

## عنصرهای گروه VA

نیتروژن، فسفر، ارسنیک، انتیموان و بیسموت عنصرهای گروه VA را تشکیل می‌دهند و آرایش

الکترونی لایه ظرفیت آنها  $ns^2np^3$  است. نیتروژن و فسفر نافلز، ارسنیک و انتیموان شبه فلز و

بیسموت یک فلز است.

جدول پاره‌ای از ویژگیهای عنصرهای گروه VA

	انتیموان	arsenic	فسفر	نیتروژن	
<i>N</i>	<i>P</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Bi</i>	نماد شیمیایی
83	51	33	15	7	عداد اتمی
271	631	814	*44	-210	دماز ذوب ( ${}^\circ C$ )
1560	1380	تصعید می‌شود	*280	-196	دماز جوش ( ${}^\circ C$ )
9/75	6/69	5/73	*1/83	$\times 10^{-3}$	چگالی ( $g/cm^3$ )
				1/25	
703	838	947	1012	1402	انرژی نخستین یونش ( $kJ/mol$ )
1/50	1/40	1/20	1/10	0/7	شعاع اتمی ( $\text{\AA}$ )
2/02	2/05	2/18	2/19	3/0	الکترونگاتیوی (مقیاس پائولینگ)
+5,+3	+5,+3	+5,+3	+5,+3,-3	-3 تا +5	اعداد اکسایش

\* داده‌ها برای فسفر سفید است.

اعداد اکسایش عنصرهای گروه VA در ترکیبهای آنها از 3- (که لایه ظرفیت به طور کامل پر است) تا 3+ و 5+ (که لایه ظرفیت به طور جزئی یا به طور کامل خالی است) می‌باشد.

## نیتروژن

مولکول نیتروژن به صورت دو اتمی است. هر اتم نیتروژن پنج الکترون ظرفیت دارد

$N = [He]2s^2 2p^3$ ) و برای رسیدن به آرایش الکترونی هشتتاًی، این اتمها با توجه به کوچک بودن

نسبی شعاع کوالانسی خود ( $0.70\text{\AA}^0$ ) به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک می‌شوند و با تشکیل یک

پیوند سیگما و دو پیوند پی قوی که در واقع شامل اشتراک سه جفت الکترون بین این دو اتم است،

مولکول  $N_2$  را تشکیل می‌دهند.

:  $N \equiv N :$

انرژی تفکیک پیوند در مولکول نیتروژن  $946\text{kJ/mol}$  است که تقریباً دو برابر انرژی پیوند دوگانه

در مولکول اکسیژن است. به علت قدرت زیاد پیوند سه‌گانه در مولکول  $N_2$ ، مولکول نیتروژن

واکنش‌پذیری خیلی کمی دارد، به طوری که لیتیم یکی از محدود عنصرهایی است که با مولکول نیتروژن

در شرایط عادی واکنش می‌دهد.



ترکیبهای نیتروژن با عنصرهای جدول تناوبی، به استثنای عنصرهای گازهای نجیب شناخته

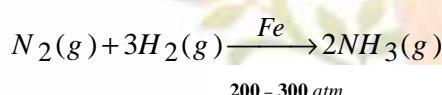
شده‌اند، زیرا واکنش‌پذیری نیتروژن با افزایش دما به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. مثلاً در دمای

زیاد، نیتروژن با هیدروژن واکنش می‌دهد و مولکول آمونیاک به وجود می‌آید و با اکسیژن نیز ترکیب می‌شود و نیتروژن اکسید می‌دهد. تعدادی از کاتالیزگرهای نیز می‌توانند بی‌اثری نیتروژن را در دمای کم از بین ببرند.

## آمونیاک

نیتروژن یکی از سازنده‌های اصلی پروتئینها، نوکلئیک اسیدها، ویتامینها و هورمونهاست و در تمام موجودات زنده وجود دارد. جانوران نیتروژن مورد نیاز خود را از گیاهان یا جانوران دیگر تأمین می‌کنند. گیاهان باید نیتروژن مورد نیاز خود را از خاک تأمین کنند یا آن را از نیتروژن جو جذب کنند. جذب نیتروژن شامل فرایندی است که طی آن گیاهان  $N_2$  را به  $NH_3$  می‌کاھند یا به عبارتی آن را «ثبتیت» می‌کنند. به طوری که تخمین زده شده است، سالیانه ۲۰۰ میلیون تن  $NH_3$  از طریق ثبتیت بیولوژیکی نیتروژن تولید می‌شود. گیاهان به تنها بی نمی‌توانند  $N_2$  را به  $NH_3$  کاهش دهند. برخی باکتریها که در غده‌های ریشه بقولات (مانند نخود و لوبيا) و شبدر وجود دارند، به کمک آنزیم نیتروژنаз، موجود در جو را در شرایط عادی به  $NH_3$  می‌کاھند.

در مقیاس صنعتی، آمونیاک توسط فرایند هابر تولید می‌شود. در فرایند هابر، مخلوطی از  $N_2$  و  $H_2$  را در فشار ۲۰۰ الی ۳۰۰ اتمسفر و دمای ۴۰۰ تا  $600^{\circ}C$  از روی ذرات بسیار ریز آهن به عنوان کاتالیزگر عبور می‌دهند.



$400 - 600^{\circ}C$

www.ShimiPedia.ir

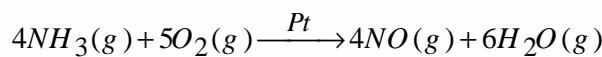
مقدار زیادی از آمونیاک تولید شده به کودهای جامد مانند آمونیوم نیترات، آمونیوم فسفات،

آمونیوم سولفات و اوره،  $H_2NCONH_2$ ، تبدیل می‌شود. مقداری از آن نیز به عنوان کود شیمیایی به

طور مستقیم به خاک تزریق و توسط رطوبت خاک جذب می‌شود.

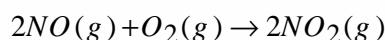
### نیتریک اسید

از سوختن آمونیاک در مجاورت کاتالیزگر پلاتین، نیتروژن اکسید بدست می‌آید



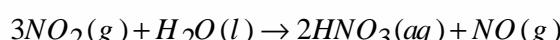
نیتروژن اکسید (نیتریک اکسید) گازی بیرنگ است که به سرعت با مقدار اضافی اکسیژن واکنش داده،

گاز خرمایی رنگ نیتروژن دی اکسید را بوجود می‌آورد.



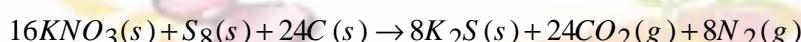
از حل کردن نیتروژن دی اکسید در آب، نیتریک اسید و نیتروژن اکسید حاصل می‌شود. نیتروژن اکسید

را مجدداً به چرخه واکنش باز می‌گردانند



این روش تهییه نیتریک اسید به روش استوالد مشهور است.

در سال 1245، باروت توسط مخلوط کردن گوگرد، پتاسیم نیترات و گرد زغال ساخته شد

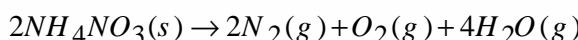


$$\Delta H^\theta = -571/9 \text{ kJ/mol } N_2$$

و همین امر سبب شد تا نیتراتها به عنوان مواد منفجره مورد توجه قرار گیرند. از واکنش آمونیاک با

نیتریک اسید، آمونیوم نیترات بدست می‌آید که هم به عنوان کود شیمیایی و هم به عنوان ماده منفجره

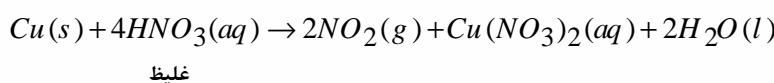
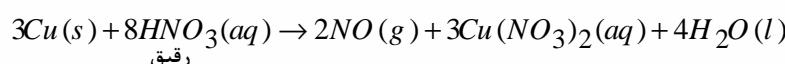
ارزان قیمت مصرف می‌شود. واکنش انفجاری تجزیه آمونیوم نیترات به صورت زیر است



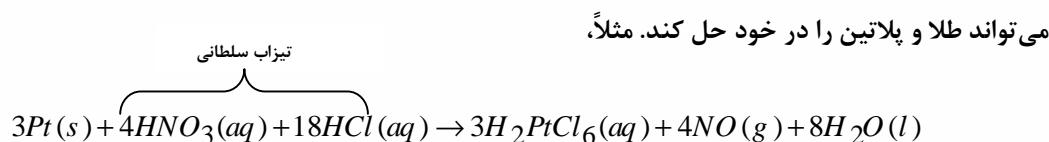
نیتریک اسید یک اسید قوی و یک اکسیدکننده قوی است و بسیاری از فلزها را در خود حل

می‌کند ( $\text{Pt}$  و  $\text{Au}$  در این اسید حل نمی‌شوند). محصولات واکنش به نوع فلز و غلظت اسید بستگی دارد.

مثلًا، در واکنش با مس داریم.



مخلوط نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید غلیظ به نسبت ۱ به ۳ که «تیزاب سلطانی» نامیده می‌شود،



## هیدرازین

هیدرازین، مایعی بیرنگ و بوی آن شبیه به بوی آمونیاک است. هیدرازین در دمای  $1/54^{\circ}\text{C}$

ذوب می‌شود و در دمای  $8/113^{\circ}\text{C}$  جوشد که در مقایسه با دمای ذوب و جوش آمونیاک (به ترتیب،

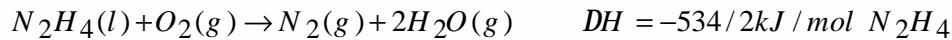
$-34/5^{\circ}\text{C}$ ,  $-77/8^{\circ}\text{C}$ ) نشان می‌دهد که در هیدرازین به حالت جامد و مایع، تشکیل پیوند هیدروژنی

گستردگی بیشتری دارد. هیدرازین از واکنش آمونیاک و سدیم هیپوکلریت در مجاورت ژلاتین بدست

می‌آید. نقش ژلاتین احتمالاً برای حذف مقادیر جزئی یونهای فلزهای واسطه است که این یونهای فلزی می‌توانند کاتالیزگر تجزیه هیدرازین باشند.



هیدرازین در مجاورت اکسیژن می‌سوزد و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌کند.



کاربرد اصلی هیدرازین به عنوان سوخت موشک است. هیدرازین در دماهای کم (حدود ۲۰°C)

منجمد می‌شود، پس در قسمتهای فوقانی جو به حالت جامد در می‌آید؛ از این رو، آن را با  $N_2$ - دی

متیل هیدرازین،  $(CH_3)_2N-NH_2$ ، مخلوط می‌کنند تا محلولی بدست آید که در دماهای کم به حالت

مایع باقی بماند.

### عددهای اکسایش نیتروژن

نیتروژن در نیتریک اسید بیشترین عدد اکسایش ممکن (+5) و در آمونیاک کمترین عدد

اکسایش (-3) را دارد. همچنین، در ترکیبها بی از نیتروژن که در جدول (الف) داده شده است، عدد

اکسایش نیتروژن بین این دو حد است.



**جدول(الف): عدهای اکسایش متداول نیتروژن**

نام	مثال	عدد اکسایش
آمونیاک، یون آمونیوم	$NH_4^+, NH_3$	-3
هیدرازین	$N_2H_4$	-2
هیدروکسیل آمین	$NH_2OH$	-1
هیدرآزوئیک اسید	$HN_3$	$-\frac{1}{3}$
نیتروژن	$N_2$	0
دی‌نیتروژن اکسید	$N_2O$	+1
نیتروژن اکسید	$NO$	+2
نیترو اسید	$HNO_2$	+3
نیتروژن دی‌اکسید	$NO_2$	+4
نیتریک اسید	$HNO_3$	+5

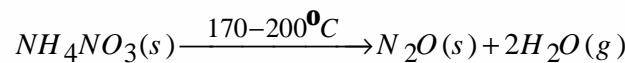
**اکسیدهای نیتروژن**

ساختار لوئیس هفت اکسید نیتروژن که عدد اکسایش نیتروژن در آنها از ۱+ تا ۵+ تغییر می‌کند، در

شکل A داده شده است. چنانکه از مقادیر مثبت آنتالپی تشکیل برمی‌آید، این اکسیدها نسبت به

عنصرهای سازنده خود ناپایدارترند (جدول ب).

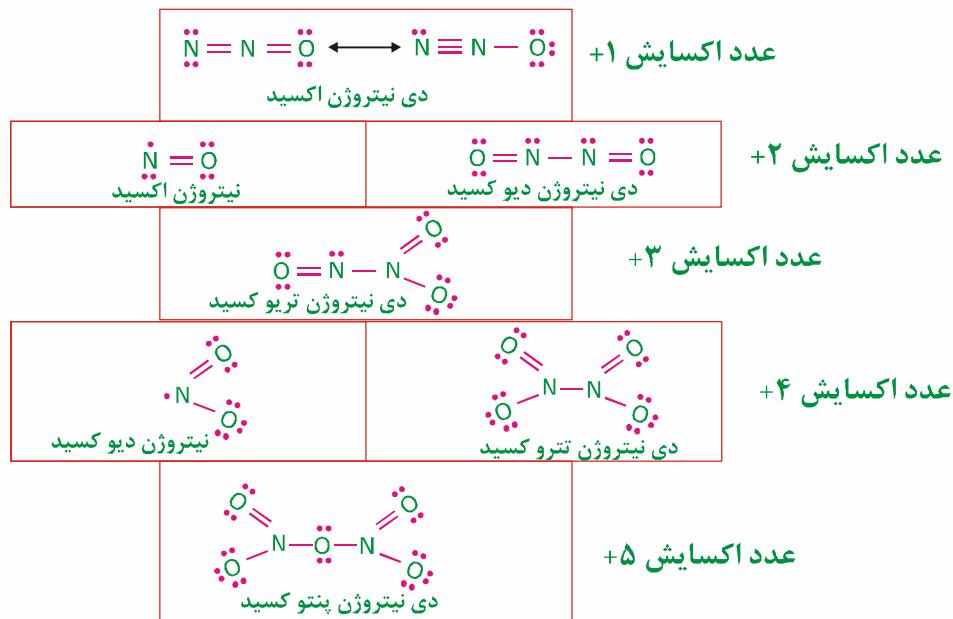
دی نیتروژن اکسید،  $N_2O$ ، که به عنوان نیتروکسید نیز شناخته شده است، از تجزیه حرارتی آمونیوم نیترات بدست می‌آید.



جدول (ب) : آنتالپی تشکیل اکسیدهای نیتروژن

$DH_f^\theta$ (kJ / mol)	ترکیب
<b>62/05</b>	$N_2O(g)$
	$NO(g)$
	<b>90/25</b>
<b>35/98</b>	$NO_2(g)$
<b>50/29</b>	$N_2O_3(g)$
<b>9/16</b>	$N_2O_4(g)$
<b>11/3</b>	$N_2O_5(g)$





شکل (A): نمایش ساختار لوئیس اکسیدهای نیتروژن

دی نیتروژن اکسید گازی غیرسمی و بیرنگ است و در جراحیهای کوتاه به عنوان داروی بیهوشی

به کار می‌رود و معمولاً آن را به عنوان گاز خنده می‌شناسند. نیتروکسید به طور کامل در کرم حل

می‌شود و به همین دلیل به عنوان «پیشران» برای بیرون راندن کرم از قوطیهای کرم به کار می‌رود.

اگرچه این اکسید نمی‌سوزد، اما برای احتراق مواد دیگر بهتر از هوا عمل می‌کند، زیرا با تجزیه

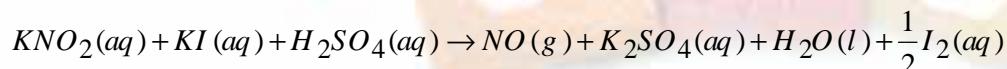
شدن  $N_2O$  مخلوطی از  $O_2, N_2$  به وجود می‌آید که یک سوم حجمی (33٪) اکسیژن دارد و در

مقایسه با هوا عادی که 21٪ حجمی اکسیژن دارد، از نظر تولید اکسیژن غنی‌تر است



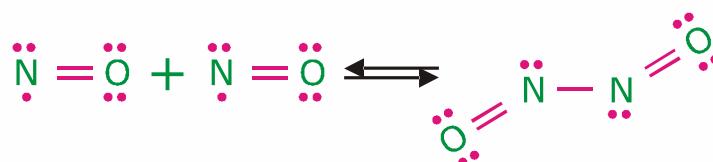
نیتروژن اکسید مولکول پایداری است که یک الکترون جفت نشده دارد. در مقیاس آزمایشگاهی

می‌توان آن را از واکنش زیر تهیه کرد.



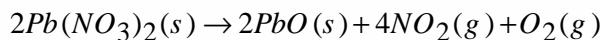
وقتی یک نمونه گاز  $NO$  را سرد کنیم، یک جفت مولکول  $NO$  با هم به طور برگشت‌پذیر متعدد می‌شوند و یک مولکول دیمر با فرمول  $N_2O_2$  تشکیل می‌شود که در آن تمام الکترونهای ظرفیت به صورت جفت

هستند

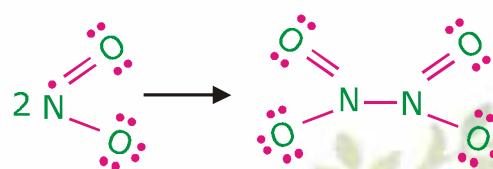


$NO$  به سرعت با اکسیژن ترکیب می‌شود و گاز خرمایی رنگ نیتروژن دی‌اکسید می‌دهد که قبلاً به آن اشاره شد.

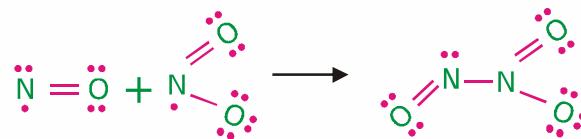
$NO_2$  را می‌توان در مقیاس آزمایشگاهی از حرارت دادن بعضی از نیتراتهای فلزی تهیه کرد



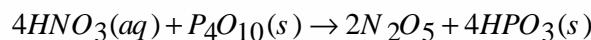
نیتروژن دی‌اکسید نیز دارای یک الکترون جفت نشده است. این مولکول بر اثر سرد کردن مولکول دیمر دی‌نیتروژن تتروکسید را می‌دهد که بیرنگ است



مخلوطی از  $NO_2$ ,  $NO$  بر اثر سرد کردن با هم متعدد شده، مایعی به رنگ آبی روشن می‌دهند که همان دی‌نیتروژن تری‌اکسید است



چنانچه از نیتریک اسید غلیظ در دمای کم توسط  $P_4O_{10}$  آب بگیریم، دی‌نیتروژن پنتوکسید حاصل می‌شود.



$N_2O_5$  جامد و بیرنگ است و در معرض نور یا دمای اتاق تجزیه می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رود، از واکنش  $N_2O_5$  با آب محلول نیتریک اسید به وجود می‌آید.

## فسفر

فسفر عنصر دیگری از گروه VA است که برای حیات ضروری می‌باشد. این عنصر در نوکلئیک اسیدها که رمز ژنتیکی را کنترل می‌کنند و در لیپیدها که غشای سلولها را تشکیل می‌دهند، یافت می‌شود. این عنصر به صورت یون فسفات،  $PO_4^{3-}$ ، نقش مهمی در سوخت و ساز قندها و سایر کربوهیدراتها ایفا می‌کند و تقریباً 20٪ وزن استخوان مربوط به مواد معدنی نظیر کلسیم فسفات، است. ترکیب‌های فسفر اجزای مهم بسیاری از کودهای شیمیایی است.

برخی از ترکیب‌های فسفر شبیه به ترکیب‌های نیتروژن است. مثلاً  $PH_3$  (فسفین)،  $P_2H_4$  (دی‌فسفین)،  $PF_3$  (فسفر تری‌فلوئورید)،  $Ca_3P_2$  (کلسیم فسفید) همردهای  $NH_3$  (آمونیاک)،  $NF_3$  (نیتروژن تری‌فلوئورید) و  $Ca_3N_2$  (کلسیم نیترید) هستند. عنصر  $N_2H_4$  (هیدرازین)،  $NF_3$  (نیتروژن تری‌فلوئورید) و  $Ca_3N_2$  (کلسیم نیترید) هستند.

نیتروژن عملأ در دمای اتاق بی اثر است، در حالی که عنصر فسفر خود به خود در تماس با هوا آتش

می‌گیرد. این مطلب بیان می‌کند که در رفتار شیمیایی این دو عنصر تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. اغلب،

مشاهده می‌کنیم که ترکیب‌های فسفر و نیتروژن در یک حالت اکسایش معین، فرمولهای شیمیایی

متفاوتی دارند (جدول پ). تفاوت بین فسفر و نیتروژن را می‌توان با توجه به نکات زیر توضیح داد:

الف. پیوند سه‌گانه  $N \equiv N$  خیلی قویتر از پیوند سه‌گانه  $P \equiv P$  است.

ب. پیوند یگانه  $P-P$  قویتر از پیوند یگانه  $N-N$  است.

ج. الکترونگاتیوی فسفر (۱/۲) خیلی کمتر از الکترونگاتیوی نیتروژن (۰/۰) است.

د. فسفر با آرایش الکترونی  $[Ne]3s^23p^3$  به علت در دسترس بودن تراز فرعی  $3d$

می‌تواند لایه ظرفیت خود را گسترش دهد و بیش از هشت الکترون در این لایه داشته

باشد، در حالی که برای نیتروژن با آرایش الکترونی  $[He]2s^22p^3$  این امکان وجود

ندارد.

جدول (پ) ترکیب‌های نیتروژن و فسفر با عدد اکسایش یکسان که فرمول شیمیایی متفاوت دارند.

ترکیب فسفر	عدد اکسایش	ترکیب نیتروژن
------------	------------	---------------

$P_4$	۰	$N_2$
-------	---	-------

$H_3PO_3$ (فسفو اسید)	+۳	$HNO_2$ (نیترو اسید)
-----------------------	----	----------------------

$Na_3PO_3$ (سدیم فسفیت)	+۳	$NaNO_2$ (سدیم نیتریت)
-------------------------	----	------------------------

$P_4O_6$	+۳	$N_2O_3$
----------	----	----------

$H_3PO_4$ (فسفریک اسید)	+۵	$HNO_3$ (نیتریک اسید)
-------------------------	----	-----------------------

$Na_3PO_4$ (سدیم فسفات)	+۵	$NaNO_3$ (سدیم نیترات)
-------------------------	----	------------------------

شعاع کوالانسی اتم فسفر  $(1/10\text{ \AA}^0)$ ،  $1/57$  برابر بزرگتر از شعاع کوالانسی اتم نیتروژن  $(0/7\text{ \AA}^0)$

است. از این رو، انتظار می‌رود که همپوشانی جانبی اوریتالهای  $3p$  بین دو اتم فسفر کمتر از همپوشانی

جانبی اوریتالهای  $2p$  بین دو اتم نیتروژن و در نتیجه، پیوند سه‌گانه  $P \equiv P$  خیلی ضعیفتر از پیوند

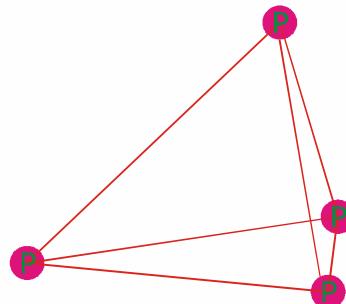
سه‌گانه  $N \equiv N$  باشد.

نیتروژن از مولکولهای  $N_2$  تشکیل شده است و هر اتم نیتروژن از طریق اشتراک سه الکترون از

لایه ظرفیت خود با اتم دیگر، آرایش کامل هشتایی را بدست می‌آورد، اما فسفر نمی‌تواند پیوند سه‌گانه

قوی تشکیل دهد و از مولکولهای مجزای  $P_4$  تشکیل شده است. در  $P_4$ ، هر اتم فسفر توسط تشكیل

پیوندهای یگانه با اتمهای مجاور خود به آرایش کامل هشتایی می‌رسد (شکل زیر)



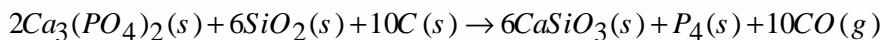
فسفر سفید جامدی مومنی شکل است که از مولکولهای چهاروجهی  $P_4$  تشکیل شده است. در این مولکول زاویه

پیوند  $P-P-P$  برابر  $60^\circ$  است.

فسفر خالص که غالباً فسفر سفید نامیده می‌شود، ظاهری مومنی شکل دارد و در دمای  $44/1^\circ C$

ذوب می‌شود و در دمای  $287^\circ C$  می‌جوشد. فسفر را با کاهیدن کلسیم فسفات توسط کربن در مجاورت

سیلیس در دمای زیاد تهییه می‌کنند



فسفر سفید را معمولاً در زیر آب نگهداری می‌کنند، زیرا این عنصر در مجاورت اکسیژن هوا در دمایی

بیشتر از دمای اتاق خود به خود مشتعل می‌شود. فسفر سفید به خوبی در کربن دی‌سولفید حل می‌شود

و محلول حاصل نسبتاً پایدار است، اما اگر قطعه کاغذ صافی را در این محلول فرو ببریم و سپس آن را

خارج کنیم، به محض تبخیر حلال، کاغذ صافی مشتعل می‌شود. اگرچه پیوند یگانه  $P-P$  قوی است، اما

فسفر سفید بسیار واکنش پذیر است. این واکنش پذیری با توجه به زاویه  $60^\circ$  برای پیوند  $P-P$  در

مولکول چهاروجهی  $P_4$  قابل درک است. این زاویه کوچک سبب شده که فشار در این مولکول زیاد

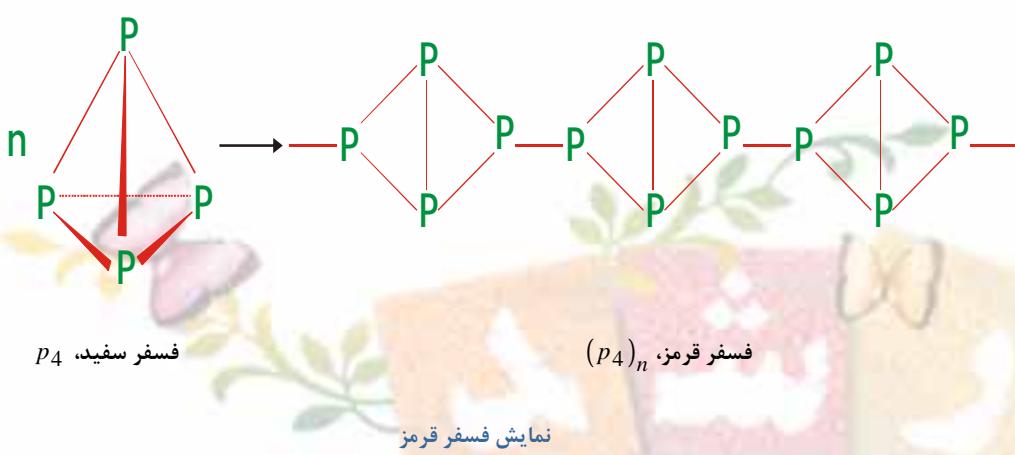
باشد و در نتیجه، این فشار با گستته شدن پیوندهای  $P-P$  برداشته می‌شود.

چنانچه فسفر سفید را تا دمای حدود  $300^\circ C$  حرارت دهیم، یک پیوند  $P-P$  از هر مولکول  $P_4$

شکسته می‌شود و مولکولهای  $P_4$  به یکدیگر می‌پیوندند. از به هم پیوستن مولکولهای  $P_4$  پلیمری از

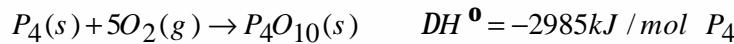
فسفر به وجود می‌آید که رنگ قرمز تیره دارد و به آن فسفر قرمز می‌گویند (شکل زیر). واکنش پذیری

فسفر قرمز در شرایط عادی خیلی کمتر از فسفر سفید است.



از سوختن فسفر در مقدار کافی اکسیژن  $P_4O_{10}$  تولید می‌شود که با آزاد شدن مقدار قابل

ملاحظه‌ای گرما و نور همراه است



از سوختن فسفر در مقدار محدود اکسیژن  $P_4O_6$  حاصل می‌شود



ساختارهای  $P_4O_6, P_4O_{10}$  در شکل زیر نشان داده شده‌اند. در هر دو ساختار، آرایش

چهاروجهی اتمهای  $P_4$  حفظ می‌شود، اما در هر پیوند  $P-P$  بین دو اتم فسفر یک اتم اکسیژن قرار گرفته

است. علاوه بر این، در مولکول  $P_4O_{10}$  به هر اتم فسفر یک اتم اکسیژن دیگر نیز متصل است. توجه

کنید که در ساختار فسفر اسید یکی از اتمهای هیدروژن به طور مستقیم به اتم فسفر متصل است و

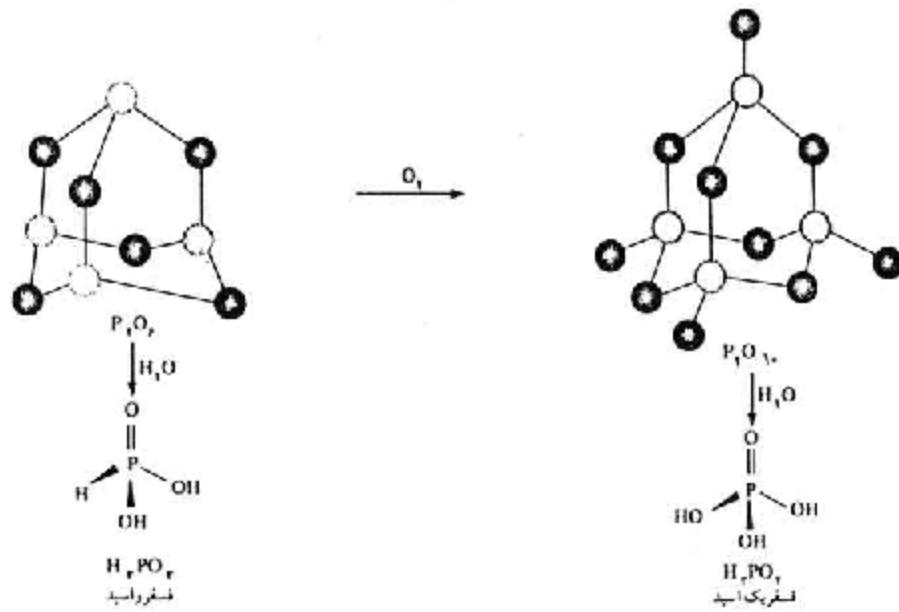
قابل یونیدن نیست؛ بنابراین، فسفر اسید یک اسید دو پروتونی است. فسفریک اسید جامد و بیرنگ

است و در حالت خالص در دمای  $42^{\circ}\text{C}$  ذوب می‌شود. فسفریک اسید یک اسید سه پروتونی است و هر

سه پروتون آن را می‌توان توسط یک فلز قلیایی جانشین کرد؛ مثلاً،  $Na_2HPO_4, NaH_2PO_4$

و  $Na_3PO_4$ . نمکهای مونو و دی‌سدیم از واکنش  $Na_2CO_3$  (به عنوان باز) با اسید بدست می‌آیند.





ساختار مولکولهای  $P_4O_{10}$ ,  $P_4O_6$  محصول واکنش آنها با آب

اما برای بدست آوردن  $Na_3PO_4$  باید پروتون سوم را جدا کرد. برای جدا کردن پروتون سوم باید مقدار

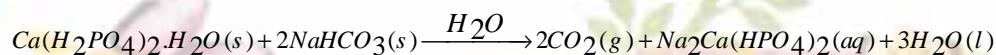
کافی از یک باز قوی مانند  $NaOH$  به کار ببریم. سدیم فسفات،  $Na_3PO_4$ ، برای پاک کردن رنگ به کار

برده می شود، زیرا یون  $PO_4^{3-}$  در آب بر اثر آبکافت محلول بازی می دهد. کلسیم فسفاتها نیز موارد

استفاده متعددی دارند. مثلاً، اسید ضعیف  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  در گرد شیرینی پزی بکار برده

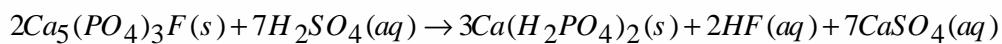
می شود، زیرا با  $NaHCO_3$  که آن هم در مخلوط گرد شیرینی پزی وجود دارد، واکنش داده،  $CO_2$  آزاد

می سازد که موجب ورآمدن خمیر می شود



$Ca(H_2PO_4)_2$  در کود شیمیایی سوپر فسفات نیز وجود دارد. این کود شیمیایی از اثر سولفوریک

اسید بر سنگ فسفات بدست می آید



کلسیم مونوهیدروژن فسفات،  $CaHPO_4$ ، در خمیردن دان به عنوان ساینده برای براق کردن دندانها به

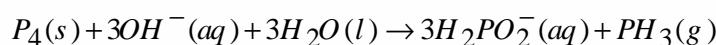
کار می‌رود.

یکی دیگر از اسیدهای فسفر، هیپوفسفر اسید،  $H_3PO_2$ ، است. نمکهای این اسید به علت

پایین بودن حالت اکسایش فسفر که  $+1$  است، به عنوان کاهنده به کار برده می‌شوند. با گرم کردن  $P_4$

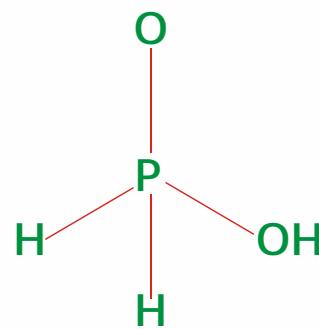
در محلول بازی، اتم فسفر از یک طرف به حالت اکسایش  $+1$  در یون  $H_2PO_2^-$  اکسید می‌شود و از

طرف دیگر، به حالت اکسایش  $-3$ - در مولکول فسفین،  $PH_3$ ، کاهش می‌یابد.



ساختار هیپوفسفر اسید به صورت زیر است و در آن دو اتم هیدروژن به طور مستقیم به اتم فسفر،

متصلند و قابل یونیدن نیستند، پس هیپوفسفر اسید یک اسید تکپروتونی است.



تمرین.

اسیدهای هیپوفسفر اسید، فسفر اسید و فسفریک اسید را بر حسب افزایش قدرت اسیدی مرتب

کنید.