

УДК 541.67+544.163.2

UDC 541.67+544.163.2

О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ ГРУПП $As=N$ И $P=N$

ABOUT COMPARATIVE POLARITY OF $As=N$ AND $P=N$ GROUPS

Халитов Фарит Гусманович
д.х.н., профессор

Khalitov Farit Gysmanovich
Dr.Sci.Chem., professor

Кулагина Людмила Георгиевна
к.х.н., доцент

Kulagina Ludmila Georgievna
Cand.Chem.Sci., associate professor

Халитов Карим Фаритович

Khalitov Karim Faritovich

Кокорев Геннадий Иванович
д.х.н., старший научный сотрудник
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Kokorev Gennadii Ivanovich
Dr.Sci.Chem., senior researcher
Kazan State Power University, Kazan, Russia

Методом дипольных моментов изучены соединения ряда $(p-X-C_6H_4)_3As=N-C_6H_4-Y$. Векторно-статистическим методом анализа дипольных моментов определены направления и величины моментов групп $(C_{ap})_3As=N-C_{ap}$, $(C_{ap})_3As=N$ и $N-C_{ap}$. Показано, что замена пара заместителей X и Y при ароматических группах не приводит к дополнительным взаимодействиям, влияющим на электронные свойства группы $(C_{ap})_3As=N-C_{ap}$. Сравнительный анализ моментов групп $(C_{ap})_3\Xi=N-C_{ap}$ ($\Xi=P, As$) указывает на существенное смещение электронной плотности к $C_{ap}(N)$ при замене атома P на As

By the method of the dipole moments the connections of $(p-XC_6H_4)_3As=N-C_6H_4-Y$ series have been examined. The method of the vector-statistical analysis of the dipole moments helped to define the ranges and directions of the moments of $(C_{ap})_3As=N-C_{ap}$, $(C_{ap})_3As=N$ and $N-C_{ap}$ series. There has been shown that the substitution of the para-assistants X and Y in aromatic groups doesn't lead to an additional interaction influencing the electronic properties of the $(C_{ap})_3As=N-C_{ap}$ group. The comparative analysis of the $(C_{ap})_3\Xi=N-C_{ap}$ ($\Xi=P, As$) group moments specifies the essential shift of the electron density to $C_{ap}(N)$ when replacing atom P to As

Ключевые слова: ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДИПОЛЬНЫХ МОМЕНТОВ ГРУПП И СВЯЗЕЙ, АРОМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ, ПАРА-ЗАМЕСТИТЕЛИ, ВЕКТОРНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ПОЛЯРНОСТЬ ГРУПП, СМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛАКА

Keywords: RANGES AND DIRECTIONS OF DIPOLE MOMENTS OF GROUPS AND CONNECTIONS, AROMATIC GROUPS, PARA-ASSISTANTS, THE VECTOR GRAPHIC ANALYSIS, POLARITY OF GROUPS, DISPLACEMENT OF AN ELECTRON CLOUD

Число публикаций, посвященных триариларсазоаренам с $As=N$ -связями, ограничиваются несколькими работами. В [1] методом рентгеноструктурного анализа изучено соединение $o-CH_3C_6H_4N=As(C_6H_5)_3$. Показано, что плоскость бензольного кольца при атоме N совпадает с плоскостью $As=N-C_{ap}$ ($\sim 6^\circ$), а ортозаместитель CH_3 ориентирован в дис-положении относительно неподеленной электронной пары (НЭП) атома N .

В [2,3] проведен анализ ИК-спектров триариларсазоаренов с различными заместителями при фенильных кольцах. Определены частоты колебаний группы $AsNC_{ap}$, которые проявляются в диапазоне 890-900 и

1290-1310 см^{-1} соответственно. В колебании с частотой $\sim 900\text{см}^{-1}$ преимущественно проявляется связь $As=N$, а в колебании при $\sim 1310\text{см}^{-1}$ - связь $N-C_{\text{ар}}$.

В [4] приведены частоты колебаний ИК- и КР-спектров соединений (трифенилфосфазо- и трифениларсазонедил)аминоциклотриазена со связями $P=N$ и $As=N$. В [5] методом магнитного кругового дихроизма показано, что заместители $N^-As^+(C_6H_5)_3$ и $N^-P^+(C_6H_5)_3$ в этих соединениях действуют как сильные доноры.

Для фосфазосоединений, в отличие от арсазопроизводных, имеется довольно большая информация, описанная в обзорах и монографиях [6-8]. Из этих данных можно резюмировать, что для фосфазосоединений характерны следующие особенности: группа $P=N$ является полярной и обладает высокой лабильностью; электронное влияние групп R при атоме P и R' при атоме N противоположно по знаку и носит конкурентный характер; замена заместителей R при атоме фосфора оказывают слабое влияние на электронные свойства фосфазогруппы. Отмечено малое влияние заместителя Y в N -ароматическом кольце на свойства фосфазогруппы.

Дипольные моменты (ДМ) молекул и связей есть непосредственная количественная мера асимметрии распределения электронного облака относительно ядерного остова. Поэтому влияние заместителей на полярность каких-либо связей или групп атомов в определенных рядах есть прямая характеристика проявляемых ими различных эффектов.

С целью изучения влияния заместителей на полярности связей $As=N$ и групп $(C_{\text{ар}})_3As=N$, а также сопоставления с аналогичными производными фосфора в данной работе методом дипольных моментов исследованы соединения $(p-XC_6H_4)_3As=NC_6H_4Y-p$, где $X=H$, $Y=H$ (I); $X=H$,

$Y=CH_3$ (II); $X=H, Y=Cl$ (III); $X=H, Y=Br$ (IV); $X=H, Y=NO_2$ (V); $X=Cl, Y=H$ (VI); $X=Cl, Y=CH_3$ (VII); $X=Cl, Y=Cl$ (VIII).

Синтез соединений I – VIII описан в работе [2]. Экспериментальные дипольные моменты определены по второму методу Дебая [9] при 298 К. Измерения диэлектрических проницаемостей и показателей преломления растворов проводили на приборе «ИДМ» [10] и рефрактометре «ИРФ - 23». Коэффициенты концентрационных зависимостей измеряемых свойств приведены в таблице 1.

Таблица 1-Коэффициенты уравнений для расчета экспериментальных ДМ

соединение	α	γ	$P_{ор}, \text{см}^3$	$\mu_{эксп}, \text{Д}$
1	2	3	4	5
I	16.154	0.713	647.870	5.60
II	7.280	0.093	569.795	5.26
III	20.170	0.674	895.680	6.59
IV	18.670	0.690	901.457	6.61
V	18.333	0.003	1501.140	8.53
VI	6.357	0.475	311.750	3.89
VII	3.570	0.470	284.251	3.70
VIII	5.633	0.470	516.100	5.00

В таблице 1 приведены следующие параметры: $P_{ор}$ – ориентационная поляризация; α и γ представляют собой линейную зависимость диэлектрической проницаемости ϵ и квадрата показателя преломления n^2 от весовой доли растворенного вещества соответственно (находятся графически); $m_{эксп}$ - экспериментальный дипольный момент.

Определение ДМ отдельных групп и связей проводилось векторным графическим анализом пара-замещенных триариларсазоаренов [11,12]. Молекулярные ДМ соединений (I-VIII) представляют собой сумму векторов ДМ группы $p-YS_6H_4N = AS$ и трех моментов групп $[(AS-C_{ар})+(C_{ар}-X)]$ (рис.1). Три пара-замещенных фенильных кольца у атома As в

рассматриваемых соединениях расположены симметрично относительно оси $As=N$ (углы $C_{ар}AsC_{ар} \approx 111.8^\circ$ [1]), поэтому вклад в молекулярный ДМ дают только продольные составляющие ДМ связей $As-C_{ар}$ и $X-C_{ар}$. Составляющие $m(X-C_{ар})$ и $m(As-C_{ар})$, перпендикулярные оси $As=N$, компенсируют друг друга. Поэтому молекулы $(p-X-C_6H_4)_3As=NC_6H_4-Y-p$ можно представить как структуру, которая расположена в одной плоскости (рис.1).

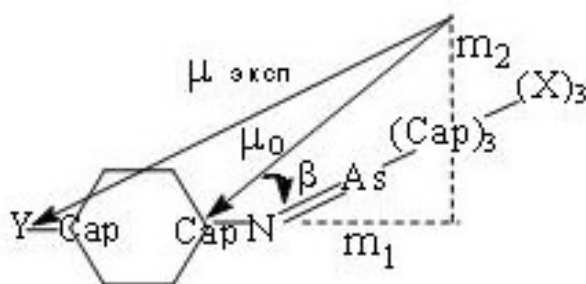


Рис.1. Графическое нахождение величин и направлений векторов ДМ фрагмента μ_0 для молекул $(p-X-C_6H_4)_3As=NC_6H_4-Y-p$.

При фиксированных ДМ $m(X-C_{ар})$ при атоме мышьяка, экспериментальные ДМ ($\mu_{эксп}$), есть векторные суммы ДМ группы $(p-X-C_6H_4)_3As=NC_{ар}$ (μ_0) и ДМ связей $C_{ар}-Y$. Из точек соответствующих ДМ связей $C_{ар}-Y = m_y$ [11,12] проведены окружности радиусами, равными значениям молекулярных ДМ (рис.2).

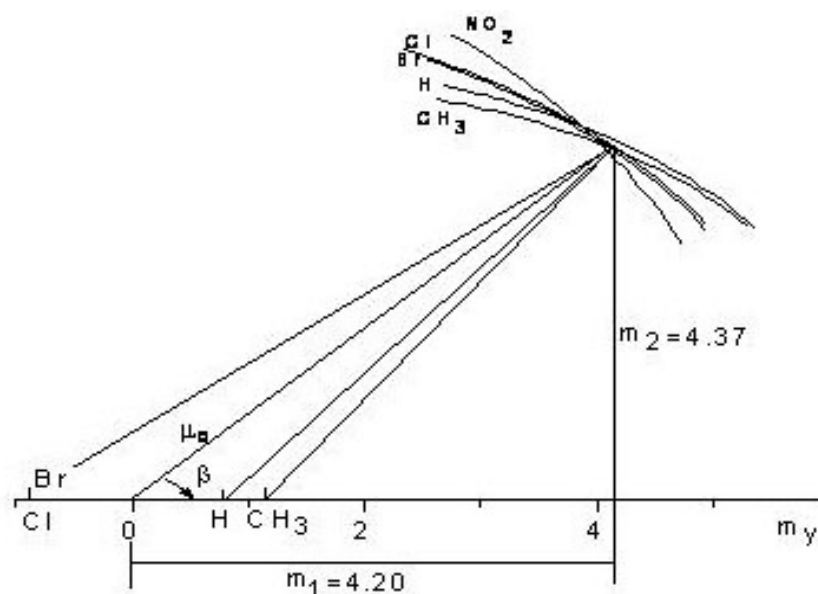


Рис.2. Графический анализ ДМ пара-замещенных соединений (I-V).

При постоянном значении μ_0 для всех рассматриваемых соединений с паразаместителем X , изменения $\mu_{\text{эксн}}$ определяются известными ДМ связей $C_{\text{ар}}-Y$ [11,12]. Эту задачу можно решить графически. Из рисунков 1 и 2 для соединений ряда (I-V) рассчитаны составляющие группы $Ph_3As=N-C_{\text{ар}}$ вдоль (m_1) и перпендикулярно (m_2) оси $N-C_{\text{ар}}$: равные 4.20 и 4.37 Д соответственно. Групповой момент $Ph_3As=N-C_{\text{ар}}$ равен $\mu_0 = 6.06$ Д и ориентирован под углом $\beta = 46.1^\circ$ к оси $N-C_{\text{ар}}$. Из графика (рис.2) можно определить направление составляющей m_1 : диполь m_1 направлен от атома N к $C_{\text{ар}}$. Величина составляющей m_2 определяется лишь проекцией ДМ группы $Ph_3As=N$. Знание составляющей m_2 при известных валентных углах $AsNC_{\text{ар}}$ и $C_{\text{ар}}AsN$, равных ~ 123.7 и 111.8° соответственно [1], позволяет вычислить момент группы $m(Ph_3AsN) = 5.25$ Д. Вычитание из величины $m(Ph_3AsN)$ вклада трех связей $X-C_{\text{ар}}$, равного $m_x = 3m(C_{\text{ар}}-X) \cdot \cos 68^\circ$ дает значение $m[(C_{\text{ар}})_3AsN] = 4.48$ Д. Момент m_1 является суммарной величиной ДМ $m(N-C_{\text{ар}})$ и проекции $m(Ph_3AsN)$ на эту связь. Векторное вычитание составляющей m_1 на $m(Ph_3AsN)$ дает величину $m(N-C_{\text{ар}})$, равную 1.29 Д и направленную к $C_{\text{ар}}$. В моменты $m[(C_{\text{ар}})_3AsN]$ и $m(N-$

$C_{ар}$) входят составляющие ДМ НЭП атома азота. Аналогичным векторным графическим анализом ДМ соединений $(p-ClC_6H_4)_3As=NC_6H_4-Y$ (VI-VIII) были найдены составляющие ДМ группы $(p-ClC_6H_4)_3As=N-C_{ар}$ вдоль (m_1) и перпендикулярно (m_2) связи $N-C_{ар}$, равные 3.30 и 2.95 Д соответственно. Направление диполя m_1 от атома азота к $C_{ар}$ определено из графика. Групповой момент $(p-ClC_6H_4)_3As=N-C_{ар}$ равен 4.43 Д и направлен под углом 48.2° к оси $N-C_{ар}$. Из величин m_1 и m_2 определены ДМ групп $(p-ClC_6H_4)_3As=N$ равный 3.55 Д, направленный к атому N, и момент $m[(C_{ар})_3As=N]=4.54$ Д, также направленный к атому азота. ДМ связи $N-C_{ар}$ равен 1.33 Д и направлен от атома N к $C_{ар}$. Таким образом, для обоих рядов пара-замещенных соединений (I-V) и (VI-VIII) с различными заместителями при фенильных кольцах у атома As, получены близкие значения и одинаковые направления ДМ группы $(C_{ар})_3As=N$ и связи $(N-C_{ар})$. Это свидетельствует об отсутствии заметного влияния заместителей X при арильных кольцах у атома мышьяка на ДМ арсазогруппы $As=N$.

Было интересно сравнить полученные результаты с имеющимися данными по ДМ фосфазосоединений. Поэтому с помощью векторного графического анализа ДМ был проанализирован ряд триарилфосфазоаренов. В работах [13-17] определены ДМ пара-замещенных соединений $(p-XC_6H_4)_3P=NC_6H_4Y-p$ (где $X=H, CF_3$; $Y=H, CH_3, Cl, Br, J, CF_3, NO_2$). Авторами [13,14] с помощью аддитивной схемы анализа ДМ дана приблизительная оценка величины ДМ связи $P=N$, которая оказалась равной ~ 3 Д. При определении величины $m(P=N)$ использовались значения $m[(C_{ар})_3P=N]$ и $m(P-C_{ар})$, рассчитанные из молекулярных ДМ родственных симметричных соединений. Проведенный нами векторный графический анализ паразамещенных соединений $(p-XC_6H_4)_3P=NC_6H_4Y-p$ позволил найти величины и направления ДМ группы $(C_{ар})_3P=N$ и связи $N-C_{ар}$ и сравнить полученные результаты с моментами $m[(C_{ар})_3As=N]$ и $m(N-C_{ар})$ мышьякорганических аналогов. В таблице 2

представлены молекулярные ДМ соединений $(p-XC_6H_4)_3P=NC_6H_4-Y-p$, взятые из работ [15,16]. На рис.3 показано графическое нахождение составляющих векторов ДМ пара-замещенных трифенилфосфазоаренов.

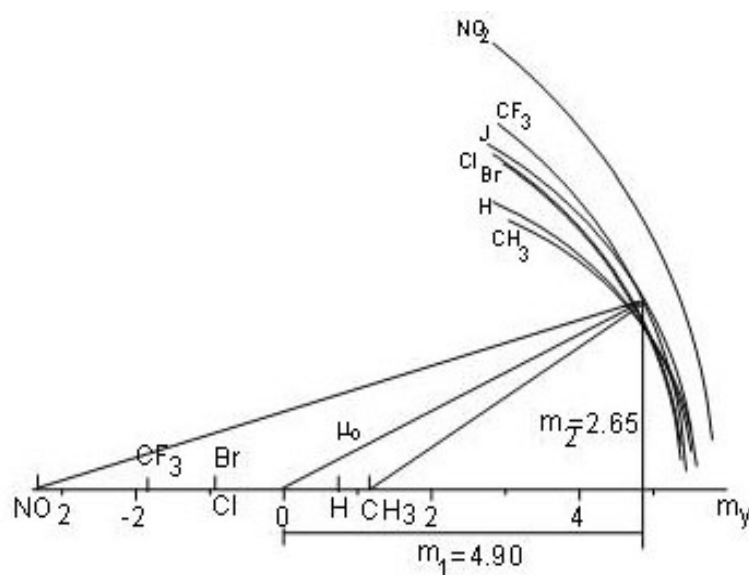


Рис.3. Графическое нахождение составляющих дипольного момента $Ph_3P=NC_{ар}$.

Из графика видно, что для всех соединений, кроме $(Ph)_3P=NC_6H_4-NO_2-p$, окружности, равные экспериментальным ДМ этих соединений, пересекаются в узкой области. Т.е. молекулярный ДМ соединения с $Y=NO_2$ не укладывается в график, а само соединение выпадает из исследуемого ряда. Таким образом, ДМ остова $(Ph)_3P=NC_{ар}$ постоянен для всех рассматриваемых соединений, кроме паранитрофосфазоарена.

Таблица 2 - Молекулярные дипольные моменты соединений $(p-XC_6H_4)_3P=NC_6H_4-Y-p$.

X	Y						
	H	CH ₃	Cl	Br	J	CF ₃	NO ₂
H	4.59	4.53	5.99	6.26	6.28	-	9.58
	4.85	4.4	6.3	6.44	6.50	7.30	9.14
CF ₃	1.87	-	-	-	-	4.57	-

Из графика (рис.3) для всех рассматриваемых соединений, исключая $Ph_3P=NC_6H_4NO_2$, были найдены величины и направления составляющих ДМ фрагмента $Ph_3P=NC_{ар}$ вдоль (m_1) и перпендикулярно (m_2) оси $N-C_{ар}$. Они оказались равными 4.90 и 2.65 Д соответственно, причем диполь m_1 направлен от атома азота к $C_{ар}$. На основании этих данных и при известных валентных углах ($\angle PNC_{ар}=124.2$; $\angle C_{ар}PN\approx 112.5$; $\angle C_{ар}PC_{ар}=106^\circ$ [18]) можно рассчитать величины и направления моментов групп $Ph_3P=N$, $(C_{ар})_3P=N$ и связи $N-C_{ар}$. ДМ группы $Ph_3P=N$ равен 4.75 Д и направлен к атому азота, момент $m[(C_{ар})_3P=N]=3.95$ Д также направлен к атому азота. Момент $m(N-C_{ар})=0.97$ Д и направлен от N к $C_{ар}$.

Сравнение полученных величин для рядов $Ph_3\Xi=N-C_{ар}$ ($\Xi=P,As$) позволяет проанализировать изменения ДМ отдельных связей и групп при замене атома P на атом As . Согласно данным структурных методов, валентный угол $C_{ар}\Xi C_{ар}$ для соединения Ph_3P равен 103° , а для Ph_3As – 102° . ДМ этих соединений соответственно равны 1.41 и 1.20 Д [11]. Исходя из того, что групповая электроотрицательность (ЭО) фрагмента Ph_3P больше, чем Ph_3As , можно ожидать (с учетом направления диполя $\Xi=N$), что момент $m(P=N)$ будет меньше момента $m(As=N)$.

Величины $m(\Xi=N)$ рассчитаны как разница ДМ группы $m[(C_{ар})_3\Xi=N]$ и моментов $m[(C_{ар})_3-\Xi]$ и равны: $m(P=N)=2.53$ и $m(As=N)=3.31$ Д. Как и следовало ожидать, их ДМ отличаются на 0.78 Д. Можно полагать, что более ЭО группа Ph_3P будет сильнее оттягивать электроны в сторону атома азота от соседней связи $N-C_{ар}$. Действительно, для фосфазосоединений величина ДМ связи $N-C_{ар}$ на 0.37 Д меньше величины $m(N-C_{ар})$ для арсазосоединений. С другой стороны, согласно теории Гиллеспи-Найхолма [19,20], валентные углы при центральном атоме определяются взаимодействием НЭП и связывающих электронных пар (СЭП) на валентной оболочке. Характер СЭП зависит от ЭО заместителей: при более электроотрицательном заместителе объем СЭП уменьшается и

наоборот. Это приводит к изменению валентных углов при центральном атоме. Согласно [19], сила отталкивания между двумя связями последовательно уменьшается в следующем ряду: НЭП > двойная связь > одинарная связь. Т.е. при переходе от трехкоординированных производных фосфора и мышьяка к четырехкоординированным фосфазо- и арсазосоединениям, валентные углы должны увеличиться. Так, для фосфазосоединений средний угол $C_{ap}PC_{ap}$ равен 106.4° [18] и увеличился на 3.4° по сравнению с Ph_3P . Для арсазоаренов угол $C_{ap}AsC_{ap}=106.93^\circ$ [1] и увеличился по сравнению с Ph_3As на 4.9° . Т.е. электроны смещаются от группы Ph_3P к атому азота в меньшей степени, чем от фрагмента Ph_3As . Разница изменений валентных углов при атомах P и As может служить критерием этих взаимодействий. Это согласуется как с большей ЭО группы Ph_3P по сравнению с Ph_3As , так и с относительными величинами ДМ $m(P=N)$ и $m(As=N)$.

Зная величину ДМ связи, можно формально рассчитать величины зарядов на концах диполя, т.е. определить относительное смещение электронного облака от атома As к атому азота: $m_{(O=N)}=l_{(O=N)} \cdot q$, где l - длина связи, а q - эффективный заряд диполя. Длина связи $P=N$ равна 1.56 \AA , а длина связи $As=N$ - 1.74 \AA . Эффективные заряды диполей соответственно равны $0.34e$ и $0.40e$, где e - заряд электрона. Т.о. величины эффективных зарядов, смещенные от атомов P и As к азоту, различны, что хорошо согласуется с предыдущими рассуждениями.

Дополнительным подтверждением этого механизма является изменение валентных углов $\text{Э}=\text{N}-C_{ap}$. Согласно экспериментальным данным, для фосфазосоединений этот угол равен 124.2° [18], а для арсазосоединений - 123.7° [1]. Действительно, в диполе $m(N-C_{ap})$ фрагмента $P=N-C_{ap}$ электроны смещены сильнее к атому N , чем в аналогичной связи арсазосоединений, и, соответственно, отталкивание между связями $\text{Э}=\text{N}$ и $N-C_{ap}$ больше в первом случае, чем во втором

[19,20]. Т.е. наблюдаемая логическая взаимосвязь изменений групповых электроотрицательностей, ДМ отдельных связей и величин валентных углов при переходе от фосфазосо- к арсазосоединениям указывает на большую лабильность электронов в производных мышьяка по сравнению с аналогичными соединениями фосфора.

Для рассмотрения сравнительной характеристики электронных свойств *N-Ph* группы относительно *O* и *S*, можно аналогично определить относительное смещение электронного облака в молекулах $Ph_3As=O$, $Ph_3As=S$; $Ph_3P=O$ и $Ph_3P=S$. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3-Дипольные моменты, длины связей и эффективные заряды фрагмента $\Xi=Z$.

Ξ	$m_{(\Xi=Z)}$, Д		$l_{(\Xi=Z)}$, Å		$q \cdot e$	
	Z=S	Z=O	Z=S	Z=O	Z=S	Z=O
As	4.12	4.17	2.075	1.650	0.41	0.53
P	3.47	3.06	1.950	1.470	0.37	0.43

При расчетах ДМ связей $\Xi=Z$ ($\Xi=As, P; Z=O, S$) находили как разницу молекулярных ДМ соединений $Ph_3\Xi=Z$ и $Ph_3\Xi$ по величинам, приведенным в работах [11,21]. Сопоставление данных таблицы 3 с данными для группы $\Xi=N$ - приводит к следующей картине (рис. 4):

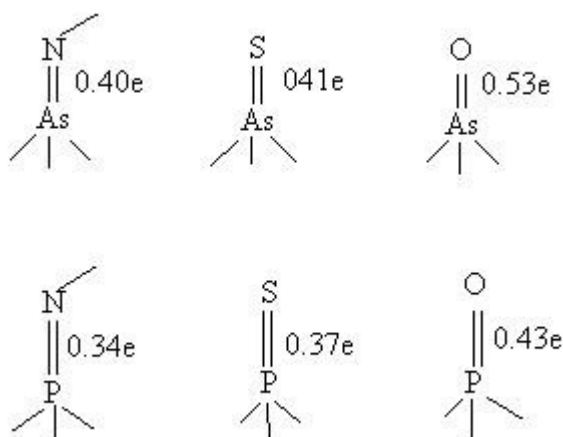


Рис. 4. Величины относительных эффективных зарядов q на атомах *N, S, O* связей $\Xi = Z$.

Отсюда следует, что в рядах как *As*-, так и *P*-производных способность оттягивать электроны от элементсодержащего остова растет в ряду $-NPh < S < O$.

С другой стороны, сравнение рядов *As*- и *P*- производных еще раз подтверждает сделанный раньше вывод о большей донорной способности группы *AsPh₃* по сравнению с *PPh₃*- группой.

Список литературы

1. Кокорев Г.И., Литвинов И.А., Мусин Р.З., Наумов В.А. Синтез, свойства и молекулярная структура мономерных и димерных арсазосоединений// Журн. общей химии. - 1991. - Т.61. - Вып.12. - С.2713-2721.
2. Кокорев Г.И., Ямбушев Ф.Д., Бадрутдинов Ш.Х. Мышьякорганические соединения с *As=N* связью. 1. Синтез, свойства и спектральные исследования триариларсазоариллов// Журн. общей химии. - 1986. - Т.56. - Вып.8. - С.1794-1798.
3. Кокорев Г.И., Мусин Р.З., Бадрутдинов Ш.Х., Халитов Ф.Г., Коршунов Р.Л. Синтез и строение триариларсазоаренов// Журн. общей химии. - 1991. - Т.61. - Вып.10. - С.2204-2208.
4. Chivers T., Cjders A.W., Oak Ley R.T. Yhermal Decomposition of (Triphenylphosphorane-diyl)aminocyclotrithiarene and (Triphenylarsorane-diyl)-aminocyclotrithiazene, $Ph_3E=NS_3N_3$ (E=P, As)// Inorg. Chem. - 1981. - V.20. - №8. - P.2376-2380.
5. Voynihan K.I., Boorman P.N., Ball I.M. et.al. Configurational Isomerism in Trithiatatrazoines// J. Chem.Soc. Chem. Comm. - 1986. - №6. - P.807-808.
6. Оллок Г. Фосфоразотистые соединения. - М.: Мир, 1976. - 563 с.
7. Деркач Г.И., Жмурова И.Н., Кирсанов А.В. и др. Фосфазосоединение. - Киев.: Наукова Думка, 1965. - 284 с.
8. Егоров Ю.П. Строение и спектроскопические свойства органических соединений со связью $\text{E}=\text{N}$. - Киев.: Наукова Думка, 1987. - 251 с.
9. Гуггенгейм Э.А., Пру Дж. Физико-химические расчеты. М.: ИЛ, 1958. 448 с.
10. Нигматуллин Р.Ш., Вяселев Р.Р., Шатунов В.С. Измеритель дипольных моментов ИДМ-2// Заводская лаборатория. - 1964. - Т.30. - №4. - С.500-501.
11. Халитов Ф.Г., Верещагин В.Н. Дипольные моменты связей в арил-производных фосфора и мышьяка// Журн. общей химии. - 1981. - Т.51. - Вып. 1. - С.79-86;
12. Халитов Ф.Г., Ямбушев Ф.Д., Горчакова Л.А., Дорошкина Г.М., Верещагин А.Н. Дипольные моменты и пространственная структура арилдихлоарсинов// Изв. АН СССР. Сер.хим. - 1979. - №10. - С.2247-2251
13. Боровиков Ю.Я., Егоров Ю.П., Жмурова И.Н. и др. Исследование электронного строения фосфазосоединений методом дипольных моментов// Теоретич. и эксперим. химия. - 1974. - Т.10. - №2. - С.207-214.
14. Боровиков Ю.Я., Егоров Ю.П. Дипольные моменты элементарноорганических соединений// Теорет. и эксперим. химия. - 1971. - Т.7. - №5. - С.663-665.

15. Булгаревич С.Б., Иванова Н.А., Мовшович Д.Я. и др. Молекулярная поляризуемость органических соединений и их комплексов. XX. Вероятные конформации некоторых фосфоазосоединений в растворах// Журн. общей химии. – 1982. – Т.52. – Вып.3. – С.577-581.
16. Иванова Н.А., Булгаревич С.Б., Мовшович Д.Я. и др. Молекулярное комплексообразование фосфоазосоединений с йодом// Журн. общей химии. – 1979. – Т.49. – Вып.4. – С.760-764.
17. Луцкий А.Е., Самарай Л.И., Кочергина Л.А. и др. Об участии d-орбит фосфора в образовании π -связей и в сопряжении с π -электронными системами. II. Дипольные моменты некоторых фосфоазосоединений// Журн. общей химии. – 1967. – Т.37. – Вып. 9. – С.2042-2046.
18. Hewling M.J. Crystal structure of p-bromphenylimino-(triphenyl)phosphozane// J.Chem.Soc. - В. 1971. - №5. – P.942-945.
19. Гиллеспи Р. Геометрия молекул. - М.: Мир, 1975. - С.278.
20. Гиллеспи Р., Харгиттаи И. Модель отталкивания электронных пар валентной оболочки и строение молекул. - М.: Мир, 1992. - С.296.
21. Абалонин Б.Е., Лохотская Л.А., Шагидуллин Р.Р. К вопросу о природе связи As-Э (Э= O,S,Se) в окисях, сульфидах и селенидах третичных арсинов// Журн. общей химии. – 1991. Т.61. Вып. 5. С.1150-1154.