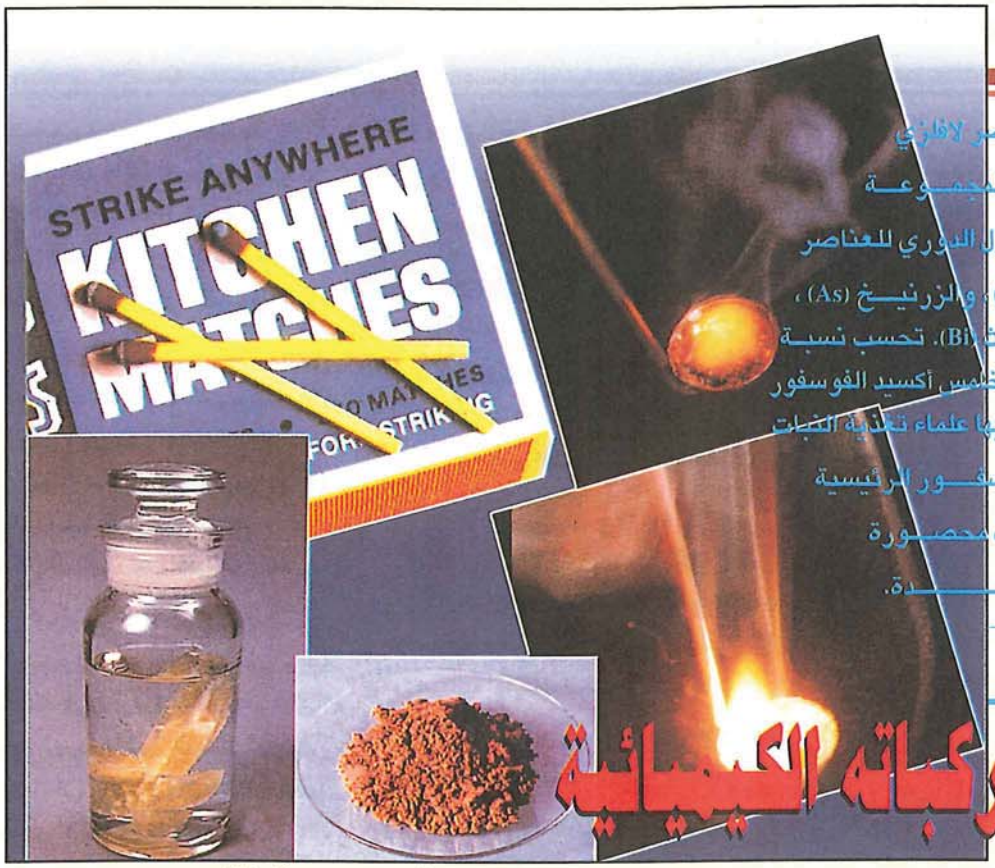


الفوسفور (P) عنصر لافلزي (Non Metal) ينتمي للمجموعة الخامسة ـ أ (5 A) في الجدول الدوري للعناصر التي تضم النيتروجين (N)، والزرنيخ (As)، والأنتيمون (Sb)، والبيزموث (Bi). تحسب نسبة الفوسفور في العادة على شكل خامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5)، وهي صيغة اتفق عليها علماء تغذية النبات حيث أن استخدامات الفوسفور الرئيسية في السابق كانت محصورة في الأسمدة.

د. وعد زهير الكيالي

الفوسفور ومركباته الكيميائية

يوجد الفوسفور بنسبة ٠,١٣٪ من تركيب القشرة الأرضية، ويعد معدن الأباتيت الفلوري (Fluor Apatite) ـ صيغته الكيميائية [$3Ca_3(PO_4)_2.Ca(F,Cl)$] ـ من أهم مصادره في الطبيعة حيث يحتوي على نسبة ٤٢,٣٪ (P_2O_5)، ويتواجد على شكل منشور سداسي منتظم. ومن المصادر الأخرى للفوسفور في الطبيعة الفوسفوريت [$3Ca_3(PO_4)_2.Ca(OH)_2$] وفوسفات الحديد II [$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$]. أخذ الفوسفور يكتسب أهمية كبرى ـ بجانب أهميته في صناعة الأسمدة ـ بعد الحرب العالمية الثانية حيث أخذ يدخل في صناعة الأغذية والمنظفات ومعالجة المياه ومصافي البترول والنسيج والأدوية ومواد التجميل وغيرها، ويوضح الجدول (١) أهم استخدامات بعض مركبات الفوسفور.

تعد الولايات المتحدة الأمريكية وشمال أفريقيا من أهم مناطق إنتاج الفوسفات في العالم، وعلى مستوى الوطن العربي تبلغ نسبة إنتاج الفوسفات حوالي ٢٤٪ من مجموع الإنتاج العالمي.

تعد معادن الفوسفات المصدر الرئيس لصناعة المركبات المختلفة للفوسفور، وسيتناول هذا المقال أهم مركبات الفوسفور من حيث طرق تصنيعها من خاماتها الرئيسة وأهميتها الصناعية وذلك كما يلي:

الفوسفور

للفوسفور ثلاثة أشكال متأصلة هي الفوسفور الأبيض والأحمر والأسود، ومن أهمها صناعياً الشكلين الأبيض والأحمر.

يتم الحصول على الفوسفور الأبيض (P) باختزال خام الفوسفور (الأباتيت) بالكوك (C) والسيليكا في فرن كهربائي عند درجة حرارة ١٤٠٠°م وذلك حسب المعادلات التالية:

$$Ca_3(PO4)_2 + 5CO \xrightarrow{1400^\circ م} 3CaO + 5CO_2 + P_2$$

$$5CO_2 + 5C \longrightarrow 10\,CO$$

$$Ca3(PO4)_2 + 5C \longrightarrow 3CaO + 5CO + P_2$$

تستخدم السيليكا لتحويل أكسيد الكالسيوم (CaO) إلى خبث ذو درجة انصهار منخفضة

$$CaO + SiO_2 \longrightarrow CaSiO_3$$

يمتص الخبث المذكور ($Ca\,SiO_3$) معظم الشوائب المصاحبة ماعدا الحديد ـ يتحول إلى فوسفور الحديد (Fe_2P) ـ وجزء من الفلوريد.

تتألف وحدة إنتاج الفوسفور من مفاعل كهروحراري ومرشح للغاز ثم مكثف للفوسفور، شكل (١).

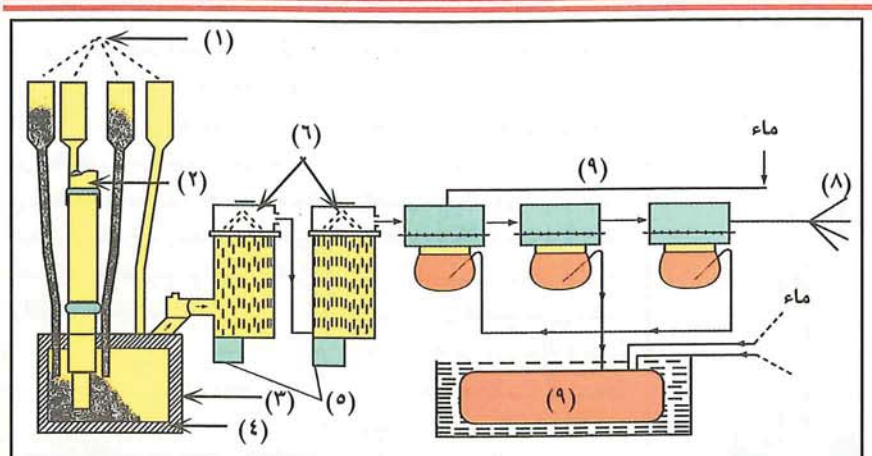
يتألف المفاعل الحراري من جدران حديدية بقطر يتراوح ما بين ٨ إلى ١٠ أمتار وارتفاع ٦م وأرضية أسمنتية، وتتوسط هذه الجدران أقطاب كهربائية نصف قطر كل منها ١,٤م. ينجم عن التفاعل تكوين غاز أول أكسيد الكربون (CO) في قاع المفاعل عند درجة حرارة ١٤٠٠ـ ١٤٥٠م مما يؤمن وجود جواً خاملاً لمنع الاشتعال أو الانفجار داخل المفاعل. وفضلاً عن ذلك يستحسن تمرير غاز حامل (مثل النيتروجين) تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي وعند درجة حرارة ٣٠٠ إلى ٤٠٠م. يتم تجميع الحديد الفوسفوري (Fe_2P) في قاع المفاعل ـ يزال كل أسبوع ـ ثم تليها طبقة من الخبث ($CaSiO_3$) تتم ازالتها كل أربع ساعات.

تنطلق الغازات الحارة لتمر على وحدتين من المنظفات الكهربائية لعزل ٩٠٪ من الغبار المصاحب لها في الوحدة الأولى، والباقي يتم التخلص منه عند مروره على الوحدة الثانية، بعدها تمرر الغازات النظيفة على ثلاثة أبراج مزودة بالماء لتكثيف الفوسفور الغازي المتصاعد على شكل فوسفور أبيض ليتم جمعه تحت سطح الماء في مستودع خاص لوقايته من الهواء.

يعد الفوسفور الأبيض الأكثر فعالية يليه الأحمر ثم الأسود ، ومن صفات الفوسفور الأحمر والأسود أنهما ثابتان في الهواء .

يتم الحصول على الفوسفور الأحمر بتسخين الفوسفور الأبيض إلى درجة حرارة ٣٥٠°م لعدة ساعات في أوتوكلاف حديدي . يحتوي الفوسفور المتحول ما بين ٠,٥ إلى ١٠,٠٪ من الفوسفور الأبيض حيث يعزل بمعالجته بمحلول هيدروكسيد الصوديوم المخفف والساخن أو ثنائي كبريتيد الكربون أو البنزين ، ومن ثم يرشح الفوسفور الأحمر في مرشحات ضاغطة ويغسل ويجفف ويعبأ في علب معدنية ، ويستخدم الفوسفور الأبيض في المصابيح المتوهجة وفي تحضير أسطح أعواد الثقاب بعد مزجه بالزجاج المطحون.

يتم الحصول على الفوسفور الأسود مبلوراً بتسخين الفوسفور الأبيض عند درجة حرارة ٢٢٠ ـ ٣٧٠°م تحت ضغط مرتفع يصل إلى ١٢٠٠ جواً لمدة ثمانية أيام في وجود الزئبق كمحفز مع قليل من الفوسفور الأسود.



١ـ مزيج المواد الأولية ٢ـ الأقطاب ٣ـ فرن الإرجاع ٤ـ حديد فوسفوري ٥ـ غبار معزول
٦ـ سيكلونات ٧ـ غواسل ٨ـ غاز أول أكسيد الكربون ٩ـ مستودع لجمع الفوسفور

● شكل (١) وحدة إنتاج الفوسفور الأبيض.

يمتاز الفوسفور الأسود عن الأشكال الأخرى للفوسفور بقدرته على نقل التيار الكهربائي.

خامس أكسيد الفوسفور

يتم تحضير خامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5) بحرق الفوسفور الأبيض ـ يستهلك حوالي ٨٥٪ من الفوسفور الأبيض لإنتاج (P_2O_5) ـ وذلك باستخدام مفاعلات كهربائية تشبه تلك المستخدمة في تحضير حامض الفوسفور ، وذلك باستخدام هواء جاف وتمريره داخل مفاعل ـ يحوي الفوسفور الأبيض ـ عند درجة حرارة ١٧٠ ـ ٢٠٠°م ، وتبرد جدرانه من الخارج بالماء لخفض درجة حرارة الغازات الناتجة ، ويتم فصل ٩٥٪ منه على شكل (P_2O_5) . ما الغازات المتبقية فترسل إلى وحدات تحضير حامض الفوسفور.

يستخدم (P_2O_5) كعامل مجفف في تفاعلات نزع الماء من المركبات العضوية، وكمادة محسنة للأسفلت ، وفي صناعة المواد الفعالة سطحيًا أثناء تحضير البلاستيك ، وفي زيوت المعالجة ، وفضلاً عن ذلك فإنه يستخدم في تحضير حامض الفوسفور بأشكاله المختلفة وذلك عند تفاعله مع الماء بنسب مختلفة.

$$P_2O_5 + 3H_2O \longrightarrow 2H_3PO_4$$
$$P_2O_5 + 2H_2O \longrightarrow H_4P_2O_7$$
$$P_2O_5 + 5H_2O \longrightarrow 2H_5P_3O_{10}$$
$$nP_2O_5\ nH_2O \longrightarrow 2(HPO_3)n$$

حامض الفوسفور

ينتج حامض الفوسفور بطريقة تهضيم معدن الأباتيت بحامض الكبريت وتسمى بالطريقة الرطبة ، وهي كما يلي :

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 + 6H_2O \longrightarrow H_3PO_4 + 3CaSO_4.2H_2O$$

كما ينتج بطريقة حرق الفوسفور الأبيض التي تم التطرق إليها سابقاً، وتسمى بالطريقة الجافة .

اسم المادة	الرمز	الاستعمال
فوسفور أبيض، فوسفور أصفر	P	مركبات الفوسفور ـ مواد خامدة للحريق
فوسفور أحمر	P	أعواد ثقاب للحريق ، مصابيح الإضاءة المتوهجة
خماس أكسيد الفوسفور	P_2O_5	مركبات الفوسفور العضوية واللاعضوية
بلا ماء حامض الفوسفور		مادة مجففة
ثالث كلوريد الفوسفور	PCl_3	مركبات الفوسفور الكلورية العضوية (POCI)
خامس كلوريد الفوسفور	PCI_5	مركبات الفوسفور العضوية
أكسي كلوريد الفوسفور	$POCl_3$	أستيرات حامض الفوسفور
رابع كبريت الفوسفور	P_4S_4	أعواد الثقاب
فوسفات الصوديوم الأحادية	NaH_2PO_4	خميرة العجين . الأغذية .
فوسفات الصوديوم الثنائية	Na_2HPO_4	الأغذية ، الأدوية ، النسيج ، سيراميك
فوسفات الصوديوم الثلاثية	Na_3PO_4	معالجة المياه ، مادة منظفة
فوسفات الأمونيوم الأولية	$NH_4H_2PO_4$	مادة مصمغة ، الخمائر ، الأسمدة
فوسفات الأمونيوم الثنائية	$(NH_4)_2HPO_4$	مادة مصمغة ، الخمائر ، الأسمدة
فوسفات الكالسيوم الأولية	$Ca(H_2PO_4)_2$	الأغذية ، الأسمدة
فوسفات الكالسيوم الثنائية	$CaHPO_4.2H_2O$	الأسمدة ، الطب البشري والبيطري ، معجون الأسنان
فوسفات الكالسيوم الثلاثية	$Ca_3(PO_4)_2$	الأدوية ، مستحضرات التجميل
بيروفوسفات الصوديوم الرباعية	$Na_4P_2O_7$	منظفات
ميتا فوسفات ، (ملح جراهام)	$(NaPO_3)y$	معالجة المياه ، دباغة الجلود ، الأغذية
ملح كورول	$(KPO_3)z$	معالجة المياه ، مادة منظفة

● جدول (١) أهم استخدامات بعض مركبات الفوسفور .

وفضلاً عن استخدام أغلب الفوسفور الأبيض في تحضير حامض الفوسفور، فإن أكثر من ٧٥٪ من معدن الأباتيت يستخدم في تحضير حامض الفوسفور الذي يدخل معظمه في صناعة الأسمدة الفوسفاتية ويستخدم الباقي مباشرة في معالجة المعادن، وصناعة الأصباغ، والنسيج، والبورسلان، والزجاج، والمواد الصيدلانية.

خامس كبريتيد الفوسفور

يتم تحضير خامس كبريتيد ـ سلفيد ـ الفوسفور (P_2S_5) بتفاعل طارد للحرارة للفوسفور السائل مع الكبريت السائل وذلك عند درجة حرارة تزيد عن ٣٠٠°م، شكل (٢)، وذلك حسب المعادلة التالية:ـ

$$2P + 5S \longrightarrow P_2S_5$$

ثم يسكب الناتج (P_2S_5) مباشرة على اسطوانات مبردة أو يقطر عند درجة حرارة ٥١٥°م.

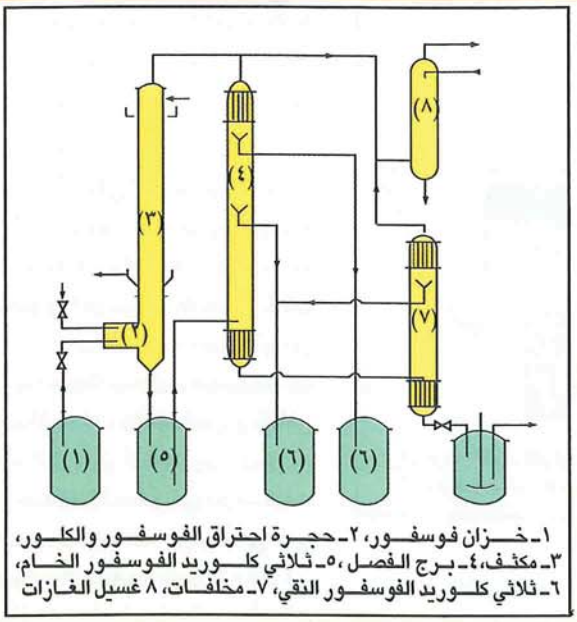
يستخدم خامس كبريتيد الفوسفور في صناعة المبيدات الحشرية (٤٠٪)، وكمواد إضافة لزيوت التزييت (٥٠٪)، وكعوامل تعويم، ولمعالجة الزيوت.

هاليدات الفوسفور

يمكن تفصيل صناعة واستخدامات أهم هاليدات الفوسفور فيما يلي:

● ثالث كلوريد الفوسفور

يحضر ثالث كلوريد الفوسفور (PCl_3) عن طريق التفاعل المباشر بين الفوسفور والكلور حيث يمرر غاز الكلور في معلق من الفوسفور يحتوي على كمية قليلة من ثالث كلوريد الفوسفور، ينجم عن التفاعل انطلاق حرارة كافية لتبخر ثالث كلوريد الفوسفور الناتج الذي يكثف جزء منه في مرحلة لاحقة بواسطة مكثفات ويستخلص الجزء الآخر بالتقطير التجزيئي، شكل(٣).



١ـ خزان فوسفور، ٢ـ حجرة احتراق الفوسفور والكلور، ٣ـ مكثف، ٤ـ برج الفصل، ٥ـ ثلاثي كلوريد الفوسفور الخام، ٦ـ ثلاثي كلوريد الفوسفور النقي، ٧ـ مخلفات، ٨ غسيل الغازات

● شكل (٣) مخطط إنتاج ثلاثي كلوريد الفوسفور.

يستخدم ثالث كلوريد الفوسفور في صناعة أوكسي كلوريد الفوسفور وحامض الفوسفور، وكمادة مثبتة للبلاستيك، وفي حماية الحبوب من الآفات، وكمانع للحريق.

● أوكسي كلوريد الفوسفور

يتم تحضير أوكسي كلوريد الفوسفور ($POCl_3$) بأكسدة ثالث كلوريد الفوسفور النقي عند درجة حرارة ٥٠ ـ ٦٠°م وتبريد الناتج، وذلك وفقًا للمعادلة التالية:

$$2PCl_3 + O_2 \xrightarrow{50-60^\circ م} 2POCl_3$$

يمكن للأكسجين أن يتفاعل لاحقاً مع أوكسي كلوريد الفوسفور المنتج لتكوين مركبات أخرى، وعليه يمكن إيقاف التفاعل غير المرغوب فيه بإضافة قليل من الكبريت، أو مركباته، أو الحديد أو النحاس مع تنقية الناتج ($POCl_3$) بالتقطير التجزيئي.

كذلك يمكن تحضير ($POCl_3$) بتفاعل خامس أكسيد الفوسفور مع ثلاثي كلوريد الفوسفور وغاز الكلور وذلك وفقًا للمعادلة التالية:

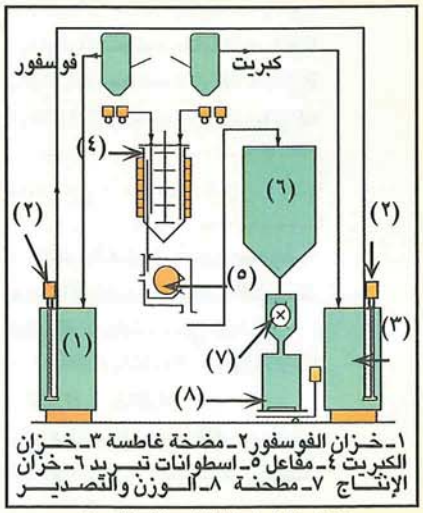
$$P_2O_5 + 3PCl_3 + 3Cl_2 \longrightarrow 5POCl_3$$

يستخدم أوكسي كلوريد الفوسفور في صناعة استرات حامض الفوسفور العطرية والأليفاتية.

● خامس كلوريد الفوسفور

يتم تصنيع خامس كلوريد الفوسفور (PCl_5) بتفاعل ثالث كلوريد الفوسفور مع الكلور وذلك وفقاً للمعادلة التالية:

$$PCl_3 + Cl_2 \longrightarrow PCl_5$$



١ـ خزان الفوسفور ٢ـ مضخة غاطسة ٣ـ خزان الكبريت ٤ـ مفاعل ٥ـ اسطوانات تبريد ٦ـ خزان الإنتاج ٧ـ مطحنة ٨ـ الوزن والتصدير

● شكل (٢) مخطط إنتاج سلفيد الفوسفور.

يتم التفاعل داخل وعاء مغلق توضع فيه مادة ثالث كلوريد الفوسفور (PCl_3) مع تحريكها ـ بواسطة خلاط ـ أثناء مرور غاز الكلور، ويتم تبريد الوعاء لمنع تبخر (PCl_3) وفصل خامس كلوريد الفوسفور بالتقطير.

يدخل خامس كلوريد الفوسفور كمادة مكلورة في الكيمياء العضوية في صناعة مركبات الفوسفور العضوية.

● سلفو كلوريد الفوسفور

يحضر سلفو كلوريد الفوسفور ($PSCl_3$) ـ كلوريد ثيو السلفوريل ـ بتفاعل كلوريد الفوسفور مع الكبريت وذلك داخل إناء ضغط بخاري ـ اتوكلاف (Autoclave) ـ عند درجة حرارة ١٨٠°م، ويتم ذلك بإمرار بخار ثالث كلوريد الفوسفور من خلال الكبريت المنصهر في وجود مادة محفزة ـ مثل ($AlCl_3$) ـ تعمل على خفض درجة حرارة التفاعل. ويتم تنقية الناتج ($PSCl_3$) بالتقطير التجزيئي.

يستخدم سلفو كلوريد الفوسفور في صناعة استير كلوريدات حامض ثيو الفوسفور التي تستخدم كمواد أولية في منتجات حماية المحاصيل الزراعية.

الأملاح الفوسفاتية

تستخدم الأملاح الفوسفاتية كأسمدة فوسفاتية تختلف نسبة أكسيد الفوسفور (P_2O_5) فيها حسب نوع الملح الفوسفاتي،

ويمكن تفصيل كيفية تصنيع الأملاح الفوسفاتية ومجالات استخدام كل منها فيما يلي:-

● فوسفات الصوديوم

ينجم عن إضافة الصودا ـ هيدروكسيد الصوديوم ـ لحامض الفوسفور تكوين ثلاثة أشكال من فوسفات الصوديوم وذلك حسب الرقم الهيدروجيني الذي يكون عليه التفاعل، فعند إضافة الصودا عند رقم هيدروجيني (P^H) =٤,٥ تتكون فوسفات الصوديوم الأحادية ($Na\ H_2PO_4$)، أما فوسفات الصوديوم الثنائية فتتكون عند رقم هيدروجيني (P^H) = ٧,٥ بينما تتكون فوسفات الصوديوم الثلاثية عند إضافة مزيد من الصودا إلى حامض الفوسفور أو فوسفات الصوديوم الأحادية أو الثنائية حتى يصل الرقم الهيدروجيني (P^H) إلى ٨,٥ ، عليه يمكن تفصيل تحضير هذه الأملاح كما يلي : ـ

*** فوسفات الصوديوم الأحادية (NaH_2PO_4) :** وتنتج من تعديل حامض الفوسفور بالصودا بالتدرج حتى يصل الرقم الهيدرجيني للناتج إلى٤,٥ (P^H=4.5) ، وتجري عملية التعديل في وعاء يحوي خلاط بحيث تضاف الصودا وهي في حالة الغليان حتى يصل الرقم الهيدروجيني الناتج إلى المقدار المطلوب ، ومن ثم يرشح الملح لفصل الشوائب ، ويتم تركيز المحلول ليصل تركيزه ما بين (٤٠ ـ ٥٠٪) ، ويبرد لتنفصل بلورات الصوديوم الأحادية وتجفف في مجففات ، ويرافق تبلور فوسفات الصوديوم الأحادية جزيء واحد أو جزيئان من الماء . ($Na\ H_2\ PO_4.\ 2H_2O$, $Na\ H_2\ PO_4.\ H_2O$)

إضافة إلى استخدامها كسماد ، تستخدم فوسفات الصوديوم الأحادية في تحضير ملحها الثنائي أو ميتا فوسفات الصوديوم أو الصوديوم المتكاثفة .

*** فوسفات الصوديوم الثنائية (Na_2HPO_4) :** ويتم تحضيرها بإضافة الصودا إلى حامض الفوسفور أو فوسفات الصوديوم الأحادية حتى يصل الرقم الهيدروجيني إلى ٧,٥ (P^H=7.5) ويتم ذلك بنفس الطريقة التي تم بها تحضير فوسفات الصوديوم الأحادية .

بعد ترشيح الناتج ثم تركيزه حتى درجة التشبع وتبريده تنفصل بلورات شفافة وحيدة الميل من فوسفات الصوديوم الثنائية المميهة إما بجزئين أو إثني عشر جزءاً من الماء . ($Na_2\ HPO_4.\ 12H_2O$, $NaHPO_4.\ 2H_2O$)

تستخدم فوسفات الصوديوم الثنائية لإزالة عسر الماء وكمادة أساس في صناعة المنظفات وتزجيج الخزف وتحضير ميتافوسفات الصوديوم .

*** فوسفات الصوديوم الثلاثية ($Na_3\ PO_4$) :** ويتم تحضيرها ، شكل (٤) ، بإضافة مزيد من الصودا إلى حامض الفوسفور أو فوسفات الصوديوم الأحادية أو الثنائية حتى يصل الرقم الهيدروجيني إلى ٨,٥ (P^H=8.5) ويرشح المحلول ويكثف حتى درجة التشبع لتكوين بلورات فوسفات الصوديوم الثلاثية [$Na\ PO_4.\ 12\ H_2O$] المميهه الإبريه ذات الإثنى عشر جزءاً من الماء الذي يمكن نزعه بالطرق الحرارية .

تستخدم فوسفات الصوديوم الثلاثية في تنظيف الأوعية من الزيوت والشحوم، وكذلك في معالجة المياه حيث أنها تحول دون تشكّل الحجر الكلسي في قدور المعالجة وذلك بتفاعلها مع كربونات الكالسيوم لتشكل فوسفات الكالسيوم الثلاثية التي لا تلتصق في قاع قدور معالجة المياه .

فوسفات الصوديوم المتكاثفة

تنحصر أملاح فوسفات الصوديوم المتكاثفة في أملاح ميتا ، وبيرو ثري بولي حامض الفوسفور ، وهي تحضر بتسخين أملاح فوسفات الصوديوم . ويمكن تفصيل صناعة واستخدامات هذه الأملاح فيما يلي : ـ

*** ميتا فوسفات الصوديوم ($NaPO_3$) :** ويطلق عليها ملح جراهام الذي يستخدم في إزالة عسر المياه .

تأتي ميتا فوسفات الصوديوم في شكل بوليمر مكون من ستة جزيئات $(NaPO_3)_6$ ، ويتم تحضيرها بطرق مختلفة منها ما يلي :

ـ نزع الماء بالتسخين من فوسفات الصوديوم الأحادية أو الثنائية

$$6NaH_2PO_4 \xrightarrow{\text{تسخين}} (NaPO_3)_6 + 6H_2O$$

$$6Na_2HPO_4 \xrightarrow{\text{تسخين}} (NaPO_3)_6 + 6NaOH$$

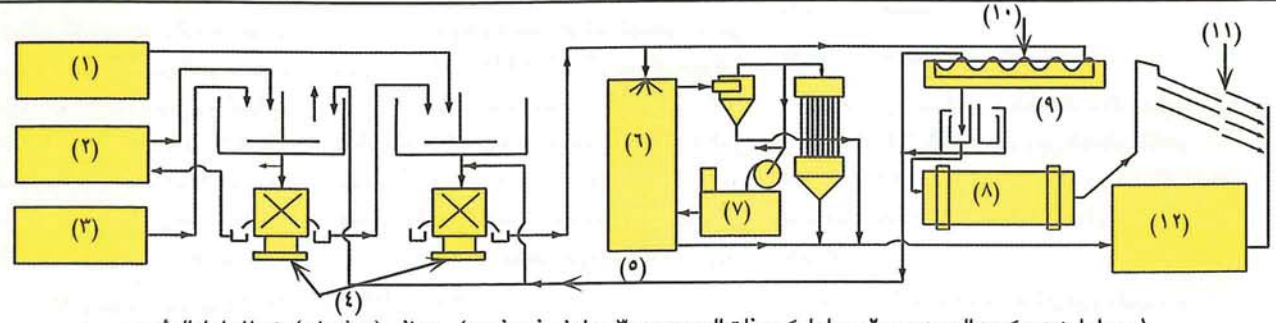
ـ تفاعل حامض ميتا الفوسفور مع أملاح الصوديوم

$$6HPO_3 + 3Na_2CO_3 \longrightarrow (NaPO_3)_6 + 3CO_2 + 3H_2O$$

ـ تفاعل فوسفات الصوديوم الثلاثية مع خامس أكسيد الفوسفور .

$$2Na_3PO_4 + 2P_2O_5 \longrightarrow (NaPO_3)_6$$

*** بيرو فوسفات الصوديوم الثنائية ($Na2H_2P_2O_7$) :** ويمكن تحضيرها بالتسخين الكهربائي لملح أورثوفوسفات الصوديوم الأحادية عند درجة حرارة



١ـ محلول هيدروكسيد الصوديوم ، ٢ـ محلول كربونات الصوديوم، ٣ـ حامض فوسفور، ٤ـ مصافي (مرشحات)، ٥ـ المحلول الرئيسي، ٦ـ ناثر ومجفف، ٦ـ مسخن هوائي، ٨ـ مجفف دوار ، ٩ـ فرازة، ١٠ـ وعاء البلورة ، ١١ـ غربال ، ١٢ـ التعبئة والإرسال.

● شكل (٤) مخطط تحضير فوسفات الصوديوم الثلاثية.

٢٠٠ ــ ٢٢٠م وذلك في أوعية فولاذية مبطنة من الداخل بالكروم ومجهزة بخلاط مقاوم للتآكل .

$$2NaH_2PO_4 \xrightarrow{٢٠٠-٢٢٠^{\circ}م} Na_2H_2P_2O_7 + H_2O$$

تستخدم بيرو فوسفات الصوديوم الثنائية في صناعة الخميرة المستخدمة في العجائن كما وتستخدم في مصانع الجبن .

*** بيروفوسفات الصوديوم الرباعية ($Na_4P_2O_7$) :** ويمكن تحضيرها بتسخين فوسفات الصوديوم الثنائية عند درجة حرارة ٣٠٠م.

$$2Na_2HPO_4 \xrightarrow{٣٠٠^{\circ}م} Na_4P_2O_7 + H_2O$$

تستخدم بيروفوسفات الصوديوم الرباعية في صناعة المنظفات ، وصباغة الألبسة (خاصة الحريرية)، وصناعة الجبن ، وفي حفر الآبار وكمادة مخثرة للدم.

*** تري بولي فوسفات الصوديوم الثلاثية ($Na_5P_3O_{10}$) :** وتحضر عن طريق تفاعل فوسفات الصوديوم الثنائية مع فوسفات الصوديوم الأحادية عند درجة حرارة ٨٥٠ ـ ١٠٠٠م باستخدام فرن دوار.

$$2Na_2HPO_4 + NaH_2PO_4 \xrightarrow{٨٥٠-١٠٠٠^{\circ}م} Na_5P_3O_{10} + 2H_2O$$

تستخدم تري بولي فوسفات الصوديوم الثلاثية في صناعة المنظفات والأغذية وصناعة البترول.

فوسفات الأمونيوم

ينجم عن تفاعل حامض الفوسفور مع النشادر (الأمونيا) تكوين ثلاثة أملاح لفوسفات الأمونيا وذلك حسب نسبة غاز النشادر لحامض الفوسفور . حيث يتكون أولاً ملح فوسفات الأمونيوم الأحادية [($NH_4H_2PO_4$)] ويرمز لها بـ (M A P) ، ثم ينجم عن اضافة مزيد من غاز التشادر إلى حامض الفوسفور تكوين ملح فوسفات الامونيوم الثنائية {($(NH_4)_2HPO_4$)} ويرمز لها بـ (D A P) ، وأخيراً يتكون ملح فوسفات الامونيوم الثلاثية [($(NH_4)_3PO_4$)] ـ يرمز لها بـ (T A P) ـ باضافة المزيد من غاز النشادر .

تعد فوسفات الأمونيوم الأحادية (M A P) والثنائية (D A P) الأكثر استخداماً واهمية في الكثير من الصناعات الكيميائية مقارنة بفوسفات الأمونيوم الثلاثية ، ولذا فسيتم التطرق لهذين الملحين ، وذلك كما يلي :ـ

● فوسفات الأمونيوم الأحادية

يتم تحضير فوسفات الأمونيوم الاحادية $(NH_4)_2HPO_4$ بتفاعل حامض الفوسفور ـ عند تركيز ٧٥٪ مع غاز النشادر وذلك بامرار الغاز على الحامض الموجود داخل ثلاثة أوعية مجهزة بخلاط يعمل على مزج الغاز والحامض جيداً حتى يصل الرقم الهيدروجيني (P^H) للخليط إلى ٤,٥.

ينجم عن تفاعل التعادل انتشار حرارة تعمل على تبخر جزء من الماء المرافق ولذلك فان المحلول يمرر على مبردات لتخفيف درجة حرارة التفاعل وتكوين بلورات ابرية من الملح الذي يجفف بعد ذلك بالهواء الساخن باستخدام مجفف دوّار .

تستخدم فوسفات الأمونيوم الأحادية بعد مزجها بكبريتات الأمونيوم لتحضير الأسمدة الفوسفورية المركبة كما تستخدم كعامل واق من الحرائق ، وصناعة الورق والأغذية والخمائر .

● فوسفات الأمونيوم الثنائية

تحضر فوسفات الأمونيوم الثنائية { $(NH_4)_2HPO_4$ } بتفاعل حامض الفوسفور المخفف مع النشادر على مرحلتين لتلافي إرتفاع درجة الحرارة الناجمة عن التفاعل التي تتسبب في ضياع جزء من غاز النشادر . يتم في المرحلة الأولى نثر النشادر في برج التعديل الأول عند درجة حرارة ٣٠م في أنبوب يتدفق فيه حامض الفوسفور المخفف ($P_2O_5 = 25\%$) ودرجة حرارة ٦٠م مع خلط المزيج وضبط الرقم الهيدروجيني (P^H) عند ٣(P^H=3) ، بعدها ينقل الناتج إلى برج التعديل الثاني حيث تنثر عليه كمية إضافية من التشادر مع خلط المزيج وضبط الرقم الهيدروجيني إلى٥,٥ ($P^H = 5.5$) ، ثم يتم نقل الناتج إلى برج تحبيب عند درجة ٦٠٠م ليتساقط رذاذ فوسفات الأمونيوم الثنائية التي تجفف ليتم سحبها من أسفل البرج لتمر من خلال مناخل لفصل الحبيبات الخشنة التي يعاد طحنها من جديد ، تم تبرد الحبيبات وتعبأ للتخزين .

تستخدم فوسفات الأمونيوم الثنائية كسماد نتروفوسفاتي ، وفي تصميغ الخشب والأنسجة ، وتحضير الخمائر .

فوسفات الكالسيوم

من أهم فوسفات الكالسيوم ما يلي :ـ

● أورثو فوسفات الكالسيوم الأحادية

تحضر أورثوفوسفات الكالسيوم الأحادية [$Ca(H_2PO_4)$] بتفاعل حامض الفوسفور النقي مع الكلس وذلك كما يلي :ـ

$$2H_3PO_4 + CaO + H_2O \longrightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O$$

تستخدم أورثوفوسفات الكالسيوم لتحضير بودرة خميرة العجين .

● أورثو فوسفات الكالسيوم الثنائية

تحضر أورثو فوسفات الكالسيوم الثنائية [$CaHPO_4 . 2H_2O$] بتفاعل حامض الفوسفور مع كربونات الكالسيوم أو هيدروكسيد الكالسيوم مع التحكم في الرقم الهيدروجيني حتى يصل إلى ٥,٧ ($P^H = 5.7$) على أن لاتتجاوز درجة الحرارة ٦٠م ، وذلك كما يلي :

$$H_3PO_4 + CaCO_3 \longrightarrow CaHPO_4 + H_2O + CO_2$$

$$H_3PO_4 + Ca(OH) \longrightarrow CaHPO_4 + 2H_2O$$

تستخدم فوسفات الكالسيوم الثنائية في الأسمدة

● فوسفات الكالسيوم الثلاثية

تحضر فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca(po_4)_2$ من تفاعل حامض الفوسفور المخفف مع هيدروكسيد الكالسيوم المخفف، وذلك وفقاً لما يلي :

$$2H_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$$

تستخدم فوسفات الكالسيوم الثلاثية في مستحضرات التجميل ، وصناعة الخزف ، ومعاجين الاسنان لاعطاء اللون الابيض الناصع .

● ميتا فوسفات البوتاسيوم

تحضر ميتا فوسفات البوتاسيوم KPO_3 بتفاعل الفوسفورين الخام الناعم مع كلوريد البوتاسيوم الذي يضاف بوساطة بخاخ إلى حجرة التفاعل المحتوية على الخام .

تستعمل ميتا فوسفات البوتاسيوم كسماد فوسفوبوتاسي.

$$6KCl + Ca_3(PO_4)_2 \longrightarrow KPO_3 + 3CaCl_2 + 2K_2O$$