

الطرائق الكروماتوغرافية العمودية – السائلة

يشمل هذا النوع من الطرائق على جميع الطرائق الكروماتوغرافية التي يستخدم فيها عمود ويكون الطور المتحرك سائل. تستخدم هذه الطرائق لفصل المواد ذات الجزيئات الكبيرة أو المواد الأيونية أو المواد غير الثابتة حرارياً، تستغرق هذه الطرائق زمناً طويلاً نظراً لأن سرعة جريان الطور المتحرك المناسبة لمثل هذه الطرائق عادة تكون بطيئة إلا أن الوضع تغير بعد اكتشاف طريقة الكروماتوغرافية السائلة عالية الأداء (ذات الضغط العالي) حيث أصبحت عملية الفصل سريعة ومنافسة لطريقة الكروماتوغرافيا الغازية.

1- الكروماتوغرافية السائلة – الصلبة (الامتزازية):

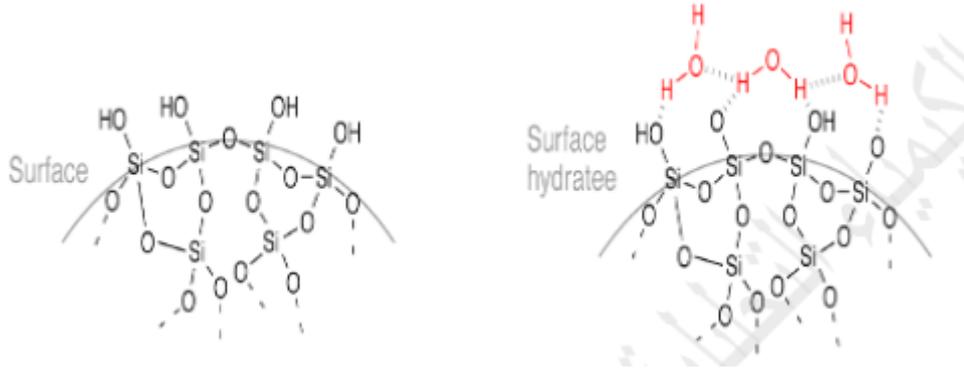
يكون الطور الثابت عبارة عن مادة صلبة قطبية تمتاز بمساحة سطحية كبيرة ونشطة بحيث تجذب وتستبقى المواد المارة من خلالها بواسطة الامتزاز (أي المواد الموجودة في الطور المتحرك) ولكن بدرجات مختلفة حسب نوع المادة وقطبيتها. وفي الحالة المثالية تكون العلاقة بين تركيز المادة في الطور المتحرك وتركيزها في الطور الثابت علاقة خطية عند درجة حرارة ثابتة. وعند التراكيز المخففة للمادة يكون منحنى الكروماتوغرام الناتج متماثل وفي هذه الحالة يكون الفصل جيداً. إلا أنه في الغالب يختلف التوزيع عند التراكيز العالية مما يؤدي إلى تغير في نسبة التوزيع بحيث يقل معامل التوزيع مع زيادة التركيز ويعود ذلك إلى تشبع سطح الطور الثابت وبالتالي تحيد العلاقة بين C_M و C_S عن الخطية ويكون منحنى الكروماتوغرام في هذه الحالة حاد في بدايته ومتدرج في نهايته (أي غير متماثل) ويؤدي ذلك إلى فصل سيء لأن السن في هذه الحالة غير حاد.

الطور الثابت الصلب:

الطور الثابت عبارة عن مادة قطبية ذات خواص امتزازية جيدة ويعتبر الألومينا وهلام السيليكا من أكثر المواد استخداماً ويمكن أيضاً استخدام الفحم وكربونات الكالسيوم والنشاء ومسحوق السيليلوز. تعتمد قوة الامتزاز على النشاط الكيميائي لسطح المادة المازة وعلى مساحة السطح ودرجة الغسل. وكلما زادت قطبية المادة زادت قوة امتزازها على سطح الطور الصلب وقل ذوبانها في الطور المتحرك الأقل قطبية.

السيليكا جل silica gel:

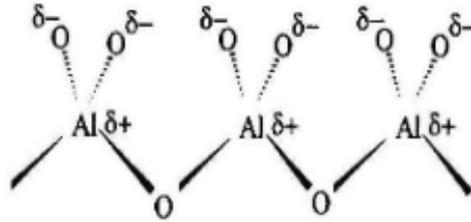
تحتوي حبيبات السيليكا على مجموعات هيدروكسيلية على سطحها والتي ترتبط بالمواد القطبية.



بنية السيليكا

الألومينا Alumina:

تحتوي على مجموعات الهيدروكسيل أو ذرات الأوكسجين مما يجعلها قطبية.



بنية ألومينا

الطور المتحرك السائل:

إن مهمة الطور المتحرك لا تنحصر في نقل المواد عبر العمود فقط بل له تأثير على معامل التوزيع وذلك يعتمد على قوة إذابته وبالإضافة إلى ذوبان المكونات في الطور المتحرك فإن هناك تنافس بين تلك المكونات وجزيئات الطور المتحرك على الامتزاز على سطح الطور الثابت الصلب.

شروط استخدام المذيب كطور متحرك:

- 1- أن لا يخرج المواد المراد فصلها من العمود بسرعة لأن ذلك لن يؤدي إلى فصلها.
- 2- أن لا تكون سرعة التخريج بطيئة لأن ذلك يؤدي إلى الحصول على أزمنة استبقاء طويلة وبالتالي يؤدي ذلك إلى تعريض السن (القمة الكروماتوغرافية) على حساب الارتفاع.
- 3- أن يكون المذيب المستخدم خالي تماماً من الشوائب التي يمكن أن تكون قطبيتها أعلى من قطبية المذيب مثل وجود الأغوال أو الحموض أو الماء في الكلوروفورم.

4- يجب عدم استخدام المذيبات التي تتأثر كيميائياً عند استخدامها مع الطور الصلب مثلاً يتبلر الأسيتون عندما يكون الطور الصلب الألومينا.

ويوجد العديد من المذيبات التي تستخدم كطور متحرك وفيما يلي نرتب بعض المذيبات حسب قطبيتها:

الترتيب من الأقل قطبية إلى الأعلى قطبية:

رابع كلور الكربون – التولوين – البنزن – الكلوروفورم – الإيتر – الأسيتون – الإيتانول – الماء.

العمود الكروماتوغرافي:

يتراوح طول العمود الزجاجي بين 10-30 cm بقطر يساوي 1cm أو أكثر، يسير الطور المتحرك عبر العمود بفعل الجاذبية أو بفعل ضغط منخفض ويعتمد معدل جريانه على حجم حبيبات الطور الصلب وعلى قطر العمود ولزوجة الطور المتحرك وقطبيته وعلى وضع الصمام الذي يوجد في نهاية العمود وفي أغلب الحالات يفضل أن يكون هذا المعدل في حدود ml/min ويوضع في نهاية العمود كمية من الصوف الزجاجي أو القطن الطبي لمنع خروج الطور الثابت من العمود.

تحليل المواد المفصولة:

هناك العديد من الطرائق التي يمكن بواسطتها تحليل المواد بعد فصلها من قبل العمود الكروماتوغرافي وأبسط هذه الطرائق تتضمن جمع المذيب المتحرك في نهاية العمود على دفعات في أنابيب اختبار وبعد ذلك نقوم بتحليل المواد في كل دفعة من هذه الدفعات باستخدام طرائق التحليل الحجمي أو الطيفي.

مثال: لدينا عينة تحوي مزيج من برمنغنات البوتاسيوم وثاني كرومات البوتاسيوم والمطلوب فصل المادتين عن بعضهما؟

الطور الثابت عبارة عن السيليكاجل والطور المتحرك هو حمض الكبريت 0.4 M. في البداية نقوم بتنشيط العمود الكروماتوغرافي أي تنشيط الطور الثابت بغسله بحمض الكبريت 0.4 M وبعد خروج كامل الحمض من العمود يتم حقن المزيج مباشرة دون أن يجف العمود وتوزيعه بشكل متجانس على كامل السطح. بعد ذلك نبدأ بعملية جرف المزيج بإضافة الطور المتحرك (حمض الكبريت) بشكل مستمر فتبدأ المادتين بالانفصال على شكل عصاباتين (نطاقين) لون عصابة برمنغنات البوتاسيوم بنفسجية ولون عصابة ثاني الكرومات البوتاسيوم أصفر برتقالي. نبدأ باستقبال عصابة برمنغنات البوتاسيوم في دورق حجمي حيث تنفصل وتخرج من العمود قبل ثاني الكرومات البوتاسيوم وعندما تنفصل كامل البرمنغنات تبدأ عصابة ثاني الكرومات بالخروج وسبب خروج برمنغنات البوتاسيوم أولاً لأنه أقل قطبية من ثاني الكرومات.

2- الكروماتوغرافيا السائلة – السائلة (الدوبانية التجزيئية):

يكون الطور الثابت عبارة عن سائل مثبت على مادة صلبة خاملة مثل سيليكاجل أو مسحوق السيليلوز أو بعض أنواع البوليميرات مثل بولي ستيرين أو التفلون أما الطور المتحرك

يكون عبارة عن سائل آخر. تمر المواد من العمود بسرعات مختلفة تعتمد على مدى ذوبان المادة في كل من الطورين الثابت والمتحرك.

هناك العديد من السوائل مثل الماء والأغوال والهيدروكربونات المختلفة التي يمكن أن تستخدم كطور ثابت أو متحرك ويشترط ألا يمتزج السائل الثابت بالسائل المتحرك وإلا فإن الطور الثابت سوف يذوب في الطور المتحرك ويخرج معه.

3- كروماتوغرافيا الاستبعاد الحجمي (كروماتوغرافيا المنخلية):

نذكر بعض المواد الهلامية المستخدمة كطور ثابت والتي تختلف عن بعضها بحجم ثقب جزيئاتها:

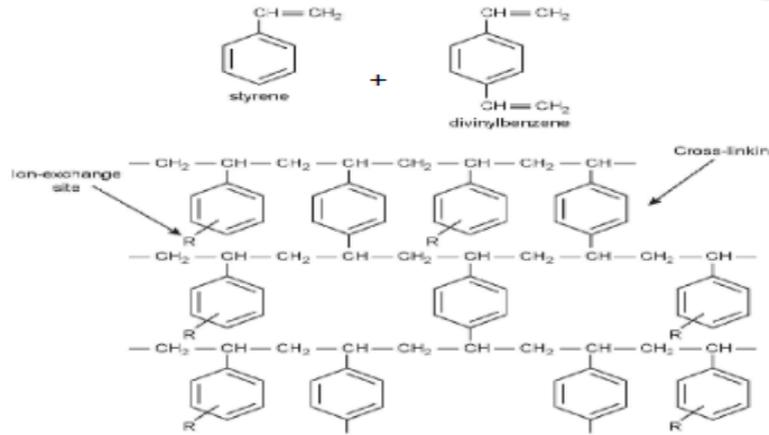
سيفادكس sephadex: مادة منخلية تستخدم لفصل البروتينات وهي مادة بوليميرية كربوهيدراتية قطبية وماصة للماء بسبب وجود زمر الهيدروكسيل على طول السلسلة البوليميرية.

الهلامة الحيوية Bio-Gel: هو بولي أكريل أميد وهي غير ذوابة في الماء والمذيبات القطبية. **هلامة البولي ستيرين Styragel**: تستخدم في عمليات الفصل اللامائية باستعمال ثنائي كلور الميثان والتولوين ورباعي هيدرو فوران وثنائي ميثيل سلفوكسيد ولا يمكن استخدامها مع الماء أو الأسيتون والأغوال.

4-كروماتوغرافيا التبادل الأيوني:

يتكون الطور الثابت هنا من مادة صلبة منفذة تحتوي على مجموعات مشحونة ثابتة مثل SO_3^- وأيونات تحمل شحنات مضادة متحركة مثل H^+ ويتم استبدال هذه الأيونات المضادة بأيونات المحلول المشابهة. ونتيجة لاختلاف ميل الطور الثابت للأيونات المختلفة فإن هذه الأخيرة تمر عبر العمود بسرعات مختلفة ويمكن تعزيز الفصل بإضافة عامل تعقيد إلى الطور المتحرك.

يتم فصل المواد بالتبادل الأيوني باستخدام عمود زجاجي معبأ بحبيبات المبادل الأيوني الصمغي المنفذة والتي تنتفخ عندما تترطب حيث يوضع جزء من محلول العينة في أعلى العمود ويتم تمرير المكونات عبر العمود بالماء أو أي مذيب آخر مناسب. وعلى الرغم من أنه يوجد بعض المواد مثل أنواع الزجاج أو الطين (الصلصال) وبعض المركبات العضوية التي يمكن استخدامها كمبادلات أيونية إلا أن أشهر المواد المستخدمة كمبادلات أيونية تلك المسماة بالمبادلات الأيونية resins وهي عبارة عن بوليمرات عضوية محضرة مثل متعدد السيتيرين polystyrene والذي يضاف له أثناء تحضيره (DVB) divinyl benzene لربط سلاسل متعدد السيتيرين المستقيمة وينتج لدينا حبيبات صغيرة مستديرة الشكل.



إن الغرض من إضافة DVB هو لربط سلاسل بوليمر متعدد السيترين والحصول على تركيب متشابك ذو ثلاثة أبعاد وصلب وغير ذائب. ولهذا فإن نسبة التشابك cross-linking مهمة جداً، ويعبر عنها بنسبة DVB الوزنية المئوية في المبادل.

إذا كانت نسبة التشابك منخفضة فإن حبيبات المبادل الأيوني تنتفخ عند تنقيعها في المذيب القطبي وتحتوي على ثقوب كبيرة (قطر المسامات كبير) وبينتها المسامية أقل كثافة مما يمكن الأيونات من الانتشار داخل تركيب المبادل ونتيجة لذلك يحدث التبادل بسرعة. أما إذا كانت نسبة التشابك كبيرة تحتوي على ثقوب صغيرة (قطر المسامات صغير) وبينتها المسامية كثيفة لا تتمكن من الانتشار داخل المبادل أي الانتفاخ يكون أقل والثقوب أصغر والتبادل أبطأ كما أن الأيونات الكبيرة لا تتمكن من الانتشار داخل تركيب المبادل ولهذا لا يحدث لها تبادل ولهذا فإن التحكم في نسبة DVB مهمة جداً أثناء تحضير المبادل.

وبشكل عام فإن المبادلات ذات الثقوب الصغيرة تناسب فصل الأيونات ذات الأوزان الجزيئية الصغيرة أما المبادلات ذات الثقوب الكبيرة تناسب فصل الأيونات ذات الأوزان الجزيئية الكبيرة.

كما أن حجم حبيبات المبادل لها تأثير على سرعة جريان الطور المتحرك وسرعة عملية التبادل. ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على انتقائية المبادل الأيوني نوع المجموعات الأيونية المثبتة (سالبة أو موجبة) وقوتها.

تنقسم المبادلات إلى نوعين رئيسيين:

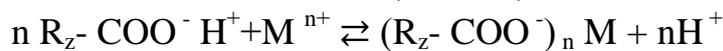
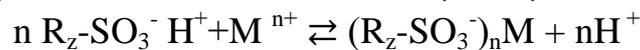
1- **المبادلات الكاتيونية:** تقوم بالتبادل مع الكاتيونات (الشرجبات) وتقسم إلى نوعين:

أ- المبادلات الكاتيونية القوية والتي تحتوي على حمض السلفونيك القوي $R_Z-SO_3^- H^+$.

ب- المبادلات الكاتيونية الضعيفة والتي تحتوي على حمض الكربوكسيل الضعيف



وهذه المجموعات الوظيفية تكون مرتبطة بنيوياً بهيكل المادة الحاملة ولا تنتقل إلى المحلول وعند إمرار محلول العينة الذي يحتوي على كاتيون M^{n+} يحدث التبادل التالي:



حيث R_Z تمثل جزيء المبادل الأيوني.

تعريف السعة التبادلية **exchange capacity** للمبادل الكاتيوني

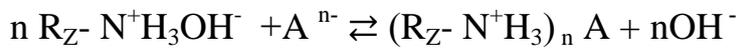
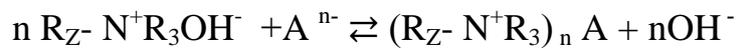
هي عدد الأوزان المكافئة من أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيل الموجودة في المبادل والقابلة للتبادل لكل وحدة حجم أو وزن من المبادل الكاتيوني.

2- المبادلات الأنيونية: تقوم بالتبادل مع الأنيونات (الشرسبات) وتقسم إلى نوعين:

أ- المبادلات الأنيونية القوية والتي تحتوي على مجموعة أساسية قوية مثل مجموعات الأمونيوم الرباعية $R_Z- N^+R_3OH^-$.

ب - المبادلات الأنيونية الضعيفة والتي تحتوي على مجموعة أساسية ضعيفة مثل $R_Z- N^+H_3OH^-$.

وهذه المجموعات الوظيفية تكون مرتبطة بنيوياً بهيكل المادة الحاملة ولا تنتقل إلى المحلول وعند إمرار محلول العينة الذي يحتوي على أنيون A^{n-} يحدث التبادل التالي:



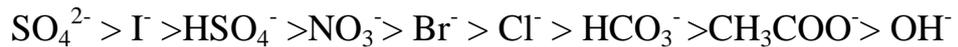
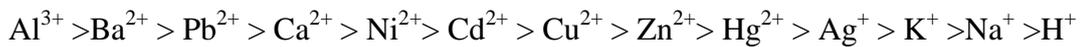
ويمكن استبدال الشكل الهيدروكسيلي بالشكل الكلوري $R_Z- N^+R_3 Cl^-$. حيث R مجموعات عضوية غالباً تكون مجموعة الميثيل.

الصفات الأساسية للمبادل الأيوني:

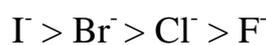
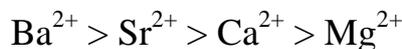
- 1- ذوبانية قليلة جداً يمكن إهمالها عن طريق وجود ترابطات عمودية كافية.
- 2- له تركيب مسامي لنفوذ الأيونات في داخل شبكته بشكل منتظم.
- 3- يجب أن يكون ثابت كيميائياً.
- 4- يجب أن يمتلك مجموعات موجبة أو سالبة فعالة قابلة للاستبدال مع الطور المتحرك.
- 5- تزداد قابلية الانتفاخ بزيادة كثافة شحنة المجموعات الفعالة.

انتقائية التبادل الأيوني:

يميل المبادل الأيوني إلى استبدال الكاتيونات تبعاً لشحنتها حسب الترتيب $1+ < 2+ < 3+ < 4+$.



وعندما تمتلك الأيونات نفس الشحنة تزداد ألفتها كلما زاد نصف القطر الفعال للأيون.



ويتم التعبير عن ميل المبادل لاستبدال أيون ما عن طريق معامل التوزع D:

$$D = \frac{C_S}{C_M}$$

C_S : تركيز الأيون في المبادل

C_M : تركيز الأيون في المحلول

ومعامل التوزع يعتمد على نسبة التشابك في المبادل وعلى التركيز الكلي للمادة المذابة وعلى نوع الأيون المستبدل وعلى قوة المجموعات الأيونية المثبتة في المبادل. كلما كان معامل التوزع كبير كلما كانت قابلية الراتنج على التبادل كبيرة.

وتكون العلاقة بين C_S و C_M علاقة خطية عند التراكيز المخففة وتكون القمم حادة ومتمائلة أما في التراكيز العالية يحدث العكس.

ويلاحظ أن قيمة D تقل مع الاستعمال الطويل للمبادل نظراً لأن الأخير يصبح مشبع بالكاتيونات ولهذا لا بد من تنشيطه من وقت لآخر وذلك عن طريق تمرير محلول حمض كلور الماء (3-4M) عبر العمود. وبالنسبة للمبادل الأنيوني ينشط عن طريق تمرير محلول هيدروكسيد الصوديوم.

كروماتوغرافيا التبادل الأيوني:

يعتمد مبدأ هذه الطريقة على نفس المبدأ السابق حيث يعبأ عمود أو أنبوب مصنوع من الزجاج أو المعدن بالمبادل الأيوني الصمغي ويمرر الطور المتحرك بفعل الجاذبية أو تحت تأثير ضغط مناسب. إن مهمة كروماتوغرافيا التبادل الأيوني تتعلق بفصل الأيونات المختلفة عن بعضها البعض من خلال استبقاء جميع الأيونات في العمود ثم يتم تغيير تركيب الطور المتحرك إما تدريجياً وبشكل مستمر أو عند مرحلة معينة يتم تغيير تركيب الطور المتحرك أو عن طريق إضافة عامل تعقيد إلى الطور المتحرك لتكوين معقدات مختلفة في الثباتية مع الأيونات المختلفة.

تطبيقات كروماتوغرافيا التبادل الأيوني:

يمكن أن تستخدم المبادلات الأيونية لتقدير تركيز الأملاح حيث يمرر محلول الملح المدروس MA_z عبر مبادل كاتيوني في الشكل الهيدروجيني H-form وعن طريق معايرة الهيدروجين المتحرر نستطيع معرفة تركيز الملح المدروس من خلال المعادلتين (1) و (2) أو عن طريق تمرير محلول الملح عبر مبادل أنيوني في الشكل الهيدروكسيلي OH-form وفي هذه الحالة نعاير أيونات OH^- المتحررة والتي تكافئ الملح من خلال المعادلتين (3) و (4). ويشترط ألا يترسب فلز الملح في الوسط القاعدي. وأيضاً تستخدم لتنقية المياه والحصول على ماء خالي من الأيونات (deionized) من خلال إمرار الماء على مبادل كاتيوني حيث تتبادل جميع الكاتيونات بالهيدروجين ومن ثم إمراره على مبادل أنيوني الذي يبادل الأيونات السالبة بالهيدروكسيد حيث تستبقى الشوائب الأيونية في العمود والمحصلة ماء خالي من الأيونات:



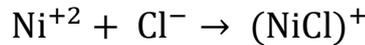
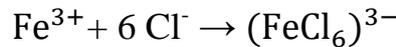
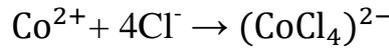
1- فصل الفلزات بالمبادل الأنيوني:

أغلب الفلزات يمكن فصلها عن بعضها باستخدام مبادل أنيوني وذلك بعد تحويلها أولاً إلى معقدات أنيونية بواسطة مفاعلتها بعوامل تعقيد سالبة الشحنة مثل Cl^- , Br^- , F^- في البداية يضاف إلى مزيج الفلزات تركيز عالي من الحمض المعقد ليكون معقدات سالبة الشحنة مع جميع الفلزات مثل إضافة حمض كلور الماء المركز (10-12M) ليكون معقدات كلورية سالبة الشحنة مع جميع الفلزات باستثناء الفلزات القلوية والقلوية الترابية و Cr^+ , Ni^{2+} , Al^{3+} ولهذا يمكن استبقاء أغلب الفلزات على مبادل أنيوني

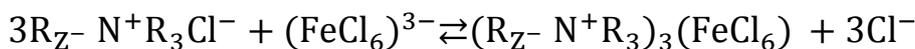
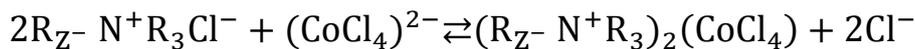
مثال:

فصل مزيج مكون من أيونات الكوبالت والنيكل والحديد باستخدام كروماتوغرافيا التبادل الأيوني:

إن المبادل المستخدم في هذه التجربة هو مبادل شرسبي كلوري من الشكل $R_Z^- N^+ R_3 Cl^-$ يتم فصل الشرجبات (Co^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+3}) باستخدام مبادل شرسبي من خلال تحويلها للمعقدات شرسبية كلورية:



يمكن تمثيل آلية تبادل التأثير بين المادة المفصولة والطور الثابت من خلال المعادلات:



إن تركيز حمض كلور الماء المناسب لإخراج المعقد المطلوب هو التركيز الذي يجعل معامل التوزع للمادة المراد فصلها أصغر أو يساوي الواحد في حين تكون معاملات التوزع لبقية المواد أكبر من الواحد

_ يتم إخراج أيونات النيكل أولاً بإضافة حمض كلور الماء عالي التركيز 12M على الرغم من إخرجه بأي تركيز للحمض لسببين أن معقد النيكل معقد شرجبي لا يتبادل التأثير مع الطور الثابت وللحفاظ على بقية المعقدات (الكوبالت والحديد) دون أن تتخرب .

- يتم إخراج أيونات الكوبالت بإضافة حمض كلور الماء عالي التركيز 4 M لسببين أن معقد الكوبالت يتخرب عند هذا التركيز ويعطي شرجبة الكوبالت التي لا تتبادل التأثير مع الطور الثابت وبالتالي تخرج من العمود وللحفاظ على معقد الحديد دون أن يتخرب .

- يتم إخراج أيونات الحديد بإضافة حمض كلور الماء عالي التركيز 0.5M لأن معقد الحديد يتخرب عند هذا التركيز ويعطي شرجبة الحديد التي لا تتبادل التأثير مع الطور الثابت.

قبل إجراء عملية الفصل يجب القيام بما يلي:

1- إضافة محلول KCl وذلك لإمكانية وجود بعض الشوائب التي حلت محل Cl^- في المبادل الشرسبي ولم تخرج وبما أن KCl كهربي قوي فهو قادر على خسارة Cl^- بسهولة لتحل محل الشائبة مما يؤدي لتنشيط العمود أي إشباع كامل سطح الطور الثابت بـ Cl^-

2- غسل الطور الثابت بالطور المتحرك من أجل تنشيط العمود تأمين الألفة أو علاقة ثابتة بين الطور الثابت والطور المتحرك وحيث أنه عند حقن العينة تصبح العلاقة المتغيرة بين مادة العينة والطورين وتبقى العلاقة ثابتة بين الطورين

ملاحظة

يفضل في الكروماتوغرافيا بشكل عام أن يستخدم الطور المتحرك نفسه كمذيب لتحضير المحاليل وذلك من أجل:

1- تفادي وجود تشويش ناتج عن خلفية العينة الذي قد ينتج تبادل التأثير بين الخلفية والعمود مما يؤدي إلى ظهور قسم في الكروماتوغرام يؤثر على القمم الخاصة بالمواد المفصولة وتشوش عليها.

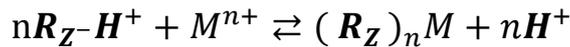
2- إلغاء ما يسمى ببيك النظام أو قمة الخلفية التي تنتج عن خروج مكونات الخلفية في نفس الوقت في البداية لكونها لا تتبادل التأثير مع العمود أي تتشكل قمة إضافية غير القمم العائدة للمواد المفصولة وغالباً ما تكون ببيك النظام في أول قمة.

وتعتمد آلية الفصل في الكروماتوغرافيا الأيونية على:

- 1- التبادل الأيوني بين الأيون المدروس والأيون المتحرك على هيكل الريزين
- 2- قوة الرابطة الأيونية (الشاردية) بين الأيون المدروس والأيون الثابت على سطح الريزين
- 3- درجة التشابك

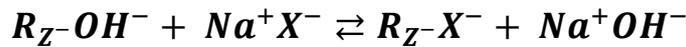
2- فصل الفلزات بالمبادل الكاتيوني

يمكن فصل بعض الأيونات مثل $\text{Cu}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ ، Bi^{3+} باستخدام مبادل كاتيوني ومحلول حمض بروم الماء HBr كطور متحرك في البداية يكون تركيز الحمض مخففاً جداً لذا تستبقى جميع تلك الفلزات على المبادل أي تستبدل مع أيونات الهيدروجين. وبزيادة تركيز حمض HBr نجد أن الأيونات تخرج الواحد تلو الآخر نتيجة لتكوين معقدات متعادلة مثل CdBr_2 أو سالبة مثل $(\text{CdBr}_4)^{2-}$. كما أن زيادة تركيز أيونات الهيدروجين سوف يزيح التفاعل الآتي إلى اليسار ويخرج البزموت عند التركيز HBr (0.2 M) أما الكاديوم يخرج عند HBr (0.5 M). ويبقى النحاس الذي يخرج باستخدام HNO_3 (2.5M)

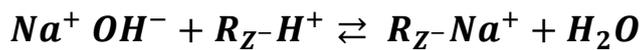


3- فصل الأنيونات:

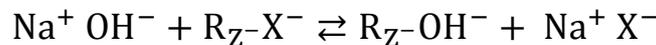
يوجد جهاز كروماتوغرافي خاص لفصل الأنيونات عن بعضها في دقائق وبقياس التغير في تراكيز الناقلية الكهربائية للطور المتحرك الخارج من العمود نستطيع تحديد تراكيز تلك الأنيونات المفصولة ويتكون الجهاز من عمود يحتوي على مبادل أنيوني يليه عمود يحتوي على مبادل كاتيوني ثم كاشف لقياس الناقلية الكهربائية. في البداية يمرر المحلول الذي يحتوي على مزيج من الأنيونات مثل SO_4^{2-} ، Cl^- ، F^- والتي نرسم لها X^- تتبادل تلك الأنيونات على المبادل الأنيوني وفق التفاعل:



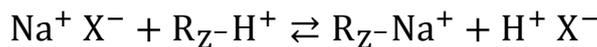
حيث أن Na^+ ، X^- تمثل ملح الأنيون وحتى لا تؤثر أيون OH^- المتحرر على الناقلية الكهربائية يمرر الطور المتحرك الذي يحوي OH^- على مبادل كاتيوني حيث يتحول OH^- إلى الماء



وبعد ذلك يمرر محلول NaOH على المبادل الأنيوني حيث يحدث تفاعل الاستبدال :



وعندما يمر $Na^+ X^-$ على المبادل الكاتيوني يحدث التفاعل الآتي :



والغرض من المبادل الكاتيوني التخلص من OH^- و Na^+ حتى لا تؤثر على الناقلية الكهربائية

مسألة 1:

أخذ 3 g من عينة تحوي سكر و نترات البوتاسيوم وحلت في دورق سعة 100 ml بعد ذلك مرر المحلول الناتج على مبادل أيوني. إذا علمت أنه تم معايرة أيون الهيدروجين المتحرر

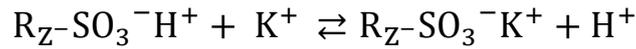
والموجود في الطور المتحرك الخارج من العمود بحجم 5.3ml من محلول NaOH تركيزه 0.01 N.

1- ما هو نوع المبادل المستخدم؟ واكتب معادلة التفاعل الحاصلة؟

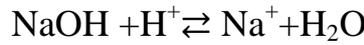
2- احسب النسبة المئوية لنترات البوتاسيوم في العينة؟

الحل :

1- المبادل المستخدم هو المبادل الكاتيوني من الشكل الهيدرجيني



2- تتم معايرة أيون الهيدروجين وفق المعادلة :



وبالتالي:

$$N = \frac{5.3 \times 0.01}{100} = 0.00053$$

تحسب النسبة المئوية لأيونات البوتاسيوم من القانون:

$$C\% = N \times E \times \frac{V}{1000} \times \frac{100}{a}$$

$$C\% = 0.00053 \times 101 \times \frac{100}{1000} \times \frac{100}{3}$$

$$C\% = 0.1784\%$$

مسألة ٢:

تم رج 1g من راتنج أيوني رطب وبعد تجفيفه كان وزنه 0.5 g بشكل H-form مع 100ml من محلول يحوي على أيونات الصوديوم بتركيز 0.1 M وبعد إزاحة الصوديوم من المبادل بواسطة حمض كلور الماء تركيزه 2M وجد أن 100 ml من الصوديوم المزاح تركيزه 0.075 M

- احسب سعة المبادل؟

الحل:

عدد ميلي مولات الصوديوم قبل الاستبدال:

$$n \text{ (mmol)} = 0.1 \times 100 = 10 \text{ mmol}$$

عدد ميلي مولات الصوديوم بعد الاستبدال:

$$n \text{ (mmol)} = 0.075 \times 100 = 7.5 \text{ mmol}$$

عدد ميلي مولات الصوديوم المأخوذة من قبل الراتنج:

$$10 - 7.5 = 2.5 \text{ mmol}$$

السعة التبادلية = $\frac{\text{كمية المادة المأخوذة}}{\text{وزن المبادل الجاف}}$

$$T.C = \frac{2.5}{0.5} = 5 \text{ mmol/g}$$