

А. Н. Ванчиков, М. С. Бобылева, Е. Е. Комиссарова,
Н. С. Куликов, Т. П. Толстая

НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В КАТИОНАХ ДИБЕНЗ[*b,d*]ИОДОЛИЯ И 11,12-ДИГИДРО-10Н-ДИБЕНЗ[*b,g*]ИОДОЦИНИЯ

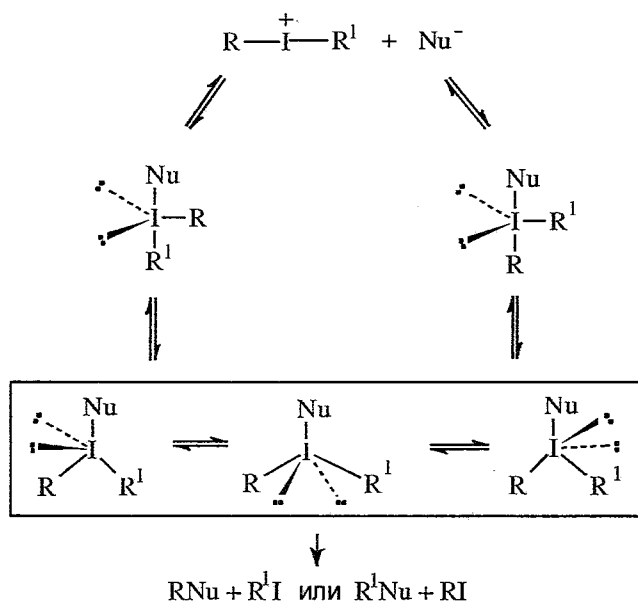
Тетрафтороборат дибенз[*b,d*]иодолия с ионами NO_2^- , Br^- и N_3^- наряду с соответствующим продуктом нуклеофильного замещения — 2-нитро-, 2-бром- или 2-азидо-2'-иоддифенилом образует дифенил, 2-иоддифенил и 2,2'-дииоддифенил (одноэлектронное восстановление), в то время как тетрафтороборат 11,12-дигидро-10Н-дибенз[*b,g*]иодоциния со всеми тремя нуклеофилами реагирует по механизму нуклеофильного замещения с образованием в каждом случае единственного продукта — 1-(2-нитрофенил)-, 1-(2-бромфенил)- или 1-(2-азидофенил)-3-(2-иодфенил)пропана.

Химия ароматических иодониевых соединений, открытых более века тому назад [1], до настоящего времени не исчерпала себя и продолжает интенсивно развиваться [2—5]. Главным свойством этих соединений, часто используемым в синтетической практике [6], является их высокая активность по отношению к нуклеофилам, с которыми они в зависимости от условий и природы реагентов могут реагировать как по ионному (S_N), так и по радикальному пути, т. е. по пути одноэлектронного восстановления [5], протекающего через 9-И-2-интермедиат* [7, 8], с последующим его распадом на арилиодид и ароматический радикал, подвергающийся затем обычным превращениям. В одной и той же реакции часто наблюдается конкуренция обоих этих направлений [4—6]. Механизм ионных реакций диарилиодониевых солей с нуклеофилами неоднократно обсуждался (подробный анализ литературы по этому вопросу см. в [9]). Большинство исследователей склоняется в пользу механизма $\text{S}_\text{N}\text{Ar}$ [4, 5], поскольку электроноакцепторные заместители активируют диарилиодониевый катион по отношению к нуклеофилам, а электронодонорные — дезактивируют его. Однако в рамках этого механизма не удается объяснить некоторые экспериментальные факты, в частности так называемый *орто*-эффект, проявляющийся в том, что нуклеофилы предпочитают атаковать *орто*-замещенный лиганд, даже если *орто*-заместитель — электронодонорная группа.

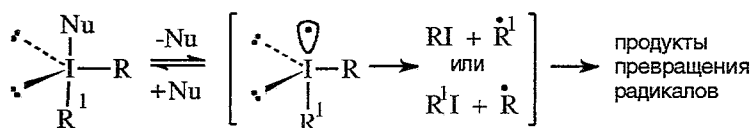
В 1981 г. был предложен механизм реакции иодониевых солей с нуклеофилами [10], с позиций которого можно объяснить многие особенности их взаимодействия. Авторы указанной работы предположили, что при первоначальной атаке нуклеофила по иониевому атому иода образуются «гипервалентные» интермедиаты 10-И-3, представляющие собой Т-образные комплексы иода(III) [5], в которых, как и в иодониевых солях, угол между ароматическими лигандами близок 90° , а нуклеофил обычно располагается против наиболее объемистого заместителя. В этих комплексах может происходить выброс иодарена [10], подобно восстановительному элиминированию его из молекул триарилиода [6]. Если представить себе, что две неподеленные пары электронов иода играют роль заместителей (фантом-лиганды), то Т-образную структуру комплекса 10-И-3 можно рассматривать как тригонально-бипирамидальную [5]. В такой структуре апикально-экваториальные взаимодействия запрещены по симметрии [11].

* Здесь и далее первая цифра означает число электронов на внешней электронной оболочке центрального атома комплекса (в данном случае иода), вторая — число связанных с ним лигандов.

В растворе соединения иода(III) стереохимически нежесткие [12]. Следовательно, и комплексы 10-I-3 в растворе могут пермутировать подобно соединениям пятикоординационного фосфора, испытывая так называемое «турникетное» вращение и переходя при этом через структуру тетрагональной пирамиды, где атом иода и все три его заместителя также лежат в одной плоскости, но не в виде буквы Т, а в виде почти симметричной трехлучевой звезды. В такой конфигурации взаимодействие любых двух из трех заместителей, связанных с иодом, уже разрешено по симметрии [11]. При этом в несимметричных 10-I-3 интермедиатах нуклеофил преимущественно связывается с тем из двух лигандов иода, при отщеплении которого энергия переходного состояния ниже. Это может быть более электронодефицитный лиганд, удаление которого уменьшает положительный заряд на атоме иода, или, что гораздо важнее, более объемистый, уход которого приводит к снижению стерического напряжения в основании тетрагональной пирамиды комплекса 10-I-3.



Если же пермутация интермедиата 10-I-3 по какой-либо причине затруднена, то процесс образования продуктов нуклеофильного замещения нарушится и реакция пойдет по пути гомолитического распада комплекса 10-I-3 через стадию интермедиата 9-I-2.

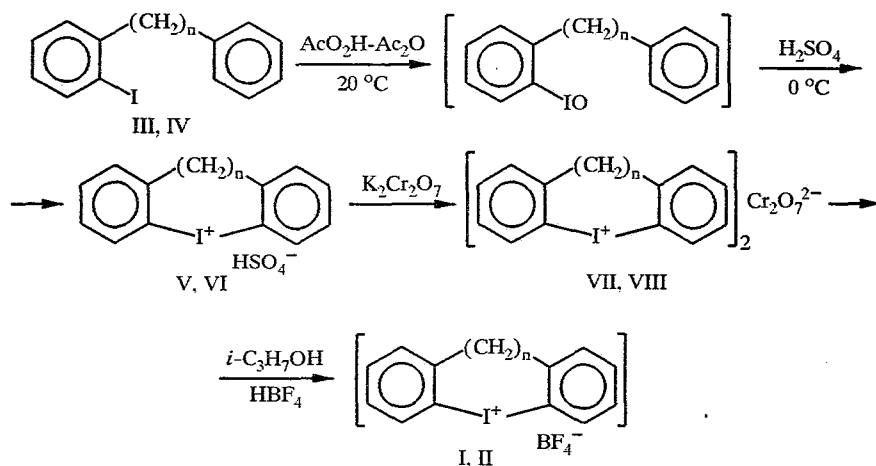


Мы предположили, что, связав ароматические радикалы иодониевой соли углеродным мостиком, можно будет затруднить пермутацию интермедиата 10-I-3. При этом чем меньше длина мостика, тем в большей степени должен проявиться эффект затруднения пермутации и, следовательно, доля продуктов радикального происхождения (по сравнению с продуктами нуклеофильного замещения) будет больше.

С целью проверки этого предположения (а значит, и предложенного в работе [10] механизма реакции) мы синтезировали две циклические иодониевые соли: тетрафтороборат дибенз[*b,d*]иодолия (I) с жестко

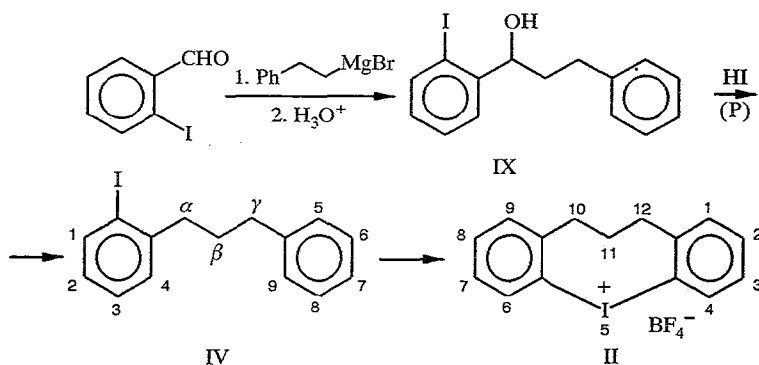
закрепленным в пятичленном цикле атомом иода (мостик наименьшей длины) и тетрафтороборат 11,12-дигидро-10Н-дибенз[*b,g*]иодиция (II), атом иода которого включен в неплоский подвижный восьмичленный цикл, и провели сравнительное исследование реакций этих солей с нуклеофилами (ионами NO_2^- , Br^- и N_3^-).

Окислительной циклизацией 2-иодпроизводных соответствующих би-ядерных аренов III и IV по методу, описанному в работе [13], мы получили гидросульфаты обоих иодониевых катионов (V и VI). Замену аниона гидросульфата на тетрафтороборат осуществили новым для иониевых солей методом, заключающимся в восстановлении предварительно осажденных плохо растворимых в воде бихроматов VII, VIII спиртом (лучше изопропиловым) в присутствии стехиометрического количества соответствующей кислоты, в данном случае HBF_4 .



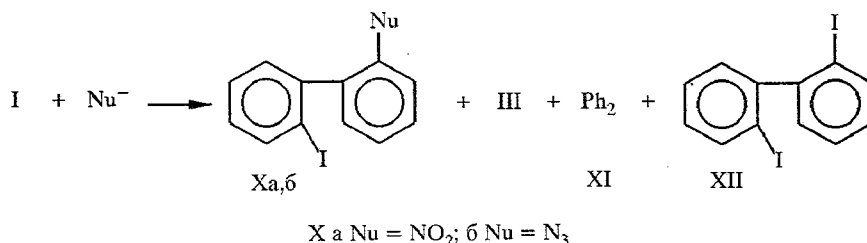
Используемые в этом методе реагенты дешевы и доступны, проведение реакций и выделение продуктов также не вызывают затруднений. Однако, хотя обе реакции могут протекать с количественным выходом, оптимизацию условий их проведения и выделения целевых соединений мы не проводили, поэтому выход соли II сравнительно невысок.

2-Иодифенил (III), предшественник соли V, синтезирован по описанным методикам. Для получения 1-(2-иодфенил)-3-фенилпропана (IV) — предшественника соли VI, впервые описанной в 1956 г. [13], мы предлагаем более короткий и удобный метод синтеза, который состоит во взаимодействии β -фенилэтилмагнийбромида с 2-иодбензальдегидом и последующем восстановлении образовавшегося карбинола IX иодистоводородной кислотой в присутствии красного фосфора. Строение соединений II и IV подтверждено спектрами ПМР (нумерация протонов дана на схеме).



Реакции солей I и II с нуклеофилами проводили в стандартных условиях — при нагревании растворов иодониевых солей в ДМСО или в смеси ДМСО—вода (2 : 1) с 10 эквивалентами NaBr, NaNO₂ или NaN₃ при 100...140 °С и заканчивали хромато-масс-спектрометрическим анализом реакционных смесей.

С ионами NO₂⁻ и N₃⁻ соль I реагирует с образованием многокомпонентных смесей, содержащих наряду с продуктом S_N-реакции (Ха,б) ряд веществ — 2-иоддифенил (III), дифенил (XI), 2,2'-дииоддифенил (XII) — явно радикального происхождения. С ионом Br⁻ катион соли I при 120...140 °С в ДМСО—H₂O не реагирует в течение 30 ч, однако при описанном в работе [14] термическом разложении бромиди дибенз [b,d]иодолия наряду с 2-бром-2'-иоддифенилом (Xв) (выход 76%) образуются иоддифенил III (1%), дииоддифенил XII (14%), 2-бромдифенил (1%) и 2,2'-дибромдифенил (10%) — продукты радикального происхождения.



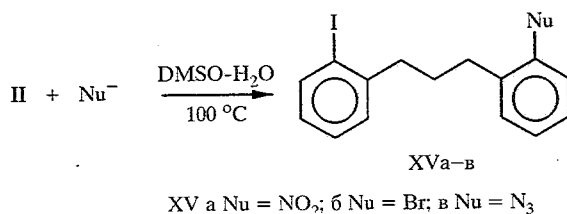
Т а б л и ц а 1

Условия и продукты реакции соли I с нуклеофилами
в водном ДМСО (100 °С) и выходы продуктов

Nu	Время реакции, ч	Продукты реакции, выход в % (по данным ГЖХ)			
		Ха,б	III	XI	XII
NO ₂ ⁻	4	26,5	22,5	9,0	42,5
N ₃ ^{-*}	3	55,0	8,0	—	15,0

* В смеси содержатся 2-азидодифенил (XIII, 18%) и 2-амино-2'-иоддифенил (XIV, 4%).

Реакции соли II с нуклеофилами в каждом случае приводят с высоким выходом лишь к одному соединению XVa—в — продукту нуклеофильного замещения.



Т а б л и ц а 2

Условия и продукты реакции соли II с нуклеофилами в водном ДМСО

Nu	Условия реакции		Продукты реакции (XV), выход, %
	T, °C	время, ч	
NO ₂ ⁻	100	1,5	88 (а)
Br ^{-*}	120...140	11,5	87 (б)
N ₃ ⁻	100	0,75	колич. (в)

* в ДМСО.

Вещества, приведенные в табл. 1 и 2, охарактеризованы масс-спектрами. Соединения III и XI идентифицированы по их масс-спектрам с использованием банка данных Национального института стандартов США. Строение остальных соединений хорошо согласуется с характерной фрагментацией их молекулярных ионов (табл. 3).

Таблица 3

Масс-спектрометрические данные соединений Ха—ХVб

Соединение	m/z ($I_{\text{отн}}$, %)
Ха	325(11) $[M]^+$; 198(100) $[M-I]^+$; 168(35) $[198-NO]^+$; 152(31) $[198-NO_2]^+$; 139(22) $[168-CHO]^+$
Хб	293(100) $[M-N_2]^+$; 166(83) $[293-I]^+$; 139(33) $[166-HCN]^+$
ХII	406(87) $[M]^+$; 279(100) $[M-I]^+$; 152(90) $[279-I]^+$; 151(50) $[152-H]^+$; 150(31) $[151-H]^+$; 139,5(58) $[M-I]^+$; 76(83) $[C_6H_4]^+$
ХIII	167(100) $[M-N_2]^+$; 166(34) $[167-H]^+$; 140(12) $[167-HCN]^+$; 139(18) $[140-H]^+$
ХIV	295(47) $[M]^+$; 168(100) $[M-I]^+$; 167(73) $[M-HI]^+$; 140(7) $[167-HCN]^+$; 139(16) $[140-H]^+$
ХVa	367(23) $[M]^+$; 231(36) $[M-C_6H_4(NO_2)CH_2]^+$; 222(61) $[M-I-H_2O]^+$; 217(86) $[C_7H_6I]^+$; 194(14) $[222-CO]^+$; 118(100) $[C_9H_{10}]^+$; 104(43) $[231-I]^+$; 103(21) $[104-H]^+$; 91(86) $[C_7H_7]^+$; 90(70) $[C_7H_6]^+$
ХVб	400*(14) $[M]^+$; 273*(1) $[M-I]^+$; 231(19) $[M-C_6H_4(Br)CH_2]^+$; 217(12) $[C_7H_6I]^+$; 196*(11) $[M-C_6H_4I-H]^+$; 195*(13) $[196-H]^+$; 183*(7) $[M-C_6H_4(I)CH_2]^+$; 169*(15) $[M-C_6H_4(I)CH_2CH_2]^+$; 117(22) $[C_9H_9]^+$; 104(38) $[231-I]^+$; 91(100) $[C_7H_7]^+$
ХVв	335(19) $[M-N_2]^+$; 217(13) $[C_7H_6I]^+$; 208(51) $[335-I]^+$; 132(77) $[335-C_6H_4I]^+$; 118(100) $[C_9H_{10}]^+$; 91(85) $[C_7H_7]^+$

* Ионы, содержащие ⁷⁹Br.

Таким образом, восьмичленный цикл, содержащий иодониевый атом, как оказалось, достаточно велик, чтобы не препятствовать пермутационным процессам в гипервалентном интермедиате 10-I-3, подобным тем, которые претерпевают аналогичные интермедиаты в реакциях нециклических диарилиодониевых солей. В интермедиате 10-I-3, атом иода которого входит в состав пятичленного цикла, пермутация затруднена, о чем свидетельствуют понижение выходов продуктов нуклеофильного замещения Ха,б (табл. 1) по сравнению с выходами аналогичных веществ ХVa—в (табл. 2), а также появление соединений III, XI, XII явно радикального происхождения.

Приводимые в литературе сведения относятся главным образом к термолizu галогенидов циклических иодониевых солей и хорошо согласуются с полученными нами данными. Так, в отличие от термолiza бромидов и хлоридов дифенилиодония, протекающего с количественным образованием иод- и бром- или хлорбензолов [15], термолiz тех же галогенидов дибенз[*b,d*]иодолия, протекающий с раскрытием иониевого цикла, дает только 75% 2-галоген-2'-иоддифенилов и около 25% смеси всех возможных 2-моно- и 2,2'-дигалогендифенилов [14, 16]. При термолize хлорида дибенз[*b,e*]иодиния с иониевым атомом в шестичленном цикле выход 2-хлор-2'-иоддифенилметана составляет уже 93% [14]. Наконец, термическое разложение бромидов 4,2'-иодоний-3-фенил-1,2-бензизоксазола, содержащего иониевый атом иода в почти плоском шестичленном цикле очень жесткой гетероциклической системы [17], протекает практически нацело по радикальному пути с образованием всех возможных изомеров 4-галоген-3-(2-галогенфенил)-1,2-бензизоксазолов [18]. Помимо термолiza галогенидов описано раскрытие цикла в шестичленном катионе дибенз[*b,e*]иодиния под действием нитрит-аниона, приводящее к 2-иод-2'-нитродифенилметану и продуктам радикальных реакций — 1-иодфлуорену и 2-иоддифенилметану [19].

Полученные в настоящей работе результаты подтверждают справедливость предложенного В. А. Будылиным и соавторами механизма реакции иодониевых солей с нуклеофилами [10]. Этот механизм недавно получил свое подтверждение в несколько ином аспекте при анализе результатов взаимодействия арил-В-карборанилодониевых солей с нуклеофилами [9].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры образцов в пленке записаны на приборе UR-20. Спектры ПМР измерены на приборах Varian XL-400 и Bruker WP-200SY. ГЖХ анализ проводился на приборе Биохром-1 с пламенно-ионизационным детектором и стеклянной капиллярной колонкой (50 м×0,22 мм, жидкая фаза ХЕ-60). Температурная программа 100...190 °С, 16 °/мин. Внутренний стандарт — хлорбензол. Хромато-масс-спектрометрический анализ проводили на приборе Finnigan MAT 212S с системой обработки данных Labkom 2. Капиллярная колонка (30 м×0,25 мм, жидкая фаза OV-101). Энергия ионизирующих электронов 80 эВ. Температура ионизационной камеры 250...280 °С. Температурная программа 40 (5 мин)...260 °С, 12 °/мин. Скорость сканирования масс-спектров 1 сек/декада.

β -Фенилэтилбромид получен из β -фенилэтилового спирта по методике работы [20], 2-иодбензальдегид — из 2-иодтолуола [21].

1-(2-Иодфенил)-3-фенилпропан (IV). Раствор β -фенилэтилмагнийбромида, полученный из 5 г (0,21 моль) магния и 18,85 г (0,1 моль) β -фенилэтилбромида в 250 мл абсолютного эфира в присутствии 6 мл (0,04 моль) 1,2-дибромэтана (реакция с сопровождением), обрабатывают 11 мл 1,2-дибромэтана в 35 мл абсолютного эфира для удаления непрореагировавшего магния и после 1,5 ч кипячения к реактиву Гриньяра добавляют при 0 °С раствор 15,77 г (0,07 моль) 2-иодбензальдегида в 50 мл абсолютного эфира, кипятят смесь 30 мин, оставляют на 12 ч и разлагают избытком 30% АсОН. После обычной обработки полученный карбинол IX (ИК спектр: 3700...3100 (ν_{OH}); 1500 (ν_{Ar}); 700 cm^{-1} (o -замещенный арен)) без дальнейшей очистки растворяют в 27 мл ледяной АсОН, добавляют к раствору 12,77 г красного фосфора, 8,2 г иода, 40 мл конц. HI и кипятят смесь 11 ч (контроль ТСХ). Еще теплую реакционную смесь фильтруют, разбавляют вдвое водой, отделяют выделившееся масло, водный слой экстрагируют бензолом (3×50 мл). Бензольные вытяжки, объединенные с маслообразным веществом, промывают до обесцвечивания раствором $NaHSO_3$, затем водой и высушивают $MgSO_4$. Маслообразный остаток после удаления бензола перегоняют в вакууме. Получают 17,42 г (76%) 1-(2-иодфенил)-3-фенилпропана (IV). $T_{кип}$ 125...140 °С (1,5...2·10⁻² мм рт. ст.). По данным [13], $T_{кип}$ 210 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ПМР (CD_2Cl_2/CCl_4 , 4:1): 7,74 (1H, м, 1-H); 7,28...7,06 (7H, м, 2-, 3-, 5-, 9-H); 6,84...6,76 (1H, м, 4-H); 1,96...1,84 (2H, м, β -H); 2,78...2,64 м. д. (4H, м, α - и α' -H).

Тетрафтороборат 11,12-дигидро-10H-дибенз[*b,g*]иодоциния (III). К 95 мл 30% надуксусной кислоты добавляют по каплям раствор 16,09 г (0,05 моль) иодарена IV в 30 мл As_2O и оставляют на 12 ч при 20 °С. Затем к раствору образовавшегося 1-(2-иодозофенил)-3-фенилпропана при 0 °С медленно при перемешивании добавляют по каплям 28 мл конц. H_2SO_4 ; смесь выдерживают при 20 °С до исчезновения исходного иодарена (контроль ТСХ). Полученный раствор гидросульфата 11,12-дигидро-10H-дибенз[*b,g*]иодоциния (VI) вносят при охлаждении льдом и перемешивании в 0,5 л насыщенного раствора $K_2Cr_2O_7$. Выпавший бихромат 11,12-дигидро-10H-дибенз[*b,g*]иодоциния (VIII) промывают ледяной водой, смесью эфира с *n*-гептаном (1:3), растворяют без дальнейшей очистки в смеси 77,5 мл 40% водной HBF_4 и 100 мл пропанола-2 и кипятят 1 ч. Основную массу растворителей отгоняют, выпавший осадок соли промывают минимальным количеством воды для удаления солей Cr(III), перекристаллизуют из воды и пересаждают эфиром из нитрометана. Выход тетрафторобората 11,12-дигидро-10H-дибенз[*b,g*]иодоциния (III) 8,75 г (44%, считая на иодарен IV). $T_{пл}$ 221...222 °С. Найдено, %: C 44,04; H 3,66. $C_{15}H_{14}BF_4$. Вычислено, %: C 44,16; H 3,46. Спектр ПМР (ацетон- D_6): 8,5...8,3 (2H, д, 4- и 6-H); 7,7...7,5 (4H, м, 2-, 3-, 7-, 8-H); 7,4...7,2 (2H, м, 1- и 9-H); 3,7...3,4 (4H, м, 10- и 12-H); 3,3...3,1 м. д. (2H, м, 11-H).

Бихромат дибенз[*b,d*]иодолия (VII). Горячий раствор 9,4 г (25 ммоль) гидросульфата дибенз[*b,d*]иодолия V* в 0,5 л воды добавляют при перемешивании к 0,2 л насыщенного раствора

* Получен по схеме: дифенил → 2-нитродифенил [22] → 2-аминодифенил (по аналогии с [23]) → 2-иоддифенил [24] → V [13].

$K_2Cr_2O_7$. Образовавшийся желтый осадок соли промывают водой, смесью ацетон—эфир (1 : 2), эфиром и высушивают. Выход бихромата VII 9,5 г (98%). $T_{разл}$ 210 °С. Найдено, %: С 37,05; Н 2,25; Cr 13,15. $C_{24}H_{16}Cr_2O_7$. Вычислено, %: С 37,24; Н 2,08; Cr 13,43.

Тетрафтороборат дибенз[*b,d*]иодолия (I). Смесь 9 г (12 ммоль) соли VII, 25 мл 40% водной HBF_4 и 50 мл пропанола-2 кипятят 1 ч. Выпавшую после упаривания растворителей соль I отфильтровывают, промывают водой. Фильтрат и промывные воды разбавляют втрое водой и экстрагируют оставшуюся в растворе соль I смесью нитрометан—хлороформ (3 : 1). Растворители упаривают в вакууме досуха. Всю полученную соль I переосаждают эфиром из нитрометана. Выход 8,17 г (96%). $T_{пл}$ 247...249 °С. Найдено, %: С 39,54; Н 2,18. $C_{12}H_8BF_4I$. Вычислено, %: С 39,39; Н 2,20.

Реакция соли I с $NaNO_2$. Раствор 0,2 г (0,55 ммоль) соли I и 0,4 г (5,7 ммоль) $NaNO_2$ в смеси 2 мл ДМСО и 1 мл воды кипятят 4 ч до полного разложения иодониевой соли, разбавляют его втрое водой и экстрагируют эфиром (4×20 мл). Эфирный раствор промывают водой, высушивают $CaCl_2$. По данным ГЖХ, он содержит дифенил (XI, 9%), 2-иоддифенил (III, 26%), а также 2,2'-дииоддифенил (XII, 40%) и 2-нитро-2'-иоддифенил (Ха, 21%).

Реакция соли I с NaN_3 . Смесь 0,2 г (0,55 ммоль) соли I, 0,35 г (5,4 ммоль) NaN_3 , 3 мл ДМСО и 1,5 мл воды кипятят 3 ч до полного разложения соли иодония и обрабатывают, как описано в предыдущем опыте. Остаток после удаления эфира растворяют в смеси бензол—петролейный эфир (1 : 1), раствор пропускают через слой силикагеля диаметром 2 см и высотой 1,5 см (при этом ни один продукт реакции на силикагеле необратимо не сорбируется), элюат концентрируют до объема ~10 мл. По данным ГЖХ, он содержит 2-азидо-2'-иоддифенил (Хб, 55%), 2-азидодифенил (XIII, 18%), 2-амино-2'-иоддифенил (XIV, 4%), а также соединения III (8%) и XII (15%), масс-спектры которых идентичны измеренным в предыдущем опыте.

Реакция соли II с $NaNO_2$. Раствор 1 г (2,45 ммоль) соли II и 1,8 г (26 ммоль) $NaNO_2$ в смеси 18 мл ДМСО и 9 мл воды кипятят 1,5 ч до полного разложения соли иодония и обрабатывают как при реакции соли I с $NaNO_2$. Остаток после удаления эфира из экстракта хроматографируют на колонке (2×25 см) с силикагелем 40/100 в системе бензол—гептан (1 : 1). Получают 0,79 г (88%) 1-(2-иодфенил)-3-(2-нитрофенил)пропана (XVa), n_D^{20} 1,6220 (при этом никаких других веществ не обнаружено).

Реакция соли II с $NaBr$. Смесь 0,2 г (0,49 ммоль) соли II и 0,5 г (4,9 ммоль) $NaBr$ в 7 мл ДМСО нагревают при 120...140 °С до полного разложения иодониевой соли (11,5 ч) и обрабатывают реакционную смесь, как описано выше. Получают 0,17 г (86%) 1-(2-бромфенил)-3-(2-иодфенил)пропана (XVб) с $T_{пл}$ 68...71 °С.

Реакция соли II с NaN_3 . Раствор 0,2 г (0,49 ммоль) соли II и 0,32 г (4,9 ммоль) NaN_3 в смеси 3 мл ДМСО и 1 мл воды кипятят 45 мин до полного разложения соли II и обрабатывают реакционную смесь, как описано выше. Эфирный экстракт содержит единственный продукт — 1-(2-иодфенил)-3-(2-азидофенил)пропан (XVв).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hartmann C., Meyer V. // Ber. — 1894. — Bd 27. — S. 426.
2. Sandin R. B. // Chem. Rev. — 1943. — Vol. 32. — P. 249.
3. Banks D. F. // Chem. Rev. — 1966. — Vol. 66. — P. 243.
4. Olah G. A. Halonium Ions. — New York: Wiley Intersci., 1975. — 190 p.
5. Koser G. F. // Chemistry of Functional Groups. Suppl. D. — Chichester: Wiley Intersci., 1983. — Ch. 25. — P. 1265.
6. Moriarty R. M., Vaid R. K. // Synthesis. — 1990. — N 6. — P. 431.
7. Perkins C. W., Martin J. C., Arduengo A. J., Lau W., Alegria A., Kochi J. K. // J. Amer. Chem. Soc. — 1980. — Vol. 102. — P. 7753.
8. Tanner D. D., Reed D. W., Setiloane B. P. // J. Amer. Chem. Soc. — 1982. — Vol. 104. — P. 3917.
9. Grushin V. V., Demkina I. I., Tolstaya T. P. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. II. — 1992. — N 3. — P. 505.
10. Будылин В. А., Ермоленко М. С., Чугмай Ф. А., Кост А. Н. // ХГС. — 1981. — № 11. — С. 1494.
11. Hoffman R., Howell J. M., Muetterties E. L. // J. Amer. Chem. Soc. — 1972. — Vol. 94. — P. 3047.
12. Reich H. J., Cooperman C. S. // J. Amer. Chem. Soc. — 1973. — Vol. 95. — P. 5077.

13. Collette J., McGreer D., Crawford R., Chubb F., Sandin R. B. // J. Amer. Chem. Soc. — 1956. — Vol. 78. — P. 3819.
14. Sato T., Shimizu K., Moriya H. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. — 1974. — N 13. — P. 1537.
15. Yamada Y., Kashima K., Okawara M. // Bull. Chem. Soc. Jpn. — 1974. — Vol. 47. — P. 3179.
16. Sato T., Shimada S., Shimizu K., Hata K. // Bull. Chem. Soc. Jpn. — 1970. — Vol. 43. — P. 1918.
17. Бацанов А. С., Петров В. Н., Стручков Ю. Т., Егорова Л. Д., Лисичкина И. Н., Толстая Т. П. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1985. — № 10. — С. 2309.
18. Толстая Т. П., Егорова Л. Д., Лисичкина И. Н. // ХГС. — 1985. — № 4. — С. 474.
19. Егорова Л. Д., Лисичкина И. Н., Толстая Т. П., Костицына Н. Н. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1985. — № 6. — С. 1347.
20. Slotka K. H., Altner W. // Ber. — 1931. — Bd 64. — S. 1510.
21. Анжиал С. Дж. // Органические реакции / Под ред. Адамса Р. — М.: ИЛ, 1956. — Сб. 8. — С. 263.
22. Bell F., Kenyon J., Robinson P. H. // J. Chem. Soc. — 1926. — N 6. — P. 1239.
23. Byung Hae Han, Dae Hyun Shin, Sung Yun Cho // Tetrah. Lett. — 1985. — Vol. 26. — P. 6233.
24. Gilman H., Kirby J. E., Kinney C. R. // J. Amer. Chem. Soc. — 1929. — Vol. 51. — P. 2252.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова, Москва 119899

Поступило в редакцию 01.04.97
После переработки 12.02.98