

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ИОДИДА БИС[(3-ТРИФТОРМЕТИЛ)ФЕНИЛ]ВИСМУТА

В.В. Шарутин[✉], В.С. Сенчурин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

[✉] sharutin50@mail.ru

Аннотация. Строение иодида бис[(3-трифторметил)фенил]висмута (3-CF₃C₆H₄)₂BiI (**1**), полученного из триарилвисмута и иодистоводородной кислоты, доказано методом рентгеноструктурного анализа (РСА). По данным РСА кристаллы **1** полимерного строения [C₁₄H₈BiF₆I, *M* 626,09; сингония моноклинная, группа симметрии *P*2₁/*c*; параметры ячейки: *a* = 9,920(5), *b* = 9,047(5), *c* = 18,901(9) Å; α = 90,00°, β = 102,27(2)°, γ = 90,00°; *V* = 1657,6(15) Å³; *Z* = 4; ρ_{выч} = 2,5086 г/см³; 2θ 6,16–57 град.; всего отражений 59710; независимых отражений 4194; число уточняемых параметров 222; *R*_{int} = 0,1022; *GOOF* 1,053; *R*₁ = 0,0825, *wR*₂ = 0,2477; остаточная электронная плотность (max/min): 5,19/–6,52 е/Å³], состоящие из тригонально-бипирамидальных молекул Ar₂BiI, связанные между собой мостиковыми атомами иода (аксиальные углы IBiI составляют 174,7°). В экваториальной плоскости при центральном атоме металла располагаются два арильных лиганда (CBiC 95,1(16)°) и свободная электронная пара. Длины связей Bi–C составляют 2,215(13) и 2,234(14) Å; валентные углы IBiC равны 86,2(4)–92,5(4)°. Наименьшие межмолекулярные расстояния F(1)⋯F(4¹) (2,9(6) Å) значительно превышают сумму двух ван-дер-ваальсовых радиусов атомов фтора (2,7 Å). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2235080 (**1**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: иодид, бис[(3-трифторметил)фенил]висмут, особенности строения, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Шарутин В.В., Сенчурин В.С. Особенности строения иодида бис[(3-трифторметил)фенил]висмута // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 4. С. 69–78. DOI: 10.14529/chem240405

Original article
DOI: 10.14529/chem240405

STRUCTURAL FEATURES OF BIS[(3-TRIFLUOROMETHYL)PHENYL]BISMUTH IODIDE

V.V. Sharutin[✉], V.S. Senchurin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

[✉] sharutin50@mail.ru

Abstract. The structure of bis[(3-trifluoromethyl)phenyl]bismuth iodide (3-CF₃C₆H₄)₂BiI (**1**), obtained from triaryl bismuth and hydroiodic acid, was proven by X-ray diffraction analysis (XRD). According to the X-ray diffraction data, crystals **1** have a polymer structure [C₁₄H₈BiF₆I, *M* 626.09; monoclinic system, symmetry group *P*2₁/*c*; cell parameters: *a* = 9.920(5), *b* = 9.047(5), *c* = 18.901(9) Å; α = 90.00°, β = 102.27(2)°, γ = 90.00°; *V* = 1657.6(15) Å³; *Z* = 4; ρ_{cal} = 2.5086 g/cm³; 2θ 6.16–57°; total reflections 59710; independent reflections 4194; number of specified parameters 222; *R*_{int} = 0.1022; *GOOF* 1.053; *R*₁ = 0.0825, *wR*₂ = 0.2477; residual electron density (max/min): 5.19/–6.52 e/Å³], consisting of trigonal bipyramidal Ar₂BiI molecules, interconnected by bridging iodine atoms (the IBiI axial angles are 174.7°). In the equatorial plane at the central metal atom there are two aryl ligands (CBiC 95.1(16)°) and a free electron pair. The Bi–C bond lengths are 2.215(13) and 2.234(14) Å; the IBiC bond angles are 86.2(4)–92.5(4)°. The smallest intermolecular distances F(1)⋯F(4¹) (2.9(6) Å) significantly exceed the sum of two van der Waals radii of fluorine atoms (2.7 Å). Complete tables of atomic coordinates, bond

lengths, and bond angles for the structures have been deposited in the Cambridge Structural Data Bank (No. 2235080 (1), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: structural features, *bis*[(3-trifluoromethyl)phenyl]bismuth iodide, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutin V.V., Senchurin V.S. Structural features of *bis*[(3-trifluoromethyl)phenyl]bismuth iodide. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(4):69–78. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240405

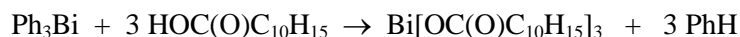
Введение

Арильные производные трехвалентного висмута (Ar_3Bi , Ar_2BiX и $ArBiX_2$, X – электроотрицательный лиганд) привлекают внимание многих исследователей. Для получения производных висмута несимметричного строения используют преимущественно реакции деарилрования триарилвисмута кислотами HX [1–3]. Полнота деарилрования триарилвисмута определяется соотношением исходных реагентов, природой кислоты и условиями проведения реакций. Так, при взаимодействии триарилвисмута с уксусной или трифторуксусной кислотой в эфире в зависимости от количества исходных реагентов замещаются одна или две арильные группы [4]. Эти же авторы получили бензолсульфонат дифенилвисмута и 4-метилбензолсульфонат ди-(*para*-толил)висмута внедрением оксида серы (VI) по связи $Bi-C$ в триарилвисмуте или деарилрованием триарилвисмута аренсульфоновой кислотой [5].

В [6] описан синтез *bis*(2,5-диметилбензолсульфоната) фенилвисмута, представляющего собой координационный полимер, который получали из трифенилвисмута и 2,5-диметилбензолсульфоновой кислоты в толуоле. О получении двух координационных полимеров винилсульфонатов висмута(III) сообщалось в [7]. Три органосульфоната дифенилвисмута были синтезированы взаимодействием эквимольных количеств трифенилвисмута и органосульфоновой кислоты в спирте [8]. По аналогичной схеме был получен трифлат дифенилвисмута [9]. В публикациях [10, 11] описан синтез аренсульфонатов диарилвисмута из трифенилвисмута [три(*para*-толил)висмута] и аренсульфоновой кислоты в эфире с выходом до 99 %. Оптимальное время протекания реакций при комнатной температуре составляет 48 ч. Полученные аренсульфонаты диарилвисмута представляют собой мелкокристаллические неокрашенные вещества, нерастворимые в ароматических и алифатических углеводородах и хорошо растворимые в таких органических растворителях, как ацетон и диметилсульфоксид.

Одним из основных методов синтеза карбоксилатов висмута BiX_3 , $PhBiX_2$, Ph_2BiX [X = $OC(O)R$] является взаимодействие трифенилвисмута с карбоновой кислотой. Полнота замещения фенильных групп определяется мольным соотношением реагентов, природой кислоты и растворителя, растворимостью образующихся карбоксилатов.

Найдено, что трифенилвисмут дефенилируется 1-адамантанкарбоновой кислотой (1:3 мольн.) при нагревании (90 °C) в гептане, толуоле или хлороформе с образованием соответствующего трикарбоксилата висмута. Изменение мольного соотношения реагентов (1:1, 1:2 мольн.) и условий проведения реакции (20 °C) не уменьшает полноту замещения фенильных групп [12].



Бесцветные кристаллы соединения имели высокую температуру плавления (318 °C с разл.), что свидетельствовало о его полимерном или олигомерном строении. Из данных РСА комплекса (рис. 1) следовало, что его кристалл состоит из тетрамеров, образующих шестнадцатичленный цикл, включающий атомы висмута (4), кислорода (8) и углерода (4). Все атомы висмута симметрически эквивалентны.

В работе [13] описаны синтез и особенности строения 2-фенилкарборанилкарбоксилата дифенилвисмута, который получали из трифенилвисмута и 2-фенилкарборанилкарбоновой кислоты (1:1 мольн.) в бензоле при нагревании. После перекристаллизации соединения из смеси бензол-октан его структура подтверждена методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Атомы висмута имеют бисфеноидную координацию с апикально расположенными атомами кислорода 2-фенилкарборанилкарбоксилатных заместителей. В экваториальной плоскости находят-

ся два фенильных лиганда и неподеленная электронная пара. Свой вклад в искажение координационного полиэдра атомов металла вносят большие по объему карбоксилатные лиганды и неподеленная электронная пара, занимающая большую часть экваториальной плоскости.

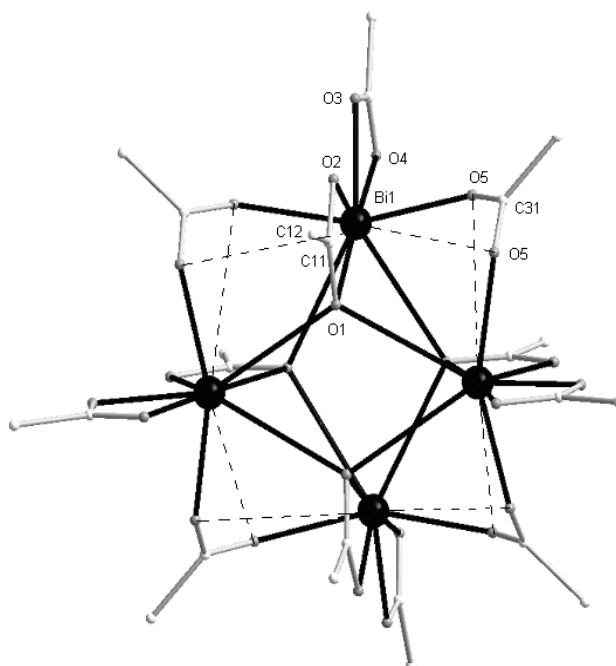
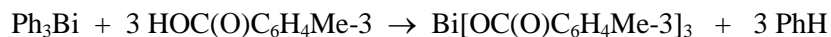


Рис. 1. Строение комплекса $\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_{10}\text{H}_{15}]_3$

При нагревании эквимольных количеств трифенилвисмута и бензойной кислоты в течение 2 ч наблюдалось отщепление двух арильных групп с образованием дибензоата фенилвисмута с выходом 44 % [14].

Сведения о деарилровании триарилвисмута кислотами в литературе не систематизированы. Показано, что продуктом реакции трифенилвисмута с 3-метилбензойной кислотой (20 °С, 2 ч) в хлороформе, независимо от соотношения исходных реагентов, являлся трикарбоксилат висмута. Взаимодействие трифенилвисмута с 3-метилбензойной кислотой (1:2 и 1:3 мольн., толуол, 90 °С, 2 ч) протекало с образованием студнеобразных систем, которые при удалении растворителя разрушались, но не восстанавливались при растворении полученного твердого остатка в толуоле [15]. Образующиеся в реакциях вещества, содержащие углерод, водород и висмут, имели одинаковую температуру плавления (268 °С с разл.) и их состав соответствовал формуле *трис*(3-метилбензоата) висмута, высокая температура плавления которого предполагала для него полимерное строение.



Образование одного и того же комплекса при различных соотношениях трифенилвисмута и 3-метилбензойной кислоты связано, вероятно, с его устойчивостью, обусловленной возникновением дополнительных взаимодействий. Действительно, по данным РСА, комплекс $\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{Me}-3]_3$ в кристалле представляет собой трехмерный координационный полимер $[\text{Bi}(\text{O}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{Me}-3)]_\infty$. В отдельно выделенном фрагменте BiX_3 хелатные карбоксилатные лиганды координируются с атомом висмута несимметрично. Молекулы *трис*(3-метилбензоата) висмута связаны в кристалле посредством донорно-акцепторных взаимодействий $\text{Bi} \cdots \text{O}$ с атомами кислорода карбоксилатных групп соседних молекул, то есть карбоксилатные лиганды являются тридентатными хелатно-мостиковыми. При эквимольном соотношении трифенилвисмута и 3-метилбензойной кислоты основным продуктом реакции в растворе толуола является дикарбоксилат фенилвисмута. Его образование также имеет место в гептане при любых мольных соотношениях реагентов. Установлено, что трифенилвисмут реагирует с 2-метилбензойной, 4-метилбензойной, фенилантраниловой и 3-нитробензойной кислотами аналогично.

Найдено, что в присутствии кислорода воздуха взаимодействие трифенилвисмута с 3,4,5-трифторбензойной кислотой в толуоле при любом соотношении реагентов (90 °С, 2 ч) протекает с образованием крупных кристаллов тетраядерного комплекса $\text{Bi}_4\text{O}_2[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_2\text{F}_3\text{-3,4,5}]_8 \cdot 2 \text{C}_6\text{H}_5\text{Me}$ (рис. 2) [16]. Поглощение кислорода воздуха в реакции было доказано специальным опытом.

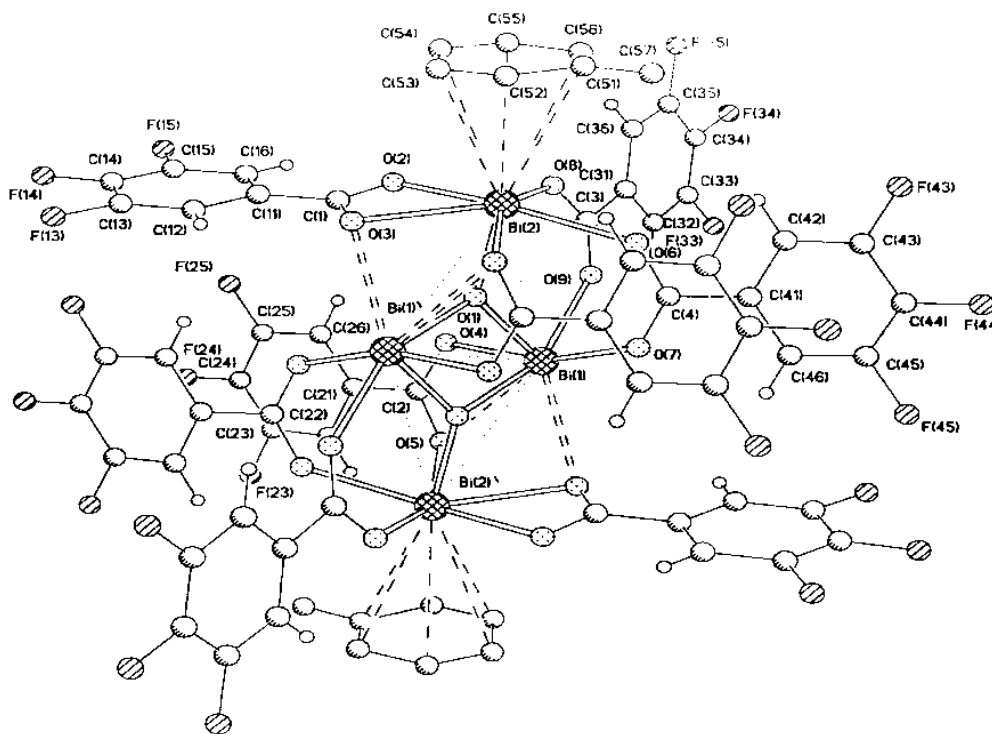
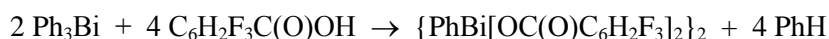


Рис. 2. Строение комплекса $\text{Bi}_4\text{O}_2[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_2\text{F}_3\text{-3,4,5}]_8 \cdot 2 \text{C}_6\text{H}_5\text{Me}$

Четыре атома висмута в комплексе связаны между собой мостиковыми карбоксилатными лигандами и атомами кислорода. Каждый центральный атом Bi соединен с одним из терминальных атомов висмута посредством двух мостиковых карбоксилатных лигандов и мостикового атома O, а с другим терминальным атомом Bi – посредством одного мостикового карбоксилатного лиганда и мостикового атома O. Мостиковые атомы кислорода при этом одновременно связывают два центральных атома висмута. Длины связей между мостиковыми атомами кислорода и атомами висмута (2,083; 2,119 и 2,276 Å) меньше, чем сумма их ковалентных радиусов (2,31 Å [17]). Два терминальных структурно эквивалентных атома висмута имеют в своей координационной сфере еще по одному карбоксилатному лиганду и координированной сольватной молекуле толуола.

Следует отметить, что реакция трифенилвисмута с 3,4,5-трифторбензойной кислотой независимо от соотношения исходных реагентов, проведенная в растворе бензола или *n*-ксилола при 20 °С, сопровождалась образованием комплексов аналогичного строения $\text{Bi}_4\text{O}_2[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_2\text{F}_3\text{-3,4,5}]_8 \cdot 2\text{PhH}$ и $\text{Bi}_4\text{O}_2[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_2\text{F}_3\text{-3,4,5}]_8 \cdot 2\text{C}_6\text{H}_4\text{Me}_2\text{-1,4}$ [18]. В координационную сферу терминальных атомов Bi последних трех комплексов входят сольватные молекулы растворителя: толуол, бензол и *n*-ксилол, при этом расстояния Bi... η^6 -арен составляют 3,156; 3,024 и 3,131 Å соответственно.

Установлено, что в *o*- и *m*-ксилоле при температуре 20 °С взаимодействие трифторбензойной кислоты с трифенилвисмутом независимо от мольного соотношения реагентов приводило к отщеплению двух фенильных групп и образованию бис(3,4,5-трифторбензоата) фенилвисмута димерного строения [15].



В кристалле молекулы объединены в димеры посредством мостиковых карбоксилатных лигандов (рис. 3). Расстояния Bi-O(1) и Bi-O(2) в цикле составляют 2,620 и 2,304 Å соответственно.

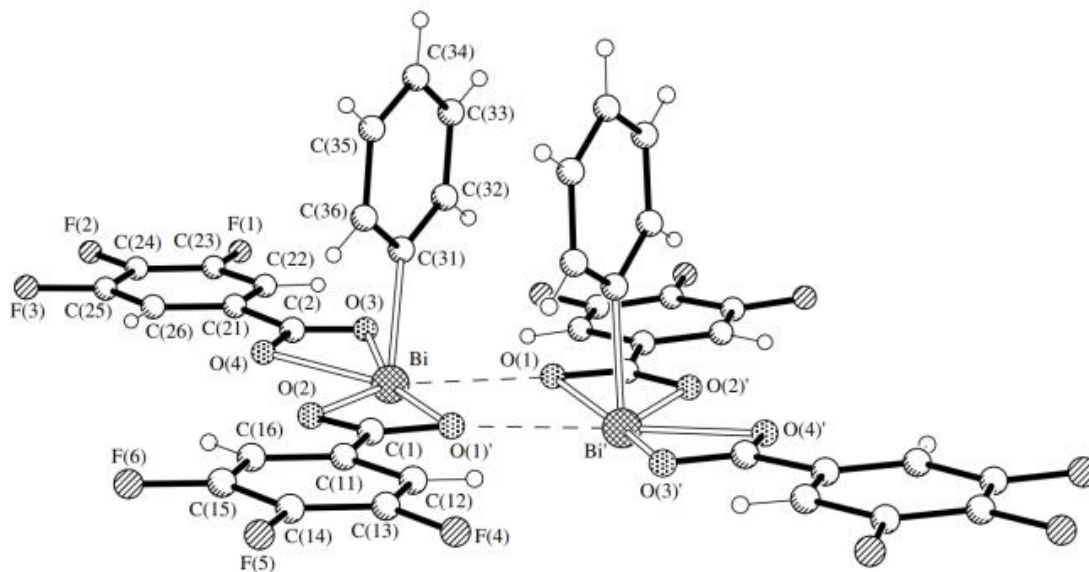
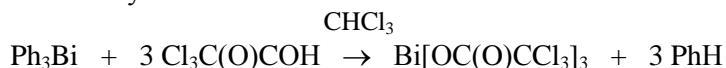


Рис. 3. Строение комплекса $\{\text{PhBi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_2\text{F}_3]_2\}_2$

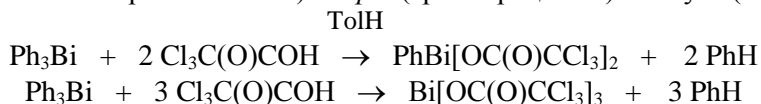
Мостиковые карбоксилатные лиганды являются тридентатными, при этом расстояние $\text{Bi} \cdots \text{O}(1)'$ равно 2,674 Å. Кроме того, в координационной сфере каждого атома висмута находятся по одной хелатной карбоксилатной группе (расстояния $\text{Bi} \cdots \text{O}(3)$ и $\text{Bi}-\text{O}(4)$ составляют 2,498 и 2,301 Å) и по одному фенильному лиганду (длина связи $\text{Bi}-\text{C}$ равна 2,223 Å). Отметим, что в хлороформе независимо от соотношения трифенилвисмута и 3,4,5-трифторбензойной кислоты имеет место образование трикарбоксилата висмута.

Изучены реакции дефенилирования трифенилвисмута алифатическими галогенсодержащими карбоновыми кислотами в различных растворителях, при различных температурах и мольных соотношениях реагентов в присутствии кислорода воздуха [19]. Показано, что в хлороформе взаимодействие трифенилвисмута с трихлоруксусной кислотой, независимо от соотношения реагентов и температуры, протекает по одной схеме с отщеплением всех фенильных групп и образованием трикарбоксилата висмута.



Бромуксусная кислота в указанных условиях реагирует с трифенилвисмутом аналогично.

Однако в толуоле при комнатной температуре дефенилирование трифенилвисмута трихлоруксусной кислотой приводит к образованию преимущественно бис(трихлорацетата) фенилвисмута (мольное соотношение реагентов 1:2) и трис(трихлорацетата) висмута (1:3 мольн.).



Минорным продуктом в первом случае является трикарбоксилат висмута, а во втором – дикарбоксилат фенилвисмута. При эквимольном соотношении исходных реагентов также имеет место синтез бис(трихлорацетата) фенилвисмута. Нагревание реакционной смеси до 90 °С увеличивает выход основного продукта до 91 %. В алифатическом растворителе взаимодействие трифенилвисмута с трихлоруксусной кислотой приводит преимущественно к образованию дикарбоксилата фенилвисмута.

Хлоруксусная и бромуксусная кислоты реагируют с трифенилвисмутом аналогично трихлоруксусной кислоте. Как в гептане, так и в толуоле при нагревании или без нагревания, при различном соотношении исходных реагентов образуется смесь висмутсодержащих карбоксилатов, в которых основным продуктом является дикарбоксилат фенилвисмута (мольное соотношение

1:1, 1:2) или трикарбоксилат висмута (1:3 мольн.). В реакциях дефенилирования трифенилвисмута хлоруксусной и бромуксусной кислотами обнаружены небольшие количества дикарбоксилата трифенилвисмута (до 4 %), образующегося, по-видимому, в результате протекания окислительно-восстановительных реакций.

По данным РСА (рис. 4), хлорацетатные лиганды в *бис*(хлорацетате) фенилвисмута являются тридентатными хелатно-мостиковыми, связывающими через атомы кислорода соседние молекулы в полимерные цепочки [20]. Атомы хлора в хлорметильных группах симметрично располагаются друг относительно друга, при этом в кристалле пространство напротив фенильной группы заполнено атомом хлора соседней молекулы (расстояние $\text{Bi}(1)\cdots\text{Cl}(1\text{A})$ составляет 3.61 Å, что несколько меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов Bi и Cl (4.20 Å [17]), поэтому координационный полиэдр центрального атома имеет вид искаженной гексагональной бипирамиды.

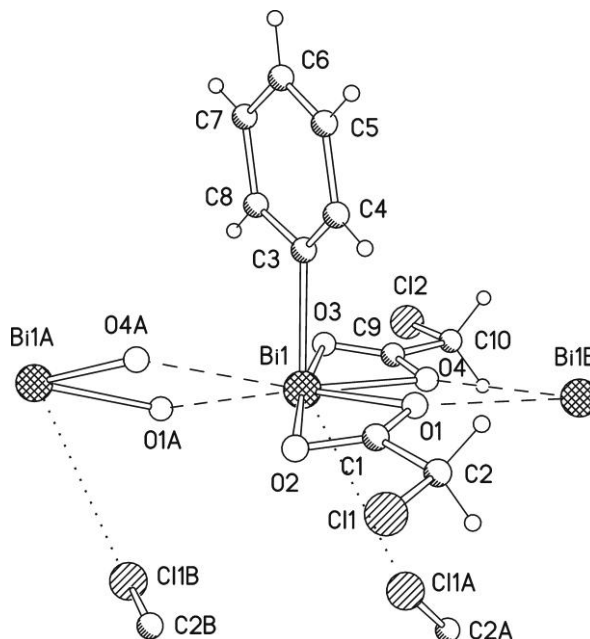


Рис. 4. Строение *бис*(хлорацетата) фенилвисмута

Таким образом, на небольшом количестве примеров показано многообразие химических реакций триарилвисмута с сульфоновыми и карбоновыми кислотами.

В монографии [3] детально исследовано взаимодействие триарилвисмута с хлористоводородной и бромистоводородной кислотами, которые способны легко отщеплять от атома висмута, в зависимости от соотношения исходных реагентов, один, два или три арильных лиганда, однако реакции триарилвисмута с иодистоводородной кислотой изучены в меньшей мере [21–23]. В настоящей работе исследована реакция *трис*[(3-трифторметил)фенил]висмута с иодистоводородной кислотой в эфире.

Экспериментальная часть

Трис(3-трифторметилфенил)висмут синтезировали по методике [3] из трихлорида сурьмы и 3-трифторметилфенилмагния в эфире. После охлаждения реакционной смеси в водяной бане со льдом и прибавления избыточного количества иодистоводородной кислоты удаляли растворитель, растворяли в эфире. После фильтрования и концентрирования фильтрата получили небольшое количество красно-коричневых кристаллов **1**, которые анализировали методом РСА. Найдено, %: С 26,79; Н 1,34. Для $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{BiF}_6\text{I}$ вычислено, %: С 26,84; Н 1,28. Элементный анализ проводили на анализаторе Euro EA3028-НТ.

Рентгеноструктурный анализ проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker D8 QUEST (Mo K_{α} -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам *SMART* и *SAINT-Plus* [24]. Все расчеты по определению и уточнению

структуры выполнены по программам *SHELXL/PC* [25] и *OLEX2* [26]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры приведены в табл. 1.

Таблица 1
Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры 1

Параметр	1
Формула	$C_{14}H_8BiF_6I$
<i>M</i>	626,09
Сингония	Моноклинная
Пр. группа	$P2_1/c$
<i>a</i> , Å	9,920(5)
<i>b</i> , Å	9,047(5)
<i>c</i> , Å	18,901(9)
α , град.	90,00
β , град.	102,27(2)
γ , град.	90,00
<i>V</i> , Å ³	1657,6(15)
<i>Z</i>	4
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	2,5086
μ , мм ⁻¹	12,548
<i>F</i> (000)	1111,9
Размер кристалла (мм)	0,3 × 0,29 × 0,06
Область сбора данных по 2 θ , град.	6,16–57
Интервалы индексов отражений	$-16 \leq h \leq 17, -15 \leq k \leq 15, -32 \leq l \leq 32$
Измерено отражений	59710
Независимых отражений	4194
Переменных уточнения	222
<i>GOOF</i>	1,053
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0825, wR_2 = 0,2477$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,0939, wR_2 = 0,2618$
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	5,19/–6,52

Таблица 2
Длины связей и валентные углы в структуре 1

Связь <i>d</i> , Å		Угол ω , град.	
Bi(1)–C(11)	2,234(14)	C(1)Bi(1)C(11)	95,1(6)
Bi(1)–C(1)	2,215(13)	I(1 ¹)Bi(1)C(11)	92,5(4)
Bi(1)–I(1)	2,8595(19)	I(1)Bi(1)C(11)	86,7(4)
Bi(1)–I(1 ¹)	2,9104(19)	I(1 ¹)Bi(1)C(1)	86,2(4)
C(12)–C(11)	1,39(2)	I(1)Bi(1)C(1)	88,7(4)
C(12)–C(13)	1,39(2)	C(13)C(12)C(11)	120,9(16)
C(11)–C(16)	1,38(2)	C(12)C(11)Bi(1)	122,9(11)
C(13)–C(14)	1,36(3)	C(16)C(11)Bi(1)	118,7(13)
C(13)–C(17)	1,42(3)	C(6)C(1)Bi(1)	123,1(13)
C(6)–C(1)	1,38(3)	C(2)C(1)Bi(1)	120,0(11)
C(6)–C(5)	1,35(3)	F(1)C(7)F(1)	106(3)
C(3)–C(2)	1,37(2)	F(2)C(7)F(1)	110(3)
C(3)–C(4)	1,33(3)	F(2)C(7)F(3)	105(2)
C(3)–C(7)	1,51(2)	F(1)C(7)C(3)	114,0(18)
F(1)–C(7)	1,28(3)	F(6)C(17)F(4)	104(4)
F(3)–C(7)	1,30(4)	F(5)C(17)F(6)	103(3)
F(2)–C(7)	1,32(3)	C(1)C(2)C(3)	121,7(16)

Преобразования симметрии: $^11 - x, \frac{1}{2} + y, \frac{1}{2} - z$

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов соединения **1** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2235080; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Обсуждение результатов

В литературе описаны особенности синтеза и строения полиядерных галогенсодержащих комплексов трехвалентного висмута [27–32]. Интерес к получению комплексных соединений висмута обусловлен найденными для некоторых из них ценными свойствами: сегнетоактивность, сверхпроводимость, различные по природе фазовые переходы [33].

Именно поэтому нами была сделана попытка осуществить синтез подобного комплекса висмута из *трис*[(3-трифторметил)фенил]висмута и иодистоводородной кислоты.

Найдено, что деарилирование *трис*[(3-трифторметил)фенил]висмута иодистоводородной кислотой в мягких условиях (эфир, 20 °С, 10 ч) приводит к образованию иодида *бис*[(3-трифторметил)фенил]висмута полимерного строения (**1**), в котором молекулы Ar_2BiI связаны между собой мостиковыми атомами иода (аксиальные углы $\text{I}(\text{Bi})$ составляют $174,7^\circ$) (рис. 5).

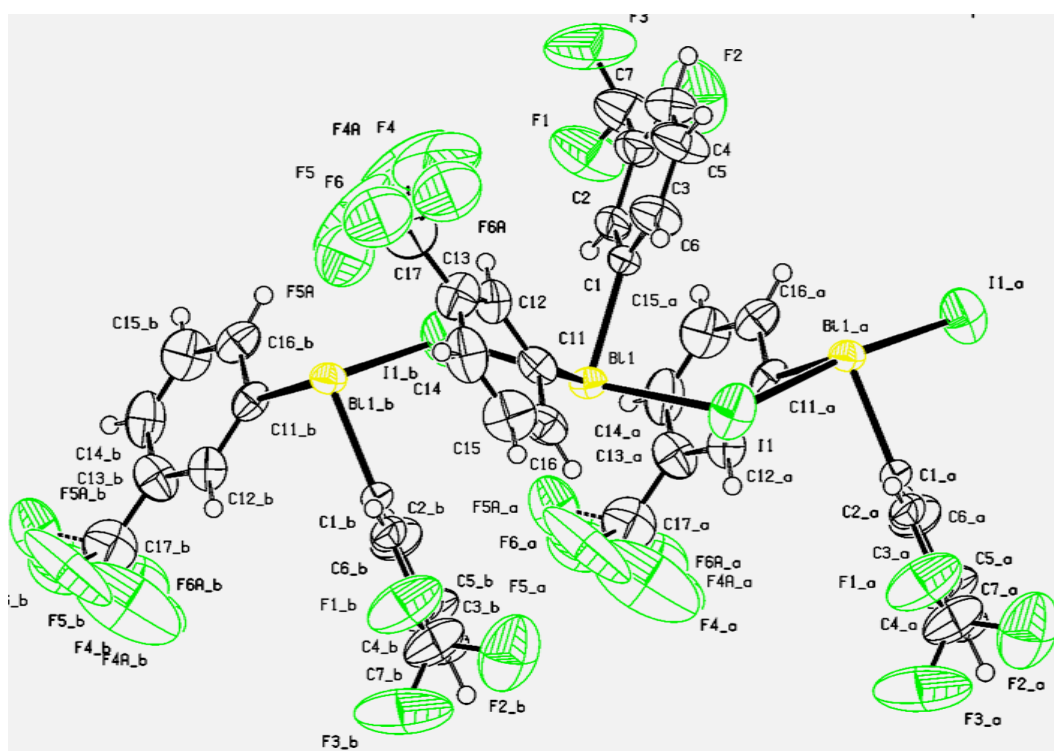


Рис. 5. Структура комплекса $[(3\text{-CF}_3)\text{C}_6\text{H}_4]_2\text{BiI}$ (**1**)

В экваториальной плоскости при центральном атоме металла располагаются два арильных лиганда ($\text{C}(\text{Bi})$ $95,1(16)^\circ$) и свободная электронная пара. Длины связей $\text{Bi}-\text{C}$ составляют $2,215(13)$ и $2,234(14)$ Å; валентные углы $\text{I}(\text{Bi})$ равны $86,2(4)$ – $92,5(4)^\circ$. Наименьшие межмолекулярные расстояния $\text{F}(1)\cdots\text{F}(4^1)$ ($2,9(6)$ Å) значительно превышают сумму двух ван-дер-ваальсовых радиусов атомов фтора ($2,7$ Å).

Заключение

Таким образом, деарилирование *трис*[(3-трифторметил)фенил]висмута иодистоводородной кислотой в эфире при комнатной температуре протекает с отщеплением арильной группы и образованием иодида *бис*[(3-трифторметил)фенил]висмута, кристалл которого состоит из полимерных цепочек тригонально-бипирамидальных молекул Ar_2BiI с аксиальными мостиковыми атомами иода и двух арильных лигандов со свободной электронной парой в экваториальных плоскостях.

Список источников

1. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 12. С. 719. DOI: 10.31857/S0132344X21120021
2. Шарутин В.В., Мосунова Т.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12, № 3. С. 7. DOI: 10.14529/chem200301
3. Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н. Методы элементоорганической химии // Сурьма, висмут. М.: Наука, 1976. 483 с.
4. Deacon G.B., Jackson W.R., Pfeiffer J.M. // Aust. J. Chem. 1984. V. 37. P. 527. DOI: 10.1071/CH9840527
5. Deacon G.B., Felder P.W., Domagala M. et al. // Inorg. Chim. Acta. 1986. V. 113, No. 1. P. 43. DOI: 10.1016/S0020-1693(00)86855-3
6. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журнал неорган. химии. 2014. Т. 59, № 10. С. 1356. DOI: 10.7868/S0044457X14100183
7. Wrobel L., Rüffer T., Korb M. et al. // Chemistry. A European Journal. 2018. V. 24, No. 62. P. 16630. DOI: 10.1002/chem.201803664
8. Andrews P.C., Busse M., Deacon G.B. et al. // Dalton Trans. 2010. V. 39, No. 40. P. 9633. DOI: 10.1039/c0dt00629g
9. Gupta A., Kumar S., Singh H.B. // Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. A Phys. Sci. 2016. V. 86. P. 465. DOI: 10.1007/s40010-016-0301-1
10. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Житкевич М.В. // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70, № 5. С. 737. EDN: RIMYCG
11. Калимуллина Л.В., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 4. С. 55. DOI: 10.14529/chem220405
12. Шарутин В.В., Егорова И.В., Шарутина О.К. и др. // Журнал неорган. химии. 2008. Т. 53, № 11. С. 1853. EDN: JSJUXP
13. Брегадзе В.И., Глазун С.А., Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem200101
14. Peach M.E. // J. Inorg. Nucl. Chem. 1977. V. 39, No. 4. P. 565. DOI: 10.1016/0022-1902(77)80566-6
15. Шарутин В.В., Егорова И.В., Иваненко Т.К. и др. // Коорд. химия. 2004. Т. 30, № 5. С. 331. EDN: OWBFEN
16. Шарутин В.В., Егорова И.В., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 12. С. 902. EDN: OOFNUN
17. Бацанов С.С. // Журн. неорг. химии. 1991. Т. 36, № 12. С. 3015.
18. Шарутин В.В., Егорова И.В., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2005. Т. 31, № 1. С. 4. EDN: HRZYDD
19. Егорова И.В. Арильные соединения висмута. Синтез, строение, применение: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.08. Нижегородский государственный университет. Н. Новгород. 1998. 282 с.
20. Егорова И.В., Шарутин В.В., Иваненко Т.К. и др. // Коорд. химия. 2006. Т. 32, № 5. С. 336. EDN: HTPICD
21. Fritzsche A.-M., Scholz S., Krasowska M. et al. // Phys. Chem. Chem. Phys. (PCCP). 2020. V. 22, No. 18. P. 10189. DOI: 10.1039/C9CP06924K
22. Dunaj T., Dollberg K., Ritter C. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2021. V. 2021, No. 9. P. 870. DOI: 10.1002/ejic.202001019
23. Ramler J., Hofmann K., Lichtenberg C. // Inorg. Chem. 2020. V. 59, No. 6. P. 3367. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.9b03189
24. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and processing software for the SMART system. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.43.
25. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An integrated system for solving, refining and displaying crystal structures from diffraction data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
26. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
27. Шарутин В.В., Егорова И.В., Дорофеева О.А. и др. // Журн. общ. химии. 2002. Т. 72, № 9. С. 1576. EDN: WXQSKQ

28. Шарутин В.В., Егорова И.В., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2004. Т. 30, № 12. С. 925. EDN: OVZTHX
29. Шарутин В.В., Егорова И.В., Дорофеева О.А. и др. // Журн. неорган. химии. 2004. Т. 49, № 11. С. 1821. EDN: OQOWYT
30. Шарутин В.В., Егорова И.В., Левчук М.В. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 9. С. 654. EDN: ECTWFR
31. Шарутин В.В., Егорова И.В., Пакузина А.П. и др. // Журн. общ. химии. 2006. Т. 76, № 8. С. 1393. EDN: HUZRNK
32. Шарутин В.В., Егорова И.В., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2008. Т. 34, № 6. С. 469. EDN: ILAKUZ
33. Давидович Р.Л., Логвинова В.Б., Ткачев В.В. и др. // Коорд. химия. 1995. Т. 21, № 11. С. 819. EDN: YGKZLD

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru

Сенчурин Владислав Станиславович – доктор химических наук, профессор, кафедра теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: senchurinvs@susu.ru.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2024 г.
The article was submitted 20 June 2024.