

УДК 546.26+547.288.3

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.5

СИНТЕЗ 2,4-ДИНИТРОФЕНИЛГИДРАЗОНА ФУЛЛЕРЕНА C₆₀

© З. С. Кинзябаева

Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450075 г. Уфа, пр. Октября, 141.

Тел.: +7 (347) 284 27 50.

Email: zefa5@rambler.ru

Впервые получен 2,4-динитрофенилгидразон фуллерена C₆₀ в реакции конденсации оксопиперазинового моноаддукта фуллерена с 2,4-динитрофенилгидразином. Полученное соединение охарактеризовано с использованием одно- и двумерной ЯМР ¹H, ¹³C (COSY, HSQC, HMBS), ИК, УФ-видимой спектроскопией. Получена фотометрическая форма 2,4-динитрофенилгидразона фуллерена C₆₀ в щелочной среде, которая образуется в результате изомеризации бензольного кольца в хиноидную форму и имеет максимумы поглощения при 230, 280 и 470 нм.

Ключевые слова: фуллерен C₆₀, 2,4-динитрофенилгидразин, арилгидразоны, реакции конденсации.

Введение

Гидразоны в силу специфики электронного и пространственного строения их молекул обладают многими ценными свойствами и многочисленными спектрами практического использования представителей этого класса органических соединений [1]. Среди представителей этой группы известны соединения, обладающие широким спектром физиологической активности, гербициды, инсектициды, фунгициды и регуляторы роста растений [2–6]. Гидразоны нашли применение в качестве инициаторов процессов радикальной полимеризации [7], ингибиторов коррозии [8], а также в нанотехнологии и супрамолекулярной химии в качестве молекулярных пинцетов, переключателей и сенсоров [9–11]. Арилгидразоны являются одними из лучших современных полупроводников р-типа, обладают высокой светочувствительностью, их несложно синтезировать и они имеют низкую стоимость [12–15]. В связи с этим они широко используются в качестве органических полупроводников в электрофотографии [12], запоминающих устройствах [13; 16], фотоэлектрических устройствах, органических светодиодах [17]. Поэтому синтез новых фенилгидразонов имеет важное теоретическое и практическое значение.

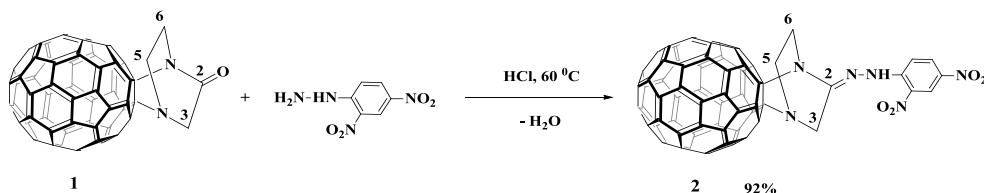
С другой стороны, благодаря своим удивительным физическим и химическим свойствам фуллерен C₆₀ и его производные широко применяются в медицине [18–20], а также при изготовлении различных материалов [21–22]. В научной литературе сведения о гидразонах фуллеренового ряда единичны [23–24].

В представленной работе впервые получен 2,4-динитрофенилгидразон фуллерена C₆₀ в реакции конденсации 2,4-динитрофенилгидразина (ДНФГ) с оксопиперазиновым аддуктом фуллерена C₆₀ **1**, который содержит важный строительный блок для получения новых соединений фуллерена C₆₀, перспективных в практическом применении в технике и медицине. Исходный оксопиперазиновый аддукт фуллерена C₆₀ **1** был впервые получен ранее в сонохимической реакции фуллерена C₆₀ с 2-оксопиперазином [25].

Результаты и их обсуждения

В основу этой работы положена реакция образования 2,4-динитрофенилгидразонов, которая широко используется в аналитической химии для идентификации и выделения карбонильных соединений [26]. Конденсацию реагента **1** с ДНФГ в толуоле проводили в присутствии минеральных кислот (соляная или полифосфорная кислота), при 60° С в течение 1 ч. Минеральные кислоты необходимы для активации карбонильной группы соединения **1**, т.е. являются катализаторами процесса. Применение уксусной кислоты как катализатора не дало желаемого результата. Продукт реакции 2,4-динитрофенилгидразон фуллерена C₆₀ **2** с выходом 92% был выделен из реакционного раствора колонной хроматографией (схема 1). Полученное соединение растворяется в ДМСО, ДМФА, СНСl₃, плохо растворяется в этаноле и не растворяется в воде. Для доказательства структуры полученного соединения применялся комплекс современных физико-химических методов: одно- и двумерная ЯМР ¹H, ¹³C (COSY, HSQC, HMBS), ИК, УФ спектроскопии.

Схема 1

Синтез 2,4-динитрофенилгидразона фуллерена C₆₀.

Состав полученного соединения подтвержден элементным анализом. Пиперазиновый фрагмент аддукта **2** проявляется в спектре ЯМР ^1H шестью мультиплетными сигналами метиленовых протонов. Анализ двумерных спектров (COSY, HSQC) показывает, что сигналы при δ 3.5 (*exo*-H3), 3.7 (*exo*-H5) и 4.1 (*exo*-H6) м.д. относятся к сигналам протонов в экзо-положении, а при δ 5.1 (*endo*-H3), 4.9 (*endo*-H5), 4.4 (*endo*-H6) м.д. к эндо-протонам. Спектр ЯМР ^{13}C содержит сигналы метиленовых групп при δ 65.6, 47.2, 41.3 м.д.; sp^3 -гибридизованные атомы углерода фуллереновой сферы резонируют при δ 79.5 и 84.6 м.д. В области δ 137 ÷ 160 м.д. зарегистрированы сигналы sp^2 -гибридизованных атомов фуллереновой сферы.

В экспериментах НМВС сигналы метиленовых протонов *exo*-H3 (δ 3.5 м.д.) и *endo*-H3 (δ 5.1 м.д.) коррелируют с атомом углерода группы C=N (δ 156.6 м.д.), а также с sp^3 -гибридизованным атомом углерода фуллеренового каркаса при δ 79.5 м.д. Кроме того, *exo*-H3 (δ 3.5 м.д.) коррелирует с атомом углерода метиленовой группы ^{13}C (δ 65.6 м.д.). Сигналы метиленовых протонов *endo*-H6 (δ 4.4 м.д.) и *exo*-H6 (δ 4.1 м.д.) коррелируют с

сигналом sp^3 -гибридизованного атома фуллеренового каркаса при 84.6 м.д. и с атомом углерода метиленовой группы ^{13}C при δ 47.2 м.д.

В ИК спектре гидразона **2** присутствуют полосы поглощения связей C=N (1568 см^{-1}), N–H (3265 см^{-1}), N–O (1515 и 1290 см^{-1}), а также C–C связей фуллеренового каркаса (526 и 1180 см^{-1}).

УФ спектр гидразона **2** содержит максимумы при 256, 318, 404 и 432 нм. Максимум при 432 нм характерен для моно-циклоаддуктов C_{60} , аннелированных по закрытой 6.6-связи (рис. 1, I) [27–31].

При добавлении к раствору соединения **2** в хлороформе 20%-го раствора NaOH в метаноле коричневый раствор мгновенно меняется на бордовый вследствие образования аци-соли **4** (схема 2).

Фотометрическая форма соединения **4** образуется в результате изомеризации бензольного кольца в хиноидную форму (3→4, схема 2) [32–33] и имеет три максимума при 230, 280 и 470 нм (рис. 1, II). Калориметрический метод с ДНФГ применяют в аналитической химии для идентификации карбонильных соединений с концентрацией до 10^{-6} моль/л [26].

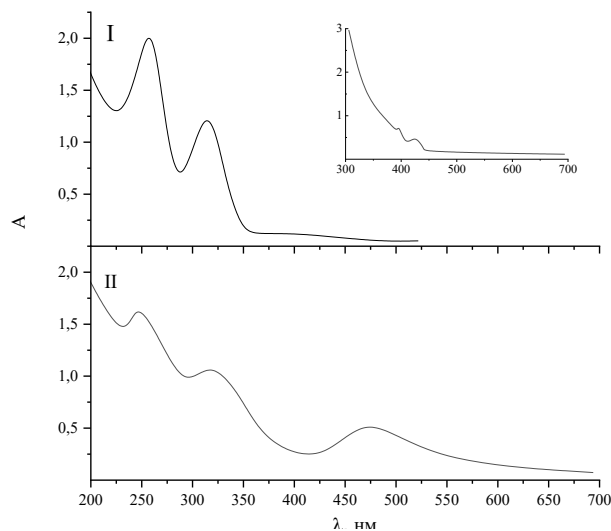
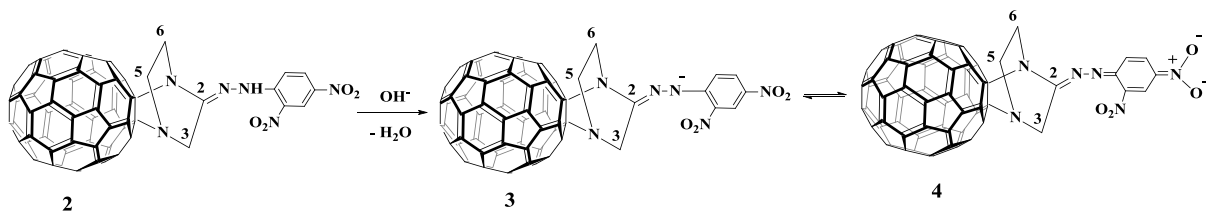


Рис. 1. Спектры поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях растворов: I – соединения **1** ($l=1\text{ см}$, CHCl_3 , $3 \cdot 10^{-3}$ моль/литр), на вставке более подробно показана область спектра 300÷700 нм; II – соединения **4** ($l=1\text{ см}$, $\text{CHCl}_3:\text{MeOH} = 2:1$, $1 \cdot 10^{-3}$ моль/литр).

Схема 2



Экспериментальная часть

В работе использовали фуллерен C_{60} (99.9%) (ООО «НеоТехПродукт», Санкт-Петербург). 2-оксопиперазин (97%), 2,2-динитрофенилгидразин (97%), фирмы Sigma-Aldrich; толуол, метанол, хлороформ, ДМФА марки «хч» фирмы «АО Реахим Лтд.» использовали без очистки. Соединение **1** получали по методике, описанной в [25].

Продукты реакции анализировали с использованием ВЭЖХ-хроматографа Altex (модель 330, США) с УФ-детектором ($\lambda_{\text{макс.}} = 340$ нм), колонкой Вискургер Waters 4,6×250 мм при 30 °С (подвижная фаза представляла собой толуол, скорость потока составляла 1.0 мл/мин). Продукт реакции выделяли колоночной хроматографией (силикагель 60 А°, 70-230 меш, 63-200 $\mu\text{м}$, элюент – толуол:гексан = 4:1). УФ-видимые спектры регистрировали в CHCl_3 и $\text{CHCl}_3:\text{MeOH} = 2:1$ ($l = 1$ и 0.1 см) на спектрометре Perkin Elmer Lambda 750. ИК спектры записывали в CHCl_3 на спектрометре Vertex 70V (Bruker). Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C регистрировали с использованием спектрометра Bruker Avance-400 (с рабочими частотами 400.13 МГц для ^1H и 100.62 МГц для ^{13}C ; $\text{CDCl}_3 + \text{CS}_2$ (3:1) использовали в качестве растворителя и Me_4Si в качестве внутреннего стандарта). Элементный анализ выполнен на С, Н, N анализаторе EURO EA-3000.

Синтез гидразона фуллерена C_{60} (**2**).

К 10 мл раствора соединения **1** (30 мг, 0.036 ммоль) в толуоле приливали 2 мл раствора 2,4-динитрофенилгидразина (22 мг, 0.111 ммоль) в ДМФА и 0.5 мл конц. HCl , перемешивали 1 ч при 60 °С. Реакцию контролировали методом ВЭЖХ. Далее растворитель упаривали, и смесь подвергали колоночной хроматографии на силикагеле с использованием в качестве элюента смеси гексан:толуол = 1:4 (объемное соотношение). Далее у полученного элюата удаляли растворитель в вакууме и получали темно-коричневый порошок соединения **2**. Выход **2** 32.6 мг (92%).

Гидразон фуллерена C_{60} **2.** Коричневый порошок, т.пл. >300 °С. ЯМР ^1H (400 МГц, $\text{CDCl}_3+\text{CS}_2$): δ (м.д.) 3.5 (м, $\text{H}_{3\text{exo}}$), 3.7 (м, $\text{H}_{5\text{exo}}$), 4.1 (м, $\text{H}_{6\text{exo}}$), 4.4 (м, $\text{H}_{6\text{endo}}$), 4.9 (м, $\text{H}_{5\text{endo}}$), 5.1 (м, $\text{H}_{3\text{endo}}$), 7.7 (с, Ph), 8.2 (д, Ph), 8.3 (д, Ph), 9.1 (с, N-H); ЯМР ^{13}C (100 МГц, $\text{CDCl}_3+\text{CS}_2$): δ (м.д.) 41.3 (CH_2), 47.2 (CH_2), 65.6 (CH_2), 79.5 ($\text{sp}^3\text{-C}$), 84.6 ($\text{sp}^3\text{-C}$), 123.9 (Ph), 126.1 (Ph), 128.7 (Ph), 136.2 (Ph), 137.29, 140.12, 141.27, 142.07, 142.42, 142.85, 142.91, 143.11, 144.87, 145.47, 145.53, 145.89, 146.28, 146.63, 147.8 (Ph), 148.18, 148.6 (Ph), 151.91, 156.6; УФ: λ (нм) 256, 318, 404, 432; ИК спектр: 526, 1020–1089, 1180, 1295, 1385, 1517, 1568, 2851, 2925, 3265; Найдено, %: С 84.22; Н 1.10; N 8.50; О 6.18. $\text{C}_{70}\text{H}_{10}\text{N}_6\text{O}_4$. Вычислено, %: С 84.17; Н 1.01; N 8.41; О 6.41.

Выводы

Таким образом, впервые получен 2,4-динитрофенилгидразон фуллерена C_{60} , основанный на реакции конденсации оксопиперазинового аддукта фуллерена C_{60} с 2,4-динитрофенилгидразином в кислой среде. Полученное соединение растворяется в ДМСО, ДМФА, CHCl_3 , плохо растворяется в этаноле и не растворяется в воде. Получена фотометрическая форма соединения **2** в щелочной среде, которая образуется в результате изомеризации бензольного кольца в хиноидную форму и имеет максимумы поглощения при 230, 280 и 470 нм.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института нефтехимии и катализа УФИЦ РАН (тема №АААА-А19-119022290005-5), при финансовой поддержке РФФИ (проект №19-03-00716 А).

Структурные исследования проведены в Региональном Центре коллективного пользования «Азидель» УФИЦ РАН. Элементный анализ проведен в УФИХ УФИЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев Ю. П., Бузыкин Б. И. Гидразоны. М.: Наука, 1974. С. 415.
2. Suvarapu L. N., Seo Y. K., Baek S. O., Ammirreddy V. R. Review on Analytical and Biological applications of Hydrazones and their Metal Complexes // E-J. Chem. 2012. Vol. 9. Pp. 1288–1304.
3. Rollas S., Küçükgülmez Ş. G. Biological Activities of Hydrazone Derivatives // Molecules. 2007. Vol. 12. Pp. 1910–1939.
4. Wardakhan W. W., Samir E. M. New approaches for the synthesis of hydrazone derivatives and their antitumor evaluation // J. Chil. Chem. Soc. 2012. Vol. 57. Pp. 1118–1121.
5. Shakkofa M. M. E., Shtaiwia M. H., Morsy N., Abdel-rassel T. M. A. Metal complexes of hydrazones and their biological, analytical and catalytic applications: A review // Main Group Chem. 2014. Vol. 13. Pp. 187–218.
6. Verma G., Marella A., Shaquiquzzaman M., Akhtar M., Ali M. R., Alam M. M. A review exploring biological activities of hydrazones // J. Pharm. Bioallied Sci. 2014. Vol. 6(2). Pp. 69–80.
7. Wolf R. A., Warakomski J. M., Staples T. L., Fazio M. J. Hydrazone initiators for vinyl polymerizations // J. Polymer. Sci. A-1: Polymer. Chem. 2001. Vol. 39. Pp. 1391–1402.
8. Moussa M. N. H., El-Far A. A., El-Shafei A. A. The use of water-soluble hydrazones as inhibitors for the corrosion of C-steel in acidic medium // Mater. Chem. Phys. 2007. Vol. 105. Pp. 105–113.
9. Su X., Lessing T., Aprahamian I. The importance of the rotor in hydrazone-based molecular switches // Beilst. J. Org. Chem. 2012. Vol. 8. Pp. 872–876.
10. Ray D., Foy J. T., Hughes R. P., Aprahamian I. A switching cascade of hydrazone-based rotary switches through coordination-coupled proton relays // Nat. Chem. 2012. Vol. 4. Pp. 757–762.
11. Ulrich S., Petitjean A., Lehn J.-M. Metallo-Controlled Dynamic Molecular Tweezers: Design, Synthesis, and Self-Assembly by Metal-Ion Coordination // Eur. J. Inorg. Chem. 2010. Vol. 2010. Pp. 1913–1928.
12. Weiss D. S., Abkowitz M. Advances in organic photoconductor technology // Chem. Rev. 2010. Vol. 110. Pp. 479–526.
13. Lygaitis R., Getautis V., Grazulevicius J. V. Hole-transporting hydrazones // Chem. Soc. Rev. 2008. Vol. 37. Pp. 770–88.
14. Getautis V., Grazulevicius J. V., Daskeviciene M., Malinauskas T., Jankunaite D., Gaidelis V., Jankauskas V., Sidaravicius J., Tokarski Z. Novel hydrazone based polymers as hole transporting materials // Polymer. 2005. Vol. 46. Pp. 7918–7922.
15. Getautis V., Grazulevicius J. V., Malinauskas T., Jankauskas V., Tokarski Z., Jubran N. Novel families of hole-

- transporting monomers and polymers // Chem. Lett. 2004. Vol. 33(10). Pp. 1336–1337.
16. Hwang J., Moon H., Seo J., Park S. Y., Aoyama T., Wada T., Sasabe H. Synthesis and characterization of photoconducting nonlinear optical polymers containing indole-benzoxazole moiety // Polymer. 2001. Vol. 42. Pp. 3023–3031.
 17. Quirino W. G., Legnani C., Cremona M., Reyes R., Mota G. V., Weibel D. E., M. L. M. Rocco. Photoluminescence, photoabsorption and photoemission studies of hydrazone thin film used as hole transporting material in OLEDs // Braz. J. Phys. 2008. Vol. 19. Pp. 872–876.
 18. Bosi S., Da Ros T., Spalluto G., Prato M. Fullerene derivatives: an attractive tool for biological applications // Eur. J. Med. Chem. 2003. Vol. 38. Pp. 913–923.
 19. Da Ros T., Prato M. Medicinal chemistry with fullerenes and fullerene derivatives // Chem. Commun. 1999. Vol. 1. Pp. 663–669.
 20. Satoh M., Takayanagi I. Pharmacological studies on fullerene (C₆₀), a novel carbon allotrope, and its derivatives // J. Pharmacol Sci. 2006. Vol. 100. Pp. 513–518.
 21. Li Y., Mao Z., Xu J., Yang J., Guo Z., Zhu D., Li J., Yin B. Preparation of a novel stable nitroxide based on [60]fulleropyrrolidine and its magnetic properties // Chem. Phys. Lett. 1997. Vol. 265. Pp. 361–364.
 22. Lu B., Zhang J., Li J., Yao J., Wang M., Zou Y., Zhu S. Synthesis, electrochemistry, and photophysical properties of pyrazolino[60]fullerene-1,8-naphthalimide fluorescent derivatives // Tetrahedron. 2012. Vol. 68. Pp. 8924–8930.
 23. Umikaite S., Malinauskas T., Gaidelis V., Maldzius R., Jankauskas V., Getautis V. Solution processable C₆₀ fullerene-hydrazone dyads for optoelectronics // Carbon. 2011. Vol. 49. Pp. 320–325.
 24. Кинзябаева З. С., Булгаков Р. Г. Синтез бис[9-(гидрокси)-1-{N-гидрокси-2-[(2,4-динитрофенил)-гидразинилиден]алканимидоил}]-1,9-дигидро[C₆₀-I_h][5,6]фуллеренов // ЖОрХ. 2017. Т. 53. С. 120–123.
 25. Kinzyabaeva Z. S., Dmitriev A. M., Sabirov D. Sh. A sonochemical synthesis of the piperazine-containing adducts of the C₆₀ fullerene // Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostruct. 2021. Vol. 29. Pp. 601–607.
 26. Мазор Л. Методы органического анализа. М.: Мир, 1986. С. 584. [Mazor L. Methods of Organic Analysis (Comprehensive Analytical Chemistry). Eds G.Svehla, L.Mázor. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1983. P. 528].
 27. Isaacs L., Wehrsig A., Diederich F. Improved Purification of C₆₀ and Formation of σ - and π -Homoaromatic Methano-Bridged Fullerenes by Reaction with Alkyl Diazoacetates // Helv. Chim. Acta. 1993. Vol. 76. Pp. 1231–1250.
 28. Rubin Y., Khan S., Freedberg D. I., Yeretian, C. Synthesis and X-Ray Structure of a Diels–Alder Adduct of C₆₀ // J. Am. Chem. Soc. 1993. Vol. 115. Pp. 344–345.
 29. Elemen Y., Silverman S. K., Sheu C., Kao M., Foote C.S., Alvarez M. M., Whetten R. L. Reaction of C₆₀ with Dimethyldioxirane—Formation of an Epoxide and a 1,3-Dioxolane Derivative // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1992. Vol. 31. Pp. 351–353.
 30. Kinzyabaeva Z. S., Sharipov G. L. A Selective Synthesis of the Fullerene-Fused Dioxane Adduct via Heterogeneous Reaction of C₆₀ with α -Diols and NaOH under Ultrasonication // Ultrason. Sonochem. 2018. Vol. 42. Pp. 119–123.
 31. Kinzyabaeva Z. S., Sabirov D. Sh. Sonochemical Synthesis of Novel C₆₀ Fullerene 1,4-Oxathiane Derivative through the Intermediate Fullerene Radical Anion // Ultrason. Sonochem. 2020. Vol. 67. Pp. 105169.
 32. Lappin G., Clark L. Colorimetric Method for Determination of Traces of Carbonyl Compounds // Anal. Chem. 1951. Vol. 23. Pp. 541–542.
 33. Коренман И. М. Методы определения органических соединений. М.: Химия, 1975. С. 362.

Поступила в редакцию 30.07.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.5

SYNTHESIS OF 2,4-DINITROPHENYLHYDRAZONE FULLERENE C₆₀

© Z. S. Kinzyabaeva

*Institute of Petrochemistry and Catalysis, Russian Academy of Sciences
141 Oktyabrya Avenue, 450075 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.**Phone: +7 (347) 284 27 50.**Email: zefa5@rambler.ru*

In the present work, 2,4-dinitrophenylhydrazone of fullerene C₆₀ was obtained in the condensation reaction of the oxopiperazine monoadduct of fullerene C₆₀ with 2,4-dinitrophenylhydrazine for the first time. The initial oxopiperazine adduct of C₆₀ fullerene was previously obtained in the sonochemical reaction of C₆₀ fullerene with 2-oxopiperazine. The condensation reaction of the oxopiperazine adduct of fullerene C₆₀ with 2,4-dinitrophenylhydrazine in toluene was carried out in the presence of mineral acids (hydrochloric or polyphosphoric acid) at 60° C during 1 hour. Mineral acids are required for the activation of the carbonyl group of the oxopiperazine monoadduct of C₆₀ fullerene, i.e. they are process catalysts. The use of acetic acid as a catalyst did not provide the desired result. The reaction product 2,4-dinitrophenylhydrazone of fullerene C₆₀ with a yield of 92% was isolated from the reaction solution by column chromatography. The resulting compound is soluble in DMSO, DMF, CHCl₃, poorly soluble in ethanol and insoluble in water. The resulting compound was characterized using one- and two-dimensional NMR ¹H, ¹³C (COZY, HSQC, HMBBC), IR, UV-visible spectroscopy. The composition of the obtained compound was confirmed by elemental analysis. A photometric form of 2,4-dinitrophenylhydrazone of fullerene C₆₀ was obtained in an alkaline medium, which is formed as a result of isomerization of the benzene ring to the quinoid form and has absorption maxima at 230, 280 and 470 nm. The calorimetric method with 2,4-dinitrophenylhydrazine is used in analytical chemistry to identify carbonyl compounds with a concentration of up to 10⁻⁶ mol/L.

Keywords: fullerene C₆₀, 2,4-dinitrophenylhydrazine, arylhydrazones, condensation reactions.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Kitaev Yu. P., Buzykin B. I. *Gidrazony [Hydrazones]*. Moscow: Nauka, 1974. Pp. 415.
2. Suvarapu L. N., Seo Y. K., Baek S. O., Ammireddy V. R. *E-J. Chem.* 2012. Vol. 9. Pp. 1288–1304.
3. Rollas S., Küçükgül Ş. G. *Molecules.* 2007. Vol. 12. Pp. 1910–1939.
4. Wardakhan W. W., Samir E. M. *J. Chil. Chem. Soc.* 2012. Vol. 57. Pp. 1118–1121.
5. Shakhofa M. M. E., Shtaiwia M. H., Morsy N., Abdel-rassel T. M. A. *Main Group Chem.* 2014. Vol. 13. Pp. 187–218.
6. Verma G., Marella A. J. *Pharm. Bioallied Sci.* 2014. Vol. 6(2). Pp. 69–80.
7. Wolf R. A., Warakowski J. M., Staples T. L., Fazio M. J. *J. Polymer. Sci. A-1: Polymer. Chem.* 2001. Vol. 39. Pp. 1391–1402.
8. Moussa M. N. H., El-Far A. A., El-Shafei A. A. *Mater. Chem. Phys.* 2007. Vol. 105. Pp. 105–113.
9. Su X., Lessing T., Aprahamian I. *Beilst. J. Org. Chem.* 2012. Vol. 8. Pp. 872–876.
10. Ray D., Foy J. T., Hughes R. P., Aprahamian I. *Nat. Chem.* 2012. Vol. 4. Pp. 757–762.
11. Ulrich S., Petitjean A., Lehn J.-M. *Eur. J. Inorg. Chem.* 2010. Vol. 2010. Pp. 1913–1928.
12. Weiss D. S., Abkowitz M. *Chem. Rev.* 2010. Vol. 110. Pp. 479–526.
13. Lygaitis R., Getautis V., Grazulevicius J. V. *Chem. Soc. Rev.* 2008. Vol. 37. Pp. 770–88.
14. Getautis V., Grazulevicius J. V., Daskeviciene M., Malinauskas T., Jankunaite D., Gaidelis V., Jankauskas V., Sidaravicius J., Tokarski Z. *Polymer.* 2005. Vol. 46. Pp. 7918–7922.
15. Getautis V., Grazulevicius J. V., Malinauskas T., Jankauskas V., Tokarski Z., Jubran N. *Chem. Lett.* 2004. Vol. 33(10). Pp. 1336–1337.
16. Hwang J., Moon H., Seo J., Park S. Y., Aoyama T., Wada T., Sasabe H. *Polymer.* 2001. Vol. 42. Pp. 3023–3031.
17. Quirino W. G., Legnani C., Cremona M., Reyes R., Mota G. V., Weibel D. E., M. L. M. Rocco. *Photoluminescence, photoabsorption and photoemission studies of hydrazone thin film used as hole transporting material in OLEDs.* *Braz. J. Phys.* 2008. Vol. 19. Pp. 872–876.
18. Bosi S., Da Ros T., Spalluto G., Prato M. *Eur. J. Med. Chem.* 2003. Vol. 38. Pp. 913–923.
19. Da Ros, T., Prato M. *Chem. Commun.* 1999. Vol. 1. Pp. 663–669.
20. Satoh M., Takayanagi I. *J. Pharmacol. Sci.* 2006. Vol. 100. Pp. 513–518.
21. Li Y., Mao Z., Xu J., Yang J., Guo Z., Zhu D., Li J., Yin B. *Chem. Phys. Lett.* 1997. Vol. 265. Pp. 361–364.

22. Lu B., Zhang J., Li J., Yao J., Wang M., Zou Y., Zhu S. *Tetrahedron*. 2012. Vol. 68. Pp. 8924–8930.
23. Urnikaite S., Malinauskas T., Gaidelis V., Maldzius R., Jankauskas V., Getautis V. *Carbon*. 2011. Vol. 49. Pp. 320–325.
24. Kinzyabaeva Z. S., Bulgakov R. G. *ZhOrKh*. 2017. Vol. 53. Pp. 120–123.
25. Kinzyabaeva Z. S., Dmitriev A. M., Sabirov D. Sh. *Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostruct.* 2021. Vol. 29. Pp. 601–607.
26. Mazor L. *Metody organicheskogo analiza*. Moscow: Mir, 1986. Pp. 584. [Mazor L. *Methods of Organic Analysis (Comprehensive Analytical Chemistry)*. Eds G.Svehla, L.Mázor. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1983. Pp. 528].
27. Isaacs L., Wehrsig A., Diederich F. *Helv. Chim. Acta*. 1993. Vol. 76. Pp. 1231–1250.
28. Rubin Y., Khan S., Freedberg D. I., Yeretziyan, C. J. *Am. Chem. Soc.* 1993. Vol. 115. Pp. 344–345.
29. Elemen Y., Silverman S. K., Sheu C., Kao M., Foote C.S., Alvarez M. M., Whetten R. L. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 1992. Vol. 31. Pp. 351–353.
30. Kinzyabaeva Z. S., Sharipov G. L. *Ultrason. Sonochem.* 2018. Vol. 42. Pp. 119–123.
31. Kinzyabaeva Z. S., Sabirov D. Sh. *Ultrason. Sonochem.* 2020. Vol. 67. Pp. 105169.
32. Lappin G., Clark L. *Anal. Chem.* 1951. Vol. 23. Pp. 541–542.
33. Korenman I. M. *Metody opredeleniya organicheskikh soedinenii [Methods for the determination of organic compounds]*. Moscow: Khimiya, 1975. Pp. 362.

Received 30.07.2021.