

РЕАКЦИЯ ПЕНТАФЕНИЛВИСМУТА С ФЛАВИАНОВОЙ КИСЛОТОЙ

В.В. Красносельская

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием эквимольярных количеств пентафенилвисмута и 2,4-динитронафтол-7-сульфо кислоты (флавиановой кислоты) в бензоле получен и структурно охарактеризован после перекристаллизации из воды флавианат тетрафенилвисмута $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4]^-$ (**1**). По данным рентгеноструктурного анализа, проведенного при 293 К на автоматическом четырехкратном дифрактометре D8 Quest Bruker (двухкоординатный CCD – детектор, Мо K_{α} -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор), кристалл **1** $[\text{C}_{34}\text{H}_{25}\text{N}_2\text{O}_8\text{SBi}]$, M 830,60; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 10,344(4)$, $b = 11,424(8)$, $c = 13,805(6) \text{ \AA}$; $\alpha = 81,32(2)$ град., $\beta = 77,906(14)$ град., $\gamma = 79,743(19)$ град.; $V = 1558,7(14) \text{ \AA}^3$; размер кристалла $0,25 \times 0,13 \times 0,08$ мм; интервалы индексов отражений $-15 \leq h \leq 15$, $-17 \leq k \leq 17$, $-20 \leq l \leq 20$; всего отражений 100377; независимых отражений 11321; R_{int} 0,0494; $GOOF$ 1,028; $R_1 = 0,0356$, $wR_2 = 0,0710$; остаточная электронная плотность $1,70/-0,94 \text{ e/\AA}^3$ содержит несколько искаженные тетраэдрические катионы тетрафенилвисмутония (СВiС $106,25(12)^\circ-115,24(12)^\circ$, Bi–C $2,191(3)-2,203(3) \text{ \AA}$) и флавианатные анионы. Структурная организация в кристалле **1** обусловлена слабыми межмолекулярными контактами типа $\text{O}\cdots\text{H}$ ($2,04-2,67 \text{ \AA}$). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структуры **1** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2159998; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: пентафенилвисмут, 2,4-динитронафтол-7-сульфо кислоты, флавианат тетрафенилвисмута, синтез, строение, рентгеноструктурный анализ

Введение

Методы синтеза и особенности строения арильных соединений висмута систематизированы и описаны в обзорах [1, 2]. Известно, что при действии кислот на пентафенилвисмут образуются соли тетрафенилвисмутония. Так, титрование пентафенилвисмута эфирным раствором хлористого водорода сопровождается исчезновением фиолетовой окраски, характерной для пентафенилвисмута, и образованием лабильных бесцветных кристаллов хлорида тетрафенилвисмута, разлагающихся при комнатной температуре до трифенилвисмута и хлорбензола [3]. Авторы работы [4] методом РСА установили его строение и нашли, что в тригонально-бипирамидальном окружении центрального атома хлор занимает аксиальное положение. Атом висмута выходит из экваториальной плоскости в направлении аксиально расположенного атома углерода. Длина связи Bi–Cl ($2,9116(19) \text{ \AA}$) превышает сумму ковалентных радиусов атомов висмута и хлора ($2,50 \text{ \AA}$), но существенно меньше суммы их ван-дер-ваальсовых радиусов ($3,82 \text{ \AA}$) [5]. Аналогичной структурой обладает и кинетически неустойчивый бромид тетрафенилвисмута, полученный из пентафенилвисмута и раствора бромистого водорода в ацетоне [6]. Взаимодействием пентафенилвисмута с эквимольярными количествами серной, 2,4-динитробензолсульфоновой и азотной кислот синтезированы гидросульфат тетрафенилвисмута $(\text{HOSO}_3)\text{BiPh}_4$, 2,4-динитробензолсульфонат тетрафенилвисмута $(2,4-(\text{NO}_2)_2\text{C}_6\text{H}_3\text{SO}_2\text{O})\text{BiPh}_4$ и гидрат нитрата тетрафенилвисмута $\text{Ph}_4\text{BiNO}_3 \cdot 1/3\text{H}_2\text{O}$ [7]. Кристаллические структуры соединений висмута определены методом рентгеноструктурного анализа. Если в первых двух атомы висмута пентакоординированы (окружение C_4BiO), то в последнем присутствуют молекула нитратотетрафенилвисмута и два типа катионов тетрафенилвисмутония, один из которых координирован с нитрат-анионом и молекулой воды. С целью установления природы заместителей в ароксильной группе на значения валентных углов и длин связей при атоме висмута в ароксидов тетрафенилсурьмы был синтезирован ряд указанных производных по реакции пентафенилвисмута (толуол, 0,5–5 мин, $20 \text{ }^\circ\text{C}$) с фенолами, содержащими электроноакцепторные заместители [8]. Цвет раствора в результате взаимодействия реагентов изменялся на желтый или желто-коричневый; целевые продукты выделяли кристаллизацией из смеси бензол-октан. Ароксиды тетрафенилвисмута представляют собой устойчивые на воздухе кристаллические вещества желтого или желто-коричневого цвета, растворимые в алифатических и ароматических углеводородах. Выходы полученных ароксидов тетрафенилвисмута достигали

86 %. По аналогичной схеме были получены и бесцветные аренсульфонаты тетрафенилвисмута [9], которые можно синтезировать также по реакции перераспределения лигандов из пентафенилвисмута и бис(аренсульфонатов) трифенилвисмута [10].

Аренсульфоновые кислоты относятся к сильным кислотам (по кислотности сравнимы с серной кислотой). Неплоское тетраэдрическое строение сульфогруппы исключает π, π -сопряжение с бензольным ядром. Взаимодействие является индукционным и приводит к тому, что электрофильная сульфогруппа вызывает смещение электронов ароматического ядра. Наличие трех атомов кислорода обеспечивает эффективную делокализацию заряда в группе SO_3 и стабилизацию аниона, поэтому связь $\text{Bi}-\text{O}$ в аренсульфонатах тетрафенилвисмута $\text{Ph}_4\text{BiOSO}_2\text{R}$ имеет ионный характер. Расположение катиона и аниона в кристаллической ячейке, а также расстояние $\text{Bi}\cdots\text{O}$ (при наличии координации аниона и катиона) определяются влиянием факторов, обеспечивающих минимум энергии кристаллической решетки в целом [11].

Настоящая работа посвящена синтезу и установлению строения флавианата тетрафенилвисмута $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_{2-2,4}]^-$ (**1**).

Экспериментальная часть

Элементный анализ на С и Н выполнен на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108.

Температура плавления измерена на синхронном термоанализаторе Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектр соединения **1** записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетке KBr в области $4000-400 \text{ см}^{-1}$.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) кристалла **1** проведен на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Мо K_α -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [12]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC [13] и OLEX2 [14]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2 U_{\text{эkv}}(\text{C})$). Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, геометрические характеристики координационного полиэдра атома сурьмы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2159998; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Синтез сольвата 1-окси-2,4-динитро-7-нафталин-сульфоната тетрафенилсурьмы $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_{2-2,4}]^-$ (**1**). Смесь 0,500 г (0,8 ммоль) пентафенилсурьмы и 0,270 г (0,8 ммоль) флавиановой кислоты в 15 мл бензола нагревали до образования прозрачного раствора, добавляли 2 мл октана и выдерживали 24 ч при комнатной температуре. При концентрировании раствора выделялись кристаллы, которые сушили и взвешивали. Получили 0,464 г (65 %) кристаллов **1** с т. разл. $164 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1).

ИК-спектр, ($\nu, \text{ см}^{-1}$): 3032, 2480, 2187, 2090, 1967, 1942, 1890, 1869, 1683, 1558, 1516, 1471, 1436, 1398, 1328, 1300, 1232, 1157, 1130, 1082, 1035, 999, 731, 664, 640, 435, 418.

Найдено, %: С 49,08; Н 3,10. Для $\text{C}_{34}\text{H}_{25}\text{N}_2\text{O}_8\text{SBi}$. Вычислено, %: С 49,12; Н 3,01.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры 1

Параметр	Соединение 1
Формула	$\text{C}_{34}\text{H}_{25}\text{N}_2\text{O}_8\text{SBi}$
M	830,60
$T, \text{ K}$	293
Сингония	Триклинная
Пр. группа	$P-1$
$a, \text{ \AA}$	10,344(4)
$b, \text{ \AA}$	11,424(8)
$c, \text{ \AA}$	13,805(6)
$\alpha, ^\circ$	81,32(2)
$\beta, ^\circ$	77,906(14)
$\gamma, ^\circ$	79,743(19)
$V, \text{ \AA}^3$	1558,7(14)

Параметр	Соединение 1
Z	2
ρ (выч.), г/см ³	1,770
μ , мм ⁻¹	5,779
$F(000)$	812,0
Размер кристалла, мм	0,25 × 0,13 × 0,08
Область сбора данных по 2θ , град.	5,86–65,26
Интервалы индексов отражений	$-15 \leq h \leq 15, -17 \leq k \leq 17, -20 \leq l \leq 20$
Измерено отражений	100377
Независимых отражений	11321
R_{int}	0,0494
Переменных уточнения	416
$GOOF$	1,028
R -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0356, wR_2 = 0,0710$
R -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,0616, wR_2 = 0,0783$
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å ³	1,70/-0,94

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в соединении 1

Связь	d , Å	Угол	ω , град.
Bi(1)–C(21)	2,198(3)	C(21)Bi(1)C(1)	110,53(12)
Bi(1)–C(1)	2,199(3)	C(21)Bi(1)C(11)	106,91(12)
Bi(1)–C(31)	2,191(3)	C(1)Bi(1)C(11)	115,24(12)
Bi(1)–C(11)	2,203(3)	C(31)Bi(1)C(21)	107,33(11)
S(1)–C(48)	1,783(3)	C(31)Bi(1)C(1)	106,25(12)
S(1)–O(2)	1,399(3)	C(31)Bi(1)C(11)	110,35(12)
S(1)–O(1)	1,498(6)	O(2)S(1)C(48)	106,78(18)
S(1)–O(3)	1,300(4)	O(2)S(1)O(1)	104,4(4)
O(4)–C(41)	1,328(4)	O(1)S(1)C(48)	104,1(2)
O(6)–N(1)	1,219(4)	O(3)S(1)C(48)	108,4(2)
O(7)–N(2)	1,215(4)	O(3)S(1)O(2)	122,7(4)
O(5)–N(1)	1,238(4)	O(3)S(1)O(1)	109,0(5)
N(1)–C(42)	1,458(4)	C(22)C(21)Bi(1)	118,7(2)

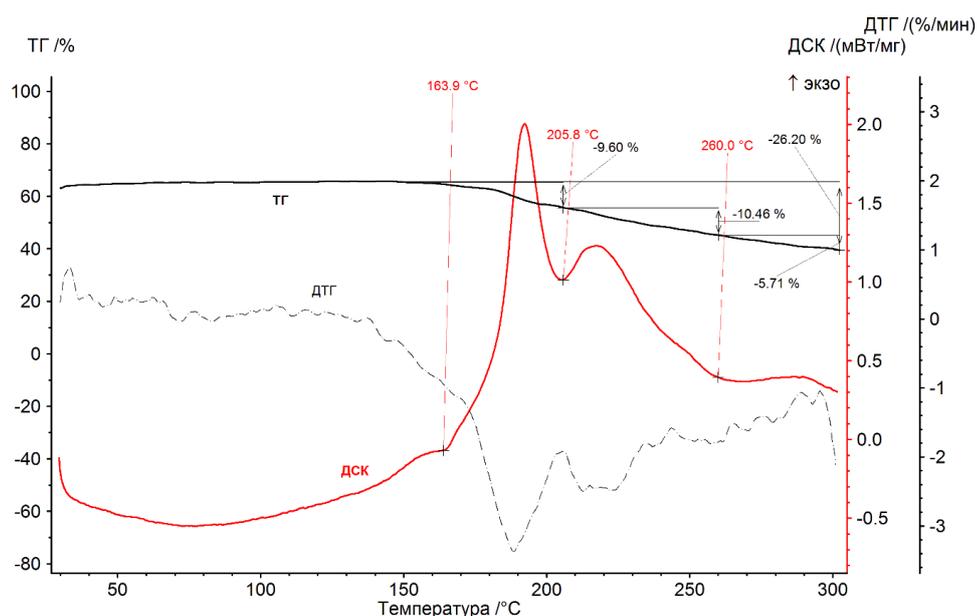


Рис. 1. Кривая ДСК комплекса 1

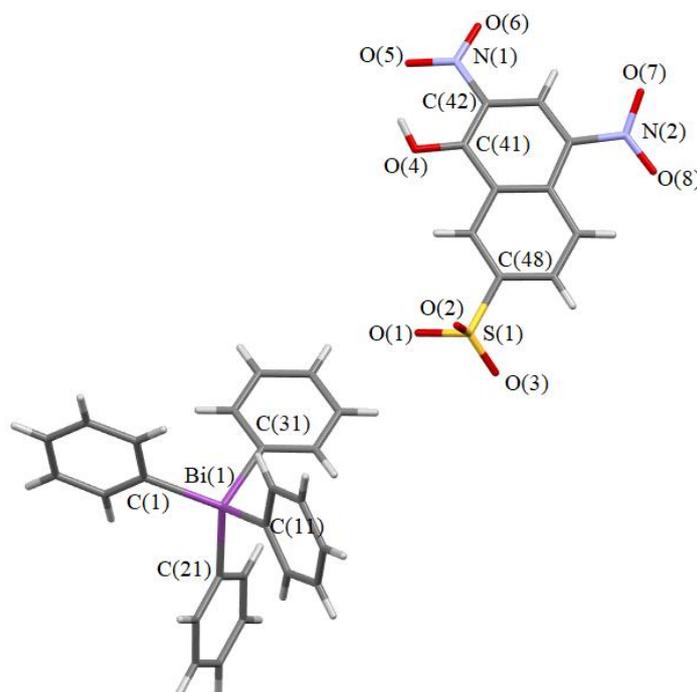
Обсуждение результатов

Найдено, что продукт реакции пентафенилвисмута с 2,4-динитронафтол-7-сульфо кислотой (флавиановой кислотой) в бензоле был получен и структурно охарактеризован после перекристаллизации из воды флавианата тетрафенилвисмута $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+ [\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4]^-$ (**1**).

**1**

Бесцветные прозрачные кристаллы, устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха, растворимые в ацетоне, ароматических углеводородах, хлороформе и диоксане, выделялись из реакционной смеси с выходом 65 %.

По данным РСА, в кристалле **1** присутствуют катионы тетрафенилвисмута, в которых атомы висмута имеют искаженную тетрагональную координацию ($\text{CBiC } 106,25(12) - 115,24(12)^\circ$) и флавианатные анионы (рис. 2).

Рис. 2. Строение соединения **1**

Расстояния $\text{Bi}-\text{C}$ составляют $2,191(3) - 2,203(3) \text{ \AA}$, что значительно меньше суммы ковалентных радиусов атомов кислорода и сурьмы ($2,36 \text{ \AA}$ [15]). Длины связей $\text{S}=\text{O}$ в анионе **1** составляют $1,300(4)$, $1,399(3)$ и $1,498(6) \text{ \AA}$. Расстояние $\text{S}-\text{C}$ равно $1,783(3) \text{ \AA}$, атом водорода гидроксильной группы координирован с атомом кислорода $\text{O}(2)$ сульфогруппы ($2,04 \text{ \AA}$) (сумма ван-дер-ваальсовых радиусов атомов партнеров составляет $2,7 \text{ \AA}$ [16]), а плоскости нитрогрупп отклоняются от плоскости нафтаола на $16,26^\circ$ и $15,69^\circ$. Расстояния $\text{N}-\text{C}$ ($1,196(5) - 1,238(4) \text{ \AA}$) соответствуют длинам связей в NO_2 -группах [17]. Структурная организация в кристалле **1** обусловлена межмолекулярными контактами типа $\text{O} \cdots \text{H}$ ($2,44 - 2,67 \text{ \AA}$).

Известно, что ИК-спектры сульфоновых кислот содержат характерные полосы поглощения: $1260 - 1150 \text{ см}^{-1}$ (сильная полоса) и $1080 - 1010 \text{ см}^{-1}$ (полоса средней интенсивности), – которые относят к асимметричным и симметричным валентным колебаниям сульфонатной группы SO_3 . Отмечено, что первая из этих полос обычно расщепляется, а положение полосы в интервале $1080 - 1010 \text{ см}^{-1}$ практически не зависит от строения кислоты [18–20]. ИК-спектры комплекса **1** также содержат характерные для сульфогрупп полосы поглощения: 1233 см^{-1} , 1130 см^{-1} и 1036 см^{-1} . Очевидно, что смещение последней полосы в сторону меньших частот предполагает удлинение связей $\text{S}=\text{O}$ и выравнивание трех связей в группе SO_3 , что и наблюдается в аренсульфонатном анионе.

Выводы

Установлено, что взаимодействием эквимольных количеств пентафенилвисмута и 2,4-динитронафтол-7-сульфокислоты (флавиановой кислоты) в бензоле получен и структурно охарактеризован после перекристаллизации из воды флавианат тетрафенилвисмута $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4]^-$ (**1**), который состоит из тетраэдрических катионов тетрафенилвисмутония и флавиат-анионов. Структурная организация в кристалле **1** обусловлена межмолекулярными контактами типа $\text{O}\cdots\text{H}$ (2,44–2,67 Å).

Благодарность

Выражаю признательность профессору В.В. Шарутину за помощь в работе над публикацией и рентгеноструктурный анализ кристалла соединения **1**.

Литература

1. Шарутин В.В., Мосунова Т.В. Синтез, строение и применение арильных соединений висмута // Вестник ЮУрГУ. Серия: «Химия». 2020. Т. 12, № 3. С. 7–66. DOI: org/10.14529/chem2003.
2. Шарутин В.В., Поддольский А.И., Шарутина О.К. Синтез, строение и применение органических соединений висмута // Коорд. химия. 2021. Т. 47. № 12. С. 719–788.
3. Wittig G., Claub K. Pentaphenylwismut // J. Lieb. Ann. 1952. Vol. 59, no. 1. P. 136.
4. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. Синтез и строение производных тетрафенилвисмута (V) Ph_4BiCl , $[\text{Ph}_4\text{Bi DMSO-O}][\text{PtBR}_3 \text{ DMSO-S}]$ и $[\text{Ph}_4\text{Bi}]_2[\text{PtCl}_6]$ // Журн. общ. химии. 2020. Т. 65, № 11. С. 1516. DOI: 10.31857/S0044457X20110173.
5. Бацанов С.С. Атомные радиусы элементов // Журн. неорг. химии. 1991. Т. 36, № 12. С. 3015–3037.
6. Senchurin V.S., Sharutin V.V., Sharutina O.K. Phenyl bismuth(V) derivatives $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2-2,5]_2 \cdot 0.5\text{PhH}$, $\text{Ph}_4\text{BiOC}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2-2,5$ and Ph_4BiBr : synthesis and structure // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2020. Vol. 65, no. 3. P. 323–328. DOI: 10.1134/s0036023620030122.
7. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Study of the crystal structures of tetraphenylbismuth hydrosulfate, tetraphenylbismuth 2,4-dinitrobenzenesulfonate, and an adduct of tetraphenylbismuth nitrate with water // J. Struct. Chem. 2020. Vol. 61, no. 5. P. 734–741. DOI: 10.1134/s0022476620050091.
8. Tetraphenylbismuth aroxides: synthesis and structure / V.V. Sharutin, I.V. Egorova, O.K. Sharutina et al. // Russian Journal of Coordination Chemistry. 2008. Vol. 34, no. 2. P. 85–92. DOI: 10.1134/s1070328408020024.
9. Синтез и строение аренсульфонатов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Журн. общ. хим. 1999. Т. 69, вып. 9. С. 1470–1473.
10. Synthesis and structure of tetra- and triphenylbismuth arenesulfonates / V.V. Sharutin, O.K. Sharutina, I.V. Egorova, et al. // Russian Chemical Bulletin. 1999. Vol. 48, no. 12. P. 2325. DOI: 10.1007/bf02498282.
11. Синтез и строение сурьма- и висмуторганических производных 4-сульфофенола и 2,4-дисульфофенола / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, А.П. Пакусуна и др. // Коорд. химия. 2007. Т. 33, № 3. С. 176–183.
12. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
13. 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.
14. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea et al. // J. Appl. Cryst. 2009. Vol. 42. P. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
15. Covalent radii revisited / B. Cordero, V. Gómez, A.E. Platero-Prats et al. // Dalton Trans. 2008. Iss. 21. P. 2832–2838. DOI: 10.1039/B801115J.
16. Consistent van der waals radii for the whole main group / M. Mantina, A.C. Chamberlin, R. Valero et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. V. 113, no. 19. P. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.

17. Tables of bond lengths determined by X-ray and neutron diffraction. Part. 1. Bond Lengths in Organic Compounds / F.H. Allen, O. Kennard, D.G. Watson et al. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. II. 1987, no. 12, pt. 2. P. S1–S19. DOI: 10.1039/P298700000S1.

18. Тарасевич, Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.

19. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: учебное пособие / А.В. Васильев, Е.В. Гриненко, А.О. Щукин и др. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.

20. Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. Release 2021. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

Красносельская Вероника Валерьевна – бакалавр кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: Kveronikavalerevna@mail.ru

Поступила в редакцию 18 июля 2022 г.

DOI: 10.14529/chem220407

REACTION OF PENTAPHENYLBISMUTH WITH FLAVIANIC ACID

V.V. Krasnoselskaya, Kveronikavalerevna@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Tetraphenylbismuth flavianate $[\text{Ph}_4\text{Bi}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4\text{O}_8(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4]^-$ (**1**) has been obtained by interaction of equimolar quantities of pentaphenylbismuth and 2,4-dinitro-1-naphthol-7-sulfonic acid (flavianic acid) in benzene; then it has been structurally characterized after recrystallization from water. According to X-ray structural analysis performed at 293 K on an automatic four-circle diffractometer D8 Quest Bruker (two-coordinate CCD-detector, Mo K_α -radiation, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, graphite monochromator), crystal **1** has the following parameters: $[\text{C}_{34}\text{H}_{25}\text{N}_2\text{O}_8\text{SBi}]$, M 830.60; triclinic syngony, symmetry group $P-1$; cell parameters: $a = 10.344(4)$, $b = 11.424(8)$, $c = 13.805(6) \text{ \AA}$; $\alpha = 81.32(2) \text{ deg.}$, $\beta = 80.73(3) \text{ deg.}$, $\gamma = 79.743(19) \text{ deg.}$; $V = 1558.7(14) \text{ \AA}^3$; crystal size $0.25 \times 0.13 \times 0.08 \text{ mm}$; reflection index intervals $-15 \leq h \leq 15$, $-17 \leq k \leq 17$, $-20 \leq l \leq 20$; total reflections 100377; independent reflections 11321; R_{int} 0.0494; $GOOF$ 1.028; $R_1 = 0.0356$, $wR_2 = 0.0710$; residual electron density $1.70/-0.94 \text{ e/\AA}^3$; it contains several distorted tetrahedral cations of tetraphenylbismuthonium (the CBiC angles are $106.25(12)^\circ$ – $115.24(12)^\circ$, the Bi–C distance equals $2.191(3)$ – $2.203(3) \text{ \AA}$) and flavianate anions. The structural organization in crystal **1** is caused by weak intermolecular contacts of $\text{O} \cdots \text{H}$ (2.04 – 2.67 \AA). Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for structure **1** have been deposited at the Cambridge Crystallographic Data Centre (No. 2159998; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: pentaphenylbismuth, 2,4-dinitro-1-naphthol-7-sulfonic acid, tetraphenylbismuth flavianate synthesis, structure, X-ray structural analysis

References

1. Sharutin V.V., Mosynova T.V. Synthesis, structure and application of aryl compounds of bismuth. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry.* 2020;12(3):7–66. (In Russ.)

2. Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K. Aryl compounds of pentavalent antimony: syntheses, reactions, and structures. *Russ. J. Coord. Chem.* 2020;46(10):663–728. DOI: 10.1134/S1070328420100012.

3. Wittig G., Claub K. Pentaphenylwismut. *J. Lieb. Ann.* 1952;59(1):136.

4. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.C. Synthesis and structure of tetraphenylbismuth derivatives (V) Ph_4BiCl , $[\text{Ph}_4\text{Bi DMSO-O}][\text{PtBr}_3 \cdot \text{DMSO-S}]$ и $[\text{Ph}_4\text{Bi}]_2[\text{PtCl}_6]$. *Russian Journal of Inorganic Chemistry.* 2020;65(11):1516. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0044457X20110173

5. Batsanov S.S. The atomic radii of the elements. *Russian Journal of Inorganic Chemistry.* 1991;36(12):3015–3037. (In Russ.)

6. Senchurin V.S., Sharutin V.V., Sharutina O.K. Phenyl bismuth(V) derivatives $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_{2-2,5}]_2 \cdot 0.5\text{PhH}$, $\text{Ph}_4\text{BiOC}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_{2-2,5}$ and Ph_4BiBr : synthesis and structure. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2020;65(3):323–328. DOI: 10.1134/s0036023620030122.
7. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Study of the crystal structures of tetraphenylbismuth hydrosulfate, tetraphenylbismuth 2,4-dinitrobenzenesulfonate, and an adduct of tetraphenylbismuth nitrate with water. *J. Struct. Chem.* 2020;61(5):734–741. DOI: 10.1134/s0022476620050091.
8. Sharutin V.V., Egorova I.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P., & Pushilin M.A. Tetraphenylbismuth aroxides: synthesis and structure. *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2008;34(2):85–92. DOI: 10.1134/s1070328408020024.
9. Sharutin V.V., Egorova I.V., Sharutina O.K. et al. Synthesis and structure of tetraphenylbismuth arenesulfonates. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 1999;69(9):1470–1473. (In Russ.)
10. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Kharsika A. N., Lodochnikova O. A., Gubaidullin A. T., & Litvinov I. A. Synthesis and structure of tetra- and triphenylbismuth arenesulfonates. *Russian Chemical Bulletin*. 1999;48(12):2325–2329. DOI: 10.1007/bf02498282.
11. Sharutin V.V., Egorova I.V., Pakusina A.P., Sharutina O.K., Pushilin M.A. Synthesis and structures of organoantimony and organobismuth derivatives of 4-Sulfophenol and 2,4-disulfophenol. *Russ. J. Coord. Chem.* 2007;33(3):168–175. DOI: 10.1134/S1070328407030037.
12. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
13. 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.
14. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program. *J. Appl. Cryst.*, 2009;42:339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
15. Cordero B., Gomez V., Platero-Prats A.E., Reves M., Echeverria J., Cremades E., Barragana F., Alvarez S. Covalent radii revisited. *Dalton Trans.* 2008;21:2832–2838. DOI: 10.1039/B801115J.
16. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R., Cramer C.J., Truhlar D.G. Consistent van der waals radii for the whole main group. *J. Phys. Chem.* 2009;113(19):5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.
17. Allen F.H., Kennard O., Watson D.G., Brammer L., Orpen A.G., Taylor R. Tables of bond lengths determined by X-ray and neutron diffraction. part. 1. bond lengths in organic compounds. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. II*. 1987;12(2):S1–S19. DOI: 10.1039/P298700000S1.
18. Tarasevich B.N. X-ray spectra of the main classes of organic compounds. Moscow: MSU Publ., 2012. 54 p. (In Russ.)
19. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Schukin A.O. et al. X-ray of organic and natural compounds. St. Petersburg: SPbGLTA, 2007. 54 p. (In Russ.)
20. Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. Release 2021. National Institute of advanced industrial science and technology.

Received 18 July 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Красносельская В.В. Реакция пентафенилвисмута с флавиановой кислотой // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 4. С. 72–78. DOI: 10.14529/chem220407

FOR CITATION

Krasnoselskaya V.V. Reaction of pentaphenylbismuth with flavianic acid. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2022;14(4):72–78. (In Russ.). DOI: 10.14529/chem220407