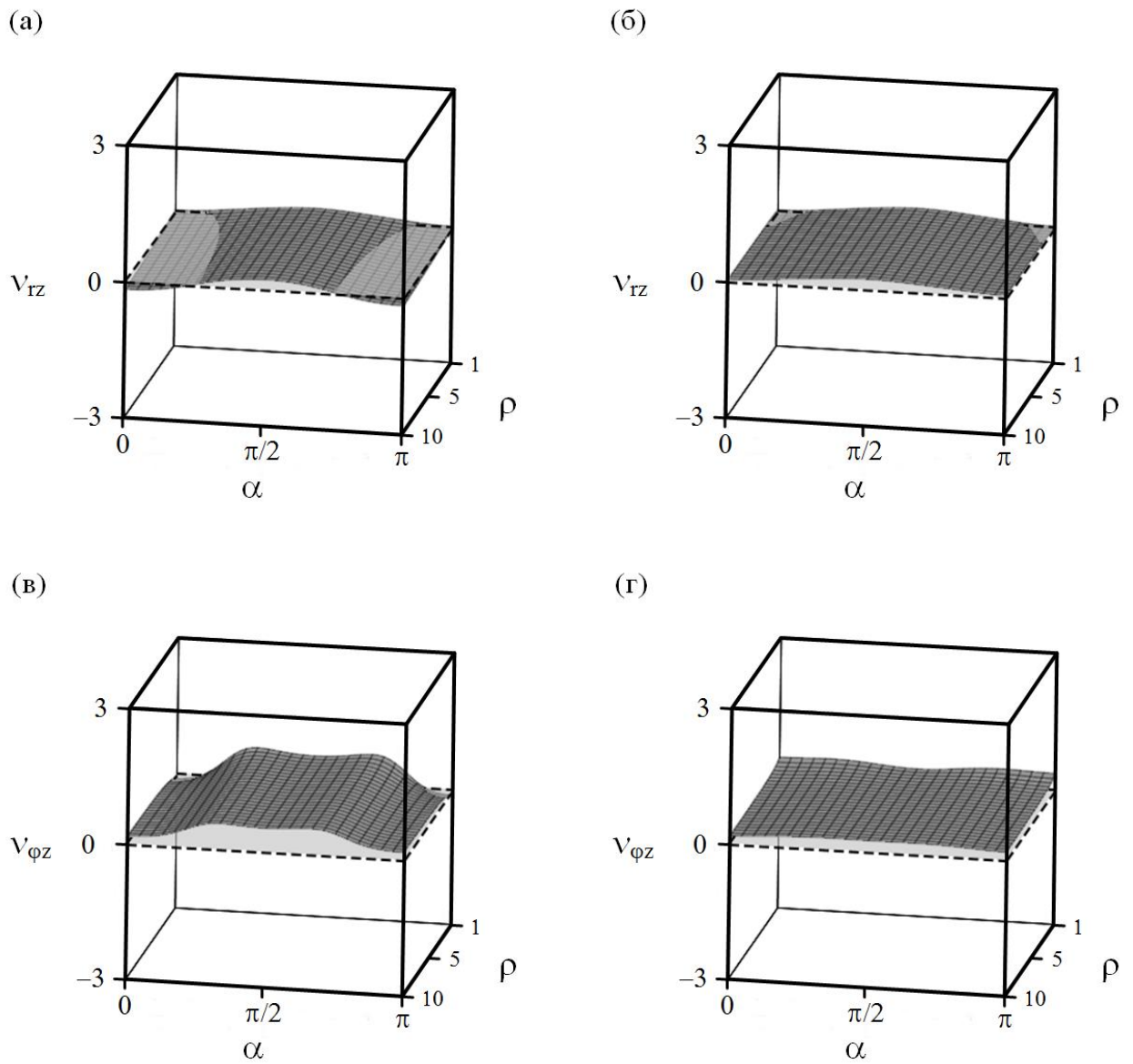


Рис. ПЗ Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла NaBF_4

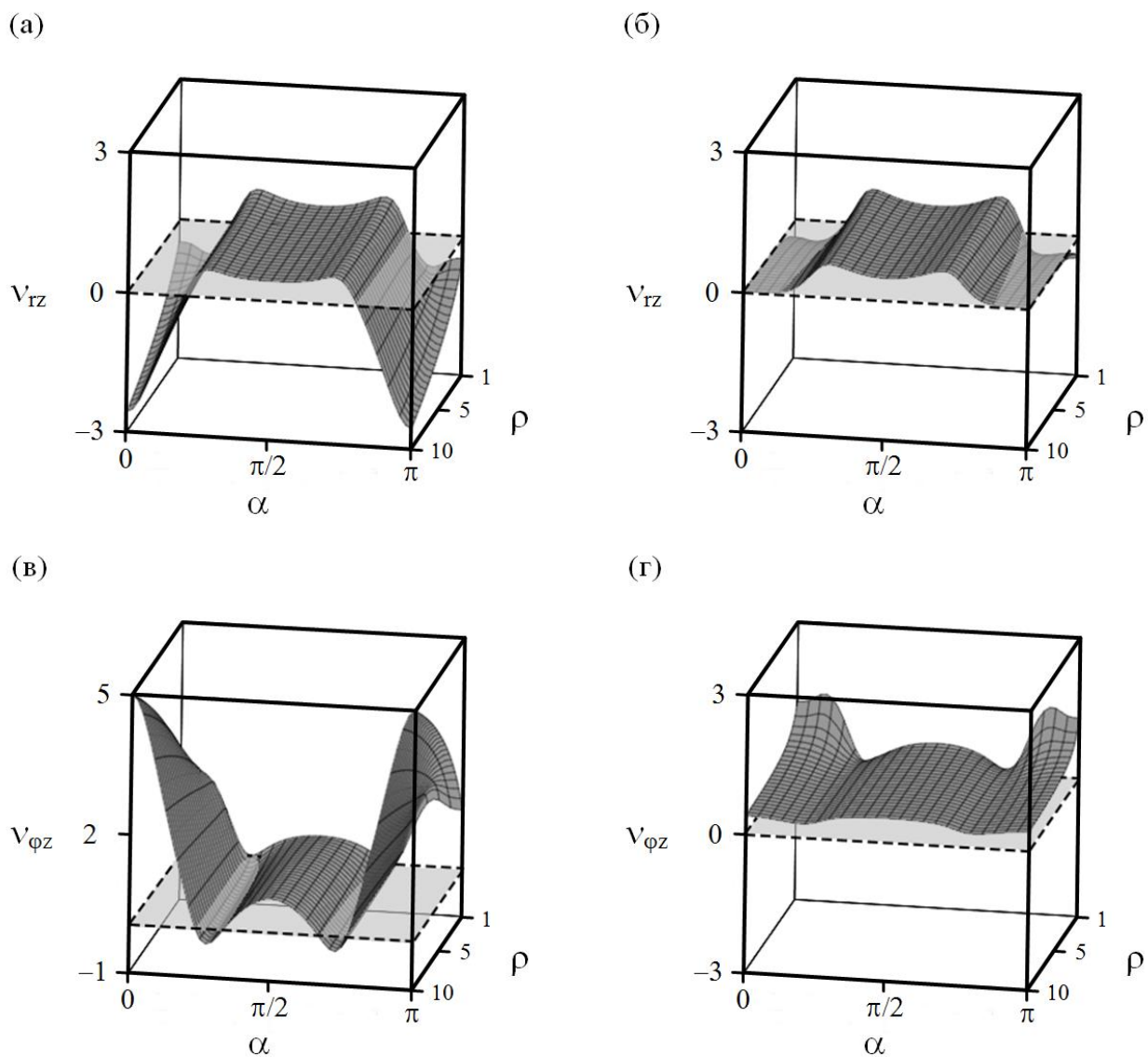


Рис. П4 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла Cu-14 wt% Al – 3.0 wt% Cu.

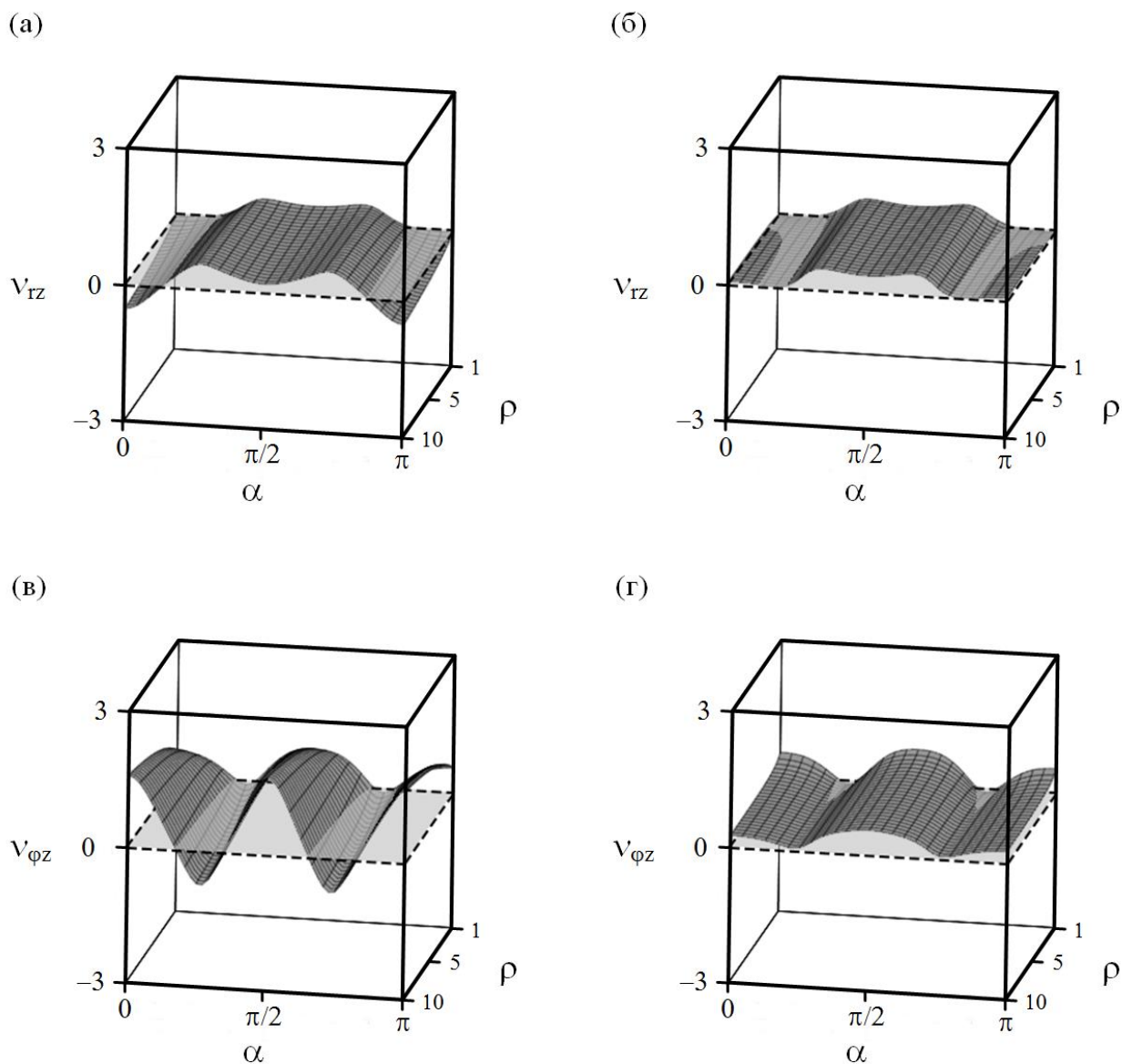


Рис. П5 Поверхности коэффициентов Пуассона v_{rz} и $v_{\phi z}$ на внутренней (а, в) и внешней (б, г) поверхностях трубки из орторомбического кристалла $(\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{CaCl}_2$