

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ДИЦИАНОДИГАЛОГЕНАУРАТОВ (4-ФТОРБЕНЗИЛ)ТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ [Ph₃PCH₂C₆H₄F-4][Au(CN)₂Hlg₂]

© 2021 г. В. В. Шарутин^{a,*}, О. К. Шарутина^a, Н. М. Тарасова^a, О. С. Ельцов^b

^a Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
пр. Ленина 76, Челябинск, 454080 Россия

^b Уральский федеральный государственный университет, Екатеринбург, 620002 Россия
*e-mail: vvsharutin@rambler.ru

Поступило в Редакцию 2 августа 2021 г.

После доработки 14 сентября 2021 г.

Принято к печати 18 сентября 2021 г.

Дицианодигалогенаураты (4-фторбензил)трифенилфосфония [Ph₃PCH₂C₆H₄F-4][Au(CN)₂Hlg₂], Hlg = Cl, Br, I синтезированы из хлорида (4-фторбензил)трифенилфосфония и дицианодигалогенаурата калия в воде. Строение соединений охарактеризовано методами ИК, ¹H, ¹³C {¹H} и ¹⁹F {¹H} ЯМР спектроскопии, РСА и элементного анализа. Кристаллы полученных комплексов образованы тетраэдрическими катионами (4-фторбензил)трифенилфосфония и квадратными centrosymmetric анионами [Au(CN)₂Hlg₂]⁻.

Ключевые слова: дицианодигалогенаураты калия, хлорид (4-фторбензил)трифенилфосфония, дицианодигалогенаураты (4-фторбензил)трифенилфосфония

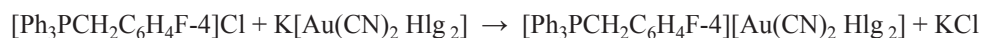
DOI: 10.31857/S0044460X21110081

Комплексы дицианидов металлов могут использоваться при получении полупроводниковых, оптически- и магнитноактивных материалов [1–7], препаратов-метаболических лекарств на основе Au(I) [8] и веществ, проявляющих люминесцентные свойства [4, 9–12]. Комплексы дицианодигалогенауратов с различными катионами, также проявляющие подобные свойства [13–15], менее исследованы. Известно несколько цианидных комплексов Au(I) [16, 17] и цианодигалогенидных комплексов Au(III) с аммонийными катионами [18–21], информация о комплексах [Kat]⁺[Au(CN)₂Hlg₂]⁻ с элементоорганическими катионами присутствует лишь в двух работах [22, 23].

Нами впервые синтезированы и структурно охарактеризованы дицианодигалогенаураты (4-фторбензил)трифенилфосфония [Ph₃PCH₂C₆H₄F-4]·[Au(CN)₂Hlg₂], Hlg = Cl, Br, I. Комплексы **1–3** получены при смешивании водных растворов соответствующих солей (схема 1).

После удаления воды и кристаллизации вещества из смеси ацетонитрила и изопропилового спирта (3:10 по объему) получены прозрачные светло-желтые (**1**), темно-желтые (**2**) и красно-коричневые кристаллы (**3**). Выделенные кристаллы устойчивы на воздухе, хорошо растворяются в хлороформе, дихлорметане и ацетонитриле, плохо – в воде и спиртах при комнатной температуре.

Схема 1.



1–3

Hlg = Cl (**1**), Br (**2**), I (**3**).

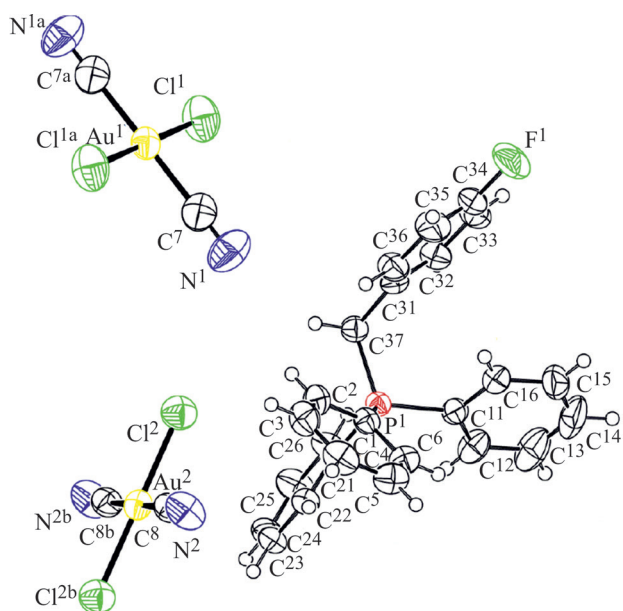


Рис. 1. Общий вид молекулы комплекса **1** в кристалле.

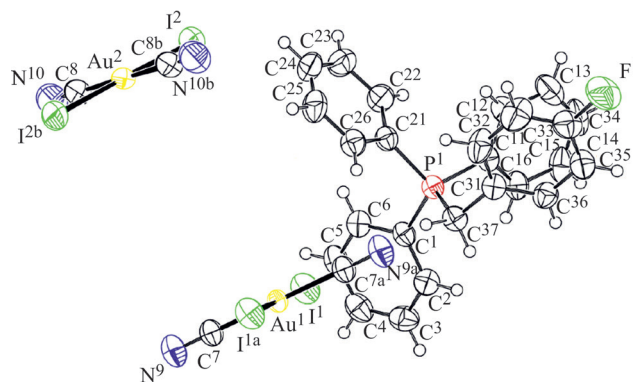


Рис. 2. Общий вид молекулы комплекса **3** в кристалле.

В ИК спектрах соединений **1–3** наблюдаются полосы поглощения валентных колебаний С–F при 1227, 1227, 1221 см^{-1} соответственно. Полосы поглощения при 1510, 1510 и 1508 см^{-1} характеризуют валентные колебания углеродного скелета арильных колец. Валентным колебаниям связей $\text{C}_{\text{Ar}}\text{–H}$ соответствуют полосы поглощения средней интенсивности при 3059, 3061, 3067 см^{-1} , а внеплоскостным деформационным колебаниям этих связей – высокоинтенсивные полосы при 741 и 688 (**1**), 741 и 689 (**2**), 745 и 685 см^{-1} (**3**). При 2898, 2911 и 2955 см^{-1} присутствуют полосы поглощения, которые можно отнести к валентным колебаниям метиленовых групп, а при 1436, 1437, 1435 см^{-1} – полосы колебания связей P–C_{Ar} .

Полосы поглощения цианогрупп органических и неорганических соединений из-за отсутствия значительного влияния окружения на колебания этих связей находятся в достаточно узком интервале (при 2200–2000 см^{-1} [24]) и легко обнаруживаются в ИК спектрах. В спектрах дицианопроизводных Au(III) [23] наблюдается значительное снижение интенсивности этих полос по сравнению с дицианопроизводными Au(I) [16, 17, 25, 26]. В спектрах соединений **1–3** полосы цианогрупп имеют низкую интенсивность и располагаются при 2137, 2166 и 2160 см^{-1} соответственно.

Несмотря на похожее строение комплексов **1–3**, состоящих из катионов 4-фторфенилметилтрифенилфосфония и двух типов кристаллографически независимых дицианодигалогенауратных анионов (рис. 1, 2), имеются существенные различия в их кристаллической структуре: соединения **1** и **2** кристаллизуются в триклинной сингонии, а комплекс **3** – в моноклинной. В кристаллах соединений **1** и **2** анионы первого типа располагаются на ребрах и по центру граней кристаллических ячеек, образуя водородные связи с катионами (рис. 3). В кристалле комплекса **3** наряду с указанными выше анионами присутствуют также анионы, располагающиеся в узлах кристаллической ячейки (рис. 4).

По данным РСА (табл. 1, 2), тетраэдрическая координация атомов фосфора в катионах несколько искажена. Углы СРС отклоняются от теоретического значения: 107.96(19)–111.11(19) $^\circ$ (**1**), 107.88(18)–111.09(19) $^\circ$ (**2**), 107.39(13)–111.63(13) $^\circ$ (**3**); длины связей P–C_{Ph} [1.797(5)–1.803(4) Å (**1**), 1.784(4)–1.788(4) Å (**2**), 1.791(3)–1.801(3) Å (**3**)] близки между собой, как и расстояния P–C_{Alk} [1.825(4) Å (**1**), 1.808(4) Å (**2**), 1.823(3) Å (**3**)]. Углы между связями С–Au (180 $^\circ$) в анионах $[\text{Au}(\text{CN})_2\text{Hlg}_2]^-$ не отклоняются от линейной конфигурации. Расстояния Au–С в centrosymmetric анионах существенно не отличаются друг от

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры комплексов **1–3**

Параметр	1	2	3
Формула	C ₂₇ H ₂₁ AuCl ₂ FN ₂ P	C ₂₇ H ₂₁ AuBr ₂ FN ₂ P	C ₂₇ H ₂₁ AuFI ₂ N ₂ P
<i>M</i>	691.29	780.21	874.19
Сингония	Триклинная	Триклинная	Моноклинная
Пространственная группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1	<i>P</i> ₂ / <i>c</i>
<i>a</i> , Å	10.003(15)	10.001(12)	15.935(4)
<i>b</i> , Å	11.132(15)	11.075(11)	9.384(2)
<i>c</i> , Å	13.370(15)	13.455(16)	19.456(6)
α , град	69.42(5)	68.57(4)	90.00
β , град	70.78(5)	70.65(6)	109.043(15)
γ , град	72.71(7)	74.21(4)	90.00
<i>V</i> , Å ³	1288(3)	1289(3)	2750.1(12)
<i>Z</i>	2	2	4
<i>d</i> _{выч} , г/см ³	1.782	2.010	2.111
μ , мм ⁻¹	6.006	8.892	7.677
<i>F</i> (000)	668.0	740.0	1624.0
Размер кристалла, мм ³	0.2 × 0.2 × 0.18	0.53 × 0.34 × 0.27	0.34 × 0.25 × 0.19
Область сбора данных по 2 θ , град	6.52 – 55.76	6.18 – 69.96	5.9 – 67.6
Интервалы индексов отражений	-13 ≤ <i>h</i> ≤ 13, -14 ≤ <i>k</i> ≤ 14, -17 ≤ <i>l</i> ≤ 17	-16 ≤ <i>h</i> ≤ 16, -17 ≤ <i>k</i> ≤ 16, -21 ≤ <i>l</i> ≤ 21	-24 ≤ <i>h</i> ≤ 24, -14 ≤ <i>k</i> ≤ 14, -30 ≤ <i>l</i> ≤ 30
Измерено отражений	36720	71481	113141
Независимых отражений (<i>R</i> _{int})	6129 (0.0529)	11066 (0.0597)	10997 (0.0442)
Переменных уточнения	310	310	310
GOOF	1.030	1.005	1.085
<i>R</i> -Факторы по <i>F</i> ² > 2 σ (<i>F</i> ²)	<i>R</i> ₁ 0.0284, <i>wR</i> ₂ 0.0543	<i>R</i> ₁ 0.0424, <i>wR</i> ₂ 0.0760	<i>R</i> ₁ 0.0337, <i>wR</i> ₂ 0.0648
<i>R</i> -Факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ 0.0584, <i>wR</i> ₂ 0.0637	<i>R</i> ₁ 0.1024, <i>wR</i> ₂ 0.0931	<i>R</i> ₁ 0.0699, <i>wR</i> ₂ 0.0745
Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³	0.65/-1.07	1.78/-2.03	0.57/-2.06

друга: 2.009(6), 2.205(9) Å (**1**), 2.005(6), 2.009(4) Å (**2**), 2.004(3), 2.006(4) Å (**3**) – и близки к сумме ковалентных радиусов атомов (2.05 Å [27]); длины связей Au–Nlg: 2.294(4), 2.307(3) Å (**1**), 2.401(3), 2.413(3) Å (**2**), 2.6086(5), 2.6262(8) Å (**3**).

Ассоциация анионов за счет контактов Au⋯Au и Au⋯Br⋯Au [13, 14] в кристаллах отсутствует, что, вероятно, объясняется большим объемом фосфорорганических катионов, исключаяющим возможность сближения анионов и образования из них полимерных цепей. По-видимому, по этой же причине отсутствуют контакты F⋯N в кристаллах комплексов **1**, **3** и I⋯N в комплексе **3**. В

кристалле комплекса **2** существование контактов Br⋯N (2.83–2.96 Å) и F⋯N (2.63 Å), возможно, связано с особенностями его кристаллической упаковки. Слабые взаимодействия N⋯N–C между катионами и анионами [2.56–2.74 Å (**1**), 2.56–2.71 Å (**2**), 2.56–2.64 Å (**3**)] и Cl⋯N–C [2.87–2.94 Å (**1**), Br⋯N–C 2.83–2.96 Å (**2**)] с расстояниями, существенно меньшими суммы ван-дер-ваальсовых радиусов указанных атомов [28], формируют структуру комплексов в кристаллах.

Таким образом, в кристаллах дицианодигалогенауратных комплексов алкилтрифенилфосфония, полученных из хлорида (4-фторбензил)трифенил-

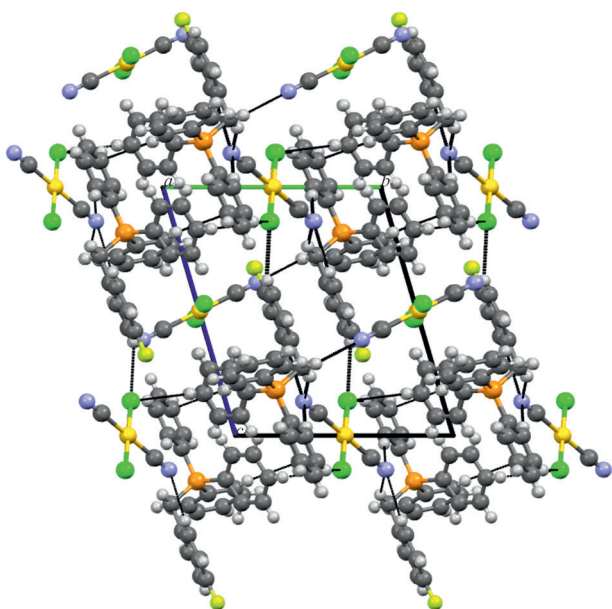


Рис. 3. Вид кристаллической решетки комплекса 1 вдоль оси *a*.

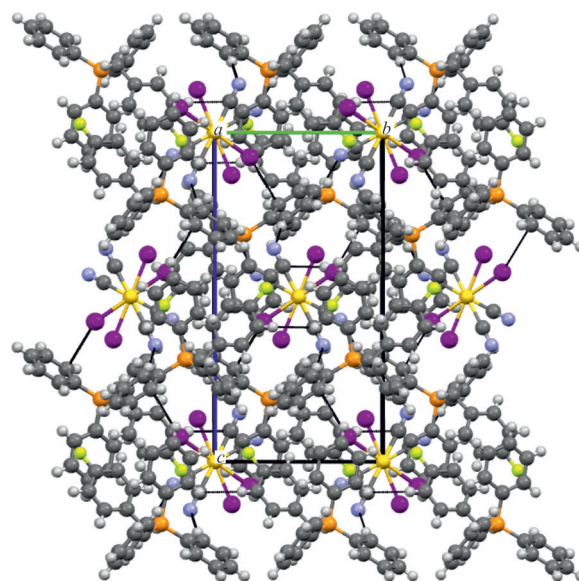


Рис. 4. Вид кристаллической решетки комплекса 3 вдоль оси *a*.

фосфония и дицианодигалогенаурата калия в воде, дицианодигалогенауратные анионы мономерны, кристаллические структуры формируются при участии слабых водородных связей между катионами и анионами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры записывали на ИК Фурье-спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S; образцы готовили таблетированием с KBr (область поглощения 4000–400 см⁻¹). Спектры ЯМР ¹H, ¹⁹F, ¹³C снимали в ДМСО-*d*₆ на приборе Bruker AVANCE II, используя в качестве внутреннего стандарта тетраметилсилан и CFCl₃. Элементный анализ проводили на анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108. Температуры плавления определяли на приборе SMP 30.

Рентгеноструктурный анализ кристаллов соединений 1–3 проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST Bruker (MoK_α-излучение, λ 0.71073 Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по програм-

мам SMART и SAINT-Plus [29]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [30] и OLEX2 [31]. Структуры соединений 1–3 определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для не водородных атомов.

Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур соединений 1–3 приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных [CCDC 1899757 (1), 1899749 (2) и 1899756 (3)].

Дихлордицианоурат (4-фторбензил)трифенилфосфония (1). Раствор хлорида (4-фторбензил)трифенилфосфония (0.250 г, 0.614 ммоль) в 10 мл воды смешивали с 8 мл водного раствора дихлордицианоурата калия (0.220 г, 0.614 ммоль). Растворитель декантировали через 24 ч, остаток кристаллизовали из смеси 3 мл ацетонитрила и 10 мл изопропилового спирта. Бесцветные кристаллы соединения 1 отфильтровывали и сушили на воздухе. Выход 0.338 г (80%), т. пл. 178°C. ИК

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в комплексах 1–3

Связь	Длина, Å	Угол	ω, град	Связь	Длина, Å	Угол	ω, град
1							
Au ¹ –Cl ¹	2.294(4)	Au ¹ Cl ¹ Au ^{1a}	180.0	P ¹ –C ²¹	1.803(4)	C ⁸ Au ² Cl ²	90.83(15)
Au ¹ –C ⁷	2.010(7)	C ⁷ Au ¹ Cl ^{1a}	89.48(17)	P ¹ –C ¹¹	1.797(5)	C ⁸ Au ² C ^{8b}	180.0
Au ² –Cl ²	2.307(3)	C ⁷ Au ¹ Cl ¹	90.52(17)	F ¹ –C ³⁴	1.367(5)	F ¹ C ³⁴ C ³³	118.5(4)
Au ² –C ⁸	2.011(5)	C ^{7a} Au ¹ C ⁷	180.0	N ¹ –C ⁷	1.135(7)	N ¹ C ⁷ Au ¹	179.5(6)
P ¹ –C ¹	1.800(4)	Cl ^{2b} Au ² Cl ²	180.0	N ² –C ⁸	1.121(5)	N ² C ⁸ Au ²	177.7(4)
P ¹ –C ³⁷	1.825(4)	C ⁸ Au ² Cl ^{2b}	89.17(15)				
Преобразования симметрии: ^a 1–x, –y, 1–z; ^b 2–x, 1–y, –z.							
2							
Au ¹ –Br ¹	2.413(3)	Br ¹ Au ¹ Br ^{1a}	179.999(1)	P ¹ –C ³⁷	1.809(4)	C ⁸ Au ² Br ²	90.69(16)
Au ¹ –C ⁷	2.009(4)	C ⁷ Au ¹ Br ¹	89.31(14)	P ¹ –C ¹	1.788(4)	C ⁸ Au ² Br ^{2b}	89.31(16)
Au ² –Br ²	2.401(3)	C ^{7a} Au ¹ Br ¹	90.69(14)	F ¹ –C ³⁴	1.354(5)	F ¹ C ³⁴ C ³³	118.3(4)
Au ² –C ⁸	2.005(6)	C ^{7a} Au ¹ C ⁷	180.0	N ¹ –C ⁷	1.073(5)	N ¹ C ⁷ Au ¹	178.1(4)
P ¹ –C ²¹	1.784(4)	Br ^{2b} Au ² Br ²	180.000(4)	N ² –C ⁸	1.099(7)	N ² C ⁸ Au ²	179.1(6)
Преобразования симметрии: ^a 2–x, 1–y, –z; ^b 1–x, –y, 1–z.							
3							
Au ¹ –I ¹	2.609(1)	I ¹ Au ¹ I ^{1a}	180.0	P ¹ –C ²¹	1.791(3)	C ⁸ Au ² I ²	88.71(11)
Au ¹ –C ⁷	2.004(3)	C ^{7a} Au ¹ I ¹	89.10(8)	P ¹ –C ¹	1.801(3)	C ⁸ Au ² I ^{2b}	91.29(11)
Au ² –I ²	2.626(1)	C ⁷ Au ¹ I ^{1a}	89.09(8)	P ¹ –C ³⁷	1.823(3)	C ^{8b} Au ² C ⁸	180.0(2)
Au ² –I ^{2b}	2.626(1)	C ⁷ Au ¹ I ¹	90.90(8)	F ¹ –C ³⁴	1.363(4)	N ⁹ C ⁷ Au ¹	179.3(3)
Au ² –C ⁸	2.006(4)	C ^{7a} Au ¹ C ⁷	180.00(16)	N ⁹ –C ⁷	1.131(4)	F ¹ C ³⁴ C ³³	119.0(3)
P ¹ –C ¹¹	1.800(3)	I ^{2b} Au ² I ²	180.0	N ¹⁰ –C ⁸	1.131(5)	N ¹⁰ C ⁸ Au ²	179.6(4)
Преобразования симметрии: ^a –x, 1–y, 1–z; ^b 1–x, 1–y, 1–z.							

спектр, ν , cm^{-1} : 3059, 2940, 2897, 2137, 1599, 1510, 1435, 1317, 1227, 1163, 1107, 997, 856, 827, 741, 718, 689, 633, 552, 509, 476, 446. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д.: 7.90 т (3H, Hⁿ, ³J 7.3 Гц), 7.74 т. д (6H, H^m, ³J 7.3, J_{HP} 3.3 Гц), 7.57 д. д (6H, H^o, J_{HP} 12.5, ³J 7.9 Гц), 6.98–6.94 м (4H, H^{o,m}, CH₂PhF-4), 4.71 д (2H, CH₂, J_{HP} 13.9 Гц). Спектр ЯМР ¹³C{¹H}, δ_{C} , м. д.: 163.0 д. д (C³⁴, J_{CF} 250.8, J_{CP} 4.0 Гц), 135.8 д (C⁴, C¹⁴, C²⁴, J_{CP} 3.4 Гц), 134.2 д (C³, C⁵, C¹³, C¹⁵, C²³, C²⁵, J_{CP} 9.7 Гц), 132.98 д. д (C³², C³⁶, J 8.3, J 5.3 Гц), 130.7 д (C², C⁶, C¹², C¹⁶, C²², C²⁶, J_{CP} 12.5 Гц), 122.0 д. д (C³³, C³⁵, J 8.3, J 3.4 Гц), 116.8 д (C¹, C¹¹, C²¹, J 86.2), 116.6 д ([Au(CN)₂Cl₂][–], J 3.2 Гц), 116.5 д ([Au(CN)₂Br₂][–], J 3.3 Гц), 104.5 (C³¹), 31.7 д (C³⁷, J_{CP} 74.3 Гц). Спектр ЯМР ³¹P{¹H}, δ_{P} , м. д.: 22.2 д (J 6.4 Гц). Найдено, %: C 46.78; H 3.11. C₂₇H₂₁AuCl₂FN₂P. Вычислено, %: C 46.87; H 3.04.

Соединения **2**, **3** синтезировали аналогично.

Дибромдицианоаурат (4-фторбензил)трифенилфосфония (2). Выход 83%, желтые кристаллы, т. пл. 174°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3061, 2949,

2911, 2166, 1601, 1585, 1510, 1483, 1437, 1404, 1339, 1319, 1227, 1192, 1159, 1138, 1109. 1018, 997, 843, 764, 748, 740, 718, 689, 554, 513, 492, 478, 441, 424. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д.: 7.96–7.88 м (3H, Hⁿ), 7.77 т. д (6H, H^m, J 7.8, J_{HP} 3.5 Гц), 7.72–7.64 м (6H, H^o), 7.14–7.08 м (2H, H^m, CH₂PhF-4), 7.04–6.97 м (2H, H^o, CH₂PhF-4), 5.16 д (2H, CH₂, J_{HP} 15.4 Гц). Спектр ЯМР ¹³C{¹H}, δ_{C} , м. д.: 162.4 д. д (C³⁴, J_{CF} 245.9, J_{CP} 4.3 Гц), 135.7 д (C⁴, C¹⁴, C²⁴, J_{CP} 3.0 Гц), 134.5 д (C³, C⁵, C¹³, C¹⁵, C²³, C²⁵, J_{CP} 9.8 Гц), 133.27 д.д (C³², C³⁶, J 8.4, J 5.3 Гц), 130.7 д (C², C⁶, C¹², C¹⁶, C²², C²⁶, J_{CP} 12.4 Гц), 124.5 д. д (C³³, C³⁵, J 8.4, J 3.1 Гц), 118.1 д (C¹, C¹¹, C²¹, J_{CP} 85.6 Гц), 116.4 д ([Au(CN)₂Br₂][–], J 3.2 Гц), 116.3 д ([Au(CN)₂Br₂][–], J 3.1 Гц), 110.0 (C³¹), 27.79 д (C³⁷, J_{CP} 47.3 Гц). Спектр ЯМР ¹⁹F{¹H}, δ_{F} , м. д.: –113.04÷–113.13 м. Найдено, %: C 41.37; H 2.74. C₂₇H₂₁AuBr₂FN₂P. Вычислено, %: C 41.53; H 2.69.

Диоддицианоаурат (4-фторбензил)трифенилфосфония (3). Выход 79%, красно-коричневые кристаллы, т. пл. 154°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} :

3053, 2955, 2940, 2160, 1508, 1485, 1435, 1406, 1221, 1157, 1109, 1088, 997, 841, 829, 716, 685, 509, 501, 444. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 7.93–7.87 м (3H, Hⁿ), 7.77–7.72 м (6H, H^m), 7.59–7.55 м (6H, H^o), 7.00–6.94 м (4H, H^{o,m} в CH₂PhF-4), 4.72 д (2H, CH₂, J_{HP} 13.9 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C { ^1H }, δ_{C} , м. д.: 163.02 д. д (C³⁴, J_{CF} 250.8, J_{CP} 4.4 Гц), 135.83 д (C⁴, C¹⁴, C²⁴, J_{CP} 3.2 Гц), 134.12 д (C³, C⁵, C¹³, C¹⁵, C²³, C²⁵, J_{CP} 9.5 Гц), 132.92 д. д (C³², C³⁶, J 8.3, J 5.4 Гц), 130.72 д (C², C⁶, C¹², C¹⁶, C²², C²⁶, J_{CP} 12.6 Гц), 122.00 д. д (C³³, C³⁵, J_{8.5}, J_{3.5} Гц), 116.78 д (C¹, C¹¹, C²¹, J_{CP} 86.1 Гц), 116.63 д ([Au(CN)₂I₂]⁻, J_{3.3} Гц), 116.48 д ([Au(CN)₂I₂]⁻, J_{2.5} Гц), 104.54 (C³¹), 30.65 д (C³⁷, J_{CP} 49.1 Гц). Спектр ЯМР ^{31}P { ^1H }, δ_{P} , м. д.: 22.17 д (J 6.3 Гц). Спектр ЯМР ^{19}F { ^1H }, δ_{F} , м. д.: -111.09÷-111.18 м. Найдено, %: C 36.95; H 2.38. C₂₇H₂₁AuFI₂N₂P. Вычислено, %: C 37.06; H 2.40.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарутин Владимир Викторович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2582-4893>.

Тарасова Наталья Михайловна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1272-9731>.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Xiaobo L., Patterson H. // *Materials*. 2013. Vol. 6. P. 2595. doi 10.3390/ma6072595
- Dechambenoit P., Ferlay S., Kyritsakas N., Hosseini M.W. // *Cryst. Eng. Commun.* 2011. Vol. 13. P. 1922. doi 10.1039/C0CE00607F
- Hill J.A., Thompson A.L., Goodwin A.L. // *J. Am. Chem. Soc.* 2018. Vol. 138. P. 5886. doi 10.1021/jacs.5b13446
- Assefaa Z., Haireb R.G., Sykorac R.E. // *J. Solid State Chem.* 2008. Vol. 181. P. 382. doi 10.1016/j.jssc.2007.11.036
- Brown M.L., Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2017. Vol. 46. P. 7169. doi 10.1039/C7DT00942A
- Chorazy S., Wyczesany M., Sieklucka B. // *Molecules*. 2017. Vol. 22. P. 1902. doi 10.3390/molecules22111902
- Shaw C.F. // *Chem. Rev.* 1999. Vol. 99. N 9. P. 2589. doi 10.1021/cr980431o
- Rawashdeh-Omary M.A., Omary M.A., Patterson H.H. // *J. Am. Chem. Soc.* 2000. Vol. 122. N 42. P. 10371. doi 10.1021/ja001545w
- Rawashdeh-Omary M.A., Omary M.A., Shankle G.E., Patterson H.H. // *J. Phys. Chem. (B)*. 2000. Vol. 104. N 26. P. 6143. doi 10.1021/jp000563x
- Colis J.C.F., Larochelle C., Fernandez E.J., López-de-Luzuriaga J.M., Monge M., Laguna A., Tripp C., Patterson H. // *J. Phys. Chem. (B)*. 2005. Vol. 109. N 10. P. 4317. doi 10.1021/jp045868g
- Assefaa Z., Kalachnikova K., Hairec R.G., Sykora R.E. // *J. Solid State Chem.* 2007. Vol. 180. P. 3121. doi 10.1016/j.jssc.2007.08.032
- Roberts R.J., Le D., Leznoff D.B. // *Inorg. Chem.* 2017. Vol. 56. N 14. P. 7948. doi 10.1021/acs.inorgchem.7b00735
- Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2011. Vol. 40. P. 4140. doi 10.1039/c0dt01772h
- Ovens J.S., Truong K.N., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2012. Vol. 41. P. 1345. doi 10.1039/c1dt11741f
- Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Chem. Mater.* 2015. Vol. 27. N 5. P. 1465. doi 10.1021/cm502998w
- Шарутин В.В., Шарутина О.К., Попкова М.А. // *ЖНХ*. 2019. Т. 64. № 6. С. 607; Sharutin V.V., Sharutina O.K., Popkova M.A. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. Vol. 64. 6. P. 729. doi 10.1134/S0036023619060147
- Шарутин В.В., Попкова Н.М., Тарасова Н.М. // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия*. 2018. Т. 10. № 1. С. 55; Sharutin V.V., Popkova N.M., Tarasova N.M. // *Bull. South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2018. Vol. 10. N 1. P. 55. doi 10.14529/chem180107
- Ovens J.S., Geisheimer A.R., Bokov A.A., Ye Z.-G., Leznoff D.B. // *Inorg. Chem.* 2010. Vol. 49. P. 9609. doi 10.1021/ic101357y
- Pitteri B., Bortoluzzi M., Bertolasi V. // *Transition Met. Chem.* 2008. Vol. 33. P. 649. doi 10.1007/s11243-008-9092-9
- Marangoni G., Pitteri B., Bertolasi V., Ferretti V., Gilli G. // *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1987. N 1. P. 2235. doi 10.1039/DT9870002235
- Ovens J.S., Truong K.N., Leznoff D.B. // *Inorg. Chim. Acta*. 2013. Vol. 403. P. 127. doi 10.1016/j.ica.2013.02.011
- Сенчурин В.В. // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия*. 2019. Т. 11. № 3. С. 50; Senchurin V.S. // *Bull. South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2019. Vol. 11. N 3. P. 50. doi 10.14529/chem190306
- Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Н.М., Ефремов А.Н. // *ЖНХ*. 2020. Т. 65. № 2. С. 171; Sharutin V.V., Sharutina O.K., Tarasova N.M., Efremov A.N.

- mov A.N.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. Vol. 65. N 2. P. 169. doi 10.1134/S0036023620020151
24. *Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К.* Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
25. *Jones L.* // Inorg. Chem. 1964. Vol. 3. N 11. P. 1581. doi 10.1021/ic50021a024
26. *Shorrock C.J., Jong H., Batchelor R.J., Leznoff D.B.* // Inorg. Chem. 2003. Vol. 42. P. 3917. doi 10.1021/ic034144
27. *Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E., Revés M., Echeverría J., Cremades E., Barragan F., Alvarez S.* // Dalton Trans. 2008. P. 2832. doi 10.1039/b801115j
28. *Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R., Cramer C.J., Truhlar D.G.* // J. Phys. Chem. (A). 2009. Vol. 113. P. 5806. doi 10.1021/jp8111556
29. Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
30. Bruker (1998). SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
31. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A. K., Puschmann H.* // J. Appl. Cryst. 2009. Vol. 42. P. 339. doi 10.1107/S0021889808042726

Synthesis and Structure of (4-Fluorobenzyl)triphenylphosphonium Dicyanodihaloaurates $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{F-4}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{Hlg}_2]$

V. V. Sharutin^{a,*}, O. K. Sharutina^a, N. M. Tarasova^a, and O. S. El'tsov^b

^aSouth Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080 Russia

^bUral Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, 20002 Russia

*e-mail: vvsharutin@rambler.ru

Received August 2, 2021; revised September 14, 2021; accepted September 18, 2021

(4-Fluorobenzyl)triphenylphosphonium dicyanodihaloaurates $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{F-4}][\text{Au}(\text{CN})_2\text{Hlg}_2]$, Hlg = Cl, Br, I, were synthesized from (4-fluorobenzyl)triphenylphosphonium chloride and potassium dicyanodihaloaurate in water. Structure of the compounds was characterized by IR, ^1H , ^{13}C $\{^1\text{H}\}$ and ^{19}F $\{^1\text{H}\}$ NMR spectroscopy, elemental analysis and X-ray structural analysis. According to X-ray diffraction data, complexes obtained contain tetrahedral (4-fluorobenzyl)triphenylphosphonium cations and two types of square centrosymmetric $[\text{Au}(\text{CN})_2\text{Hlg}_2]^-$ anions.

Keywords: potassium dicyanodihaloaurates, (4-fluorobenzyl)triphenylphosphonium chloride, (4-fluorobenzyl)triphenylphosphonium dicyanodihaloaurates