



الكيمياء

المقايير الفيزيائية المرشبة بكمية المادة

التركيز والمحاليل الإلكتروليتية

الأولى بكالوريا علوم رياضية وتجريبية

الأستاذ : علال محداد

<http://sciencephysique.ifrance.com>

I - الجسم الصلب الأيوني

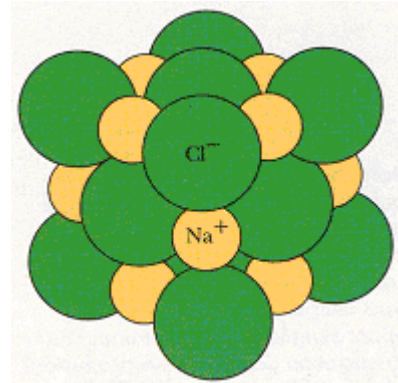
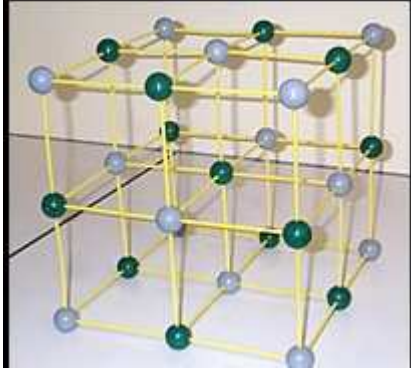
أمثلة لأجسام صلبة أيونية :

بلورات كلورور الصوديوم وفليورور الكالسيوم

تتكون بلورات كلورور الصوديوم في الحالة الصلبة من أيونات الصوديوم Na^+ وأيونات Cl^- الكاتيونات .

تتكون بلورات فليورور الكالسيوم في الحالة الصلبة من أيونات الكالسيوم Ca^{2+} ومن أيونات فليورور F^-

يعطي الشكل 1 نموذج بلورات كلورور الصوديوم والشكل 2 نموذج بلورات فليورور الكالسيوم .



كيف تنتظم هذه الأيونات في الجسم الأيوني ؟

تنضيد منظم للأيونات الموجبة والأيونات السالبة حيث تحتل مراكز الأيونات كل رؤوس ومراكز أوجه مكعبات متجاورة :

هذا التوزيع المنظم للأيونات يكون شبكة بلورية مكعبة Réseau cristallin cubique .

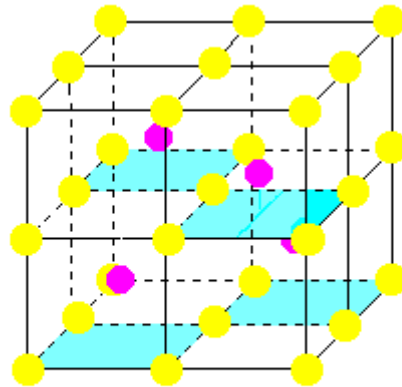
يلاحظ أن هذه البلورات متماسكة فيما بينها . فكيف يتحقق هذا التماسك ؟

من خلال الشبكة البلورية يلاحظ أن كل أيون موجب محاط بعدد من الأيونات السالبة وكذلك كل أيون سالب محاط بعدد من الأيونات الموجبة .

حسب التأثيرات الكهروساكنة (التأثيرات الكولومبية) كل أيون موجب يجذب الأيونات السالبة المحاطة به وكل أيون سالب يجذب الأيونات الموجبة المحاطة به . وهذا التجاذب الكهربائي يضمن تماسك الشبكة البلورية وبالتالي تماسك الجسم الصلب الأيوني .

الجسم الصلب الأيوني متعادلا كهربائيا .

نفس التفسير بالنسبة لبلورات فليورور الكالسيوم



Ca⁺⁺ توجد في مراكز المكعبات الجزئية
أساسها ملون بالأزرق

ما هي الصيغة الكيميائية لجسم صلب أيوني ؟

بلورة كلورور الصوديوم تحتوي على نفس العدد من الأيونات Cl^- والأيونات Na^+ إذن فالصيغة الكيميائية لهذا الجسم

الأيوني هي : $NaCl$

بالنسبة لبلورة فليورور الكالسيوم فكل أيون كالسيوم Ca^{2+} يكون مرفقا بأيونين من الفليورور F^- وبالتالي فالصيغة

الكيميائية لهذه الجسم هي CaF_2 . وتسمى هذه الصيغة بالصيغة الإحصائية لجسم الصلب الأيوني وهي تدل على نسبة

وطبيعة الأيونات دون الإشارة إلى شحنتها .

II - الحصول على محلول إلكتروليتي

1 - الميزة الثنائية القطبية لجزيئة

* جزيئة كلورور الهيدروجين . صيغتها الكيميائية HCl

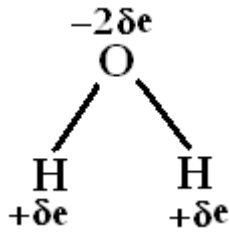
نوع الرابطة بين ذرتي الهيدروجين والكلور رابطة تساهمية ناتجة عن زوج إلكتروني مشترك تساهم فيه كل ذرة بإلكترون واحد . تجريبيا فإن هذا الزوج الإلكتروني غير موزع بالتساوي بين الذرتين فهو إحصائيا أقرب إلى ذرة الكلور لكونها أكثر كهر سلبية من ذرة الهيدروجين . (فحسب الترتيب الدوري للعناصر الكيميائية أن العناصر الأكثر كهر سلبية تتزايد من اليسار نحو اليمين ومن الأسفل نحو الأعلى للترتيب الدوري)

يؤدي هذا التوزيع اللاتماثل للزوج إلى ظهور شحنة جزئية $+δe$ بحيث أن $0 < δ < 1$ ، على ذرة الهيدروجين وشحنة جزئية سالبة $-δe$ على ذرة الكلور : نقول أن الرابطة $H-Cl$ مستقطبة .



كذلك أن مرجح الشحن الموجبة لا ينطبق مع مرجح الشحن السالبة .
إذن جزيئة كلورور الهيدروجين لها ميزة ثنائية القطبية .

* جزيئة الماء



تتكون جزيئة الماء من ذرة أكسجين وذرتي هيدروجين : صيغتها الكيميائية H_2O
تموضع ذرة الأكسجين وذرة الهيدروجين في جدول الترتيب الدوري للعناصر يتبين أن الأكسجين أكثر كهر سلبية من الهيدروجين لهذا فالزوجين الإلكترونيين للرابطين يكونا أقرب إلى ذرة الأكسجين من ذرة الهيدروجين ، إذن الرابطة $O-H$ مستقطبة . حيث تحمل ذرة الأكسجين $-2δe$ وكل ذرة هيدروجين $+δe$

وبما أن جزيئة الماء مكوعة فإن مرجح الشحن الموجبة لا ينطبق مع مرجح الشحن السالبة :
إذن فجزيئة الماء قطبية

الماء مذيب قطبي ، لأنه يتكون من جزيئات قطبية .

2- ذوبانية جسم صلب أيوني في الماء

تجربة 1: ذوبان بلورات كلورور الصوديوم في الماء

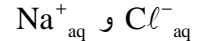
ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه :

نضيف في الحوض كمية قليلة من بلورات كلورور الصوديوم ونحرك لتسهيل ذوبان كلورور الصوديوم في الماء .

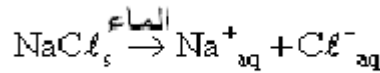
نلاحظ أن جهاز الأمبير متر يشير إلى مرور تيار كهربائي .
استنتاج : محلول كلورور الصوديوم يوصل التيار الكهربائي أكثر من الماء المقطر . إذن فهو يحتوي على أيونات التي تؤكد مرور التيار الكهربائي :

نقول أن محلول كلورور الصوديوم محلولاً إلكتروليتيًا .

عند وجود بلورات كلورور الصوديوم في الماء فإن الخاصية أو الميزة القطبية للماء تضعف التأثيرات الكهربائية بين الأيونات حيث تصبح كل أيون محاط بعدد محدود من جزيئات الماء . نقول أنها أصبحت متميهة hydraté وهذا يؤدي إلى تحطم البناء البلوري لكلورور الصوديوم فنحصل على محلول كلورور الصوديوم والذي يتكون أساسا من أيونات



تكتب معادلة التفاعل الموافقة لذوبان كلورور الصوديوم في الماء كالتالي :

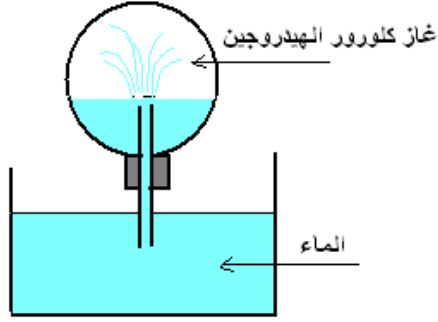


نرمز لمحلول كلورور الصوديوم ب $Na^+_{aq} + Cl^-_{aq}$
أو باختصار $Na^+ + Cl^-$

تجربة 2 : ذوبان غاز ثنائي كلورور الهيدروجين في الماء

هل المحلول المائي لكلورور الهيدروجين إلكتروليتي ؟

عند حصر حجم من غاز كلورور الهيدروجين في حوجة وإحكام سدها بواسطة سدادة تحتوي على أنبوب أنظر الشكل



نقلب الحوجلة في حوض يحتوي على الماء .
 نلاحظ أن الماء يصعد بسرعة متدفقا في الحوجلة على شكل نافورة . نغمر
 قطعة من ورق pH في المحلول المحصل عليه فنلاحظ أن $pH < 7$.
 نأخذ قليلا من المحلول المحصل عليه ونضيف إليه بضع قطرات من محلول
 نترات الفضة فنلاحظ تكون راسب أبيض .
فسر نافورة الماء في القارورة .

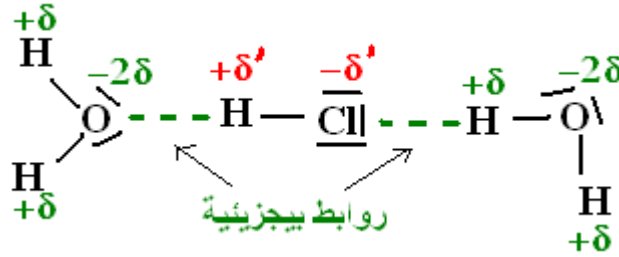
ما هي الأنواع الكيميائية الأساسية التي يحتوي عليها المحلول المائي
 المحصل عليه ؟

* عند ذوبان قليل من كلورور الهيدروجين غاز في قطرات من الماء ينخفض
 الضغط في الحوجلة يكون أصغر من الضغط الجوي مما ينتج عنه صعود
 الماء بقوة . نقول أن كلورور الهيدروجين شديد الذوبان في الماء .

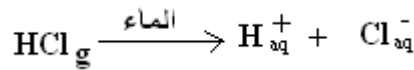
* $pH < 7$ يدل على أن المحلول المحصل عليه حمضي أي أنه يحتوي على أيونات H^+ المميهة ونرمز لها بـ
 H^+_{aq} ويسمى المحلول المحصل عليه محلول حمض الكلوريدريك .

* يدل الراسب الأبيض لكلورور الفضة على أن المحلول المحصل عليه يحتوي على أيونات الكلور Cl^- المميهة نرمز لها
 بـ Cl^-_{aq} .

أثناء الذوبان يحدث تحول كيميائي نتيجة التأثيرات البنينة بين جزيئات الماء القطبية و جزيئات كلورور الهيدروجين القطبية
 كذلك حيث تقام روابط بيجزيئية والتي تضعف كثيرا الرابطة التساهمية $H-Cl$ فتتكسر وتؤدي إلى ظهور أيونات مميهة
 H^+_{aq} و Cl^-_{aq}



تكتب معادلة التفاعل الموافقة لذوبان كلورور الهيدروجين في الماء كالتالي :



محلول المائي لكلورور الهيدروجين هو اليكتروليتا .

تجربة 3 : ذوبان حمض الكبريتيك في الماء

حمض الكبريتيك الخالص سائل جزيئي صيغته الكيميائية H_2SO_4

تجربة : عند إضافة 10ml من حمض الكبريتيك الخالص المركز إلى 100ml من الماء المقطر ومنتجع درجة حرارة
 المحلول بواسطة محرار ترتفع درجة الحرارة و نحصل على محلول مائي لحمض الكبريتيك .

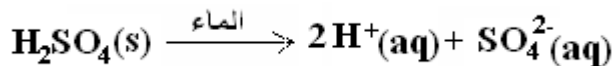
من ماذا يتكون هذا المحلول ؟

* ارتفاع درجة الحرارة يدل على حدوث ذوبان حمض الكبريتيك في الماء .

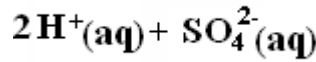
* نجري على المحلول رائز pH فنلاحظ أن المحلول المحصل عليه حمضي أي أنه يحتوي على الأيونات H^+ المميهة :
 $H^+_{(aq)}$.

* نضيف إلى أنبوب اختبار يحتوي على محلول كلورور الباريوم قطرات من محلول حمص الكبريتيك نلاحظ تكون راسب
 أبيض $BaSO_4$ مما يدل على وجود أيونات الكبريتات SO_4^{2-} .

معادلة التفاعل الموافق لهذا الذوبان هو :



صيغة المحلول المائي لحمض الكبريتيك هي :



III - التركيز المولي .

1 - التركيز المولي للمذاب المستعمل أو التركيز المولي لمحلول إلكتروليتي
 نرسم له ب $C(X)$ بحيث X المذاب المستعمل ونعبر عنه بالعلاقة التالية :

$$C(X) = \frac{n(X)}{V}$$

$n(X)$ كمية مادة المذاب و V حجم المحلول غير المشبع المحصل عليه .

2- التركيز المولي الفعلي أو التركيز المولي للأنواع الكيميائية الموجودة في المحلول :
 يرمز له ب $[X]$ بحيث X النوع الكيميائي الموجود في المحلول . ونعبر عنه بالعلاقة :

$$[X] = \frac{n(X)}{V}$$

$n(X)$ كمية مادة النوع الكيميائي الموجود في المحلول و V حجم المحلول .

3 - العلاقة بين التركيز المولي والتركيز الكتلي .

نعلم أن التركيز الكتلي $C_m(X) = \frac{m(X)}{V}$ وأن التركيز المولي $C(X) = \frac{n(X)}{V}$ وبما أن

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)} \Rightarrow m(X) = n(X) \cdot M(X)$$

$$C_m(X) = C(X) \cdot M(X)$$

$M(X)$ الكتلة المولية ل X .

4 - تمرين تطبيقي :

نحصل على حجم $V = 50\text{ml}$ من محلول S بإذابة كتلة $m = 2,2\text{g}$ من كبريتات الألومنيوم المميّه
 $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 14\text{H}_2\text{O})$.

1 - أحسب الكتلة المولية لكبريتات الألومنيوم المميّه .

2 - أحسب التركيز المولي للنوع المذاب .

3 - أكتب معادلة الذوبان واستنتج التراكيز المولية الفعلية للأيونات الناتجة .

الحل :

1 - الكتلة المولية لكبريتات الألومنيوم المذاب : $M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 14\text{H}_2\text{O}) = 594\text{g/mol}$

2 - التركيز المولي للنوع المذاب :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{m}{V \cdot M} = 7,40 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$$

3 - معادلة الذوبان :

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 14\text{H}_2\text{O}$	$\xrightarrow{\text{الماء}}$	2Al^{3+}	$+ 3\text{SO}_4^{2-}$	$+ 14\text{H}_2\text{O}$	التقدم	
$0,370 \cdot 10^{-2}$		0	0	المذيب	0	الحالة البدئية mol
$0,370 \cdot 10^{-2} x_{\text{max}}$		$2x_{\text{max}}$	$3x_{\text{max}}$	المذيب	x_{max}	الحالة النهائية mol

ذوبان كبريتات الألومنيوم في الماء هو تفاعل تام

تركيز المولي للمذاب هو $C = 7,40.10^{-2} \text{ mol/l}$ أي أن عدد المولات الموجودة في 50 ml هي $x_{max} = 0,370.10^{-2} \text{ mol}$ أي أن تقدم التفاعل $n_0 = C.V = 7,40.10^{-2}.50.10^{-3} = 0,370.10^{-2} \text{ mol}$

وبالتالي وحسب جدول تقدم التفاعل فإن :

$$n(\text{Al}^{3+}) = 2x_{max} = 0,74.10^{-2} \text{ mol}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 3x_{max} = 1,11.10^{-2} \text{ mol}$$

ومنه نستنتج التراكيز المولية الفعلية :

$$[\text{Al}^{3+}] = \frac{n(\text{Al}^{3+})}{V} = 1,48.10^{-1} \text{ mol/l}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{n(\text{SO}_4^{2-})}{V} = 2,22.10^{-1} \text{ mol/l}$$

IV - تطبيقات لتتبع تفاعل كيميائي

1 - تطور مجموعة خلال تحول كيميائي

تجربة : التفاعل بين محلول مائي لنترات الكالسيوم ومحلول مائي لفوسفات الصوديوم .

نصب في كأس حجما $V_1 = 20 \text{ ml}$ من محلول S_1 لنترات الكالسيوم تركيزه $C_1 = 0,20 \text{ mol/l}$ $\text{Ca}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$

نضيف إليه حجما $V_2 = 15 \text{ ml}$ من محلول S_2 لفوسفات الصوديوم $3\text{Na}^+ + \text{PO}_4^{3-}$ تركيزه $C_2 = 0,20 \text{ mol/l}$

نلاحظ تكون راسب أبيض فوسفات الكالسيوم $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ نرشح الخليط ونصب جزء في أنبوب اختبار T_1 والجزء

الأخر في أنبوب اختبار T_2 .

نضيف إلى الأنبوب T_1 بعض قطرات نترات الفضة $\text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$ نلاحظ تكون راسب أصفر .

نضيف إلى الأنبوب T_2 بعض قطرات من محلول كربونات الصوديوم $2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ ، نلاحظ عدم ظهور أي راسب .

استثمار :

1 - أحسب كمية مادة هذه الأنواع الكيميائية الموجودة في الكأس قبل ظهور راسب فوسفات الكالسيوم .

$$n_1(\text{Ca}^{2+}) = C_1.V_1 = 0,2.20.10^{-3} = 4 \text{ mmol}$$

$$n_1(\text{PO}_4^{3-}) = C_2.V_2 = 0,2.15.10^{-3} = 3 \text{ mmol}$$

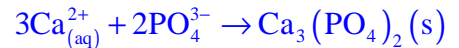
2 - أجرد الأنواع الكيميائية المتواجدة في الكأس بعد ظهور الراسب .

الأنواع الكيميائية الموجودة في الكأس بعد ظهور الراسب :

فوسفات الكالسيوم $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(s)$ ، Na^+ ، NO_3^- ، بينما CO_3^{2-} تفاعلت كليا .

أي أن التفاعل تام بحيث أنه اختفي إحدى المتفاعلات كليا خلال التفاعل .

3 - أكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الحاصل بين المحلولين S_1 و S_2 .



أ - تقدم التفاعل :

تعريف : تسمى كمية المادة x ، تقدم التفاعل ويعبر عنها بالمول mol .

يمكن تقدم التفاعل من تحديد كميات مادة مختلف الأنواع الكيميائية المساهمة في التفاعل خلال تطور كيميائي .

ب - الجدول الوصفي وحصيلة المادة .

4 - أنسى جدول التقدم بالنسبة للتفاعل الكيميائي الحاصل بين S_1 و S_2

$3\text{Ca}_{(aq)}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(s)$	التقدم	
4,0mmol 3,0mmol 0	0	الحالة البدئية
4,0-3x 3,0-2x x	x	خلال التحول
4,0-3x _{max} 3,0-2x _{max} x _{max}	x _{max}	الحالة النهائية
0mmol 0,34mmol 1,33mmol	1,33mmol	حصول المادة

5 - حدد التقدم الأقصى والمتفاعل المحد اعتمادا على الطريقة الحسابية تم الطريقة المبيانية .
الطريقة الحسابية :

نفترض أن التفاعل المحد هو PO_4^{3-} أي أن

$$3 - 2x_{\max} = 0 \Rightarrow x_{\max} = 1,5\text{mmol}$$

إذا كان هو Ca^{2+} :

$$4 - 3x_{\max} = 0 \Rightarrow x_{\max} = 1,33\text{mmol}$$

وبالتالي فإن تالمتفاعل المحد هو Ca^{2+}

نعرف الحالة النهائية لمجموعة كيميائية الحالة التي يتوقف فيها المجموعة عن التطور . عندما يختفي كليا أحد المتفاعلات ويسمى هذا المتفاعل بالمتفاعل المحد . في هذه الحالة يساوي التقدم النهائي التقدم الأقصى x_{\max} .

6 - أعط حصول المادة لهذا التفاعل .

أنظر الجدول الوصفي للتفاعل .

ج - الخليط الستوكيومترى

يكون الخليط ستوكيومترى ، إذا كانت كميات المادة البدئية للمتفاعلات متوفرة حسب معاملات استوكيومترية للمتفاعلات في المعادلة .

في الحالة النهائية ، تختفي المتفاعلات كليا .

2- تحديد ضغط غاز .

ندخل في حوجة قطعة من فلز الزنك Zn كتلتها $m = 0,11\text{g}$ ونضيف إليها 20ml من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه $C = 5,00.\text{mol}/\ell$. بواسطة جهاز مانومتر لقياس الضغط p ، نقيس ضغط الغاز المحصل عليه خلال هذه التجربة حيث نسجل الضغط النهائي p_f عند توقف انتشار الغاز المحصل عليه .

في ظروف التجربة : يحتل الغاز المتكون الحجم $V = 1,1\ell$ عند درجة الحرارة $T = 293\text{K}$.

الضغط البدئي في الحوجة هو ضغط الهواء $p_i = 1025\text{hPa}$.

1 - ما هو الغاز المحصل عليه خلال هذا التفاعل ؟

الغاز المحصل عليه خلال هذا التفاعل هو غاز ثنائي الهيدروجين $\text{H}_2(g)$

2 - أكتب المعادلة الكيميائية الحويلة لهذا التفاعل .



3 - أحسب كمية المادة البدئية للمتفاعلات . تم أنشئ جدول لتقدم التفاعل واستنتج التقدم الأقصى والمتفاعل المحد لهذا التفاعل .

كميات المادة البدئية للمتفاعلات :

$$n_i(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_i(\text{H}^+) = C \cdot V = 5,020 \cdot 10^{-3} = 0,10 \text{ mol}$$

Zn	+ 2H ⁺	→	Zn ²⁺	+	H ₂	التقدم	
1,7.10 ⁻³ mol	0,10 mol		0		0	0	الحالة البدئية
1,7.10 ⁻³ x	0,10-2x		x		x	x	خلال التحول
1,7.10 ⁻³ x _{max}	0,10 -2x _{max}		x _{max}		x _{max}	x _{max}	الحالة النهائية
0 mol	0,098 mol		1,7.10 ⁻³ mol		1,7.10 ⁻³ mol	1,7.10 ⁻³ mol	حصيلة المادة

4 - أعط حصيلة المادة لهذا التفاعل واستنتج ضغط الحالة النهائية .
انطلاقاً من معادلة الغازات الكاملة يمكن حساب ضغط ثنائي الهيدروجين داخل القنينة :

$$p(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2) \cdot RT}{V} = 37,65 \text{ hPa}$$

وبالتالي الضغط في الحالة النهائية هو : $p_f = p(\text{H}_2) + p_{\text{air}} = 1062,65 \text{ hPa}$

خلاصة

تمكن المقادير الكيميائية المرتبطة بكمية المادة من توقع كتلة وضغط وحجم المتفاعلات والنواتج .