الباب السابع

« خواص المحاليل

أمثلة محلولة :

مثال (١) :

احسب درجة تركيز محلول نتج عن إضافة ٣,٦٥ لتر من ٠,١٠٥ ج ح كلوريد صوديوم إلى ٥,١١ لتر من ٠,١٦٢ ج ح كلوريد صوديوم . افترض أن الحجم الكلى للمحلول الناتج يساوى مجموع حجمى المحلولين .

الحل :

٣,٦٥ لتر من ٠,١٠٥ ج ح كلوريد صوديوم يحتوى على :

٣,٦٥ × ٠,١٠٥ = ٠,٣٨٣ (جزىء جرامى كلوريد صوديوم)

٥,١١ لتر من ١,٦٢ ج ح كلوريد صوديوم يحتوى على :

٥,١١ × ٠,١٦٢ = ٠,٨٢٨ جزىء جرامى كلوريد صوديوم .

عدد الأوزان الجزيئية الجرامية = ٠,٣٨٣ + ٠,٨٢٨ = ١,٢١١ جزىء جرامى

الحجم الكلى للمحلول = ٣,٦٥ + ٥,١١ = ٨,٧٦ لتر

تركيز المحلول النهائى = $\frac{١,٢١١}{٨,٧٦}$ = ٠,١٣٨ ج ح كلوريد صوديوم

مثال (٢) :

احسب عيارية المحلول الناتج عن إضافة ٣٦,٢ مل من الماء إلى ١٨,٦ مل من ٦,٦٨ × ١٠$^{-٣}$ ج ح حمض فوسفوريك

الحل :

١٨,٦ مل من محلول ٦,٦٨ × ١٠$^{-٣}$ ج ح يد$_{٣}$ فو$_{٤}$ يحتوى على :

٠.٠١٨٦ × ٦.٦٨ × ١٠$^{-٣}$ = ١.٢٤ × ١٠$^{-٤}$ جزىء جرامى يلزم فو$_{٢}$ ، وحيث أن الجزىء الجرامى من الحمض يساوى ثلاث أوزان مكافئة جرامية فإن :

١.٢٤×١٠$^{-٤}$ جزىء جرامى يلزم فو$_{٢}$ = ٣.٧٢ × ١٠$^{-٤}$ مكافئ جرامى يلزم فو$_{٢}$ ؛

وعند إضافة الماء يصبح الحجم الكلى للمحلول = ١٨.٦ + ٣٦.٢ = ٥٤.٨ مل .

∴ عيارية المحلول = $\frac{٣.٧٢ \times ١٠^{-٤}}{٠.٠٥٤٨}$ = ٦.٧٩ × ١٠$^{-٣}$ ع يلزم فو$_{٢}$:

مثال (٣) :

احسب الكسر الجزيئ للكحول الايثيلى فى محلول مائى يحتوى على كحول ايثيلى وكحول ميثيلى ودرجة تركيز كل منهما فى المحلول هى ٣.٦٨ ج و ٠.٢.١٤ ج و على التوالى .

الحل :

٣.٨٦ جزىء جرامى وزنى كحول ايثيلى يعنى أن هناك ٣.٨٦ جزىء جرامى كحول ايثيلى لكل كجم من الماء ، ٢.١٤ جزىء جرامى وزنى كحول ميثيلى يعنى أن هناك ٢.١٤ جزىء جرامى كحول ميثيلى لكل كجم من الماء ، وحيث أن :

١ كجم ماء = ١٠٠٠ جم = $\frac{١٠٠٠ \text{ جم}}{١٨.٠١ \text{ جم/جزىء جرامى}}$ = ٥٥.٥ جزىء جرامى

∴ العدد الكلى للجزيئات الجرامية فى المحلول ٣.٨٦ + ٢.١٤ + ٥٥.٥ = ٦١.٥١ جزىء جرامى

الكسر الجزيئى للكحول الميثيلى = $\frac{\text{عدد الجزيئات الجرامية للكحول الميثيلى}}{\text{العدد الكلى للجزيئات الجرامية}}$

= $\frac{٣.٨٦}{٦١.٥١}$ = ٠.٠٦٢٨

مثال (٤) :

إذا أضيف ماء إلى ٣٢.٨٦ جم كحول إيثيلى نقى حتى أصبح حجم المحلول الكلى ١٠٠٠ مل وإذا علمت أن كثافة الكحول النقى هى ٠.٧٨٥١ جم/مل ..

أوجد تركيز المحلول معبراً عنه بالنسبة المئوية بالحجم للكحول .

الحل :

بمعلومية وزن الكحول وكثافته يمكننا حساب حجم الكحول فى البداية ويساوى

$$\text{مل } ٤١,٨٥ = \frac{٣٢,٨٦}{٠,٧٨٥١}$$

وحيث أن حجم المحلول النهائى هو ١٠٠,٠ مل ؛ بذلك يكون النسبة المئوية بالحجم :

$$\text{٪ } ٤١,٨٥ = ١٠٠ \times \frac{٤١,٨٥}{١٠٠,٠}$$

مثال (٥) :

احسب الضغط البخارى تبعاً لقانون راؤولت لمحلول نتج عن إذابة ٤٣,٦٨ جم من السكر ($C_{12}H_{22}O_{11}$) فى ٢٤٥,٠ مل ماء عند ٢٥°م علماً بأن كثافة الماء عند هذه الدرجة ٠,٩٩٧١ جم / مل وضغطه البخارى ٢٣,٧٥٦ مم ز .

الحل :

يحسب أولا الكسر الجزيئى للماء ثم يطبق قانون راؤولت لحساب ضغط البخار .

وزن الماء = ٢٤٥,٠ × ٠,٩٩٧١ = ٢٤٤,٣ جم ماء

الجزىء الجرامى من الماء يزن ١٨,٠١٥ جم وبذلك فإن :

$$\text{٢٤٤,٣ جم ماء} = \frac{٢٤٤,٣}{١٨,٠١٥} = \text{١٣,٥٦ جزيئات جرامية ماء .}$$

الجزىء الجرامى من السكر ($C_{12}H_{22}O_{11}$) يزن ٣٤٢,٣٠ جم وبذلك فإن ٤٣,٦٨ جم ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

$$= \frac{٤٣,٦٨}{٣٤٢,٣٠} = \text{٠,١٢٨ جزىء جرامى}$$

العدد الكلى للجزيئات الجرامية فى المحلول = ١٣,٥٦ + ٠,١٢٨ = ١٣,٦٩ جزيئات جرامية

$$\text{الكسر الجزيئى للماء} = \frac{١٣,٥٦}{١٣,٦٩} = ٠,٩٩٠٥$$

وتبعاً لقانون راؤولت : $P_1 = x_1 P_1^o$

حيث x = الكسر الجزيئى للماء = ٠,٩٩٠٥

P_1^o = ضغط بخار الماء النقى = ٢٣.٧٥٦ مم ز

P_1 = ضغط بخار الماء فى المحلول

= ٠.٩٩٠٥ × ٢٣.٧٥٦ = ٢٣.٥٣ مم ز

مثال (٦) :

عند ضغط ٧٣٠ مم ز يذوب ٩.٣ سم^3 من غاز الهليوم فى ١٠٠٠ جم ماء عند ٢٠°م ؛ احسب ثابت قانون هنرى للهليوم مفترضاً الحالة المثالية .

الحل :

يحسب الكسر الجزيئى للهليوم ثم يعوض فى قانون هنرى لحساب ثابت قانون هنرى من المعادلة العامة للغازات نحصل على عدد الجزيئات الجرامية من الهليوم :

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(730/760)\ (0.0093)}{(0.0820)\ (293)} = 33.7 \times 10^{-4}\ \text{mole}$$

١٠٠٠ جم ماء = ٥٥.٥ جزيئات جرامية ماء

$$\text{الكسر الجزيئى للهليوم } (x) = \frac{3.7 \times 10^{-4}}{3.7 \times 10^{-4} + 55.5} = 6.7 \times 10^{-6}$$

$$\therefore \text{ ثابت قانون هنرى} = \frac{P}{x} = \frac{730}{6.7 \times 10^{-6}} = 1.1 \times 10^{8}$$

مثال (٧) :

احسب درجة تجمد محلول مائى يحتوى على ١٧.٩ جم من السكر ($C_{12}H_{22}O_{11}$) مذاباً فى ٤٧.٦ جم ماء علماً بأن ثابت انخفاض درجة تجمد الجزىء الجرامى الوزنى للماء هو ١.٨٦°م.

الحل :

حيث أن الجزىء الجرامى من $C_{12}H_{22}O_{11}$ يزن ٣٤٢.٣٠ جم فإن :

$$17.9 \text{ جم } C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{17.9}{342.30} = 0.0523 \text{ جزىء جرامى}$$

∴ درجة التركيز بالجزىء الجرامى الوزنى للسكر فى المحلول المائى

$$= \frac{0.0523}{47.6} \times 1000 = 1.10 \text{ ج و}$$

الانخفاض فى درجة تجمد محلول تركيزه ١،١٠ ج و = ١،١٠ × ١،٨٦ = ٢،٠٥°م

وبذلك فإن درجة تجمد المحلول يجب أن تكون — ٢،٠٥°م

مثال (٨) :

احسب الضغط الاسموزى لمحلول من الجلوكوز $(C_6H_{12}O_6)$ يحتوى على ١،٨ جرام جلوكوز فى ١٠٠ جرام ماء عند ٢٧°م .

الحل :

يربط العلاقة بين الضغط الاسموزى (π) وحجم المحلول (V) ودرجة الحرارة المطلقة (T) المعادلة :

$$\pi \ V = n_2 RT$$

حيث R = الثابت العام للغاز المثالى $(R = 0.082 \text{ liter} - \text{atm})$ ، n_2 = عدد الجزيئات الجرامية من المادة الذائبة فى المحلول .

وفى حالة المحاليل المائية المخففة تكون العلاقة بين π ودرجة تركيز الجزئ الجرامى الوزنى (m) هى :

$$\pi = 0.082 \ m \ T$$

حيث π ترمز إلى الضغط بوحدات جو :

وبالتعويض فى هذه المعادلة عن :

$$(m) = \frac{\text{١،٨}}{\text{الوزن الجزئ الجرامى للجلوكوز}} \times \frac{\text{١٠٠٠}}{\text{١٠٠}}$$

$$= \frac{\text{١،٨}}{\text{١٨٠}} \times \frac{\text{١٠٠٠}}{\text{١٠٠}} = \text{٠،١٠ ج و}$$

$$(T) = \text{٢٧ + ٢٧٣} = \text{٣٠٠}$$

ونحصل على الضغط الاسموزى للمحلول :

$$\pi = \text{٠،٠٨٢} \times \text{٠،١} \times \text{٣٠٠} = \text{٢،٤٦ جو}$$

مثال (٩) :

احسب الوزن الجزيئى الظاهرى لمركب مجهول وزنه الجزيئى إذا علم أنه عند ذوبان ١،٨٩

جرام منه فى ٨٥.٠٠ مل ماء (كثافة ٠.٩٩٨ جم/مل) شوهد أن نقطة غليان المحلول الناتج عند الضغط الجوى هى ١٠٠.١٠٦°م .

ثابت نقطة الغليان للماء تساوى ٠.٥١٢°م .

الحل :

يتناسب الارتفاع فى درجة غليان المحاول تناسباً طردياً مع درجة تركيز جسيمات المذاب . وتعطى العلاقة بين الارتفاع فى درجة الغليان T_B ودرجة تركيز الجزىء الجرامى الوزنى m فى الصورة البسيطة :

$$T_B = K_B \, m$$

حيث K_B – ثابت ارتفاع نقطة الغليان للجزىء الجرامى الوزنى (m = 1)

وبالتعويض فى هذه المعادلة عن K_B ، T_B نحصل على :

$$\text{درجة تركيز المحلول} = \frac{٠,١٠٦}{٠.٥١٢} = ٠.٢٠٧ \text{ جزىء جرامى وزنى}$$

ويحتوى المحلول على ١.٨٩ جرام من المركب فى ٨٥.٠٠ مل ماء أو فى ٨٥.٠٠ × ٠.٩٩٨ = ٨٤.٨٣ جرام ماء .

$$\text{وزن المركب فى كيلوجرام ماء} = \frac{١.٨٩}{٨٤.٨٣} \times ١٠٠٠ = ٢٢.٣ \text{ جرام}$$

وهذه الكمية تكافئ ٠.٢٠٧ جزىء جرامى من المركب .

$$\text{الوزن الجزيئى للمركب} = \frac{٢٢.٣}{٠.٢٠٧} = ١٠٨ \text{ جرام / جزىء جرامى}$$

مثال (١٠)

عند تحليل مركب عضوى وجد أنه يحتوى على ٤٠.٠ ٪ كربون ، ٦.٧ ٪ هيدروجين ، ٥٣.٣ ٪ أكسيجين . وعند إذابة ٠.٦٥٠ جرام من هذا المركب فى ٢٧.٨٠ جرام من ثنائى فينيل شوهد أن الانخفاض فى درجة تجمد المحلول يساوى ١.٥٦°م . أوجد الصيغة الكيميائية الحقيقية لهذا المركب علماً بأن ثابت انخفاض درجة التجمد لثنائى فينيل ٨.٠°م .

الحل :

تعطى العلاقة بين الانخفاض فى درجة التجمد (T_F) ودرجة تركيز الجزىء الجرامى

الوزنى (m) للمحلول فى الصورة :

$$\Delta T_F = K_F \, m$$

حيث K_F = ثابت انخفاض درجة التجمد .

ومن هذه المعادلة نحصل على :

$$m = \frac{١,٥٦}{٨,٠} = ٠,١٩٥ \text{ ج و}$$

كمية المادة المذابة فى كيلوجرام من المذيب = $٠,٦٥٠ \times \frac{١٠٠٠}{٢٧,٨} = ٢٣.٤$ جرام

٢٣,٤ جرام تمثل ٠,١٩٥ جزىء جرامى من المركب ، أى أن

الوزن الجزيئ للمركب = $\frac{٢٣.٤}{٠,١٩٥} = ١٢٠$ جرام / جزئ جرامى

من نتائج التحليل الكيمائى نحصل على الصيغة الكيمائية البسيطة للمركب :

النسبة بين عدد ذرات الكربون إلى الهيدروجين إلى الأكسيجين فى المركب هى كما يلى :

كربون	:	هيدروجين	:	أكسيجين
$\left(\frac{٤٠}{١٢}\right)$	:	$\left(\frac{٦.٧}{١}\right)$	:	$\left(\frac{٥٣,٣}{١٦}\right)$
٣,٣٣	:	٦.٧	:	٣٣.٣
١	:	٢	:	١

أى أن الصيغة الكيمائية البسيطة للمركب هى : CH_2O

ووزن الصيغة الجرامى هو ١٦ + ٢ + ١٢ = ٣٠ جرام

أى أن الوزن الجزيئى الجرامى يساوى $\frac{١٢٠}{٣}$ أو أربعة أضعاف وزن الصيغة الجرامى .

وبذلك فإن الصيغة الكيمائية الحقيقية للمركب تكون :

$C_4H_8O_4$ أو $(CH_2O)_4$

أسئلة وتمارين إضافية :

١ — احسب درجة تركيز الجزئ الجرامى الحجمى (molarity) للمحلول الناتج عن إضافة ١٠.٠ مل من ٠,١٠ ج ح يد كل ، ٢٣.٥ مل من ٠.٢٥ ج ح يد كل إلى ٨.٦ مل من ٠.٣٢ ج ح يد كل .

(الجواب : ٠.٢٣ ج ح)

٢ – احسب عيارية محلول من حمض الكبريتيك إذا علم أنه يلزم ١٣,٦٨ مل منه لمعادلة ٠,٠٥٣٩ مكافئ جرامى من قاعدة .

(الجواب : ٣,٩٤ عيارى)

٣ – احسب وزن برمنجنات البوتاسيوم اللازم لتحضير ١٧,٣١ مل من محلول ٠,٦٩٢ عيارى بوم$_2$ ($K\ MnO_4$) كى يستعمل فى تفاعل يتحول فيه م$_2$ (MnO_4^-) إلى م$_2$ (MnO_2) .

(الجواب : ٠,٦٣٢ جرام)

٤ – يتفاعل برمنجنات البوتاسيوم ($K\ MnO_4$) مع اكزالات الصوديوم ($Na_2C_2O_4$) وينتج Mn^{++} ، CO_2 . احسب عيارية محلول من برمنجنات البوتاسيوم إذا علم أن ١٨,٦٩ مل منه تكافئ ٠,١٣٤٨ جرام من $Na_2C_2O_4$.

(الجواب : ٠,١٠٧٦ عيارى)

٥ – احسب وزن محلول ٠,٢٠٧ جزئ جرامى وزنى (ج و) من كبريتات النحاس ($Cu\ SO_4$) الذى يحتوى على ١,٤٥ جم من كبريتات النحاس .

(الجواب : ٤٥,٣ جرام)

٦ – احسب درجة تركيز الجزىء الجرامى الوزنى لمحلول نتج عن إضافة ١,٨٦ جرام يد كل ، ٠,٠٣٠٢ جزئ جرامى يد كل إلى ٢٦,٩ جرام من محلول تركيزه ٠,١٠٥ ج و يد كل .

(الجواب : ٣,١٣ ج و يد كل) .

٧ – إذا علم أن تركيز حمض النتريك المركز التجارى هو ١٥,٥ ج ح يد ن م$_3$ (HNO_3) وكثافته ١,٤٠٩ جم / مل . أوجد تركيز المحلول معبراً عنه بالنسبة المئوية بالوزن للماء .

(الجواب : ٣٠,٧٪ ماء)

٨ – أضيف ٣٠,٠ مل من الماء (كثافته ١,٠٠ جم/ مل) إلى ٧٠,٠ مل من الكحول الميثيلى (كثافته ٠,٧٩٥٨ جم / مل) وكانت كثافة المحلول الناتج ٠,٨٨٦٦ جم / مل . احسب تركيز الكحول الميثيلى فى المحلول معبراً عنه بالجزئ الجرامى الحجمى ، الجزئ الجرامى الوزنى ، النسبة المئوية بالوزن ، النسبة المئوية بالحجم .

(الجواب : ١٧,٩٩ ج ح ، ٥٧,٩٦ ج و ، ٦٥ ٪ بالوزن ، ٧٢,٤ ٪ بالحجم) .

٩ — يتفكك الجزئ الجرامى من كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) فى الماء ليعطى ١ مول أيونات كالسيوم (Ca^{++}) + ٢ مول أيونات كلوريد (Cl^-) . احسب الضغط البخارى تبعاً لقانون راؤلت لمحلول مائى تركيزه ٠,٥٥٠ ج و كلوريد كالسيوم . علماً بأن الضغط البخارى للماء النقى عند ٢٥°م هو ٢٣,٧٥٦ مم ز ؟

(الجواب : ٢٣,٠٧ مم ز)

١٠ — اكتشف مركب جديد بين الكبريت والسيلينيم ولتكن صيغته Se_xS_y احسب قيمة y.x من النتائج التالية : المركب يحتوى على ٤٥٪ بالوزن Se ويذوب فى البنزين عند ٢٠°م إلى حد يصل إلى ١٢ جم Se_xS_y لكل ٨٨٠,٠ جم بنزين وينشأ عن هذا انخفاض الضغط البخارى للبنزين من ٧٥,٥٠ إلى ٧٥,٢٧ مم ز .

(الجواب : x = ٢ ، y = ٦ ، صيغة المركب Se_2S_6)

١١ — كم يكون وزن النيون (Ne) الذائب فى ١٠٠٠ جرام ماء عندما يكون ضغط الغاز ٧٢٤ مم ز علماً بأن ثابت قانون هنرى للنيون فى الماء هو $٩,١٤ \times ١٠^{٧}$ عند ٢٠°م .

(الجواب : $٨,٨٨ \times ١٠^{-٣}$ جرام)

١٢ — احسب درجة غليان محلول يتكون من ١,٠٠ جم يود (I_2) مذابا فى ٢٥,٣٨ جم رابع كلوريد كربون (CCl_4) علماً بأن نقطة الغليان العادية لرابع كلوريد الكربون التى هى ٧٦,٨°م وثابت ارتفاع نقطة الغليان للجزئ الجرامى الوزنى هو ٥,٠٣°م .

(الجواب : ٧٧,٦°م)

١٣ — عدد ذوبان ٢,٨٣٢ جم من الكبريت فى ٥٠,٠ مل من ثانى كبريتيد الكربون شوهد أن درجة غليان المحلول تعلو بمقدار ٠,٤١١°م عن درجة غليان ثانى كبريتيد الكربون النقى . أوجد الصيغة الكيمائية الجزيئية للمركب علما بأن ثابت ارتفاع نقطة الغليان لثانى كبريتيد الكربون تساوى ٢,٣٤°م .

(الجواب : الصيغة الجزيئية للمركب S_8)

١٤ — احسب الارتفاع فى درجة غليان محلول يحتوى على ٩,٩٩ جم كلوريد كالسيوم ($CaCl_2$) فى ١٦٢ جم ماء ، علماً بأن الجزئ الجرامى من كلوريد الكالسيوم يعطى عند ذوبانه فى الماء ١ مول من أيونات الكالسيوم + ٢ مول من أيونات الكلوريد وأن ثابت ارتفاع درجة الغليان للماء = ٠,٥١٢°م .

(الجواب : ٠,٨٥٤°م)

١٥ – يتفكك حمض الخليك فى الماء ويعطى أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات خلات (CH_3COO^-) . احسب النسبة المئوية للتفكك الظاهرى لمحلول حمض خليك تركيزه ٠.١٠٠ جـ و علماً بأن درجة تجمد المحلول هى – ٠.١٩٠°م وأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء ١.٨٦°م .

(الجواب : ٢ ٪)

١٦ – أوجد الضغط الاسموزى لمحلول يتكون من ٥٠ جم سكروز ($C_{12}H_{22}O_{11}$) فى ١٥٠ جم ماء عند درجة حرارة ٢١°م .

(الجواب : ٢٣.٤ جو)

١٧ – إذا علم أن البنزين (C_6H_6) يتجمد عند ٥.٤٨°م ويغلى عند ٨٠.١٥°م وأن ثابت انخفاض درجة التجمد ٥.١٢°م وثابت ارتفاع درجة الغليان ٢.٥٣°م . وإذا فرض أن لدينا محلول يحتوى على ١.٢٨ جم نفثالين ($C_{10}H_8$) فى ١٠٠ جم بنزين أوجد :

(أ) انخفاض درجة تجمد البنزين .

(ب) درجة تجمد المحلول .

(جـ) الكسر الجزيئى للبنزين فى المحلول .

(د) الضغط البخارى للمحلول عند درجة حرارة الغرفة . علماً بأن الضغط البخارى للبنزين هو ١٠٠ مم ز عند هذه الدرجة .

(هـ) درجة غليان المحلول .

(الجواب : (أ) ٥.١٢°م . (ب) ٠.٣٦°م . (جـ) ٠.٩٢٨ . (د) ٩٢.٨ مم ز . (هـ) ٨٢.٦٨°م) .