قياس كميات المادة

لماذا نقيس في الكيمياء؟

من خلال برنامج السنة الأولى تعرفنا على كمية المادة أنها مقدار فيزيائي نعبر عنها بالمول (mole).
في معيشنا اليومي تتجلى أهمية معرفة كمية المادة في ميادين مختلفة منها:

- **لنعلم المستهلك بطبيعة و تركيب الأنواع الكيميائية المتواجدة في منتوج من خلال لصيقة: مثل تركيب الحليب المعقم**

البروتينات	3,2g
الدهنيات	1,5g
السكريات	4,6g
الكالسيوم	120mg

- **مراقبة نوعية و جودة مادة معينة (حليب، ماء، هواء....) باعتماد الكثافة و Ph:**
- **بقياس كثافة و حموضة الحليب يمكن تحديد طراوته و جودته (هل تم إضافة الماء له أم لا)**
- **الماء الصالح للشرب يخضع لتحاليل و قياسات تسمح بتعين المواد العالقة التي كميتها لا يجب أن تتجاوز عتبة معينة و تحاليل بيوكيميائية قرب الأراضي الزراعية أين تستعمل الأسمدة التي يجب ألا تتعدى كمية النترات 50µg في اللتر الواحد من الماء.**
- **تحاليل الم و البولة في الميدان الطبي.**
- **تمكن القياسات في الكيمياء من مراقبة تلوث الهواء بدراسة الغازات المنبعثة من المصانع و السيارات، تتبع صحة الإنسان، مراقبة نوعية وجودة المواد الغذائية. في مراقبة تطور تحول كيميائي، المقادير الفيزيائية القابلة للقياس هي: الكتلة، الحجم و التركيز المولي.**

تعيين كميات المادة

1) من كتلة نوع كيميائي:

كمية المادة للنوع X تعطى بالعلاقة:

$$n(X)=\frac{m(X)}{M(X)}$$ حيث:

n(X) كمية مادة النوع X بـ: mol.
m(X) كتلة النوع X بـ: g.
M(X) الكتلة المولية للنوع X بـ: g/mol

ملاحظات:

- إذا كان النوع X عبارة عن ذرة فان M(X) تعطى من الجدول الدوري لتصنيف العناصر الكيميائية.
- إذا كان النوع X عبارة عن جزيء فان M(X) تحسب بجمع الكتل المولية الذرية المعطاة في الجدول للذرات المكونة للجزيء.
- إذا كان النوع X عبارة عن صلب شاردي فان M(X) تحسب بجمع الكتل المولية الذرية المعطاة في الجدول للذرات الموجودة في الصيغة الإحصائية لـ X.

2) من حجم سائل:

أ- الكتلة الحجمية: الكتلة الحجمية لجسم هي كتلة وحدة حجم من هذا الجسم و تساوي النسبة بين كتلة الجسم و حجمه. و تعطى بالعلاقة:

$$\mu(X)=\frac{m(X)}{V(X)}$$ حيث

μ(X) الكتلة الحجمية للجسم X بـ Kg/m^3 أو g/cm^3.
m(X) كتلة الجسم X بـ: Kg أو g.
V(X) حجم الجسم X بـ: m^3 أو cm^3.

ب) كثافة سائل: كثافة سائل هي النسبة بين كتلة حجم معين من هذا السائل و كتلة نفس الحجم من الماء مأخوذ في نفس الشروط من الضغط و درجة الحرارة. منه يمكن حساب كثافة السائل من النسبة بين الكتلة الحجمية للسائل و الكتلة الحجمية للماء في نفس الشروط من الضغط و درجة الحرارة:

$$d=\frac{\mu_l}{\mu_e}$$ حيث:

d كثافة السائل.
μ_l الكتلة الحجمية للسائل بـ: Kg/m^3 أو g/cm^3.
μ_e الكتلة الحجمية للماء بـ: Kg/m^3 أو g/cm^3.

3) أ- تعين كمية المادة من الكتلة الحجمية:

لدينا: $\mu(X)=\frac{m(X)}{V(X)} \Rightarrow m(X)=\mu(X)\times V(X)$ من جهة اخر نعلم ان $n(X)=\frac{m(X)}{M(X)}$ نستنتج:

$$n(X)=\frac{\mu(X)\times V(X)}{M(X)}$$

3) ب- تعين كمية المادة من الكثافة:

لدينا $\mu(X)=d\times\mu_e \Rightarrow d=\frac{\mu(X)}{\mu_e}$ بالتعويض في العلاقة السابقة، نجد :

$$n(X)=\frac{d\times\mu_e\times V(X)}{M(X)}$$

4) التركيز المولي:

أ- التركيز المولي لنوع X في محلول هي كمية مادة النوع X في كل لتر من المحلول.

$$[X]=\frac{n(X)}{V}$$ حيث:

n(X) كمية مادة النوع X بـ: mol.
V حجم المحلول بـ: L.
$[X]$ التركيز المولي لنوع X في المحلول بـ: mol/L.

ب) تعين كمية المادة من التركيز: مما سبق نجد:

$$n(X)=[X].V$$

5) تعين كمية المادة من حجم الغاز:

أ- باستعمال معادلة الغازات المثالية:

$$PV=nRT$$

منه:

$$n=\frac{P\times V}{R\times T}$$

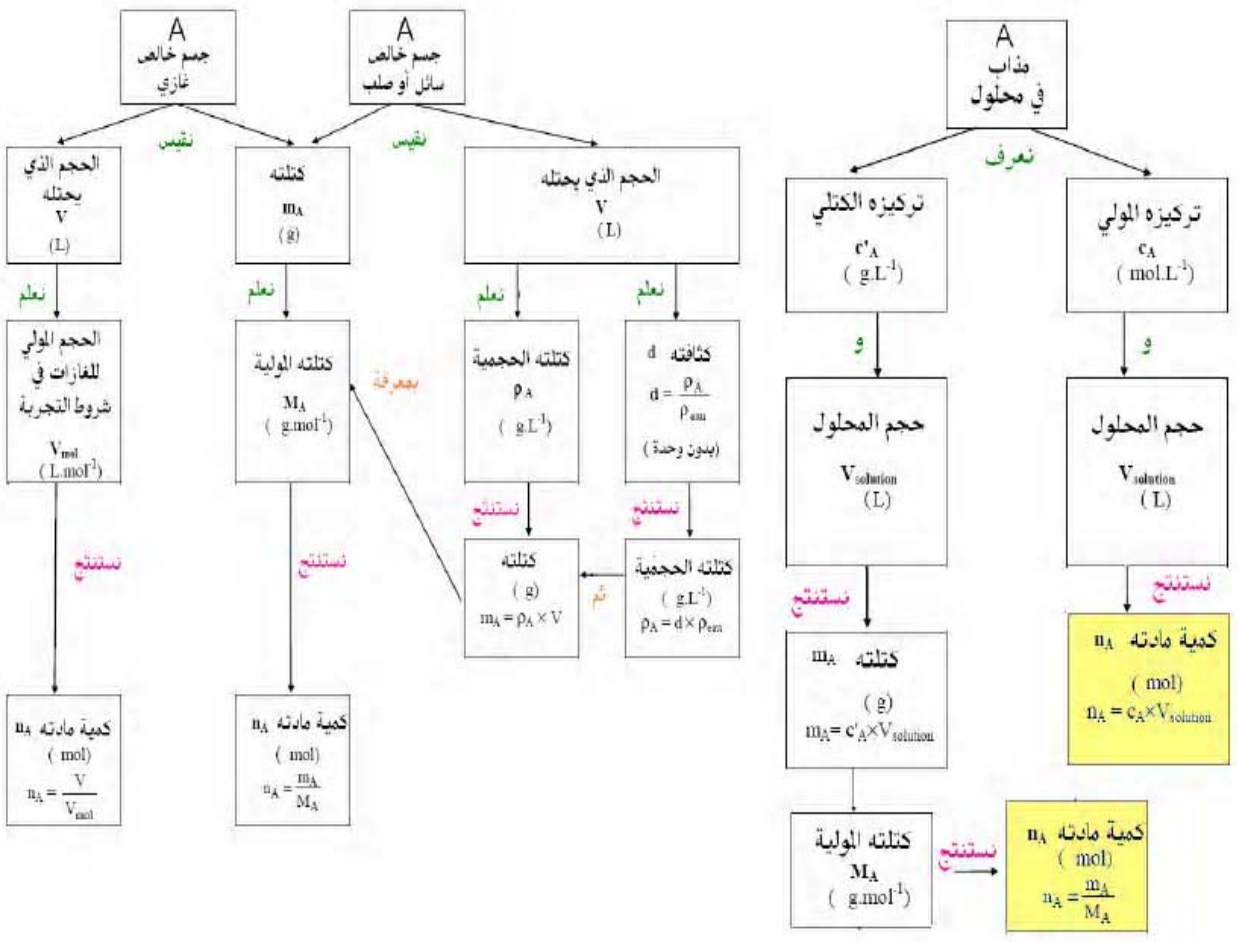
P: ضغط الغاز بـ: Pa.
V: حجم الغاز بـ: m^{-3}
n: كمية مادة الغاز بـ: mol.
T: درجة الحرارة المطلقة للغاز بـ: K
R: ثابت الغازات المثالية، R=8,32 SI

ب- باستعمال الحجم المولي للغاز:

حيث: $n=\frac{V}{V_M}$

n: كمية مادة الغاز بـ: mol.
V: حجم الغاز.
V_M: الحجم المولي للغاز في نفس الشروط من الضغط و درجة الحرارة.

خلاصة:



تطبيقات:

أسئلة الدرس:

صحيح خطا	1- مول من الجزيئات يناسب $6,02 \times 10^{23}$ جزيء
صحيح خطا	2- كمية المادة لنوع كيميائي هو عدد مولات هذا النوع: (mol) هي وحدة كمية المادة.
صحيح خطا	3- العلاقة: $n = m / M$ تسمح بحساب كمية مادة لصلب كتلته m و كتلته المولية M
صحيح خطا	4- الكتلة المولية الذرية للألمنيوم هي: $M = 27\ g / mol$ قطعة من الألمنيوم ذات كتلة $m = 54\ g$ تحتوي $n = 2,5\ moles$ من ذرات الألمنيوم.
صحيح خطا	5- العلاقة: $n = c \times V$ تسمح بحساب كمية مادة مذيب بمعرفة تركيزه و حجم V للمحلول.
صحيح خطا	6- كمية مادة السكر المحتواة في $V = 20\ mL$ من محلول لماء السكر ذو تركيز $c = 2,5\ mol/L$ هي : $n = 50\ mol$
صحيح خطا	7- الحجم المولي V_m (L / mol) لغاز هو الحجم الذي يشغله مول من هذا الغاز و يتعلق بدرجة الحرارة و الضغط.
صحيح خطا	8- درجة حرارة Celsius t و الدرجة المطلقة T ترتبط بعلاقة: $T\ (K) = t\ (°C) + 273,15$
صحيح خطا	9- درجة حرارة $t = 20\ °C$ تمثل $T = 253,15\ °C$
صحيح خطا	10- الشروط النظامية من درجة الحرارة و الضغط هي $p = 1,013 \times 10^5\ Pa$ و $T = 273,15\ K$.
صحيح خطا	11- في الشروط النظامية من درجة الحرارة و الضغط $p = 1,013 \times 10^5\ Pa$ و $T = 273,15\ K$ ، الحجم المولي لغاز مثلي هو $V_m = 22,4\ L / mol$.
صحيح خطا	12- اذا كان V هو حجم وعاء يحتوي على غاز حجمه المولي V_m فكمية مادة هذا الغاز هي : $n = V / V_m$.
صحيح خطا	13- في الشروط النظامية من درجة الحرارة و الضغط، $V_m = 22,4\ L./ mol$ ، وعاء حجمه $V = 10\ L$ يحتوي على غاز الكربون في شروط النظامية من درجة الحرارة و الضغط . كمية مادة غاز الكربون هي: $n = 2,24\ L$.
صحيح خطا	14- بالنسبة لغاز قريب من الغز المثالي لدينا : $p \times V = n \times R \times T$ حيث الضغط p (Pa) ، الحجم V (m^3) ، كمية المادة n(mol) و درجة حرارة T(K°) و $R = 8,314\ J / (K.mol)$ تمثل ثابت الغازات المثالية.

أتحقق من المعارف:

1- اجب بصحيح(ص) او خطا(خ) على الإثباتات التالية:

أ) يعبر عن التركيز الكتلي بالوحدة Kg.m-3.

ب) يعبر عن التركيز المولي بالوحدة g.l-1.

جـ) نمثل محلول كلور الصوديوم بالكتابة: $Na^+ + Cl^-$.

د) العلاقة بين كمية المادة n(X) لنوع كيميائي X و الكتلة المولية M(X) هي $n(X)=\frac{m(X)}{M(X)}$.

2- اقرأ الأجوبة المقترحة و انقل الجواب الصحيح:

أ) التركيز المولي C(A) لمذاب A في محلول و الحجم V لهذا المحلول يرتبطان بالعلاقة:

أ) $n(A)=\frac{C(A)}{V}$ **ب)** $C(A)=\frac{V}{n(A)}$ **جـ)** $n(A)=C(A)\times V$.

ب) يساوي التركيز الكتلي لشوارد الكالسيوم في الماء المعدني 78mg/L، كتلة شوارد الكالسيوم في V=50mL من الماء هي:

أ) 39mg، ب) 3,9mg، جـ) 0,39mg.

جـ) لقياس حجم V=10mL من سائل نستعمل:

أ) كاس مدرج، ب) أنبوب مدرج، جـ) مصاصة مدرجة.

د) لقياس حجم V=10,0mL من سائل نستعمل:

أ) كاس مدرج، ب) أنبوب مدرج، جـ) مصاصة مدرجة.

3- املأ الفراغ بما يناسب:

أ) تساوي كمية مادة عينة نسبة .....العينة على الكتلة.....للنوع الكيميائي الذي يكون هذه العينة، و نعبر عنها بالوحدة.....

ب) يساوي التركيز الكتلي لنوع كيميائي في محلول نسبة .....النوع الكيميائي على.....المحلول، و نعبر عنه بالوحدة.....

تمارين تطبيقية:

1- أي حجم V من الهيكسان ذو الصيغة الجزيئية المجملة C_6H_{12} الواجب أخذه للحصول على كمية مادة $n(C_6H_{12})=0,2\ mol$. نعطي: M=86,0 g/mol ; ρ=0,66 g/ml .

2- نذيب كتلة m=2,0g من الغلوكوز في الماء لتحضير V=500mL من محلول الغلوكوز. احسب التركيز الكتلي للغلوكوز.

الحل: Cm=4g/L.

3- املأ الجدول التالي:

الاسم	حمض الإيثانويك	السيكلوهكسان	الإيثانول
الصيغة	$C_2H_4O_2$	C_6H_{12}	C_2H_6O
الكتلة الحجمية		0,78	0,79
الكثافة d بالنسبة للماء	1,05		
الحجم V (mL)			20,0
الكتلة m (g)		6,30	
كمية المادة n (mol)	0,200		

المعطيات: الكتلة الحجمية للماء: ρ=1,00 g.mL-1، الكتل المولية بـ g.mol-1 :
M(O)=16,0 ; M(C)= 12,0 ; M(H)= 1,0.

4- ورقة بيانات علبة الأسبرين 500 بالفيتامين C تشير ان قرص واحد يحتوي على 500mg من الاسبيرين ($C_9H_8O_4$ حمض الاسيتيل ساليسليك) و 200mg من الفيتامين C (حمض الاسكوربيك $C_6H_8O_6$).

أ) احسب الكتلة المولية لكل من الاسبيرين و الفيتامين C.

ب) احسب كميات المادة لكل من الاسبيرين و الفيتامين C عند إذابة قرص واحد في كاس يحتوي على 150ml من الماء.
جـ) استنتج التراكيز المولية لكل من الاسبيرين و الفيتامين C في المحلول السابق.
د) في وصفة طبية حدد لطفل استعمال حبة من الأسبرين 125mg، أي حجم من الكأس السابق يجب أن يتناوله الطفل أذا لم نكن نتوفر على تلك العلبة، دون أن يصاب الطفل بأذى.

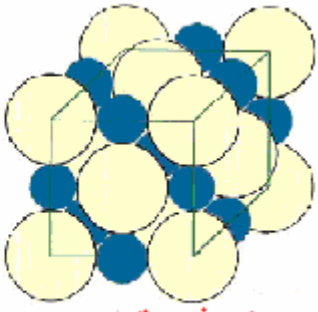
5- كتب على علبة " بنالجيك فوار(Panalgic effervescent)" المعلومة التالية: "يضم قرص واحد 500mg من البراسيتامول ($C_8H_9O_2N$) و 50mg من الكافيين ($C_8H_{10}N_4O_2$) ".
أ) احسب كمية مادة البراسيتامول و الكافيين الموجودة في القرص.
ب) نذيب قرصا في كاس يحتوي 100ml من الماء. احسب التركيز المولي للبراسيتامول C_1 و التركيز المولي للكافيين C_2 في المحلول المحصل عليه في الكأس.
جـ) يؤدي ذوبان القرص الواحد في تكوين غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. و هو غاز قليل الانحلال في الماء. في مقياس غاز نجمع 90 ml من CO_2، تحت درجة حرارة $t = 25°C$ و ضغط $P=1,0.10^5Pa$. احسب كمية مادة هذا الغاز المتشكل.

6- مادة الخل تحتوي أساسا على حمض الايثانويك، صيغته الإجمالية: $C_2H_4O_2$. يباع في السوق بالإشارة 12°. أي أن في كل 100ml من المحلول تحتوي على 12ml من الحمض. نريد تحديد التركيز المولي لحمض الايثانويك في الخل.
1- احسب الكتلة المولية للحمض.
2- احسب كتلة الحمض الموجودة في 1L من الخل، علما ان الكتلة الحجمية للحمض هي: $\rho = 1,05g/cm3$.
3- حدد كمية مادة الحمض في لتر من الخل.
4- اقترح طريقة تجريبية لتحضير 150ml من خل 6° انطلاقا من الخل السابق، مبينا الأدوات المخبرية المستعملة.

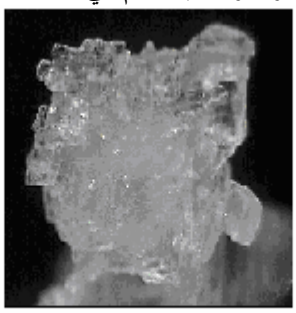
المحاليل الشاردية.

مقدمة:

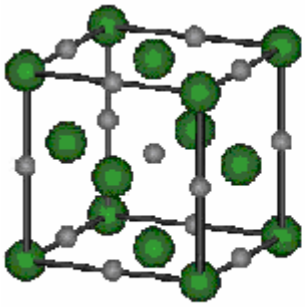
بعض المركبات لها أشكال منتظمة كالملح(كلور الصوديوم) و السكر. فقد كان René-Just Haüy الاول من فكر أن نظامية الأشكال البلورية يعود لتركيب منسجم لمكونات البلورة (ذرات، شوارد و جزيئات) .الجسم الصلب الشاردي هو جسم مكون من شوارد. الكاتيونا و الانيونات موضوعة بانتظام في الفضاء.



نموذج متراص



نموذج ماكروسكوبي



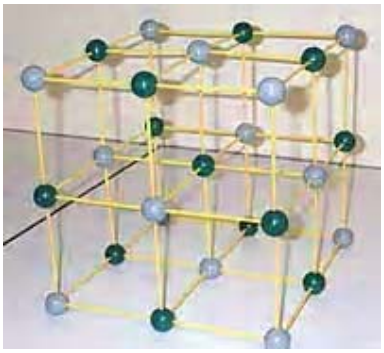
نموذج متباعد

1) الحصول على محاليل شاردية:

أ- تعريف:

أ-1) نحصل على محلول شاردي بحل مادة (متحلل) في سائل (حلالة) ، يمكن أن يكون المتحلل صلبا، سائلا أو غازيا إذا كانت الحلالة هو الماء فالمحلول الناتج يسمى محلول مائي.

أ-2) المحلول الشاردي هو محلول يحتوي على شوارد، ناقل للتيار الكهربائي و معتدل كهربائيا.



2) الحصول على محلول من صلب شاردي:

2-أ) الصلب الشاردي:

* الجسم الصلب الشاردي مكون من مصعديات و مهبطيات موضوعة في الفضاء مكونة لهيكل صلب يسمى البلورة: انظر النموذج المتباعد لكلور الصوديوم.
* الانسجام (الصلابة) للبلورة ناتج عن التأثيرات الكهربائية بين الشوارد.
* الجسم الصلب الشاردي معتدل كهربائيا، أي أن الشحن الموجبة الناتجة من مصعديات مكافئة للشحن السالبة الناتجة من المهبطيات، نمثل الصلب الشاردي بصيغة إحصائية تعبر عن الاعتدال الكهربائي.

أمثلة:

- كلور الصوديوم مكون من تركيب لشوارد الكلور Cl^- و شوارد الصوديوم Na^+ ، اعتدال التركيب رجع لتكافؤ عدد شوارد الكلور و شوارد الصوديوم. الصيغة الإحصائية التي تمثل كلور الصوديوم هي: NaCl.
- فليولر الكالسيوم مكون من تركيب لشوارد الفليور F^- و شوارد الكالسيوم Ca^{2+} لكي يكون التركيب معتدل كهربائيا يجب أن يكون كمية شوارد الفليور ضعف كمية شوارد الكالسيوم. الصيغة الإحصائية لفليور الكالسيوم هي: CaF_2.

2-ب) انحلال صلب شاردي:

عندما ينحل جسم صلب شاردي في الماء، نحصل على محلول مائي، حيث ان الماء يكسر الهيكل البلوري وفق المعادلتين:

$$NaCl_{(s)} \longrightarrow Na^+ + Cl^-$$

$$CaF_{2(s)} \longrightarrow Ca^{2+} + 2F^-$$

2-جـ) انحلال سائل:

بعض من السوائل مثل حمض الكبريت (H_2SO_4) تنحل في الماء و تعطي محلول مائي يحتوي على شوارد، وفق المعادلة:

$$H_2SO_{4(l)} \longrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$$

ملاحظة: من المستحسن إتقان الكشف على الشوارد في محلول بواسطة طرق مميزة، (أنظر العمل التطبيقي).

2-د) انحلال متحلل غازي (مثل غاز كلور الهدروجين HCl)

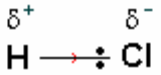
كلور الهدروجين HCl هو غاز في ضغط و درجة حرارة عادية و كثير الذوبان في الماء (انظر تجربة النافورة). نبين عمليا ان الانحلال في الماء لـ: HCl يشكل شوارد H^+ و Cl^- و فق المعادلة:

$$HCl_{(g)} \longrightarrow H^+ + Cl^-$$

3) الخاصية القطبية لبعض الجزيئات:

أ- كهروسلبية بعض العناصر: كهروسلبية عنصر هي قدرة ذرته إلى جذب ثنائية من رابطة تكافؤية التي يشترك فيها، بصفة عامة:

- **كهروسلبية العناصر تتزايد من اليسار إلى اليمين في نفس الدور(السطر) من الجدول الدوري لتصنيف العناصر.**
- **كهروسلبية العناصر تتزايد من أسفل إلى أعلى في نفس العمود من الجدول الدوري لتصنيف العناصر.**



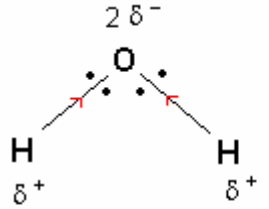
استقطاب رابطة HCl
ثنائية الرابطة تنجذب الى الكلور
ذات كهروسلبية اكبر من الهيدروجين

ب- دراسة جزيء كلور الهيدروجين HCl:

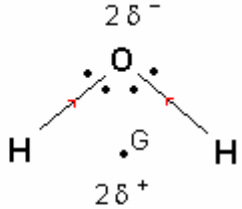
- **حسب ما سبق الكلور أكثر كهروسلبية من الهيدروجين، ثنائية الرابطة بين الذرتين تنتقل نحو ذرة الكلور. يظهر بجوار الهيدروجين قطب ذات كهرباء موجبة $+\delta$ الذي يمثل نقصان في الالكترونات. أما بجوار ذرة الكلور يظهر قطب ذات كهرباء سالبة $-\delta$ يمثل زيادة في الالكترونات.**
- **يظهر قطبين كهربائيين مختلفين و متناظرين في طرفي الرابطة H—Cl ، نقول أن الرابطة مستقطبة نقول ان جزيء HCl له خاصية قطبية.**

جـ) دراسة جزيء الماء:

كهروسلبية الأكسجين اكبر من كهروسلبية الهيدروجين دراسة انتقال الثنائية المرتبطة تبين أن الروابط O—H لجزيء الماء مستقطبة حيث أن الأكسجين يحمل كثافة كهربائية سالبة (-2δ) و الهيدروجين يحمل كثافة كهربائية موجبة ($+\delta$).



استقطاب الروابط OH للماء



الخاصية القطبية لجزيء الماء
G يمثل مركز المسافات المتناسبة للقطبين الموجبين

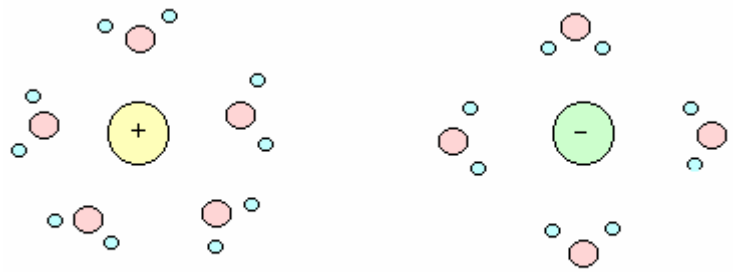
- مركز المسافات المتناسبة Gللقطبين الموجبين، يقع في منتصف المستقيم الذي يصل بين ذرتي الهيدروجين (انظر الشكل) هذا الأخير يمثل بدوره قطبا (+2δ) أي أن جزيء الماء له قطبين (جزيء ثنائي القطب).
- هذه الخاصية ثنائية القطب لجزيء الماء تكسبه خواص مذيب خاص(مذيبات أخرى معنية بنفس الخاصية)، في التجربة الموالية نبين أن: ساق من الزجاج مدلكة بواسطة قطعة قماش تجذب جزيئات الماء.

د) جزيء الماء ثنائي القطب، نتائج:

د-1) ذوبان الشوارد في محلول: رأينا أعلاه أن للماء خاصية تمكنه من تكسير الأجسام الصلبة الشاردية، هذه الظاهرة تتبع بتذويب الشوارد و هذا راجع لان الماء هو ثنائي القطب.

♦ الشوارد الموجبة (الكاتيونات) الموجودة في المحلول تجذب جزيئات الماء من جزئها السالب. بذلك كل كاتيون يكون محاط بعدة جزيئات من الماء.

♦ الشوارد السالبة (الايونات) الموجودة في المحلول تجذب جزيئات الماء من جزئها الموجب. بذلك كل أنيون يكون محاط بعدة جزيئات من الماء. (الشكل):



اذابة أو اماهة كاتيون و انيون من طرف جزيئات الماء

هذه الظاهرة تسمى ذوبان الشوارد، وبما أن المذيب المستعمل هو الماء، فنسمي الظاهرة أيماهة(Hydratation).
الشوارد المميهة نرفقها بالرمز (aq) مثال: $Na^{+}_{(aq)}$ ، $Ca^{2+}_{(aq)}$.

د-2) حالة بروتون الهدروجين H^{+} :

بروتون الهيدروجين H^{+} يتصل برابطة حقيقية مع جزيء الماء ليشكل شاردة الهيدرونيوم H_3O^{+}، وفق المعادلة:

$$H^{+} + H_2O \longrightarrow H_3O^{+}_{(aq)}$$

د-3) كتابة معادلة تشكل المحاليل المائية:

باعتبار ظاهرة الذوبان و الاماهة، يجب كتابة المعادلات المنمذجة لتشكل محلول مائي كما يلي:

$$NaCl_{(s)} \longrightarrow Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

$$CaF_{2(s)} \longrightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + 2F^{-}_{(aq)}$$

$$H_2SO_{4(l)} + 2H_2O \longrightarrow 2H_3O^{+} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$HCl_{(g)} + H_2O \longrightarrow H_3O^{+} + Cl^{-}_{(aq)}$$

4) التركيز المولي:

أ- حالة محلول: التركيز المولي لمحلول هي معلومة على طريقة تحضيره. و تمثل كمية مادة المذاب X الموجودة في لتر من محلول. تعطى بالعلاقة:

$$C(X)=\frac{n(X)}{V}$$ حيث:

n(X) كمية مادة المذاب X الموجود في المحلول بـ: mol.
V حجم المحلول بـ: L.
C(X) تركيز المحلول بالمذاب X بـ: mol/L.

ب) حالة نوع مذاب: إذا كان النوع X موجود في محلول التركيز [X] لهذا النوع هو كمية المادة n(X) هذا النوع في لتر من محلول

$$[X]=\frac{n(X)}{V}$$ حيث:

n(X) كمية مادة النوع X بـ: mol.
V حجم المحلول بـ: L.
$[X]$ التركيز المولي لنوع X في المحلول بـ: mol/L.

جـ) ملاحظة حول ترميز التراكيز:

الرمز [X] يستعمل إلا لنوع موجود في محلول، نعلم ان عندما نحضر محلول مائي، الماء يكسر الجسم الصلب الشاردي الذي لا وجود له في المحلول، لا يجب وضع صيغة الصلب الشاردي بين الحضينتين. مثلا [NaCl] هي كتابة خاطئة.

د) العلاقة بين التراكيز:

د-1) مثال لمحلول كلور الصوديوم:

ليكن محلول كلور الصوديوم ذي تركيز C(NaCl) معادلة انحلال كلور الصوديوم هي :

$$NaCl_{(s)} \longrightarrow Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

لدينا اذا:

$$[Na^{+}_{(aq)}] = [Cl^{-}_{(aq)}] = C(NaCl)$$

د-2) مثال لمحلول كلور النحاس:

ليكن محلول كلور النحاس الثنائي تركيزه $C(CuCl_2)$ معادلة انحلال كلور النحاس تكتب:

$$CuCl_{2(s)} \longrightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)}$$

نتحصل على:

$$[Cu^{2+}_{(aq)}] = C(CuCl_2) \text{ و } [Cl^{-}_{(aq)}] = 2C(CuCl_2)$$

د-3) في الحالة العامة:

لدينا محلول لصلب شاردي X_aY_b ذي تركيز C معادلة انحلال هذا الصلب تكتب:

$$X_aY_{b(s)} \longrightarrow aX^{p+}_{(aq)} + bY^{n-}_{(aq)}$$

فيكون:

$$[X^{p+}_{(aq)}] = a.C \text{ و } [Y^{n-}_{(aq)}] = b.C$$

ملاحظة:

كتابة صيغة مركب شاردي:

بالنسبة لمركب يتكون من شاردة موجبة الشحنة(+p) و شاردة سالبة الشحنة(-q).

♣ نبحث اصغر العددين m و n، بحيث m.p=n.q (تحقيق الاعتدال الكهربائي للمركب).

♣ نكتب صيغة المركب ابتداء من الشاردة الموجبة مرفقة بالمعامل m ، يليها الشاردة السالبة مرفقة بالمعامل n ، ذلك دون الإشارة إلى شحنتي الشاردتين.

صيغة الشاردة	الاسم	صيغة الشاردة	الاسم
Na^{+}	الصوديوم	F^{-}	الفليور
Zn^{2+}	الزنك	Cl^{-}	الكلور
Al^{3+}	الالمنيوم	I^{-}	اليود
H_3O^{+}	الهدرونيوم	O^{2-}	الاكسجين

الكبريت	S^{2-}	الامونيوم	NH_4^+
النترات	NO_3^-	الحديد الثلاثي(III)	Fe^{3+}
البرمنغنات	MnO_4^-	البوتاسيوم	K^+
الكبريتات	SO_4^{2-}	المغنيزيوم	Mg^{2+}
الفوسفات	PO_4^{3-}	الكالسيوم	Ca^{2+}
الهيدروكسيد	OH^-	الباريوم	Ba^{2+}
الكربونات	CO_3^{2-}	النحاس الثنائي(II)	Cu^{2+}
البروم	Br-	الحديد الثنائي (II)	Fe^{2+}

تسمية مركب شاردي انطقا من صيغته

♣ نتعرف عل الشاردة الموجبة و الشاردة السالبة.

♣ نكتب الاسم بدأ من الشاردة السالبة و يله اسم الشاردة السالبة.

تمارين تطبيقية:

التمرين الأول:

1- ماهي الشوارد المتواجدة في الأجسام الصلبة الشاردية التالية: $FeCl_3$, KNO_3, $FePO_4$, $NaNO_3$, $CuCl_2$.

2- اكتب الصيغة الإحصائية للمركب الشاردي المتكون من شاردة الألمنيوم Al^{3+} و شاردة الكبريتات SO_4^{2-} .

3- اكتب الصيغ الإحصائية للمركبات الشاردية التالية: كلور الصوديوم، اوكسيد الكالسيوم، كربونات المغنيزيوم، كلور النحاسII، كبريتات الحديدIII، اوكسيد الألمنيوم، نترات الكالسيوم، كبريت الألمنيوم، كلور المغنيزيوم.

4- اكتب معادلة انحلال الأنواع الكيميائية التالية في الماء: $FeCl_3$, KNO_3, $FePO_4$, $NaNO_3$, $CuCl_2$.

5- نعتبر جزيء بروم الهيدروجينHBr.

أ) هل الرابطة H--Br مستقطبة؟ لماذا؟

ب) ماهي الذرة الاكثر كهروسلبية في هذا الجزيء؟

ج) هل الجزيء قطبي؟ أعط صيغته المنشورة مع تحديد الشحنة.

6- نذيب 0,004mol من كلور النحاس II ($CuCl_2$) في الماء للحصول على 100ml من المحلول.

أ) احسب التركيز المولي للمذاب المستعمل.

ب) اكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل.

جـ) استنتج التراكيز المولية للشوارد الموجودة في المحلول.

التمرين الثاني:

اتمم الجدول التالي بإضافة صيغة الجسم الصلب الشاردي أو بإضافة الشوارد السالبة أو الموجبة المتكون منها:

.....	Al^{3+}	.....	Fe^{2+}	Na^+	الشوارد
.....	.....	$FeCl_3$	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	SO_4^{2-}
$Zn(NO_3)_2$	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	CO_3^{2-}

التمرين الثالث:

أكمل معادلات التفاعلات الانحلال في الماء التالية.

$$HNO_{3(l)} \xrightarrow{\text{ماء}} \cdots + \cdots$$

$$Fe_2(SO_4)_{3(s)} \xrightarrow{\text{ماء}} \cdots + \cdots$$

$$\cdots_{(s)} \xrightarrow{\text{ماء}} Al^{3+}_{(aq)} + \cdots Cl^-_{(aq)}$$

$$K_2CO_{3(s)} \xrightarrow{\text{ماء}} \cdots + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

$$HCl_{(g)} \xrightarrow{\text{ماء}} \cdots + \cdots$$

$$\cdots_{(s)} \xrightarrow{\text{ماء}} \cdots Na^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

التمرين الرابع:

الامونياك غاز صيغته NH_3 جزيئه له شكل هندسي هرمي، حيث تشغل ذرة الازوت قمة الهرم و تكون ذرات الهيدروجين الثلاثة في القاعدة.

1- مثل جزيء الامونياك حسب نموذج كرام (Cram).

2- ذرة الازوت أكثر كهر وسلبية من ذرة الهيدروجين. بين أن الروابط التكافؤية لجزيء الامونياك مستقطبة؟

3- هل الجزيء قطبي؟ علل جوابك.

4- من خلال هذه النتائج، فسر قابلية الامونياك للانحلال في الماء.

التمرين الخامس:

نذيب 1,71g من بلورات كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3$ للحصول على 500ml من المحلول.

1- احسب تركيز للمحلول الناتج.

2- احسب تركيزي شوارد الألمنيوم و شوارد الكبريتات المتواجدة في المحلول.

يعطى: M(O)=16g/mol ; M(S)=32g/mol ; M(Al)=27g/mol.

التمرين السادس:

1- نذيب 1,17g من كلور الصوديوم في 200ml من الماء المقطر، فنحصل على محلول(S).

أ) احسب تركيز المحلول (S).

ب) احسب تركيز الشوارد و في المحلول (S).

2- احسب حجم المحلول (S) الذي يجب صبه في حوجلة ذات معيار 100ml من اجل الحصول على محلول مخفف (S') لكلور الصوديوم ذي تركيز 3.10-3 mol/L.

يعطى: M(Cl)=35,5g/mol ; M(Na)=23g/mol.

التمرين السابع:

لدينا محلول (S) لكلور الباريوم ($Ba^{2+} + 2Cl^-$) ذي تركيز C=0,1mol/L.

1- نأخذ V1=30cm3 من المحلول (S) و نضيف اليه 70cm3 من الماء المقطر. احسب التركيز المولي لكل من الشوارد Ba^{2+} و- Cl في المحلول المخفف.

2- نأخذ V2=10cm3 من المحلول (S) و نضيف إليه هذه المرة، 10cm3 من محلول (S') لكلور الصوديوم ذي التركيز المولي C'=0,1mol/L. لحسب التراكيز المولية للشوارد Ba^{2+} و Cl^- و Na^+ المتواجدة في المزيج.

تتبع تحول كيميائي:

I) مقدمة:

1- يجب العودة إلى درس السنة الأولى حول تحولات جملة كيميائية.
2- هذا المحور يحتوي جزأين:
* مثال عن دراسة التفاعل بين الزنك و محلول مائي لكلور الهيدروجين.
* تعميم.

II) دراسة مثال عن مراقبة تفاعل كيميائي:

1- هدف الدراسة:

نفاعل 1,00g من الزنك مع 20ml من محلول حمض كلور الماء الذي تركيزه 2,0mol/l ، يكمن مراقبة تفاعل كيميائي في:

- كتابة المعادلة الإجمالية للتفاعل.
- تعيين كميات المادة لمختلف الأنواع في الحالة الابتدائية للجملة.
- تعيين كميات المادة لمختلف الأنواع خلال التطور بدلالة التقدم x للتفاعل.
- تعيين التقدم الاعظمي x_{max} للتفاعل.
- تعيين كميات المادة لمختلف الأنواع في الحالة النهائية للجملة.

2- معادلة التفاعل:

$$Zn_{(s)} + 2H_3O^+ \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} + 2H_2O$$

3- الحالة الابتدائية:

$$n(Zn)_i = \frac{m(Zn)}{M(Zn)} = \frac{1,00}{65,4} = 1,53 \bullet 10^{-2}\, mol$$

$$n(H_3O^+)_i = C_A \times V_A = 2,0 \times 0,02 = 4,0 \bullet 10^{-2}\, mol$$

4- الحالة الانتقالية:

ليكن x تقدم التفاعل (مثلا x هو كمية مادة الزنك المختفية في اللحظة t). حسب معادلة التفاعل و المعاملات الستكيومترية: عند اختفاء x mol من الزنك:

- يختفي 2x mol من شوارد الهيدرونيوم H3O+.
- يتكون x mol من شوارد الزنك $Zn^{2+}_{(aq)}$.
- يتكون x mol من جزيئات ثنائي الهيدروجين $H_{2(g)}$.
- يتكون 2x mol من جزيئات الماء H_2O

الماء هو المذيب(يتواجد بكثرة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى)، لا داعي إظهاره في جدول تقدم التفاعل.

يمكن تمثيل الجدول كما يلي:

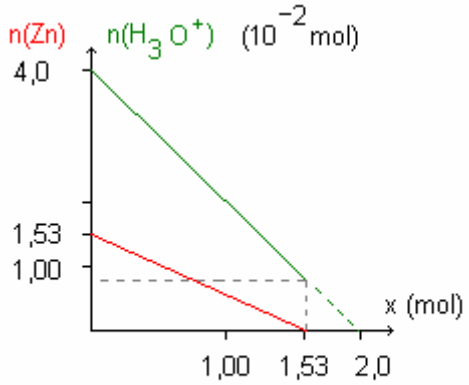
معادلة التفاعل	$Zn_{(s)} + 2H_3O^+ \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} + 2H_2O$			
الحالة الابتدائية (mol)	$n(Zn)_i=1,53.10^{-2}$	$n(H_3O^+)_i=4,0.10^{-2}$	$n(Zn^{2+})_i=0,0$	$n(H_2)_i=0,0$
الحالة الانتقالية في اللحظة t تقدم التفاعل هو x	$n(Zn)_t=1,53.10^{-2}-x$	$n(H_3O^+)_t=4,0.10^{-2}-2x$	$n(Zn^{2+})_t=x$	$n(H_2)_t=x$
الحالة النهاية (mol) التقدم الاعظمي x_{max}(mol)	$n(Zn)_f=1,53.10^{-2}-x_{max}$	$n(H_3O^+)_f= 4,0.10^{-2}-2x_{max}$	$n(Zn^{2+})_f=x_{max}$	$n(H_2)_f=x_{max}$

الجدول يكتمل بعد حساب x_{max}

5- الحالة النهائية:

يجب معرفة x_{max}: يوجد ثلاث طرق لتعيين قيمة x_{max}:

أ) الطريقة البيانية: نرسم على نفس المنحنى تغيرات كميات المادة لمختلف الأنواع الداخلة في التفاعل بدلالة تقدم التفاعل x. (انظر الشكل):



تغيرات كميات مادة الزنك و شوارد الهيدرونيوم بدلالة x

المنحنين يقبلان معادلة من شكل:

$n(H_3O^+)_t=4,0.10^{-2}-2x$ و $n(Zn)_t=1,53.10^{-2}-x$

عند ازدياد التقدم n(Zn) و $n(H_3O^+)$ تتناقص ، التفاعل يتوقف عند الاختفاء الكلي لأحد المتفاعلات. أي عندما يقطع المنحنى البياني محور الفواصل. النوع المعتبر هو المتفاعل المحد.
في هذه النقطة لدينا:

$$1,53.10^{-2}-x_{max}=0 \Rightarrow x_{max}=1,53.10^{-2}\,mol$$

معادلة التفاعل	$Zn_{(s)} + 2H_3O^+ \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} + 2H_2O$			
الحالة الابتدائية (mol)	$n(Zn)_i=1,53.10^{-2}$	$n(H_3O^+)_i=4,0.10^{-2}$	$n(Zn^{2+})_i=0,0$	$n(H_2)_i=0,0$
الحالة الانتقالية في اللحظة t تقدم التفاعل هو x	$n(Zn)_t=1,53.10^{-2}-x$	$n(H_3O^+)_t=4,0.10^{-2}-2x$	$n(Zn^{2+})_t=x$	$n(H_2)_t=x$
الحالة النهائية (mol) التقدم الاعظمي x_{max}(mol)	$n(Zn)_f=0,00$	$n(H_3O^+)_f=9,4.10^{-3}$	$n(Zn^{2+})_f=1,53.10^{-2}$	$n(H_2)_f=1,53.10^{-2}$

ب) طريقة كمية المادة الموجبة او المعدومة:

في كل لحظة لدينا:

$$n(Zn) \geqslant 0 \Rightarrow 1,53.10^{-2}-x \geqslant 0 \Rightarrow x \leqslant 1,53.10^{-2}\,mol$$

و

$$n(H_3O^+) \geqslant 0 \Rightarrow 4,0.10^{-2}-2x \geqslant 0 \Rightarrow x \leq \frac{4,0\bullet 10^{-2}}{2} \Rightarrow x \leqslant 2,0.10^{-2}\,mol$$

الحل الممكن هو:

$$x \leqslant 1,53.10^{-2}\,mol$$

أي أن $x_{max}=1,53.10^{-2}\,mol$

نحصل في الجدول على $n(Zn)_f=0,00\,mol$ نقول ان Zn هو المتفاعل المحد

جـ) طريقة حوصلة المولية:

إذا كان x هو تقدم التفاعل لدينا :

$$n(H_3O^+)=2x \text{ و } n(Zn)=x \text{ منه}$$

$$n(Zn)=\frac{n(H_3O^+)}{2}$$

حساب كمية مادة الزنك التي تتفاعل مع كافة شوارد الهيدرونيوم:

$$n(Zn) = \frac{4{,}0 \bullet 10^{-2}}{2} \Rightarrow n(Zn) = 2{,}0 \bullet 10^{-2}\, mol$$

و لكن: $n(Zn)_i = 1{,}53.10^{-2}$ mol أي ان $n(Zn)_i < n(Zn)$

كمية مادة الزنك الابتدائية اقل من كمية مادة الزنك اللازمة وفق الحوصلة المولية للتفاعل مع كافة شوارد الهيدرونيوم المستعملة، اذا الزنك هو معامل محد و موجود بالنقصان أي سيختفي تماما خلال التفاعل. منه:

$x_{max} = 1{,}53.10^{-2}$ mol

III) دراسة تفاعل كيميائي، الحالة العامة:

1- معادلة التفاعل:

$$aA + bB \longrightarrow cC + dD$$

a, b, c و d هي المعاملات الستكيومترية ، A و B هي المتفاعلات ، C و D هي النواتج.

2- جدول تقدم التفاعل:

نستعمل الرموز التالية:

- $n(A)_i$ و $n(B)_i$ هي كميات المادة الابتدائية للمتفاعلات.
- X و x_{max} يمثلان تقدم التفاعل و التقدم الاعظمي (التقدم عندما يستهلك تماما احد المتفاعلات).
- $n(A)_f$, $n(B)_f$, $nC)_f$ و $n(D)_f$ هي كميات المادة لمختلف الأنواع في الحالة النهائية.
- n(A), n(B), n(C) و n(D) هي كميات المادة لمختلف الأنواع عندما يكون تقدم التفاعل هو x.

منه نتحصل على جدول تقدم التفاعل:

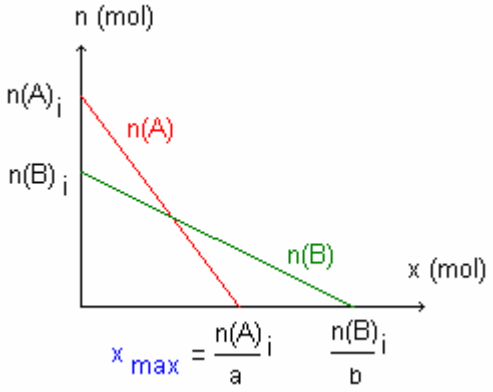
معادلة التفاعل	$aA + bB \longrightarrow cC + dD$			
الحالة الابتدائية(mol)	$n(A)_i$	$n(B)_i$	0	0
الحالة في اللحظة t التقدم x (mol)	$n(A) = n(A)_i - ax$	$n(B) = n(B)_i - bx$	cx	dx
الحالة النهائية (mol) التقدم الاعظمي x_{max}	$n(A)_f = n(A)_i - ax_{max}$	$n(B)_f = n(B)_i - bx_{max}$	cx_{max}	dx_{max}

3- تعيين التقدم الاعظمي و المتفاعل المحد:

3-أ) الطريقة البيانية:

نرسم المنحنيات التالية:

$n(A) = n(A)_i - ax$ و $n(B) = n(B)_i - bx$



مع تقدم التفاعل يزداد x. حتى نحصل على إحدى الحالات.

$n(A)_f = 0 \Rightarrow n(A)_i - ax_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = \frac{n(A)_i}{a}$

$n(B)_f = 0 \Rightarrow n(B)_i - bx_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = \frac{n(B)_i}{b}$

$$\mathbf{n(A)_f = n(B)_f = 0 \Rightarrow} \begin{cases} n(A)_i - ax_{max} = 0 \\ n(B)_i - bx_{max} = 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{n(A)_i}{a} = \frac{n(B)_i}{b}$$

في الحالة الأولى A هو المتفاعل المحد، في الحالة الثانية B أما في الحالة الثالثة كلا المتفاعلين حديين يختفيان في آن واحد، نقول أنهما يتواجدان في مزيج متناسق المعاملات الستوكيومترية.

3- ب) طريقة كمية المادة الموجبة أو المعدومة:

$$\mathbf{n(A) \geqslant 0 \Rightarrow n(A)_i\text{-}ax \geqslant 0 \Rightarrow} \; x \leq \frac{n(A)_i}{a}$$

$$\mathbf{n(B) \geqslant 0 \Rightarrow n(B)_i\text{-}bx \geqslant 0 \Rightarrow} \; x \leq \frac{n(B)_i}{b}$$

المتراجحتين محققتان معا، لدينا ثلاث حالات:

* $\frac{n(A)_i}{a} < \frac{n(B)_i}{b}$ **منه A متفاعل محد.** $\mathbf{n(A)_f = 0}$ **أي** $\mathbf{n(A)_i\text{-}ax_{max} = 0}$ **منه** $x_{max} = \frac{n(A)_i}{a}$.

* $\frac{n(B)_i}{b} < \frac{n(A)_i}{a}$ **منه B متفاعل محد.** $\mathbf{n(B)_f = 0}$ **أي** $\mathbf{n(B)_i\text{-}bx_{max} = 0}$ **منه** $x_{max} = \frac{n(B)_i}{b}$.

* $\frac{n(A)_i}{a} = \frac{n(B)_i}{b}$ **منه كلا المتفاعلين حديين:** $x_{max} = \frac{n(B)_i}{b} = \frac{n(B)_i}{b}$

3- جـ) طريقة حوصلة المولية:

*** $n(B)_i$ هي كمية مادة الابتدائية B،**

*** $n(A)_{is}$ هي كمية مادة الابتدائية A التي تتفاعل وفق نسب ستوكيومترية.**

$$\frac{n(A)_{is}}{a} = \frac{n(B)_i}{b}$$

اذا كان: $\frac{n(A)_i}{a} < \frac{n(B)_i}{b}$ منه $\frac{n(A)_i}{a} < \frac{n(A)_{is}}{a}$ أي $n(A)_i < n(A)_{is}$ ، **A يوجد بالنقصان بالنسبة لـB في الحالة النهائية يمكن كتابة :**

$$n(A)_f = 0 \Rightarrow n(A)_i\text{-}ax_{max} = 0 \Rightarrow x_{max} = \frac{n(A)_i}{a}$$

تمارين تطبيقية:

التمرين الاول:

1- أنقل ثم اتمم الجدول التالي:

المعادلة الكيميائية	$Al_2S_{3(s)}$ + $3H_2O_{(l)}$ ⟶ $3H_2S_{(g)}$ + $Al_2O_{3(s)}$				
حالة المجموعة	كميات المادة بالمول				التقدم (mol)
الحالة الابتدائية	5	12	0	0	0
الحالة الانتقالية					x
الحالة النهائية					x_m

2- احسب كميات المادة لمختلف الأنواع الكيميائية بالنسبة لتقدم التفاعل 1,5mol ثم 3,5mol.

3- حدد المتفاعل المحد و كميات المادة للجملة في الحالة النهائية.

التمرين الثاني:

1- انقل ثم اتمم الجدول التالي:

المعادلة الكيميائية	$2C_2H_{6(g)}$ + $7O_{2(g)}$ ⟶ $4CO_{2(g)}$ + $6H_2O_{(g)}$				
حالة المجموعة	كميات المادة بالمول				التقدم (mol)
الحالة الابتدائية	5	14	0	0	0
الحالة الانتقالية					x
الحالة النهائية					x_m

3- حدد المتفاعل المحد، و كميات المادة للجملة في الحالة النهائية.

التمرين الثالث:

نضيف كتلة قدرها m=12g من مسحوق الحديد إلى V=200ml من محلول مائي لكبريتات النحاس II $(Cu^{2+} + SO_4^{2-})$ ذي تركيز مولي C=1,75mol/L. خلال التفاعل تتكون شوارد $Fe^{2+}_{(aq)}$ و معدن النحاس $Cu_{(s)}$.

1- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي.

2- باستعمال جدول تقدم التفاعل، حدد التقدم الاعظمي و المتفاعل المحد.

3- استنتج كميات المادة للجملة في الحالة النهائية.

4- احسب التراكيز المولية للأنواع الكيميائية في المحلول الناتج.

التمرين الرابع:

نضيف كتلة قدرها m=0,28g من مسحوق الحديد إلى حجم V=10ml من محلول مائي لحمض كلور الماء تركيزه C=0,1mol/L. فتتكون شوارد الحديد الثنائي (aq) +Fe2، و يتصاعد غاز ثنائي الهيدروجين.

1- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي.

2- باستعمال جدول تقدم التفاعل، حدد التقدم اعمي و المتفاعل المحد.

3- استنتج كميات المادة للجملة في الحالة النهائية.

4- ماهو حجم غاز ثنائي الهيدروجين المنطلق في شروط التجربة(1bar ;20°C).

يعطى : M(Fe)= 56g/mol ;R=8,314(USI).

التمرين الخامس:

نضع في كاس عينة ذات حجم V1=50ml من محلول مائي لكبريتات النحاس II ذي تركيز C1=1,0mol/L نضيف اليها كمية معينة من مسحوق الزنك ذات كمية مادة ni(Zn). نحرك المزيج لمدة حتى نلاحظ اختفاء كلي للون الازرق للمحلول. في هذا التفاعل تتكون شوارد Zn2+ (aq) و معدن النحاس Cu(s).

1- اكتب معادلة التفاعل.
2- انشا جدول تقدم التفاعل.
3- حدد المتفاعل المحد معللا إجابتك. ثم احسب التقدم الاعظمي.
4- ماهي كمية المادة الابتدائية للزنك التي يجب استعمالها حتى يتم استهلاك ثلث كمية الزنك عند نهاية التفاعل؟
5- احسب كمية معدن النحاس المتكون في هذه الحالة.

التمرين السادس:

1- نذيب في الماء النقي كتلة قدرها m=9,57g من كبريتات النحاس(2) ذي الصيغة: $CuSO_4(s)$، فنحصل على محلول مائي(S) حجمه V=100ml.

أ) اكتب معادلة ذوبان كبريتات النحاس(2)، و استنتج صيغة المحلول الناتج.

ب) اوجد التركيز المولي للمذاب المأخوذ.

2- نأخذ المحلول (S) و نغمر فيه صفيحة من الألمنيوم كتلتها الابتدائية m_0=0,54g، عند نهاية التحول و بعد مرور مدة زمنية معينة، نلاحظ ترسب معدن النحاس $Cu_{(S)}$ و ظهور شوارد $Al^{3+}(aq)$ في المحلول. معادلة التفاعل المنمذج للتحول الكيميائي هي: $2Al^{3+}(aq) + 3Cu_{(s)} \longrightarrow 3Cu^{2+}(aq) + 2Al_{(s)}$.

أ) احسب كمية مادة المتفاعلات في الحالة البدائية.

ب) باستعمال جدول تقدم التفاعل، حدد التقدم الاعظمي و المتفاعل المحد.

جـ) استنتج كميات المادة للجملة في الحالة النهائية.

د) احسب التراكيز المولية للأنواع الكيميائية في المحلول.

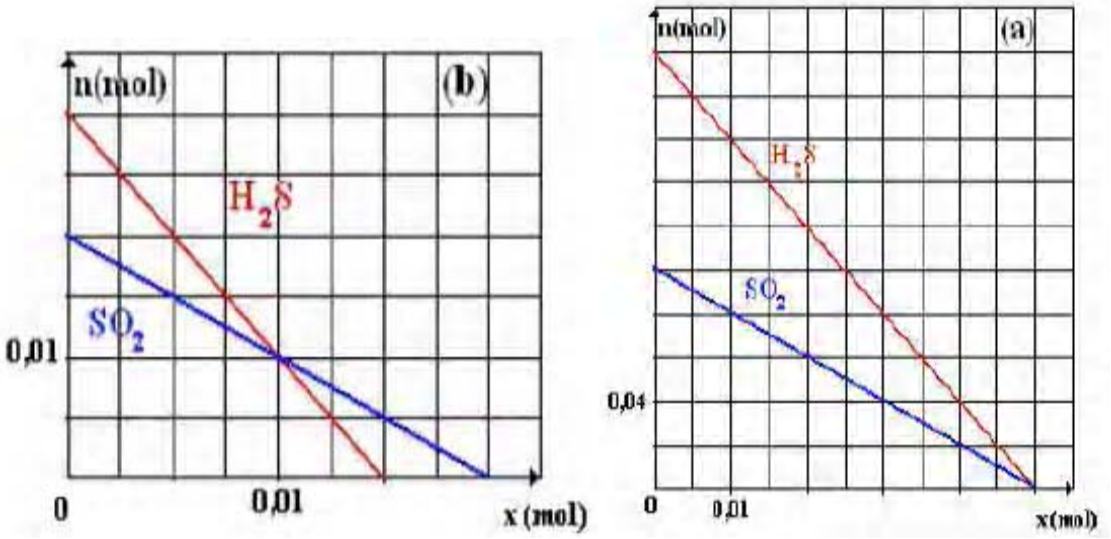
يعطى: M(O)=16g/mol ; M(S)=32g/mol ; M(Cu)= 63,5g/mol ; M(Al)=27g/mol.

التمرين السابع:

معادلة التفاعل المنمذج للتحول الكيميائي بين كبريت الهيدروجين مع ثنائي اوكسيد الكبريت هي:

$$2H_2S\,(g) + SO_2\,(g) \longrightarrow 3S\,(s) + 2H_2O\,(l).$$

تمثل المنحنيات التالية تغيرات كميات مادة المتفاعلات بالنسبة لخليطين بدائيين مختلفين.



1- حدد كميات المادة الابتدائية للمتفاعلات في كل من الحالتين.
2- أي الحالتين تمثل خليطا بدائيا متوافقا مع المعاملات الستوكيومترية؟ علل جوابك.
3- حدد بالنسبة للحالة الأخرى:
أ) التقدم الاعظمي و المتفاعل المحد.
ب) حصيلة المادة للجملة في الحالة النهائية.