

ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ ГЛИЦИНА И ТИРОЗИНА

М.А. Белянчиков¹

В.С. Горелик^{2,3}

Б.П. Горшунов^{1,4}

А.Ю. Пятыхев^{3,5}

gorelik@sci.lebedev.ru

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, Московская обл., Российская Федерация

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Российская Федерация

³ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

⁴ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Российская Федерация

⁵ АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», Фрязино, Московская обл., Российская Федерация

Аннотация

В низкочастотных спектрах комбинационного рассеяния кристаллических решеток аминокислот глицина и тирозина обнаружены интенсивные резкие линии, соответствующие либрационным модам, которые относятся к псевдоскалярному типу симметрии. Установлено существенное различие спектров хирально чистых и рацемических фаз аминокислот. Полученные результаты могут быть использованы для контроля хиральной чистоты биоактивных препаратов, содержащих аминокислоты

Ключевые слова

Инфракрасная спектроскопия, комбинационное рассеяние, глицин, тирозин, спектр

Поступила в редакцию 01.12.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 14-02-00190, № 15-02-02882, № 16-52-00026, БРФФИ-РФФИ Ф16Р-063)

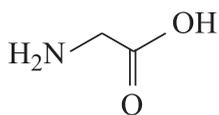
Протеиногенные аминокислоты являются составляющими компонентами белков и играют важную роль в жизнедеятельности организмов [1]. Общую химическую формулу таких аминокислот можно представить как $(\text{NH}_2)-(\text{CH}-\text{R})-\text{COOH}$. При этом аминокислотный остаток R определяет структуру конкретной аминокислоты. В зависимости от аминокислотного остатка молекулы аминокислот могут существовать в виде двух зеркально-симметричных изомеров: L (левого) и D (правого).

Исследования колебательных спектров аминокислот, как правило, проводят с использованием методов инфракрасной спектроскопии [2–5] и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) [4–10]. В частности, большое внимание уделяют области внутримолекулярных мод, в которой проявляются колебательные степени свободы аминокислотных остатков, а также колебания групп C–N и N–H. Исследования далекой инфракрасной области спектра довольно трудны как для спектроскопии инфракрасного поглощения, так и для регистра-

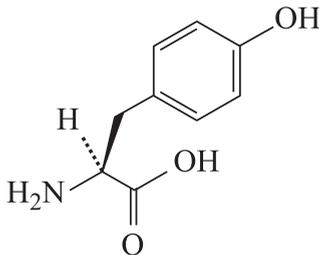
ции соответствующих спектров КР. Установленные к настоящему времени параметры решеточных мод для спектрального диапазона $10...100\text{ см}^{-1}$ являются неполными. В то же время получение полной информации о низкочастотных спектрах аминокислот представляет большой интерес не только для установления закономерностей взаимодействия биологических сред с электромагнитным излучением миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, но и для поиска оптимальных условий генерации терагерцового электромагнитного излучения на основе кристаллов аминокислот.

В настоящей работе приведены результаты исследований спектров решеточных мод кристаллов глицина и тирозина, соответствующие миллиметровому и субмиллиметровому диапазонам.

Простейшую структуру среди молекул аминокислот имеет глицин. В молекуле глицина $R=H$, при этом левая и правая формы молекулы глицина совпадают:



Еще один пример аминокислоты — тирозин, для которого аминокислотный остаток имеет вид $R=(CH_2)-(C_6H_5)-OH$. Молекулы аминокислот в белках формируются в виде цвиттерионов $(NH_3)^+-(CH-R)-(COO)^-$; последовательность таких цвиттерионов определяет пространственную структуру белка:



Цвиттерионы аминокислот также являются основой кристаллических структур соответствующих аминокислот. Кристаллы аминокислот могут существовать в виде хирально чистых фаз. В этом случае кристаллические решетки построены только из L-аминокислот или из D-аминокислот. Кроме того, возможно формирование так называемых рацематов (DL), построенных из попарно чередующихся L- и D-аминокислот.

Колебательные спектры кристаллов аминокислот включают в себя высокочастотную область, соответствующую внутримолекулярным колебаниям атомов, которые входят в молекулы, а также низкочастотную область, соответствующую колебаниям кристаллических решеток.

Исследования колебательных спектров кристаллов проводят на основе анализа интенсивности прошедшего через образец или отраженного от его поверхности электромагнитного излучения. В настоящее время широко используют метод лазерной спектроскопии КР, позволяющий получить информацию о ко-

лебательном спектре макроскопических образцов в широком спектральном диапазоне, включающем области решеточных ($5\dots 200\text{ см}^{-1}$) и внутримолекулярных ($200\dots 3000\text{ см}^{-1}$) мод.

Для измерения спектров пропускания инфракрасного излучения в работе были использованы тонкие образцы, изготовленные прессованием исходных поликристаллов аминокислот. Образцы представляли собой спрессованные таблетки диаметром 10 мм и толщиной 1...3 мм, варьируемой в зависимости от типа аминокислоты для обеспечения необходимого уровня пропускания и получения качественного спектра. Терагерцовые спектры комплексной диэлектрической проницаемости каждого образца были измерены при комнатной температуре с помощью двух спектрометров. Для измерений спектров коэффициента пропускания в спектральном диапазоне $30\dots 680\text{ см}^{-1}$ с разрешением 2 см^{-1} в инфракрасной области был использован стандартный инфракрасный фурье-спектрометр Bruker Vertex 80v. В терагерцовом-субтерагерцовом диапазоне импульсным спектрометром MenloSystemsTERAK15 с временным разрешением проведены прямые измерения комплексной проводимости, комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей в диапазоне значений $5\dots 60\text{ см}^{-1}$ с частотным разрешением $0,2\text{ см}^{-1}$. В цифровом виде получены спектры пропускания $T(\nu = 1/\lambda)$, а также мнимой части диэлектрической проницаемости $\varepsilon''(\nu = 1/\lambda)$.

Принципиальная схема экспериментальной установки для регистрации спектров КР приведена на рис. 1. В качестве источника возбуждающего излучения использован аргоновый лазер Spectra Physics Stabilite 2017 1 с длиной волны излучения 514,5 нм и мощностью 10...15 мВт. Лазерное излучение после прохождения поворотного зеркала 2 фокусируется с помощью собирающей линзы 3 на исследуемом веществе 4 (поликристаллическая аминокислота глицина или

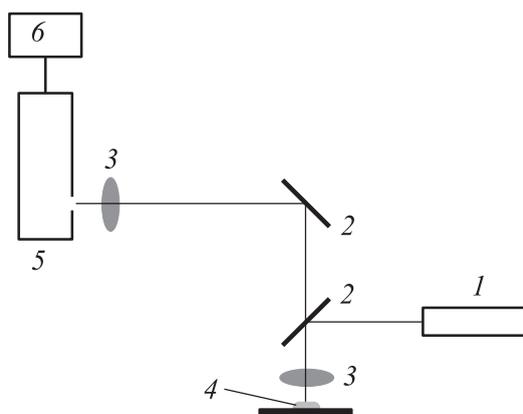


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для регистрации спектров КР в поликристаллах аминокислот:

1 — лазер; 2 — поворотное прозрачное зеркало; 3 — собирающая линза; 4 — исследуемое вещество (поликристаллическая аминокислота глицина или триптофана); 5 — тройной монохроматор Horiba Jobin Yvon T64000; 6 — компьютер

триптофана) в виде пятна размером 10 мкм. В установке применена линза с 50-кратным увеличением ($f = 0,8$ мм) и численной апертурой 0,75. Рассеянное излучение после отражения зеркалом попадает на входную щель тройного монохроматора Horiba Jobin Yvon T64000 5.

В качестве приемника излучения использована CCD-матрица, сигнал с которой передается на компьютер б. Спектральное разрешение составило менее 1 см^{-1} ; размер дифракционной решетки — 1800 штрихов/мм, ширина входной щели — 100 мкм.

Спектры пропускания инфракрасного излучения и мнимой части диэлектрической проницаемости тонких поликристаллических таблеток глицина, соответствующие области решеточных мод, приведены на рис. 2, а, б. Минимум

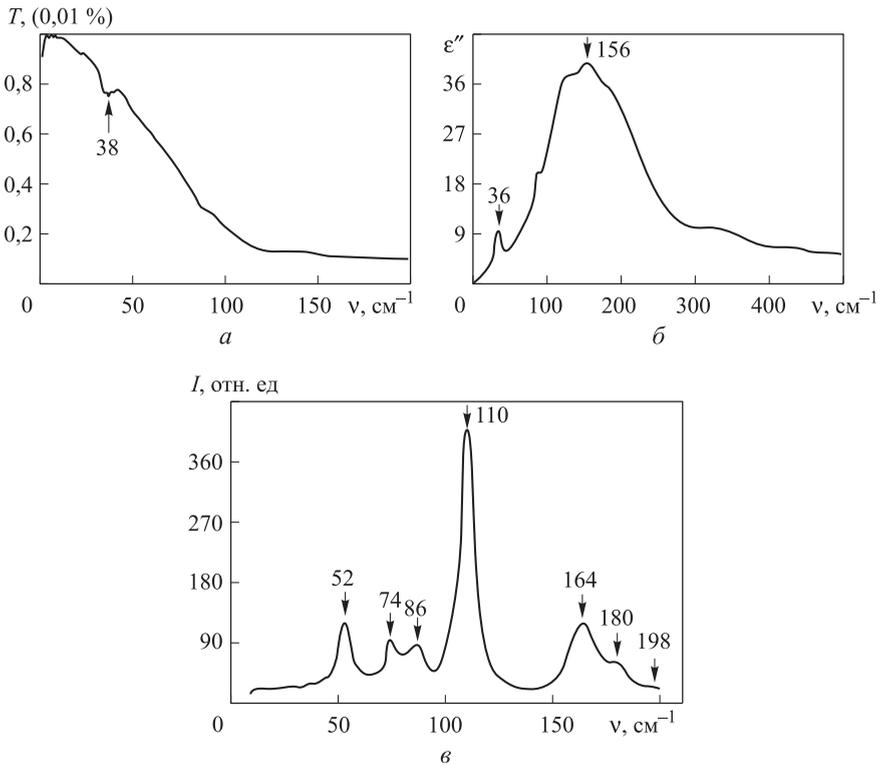


Рис. 2. Спектры пропускания инфракрасного излучения (а), мнимой части диэлектрической проницаемости (б) и КР (в) кристаллов глицина

спектра пропускания соответствует максимуму спектра мнимой части диэлектрической проницаемости, соответствующей поглощению электромагнитного излучения. Спектр КР поликристаллов глицина представлен на рис. 2, в. В спектре наблюдается несколько интенсивных пиков, соответствующих решеточным колебаниям кристаллов глицина. Наблюдаемые параметры полос в спектре КР близки к параметрам, приведенным в работах [11–15], но дают более полную информацию о ширине и интенсивностях рассматриваемых линий, особенно в низкочастотной области спектра за счет использования тройного монохромато-

ра. Наиболее интенсивные и узкие линии КР, приведенные на рис. 2, в, соответствуют либрационным модам двух молекул глицина, присутствующих в примитивной ячейке кристалла глицина [14]. Согласно сравнению результатов, полученных методами инфракрасной спектроскопии и спектроскопии КР для кристаллов глицина (см. рис. 2, б и в), полосы, проявляющиеся в спектрах КР, отсутствуют в инфракрасных спектрах, и наоборот.

Спектры пропускания инфракрасного излучения и мнимой части диэлектрической проницаемости для поликристаллов L- и DL-тирозина показаны на рис. 3.

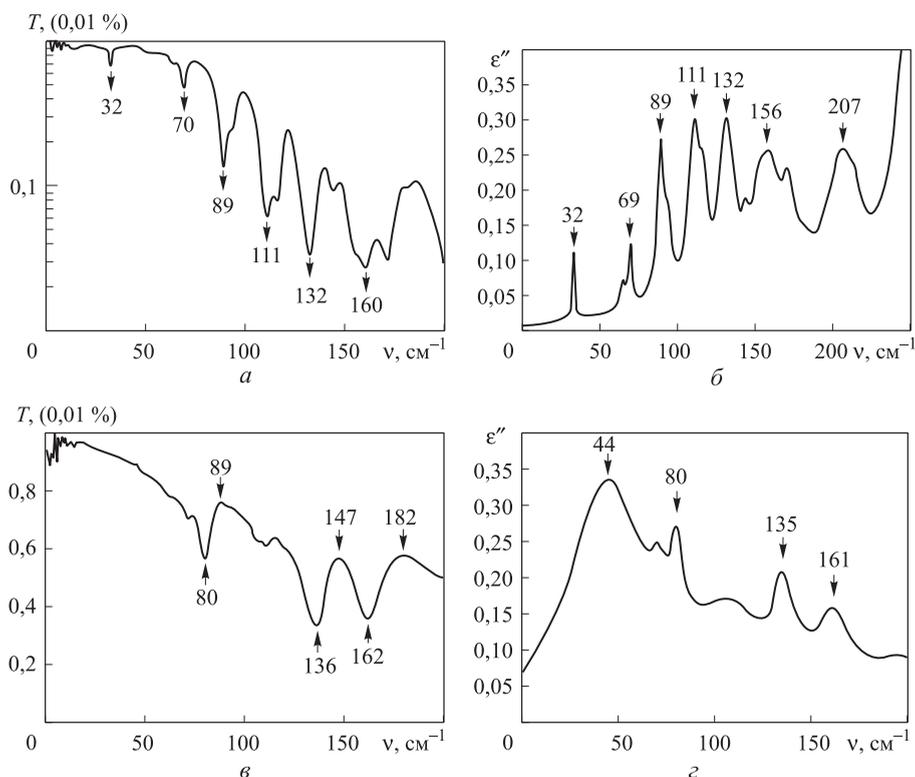


Рис. 3. Спектры пропускания инфракрасного излучения (а, в) и мнимой части диэлектрической проницаемости (б, г) кристаллов L-тирозина (а, б) и DL-тирозина (в, г)

Наблюдаемые различия параметров спектров пропускания и мнимой части диэлектрической проницаемости хирально чистой (L) и рацемической (DL) фаз тирозина можно объяснить тем, что кристаллическая структура DL-тирозина существенно отличается от соответствующей структуры L-тирозина.

Спектры КР поликристаллов L- и DL-тирозина, приведенные на рис. 4, существенно различаются в диапазоне значений частоты 50...200 см⁻¹: в L-тирозине присутствует интенсивный резкий пик в низкочастотной области при частоте 32 см⁻¹. Наблюдаемый спектр КР L-тирозина в диапазоне значений 50...200 см⁻¹ коррелирует с видом соответствующего спектра, полученного ранее [16].

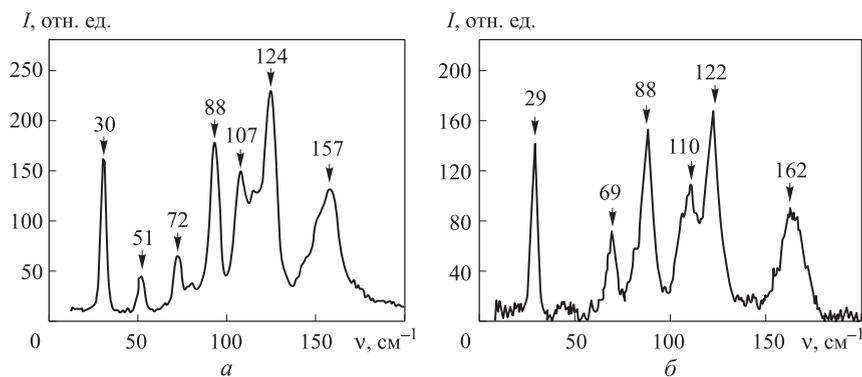


Рис. 4. Спектры КР поликристаллов L- (а) и DL-тирозина (б)

Сравнение спектров КР L- и DL-тирозина (см. рис. 4) со спектром мнимой части диэлектрической проницаемости (см. рис. 3, б и г) показывает наличие близкого по частоте интенсивного узкого пика с частотами 29 см^{-1} (DL, КР), 30 см^{-1} (L, КР) и 32 см^{-1} (L, инфракрасное излучение). Согласно свойствам решеточных мод в спектрах КР, такой пик следует отнести к либрационной моде, соответствующей поворотным антифазным колебаниям псевдоскалярного типа молекул тирозина в примитивной ячейке этого кристалла. Наблюдение этого пика в спектрах КР и инфракрасного излучения свидетельствует об отсутствии центра симметрии в кристаллической решетке L-тирозина, что нарушает правило альтернативного запрета в спектрах КР и инфракрасного излучения рассматриваемого кристалла.

Заключение. В настоящей работе установлено, что в низкочастотных спектрах КР кристаллических решеток аминокислот глицина и тирозина обнаружены интенсивные резкие линии, соответствующие либрационным модам, которые относятся к псевдоскалярному типу симметрии. В случае кристаллов низкой симметрии (кристалл L-тирозина) такой пик проявляется как в спектре КР, так и в спектрах инфракрасного излучения. Близость частоты высокочастотного либрационного колебания к частоте решеточных мод ДНК [17] свидетельствует о возможности резонансного взаимодействия решеточных мод псевдоскалярного типа хирально чистых (L) аминокислот с либрационными осцилляциями нуклеиновых оснований молекул ДНК.

Наблюдаются существенные отличия спектров хирально чистых от рацемических фаз аминокислот (L- и DL-тирозина), которые могут быть использованы для диагностики фазового состояния биоактивных препаратов, изготавливаемых на основе аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Breen M.S., Kemena C., Vlasov P.K., Notredame C., Kondrashov F.A. Epistasis as the primary factor in molecular evolution // *Nature*. 2012. Vol. 490. Iss. 7421. P. 535–538.
2. Jenkins A.L., Larsen R.A., Williams T.B. Characterization of amino acids using Raman spectroscopy // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2005. Vol. 61. Iss. 7. P. 1585–1594.

3. Gaillard T., Trivella A., Stote R.H., Hellwig P. Far infrared spectra of solid state L-serine, L-threonine, L-cysteine, and L-methionine in different protonation states // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2015. Vol. 150. P. 301–307.
4. Jarmelo S., Reva I., Carey P.R., Fausto R. Infrared and Raman spectroscopic characterization of the hydrogen-bonding network in L-serine crystal // *Vibrational Spectroscopy*. 2007. Vol. 43. Iss. 2. P. 395–404.
5. Moovendaran K., Martin Britto Dhas S.A., Natarajan S. Spectral characterization of a non-centrosymmetric organic compound: D(-)-alanine // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2013. Vol. 112. P. 326–330.
6. Raman scattering of L-valine crystals / Jr. J.A. Lima, P.T.C. Freire, R.J.C. Lima, A.J.D. Moreno, Filho J. Mendes, F.E.A. Melo // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2005. Vol. 36. Iss. 11. P. 1076–1081.
7. Zhu G., Zhu X., Fan Q., Wan X. Raman spectra of amino acids and their aqueous solutions // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2011. Vol. 78. Iss. 3. P. 1187–1195.
8. Yao G., Zhang J., Huang Q. Conformational and vibrational analyses of metatyrosine: An experimental and theoretical study // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2015. Vol. 77. P. 35–39.
9. Raman spectroscopy of monohydrated L-asparagine up to 30 Gpa / J.A.F. Silva, P.T.C. Freire, Jr. J.A. Lima, Filho J. Mendes, F.E.A. Melo, A.J.D. Moreno, A. Polian // *Vibrational Spectroscopy*. 2015. Vol. 77. P. 35–39.
10. Daniel A., Prakassaro A., Dornadula K., Ganesan S. Polarized Raman spectroscopy unravels the biomolecular structural changes in cervical cancer // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2016. Vol. 152. P. 58–63.
11. Krishnan R.S., Sc F.A., Balasubramanian K. Raman spectrum of crystalline α -glycine // *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Section A*. 1958. Vol. 48. Iss. 2. P. 55–61.
12. Raman scattering tensors of tyrosine / M. Tsuboi, Y. Ezaki, M. Aida, M. Suzuki, A. Yimit, K. Ushizawa, T. Ueda // *Biospectroscopy*. 1998. Vol. 4. Iss. 1. P. 61–71.
13. Suzuki S., Shimanouchi T., Tsuboi M. Normal vibrations of glycine and deuterated glycine molecules // *Spectrochimica Acta*. 1963. Vol. 19. Iss. 7. P. 1195–1208.
14. Stenbäck H. On the Raman spectra of solid natural α -glycine and solid ^{15}N -substituted α -glycine // *Journal of Raman Spectroscopy*. 1976. Vol. 5. Iss. 1. P. 49–55.
15. *Vibrational* spectra and intermolecular potential of the α -form crystal of glycine / K. Machida, A. Kagayama, Y. Saito, Y. Kuroda, T. Uno // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 1977. Vol. 33. Iss. 5. P. 569–574.
16. *The R2PI spectroscopy* of tyrosine: A vibronic analysis / L.I. Grace, R. Cohen, T.M. Dunn, D.M. Lubman, M.S. de Vries // *Journal of Molecular Spectroscopy*. 2002. Vol. 215. Iss. 2. P. 204–219.
17. Горелик В.С., Довбешко Г.И., Крылов А.С., Пятыхев А.Ю. Комбинационное рассеяние высушенной ДНК при лазерном возбуждении // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2014. № 1. С. 27–34.

Белянчиков Михаил Анатольевич — студент, инженер Лаборатории терагерцовой спектроскопии Московского физико-технического института (государственного университета) (Российская Федерация, 141700, Московская обл., Долгопрудный, Институтский пер., д. 9).

Горелик Владимир Семенович — д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией «Комбинационное рассеяние» Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53), профессор кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Горшунов Борис Петрович — д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий Лабораторией терагерцовой спектроскопии Московского физико-технического института (государственного университета) (Российская Федерация, 141700, Московская обл., Долгопрудный, Институтский пер., д. 9), заведующий лабораторией субмиллиметровой диэлектрической спектроскопии Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38).

Пятышев Александр Юрьевич — аспирант кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), инженер АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина» (Российская Федерация, 141190, Московская обл., Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Белянчиков М.А., Горелик В.С., Горшунов Б.П., Пятышев А.Ю. Инфракрасная спектроскопия и комбинационное рассеяние света в поликристаллах глицина и тирозина // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 4. С. 4–13.

DOI: 10.18698/1812-3368-2016-4-4-13

INFRARED AND RAMAN SPECTROSCOPY OF GLYCINE AND TYROSINE POLYCRYSTALS

M.A. Belyanchikov¹

V.S. Gorelik^{2,3}

gorelik@sci.lebedev.ru

B.P. Gorshunov^{1,4}

A.Yu. Pyatyshev^{3,5}

¹ Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Moscow Region, Russian Federation

² Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

⁴ Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁵ Research and Production Corporation Istok n.a. A.I. Shokin, Fryazino, Moscow Region, Russian Federation

Abstract

The study tested the low-frequency Raman spectra of crystal lattices of glycine and tyrosine amino acids and revealed intense sharp lines corresponding to the libration modes, related to pseudoscalar symmetry type. We found the essential difference between spectra of pure and racemic chiral phases of amino acids. The obtained results are useful for monitoring the chiral purity states of bioactive substances containing amino acids

Keywords

Infrared spectroscopy, Raman scattering, glycine, tyrosine, spectrum

REFERENCES

- [1] Breen M.S., Kemena C., Vlasov P.K., Notredame C., Kondrashov F.A. Epistasis as the primary factor in molecular evolution. *Nature*, 2012, vol. 490, iss. 7421, pp. 535–538.
- [2] Jenkins A.L., Larsen R.A., Williams T.B. Characterization of amino acids using Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2005, vol. 61, iss. 7, pp. 1585–1594.
- [3] Gaillard T., Trivella A., Stote R.H., Hellwig P. Far infrared spectra of solid state L-serine, L-threonine, L-cysteine, and L-methionine in different protonation states. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2015, vol. 150, pp. 301–307.
- [4] Jarmelo S., Reva I., Carey P.R., Fausto R. Infrared and Raman spectroscopic characterization of the hydrogen-bonding network in L-serine crystal. *Vibrational Spectroscopy*, 2007, vol. 43, iss. 2, pp. 395–404.
- [5] Moovendaran K., Martin Britto Dhas S.A., Natarajan S. Spectral characterization of a non-centrosymmetric organic compound: D(-)-alanine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2013, vol. 112, pp. 326–330.
- [6] Lima Jr. J.A., Freire P.T.C., Lima R.J.C., Moreno A.J.D., Mendes Filho J., Melo F.E.A. Raman scattering of L-valine crystals. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2005, vol. 36, iss. 11, pp. 1076–1081.
- [7] Zhu G., Zhu X., Fan Q., Wan X. Raman spectra of amino acids and their aqueous solutions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2011, vol. 78, iss. 3, pp. 1187–1195.
- [8] Yao G., Zhang J., Huang Q. Conformational and vibrational analyses of metatyrosine: An experimental and theoretical study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2015, vol. 77, pp. 35–39.
- [9] Silva J.A.F., Freire P.T.C., Lima Jr. J.A., Mendes Filho J., Melo F.E.A., Moreno A.J.D., Polian A. Raman spectroscopy of monohydrated L-asparagine up to 30 GPa. *Vibrational Spectroscopy*, 2015, vol. 77, pp. 35–39.
- [10] Daniel A., Prakassaro A., Dornadula K., Ganesan S. Polarized Raman spectroscopy unravels the biomolecular structural changes in cervical cancer. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2016, vol. 152, pp. 58–63.
- [11] Krishnan R.S., Sc F.A., Balasubramanian K. Raman spectrum of crystalline α -glycine. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences-Section A*, 1958, vol. 48, iss. 2, pp. 55–61.
- [12] Tsuboi M., Ezaki Y., Aida M., Suzuki M., Yimit A., Ushizawa K., Ueda T. Raman scattering tensors of tyrosine. *Biospectroscopy*, 1998, vol. 4, iss. 1, pp. 61–71.
- [13] Suzuki S., Shimanouchi T., Tsuboi M. Normal vibrations of glycine and deuterated glycine molecules. *Spectrochimica Acta*, 1963, vol. 19, iss. 7, pp. 1195–1208.
- [14] Stenbäck H. On the Raman spectra of solid natural α -glycine and solid 15N-substituted α -glycine. *Journal of Raman Spectroscopy*, 1976, vol. 5, iss. 1, pp. 49–55.
- [15] Machida K., Kagayama A., Saito Y., Kuroda Y., Uno T. Vibrational spectra and intermolecular potential of the α -form crystal of glycine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 1977, vol. 33, iss. 5, pp. 569–574.
- [16] Grace L.I., Cohen R., Dunn T.M., Lubman D.M., de Vries M.S. The R2PI spectroscopy of tyrosine: A vibronic analysis. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 2002, vol. 215, iss. 2, pp. 204–219.
- [17] Gorelik V.S., Dovbeshko G.I., Krylov A.S., Pyatyshev A.Yu. Raman scattering of a dried DNA exposed to laser excitation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv.*

Nauki [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2014, no. 1, pp. 27–34 (in Russ.).

Belyanchikov M.A. — student, engineer of Terahertz Spectroscopy laboratory, Moscow Institute of Physics and Technology (State University) (Institutskiy pereulok 9, Dolgoprudny, Moscow Region, 141700 Russian Federation).

Gorelik V.S. — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Head of Raman Scattering laboratory, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences (Leninskiy prospect 53, Moscow, 119991 Russian Federation), Professor of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Gorshunov B.P. — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Professor, Head of Terahertz Spectroscopy laboratory, Moscow Institute of Physics and Technology (State University) (Institutskiy pereulok 9, Dolgoprudny, Moscow Region, 141700 Russian Federation), Head of Submillimeter Dielectric Spectroscopy laboratory, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences (ul. Vavilova 38, Moscow, 119991 Russian Federation).

Pyatyshev A.Yu. — post-graduate student of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation), engineer of Research and Production Corporation Istok n.a. A.I. Shokin (Vokzalnaya ul. 2A, Fryazino, Moscow Region, 141190 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Belyanchikov M.A., Gorelik V.S., Gorshunov B.P., Pyatyshev A.Yu. Infrared and Raman Spectroscopy of Glycine and Tyrosine Polycrystals. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 4, pp. 4–13. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-4-4-13