

National Science and Mathematics Olympiad

Learning Materials for the Fourth Stage
Finals of "NSMO"2026



Chemistry

فهرس الموضوعات

الصفحات	المكونات	الموضوع	م
3-28	<ul style="list-style-type: none"> الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات Kinetics and Reaction Mechanisms نظرية التصادم Collision theory العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي Factors Affecting the Rate of Chemical Reaction قوانين سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rate Laws 	<ul style="list-style-type: none"> سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rates 	1
29-63	<ul style="list-style-type: none"> مفهوم الاتزان The Concept of Equilibrium حاصل التفاعل وثابت الاتزان The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين K_p و K_c Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relation Between K_c and K_p مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل Comparing Q and K to Predict Reaction Direction كيفية حل مسائل الاتزان How to Solve Equilibrium Problems مبدأ لو شاتلييه Le Châtelier's Principle 	<ul style="list-style-type: none"> الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium 	2
64-96	<ul style="list-style-type: none"> مفاهيم الحموض والقواعد Acid and Base Concepts قوة الحموض والقواعد Acid and Base Strength الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل The pH and pOH of Solutions اتزانات حمض-قاعدة Acid-Base Equilibria تميؤ الأملاح Salt Hydrolysis المحاليل المنظمة Buffers منحنيات المعايرة الحمضية - القاعدية Acid-Base Titration Curves ثابت حاصل الذائبية (K_{sp}) (Ksp) 	<ul style="list-style-type: none"> الحموض والقواعد والأملاح Acids, Bases, and Salts 	3
97-124	<ul style="list-style-type: none"> إرشادات السلامة في مختبر الكيمياء Chemistry Laboratory Safety أدوات مختبر الكيمياء الأساسية Basic Chemistry Laboratory apparatuses رموز السلامة في المختبر Laboratory safety symbols تجربة تحليل الخل التجاري Analysis of Commercial Vinegar experiment تجربة تحديد النسبة المئوية لبيكربونات الصوديوم في خليط Experiment to determine the Percentage of Sodium Bicarbonate in a Mixture تجربة التعرف النوعي على محاليل مجهولة Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment تجربة بصمة العناصر في اللهب The elements fingerprint experiment in flame 	<ul style="list-style-type: none"> التجارب العملية Practical experiments 	4

Kinetics and Reaction Mechanisms

الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات

• **الكيمياء الحركية:** هي فرع من فروع الكيمياء الفيزيائية وهي العلم الذي يختص بدراسة سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها وآلية حدوث هذه التفاعلات.

• **Kinetic chemistry:** It is a branch of physical chemistry, which is the science that specializes in studying the speed of chemical reactions, the factors affecting them, and the mechanism of these reactions.

• ما الفرق بين كيمياء التيرموديناميك والكيمياء الحركية؟

-كيمياء التيرموديناميك تهتم بدراسة الطاقة وتحولاتها في أي تفاعل كيميائي، وبدراسة ما إذا كان التفاعل يحدث أم لا كما أنها تهتم بالحالة الابتدائية والنهائية للنظام.

- بينما الكيمياء الحركية تهتم بدراسة سرعة حدوث التفاعلات الكيميائية، ودراسة الآلية التي تتحول فيها المتفاعلات إلى نواتج والزمن اللازم لهذا التحول.

What is the difference between thermodynamic chemistry and kinetic chemistry?

-Thermodynamic chemistry is concerned with the study of energy and its transformations in any chemical reaction, and with the study of whether the reaction occurs or not, and it is concerned with the initial and final state of the system.

- Kinetic chemistry is concerned with the study of the speed of chemical reactions, the mechanism by which reactants are transformed into products and the time required for this transformation.

سرعة التفاعل الكيميائي

من المعلوم أن كل التغيرات من حولنا سواء كانت كيميائية أو فيزيائية تحتاج إلى زمن لحدوثها، قد يحدث هذا التغير خلال فترة زمنية قصيرة جداً وقد يتم خلال فترة زمنية طويلة جداً.

يمكن التحكم في زمن هذه التغيرات عن طريق التحكم في سرعة التفاعل، فعند زيادة سرعة التفاعل فإن الزمن اللازم لحدوث التغير (التفاعل) سوف يقل والعكس صحيح.

Reaction Rates

It is known that all changes around us, whether chemical or physical, require time to occur. A change may take place over a very short period of time, or it may take place over a very long period of time.

The time required for these changes can be controlled by controlling the reaction rate. As the reaction rate increases, the time required for the change to occur decreases, and vice versa.

كمثال تفسد بعض الأطعمة بسرعة بسبب التفاعلات الكيميائية التي تحدثها البكتيريا، وتبريد هذه الأطعمة عند درجات حرارة منخفضة يبطئ من سرعة هذه التفاعلات وبالتالي تبقى صالحة للأكل لفترة زمنية أطول.

For example, some foods spoil quickly due to chemical reactions caused by bacteria, and cooling these foods at low temperatures slows down the speed of these reactions and thus remains edible for a longer period.

استنتج/ في المثال السابق أعلاه هناك عامل مهم من العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الكيميائي، ما هو هذا العامل؟

Deduce/ In the previous example above, there is an important factor affecting the speed of a chemical reaction, what is this factor?

معدل سرعة التفاعل الكيميائي:

هو معدل التغير في كميات (تركيز) المواد المتفاعلة أو الناتجة بالنسبة للزمن.

أو معدل الزيادة في تركيز الناتج بالنسبة للزمن.

أو معدل النقص في تركيز المواد المتفاعلة بالنسبة للزمن.

Rate of Chemical Reaction Speed:

It is the rate of change in the amounts (concentration) of the reactants or produced in relation to time.

or The rate of increase in the concentration of the output relative to time.

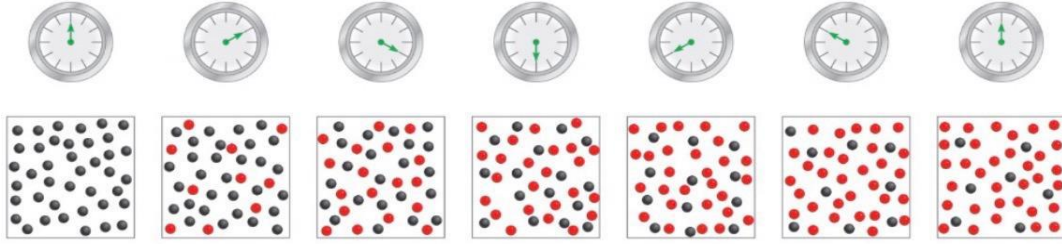
or The rate of decrease of reactants' amount relative to time.

$$\text{المعدل} = \frac{\text{التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\text{Rate} = - \frac{\Delta[\text{Reactant}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Product}]}{\Delta t}$$

عملياً يمكن قياس سرعة التفاعل بقياس معدل اختفاء مادة متفاعلة أو معدل تكوين مادة ناتجة وذلك باعتبار قانون حفظ المادة فإن زيادة تركيز النواتج يعني نقص تركيز المتفاعلات.

In practice, the speed of the reaction can be measured by measuring the rate of disappearance of a reactant or the rate of formation of a resulting substance, as the law of conservation of matter means an increase in the concentration of the products means a decrease in the concentration of the reactants.

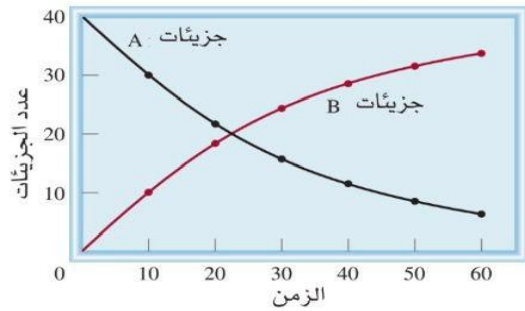


الشكل 7-1: سير التفاعل $A \rightarrow B$ تم ملاحظته مدة 60 ثانية، وكانت المتابعة له كل 10 ثوان. في البداية كانت هناك جزيئات A (الكرات الرمادية). ومع مرور الوقت بدأت جزيئات B (الكرات الحمراء) تتكون (الرمادية).

Figure 7-1: The course of the $A \rightarrow B$ reaction was observed for 60 seconds, followed every 10 seconds. At first, there were A molecules (gray balls). Over time, B molecules (red balls) began to form

الشكل 7-2: سرعة التفاعل $A \rightarrow B$ ، تم تمثيلها بأنه الانخفاض في عدد جزيئات A بالنسبة إلى الزمن، وزيادة عدد جزيئات B مع الزمن

Figure 7-2 : The rate of the $A \rightarrow B$ reaction , represented as the decrease in the number of A molecules over time, and the increase in the number of B molecules over time



من الرسوم السابقة يمكننا التعبير عن سرعة التفاعل إما

From the above figures we can express the speed of the reaction either

$$Rate = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} \quad Or \quad Rate = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

الإشارة السالبة في القانون أعلاه تعني أن تركيز المواد المتفاعلة يتناقص مع مرور الزمن بينما الإشارة الموجبة تعني أن تركيز النواتج يتزايد مع مرور الزمن.

A negative signal in the above law means that the concentration of the reactants decreases over time

A positive signal means that the concentration of output increases over time.

في التفاعل التالي:



$$Rate = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

وحدة سرعة التفاعل هي (وحدة تركيز)/(وحدة زمن):

The unit of reaction speed is (unit of concentration) / (unit of time)

$$\text{mol/ L.s}$$

سرعة تكوين النواتج وسرعة اختفاء المتفاعلات تعتمد على المولات الداخلة بالتفاعل لذا لا بد من أخذ عدد المولات بالاعتبار عند حساب سرعة التفاعل كما في القانون أعلاه.

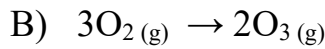
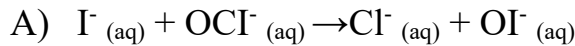
The speed of product formation and the speed of disappearance of reactants depend on the moles involved in the reaction, so the number of moles must be considered when calculating the speed of the reaction as in the above law.

Example 7-1

مثال 7-1

اكتب تعبيرات التفاعلات الآتية:

Write down the expressions of the following reactions:



الحل:

$$A) \text{Rate} = - \frac{\Delta[I^{-}]}{\Delta t} = - \frac{\Delta[OCl^{-}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[Cl^{-}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[OI^{-}]}{\Delta t}$$

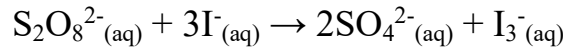
$$B) \text{Rate} = - \frac{1}{3} \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[O_3]}{\Delta t}$$

Example 7-2

مثال 7-2

لديك التفاعل التالي:

Consider the following reaction:



تم تحضير محلول مائي يحتوي على 0.050 M من أيونات $S_2O_8^{2-} (aq)$ و 0.072 M من أيونات $I^{-} (aq)$ ، وتم مراقبة التفاعل عن طريق قياس $[I^{-}]$. البيانات التي تم الحصول عليها مذكورة في الجدول أدناه.

An aqueous solution containing 0.050 M of $S_2O_8^{2-} (aq)$ ion and 0.072 M of $I^{-} (aq)$ is prepared, and the progress of the reaction followed by measuring $[I^{-}]$. The data obtained is given in the table below.

Time الزمن (s)	0	400	800	1200	1600
$[I^{-}] (M)$	0.072	0.057	0.046	0.037	0.029

احسب تركيز أيونات $S_2O_8^{2-} (aq)$ المتبقية عند الزمن 800 s .

Calculate the concentration of $S_2O_8^{2-} (aq)$ remaining at 800 s .

الحل



$$t=0 \quad \quad \quad 0.050 \quad \quad 0.072$$

$$t=800 \quad \quad \quad ? \text{ M} \quad \quad 0.046$$

$$\Delta[I^{-}] = 0.046 - 0.072 = -0.026 \text{ M reacted}$$

$$\Delta[S_2O_8^{2-}] = 1/3 (-0.026) = -0.00867 \text{ M reacted}$$

$$[S_2O_8^{2-}] = 0.050 - 0.00867 = 0.041 \text{ M}$$

Collision theory

نظرية التصادم

فروض نظرية التصادم:

- يجب أن تتصادم الذرات والأيونات والجزيئات (المواد المتفاعلة) بعضها ببعض لكي يتم التفاعل
- ليس من الضروري أن يؤدي كل تصادم إلى حدوث تفاعل.

Assumptions of collision theory:

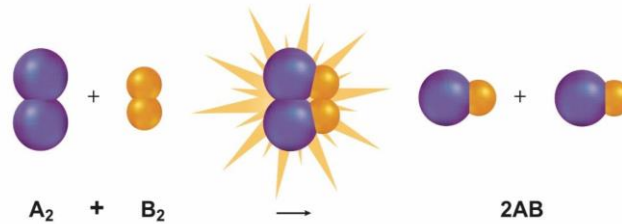
- Atoms, ions, and molecules (reactants) must collide with each other in order for the reaction to take place.
- Not every collision has to trigger a reaction.

لكي يكون التصادم فعال لابد من تحقيق شرطين أساسيين:

- 1- أن تتصادم المتفاعلات في الاتجاه الصحيح
- 2- أن تتصادم المتفاعلات بطاقة كافية لتكوين المعقد المنشط.

For a collision to be effective, two basic conditions must be met:

- 1- The reactants collide in the right direction
- 2- The reactants collide with sufficient energy to form the activated complex.

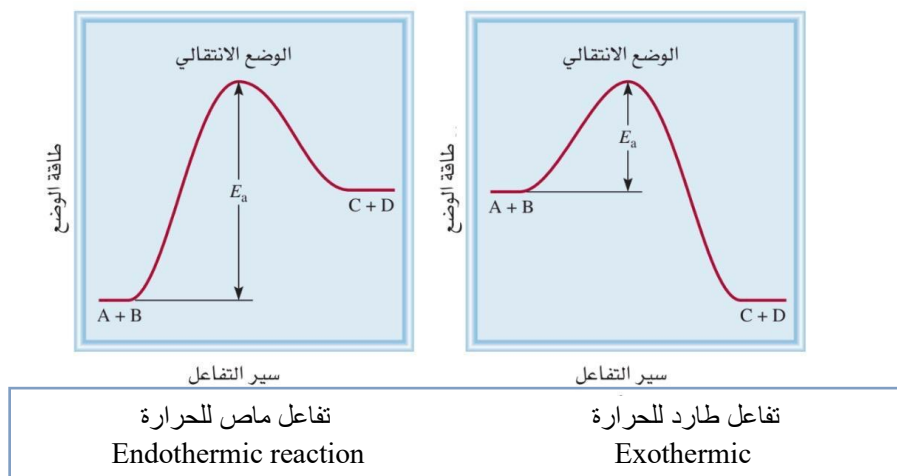


الشكل 7-3: يجب أن تتصادم الجسيمات بالاتجاه الصحيح وبكمية كافية من الطاقة لكي يحدث التفاعل

Figure 7-3: The particles must collide in the right direction and with enough energy to induce the reaction

طاقة التنشيط E_a : الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل.

Activation energy E_a : The minimum energy of the reacting molecules needed to form the activated complex and cause the reaction.



الشكل 7-4: طاقة التنشيط ودورها في تحديد سرعة التفاعل

Figure 7-4: Activation energy and its role in determining reaction rate

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

• تختلف التفاعلات من حيث سرعاتها فمنها السريع كتفاعل الصوديوم مع الماء، ومنها الأسرع كالانفجارات، ومنها البطيء كصدأ الحديد ومنها الأبطأ كتكون البترول.

Reactions vary in terms of their speeds, some are fast such as the reaction of sodium with water, some are faster such as explosions, some are slow such as iron rust, and some are slower such as the formation of petroleum.

• فإذا كان لدينا تفاعل بطيء فهل يمكن زيادة سرعته والحصول على النتائج في فترة زمنية قصيرة؟

الجواب هو: نعم، يمكن التحكم في سرعة التفاعل بشرط دراسة العوامل المؤثرة على سرعته.

If we have a slow reaction, can we speed it up and get results in a short period of time?

The answer is: Yes, the speed of a reaction can be controlled provided that the factors affecting its speed are considered.

إن دراسة العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل تساعد في الحصول على النتائج في فترة زمنية قصيرة وبأقل كلفة، كما وتصنف العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل إلى عوامل ذات أثر إيجابي وعوامل ذات أثر سلبي.

Studying the factors affecting the speed of the reaction helps to obtain the results in a short period of time and at the lowest cost, and the factors affecting the speed of the reaction are classified into factors with a positive effect and factors with a negative effect.

العوامل ذات الأثر الإيجابي هي العوامل ذات الأثر المرغوب فيه، فمثلاً الصناعات البتر وكيميائية لها أهمية كبيرة في حياتنا، لذا يجب الاهتمام والبحث عن العوامل التي تزيد من سرعة هذه التفاعلات للتقليل من التكاليف ولزيادة الإنتاج.

For example, the petrochemical industry is of great importance in our lives, so we should pay attention to and look for factors that increase the speed of these reactions to reduce costs and increase production.

بينما العوامل ذات الأثر السلبي هي العوامل ذات الأثر غير المرغوب فيه، فمثلاً الأطعمة إذا تركت فإنها تفسد بسبب نمو البكتيريا والفطريات، لذا يجب البحث عن العوامل التي تقلل من سرعة التفاعلات وبالتالي تقاوم فساد الأطعمة، كذلك الحديد إذا ترك في الهواء المحتوي على الأكسجين وبخار الماء فإنه سيتأكسد. يعتبر التآكل (تفاعل الأكسجين مع المعادن) من العوامل ذات الأثر السلبي لأنه يسبب تلفاً للجسور والآلات المصنوعة من المعادن مما يسبب خسارة كبيرة لكثير من المدن الصناعية لهذا يجب البحث عن العوامل التي تقاوم أو توقف التآكل.

For example, if food is left in the air, it spoils due to the growth of bacteria and fungi, so it is necessary to look for factors that reduce the speed of reactions and

thus resist the spoilage of foods, as well as iron if left in the air containing oxygen and water vapor, it will oxidize. Corrosion (the reaction of oxygen with metals) is one of the factors with a negative effect because it causes damage to bridges and machinery made of metals, causing a great loss of many Industrial cities for this should look for factors that resist or stop erosion.

العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية

يمكن تلخيص أهم العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية والمتحكم فيها على النحو التالي:

1- طبيعة المواد المتفاعلة.

2- تركيز المواد المتفاعلة.

3- درجة الحرارة.

4- وجود العامل المُحفِّز.

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

• The most important factors affecting and controlling the speed of chemical reactions can be summarized as follows:

1. The nature of the reactants.
- 2- Concentration of reactants.
- 3- Temperature.
- 4- The presence of the motivating factor.

أولاً: طبيعة المواد المتفاعلة

تؤثر طبيعة المواد المتفاعلة تأثيراً واضحاً في سرعة التفاعل وذلك بسبب عدد من العوامل من أهمها:

First: The Nature of the Reactants

The nature of the reactants has a clear effect on the speed of the reaction due to several factors, the most important of which are:

(أ) طبيعة المادة نفسها (الطبيعة الكيميائية للمادة)

لكل مادة تركيبها الكيميائي الخاص الذي يكسبها صفات كيميائية خاصة حيث تعتمد قابلية المادة الكيميائية للتفاعل على نشاطها الكيميائي وهذا النشاط محكوم بقابليتها لتكوين روابط كيميائية وهذا هو العامل الكبير الذي يحدد سرعة التفاعل.

• تفاعل الأيونات أسرع من الذرات وتفاعل الذرات أسرع من الجزيئات.

• تفاعل الجزيئات والأيونات قليلة الروابط أسرع من الجزيئات والأيونات كثيرة الروابط.

a) The nature of the substance itself (the chemical nature of the substance)

Each substance has its own chemical composition that gives it special chemical properties, as the susceptibility of the chemical to react depends on its chemical activity, and this activity is controlled by its ability to form chemical bonds, and this is the big factor that determines the speed of the reaction.

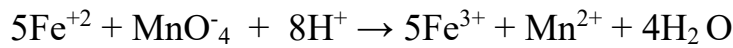
- Ions react faster than atoms and atoms react faster than molecules.
- Molecules and ions with fewer bonds react faster than molecules and multi-bonded ions.

Example 7-3

مثال 7-3

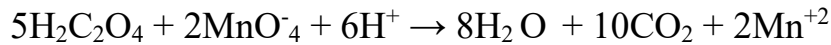
اختزال أيونات البرمنجنات (MnO_4^-) بواسطة أيونات الحديدوز في الوسط الحامضي.

Reduction of permanganate ions (MnO_4^-) by ferrous ions in the acidic medium.



يتم التفاعل بسرعة ويلاحظ ذلك من اختفاء لون البرمنجنات، اختزال نفس الأيونات بواسطة حمض الأكساليك في الوسط الحامضي.

The reaction takes place quickly and is observed by the disappearance of the color of the permanganates, the reduction of the same ions by oxalic acid in the acidic medium.



يتم التفاعل ببطء Reaction is slow

استنتج/ ما اختلاف سرعة التفاعل لنفس المادة رغم أن الوسط حمضي في المعادلتين؟

Deduce/What is the reason for the difference in the reaction rate of the same substance, even though the medium is acidic in the two equations?

(ب) وسط التفاعل

حيث إن أغلب التفاعلات الكيميائية تتم بين مادتين أو أكثر، ولكي يحدث تفاعل لابد لجزيئات وأيونات هذه المواد من التصادم مع بعضها البعض، ولا ننسى أن هناك ثلاثة أطوار يمكن أن تكون عليها المادة هي (الصلبة - السائلة - الغازية).

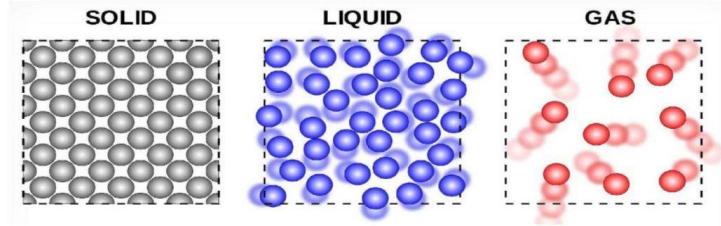
b) Reaction medium

Most chemical reactions take place between two or more substances, and for a reaction to occur, the molecules and ions of these substances must collide with each other, and we do not forget that there are three phases that matter can have (solid, liquid, and gaseous).

- عندما تكون المواد الداخلة في التفاعل موجودة في طور واحد سمي هذا التفاعل بالتفاعل المتجانس.

- أما إذا كانت تلك المواد موجودة في أكثر من طور فيسمى التفاعل بالتفاعل غير المتجانس.
- التفاعلات في الطور الغازي غالباً ما تكون أسرع من السائل والسائل أسرع من الصلب.

- When the materials involved in the reaction are present in a single phase, this reaction is called a Homogeneous Reaction
- If these substances are present in more than one phase, the reaction is called a Heterogeneous Reaction
- Reactions in the gaseous phase are often faster than liquid and liquid faster than solid.

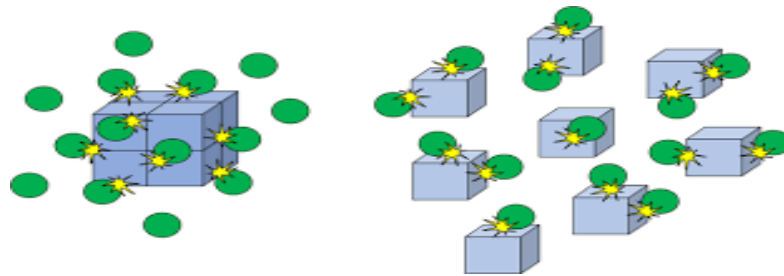


ج) مساحة سطح المادة في حالة كونها صلبة تلعب دوراً مهماً في تحديد سرعة التفاعل، حيث أن المواد الصلبة الموجودة على شكل كتل كبيرة تتفاعل بصورة أبطأ مما إذا كانت هذه المواد على شكل بودرة أو مسحوق.

c) Surface area of the material in case of being solid plays an important role in determining the speed of the reaction, as solids in the form of large masses react more slowly than if they were in the form of powder or crushed material.

• من الأمثلة على ذلك: برادة الحديد تصدأ بتفاعلها مع الأكسجين بصورة أسرع من قضيب الحديد إذا تساوت كتلتيهما والسبب في ذلك أن الحديد عند تحويله إلى برادة (مسحوق) فإن مساحة سطحه تزداد وبالتالي يزداد الجزء الذي يشترك في حدوث التفاعل الكيميائي، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

• An example of this is that iron filings rust faster than oxygen reaction than iron rods if their two masses are equal, and the reason for this is that when iron is converted into filings (crushed material or powder), its surface area increases, and thus the part that participates in the chemical reaction increases, which leads to an increase in the speed of the chemical reaction.



ثانياً: تركيز المواد المتفاعلة

- تعتمد سرعة التفاعل بشكل رئيسي على تراكيز المواد المتفاعلة حيث إن العلاقة بينهما علاقة طردية.
- عند بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل كبيرة وذلك لأن تركيز المواد المتفاعلة يكون عالياً وبمرور الوقت يقل تركيز المواد المتفاعلة وتنخفض معه سرعة التفاعل.

Second: Concentration of Reactants

- The speed of the reaction depends mainly on the concentrations of the reactants as the relationship between them is direct.
- At the beginning of the reaction, the speed of the reaction is high, because the concentration of the reactants is high, and over time, the concentration of the reactants decreases, and the speed of the reaction decreases.

كلما زاد التركيز ← زاد عدد الجزيئات ← زادت عدد التصادمات ← زادت سرعة التفاعل.

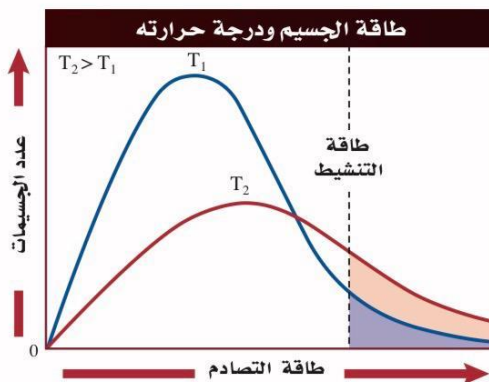
The higher the concentration → the more molecules → the higher the number of collisions → the faster the reaction.

ثالثاً: درجة الحرارة

غالباً تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل؛ لأن ارتفاع الحرارة يرفع الطاقة الحركية للجسيمات، فيزداد معدل التصادمات، والأهم أنه يزيد نسبة التصادمات الفعالة التي تمتلك طاقة كافية لتجاوز طاقة التنشيط (E_a)، فتزداد سرعة التفاعل.

Third: Temperature

Increasing temperature often increases the reaction rate because a higher temperature raises the particles' kinetic energy, which increases the collision frequency and, more importantly, increases the fraction of effective collisions that have enough energy to overcome the activation energy (E_a) thereby speeding up the reaction.



الشكل 5-7: تأثير درجة الحرارة على خفض طاقة التنشيط وتسريع التفاعل

Figure 7-5: Effect of temperature on reducing activation energy and accelerating the reaction

Example 7-4

مثال 7-4

- تضاعف سرعة تفاعل معين مع كل ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار 10°C .
 (a) ما مدى سرعة التفاعل عند درجة حرارة 45°C مقارنةً بدرجة حرارة 25°C ؟
 (b) ما مدى سرعة التفاعل عند درجة حرارة 95°C مقارنةً بدرجة حرارة 25°C ؟

The rate of a certain reaction doubles for every 10°C rise in temperature.

- (a) How much faster does the reaction proceed at 45°C than at 25°C ?
 (b) How much faster does the reaction proceed at 95°C than at 25°C ?

الحل

Rate 1 = initial rate \times 2 for 10°C

(a) $\Delta t = 45 - 25 = 20$, $n = 20/10 = 2$ Rate2 = initial rate $\times 2^2 = 4$ initial rate for 20°C

(b) $n = 70/10 = 7$ Rate3 = initial rate $\times 2^7 = 128$ initial rate for 70°C

(a) 4-times faster and (b) 128-times faster

(a) أسرع بـ 4 مرات و (b) أسرع بـ 128 مرة

رابعًا: المحفزات والمثبطات

العامل المُحَفِّز عبارة عن مادة لها خاصية تنشيط التفاعل الكيميائي وزيادة سرعته دون أن تتغير كيميائيًا، يعمل المُحَفِّز على خفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل مما يزيد من سرعة التفاعل.

أما العامل المثبط فهو عكسه تمامًا ؛ حيث يبطئ من سرعة التفاعل الكيميائي من خلال رفع طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل.

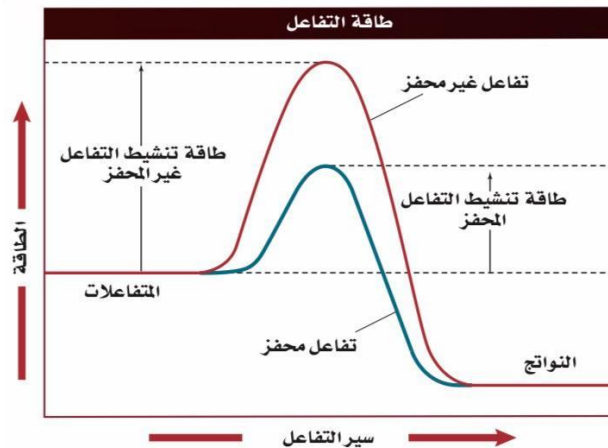
Fourth: Catalysts and Inhibitors

A catalyst is a substance that has the property of activating a chemical reaction and increasing its speed without changing chemically, the catalyst works to reduce the activation energy needed for the reaction to occur, which increases the speed of the reaction.

The inhibitory agent is the exact opposite, slowing down the speed of the chemical reaction by raising the activation energy needed for the reaction to occur.

الشكل 7-6: تأثير المحفز على خفض طاقة التنشيط وتسريع التفاعل

Figure 7-6: Catalyst effect on reducing activation energy and accelerating the reaction



Reaction Rate Laws

قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

لتحديد العلاقة بين التركيز وسرعة التفاعل الكيميائي بصورة دقيقة لا بد من إيجاد العلاقة الرياضية التي تربط بينهما وهو ما يسمى بقانون سرعة التفاعل.

To accurately determine the relationship between concentration and chemical reaction velocity, it is necessary to find the mathematical relationship that connects them, which is called the Reaction Rate law.

$aA \rightarrow \text{Products}$ نواتج

$$R \propto A \quad R = k[A]^n$$

n: Reaction order رتبة التفاعل

k: Rate constant ثابت سرعة التفاعل

رتبة التفاعل n = عدد صحيح أو كسري

Reaction order n = integer or fractional number

رتبة التفاعل ليس لها علاقة بالمعامل في المعادلة الكيميائية (ليس هناك علاقة بين a و n)

The reaction order has nothing to do with the coefficient in the chemical equation (n and a have no relationship between)

$R = k[A]^0 \quad n = 0 \quad R = k$ Zero order reaction تفاعل من الرتبة الصفرية

$R = k[A]^1 \quad n = 1 \quad R = k[A]$ First order reaction تفاعل من الرتبة الأولى

$R = k[A]^2 \quad n = 2 \quad R = k[A]^2$ Second order reaction تفاعل من الرتبة الثانية

If there is more than one reactant: إذا كان هناك أكثر من مادة متفاعلة:

$aA + bB + \dots \rightarrow \text{Products}$ نواتج

$$R = k[A]^n [B]^m$$

Overall reaction Order رتبة التفاعل الكلية = n+m

لثابت سرعة التفاعل k قيمة عددية ثابتة ومحددة لكل تفاعل؛ لا يتغير مع التركيز، ولكن يتغير بتغير درجة الحرارة، والقيمة الكبيرة له تعني أن A يتفاعل بسرعة لتكوين النواتج، كما أن له وحدات قياس مختلفة مثل:

The constant of the speed of the reaction k has a fixed and specific numerical value for each reaction, it does not change with the concentration but changes with the change in temperature, and its large value means that A reacts quickly to form the products, and it also has different units of measurement such as:

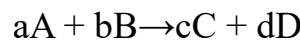
$$s^{-1}, \quad L/mol.s, \quad L^2/mol^2.s$$

ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبياً.

The law of reaction velocity must be determined experimentally.

العلاقة بين تركيز المواد المتفاعلة وسرعة التفاعل ليست بالعلاقة السهلة حيث تؤدي الزيادة في تركيز إحدى المواد المتفاعلة إلى زيادة سرعة التفاعل وقد تؤدي إلى نقصانها كما في التفاعلات العكسية وقد لا يحدث أي تغيير في السرعة وأحياناً قد تؤدي إلى تسمم التفاعل ولاسيما في التفاعلات غير المتجانسة.

The relationship between the concentration of reactants and the speed of the reaction is not an easy one, as an increase in the concentration of a reactant leads to an increase in the speed of the reaction and may lead to a decrease in it, as in reverse reactions, and there may be no change in the speed and sometimes it may lead to poisoning of the reaction, especially in heterogeneous reactions.



$$R = k[A]^n [B]^m$$

تعتمد سرعة التفاعل على التركيز لكل مادة من المواد المشتركة في التفاعل بحيث يكون كل تركيز مرفوعاً إلى قوة يمكن تعيينها بالتجربة.

The speed of the reaction depends on the concentration of each of the materials involved in the reaction so that each concentration is raised to a power that can be set by experiment.

n,m عبارة عن أعداد مجردة ممكن أن تأخذ قيمة موجبة أو سالبة أو كسرية أو صفرية وتعرف بالرتب الجزئية.

n,m are abstract numbers that can take positive, negative, fractional, or zero values and are known as partial orders.

Example 7-5

مثال 7-5



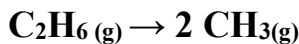
$$R = k \cdot [N_2O_5]^n$$

$$R = k \cdot [N_2O_5]$$

تفاعل من الرتبة الأولى First order reaction

Example 7-6

مثال 7-6



$$R = k \cdot [C_2H_6]^n$$

$$R = k \cdot [C_2H_6]^2$$

تفاعل من الرتبة الثانية Second order reaction

لا يمكن التنبؤ بقانون سرعة التفاعل بمجرد النظر للمعادلة الكيميائية الموزونة، بل يجب معرفة ذلك بالتجربة.

The law of reaction speed cannot be predicted by simply looking at the balanced chemical equation but must be known by experiment.

تحديد رتبة التفاعل تحدد من خلال مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغيير تركيز المواد المتفاعلة.

Determine the reaction Order

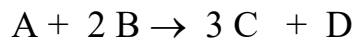
It is determined by comparing the initial velocities of the reaction to the change in the concentration of the reactants

Example 7-7

مثال 7-7

تم الحصول على البيانات التالية في الجدول للتفاعل التالي:

The following data were obtained for the reaction:



التجربة Run	[A]	[B]	rate السرعة $M \cdot s^{-1}$
1	0.16	0.36	2.67
2	0.16	0.09	0.67
3	0.32	0.24	7.11
4	0.08	0.09	0.168
5	0.24	0.12	2.0
6	0.02	1.35	?

- (a) اكتب تعبير قانون السرعة للتفاعل.
 (b) أحسب قيمة k ، ثابت السرعة (مع الوحدات).
 (c) احسب سرعة التفاعل عندما يكون $[A] = 0.02 M$ و $[B] = 1.35 M$.
 (d) افترض أن التفاعل يصل إلى الاكتمال. في الظروف المحددة في التجربة الثانية، كم سيكون $[C]$ النهائي؟

- (a) Write the rate law expression for this reaction.
 (b) Calculate the value of k , the rate constant (with units).
 (c) Calculate the rate of the reaction when $[A] = 0.02 M$ and $[B] = 1.35 M$.
 (d) Assume that the reaction goes to completion. Under the conditions specified in the second run, what would the final $[C]$ be?

الحل

- (a) $R = k[A]^y[B]^x$
 Compare exp. 1 and 2 $[0.36/0.09]^x = 2.67 / 0.67$ $x=1$ for B
 And exp. 3 and 2 $(0.32/0.16)^y (0.24/0.36) = 7.11/2.67$ $(2)^y=4$ $y=2$ for A

$$R = k [A]^2[B]$$

(b) $k = R / [A]^2[B] = 2.67 / 0.36 \times 0.16^2 = 290 M^{-2} sec^{-1}$

(c) $R = k [A]^2[B] = 290 \times (0.02)^2 (1.35) = 0.16 M/sec$

- (d) $0.16 / 1 = 0.16$, $0.09 / 2 = 0.045$, then B is a Limiting reactant المتفاعل المحدد



$$\begin{array}{ccccccc} & 0.045 & 0.09 & 3 \times 0.09/2 & 0.09/2 & & \\ \text{Excess } & 0.16 - 0.045 = 0.115 & & 0 & 0.135 & 0.045 & \\ [C] = & 0.135 \text{ M} & & & & & \end{array}$$

Example 7-8

مثال 7-8

لديك الجدول للسرعات الابتدائية للتفاعل:

Consider the table of initial rates for the reaction:



Experiment	$[\text{ClO}_2]_0$, mol/L	$[\text{OH}^-]_0$, mol/L	Initial Rate, mol/(L · s)
1	0.050	0.100	5.75×10^{-2}
2	0.100	0.100	2.30×10^{-1}
3	0.100	0.050	1.15×10^{-1}

What is the order this reaction with respect to ClO_2 ?

b. What is the order this reaction with respect to OH^- ? ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ OH^- ؟

c. What is the Rate law for this reaction? ما قانون السرعة لهذا التفاعل؟

d. What is the Value and units for the Rate constant? ما قيمة وما وحدات ثابت السرعة؟

Example 7-9

مثال 7-9

لديك جدول السرعة الأولية للتفاعل بين الهيموجلوبين (Hb) وأول أكسيد الكربون.

Consider the table of initial rate for the reaction between hemoglobin (Hb) and carbon monoxide.

Experiment	$[\text{HB}]_0$, $\mu\text{mol/L}$	$[\text{CO}]_0$, $\mu\text{mol/L}$	Initial Rate, $\mu\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$
1	2.21	1.00	0.619
2	4.42	1.00	1.24
3	3.36	2.40	2.26

a. What is the order this reaction with respect to HB? ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ HB؟

b. What is the order this reaction with respect to CO? ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ CO؟

c. What is the Rate law for this reaction? ما قانون السرعة لهذا التفاعل؟

d. What is the Value and units for the Rate constant? ما قيمة وما وحدات ثابت السرعة؟

الكيمياء الحركية للتفاعلات البسيطة :

عرفنا أنه يمكن تحديد قانون سرعة التفاعل من خلال التجارب العملية. وفي الجزئية السابقة استخدمنا طريقة السرعة الابتدائية من خلال النظر في طريقة تأثير سرعة التفاعل (السرعة الابتدائية) بالتغير في التركيز. ولكن هناك طريقة أخرى يمكن من خلالها تحديد سرعة التفاعل من خلال النظر في تغير التركيز مع الزمن، وتتطلب هذه الطريقة استنتاج معادلات رياضية تصف التغير الحاصل، ومن خلالها نستطيع أن نحدد رتبة التفاعل وبالتالي قانون سرعة التفاعل، (لن ندخل في التفاصيل الرياضية الخاصة باستنتاج المعادلات).

Kinetic chemistry of simple reactions:

We knew that the reaction velocity law could be determined by practical experiment, and in the previous part we used the initial velocity method by looking at how the reaction velocity (initial velocity) is affected by the change in concentration. But there is another way in which the speed of the reaction can be determined by looking at the change in concentration over time, and this method requires deducing mathematical equations that describe the change that occurs, and through which we can determine the rank of the reaction and therefore the law of reaction velocity, (we will not go into the mathematical details of deducing the equations).

تفاعلات الرتبة الصفرية:

هي تفاعلات نادرة الحدوث، ولكنها تحدث غالبًا في وجود العامل المحفز، وهي التفاعلات التي سرعتها لا تتأثر بتغير تراكيز المواد المتفاعلة.

Zero-Order reactions:

These are rare reactions but often occur in the presence of the catalyst, and the speed of these reactions is not affected by the change in the concentrations of the reactants.

$$[A] = -kt + [A]_0$$

فترة عمر النصف:

هي الزمن اللازم لتفكك نصف تركيز المادة المتفاعلة وتأخذ الرمز $t_{1/2}$ ، وتعتمد على رتبة التفاعل.

Half-life:

It is the time required for half of the concentration of the reactant to disintegrate and takes the symbol $t_{1/2}$, and it depends on the order of the reaction.

$$[A]_0 \rightarrow [A]_0 / 2$$

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الصفرية:

Half-life of zero-order reactions:

$$t_{1/2} = [A]_0 / 2k$$

تفاعلات الرتبة الأولى:

تعتبر من التفاعلات الشائعة، وغالبًا ما تحدث عندما يكون المذيب المستخدم أحد المتفاعلات.

First-order reactions:

They are considered a common reaction, and they often occur when the solvent used is one of the reactants.

$$\ln [A] = -kt + \ln [A]_0$$

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الأولى لا تعتمد على التركيز:

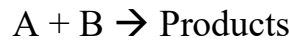
$$t_{1/2} = \ln 2 / k = 0.693/k$$

تفاعلات الرتبة الثانية:

تعتبر هذه التفاعلات من الأكثر شيوعًا حيث تكثر في تفاعلات الحالة الغازية والمحاليل السائلة وخصوصًا في التفاعلات العضوية، وقد تحتل حالتين: تراكيز متساوية من المتفاعلات أو تراكيز غير متساوية.

Second-order reactions:

These reactions are one of the most common, as they are abundant in gaseous-liquid state reactions, especially in organic reactions, and may tolerate two conditions: equal concentrations of reactants or unequal concentrations.



Case One: Equal Concentrations

الحالة الأولى : تراكيز متساوية

$$[A]=[B]$$

$$1/[A] = kt + 1/[A]_0$$

Case Two: Unequal Concentrations

الحالة الثانية: تراكيز غير متساوية

$$[A] \neq [B]$$

$$\ln \frac{[B]_0[A]}{[A]_0[B]} = k([A]_0 - [B]_0)t$$

Half-life of second-order reactions: فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الثانية:

$$t_{1/2} = 1 / k [A]_0$$

لإيجاد رتبة التفاعل في الحالة العامة، عندما تكون رتبة التفاعل (n)، مع الأخذ بالاعتبار أن المواد المتفاعلة متساوية في تركيزها يمكن استخدام المعادلة التالية:

General Status:

To find the reaction order in the general case, when the reaction order is n , considering that the reactants are equal in concentration, the following equation can be used:

$$n \neq 1$$

$$\frac{1}{(n-1)[A]^{(n-1)}} = kt + \frac{1}{(n-1)[A]_0^{(n-1)}}$$

مثال: تفاعلات الرتبة الثالثة Example: third order reaction

n=3

$$\frac{1}{2[A]^2} = kt + \frac{1}{2[A]_0^2}$$

تفاعلات الرتبة الأولى الكاذبة:

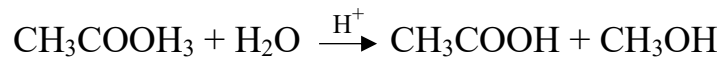
هي تفاعلات تضم أكثر من مادة متفاعلة، لكنها تتبع قانون سرعة من الرتبة الأولى، لأن تركيز مادة أو أكثر يكون بكمية فائضة تجعل تركيزها ثابتاً تقريباً أثناء التفاعل، فيبدو أن سرعة التفاعل لا تتأثر بتركيز تلك المواد.

Pseudo-first-order reactions:

These are reactions involving more than one reactant but following a first-order rate law because the concentration of one or more reactants is present in large excess, remaining nearly constant during the reaction. As a result, the rate appears to be unaffected by those concentrations.

Example 7-10

مثال 7-10



الحل:

تفاعل من الرتبة الثانية Second-order reactions

$$R = k[\text{CH}_3\text{COOH}_3][\text{H}_2\text{O}]$$

تركيز الماء عالي جداً مقارنة بالإستر أي أن مقدار التغير في تركيز الماء قليل جداً لدرجة أنه يمكن إهماله واعتباره ثابت، بالتالي يمكن إعادة كتابة المعادلة بالشكل التالي:

The concentration of water is very high compared to the ester, i.e. the amount of change in the concentration of water is so small that it can be neglected and considered constant, so the equation can be rewritten as follows:

$$R = k'[\text{CH}_3\text{COOH}_3]$$

$$k' = k[\text{H}_2\text{O}]$$

Exercise

تدريبات

7-1

اختر الإجابة الصحيحة Choose the correct answer

(1) في هذا التفاعل:

1) In this reaction:



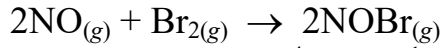
- a. تكون سرعة استهلاك الإيثان أسرع بسبع مرات من سرعة استهلاك الأكسجين.
a. the rate of consumption of ethane is seven times faster than the rate of consumption of oxygen.
- b. تكون سرعة تكوين CO_2 مساوية لسرعة تكوين الماء.
b. the rate of formation of CO_2 equals the rate of formation of water.
- c. يتكون الماء بسرعة تساوي ثلثي سرعة تكوين CO_2 .
c. water is formed at a rate equal to two-thirds the rate of formation of CO_2 .
- d. تكون سرعة استهلاك الأكسجين مساوية لسرعة استهلاك الماء.
d. the rate of consumption of oxygen equals the rate of consumption of water.
- e. يتشكل CO_2 أسرع بمرتين من سرعة استهلاك الإيثان.
e. CO_2 is formed twice as fast as ethane is consumed.

(2) تبين أن التفاعل، $2 \text{A}_2\text{X}_4(\text{g}) \rightarrow 2 \text{A}_2\text{X}_3(\text{g}) + \text{X}_2(\text{g})$ ، من الرتبة الأولى. لذلك، يجب أن يكون قانون السرعة من الشكل:

2) The reaction, $2 \text{A}_2\text{X}_4(\text{g}) \rightarrow 2 \text{A}_2\text{X}_3(\text{g}) + \text{X}_2(\text{g})$, was found to be first order. The rate law, therefore, should be:

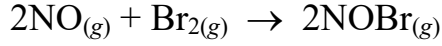
- a. السرعة rate = $k([\text{A}_2\text{X}_3]^2[\text{X}_2])/[\text{A}_2\text{X}_4]^2$
b. السرعة rate = $k[\text{A}_2\text{X}_4]^2$
c. السرعة rate = $k([\text{A}_2\text{X}_3][\text{X}_2])/[\text{A}_2\text{X}_4]$
d. السرعة rate = $k[\text{A}_2\text{X}_4]$
e. السرعة rate = $k[\text{A}_2\text{X}_4]^2/([\text{A}_2\text{X}_3]^2[\text{X}_2])$

3) يتفاعل أول أكسيد النيتروجين مع البروم عند درجات حرارة مرتفعة وفقاً للمعادلة:



في خليط لتفاعل معين، وجد أن سرعة تكوين $\text{NOBr}_{(g)}$ له القيمة $4.50 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$. فما سرعة استهلاك $\text{Br}_{2(g)}$ ؟

3) Nitrogen monoxide reacts with bromine at elevated temperatures according to the equation

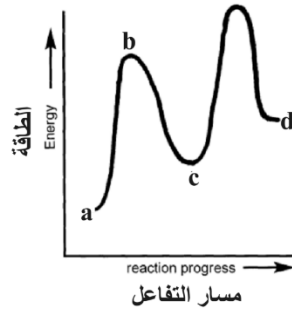


In a certain reaction mixture, the rate of formation of $\text{NOBr}_{(g)}$ was found to be $4.50 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$. What is the rate of consumption of $\text{Br}_{2(g)}$?

- $4.50 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- $2.25 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- $9.00 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- $2.12 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
- $2.03 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

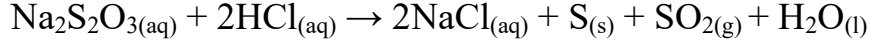
4) بالنسبة للشكل المرفق لمسار التفاعل، أي اختيار يُعبر بشكل صحيح عن جميع المواقع المشار إليها بالأحرف؟

4) With respect to the attached reaction profile figure, which choice correctly identifies all the labelled positions?



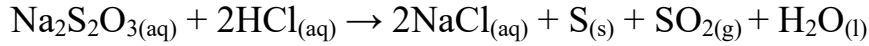
	a	b	c	d
a.	مركب وسطي Intermediate	حالة انتقالية transition state	طاقة تنشيط activation energy	ناتج Product
b.	متفاعل Reactant	حالة انتقالية transition state	مركب وسطي Intermediate	ناتج Product
c.	محفز Catalyst	حالة انتقالية transition state	طاقة تنشيط activation energy	متفاعل Reactant
d.	ناتج Product	مركب وسطي Intermediate	حالة انتقالية transition state	متفاعل Reactant
e.	متفاعل Reactant	مركب وسطي Intermediate	مركب وسطي Intermediate	حالة انتقالية transition state

5) تتفاعل ثيوكبريتات الصوديوم ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) مع حمض الهيدروكلوريك وفقاً للمعادلة الكيميائية التالية:



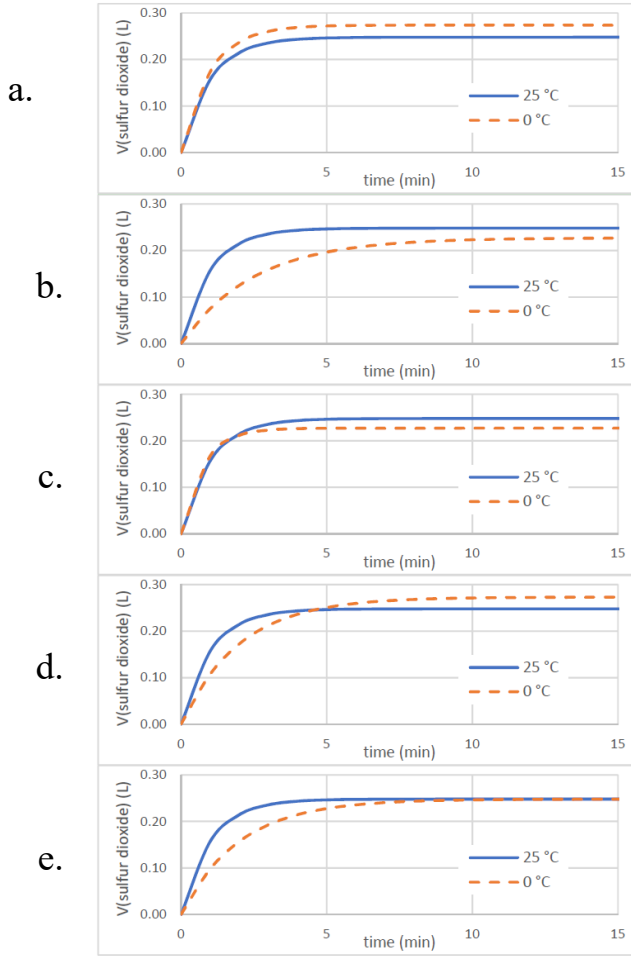
تم خلط محاليل ثيوكبريتات الصوديوم وحمض الهيدروكلوريك وتم تسجيل حجم غاز ثاني أكسيد الكبريت الناتج (عند ضغط 100 kPa) بدلالة الزمن. تم إجراء التجربة أولاً عند 25°C ثم كررت عند درجة 0°C . أي من الأشكال البيانية المرفقة توضح نتائج هاتين التجربتين؟

5) Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) reacts with hydrochloric acid according to the following chemical equation:



Solutions of sodium thiosulfate and hydrochloric acid were mixed, and the volume of sulfur dioxide gas produced (at a pressure of 100 kPa) was recorded as a function of time. The experiment was first performed at 25°C and then repeated at temperature of 0°C .

Which of the attached graphs show the results of these two experiments?



The initial rate of reaction

سرعة التفاعل الأولية للتفاعل



تم تحديدها من خلال قياس سرعة اختفاء A في الظروف التالية:

has been determined by measuring the rate of disappearance of A under the following conditions:

رقم التجربة Experiment No.	[A] ₀ (M)	[B] ₀ (M)	[C] ₀ (M)	السرعة الأولية Initial rate (M min ⁻¹)
1.	0.02	0.02	0.02	2.08×10 ⁻³
2.	0.01	0.02	0.02	1.04×10 ⁻³
3.	0.02	0.04	0.02	4.16×10 ⁻³
4.	0.02	0.02	0.04	8.32×10 ⁻³

(أ) حدد رتبة التفاعل بالنسبة لكل متفاعل والرتبة الكلية للتفاعل.

(ب) أوجد سرعة التفاعل عندما تكون التراكيز الابتدائية [A]₀=[B]₀=[C]₀=0.01M .

(ج) احسب سرعة اختفاء B و سرعة تكون L بالنسبة لـ A عندما تكون التراكيز الابتدائية

[A]₀=[B]₀=[C]₀=0.01M .

(a) Determine the order of reaction with respect to each reaction and overall order of reaction.

(b) Find the rate of the reaction when [A]₀=[B]₀=[C]₀=0.01 M.

(c) Calculate the rate of disappearance of B and appearance of L with respect to A when [A]₀=[B]₀=[C]₀=0.01 M.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

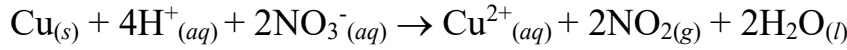
اختر الإجابة الصحيحة Choose the correct answer

1- أي مما يلي ليس من بين العوامل الخمسة المذكورة والتي يمكن أن تؤثر على سرعة سير التفاعل؟
1. Which of the following is not one of the five factors mentioned that can affect the rate at which a reaction proceeds?

- درجة الحرارة temperature
- القدرة المتفاعلات على التلامس مع بعضها البعض the ability of reactants to come in contact with each other
- الحوافز catalysts
- التركيز concentration
- ولا واحد مما سبق none of the above

2- the reaction below:

2- في التفاعل أدناه:



At a particular instant in time, nitrogen dioxide is being produced at the rate of 2.6×10^{-4} M/min. At this same instant, what is the rate at which hydrogen ions are being consumed?

في لحظة معينة يتم إنتاج ثاني أكسيد النيتروجين بسرعة 2.6×10^{-4} M/min. ما سرعة استهلاك أيونات الهيدروجين في نفس هذه اللحظة؟

- 1.3×10^{-4} M/min
- 5.2×10^{-4} M/min
- 2.6×10^{-4} M/min
- 1.0×10^{-3} M/min
- 6.5×10^{-5} M/min

3- بأي وحدة مما يلي يمكن قياس سرعة التفاعل الكيميائي في المحلول؟

3. By which unit of the following, the speed of a chemical reaction in solution can be measured?

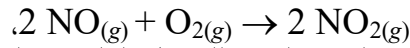
- $\text{L}^2 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$
- $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$
- s^{-2}
- mol s L^{-1}
- $\text{s L}^{-1} \text{mol}^{-1}$

4- تفاعل له قانون السرعة، $r = k[A][B]^2$. أي تغيير سيسبب أكبر زيادة في سرعة التفاعل؟

4. A reaction has the rate law, $\text{rate} = k[A][B]^2$. Which change will cause the greatest increase in the reaction rate?

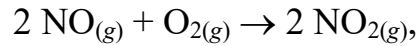
- decreasing the temperature without changing the concentrations
خفض درجة الحرارة دون تغيير التراكيز
- doubling the concentration of B
زيادة تركيز B الى الضعف
- quadrupling the concentration of A
مضاعفة تركيز A اربع مرات
- tripling the concentration of B
مضاعفة تركيز B ثلاث مرات
- doubling the concentration of A
زيادة تركيز A الى الضعف

5- تبين عملياً أن التفاعل،



من الرتبة الأولى لكل من المتفاعلين والرتبة الثانية للتفاعل الكلي. وبالتالي فإن قانون السرعة

5. The reaction,



was found to be first order in each of the two reactants and second order overall.

The rate law is therefore

- $\text{rate} = k[\text{NO}]^2$
- $\text{rate} = k[\text{NO}][\text{O}_2]$
- $\text{rate} = k[\text{NO}_2]^2[\text{NO}]^{-2}[\text{O}_2]^{-1/2}$
- $\text{rate} = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]^2$
- $\text{rate} = k([\text{NO}][\text{O}_2])^2$

Answer key

مفتاح الإجابة

Example

الأمثلة

7-8

a . Order with respect to ClO_2 : رتبة التفاعل بالنسبة لـ ClO_2 : ClO_2 : 2

b. Order with respect to OH^{1-} : رتبة التفاعل بالنسبة لـ OH^{1-} : OH^{1-} : 1

c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل:
 $\text{rate} = k[\text{ClO}_2]^2[\text{OH}^{1-}]^1$

d. Value and units for the rate constant: قيمة ووحدات ثابت السرعة:
 $k = 230 \text{ L}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

7-9

a . Order with respect to HB: رتبة التفاعل بالنسبة لـ HB: 1

b. Order with respect to CO: رتبة التفاعل بالنسبة لـ CO: 1

c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل:
 $\text{Rate} = k[\text{HB}][\text{CO}]$

d. Value and units for the rate constant: قيمة ووحدات ثابت السرعة:
 $k = 0.28 \text{ Lmol}^{-1}\text{s}^{-1}$

Problems

التدريبات

7-1

1	2	3	4	5
e	d	b	b	b

(3)-1-7

$$-1/1 (r_{Br_2}) = 1/2 (r_{NOBr}) , \quad -(r_{Br_2}) = [1/2 (4.50 \times 10^{-4})]$$

7-2

(a) In experiments 1 and 2,

$$r = k[A_0]^a [B_0]^b [C_0]^c$$

$$(r_0)_1/(r_0)_2 = 2.08 \times 10^{-3} / 1.04 \times 10^{-3} = [A_0]_1^a / [A_0]_2^a = 0.02^a / 0.01^a \quad (2)^1 = (2)^a \Rightarrow a=1$$

$$\text{and } (r_0)_3/(r_0)_1 = 2.08 \times 10^{-3} / 1.04 \times 10^{-3} = [B_0]_3^b / [B_0]_1^b = 0.04^b / 0.02^b \quad (2)$$

$$= (2)^b \Rightarrow b=1$$

$$\text{and } (r_0)_4/(r_0)_1 = 8.32 \times 10^{-3} / 2.08 \times 10^{-3} = [C_0]_4^c / [C_0]_1^c = 0.04^c / 0.02^c \quad 4$$

$$= (2)^c \Rightarrow (2)^2 \Rightarrow c=2$$

The overall order of the reaction = 1 + 1 + 2 = 4

$$R = k[A][B][C]^2$$

(b) $k = r / [A_0]^a [B_0]^b [C_0]^c = r / [A_0][B_0][C_0]^2$ from exp. 1 we can get

$$k = 2.08 \times 10^{-3} \text{ Mmin}^{-1} / 16 \times 10^{-8} \text{ M}^3 = 1.3 \times 10^4 \text{ M}^{-3} \text{ min}^{-1}$$

$$R = 1.3 \times 10^4 \text{ M}^{-3} \text{ min}^{-1} [0.01 \text{ M}] [0.01 \text{ M}] [0.01 \text{ M}]^2 = 1.3 \times 10^{-4} \text{ M min}^{-1}$$

$$(c) -d[A]/dt = r = [-1/5 d[B]/dt] = 1/3 [d[L]/dt] = 1.3 \times 10^{-4} \text{ M min}^{-1}$$

$$-d[B]/dt = 5 \times 1.3 \times 10^{-4} \text{ Mmin}^{-1} = 6.5 \times 10^{-4} \text{ Mmin}^{-1}$$

$$-d[L]/dt = 3 \times 1.3 \times 10^{-4} \text{ Mmin}^{-1} = 3.9 \times 10^{-4} \text{ Mmin}^{-1}$$

7-3

1	2	3	4	5
e	b	b	d	b

(2)3-7

$$1/2 (r_{NO_2}) = (1/4 r_{H^+}) =$$

$$(r_{H^+}) = 4/2 (2.6 \times 10^{-4}) = 5.2 \times 10^{-4} \text{ M/min}$$

The Concept of Equilibrium

مفهوم الاتزان

معظم التفاعلات الكيميائية لا تُصل إلى الاكتمال. فعندما تتفاعل المواد المتفاعلة لتكوين النواتج، تتغير تراكيزها إلى أن تبقى ثابتة لكلا الطرفين. تُسمى هذه الحالة **الاتزان الكيميائي**. على سبيل المثال، في التفاعل $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ ، يتفكك N_2O_4 عديم اللون إلى NO_2 بني اللون. تزداد شدة اللون في البداية ثم تتوقف عن التغير عندما يصبح معدل التفاعل الأمامي مساويا لمعدل التفاعل العكسي. يمكن الوصول إلى حالة الاتزان بدءًا من المتفاعلات أو من النواتج أو خليط من كليهما كما هو موضح في الشكل 8.1.

1. عند البدء بـ N_2O_4 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا وتركيز NO_2 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز N_2O_4 ويزداد تركيز NO_2 .

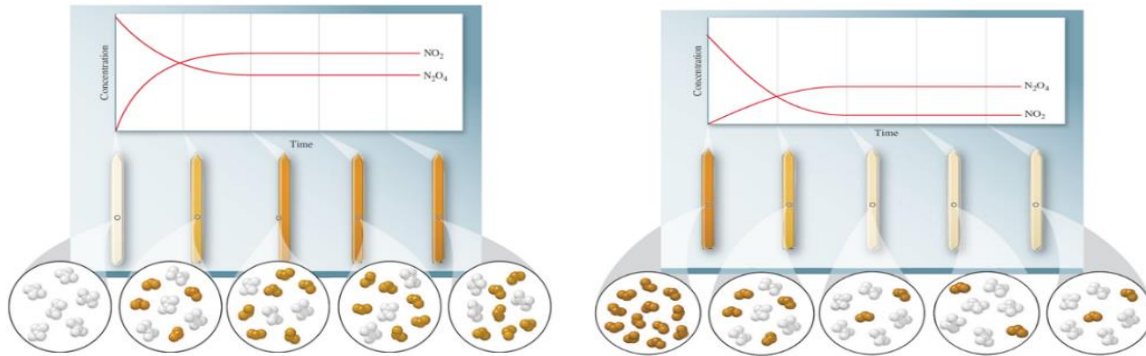
2. عند البدء بـ NO_2 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا وتركيز N_2O_4 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز NO_2 ويزداد تركيز N_2O_4 .

في كلتا الحالتين، يستمر التفاعل الأمامي والعكسي حتى تثبت التراكيز عند حالة الاتزان. عندها، يصل النظام إلى حالة **اتزان ديناميكي**، حيث يستمر التفاعلان في الحدوث، لكن تأثيرهما يتلاشى.

Most chemical reactions do not go to completion. As reactants form products, their concentrations change until both remain constant. This state is called **chemical equilibrium**. For example, in $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, colorless N_2O_4 decomposes into brown NO_2 . The color deepens at first but then stops changing when the forward and reverse reactions occur at the same rate. Equilibrium can be reached starting from reactants, products, or a mixture as shown in Figure 8.1.

1. Starting with pure N_2O_4 , its concentration is high and NO_2 is zero. As the reaction proceeds, N_2O_4 decreases and NO_2 increases.
2. Starting with pure NO_2 , its concentration is high and N_2O_4 is zero. As the reaction proceeds, NO_2 decreases and N_2O_4 increases.

In both cases, forward and reverse reactions occur until concentration becomes constant at equilibrium. The system is then at **dynamic equilibrium**, where both reactions continue but their effects cancel out.



الشكل 8.1 : تغير المعدلات مع تقدم التفاعل

Figure 8.1: Change of rates as reaction proceeds

The Equilibrium State and the Equilibrium Constant حالة الاتزان وثابت الاتزان

عند درجة حرارة معينة، عندما يصل النظام إلى حالة الاتزان (eq)، يكون:

At a given temperature, when the system reaches equilibrium(eq), then:

معدل سرعة التفاعل (الأمامي) = معدل سرعة التفاعل (العكسي)

$$\text{rate}_{\text{fwd}} = \text{rate}_{\text{rev}}$$

$$k_f [\text{N}_2\text{O}_4]_{\text{eq}} = k_r [\text{NO}_2]_{\text{eq}}^2$$

يمثل k_f و k_r ثابتي سرعتي التفاعل الأمامي والعكسي على التوالي، وبما أن المعدلين متساويان عند حالة الاتزان (eq) فإن:

k_f and k_r are the rate constants for the forward and reverse reactions respectively, since the rates are equal at equilibrium; then,

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[\text{NO}_2]_{\text{eq}}^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]_{\text{eq}}}$$

تُعرّف نسبة هذين الثابتين بثابتٍ جديد يُسمى **ثابت الاتزان (K)**.

This ratio of constants defines a new constant, called the **equilibrium constant (K)**

$$K = \frac{k_f}{k_r} = \frac{[\text{NO}_2]_{\text{eq}}^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]_{\text{eq}}}$$

K as a Measure of Reaction Extent

K كمقياس لمدى تقدم التفاعل

إذا كان التفاعل يُنتج كمية ضئيلة جداً من النواتج قبل الوصول إلى حالة الاتزان، فإن قيمة K تكون صغيرة. وعندما تكون قيمة K صغيرة جداً، يُقال إن التفاعل «لا يحدث فعلياً». مثال:

If a reaction produces very little product before reaching equilibrium, K is small. When K is extremely small, the reaction is said to show “no reaction”. Example:



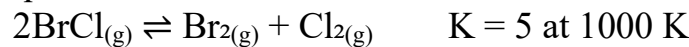
إذا وصل النظام إلى الاتزان مع بقاء كمية ضئيلة جداً من المتفاعلات، تكون K كبيرة. وعندما تكون K كبيرة جداً، يُقال إن التفاعل "يصل إلى الاكتمال". مثال:

If equilibrium is reached with very little reactants remaining K is large. When K is extremely large, the reaction is said to “go to completion”. Example:



عندما توجد كميات ملحوظة من كلٍّ من المواد المتفاعلة والنواتج عند حالة الاتزان، فإن ثابت الاتزان K يأخذ قيمة متوسطة. مثال:

When noticeable amounts of both reactants and products are present at equilibrium, the equilibrium constant K has an intermediate value. Example:



Generally,

بشكل عام،

$K_c > 1 \times 10^2 \rightarrow$ reaction favors products

يميل التفاعل لتكوين النواتج

$K_c < 1 \times 10^{-2} \rightarrow$ reaction favors reactants

يميل التفاعل لتكوين المواد المتفاعلة

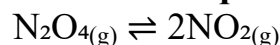
$1 \times 10^{-2} < K_c < 1 \times 10^2 \rightarrow$ both reactants and products are present in significant amount.

توجد كميات ملحوظة من كلٍّ من المواد المتفاعلة والنواتج.

The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant حاصل التفاعل وثابت الاتزان

إن نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات لكل تفاعل (كلٌّ منها مرفوعٌ إلى معاملها في المعادلة الموزونة) تُسمى **حاصل التفاعل، Q**. على سبيل المثال:

For any reaction, the ratio of product to reactant concentrations (each raised to its stoichiometric power) is called the **reaction quotient, Q**. For example:



$$Q = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

مع تقدم التفاعل نحو حالة الاتزان، تستمر تراكيز المواد المتفاعلة والنواتج في التغير، مما يؤدي إلى تغير قيمة Q كذلك. في البداية، يمتلك النظام تراكيز ابتدائية معينة تحدد قيمة Q الابتدائية. وبمرور الزمن ومع تغير هذه التراكيز، تتغير قيمة Q عدة مرات حتى تصبح ثابتة وتساوي ثابت الاتزان K عند وصول النظام إلى حالة الاتزان.

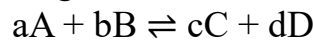
As the reaction moves toward equilibrium, the concentrations of reactants and products keep changing, causing the value of Q to change as well. Initially, the system has certain starting concentrations that determine an initial Q value. Over time, as these concentrations adjust, Q also changes repeatedly until it becomes constant, where it becomes equal to the equilibrium constant K when the system attains equilibrium.

Steps to Write a Reaction Quotient

خطوات كتابة حاصل التفاعل

أبسط صورة لحاصل التفاعل تُعبّر عن المواد المتفاعلة والمواد الناتجة على شكل تراكيز مولارية، وتُكتب بين قوسين مربعين []. عندما يعتمد حاصل التفاعل على التراكيز، يُكتب على شكل Q_c ، ويكون ثابت الاتزان المقابل فيرمز له بـ K_c . للتفاعل الكيميائي العام:

The most ordinary form of the reaction quotient expresses reactant and product terms as **molar concentrations**, shown in square brackets []. When the reaction quotient is based on concentrations, it is written as Q_c , and the corresponding equilibrium constant is K_c . For a general chemical equation:



يمكن التعبير عن حاصل التفاعل باستخدام معاملات المعادلة الموزونة a و b و c و d تبقى كما هي:

The reaction quotient can be expressed in terms of the stoichiometric coefficients a, b, c, and d, which remain as they are:

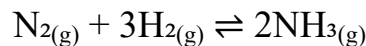
$$Q_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

إذن، يُعبّر Q عن نسبة تراكيز نواتج التفاعل (مضروبة معًا) إلى تراكيز المواد المتفاعلة (مضروبة معًا أيضًا)، بحيث يُرفع كلٌّ منها إلى أسّ يساوي معاملها في المعادلة الموزونة.

Thus, Q is the ratio of the product concentration terms (multiplied together) to the reactant concentration terms (also multiplied together), with each term raised to the power of its balancing coefficient.

على سبيل المثال، في تفاعل تكوين الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين:

For example, for the formation of ammonia from nitrogen and hydrogen:



رتّب التراكيز والأسس: تُوضَع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام. تُضرب التراكيز معًا و يُرفع كلٌّ منها إلى أسّ يساوي معاملها في المعادلة الموزونة.

Arrange concentrations and exponents: Place product concentration in the numerator and reactant concentration in the denominator. Multiply the concentration and raise each to the power of its stoichiometric coefficient.

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

هل K و Q تكتب بدون وحدات ؟

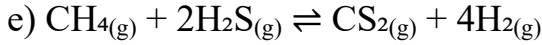
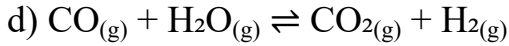
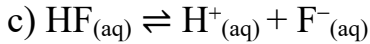
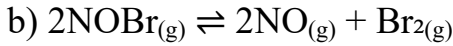
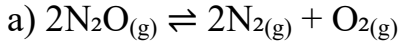
ثابت الاتزان K وحاصل التفاعل Q يُعدَّان قيمًا بلا وحدات، لذلك تُكتب قيمتهما بدون وحدات دائمًا. وأي وحدات قد تظهر عند استخدام K_c أو K_p بالتركيز أو الضغوط مباشرة هي وحدات شكلية ناتجة عن عدم إظهار الحالة القياسية في الصيغة.

Do K and Q get written without units?

The equilibrium constant K and the reaction quotient Q are unitless quantities; therefore, their values are always written without units. Any units that may appear when using K_c or K_p directly with concentrations or pressures are formal units resulting from not explicitly showing the standard state in the expression.

مثال 1: اكتب حاصل التفاعل لكلٍ من التفاعلات الآتية:

Example 1: Write the reaction quotient for each of the following reactions:



a) $Q_c = \frac{[N_2]^2[O_2]}{[N_2O]^2}$

b) $Q_c = \frac{[NO]^2[Br_2]}{[NOBr]^2}$

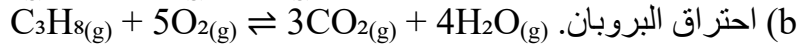
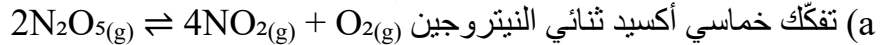
c) $Q_c = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$

d) $Q_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$

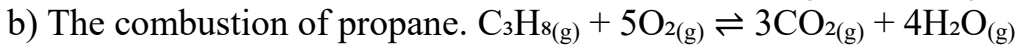
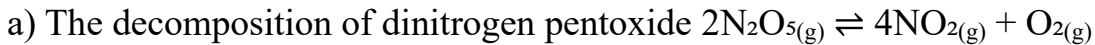
e) $Q_c = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2}$

f) $Q_c = \frac{[H^+]^2[C_2O_4^{2-}]}{[H_2C_2O_4]}$

تدريب 8-1: اكتب حاصل التفاعل Q_c لكلٍ من التفاعلين الآتيين:



Exercise 8-1: Write the reaction quotient, Q_c for each reaction:



.....
.....
.....

Writing Q for an Overall Reaction

كتابة Q لتفاعل كلي

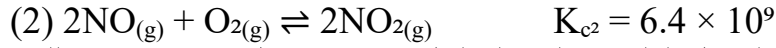
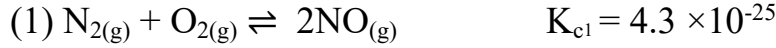
إذا كان التفاعل الكلي هو مجموع تفاعلين أو أكثر، فإن حاصل التفاعل وثابت الاتزان للتفاعل الكلي يساويان حاصل ضرب حاصل التفاعل أو ثابت الاتزان للخطوات الفردية.

If the overall reaction is the sum of two or more reactions, then the reaction quotient and the equilibrium constant for the overall reaction are equal to the product of the reaction quotients or equilibrium constants of the individual steps.

$$Q_c = Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \times \dots, \quad K_c = K_1 \times K_2 \times K_3 \times \dots$$

مثال 2: يُعدّ ثاني أكسيد النيتروجين ملوثًا سامًا يساهم في تكوّن الضباب الدخاني الضوئي الكيميائي. ويتكوّن جزئيًا من خلال التسلسل الآتي من التفاعلات:

Example 2: Nitrogen dioxide is a toxic pollutant that contributes to photochemical smog. One way it forms is through the following sequence:

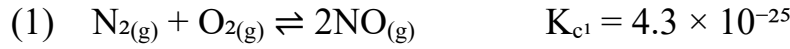


(a) بيّن أن حاصل التفاعل الكلي Q_c لهذا التسلسل يساوي حاصل ضرب قيم Q_c للتفاعلات الفردية.

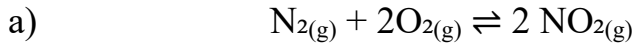
a) Show that the overall Q_c for this reaction sequence is the same as the product of the Q_c 's for the individual reactions.

(b) إذا حدث التفاعل عند نفس درجة الحرارة، فاحسب قيمة K_c للتفاعل الكلي.

b) Given that both reactions occur at the same temperature, find K_c for the overall reaction.



Overall reaction (sum): التفاعل الكلي (المجموع):



$$Q = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]^2}$$

$$Q_1 = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \quad Q_2 = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]}$$

Product:

النتائج:

$$Q_1 \cdot Q_2 = \left(\frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \right) \left(\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]} \right) = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]^2} = Q$$

$$Q = Q_1 \times Q_2$$

b) K_c

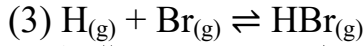
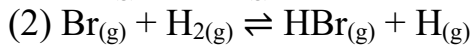
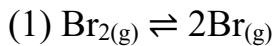
بما أن جميع الخطوات عند نفس درجة الحرارة.

Because the steps occur at the same temperature. $K_c = K_{c1} \times K_{c2}$

$$K_c = (4.3 \times 10^{-25}) \times (6.4 \times 10^9) = 2.752 \times 10^{-15} \approx 2.75 \times 10^{-15}$$

تدريب 8-2: تم اقتراح التسلسل الآتي من الخطوات للتفاعل الكلي بين H_2 و Br_2 لتكوين HBr :

Exercise 8-2: The following sequence of steps has been proposed for the overall reaction between H_2 and Br_2 to form HBr :



اكتب المعادلة الكلية الموزونة، وبيّن أن حاصل التفاعل الكلي Q_c هو حاصل ضرب قيم Q_c للخطوات الفردية.

Write the overall balanced equation and show that the overall Q_c is the product of the Q_c 's for the individual steps.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

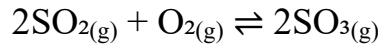
.....

كتابة Q للتفاعل الأمامي والعكسي

Writing Q for a Forward vs. Reverse Reaction

مثال على التفاعل (أكسدة ثاني أكسيد الكبريت):

Example reaction (oxidation of sulfur dioxide):



حاصل التفاعل في الاتجاه الأمامي:

Reaction quotient for the forward direction:

$$Q_f = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$$

أما إذا كتبنا التفاعل العكسي (التفكك):

If we write the reverse (decomposition) reaction:



فإن حاصل التفاعل في الاتجاه العكسي يكون مقلوب حاصل التفاعل الأمامي.

Thus, the reaction quotient in the reverse direction is the reciprocal of the reaction quotient in the forward direction.

$$Q_r = \frac{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}{[\text{SO}_3]^2} = \frac{1}{Q_f}$$

قاعدة عامة (تتطبق كذلك على K_c):

General rule (holds for K_c as well):

$$Q_f = \frac{1}{Q_r} \quad K_f = \frac{1}{K_r}$$

مثال عددي، عند 1000 K :

Numerical example, at 1000 K:

$$K_f = 261 \Rightarrow K_r = \frac{1}{261} = 3.83 \times 10^{-3}$$

وتُعدّ هذه القيم منطقية: فالقيمة الكبيرة لـ K_c في التفاعل الأمامي (حيث تكون النواتج مفضلة) تقابلها قيمة صغيرة لـ K_c في التفاعل العكسي (حيث تكون المواد المتفاعلة مفضلة).

These values make sense: a large K_c for the forward reaction (products favored) corresponds to a small K_c for the reverse reaction (reactants favored).

كتابة Q لتفاعل ضربت معاملاته في عامل مشترك

Writing Q for a Reaction with Coefficients Multiplied by a Common Factor

إن ضرب جميع المعاملات في المعادلة الموزونة بعامل مشترك يؤثر كذلك في قيمة Q.

Multiplying all the coefficients in a balanced equation by a common factor also affects the value of Q.

إذا ضربنا جميع المعاملات في تفاعل تكوين ثالث أكسيد الكبريت في $\frac{1}{2}$

If we multiply all the coefficients in the formation of sulfur trioxide by $\frac{1}{2}$



we obtain.

نحصل على:

$$\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g})$$

$$Q_f = \frac{[\text{SO}_3]}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{1/2}}$$

لاحظ أن قيمة Q_c لهذه المعادلة المُنصَّفة يساوي Q_c الأصلي مرفوعاً للأس $1/2$:
Notice that Q_c for this halved equation equals the original Q_c raised to the power of $1/2$:

$$Q'_f = (Q_f)^{1/2} = \left(\frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]} \right)^{1/2} = \frac{[SO_3]}{[SO_2][O_2]^{1/2}}$$

تنطبق العلاقة نفسها على ثابت الاتزان:

The same relationship holds for the equilibrium constant:

$$K'_f = (K_f)^{1/2}$$

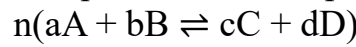
$$K'_f = (261)^{1/2} = 16.2$$

General Relationship

العلاقة العامة

إذا تم ضرب جميع المعاملات في معادلة موزونة بمعامل n :

If all coefficients in a balanced equation are multiplied by a factor n ,



فإن حاصل التفاعل وثابت الاتزان يرتبطان بالعلاقة (يرفعان إلى الأس n) كما يلي:

then the reaction quotient and equilibrium constant are related (raised to the power n) as:

$$Q' = (Q)^n = \left(\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \right)^n$$

$$K' = (K)^n$$

كتابة Q لتفاعل يحتوي على سوائل نقية أو مواد صلبة نقية

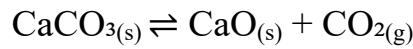
Writing Q for a Reaction Involving Pure Liquids or Solids

حتى الآن، ناقشنا أنظمة غازية (اتزان متجانسة). عندما تكون المواد في حالات أطوار مختلفة، فإن ذلك يُعدّ اتزاناً غير متجانس.

So far, we have discussed gaseous systems (homogeneous equilibria). When substances are in different phases, it's a heterogeneous equilibrium.

Example:

مثال:



وفقاً للقواعد العامة لكتابة حاصل التفاعل.

According to the general rules for writing reaction quotients.

$$Q_c = \frac{[CaO][CO_2]}{[CaCO_3]}$$

تُدرج جميع المواد في العلاقة. ولكن بما أن المواد الصلبة والسوائل النقية تمتلك تراكيز ثابتة، فإنها تُهمل عند كتابة حاصل التفاعل.

All substances are included in the expression. However, since pure solids and pure liquids have constant concentrations, they are neglected when writing the reaction quotient.

Thus,

وبالتالي:

$$Q'_c = Q_c \times \frac{[CaCO_3]}{[CaO]} = [CO_2]$$

التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين K_p و K_c

Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relationship Between K_c and K_p

في التفاعلات الغازية، غالبًا ما يكون قياس الضغط أسهل من قياس التركيز. عندما تسلك الغازات سلوكًا قريبًا من الغازات المثالية، يسمح قانون الغاز المثالي بربط الضغط P بالتركيز n/V :

For gaseous reactions, it is often easier to measure pressure than concentration. When gases behave ideally, the ideal gas law allows us to relate pressure P and concentration n/V :

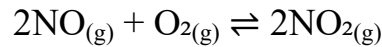
$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{n}{V}RT \quad \text{or} \quad \frac{P}{RT} = \frac{n}{V}$$

وبالتالي، عند ثبوت درجة الحرارة T ، يكون الضغط متناسبًا طرديًا مع التركيز المولاري.

Thus, at constant T , pressure is directly proportional to molar concentration.

Example: Oxidation of Nitric Oxide

مثال: أكسدة أول أكسيد النيتروجين



يُكتب حاصل التفاعل اعتمادًا على الضغوط الجزئية كما يلي:

The reaction quotient based on partial pressures is:

$$Q_p = \frac{(P_{\text{NO}_2})^2}{(P_{\text{NO}})^2 (P_{\text{O}_2})}$$

عند الاتزان، عندما يكون كل غاز عند ضغطه الجزئي الاتزاني، فإن ثابت الاتزان المقابل يُرمز له بـ K_p . تبقى جميع العلاقات الخاصة بين Q و K قابلة للتطبيق عند استبدال التراكيز بالضغوط الجزئية. يرتبط كلٌّ من K_p و K_c بالعلاقة التالية:

At equilibrium, when each gas is at its equilibrium partial pressure, the corresponding equilibrium constant is K_p . All relationships involving Q and K remain applicable when concentrations are substituted with partial pressures.

The K_p and K_c are related by relationship:

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

where:

حيث:

R = gas constant ($0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) ثابت الغازات

T = temperature in Kelvin درجة الحرارة بالكالفن

$\Delta n_{(\text{gas})} = (\text{moles of gaseous products}) - (\text{moles of gaseous reactants})$

$\Delta n_{(\text{gas})} = (\text{عدد مولات المتفاعلات الغازية}) - (\text{عدد مولات النواتج الغازية})$

If:

إذا:

$$\Delta n = 0 \rightarrow K_p = K_c$$

$$\Delta n > 0 \rightarrow K_p > K_c$$

$$\Delta n < 0 \rightarrow K_p < K_c$$

وبذلك، فإن K_p و K_c يصفان الحالة نفسها من الاتزان، لكنهما يختلفان في طريقة التعبير عنها: الضغط مقابل التركيز.

Thus, K_p and K_c describe the same equilibrium but differ in how they express pressure versus concentration.

مثال 3: يقوم مهندس كيميائي بحقن الحجر الجيري CaCO_3 في غاز المداخل الساخن المنبعث من محطة طاقة تعمل بالفحم لتكوين الجير CaO ، الذي يزيل غاز SO_2 من الغاز مكونًا الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. احسب قيمة K_c للتفاعل الآتي:



Example 3: A chemical engineer injects limestone CaCO_3 into the hot flue gas of a coal burning power plant to form lime CaO , which scrubs SO_2 from the gas and forms gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Find K_c for the following reaction:



$$\Delta n_{\text{gas}} = (1 \text{ mol gas products} - 0 \text{ mol gas reactants}) = +1$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} \Rightarrow K_c = \frac{K_p}{RT}$$

Given $R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ and $T = 1000 \text{ K}$

$$RT = 82.1 \text{ L} \cdot \text{atm mol}^{-1}$$

$$K_c = \frac{2.13 \times 10^{-4}}{82.1} = 2.56 \times 10^{-6}$$

تدريب 8-3: احسب K_p للتفاعل التالي:

Exercise 8-3: Calculate K_p for the following reaction:



.....

.....

.....

.....

.....

مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل

Comparing Q and K to Predict Reaction Direction

لنفترض أن لديك مزيجًا يحتوي على كلٍّ من المتفاعلات والنواتج، وأن ثابت الاتزان K معروف عند درجة الحرارة المحددة. من خلال مقارنة قيمة حاصل التفاعل Q مع K ، يمكنك تحديد ما إذا كان النظام قد وصل بالفعل إلى حالة الاتزان، أو—إذا لم يكن كذلك—فإلى أي اتجاه سيتجه التفاعل للوصول إلى الاتزان. نظرًا لأن تراكيز النواتج تظهر في بسط Q وتراكيز المتفاعلات في مقامه:

- زيادة كمية النواتج تجعل Q أكبر.
 - زيادة كمية المتفاعلات تجعل Q أصغر.
- هناك ثلاث حالات (انظر الشكل 8.2). عندما تكون قيمة Q_c أصغر أو أكبر من K_c يستمر التفاعل حتى تصبح $Q_c = K_c$. لاحظ أن K_c تبقى ثابتة طوال الوقت.

Suppose you have a mixture containing both reactants and products, and the equilibrium constant K is known at the given temperature. By comparing the value of Q (the reaction quotient) with K , you can determine whether the system is already at equilibrium—or, if not, which direction the reaction will shift to reach it. Since product concentrations appear in the numerator of Q and reactant concentrations in the denominator:

- Increasing the amount of products makes Q larger.
- Increasing the amount of reactants makes Q smaller.

There are three cases (see Figure 8.2). When Q_c is smaller or larger than K_c , the reaction continues until $Q_c = K_c$. Note that K_c remains the same throughout.

1. إذا كانت قيمة Q أصغر من K ، فإن المقام (المتفاعلات) يكون كبيرًا نسبيًا مقارنة بالبسط (النواتج). للوصول إلى الاتزان، يجب أن تقل كمية المتفاعلات وتزداد كمية النواتج. لذلك يتجه التفاعل نحو اليمين، أي باتجاه تكوين النواتج.

1. If Q is smaller than K , the denominator (reactants) is relatively large compared to the numerator (products). To reach equilibrium, reactants must decrease, and products must increase. The reaction therefore proceeds to the right, toward products.

$Q < K_c$, reactants متفاعلات → نواتج products

2. إذا كانت قيمة Q أكبر من K ، فإن البسط (النواتج) يكون كبيراً نسبياً مقارنةً بالمقام (المتفاعلات). للوصول إلى حالة الاتزان، يجب أن تقل كمية النواتج وتزداد كمية المتفاعلات. لذلك يتجه التفاعل نحو اليسار، أي باتجاه المتفاعلات.

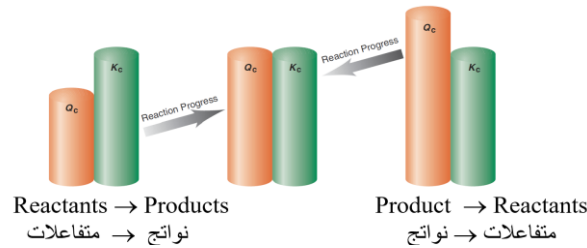
2. If Q is greater than K , the numerator (products) is too large relative to the denominator (reactants). To reach equilibrium, products must decrease, and reactants must increase. The reaction proceeds to the left, toward reactants:

$Q > K_c$, reactants ← نواتج products

3. عندما تكون قيمة Q مساوية لـ K ، فإن تراكيز كلٍّ من المتفاعلات والنواتج تكون بالفعل عند قيم الاتزان. ولا يحدث أي تغيير صافٍ إضافي؛ يكون النظام في حالة اتزان:

3. When Q equals K , both the reactant and product concentrations are already at their equilibrium values. No further net change occurs; the system is at equilibrium:

$Q = K_c$, reactants ⇌ نواتج products



الشكل 8.2: اتجاه التفاعل والعلاقة بين قيمتي Q و K

Figure 8.2: Reaction direction and the relative sizes of Q and K

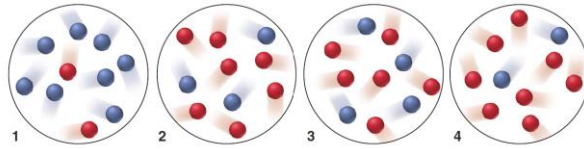
Summary:

المُلخَص:

- $Q < K_c$ يتجه التفاعل نحو اليمين، تتشكل نواتج أكثر.
Reaction shifts right, forming more products.
- $Q > K_c$ يتجه التفاعل نحو اليسار، تتشكل متفاعلات أكثر.
Reaction shifts left, forming more reactant.
- $Q = K_c$ لا يحدث أي تغيير صافٍ، النظام في حالة اتزان.
The system has reached a state of equilibrium.

مثال 4: للتفاعل $A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$ ، تكون تراكيز مزيج الاتزان عند 175°C كما يلي: $[A] = 2.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ و $[B] = 1.2 \times 10^{-4} \text{ M}$. تُمثّل الأشكال الجزيئية أدناه المخاليط عند أزمنة مختلفة أثناء إجراء التجربة من 1 إلى 4 لهذا التفاعل (A باللون الأحمر؛ B باللون الأزرق). حدّد ما إذا كان التفاعل في كل خليط سيتجه نحو اليمين، أو نحو اليسار، أو لن يحدث أي انزياح للوصول إلى حالة الاتزان.

Example 4: For the reaction $A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$, the equilibrium mixture at 175°C is $[A] = 2.8 \times 10^{-4} \text{ M}$ and $[B] = 1.2 \times 10^{-4} \text{ M}$. The molecular scenes below represent mixtures at various times during runs 1–4 of this reaction (A is red; B is blue). Will the reaction proceed to the right or left or not at all for each mixture to reach equilibrium?



$$K_c = \frac{[B]}{[A]} = \frac{1.2 \times 10^{-4}}{2.8 \times 10^{-4}} = 0.43$$

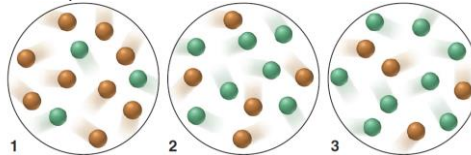
التجربة experiment	N _A (red) الأحمر	N _B (blue) الأزرق	Q _c =N _B /N _A	مقارنة مع K _c Compare to K _c = 0.43	الاتجاه Direction
1	2	8	4.0	Q > K _c	Left (toward A) (اليسار باتجاه A)
2	7	3	0.43	Q = K _c	At equilibrium في حالة اتزان
3	6	4	0.67	Q > K _c	Left (toward A) (اليسار باتجاه A)
4	8	2	0.25	Q < K _c	Right (toward B) (الييمين باتجاه B)

Final Results:

النتائج النهائية:

- التجارب 1 و 3: يتجه التفاعل نحو اليسار (تتكون كمية أكبر من A).
 - التجربة 2: التفاعل في حالة اتزان (لا يحدث تغيير).
 - التجربة 4: يتجه التفاعل نحو اليمين (تتكون كمية أكبر من B).
 - Experiments 1, 3: Reaction proceeds left (forms more A).
 - Experiment 2: Reaction at equilibrium (no change).
 - Experiment 4: Reaction proceeds right (forms more B).
- تدريب 8-4:** عند 338 K، للتفاعل $X_{(g)} \rightleftharpoons Y_{(g)}$ تكون قيمة K_c تساوي 1.4. تُمثل الأشكال مخاليط مختلفة، حيث يكون X باللون البرتقالي و Y باللون الأخضر. في أي اتجاه سينزاح التفاعل (إن حدث) في كل خليط للوصول إلى حالة الاتزان؟

Exercise 8-4: At 338 K, the reaction $X_{(g)} \rightleftharpoons Y_{(g)}$ has a K_c of 1.4. The figures represent different mixtures, with X orange and Y green. In which direction will the reaction proceed (if at all) for each mixture to reach equilibrium?



مثال 5: للتفاعل $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ تكون قيمة $K_c = 0.21$ عند $100^\circ C$. في لحظة ما أثناء التفاعل، كانت تراكيز كل من $[N_2O_4] = 0.12 M$ و $[NO_2] = 0.55 M$. هل التفاعل عند حالة الاتزان؟ وإذا لم يكن كذلك، فإلى أي اتجاه سيُتجه؟

Example 5: For the reaction $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$, $K_c = 0.21$ at $100^\circ C$. At a point during the reaction, $[N_2O_4] = 0.12$ M and $[NO_2] = 0.55$ M. Is the reaction at equilibrium? If not, in which direction will it proceed?

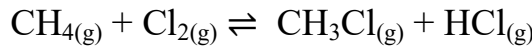
$$Q_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(0.55)^2}{0.12} = \frac{0.3025}{0.12} \approx 2.52$$

$$Q > K_c$$

التفاعل ليس عند حالة الاتزان، وسيتجه نحو اليسار (نحو المتفاعلات) لتكوين المزيد من N_2O_4 و مستهلكاً NO_2 حتى يصل إلى حالة الاتزان حيث $Q_c = K_c$.

The reaction is not at equilibrium and will proceed to the left (toward reactants) to form more N_2O_4 and consuming NO_2 until equilibrium is reached, $Q_c = K_c$.

تدريب 8-5: يتكوّن الكلوروميثان وفق التفاعل:

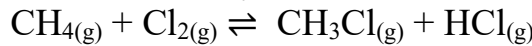


عند 1500 K، تكون قيمة $K_p = 1.6 \times 10^4$. في خليط التفاعل كانت الضغوط الجزئية كما يلي:

$$P_{HCl} = 0.47 \text{ atm} \text{ و } P_{CH_3Cl} = 0.24 \text{ atm} \text{ و } P_{Cl_2} = 0.035 \text{ atm} \text{ و } P_{CH_4} = 0.13 \text{ atm}$$

هل سينتكوّن CH_3Cl أم CH_4 ؟

Exercise 8-5: Chloromethane forms by the reaction:



At 1500 K, the value of $K_p = 1.6 \times 10^4$. In the reaction mixture, $P_{CH_4} = 0.13$ atm, $P_{Cl_2} = 0.035$ atm, $P_{CH_3Cl} = 0.24$ atm, and $P_{HCl} = 0.47$ atm. Is CH_3Cl or CH_4 forming?

.....

.....

.....

.....

How to Solve Equilibrium Problems

كيفية حل مسائل الاتزان

تنشأ العديد من مسائل الاتزان في العالم الحقيقي، لكن يمكن تصنيف معظمها ضمن نوعين:

1. حساب قيمة K بمعلومية الكميات عند الاتزان.

2. حساب كميات الاتزان بمعلومية قيمة K والكميات الابتدائية.

Many kinds of equilibrium problems arise in the real world, but we can group most of them into two types:

1. Calculating the value of K given the equilibrium quantities.

2. Calculating the equilibrium quantities given the value of K and the initial quantities.

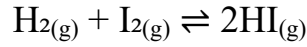
استخدام الكميات لإيجاد ثابت الاتزان

Using Quantities to Find the Equilibrium Constant

هناك نوعان شائعان من هذه المسائل: أحدهما يتضمّن التعويض بالكميات لحساب K ، والآخر يتطلب إيجاد بعض الكميات أولاً.

There are two common variations in this type of problem: one involves substituting quantities to calculate K , and the other requires first finding some of the quantities.

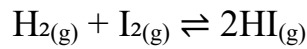
التعويض بكميات الاتزان في Q لإيجاد K
في هذا النوع من المسائل، نستخدم كميات الاتزان المعطاة لحساب K. لنفترض، على سبيل المثال، أنه تم حقن كميات متساوية من غازي الهيدروجين واليود في دورق حجمه 1.50 L عند درجة حرارة ثابتة. مع مرور الوقت، يتم الوصول إلى الاتزان التالي:



عند الاتزان، يحتوي الدورق على 1.80 mol من H_2 و 1.80 mol من I_2 و 0.520 mol من HI. حساب K:

Substituting Equilibrium Quantities into Q to Find K

In this type of problem, we use given equilibrium quantities to calculate K. Suppose, for example, that equal amounts of gaseous hydrogen and iodine are injected into a 1.50 L flask at a fixed temperature. In time, the following equilibrium is attained:



At equilibrium, the flask contains 1.80 mol of H_2 , 1.80 mol of I_2 , and 0.520 mol of HI. To calculate K:

$$[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = \frac{1.80}{1.50} = 1.20 \text{ M}, [\text{HI}] = \frac{0.520}{1.50} = 0.347 \text{ M}$$

$$Q_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \Rightarrow K_c = \frac{(0.347)^2}{(1.20)(1.20)} = 8.36 \times 10^{-2}$$

استخدام جدول التفاعل (ICE) لإيجاد كميات الاتزان و K

Using a Reaction Table (Initial, Change, Equilibrium (ICE) to Find Equilibrium Quantities and K

عندما لا تُعطى بعض الكميات، نستخدم حسابات تعتمد على المعاملات في المعادلات الكيميائية للتفاعل (من خلال جدول التفاعل) لإيجادها، ثم نحسب قيمة K.

مثلاً في دراسة لأكسدة الكربون، سُخِّن وعاء مُفَرَّغ يحتوي على كمية صغيرة من مسحوق الجرافيت إلى درجة حرارة 1080 K. أُضيف غاز $\text{CO}_2(\text{g})$ حتى وصل الضغط إلى 0.458 atm، وتكوّن CO عند الاتزان، وكان الضغط الكلي 0.757 atm. احسب K_p .

When some quantities aren't given, reaction stoichiometry (via a reaction table) is used to find them, then compute K.

For example, in a study of carbon oxidation, an evacuated vessel containing a small amount of powdered graphite was heated to 1080 K. Gaseous CO_2 is added to a pressure of 0.458 atm, and CO formed at equilibrium, the total pressure was 0.757 atm. Calculate K_p .

نظراً لأنّ البيانات معطاة بوحدة الضغط الجوي (atm) ويجب إيجاد K_p ، لذا نكتب علاقة Q_p ؛ لاحظ أنها لا تتضمن حدًا للمادة الصلبة (C(graphite)):

The data are given in atmospheres, and we must find K_p , so we write the relationship for Q_p ; note that it does not include a term for the solid, C(graphite):



جدول ICE بالضغوط الجزئية (atm)

State	$\text{CO}_2(\text{g})$	$\text{CO}(\text{g})$	$\text{C}_{(\text{s})}$
Initial	0.458	0	excess (فائض)
Change	-x	+2x	-
Equilibrium	0.458 - x	2x	-

Total equilibrium pressure:

الضغط الكلي عند الاتزان:

$$P_t = (0.458 - x) + 2x = 0.458 + x = 0.757 \Rightarrow x = 0.299$$

$$P_{\text{CO}_2, \text{eq}} = 0.458 - 0.299 = 0.159 \text{ atm}$$

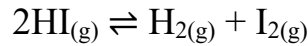
$$P_{\text{CO}, \text{eq}} = 2x = 0.598 \text{ atm}$$

For this reaction, solids are neglected:

لهذا التفاعل، تُهمل المواد الصلبة:

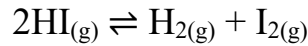
$$K_p = \frac{(P_{\text{CO}})^2}{P_{\text{CO}_2}} = \frac{(0.598)^2}{0.159} \approx 2.25$$

مثال 6: لدراسة تفكك هاليد الهيدروجين، قام باحث بملء دورق مفرغ حجمه 2.00 L بـ 0.200 mol من غاز يوديد الهيدروجين HI، وُترك التفاعل ليكتمل عند درجة حرارة 453°C:



عند الاتزان، كان $[\text{HI}] = 0.078 \text{ M}$ ، احسب قيمة K_c .

Example 6: To study hydrogen halide decomposition, a researcher filled in an evacuated 2.00 L flask with 0.200 mol of HI gas and allowed the reaction to complete at 453°C:



At equilibrium, $[\text{HI}] = 0.078 \text{ M}$. Calculate K_c .

بفرض أن التفاعل يحصل بمقدار x (بوحدّة المولار). Let the reaction progress by x (in M).

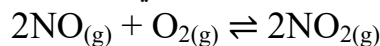
State	HI	H ₂	I ₂
I	0.100	0	0
C	-2x	+x	+x
E	0.100 - 2x	x	x

$$[\text{HI}]_{\text{eq}}: 0.100 - 2x = 0.078 \Rightarrow 2x = 0.022 \Rightarrow x = 0.011 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2]_{\text{eq}} = [\text{I}_2]_{\text{eq}} = 0.011 \text{ M}$$

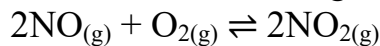
$$K_c = \frac{[\text{H}_2]_{\text{eq}}[\text{I}_2]_{\text{eq}}}{[\text{HI}]_{\text{eq}}^2} = \frac{(0.011)(0.011)}{(0.078)^2} = 1.99 \times 10^{-2}$$

تدريب 6-8: تمت دراسة أكسدة أول أكسيد النيتروجين في الغلاف الجوي.



عند درجة حرارة 184°C وبضغوط ابتدائية مقدارها 1.000 atm لـ NO و 1.000 atm لـ O₂. عند الاتزان، يكون $P_{\text{O}_2} = 0.506 \text{ atm}$. احسب K_p .

Exercise 8-6: The atmospheric oxidation of nitrogen monoxide,



was studied at 184°C with initial pressures of 1.000 atm of NO and 1.000 atm of O₂. At equilibrium, $P_{\text{O}_2} = 0.506 \text{ atm}$. Calculate K_p .

.....

.....

.....

.....

.....

استخدام ثابت الاتزان لإيجاد الكميات

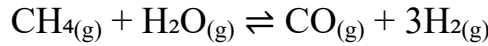
Using the Equilibrium Constant to Find Quantities

يتضمن هذا النوع من المسائل إيجاد كميات الاتزان وله أيضًا عدة أشكال مختلفة.

This type of problem involves finding equilibrium quantities also has several variations.

مثال 7: في دراسة لتحويل الميثان إلى أنواع وقود أخرى، يخلط مهندس كيميائي غازي CH_4 و H_2O في دورق سعة 0.32 L عند درجة حرارة 1200 K. عند الاتزان، يحتوي الدورق على 0.26 mol من CO و 0.091 mol من H_2 ، و 0.041 mol من CH_4 ، وقليل من H_2O . احسب قيمة $[\text{H}_2\text{O}]$ عند الاتزان؟ (لهذه العملية عند درجة حرارة 1200 K تكون قيمة $K_c = 0.26$.)

Example 7: In a study of the conversion of methane to other fuels, a chemical engineer mixes gaseous CH_4 and H_2O in a 0.32 L flask at 1200 K. At equilibrium, the flask contains 0.26 mol of CO, 0.091 mol of H_2 , 0.041 mol of CH_4 , and some H_2O . What is $[\text{H}_2\text{O}]$ at equilibrium? ($K_c = 0.26$ for this process at 1200 K).



$$K_c = \frac{[\text{CO}] [\text{H}_2]^3}{[\text{CH}_4] [\text{H}_2\text{O}]}$$

Equilibrium concentrations:

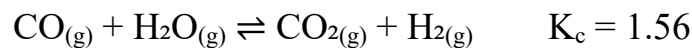
تراكيز الاتزان:

$$[\text{CH}_4] = \frac{0.041}{0.32} = 0.13 \text{ M}, [\text{CO}] = \frac{0.26}{0.32} = 0.81 \text{ M}, [\text{H}_2] = \frac{0.091}{0.32} = 0.28 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{CO}] [\text{H}_2]^3}{[\text{CH}_4] K_c} = \frac{(0.813)(0.284)^3}{(0.128)(0.26)} \approx 0.56 \text{ M}$$

مثال 8: يستخدم مهندسو الوقود مقدار التحوّل من CO و H_2O إلى CO_2 و H_2 لتنظيم نسب خلطات الوقود التركيبي. إذا وُضِعَ 0.250 mol من غاز CO و 0.250 mol من بخار الماء في دورق حجمه 125 mL عند 900 K، فما تركيب مزيج الاتزان عند نفس درجة الحرارة، إذا علمت أن قيمة K_c تساوي 1.56.

Example 8: Fuel engineers use the conversion magnitude from CO and H_2O to CO_2 and H_2 to regulate the proportions of synthetic fuel mixtures. If 0.250 mol of CO gas and 0.250 mol of H_2O vapor are placed in a 125 mL flask at 900 K, what is the composition of the equilibrium mixture at this temperature, given that the value of K_c is 1.56?



Initial concentrations (0.125 L):

التركيز الابتدائية (0.125 L):

$$[\text{CO}]_0 = [\text{H}_2\text{O}]_0 = \frac{0.250}{0.125} = 2.00 \text{ M}; [\text{CO}_2]_0 = [\text{H}_2]_0 = 0$$

Concentration (M) $\text{CO}(\text{g})$ $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\text{CO}_2(\text{g})$ $\text{H}_2(\text{g})$

Initial (I) 2.00 2.00 0 0

Change (C) -x -x +x +x

Equilibrium (E) 2.00 - x 2.00 - x x x

$$K_c = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{x^2}{(2.00 - x)^2} = 1.56 \Rightarrow \frac{x}{2.00 - x} = \sqrt{1.56} = 1.249$$

$$x = 1.11$$

Equilibrium concentrations:

تراكيز الاتزان:

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 2.00 - 1.11 = 0.889 \text{ M}$$

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 1.11 \text{ M}$$

Equilibrium moles (in 0.125 L)

وبالتالي عدد مولات الاتزان (في 0.125 L)

$$n_{\text{CO}} = n_{\text{H}_2\text{O}} = 0.889 \times 0.125 = 0.111 \text{ mol};$$

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{H}_2} = 1.11 \times 0.125 = 0.139 \text{ mol}.$$

تدريب 8-7: يتفكك أول أكسيد النيتروجين وفق المعادلة التالية: $2\text{NO}_{(g)} \rightleftharpoons \text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$; $K_c = 2.3 \times 10^{30}$ عند 298 K. في الغلاف الجوي يكون، $P_{\text{O}_2} = 0.209 \text{ atm}$ و $P_{\text{N}_2} = 0.781 \text{ atm}$. ما الضغط الجزئي عند الاتزان لغاز NO في الهواء الذي نتنفسه؟

Exercise 8-7: Nitrogen monoxide is decomposed by the following equation: $2\text{NO}_{(g)} \rightleftharpoons \text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$; $K_c = 2.3 \times 10^{30}$ at 298 K. In the atmosphere, $P_{\text{O}_2} = 0.209 \text{ atm}$ and $P_{\text{N}_2} = 0.781 \text{ atm}$. What is the equilibrium partial pressure of NO in the air we breathe?

.....

.....

.....

تدريب 8-8: تمّت دراسة تفكك يوديد الهيدروجين HI عند درجة حرارة منخفضة وذلك بحقن 2.50 mol من HI في وعاء حجمه 10.32-L عند درجة حرارة 25°C. ما قيمة $[\text{H}_2]$ عند الاتزان للتفاعل؟

Exercise 8-8: The decomposition of HI at low temperature was studied by injecting 2.50 mol of HI into a 10.32-L vessel at 25°C. What is $[\text{H}_2]$ at equilibrium for the reaction? $2\text{HI}_{(g)} \rightleftharpoons \text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)}$ $K_c = 1.26 \times 10^{-3}$

.....

.....

.....

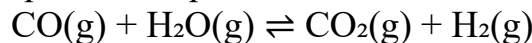
استخدام معادلات من الدرجة الثانية لإيجاد تركيز المجهول

في بعض مسائل الاتزان الكيميائي، لا يمكن استخدام طريقة الاختصار المبسطة التي تفترض أن تراكيز المواد المتفاعلة متساوية في البداية، لأن المواد المتفاعلة قد تبدأ بتراكيز مختلفة. على سبيل المثال، إذا بدأ التفاعل بتركيز 2.00 M CO و 1.00 M H₂O فإن التغيرات في التراكيز لن تتناقص بشكل متماثل. في هذه الحالة، يجب إعداد جدول ICE (الابتدائي – التغير – الاتزان) بالطريقة المعتادة، وسينتج عن ذلك معادلة من الدرجة الثانية عند كتابة تعبير ثابت الاتزان.

Using the Quadratic Formula to Find the Unknown

In some equilibrium problems, the simplified “equal concentrations” shortcut can’t be used because the reactants start with different initial concentrations.

For example, if a reaction starts with 2.00 M CO and 1.00 M H₂O, the changes in concentration no longer cancel symmetrically. In this case, the ICE (Initial–Change–Equilibrium) table must be set up normally, and the resulting equilibrium expression will form a quadratic equation.



Concentration (M)	CO(g)	H ₂ O(g)	CO ₂ (g)	H ₂ (g)
Initial (I)	2.00	1.00	0	0
Change (C)	-x	-x	+x	+x
Equilibrium (E)	2.00 - x	1.00 - x	x	x

$$K_c = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{(x)(x)}{(2.00-x)(1.00-x)} = 1.56$$

$$x = 0.732 \text{ M}$$

$$[\text{CO}] = 2.00 - 0.732 = 1.27 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1.00 - 0.732 = 0.268 \text{ M}$$

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 0.732 \text{ M}$$

المسائل التي تتضمن خليطاً من المواد المتفاعلة والنواتج

Problems Involving Mixtures of Reactants and Products

في مسائل الاتزان السابقة، كانت التفاعلات تبدأ بوجود المتفاعلات فقط، لذلك كان اتجاه التفاعل نحو تكوين النواتج واضحاً، وكانت التغيرات في التراكيز تُعطى بإشارة سالبة للمتفاعلات وإشارة موجبة للنواتج. أما عندما يبدأ النظام بوجود مزيج من المتفاعلات والنواتج، فإن اتجاه التفاعل غير معروف مسبقاً.

In previous equilibrium problems, reactions began with only reactants, so the reaction direction (toward products) was clear, and the changes in concentrations were assigned negative signs for reactants and positive signs for products.

However, when a system starts with both reactants and products, the direction of the shift is not obvious.

في هذه الحالات، يجب أولاً مقارنة قيمة حاصل التفاعل (Q) مع ثابت الاتزان (K) لتحديد الاتجاه الذي سيتحرك فيه النظام للوصول إلى الاتزان:

إذا كان $Q < K$ ، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين النواتج.

إذا كان $Q > K$ ، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين المتفاعلات.

تساعد هذه المقارنة على تحديد اتجاه التغير قبل إعداد جدول ICE الخاص بالاتزان

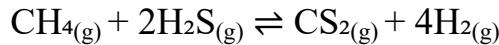
In such cases, you must first compare the reaction quotient (Q) with the equilibrium constant (K) to determine which way the reaction will proceed to reach equilibrium:

If $Q < K$, the reaction shifts toward products.

If $Q > K$, the reaction shifts toward reactants.

This comparison identifies the direction of change before setting up the ICE table.

مثال 9: تدرس وحدة البحث والتطوير في إحدى الشركات الكيميائية تفاعل الميثان (CH_4) مع كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وهما من مكونات الغاز الطبيعي، وفق التفاعل التالي:

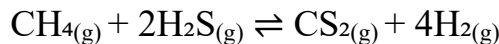


في إحدى التجارب، تم خلط 1.00 mol من CH_4 و 1.00 mol من CS_2 و 2.00 mol من H_2S و 2.00 mol من H_2 في وعاء حجمه 250 mL عند درجة حرارة 960°C . عند هذه الدرجة من الحرارة، كانت قيمة ثابت الاتزان $K_c = 0.036$.

(a) في أي اتجاه سيتقدم التفاعل للوصول إلى حالة الاتزان؟

(b) إذا كان $[\text{CH}_4] = 5.56 \text{ M}$ عند الاتزان، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟

Example 9: The research and development unit of a chemical company is studying the reaction of CH_4 and H_2S , two components of natural gas:



In one experiment, 1.00 mol of CH_4 , 1.00 mol of CS_2 , 2.00 mol of H_2S , and 2.00 mol of H_2 are mixed in a 250 mL vessel at 960°C . At this temperature, $K_c = 0.036$.

- a) In which direction will the reaction proceed to reach equilibrium?
b) If $[CH_4] = 5.56 \text{ M}$ at equilibrium, what are the equilibrium concentrations of the other substances?

Calculate the concentration using (n/V) : احسب التراكيز من عدد المولات والحجم (n/V) :
 $[CH_4] = 4.00 \text{ M}$, $[H_2S] = 8.00 \text{ M}$, $[CS_2] = 4.00 \text{ M}$, $[H_2] = 8.00 \text{ M}$

a) Direction of reaction اتجاه التفاعل (a)

$$Q_c = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2} = \frac{(4.00)(8.00)^4}{(4.00)(8.00)^2} = \frac{(4)(4096)}{(4)(64)} = \frac{4096}{64} = 64$$

$$Q_c(64) > K_c(0.036)$$

التفاعل ينزاح الى اليسار (باتجاه المتفاعلات) للوصول الى الاتزان.

Reaction shifts left (toward reactants) to reach equilibrium.

b) Find equilibrium concentrations ايجاد تراكيز الاتزان (b)

State	$CH_4(g)$	$+ 2H_2S(g)$	$\rightleftharpoons CS_2(g)$	$+ 4H_2(g)$
I	4.00	8.00	4.00	8.00
C	+x	+2x	-x	-4x
E	$4.00 + x$	$8.00 + 2x$	$4.00 - x$	$8.00 - 4x$

At equilibrium عند الاتزان $[CH_4] = 5.56 \text{ M}$

$$4.00 + x = 5.56 \Rightarrow x = 1.56$$

$$[H_2S] = 8.00 + 2(1.56) = 11.12 \text{ M}$$

$$[CS_2] = 4.00 - 1.56 = 2.44 \text{ M}$$

$$[H_2] = 8.00 - 4(1.56) = 1.76 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{(2.44)(1.76)^4}{(5.56)(11.12)^2} = 0.034 \approx 0.036$$

- تدريب 8-9:** في أسطوانة مفرّغة حجمها 10 L، تُمزج 0.5 mol من غاز H_2 و 0.5 mol من غاز I_2 عند درجة حرارة 448°C ، لتكوين غاز يوديد الهيدروجين. تكون قيمة ثابت الاتزان $K = 50$.
- (a) ما الضغط الكلي الابتدائي في الأسطوانة، وما الضغط عند الاتزان؟
(b) ما الضغط الجزئي لكل مكوّن في خليط الاتزان؟
(c) ما عدد مولات اليود (I_2) المتبقية بدون تفاعل عند الاتزان؟

Exercise 8-9: In a 10 L evacuated cylinder, 0.5 mol of H_2 and 0.5 mol of I_2 are mixed at 448°C to form hydrogen iodide gas. The equilibrium constant is $K = 50$.

- a) What is the total initial pressure in the cylinder, and what is the pressure at equilibrium?
b) What is the partial pressure of each component in the equilibrium mixture?
c) How many moles of iodine (I_2) remain unreacted at equilibrium?

.....
.....
.....
.....
.....

Reaction Conditions and Equilibrium: Le Châtelier's Principle

Le Châtelier's Principle

مبدأ لو شاتلييه

- المبدأ: عندما يتعرض نظام في حالة اتزان لاضطراب، فإنه يستعيد حالة الاتزان من خلال تفاعلٍ صافٍ يقلل من تأثير هذا الاضطراب.
- الاضطراب: يحدث عندما يُؤدّي التغيير إلى جعل $Q \neq K$. ومن أكثر التغييرات شيوعاً: التركيز، أو الضغط (عن طريق الحجم)، أو درجة الحرارة.
- التفاعل الصافي / اتجاه موضع الاتزان: يتجه موضع الاتزان نحو اليمين (من المتفاعلات إلى النواتج) أو نحو اليسار (من النواتج إلى المتفاعلات) حتى يتم الوصول إلى حالة اتزان جديدة، مع تغيير التراكيز / الضغوط لمعادلة تأثير الاضطراب.
- محور هذا الجزء: دراسة الاستجابة للتغيرات في التركيز، والضغط (أو الحجم)، ودرجة الحرارة، وإضافة عامل محفّز، باستخدام النظام $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$ بوصفه مثالاً توضيحياً.
- Principle: When a system at equilibrium is disturbed, it reattains equilibrium by a net reaction that reduces the effect of the disturbance.
- Disturbance: Occurs when a change forces $Q \neq K$. Common changes: concentration, pressure (via volume), or temperature.
- Net reaction/shift: The equilibrium position shifts right (from reactants to products) or left (from products to reactants) until a new equilibrium is reached, changing concentrations/pressures to counter the disturbance.
- The focus of this section: studying the response to changes in concentration, pressure (or volume), temperature, and the addition of a catalyst, using the system $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$ as an illustrative example.

The Effect of a Change in Concentration

تأثير التغير في التركيز

عندما يتعرّض نظام في حالة اتزان لتغيير في تركيز أحد مكوناته، فإنه يستجيب بالانتقال في الاتجاه الذي يقلل من هذا التغيير:

إذا ازداد تركيز أحد المتفاعلات فإن الاتزان الكيميائي سينتقل في الاتجاه الذي يقلل من هذه الزيادة في التركيز. وبالتالي، سترداد سرعة التفاعل، وستتغير تراكيز النواتج بما يتناسب مع تأثير زيادة التركيز. وبالمثل، إذا أزيلت كمية من أحد المتفاعلات، فإن التفاعل سيتجه في الاتجاه الذي يعوّض هذا النقص؛ أي أنه سيتحرك في الاتجاه الذي يعاكس انخفاض تركيز تلك المادة. فقط المواد التي تظهر في علاقة الاتزان (Q) تؤثر على موضع الاتزان؛ لذلك فإن التغيير في كميات السوائل أو المواد الصلبة النقية لا يؤثر.

When a system at equilibrium experiences a change in the concentration of one of its components, it responds by shifting in the direction that minimizes that change:

If the concentration of one of the reactants increases, the chemical equilibrium will shift in the direction that reduces this increase in concentration. Accordingly, the reaction rate will increase, and the reaction products will change in proportion to the effect of the increased concentration.

Likewise, if some amount of one of the reactants is removed, the reaction will proceed in the direction that compensates for this decrease; that is, it will move in the direction that counteracts the reduction in the concentration of that substance. Only substances that appear in the equilibrium expression (Q) influence the equilibrium position; therefore, changes in the quantities of pure liquids or solids have no effect.

A Qualitative View of a Concentration Change

نظرة نوعية على تغير التركيز

عند درجة حرارة 523 K، يصل النظام $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g})$ إلى حالة الاتزان عندما:
system reaches equilibrium when At 523 K, $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g})$ then:

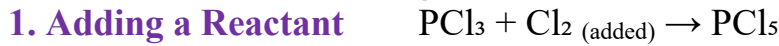
$$Q_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]} = 24.0 = K_c$$

بدءاً من $Q_c = K_c$ ، دعنا نحلل كيف تُؤثر التغيرات في التركيز على موضع الاتزان.

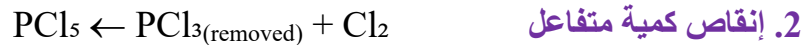
Starting with $Q_c = K_c$, let's analyze how changes in concentration affect the equilibrium position.



إذا أُضيف كمية من غاز Cl_2 إلى التفاعل عند الاتزان، فإن النظام يتفاعل لتقليل هذا الاضطراب عن طريق استهلاك جزء من Cl_2 المضاف، مما يدفع الاتزان نحو جهة النواتج. إن زيادة تركيز $[\text{Cl}_2]$ في البداية تُخفّض قيمة Q_c ، بحيث يصبح $Q_c < K_c$ ، لذلك سيتجه التفاعل نحو اليمين، مكوناً المزيد من PCl_5 ومستهلكاً كلاً من PCl_3 و Cl_2 ، حتى يتم الوصول إلى حالة الاتزان حيث تصبح $Q_c = K_c$.



If additional Cl_2 gas is introduced, the system reacts to reduce this disturbance by consuming part of the added Cl_2 , shifting the equilibrium toward the product side. Increasing $[\text{Cl}_2]$ initially decreases Q_c , so $Q_c < K_c$. The reaction proceeds to the right, forming more PCl_5 and consuming PCl_3 and Cl_2 , until $Q_c = K_c$ is reestablished.



إذا تم إنقاص تركيز PCl_3 ، سيتجه النظام نحو الجهة اليسرى (جهة المتفاعلات) لاستعادة الاتزان. إن خفّض تركيز $[\text{PCl}_3]$ يؤدي في البداية إلى زيادة Q_c ، بحيث يصبح $Q_c > K_c$. يتفكك جزء من PCl_5 إلى PCl_3 و Cl_2 حتى يعود الاتزان، حيث تصبح $Q_c = K_c$.



If PCl_3 is removed, the system shifts toward the reactant side to restore balance. Decreasing $[\text{PCl}_3]$ initially increases Q_c , so Thus, $Q_c > K_c$ some PCl_5 decomposes into PCl_3 and Cl_2 , until equilibrium is reestablished $Q_c = K_c$

3. زيادة أو إنقاص كمية ناتج

تنطبق المبادئ نفسها على النواتج:

زيادة تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليسار (باتجاه المتفاعلات).

إنقاص تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليمين (باتجاه النواتج).

3. Adding or Removing a Product

The same principles apply to a products:

Adding PCl_5 shifts equilibrium to the left (toward reactants).

Removing PCl_5 shifts equilibrium to the right (toward products).

القاعدة المُلخّصة:

إضافة كمية متفاعل أو إنقاص كمية ناتج وبالتالي يتجه الاتزان نحو اليمين.

إنقاص كمية متفاعل أو زيادة كمية ناتج وبالتالي يتجه الاتزان نحو اليسار.

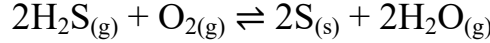
Summary Rule:

Add a reactant or remove a product; consequently, the equilibrium shifts right.

Remove a reactant or add a product; consequently, the equilibrium shifts left.

مثال 10: من أجل تحسين جودة الهواء والحصول على منتج مفيد، يقوم الكيميائيون غالبًا بإنقاص الكبريت من الفحم والغاز الطبيعي عن طريق معالجة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S الملوّث بالأكسجين O_2 :

Example 10: To improve air quality and obtain a useful product, chemists often remove sulfur from coal and natural gas by treating the contaminant hydrogen sulfide with O_2 :



What happens to?

- $[H_2O]$ if O_2 is added?
- $[H_2S]$ if O_2 is added?
- $[O_2]$ if H_2S is removed?
- $[H_2S]$ if sulfur is added?

- ما الذي يحدث لـ؟
- $[H_2O]$ إذا أُضيف O_2 ؟
 - $[H_2S]$ إذا أُضيف O_2 ؟
 - $[O_2]$ إذا أُنقص H_2S ؟
 - $[H_2S]$ إذا أُضيف الكبريت؟

$$Q = \frac{[H_2O]^2}{[H_2S]^2 [O_2]}$$

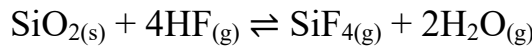
(ملاحظة: لا تظهر المادة الصلبة $S_{(s)}$ في كلٍ من Q أو K)

(Note: the solid $S_{(s)}$ does not appear in Q or K)

- زيادة O_2 : سيتجه الاتزان نحو اليمين لاستهلاك المتفاعل المضاف وبالتالي يزداد $[H_2O]$.
- زيادة O_2 : نفس الانزياح نحو اليمين يؤدي إلى استهلاك H_2S وبالتالي ينخفض $[H_2S]$.
- إنقاص H_2S : يتجه النظام نحو اليسار لتعويض المتفاعل الذي تم إزالته وبالتالي يزداد $[O_2]$ (لأنها تتكوّن من H_2O في التفاعل العكسي).
- زيادة الكبريت $S_{(s)}$: لا يحدث أي تأثير (مادة صلبة نقية لا تدخل في Q) وبالتالي يبقى $[H_2S]$ دون تغيير.

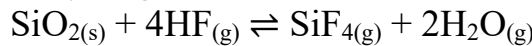
- Add O_2 : shifts right to consume added reactant; consequently, H_2O increases.
- Add O_2 : same rightward shift consumes H_2S ; consequently, $[H_2S]$ decreases.
- Remove H_2S : system shifts left to replace removed reactant; consequently, $[O_2]$ increases (formed from H_2O in the reverse reaction).
- Add sulfur $S_{(s)}$ no effect (pure solid; not in Q); consequently, $[H_2S]$ unchanged.

تدريب 8-10: في دراسة حول نقش الزجاج، فحص أحد الكيميائيين التفاعل بين الرمل (SiO_2) وغاز فلوريد الهيدروجين (HF) عند درجة حرارة $150^\circ C$:



تنبأ بتأثير ذلك على $[SiF_4]$ في الحالات التالية: (a) عند إنقاص $H_2O_{(g)}$ ، (b) عند إضافة كمية من الماء السائل، (c) عند إنقاص HF ، (d) عند إنقاص جزء من الرمل.

Exercise 8-10: In a study of glass etching, a chemist examines the reaction between sand (SiO_2) and hydrogen fluoride at $150^\circ C$:



Predict the effect on $[SiF_4]$ when (a) $H_2O_{(g)}$ is removed, (b) some liquid water is added, (c) HF is removed, (d) some sand is removed.

.....

.....

.....

.....

.....

تأثير التغير في الضغط (أو الحجم) **The Effect of a Change in Pressure (Volume)**

يمكن أن تؤثر التغيرات في الضغط تأثيرًا كبيرًا على أنظمة الاتزان التي تتضمن غازات. (إذ يكون للضغط تأثير ضئيل أو معدوم على السوائل والمواد الصلبة لأنها غير قابلة للانضغاط). يمكن أن تحدث التغيرات في الضغط بعدة طرق:

Changes in pressure can significantly influence equilibrium systems that involve gases. (Pressure has little to no effect on liquids and solids because they are almost incompressible). Pressure variations can occur in several ways:

• تغيير تركيز أحد المكونات الغازية

ينطبق المنطق نفسه المستخدم في تغيرات التركيز هنا، إذ إنّ تغيير كمية الغاز يؤثر على موضع الاتزان.

• **Changing the concentration of a gaseous component**

The same logic used for concentration changes applies here, changing the amount of a gas affects the equilibrium position.

• إضافة غاز خامل (لا يشارك في التفاعل)

يبقى حجم النظام ثابتًا، فإن إدخال غاز خامل لا يؤثر في موضع الاتزان، لأن تراكيز وضغوط الغازات المتفاعلة الجزئية تبقى دون تغيير. بالإضافة إلى ذلك، لا يظهر الغاز الخامل في علاقة الاتزان (Q)، وبالتالي لا يمكنه التأثير على الاتزان.

• **Adding an inert gas (one that does not participate in the reaction)**

When the system's volume remains constant, introducing an inert gas does not affect the equilibrium position, since the concentrations and partial pressures of the reacting gases remain unchanged. In addition, the inert gas does not appear in the equilibrium expression (Q), so it cannot influence the equilibrium.

• تغيير حجم وعاء التفاعل

يمكن أن يؤثر تغيير حجم وعاء التفاعل بشكل كبير على موضع الاتزان، ولكن فقط في التفاعلات التي يتغير فيها العدد الكلي لمولات الغاز. لننظر في حالتين محتملتين للطريقة الثالثة: تغيير حجم وعاء التفاعل

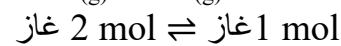
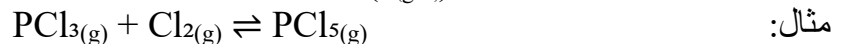
• **Changing the volume of the reaction vessel**

Changing the size of the reaction vessel can greatly affect the position of equilibrium, but only in reactions where the total number of moles of gas changes. Let's consider the two possible situations for the third way: changing the volume of the reaction vessel.

تأثير تغير الحجم (أو الضغط) على الاتزان الغازي

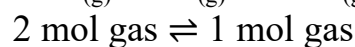
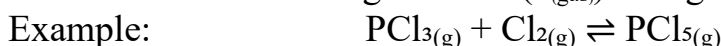
Effect of Volume (or Pressure) Changes on Gaseous Equilibrium

1. عندما يتغير عدد مولات الغاز (n_{gas}).



إذا خُصص حجم الوعاء إلى النصف، يتضاعف الضغط. ولمعادلة هذا الاضطراب، يتجه النظام نحو الجهة التي تحتوي على عدد أقل من جزيئات الغاز، وهنا نحو النواتج، مُكوّنًا المزيد من PCl_5 .

1. When the number of gas moles (n_{gas}) changes.



If the volume of the container is reduced to half, the pressure doubles. To counter this disturbance, the system shifts toward the side with fewer gas molecules. here, toward products, forming more PCl_5 .

Mathematically:

$$Q_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$$

عند خفض حجم النظام إلى النصف، فتنضاعف ضغوط الغازات وتراكيزها، مما يجعل $Q_c < K_c$ في العلاقة. لذلك يمضي التفاعل في الاتجاه الأمامي حتى تُستعاد حالة الاتزان.

The volume is reduced to half, gas pressure and concentrations double, In the Q expression, making $Q_c < K_c$. The reaction therefore proceeds forward until equilibrium is restored.

2. عندما لا يتغير عدد مولات الغاز ($n_{(gas)}$).



في هذه الحالة، يحتوي الطرفان على نفس العدد من مولات الغاز، لذا تؤثر تغييرات الحجم على البسط والمقام بنفس الدرجة، فلا يحدث أي انزياح في موضع الاتزان.

2. When the number of gas moles ($n_{(gas)}$) does not change.



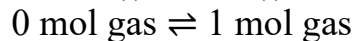
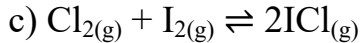
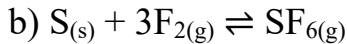
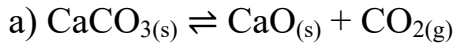
Here, both sides have the same total moles of gas, so volume changes affect numerator and denominator equally → No shift in equilibrium position.

يُعد تغيير الحجم فعلياً تغييراً في التركيز، لذا لا تتغير قيمة K_c مع تغيير الضغط/الحجم.

Volume change is effectively a concentration change, so K_c does not change with pressure/volume changes.

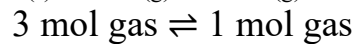
مثال 11: كيف يمكن تغيير حجم كل من التفاعلات التالية لزيادة كمية المادة (أو المواد) الناتجة؟

Example 11: How would you change the volume of each of the following reactions to increase the yield of the product(s)?



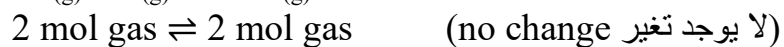
زيادة الحجم (أو إنقاص CO_2) تؤدي إلى تفضيل الاتزان للجانب الذي يحتوي على عدد أكبر من مولات الغاز فينزاح التفاعل نحو اليمين ويتكوّن المزيد من النواتج.

Increase volume (or remove CO_2) to favor the side with more gas moles, then shift right and more product.



تقليل الحجم يؤدي إلى تفضيل الاتزان للجانب الذي يحتوي على عدد أقل من مولات الغاز فينزاح التفاعل نحو اليمين ويزداد تكوّن النواتج.

Decrease volume to favor the side with fewer gas moles and shift right with more product.

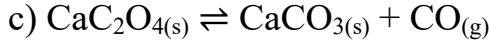
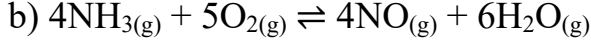
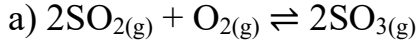


تغيير الحجم أو الضغط لا يؤثر على موضع الاتزان وبالتالي يبقى ناتج التفاعل دون تغيير.

Changing volume/pressure has no effect on equilibrium position, thus product yield unchanged.

تدريب 8-11: هل سترزيد أم تُنقص الضغط (عن طريق تغيير الحجم) في كلٍ من التفاعلات التالية لتقليل مردود الناتج؟

Exercise 8-11: Would you increase or decrease the pressure (via a volume change) of each of the following reactions to decrease the yield of products?



.....

.....

.....

.....

The Effect of a Change in Temperature

تأثير التغير في درجة الحرارة

تأثير درجة الحرارة على الاتزان و K_c

من بين الاضطرابات الثلاثة الممكنة، التغيرات في التركيز أو الضغط أو درجة الحرارة، فإن درجة الحرارة فقط هي التي تُغيّر قيمة ثابت الاتزان (K_c).

لننظر إلى التفاعل: $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g}) \quad \Delta H_{\text{rxn}} = -111 \text{ kJ}$
يكون التفاعل الأمامي طارداً للحرارة (يُطلق حرارة)، بينما التفاعل العكسي ماصاً للحرارة (يمتص حرارة).

إذا عوملت الحرارة (Q) كمكون في النظام: $A \rightleftharpoons B + Q$
رفع درجة الحرارة يُضيف حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي).
وعند خفض درجة الحرارة تُزال حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الطارد للحرارة (الاتجاه الأمامي).
عند الاتزان يكون $Q_c = K_c$.

في التفاعلات الطاردة للحرارة (مثل تكوين PCl_5)، فإن زيادة درجة الحرارة تعادل إضافة حرارة للنظام، لذلك يتجه التفاعل نحو الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي) لامتناس الحرارة الزائدة، مما يُقلل تركيز النواتج ويُخفض قيمة K_c . وعلى العكس فإنّ حَفْض درجة الحرارة، فينتجه التفاعل إلى الاتجاه الأمامي (الطارد للحرارة) مُنتجاً المزيد من PCl_5 ويُزيد من قيمة K_c .

Effect of Temperature on Equilibrium and K_c

Among the three possible disturbances—changes in concentration, pressure, or temperature—only temperature changes alter the equilibrium constant (K).

Consider the reaction: $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g}) \quad \Delta H_{\text{rxn}} = -111 \text{ kJ}$

The forward reaction is exothermic (releases heat), while the reverse reaction is endothermic (absorbs heat).

If heat is treated as a component of the system: $A \rightleftharpoons B + Q$

Raising the temperature adds heat, favoring the endothermic (reverse) direction.

Lowering the temperature removes heat, favoring the exothermic (forward) direction.

At equilibrium, $Q_c = K_c$.

In exothermic reactions (like the formation of PCl_5), increasing temperature is equivalent to adding heat, so the equilibrium shifts toward the endothermic (reverse) direction to absorb the excess heat, decreasing product concentration and lowering K_c . Conversely, decreasing temperature favors the forward (exothermic) direction, producing more PCl_5 and increasing K_c .

باختصار:

للتفاعلات الماصة للحرارة: ($\Delta H_{\text{rxn}} > 0$) زيادة درجة الحرارة تُزيد من قيمة K_c .
للتفاعلات الطاردة للحرارة: ($\Delta H_{\text{rxn}} < 0$) زيادة درجة الحرارة تُنقص من قيمة K_c .

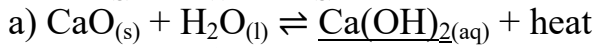
In summary:

For endothermic reactions ($\Delta H_{\text{rxn}} > 0$): increasing temperature rises K_c .

For exothermic reactions ($\Delta H_{\text{rxn}} < 0$): increasing temperature lowers K_c .

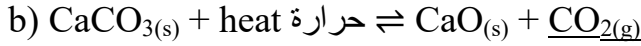
مثال 12: كيف يؤثر ارتفاع درجة الحرارة على تركيز التي تحتها خط وعلى قيمة K في كلٍ من التفاعلات التالية؟

Example 12: How does an increase in temperature affect the equilibrium concentration of the underlined substance and K for each of the following reactions?



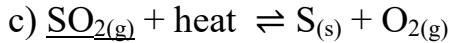
إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليسار، عندها ينخفض تركيز $[\text{Ca(OH)}_2]$ وتقل قيمة K .

Adding heat shifts the system to the left: $[\text{Ca(OH)}_2]$ and K will decrease.



إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها يزداد تركيز $[\text{CO}_2]$ وتزداد قيمة K .

Adding heat shifts the system to the right: $[\text{CO}_2]$ and K will increase.

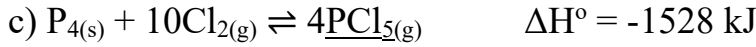
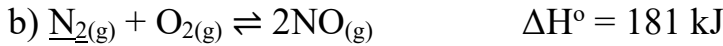


إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها ينخفض تركيز $[\text{SO}_2]$ وتزداد قيمة K .

Adding heat shifts the system to the right: $[\text{SO}_2]$ will decrease, and K will increase.

تدريب 8-12: كيف يؤثر انخفاض درجة الحرارة على الضغط الجزئي للمادة التي تحتها خط وعلى قيمة ثابت الاتزان (K) في كل من التفاعلات التالية؟

Exercise 8-12: How does a decrease in temperature affect the partial pressure of the underlined substance and the value of K for each of the following reactions?



.....
.....
.....
.....
.....

مثال 13: للتفاعل التالي عند الاتزان: $\text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{5(g)}$ ، تبلغ قيمة $K_c = 96.2$ عند درجة الحرارة 400 K .

1. إذا كانت تراكيز الاتزان كما يلي $[\text{PCl}_3] = 0.50 \text{ M}$ و $[\text{Cl}_2] = 0.07 \text{ M}$. احسب تركيز الاتزان لـ PCl_5 .

2. إذا كانت التراكيز الابتدائية $[\text{PCl}_3]_0 = [\text{Cl}_2]_0 = 0.14 \text{ M}$ عند نفس درجة الحرارة، احسب تركيز الاتزان لـ PCl_5 .

3. عند إضافة 0.0500 M من PCl_3 إلى خليط الاتزان في الفقرة (2)، احسب التراكيز الجديدة للمتفاعلات والنواتج عند الاتزان.
4. إذا أزيلت كمية مقدارها 0.0300 M من PCl_5 من خليط الاتزان في الفقرة (3)، احسب التراكيز الجديدة للمتفاعلات والنواتج عند الاتزان.
5. احسب ثابت الاتزان K_p للتفاعل السابق.
6. إذا كانت التراكيز لكل من: $[\text{PCl}_3] = [\text{Cl}_2] = 0.0333 \text{ M}$, $[\text{PCl}_5] = 0.1067 \text{ M}$ باستخدام التراكيز المعطاة، احسب الضغوط الجزئية المقابلة والضغط الكلي عند درجة 400 K (a) إذا حدث اضطراب في النظام أدى إلى انخفاض الضغط الكلي إلى 4.00 atm عند نفس الدرجة، احسب الضغوط الجزئية الجديدة عند الاتزان.

Example 13: For the equilibrium reaction, $\text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_5(\text{g})$. The value of $K_c = 96.2$ at a temperature of 400 K.

- At 400 K, the equilibrium concentrations are $[\text{PCl}_3] = 0.50 \text{ M}$, and $[\text{Cl}_2] = 0.07 \text{ M}$. Calculate the equilibrium concentration of PCl_5 .
- If the initial concentrations are $[\text{PCl}_3]_0 = [\text{Cl}_2]_0 = 0.14 \text{ M}$ at the same temperature, calculate the equilibrium concentration of PCl_5 .
- When 0.0500 M of PCl_3 is added to the equilibrium mixture in item 2, calculate the new equilibrium concentrations of all reactants and products.
- If 0.0300 M of PCl_5 is removed from the equilibrium mixture in item 3, calculate the new equilibrium concentrations of the reactants and products.
- Calculate the equilibrium constant K_p for the above reaction.
- If: $[\text{PCl}_3] = [\text{Cl}_2] = 0.0333 \text{ M}$, and $[\text{PCl}_5] = 0.1067 \text{ M}$
 - Using the given concentrations, calculate the corresponding partial pressures and the total pressure at 400 K.
 - If a disturbance reduces the total pressure to 4.00 atm at the same temperature, calculate the new partial pressures at equilibrium.

1. Given: $[\text{PCl}_3] = 0.50 \text{ M}$, $[\text{Cl}_2] = 0.07 \text{ M}$ find $[\text{PCl}_5]$.

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}$$

$$[\text{PCl}_5] = 96.2 (0.50)(0.07) = 3.37 \text{ M}$$

2. If the initial concentrations are $[\text{PCl}_3]_0 = [\text{Cl}_2]_0 = 0.14 \text{ M}$

State	PCl_3	Cl_2	PCl_5
I	0.14	0.14	0
C	-x	-x	+x
E	0.14-x	0.14-x	x

$$K_c = \frac{x}{(0.14 - x)^2} = 96.2$$

$$x = 0.106$$

Equilibrium concentrations:

تراكيز الاتزان:

$$[\text{PCl}_3] = 0.034 \text{ M}, [\text{Cl}_2] = 0.034 \text{ M}, [\text{PCl}_5] = 0.106 \text{ M}$$

3. When 0.0500 M of PCl_3 is added to the equilibrium mixture in (2)

State	PCl ₃	Cl ₂	PCl ₅
I	0.084	0.034	0.106
C	-x	-x	+x
E	0.084-x	0.034-x	0.106+x

$$K_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]} = 96.2 = \frac{0.106 + x}{(0.084 - x)(0.034 - x)}$$

$$x = 0.0155$$

$$[PCl_3] = 0.084 - 0.0155 = 0.0685 \text{ M}$$

$$[Cl_2] = 0.034 - 0.0155 = 0.0185 \text{ M}$$

$$[PCl_5] = 0.106 + 0.0155 = 0.1215 \text{ M}$$

4. When 0.0300 M of PCl₅ is removed from the mixture in (3)

State	PCl ₃	Cl ₂	PCl ₅
I	0.0685	0.0185	0.0915
C	-x	-x	+x
E	0.0685-x	0.0185-x	0.0915+x

$$96.2 = \frac{0.0915 + x}{(0.0685 - x)(0.0185 - x)}$$

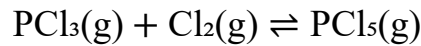
$$x = 0.0034$$

$$[PCl_3] = 0.0685 - 0.0034 = 0.0651 \text{ M}$$

$$[Cl_2] = 0.0185 - 0.0034 = 0.0151 \text{ M}$$

$$[PCl_5] = 0.0915 + 0.0034 = 0.0949 \text{ M}$$

5. Calculate K_p



$$\Delta n = 1 - (1 + 1) = -1$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} = \frac{K_c}{RT}$$

$$K_p = \frac{96.2}{(0.0821)(400)} = \frac{96.2}{32.84} = 2.93$$

6. Given: [PCl₃] = [Cl₂] = 0.0333 M, [PCl₅] = 0.1067 M, T = 400 K

a) Calculate partial pressures and total pressure احسب الضغوط الجزئية والضغط الكلي

$$P_i = C_i RT$$

$$P_{(PCl_3)} = 0.0333 (0.0821) (400) = 1.09 \text{ atm}$$

$$P_{(Cl_2)} = 1.09 \text{ atm}$$

$$P_{(PCl_5)} = 0.1067 (0.0821) (400) = 3.50 \text{ atm}$$

$$P_{\text{total}} = 1.09 + 1.09 + 3.50 = 5.68 \text{ atm}$$

b) Pressure ratio:

نسبة الضغط:

$$\frac{4.00}{5.68} = 0.704$$

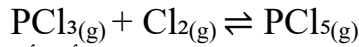
يتم ضرب جميع الضغوط الجزئية في هذه النسبة 0.704 مبدئيًا (قبل أن يحدث أي انزياح في التفاعل).

All partial pressures scale by 0.704 initially (before shift):

$$P_{\text{PCl}_3} = 1.09 \times 0.704 = 0.767 \text{ atm}$$

$$P_{\text{Cl}_2} = 1.09 \times 0.704 = 0.767 \text{ atm}$$

$$P_{\text{PCl}_5} = 3.50 \times 0.704 = 2.46 \text{ atm}$$



انخفاض الضغط يُفضّل تكوين عدد أكبر من جزيئات الغاز، أي أن التفاعل ينزاح نحو اليسار أي باتجاه المتفاعلات.

Decrease in pressure favors more gas molecules, then shifts left.

Let shift be x for reactants:

لنرمز لمقدار هذا الانزياح للمواد المتفاعلة بـ x

State	PCl_3	Cl_2	PCl_5
I	0.767	0.767	2.46
C	+ x	+ x	- x
E	$0.767+x$	$0.767+x$	$2.46-x$

$$K_p = 2.93 = \frac{(2.46 - x)}{(0.767 + x)(0.767 + x)}$$

$$x = 0.102$$

$$P_{(\text{PCl}_3)} = 0.767 + 0.102 = 0.869 \text{ atm}$$

$$P_{(\text{Cl}_2)} = 0.869 \text{ atm}$$

$$P_{(\text{PCl}_5)} = 2.46 - 0.102 = 2.36 \text{ atm}$$

The Lack of Effect of a Catalyst

عدم تأثير العامل المُحفِّز

العامل المُحفِّز هو مادة تُسرِّع التفاعل الكيميائي عن طريق خفض طاقة التنشيط، مما يعني أنه يجعل بدء التفاعل أسهل. وهو يُسرِّع التفاعل الأمامي والعكسي بنفس القدر، لذا يصل النظام إلى الاتزان بشكل أسرع. ومع ذلك، يبقى موضع الاتزان دون تغيير لأن نسبة المتفاعلات إلى النواتج عند الاتزان تبقى كما هي..

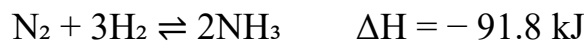
A catalyst is a substance that speeds up a chemical reaction by lowering the activation energy, meaning it makes the reaction easier to start. It accelerates both the forward and reverse reactions equally, so the system reaches equilibrium faster. However, the equilibrium position remains unchanged because the ratio of reactants to products at equilibrium stays the same.

اختيار الظروف المثلى للتفاعل- عملية هابر

Choosing the Optimum Conditions for a Reaction- Haber Process

Industrial Production of Ammonia

الإنتاج الصناعي للأمونيا



تفضل عملية هابر درجات الحرارة المنخفضة والضغط العالية لتكوين الأمونيا، ولكن درجات الحرارة المنخفضة تبطئ سرعة التفاعل. لذلك، يتم اختيار درجة حرارة مثلى تبلغ حوالي 450°C وضغط مرتفع يقارب 200 atm لتحقيق توازن جيد بين المردود وسرعة التفاعل.

The Haber process favors low temperatures and high pressures for ammonia formation, but low temperatures slow the reaction. Therefore, an optimum temperature of about 450°C and a high pressure of about 200 atm are used to achieve a good balance between yield and reaction rate.

Problems مسائل

(8-1)

Choose the correct answer

اختر الإجابة الصحيحة

1. كيف تتغير سرعات التفاعل لتفاعل الاتزان الطارد للحرارة $A + B \rightleftharpoons C + D$ إذا حصل اضطراب للتفاعل بالتسخين.

1. How the reaction rates change if the equilibrium of $A + B \rightleftharpoons C + D$ exothermic reaction are disturbed by heating?

(a) تزداد سرعة التفاعل للتفاعل $A + B \rightarrow C + D$ وتقل سرعة التفاعل للتفاعل $C + D \rightarrow A + B$
a) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases and the rate of $C + D \rightarrow A + B$ reaction decreases.

(b) تزداد سرعة كلا التفاعلين $A + B \rightarrow C + D$ و $C + D \rightarrow A + B$ بشكل متساو.
b) The reaction rates for both $A + B \rightarrow C + D$ reaction and $C + D \rightarrow A + B$ reaction increases equally.

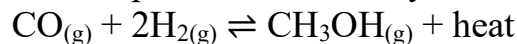
(c) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أكبر من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$
c) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases more than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

(d) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أقل من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$
d) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases less than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

(e) تتناقص سرعة التفاعل للتفاعل $A + B \rightarrow C + D$ وتزداد سرعة التفاعل للتفاعل $C + D \rightarrow A + B$
e) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction decreases and the rate of $C + D \rightarrow A + B$ reaction increases.

2. من المعروف أن أول أكسيد الكربون يتفاعل بشكل طارد للحرارة مع غاز الهيدروجين لتكوين الميثانول عند 400°C ، في وجود محفز.

2. It is known that carbon monoxide reacts exothermically with hydrogen gas to form methanol at 400°C , in the presence of a catalyst.



يتم وضع خليط من أول أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين والميثانول في وعاء مغلق في الظروف الموصوفة أعلاه للوصول إلى الاتزان. إذا تم تغيير درجة حرارة التفاعل إلى 450°C ، فأَي من العبارات التالية صحيحة؟

A mixture of carbon monoxide, hydrogen gas and methanol placed under conditions described above achieves equilibrium in a closed container. If the reaction temperature is changed to 450°C , which of the following statements is correct?

(a) ينقص العدد الإجمالي للجزيئات في الوعاء.
a) The total number of molecules in the container decreases.

(b) تبقى سرعات التفاعل لكلا التفاعلات الأمامية والعكسية ثابتة.
b) The reaction rates of both the forward and reverse reactions remain constant.

(c) يقل متوسط الكتلة الجزيئية للمزيج الغازي
c) The average molecular mass of the gaseous mixture decreases.

(d) تقل سرعة تكوين الهيدروجين بينما تزداد سرعة تحلل الميثانول.
d) تقل سرعة تكوين الهيدروجين بينما تزداد سرعة تحلل الميثانول.

d) Rate of formation of hydrogen decreases while the rate of decomposition of methanol increases.

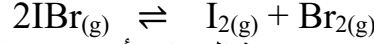
(e) ينخفض الضغط الكلي داخل الوعاء.

e) Total pressure inside the container decreases.

(8-2)

(a) عند درجة حرارة معينة، تكون قيمة K_c ، 4.13×10^{-2} ، للاتزان:

a) At a certain temperature. K_c , is 4.13×10^{-2} for the K_c , for the equilibrium:



افتراض أنه قد تم الوصول الى الاتزان عند درجة الحرارة أعلاه عن طريق إضافة $\text{IBr}_{(g)}$ فقط إلى دورق التفاعل. ما تراكيز $\text{I}_{2(g)}$ و $\text{Br}_{2(g)}$ عند الاتزان إذا كان تركيز $\text{IBr}_{(g)}$ 0.0124 moles/liter ؟

Assume that equilibrium is reached at the above temperature by adding only $\text{IBr}_{(g)}$ to the reaction flask. What are the concentrations of $\text{I}_{2(g)}$ and $\text{Br}_{2(g)}$ in equilibrium with 0.0124 moles/liter of $\text{IBr}_{(g)}$?

(b) ما التركيز الابتدائي لـ $\text{IBr}_{(g)}$ قبل الوصول للاتزان؟

b) What was the initial concentration of IBr before the equilibrium was reached?

(8-3)

يتم وضع 0.924 mole من $\text{A}_{(g)}$ في وعاء حجمه 1.00 L عند 700°C ، حيث يتفكك 38.8% حتى الوصول للاتزان.

0.924 mole of $\text{A}_{(g)}$ is placed in 1.00 L container at 700°C , where it is 38.8% dissociated when equilibrium was reached.



ما قيمة ثابت الاتزان K_c عند نفس درجة الحرارة؟

What is the value of the equilibrium constant, K_c , at the same temperature?

(8-4)

تفاعل أيون الكبريتيد S^{2-} في محلول قلوي مع الكبريت الصلب لتكوين أيونات متعددة الكبريتيد ذات الصيغ S_2^{2-} , S_3^{2-} , S_4^{2-} وهكذا. ثابت الاتزان لتكوّن S_2^{2-} هو 12، وثابت الاتزان لتكوّن S_3^{2-} هو 130، وكلاهما يتكون من S^{2-} و S . ما قيمة ثابت الاتزان لتكوّن S_3^{2-} من S_2^{2-} و S ؟

Sulfide ion S^{2-} in alkaline solution reacts with solid sulfur to form polysulfide ions having the formulas S_2^{2-} , S_3^{2-} , S_4^{2-} , and so on. The equilibrium constant for the formation of S_2^{2-} is 12, for S_3^{2-} is 130, and both are formed from S and S^{2-} . What is the equilibrium constant for the formation of S_3^{2-} from S_2^{2-} and S ?

PROBLEMS ANSWER إجابات المسائل

(8-1)	1	2																
	d	c																
(8-2)	$2\text{IBr}_{(g)} \rightleftharpoons \text{I}_{2(g)} + \text{Br}_{2(g)}$ <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>I</td> <td>Y</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>-2x</td> <td>+x</td> <td>+x</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.0124</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </table> <p>a) $Y - 2x = 0.0124 \text{ M}$ $K = [\text{Br}_2] [\text{I}_2] / [\text{IBr}]^2 = x^2 / (0.0124)^2 = 4.13 \times 10^{-2}$ $x = 2.52 \times 10^{-3} \text{ M}$ $[\text{Br}_2] = [\text{I}_2] = 2.52 \times 10^{-3} \text{ M}$ b) $Y - 2x = 0.0124$ $Y = 0.0124 + 2(2.52 \times 10^{-3}) = 0.0174 \text{ M}$</p>		I	Y	0	0	C	-2x	+x	+x	E	0.0124	x	x				
I	Y	0	0															
C	-2x	+x	+x															
E	0.0124	x	x															
(8-3)	$3\text{A}_{(g)} \rightleftharpoons 5\text{B}_{(g)} + 2\text{C}_{(g)}$ <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>I</td> <td>0.924</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>-3x</td> <td>+5x</td> <td>+2x</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-0.329</td> <td>5x 0.1195</td> <td>2x 0.1195</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0.924-3x = 0.5655</td> <td>5x = 0.5975</td> <td>2x = 0.239</td> </tr> </table> <p>$3x = 0.924 \times 38.8\% = 0.3585 \rightarrow x = 0.1195$ $K_c = \frac{[\text{B}]^5 [\text{C}]^2}{[\text{A}]^3}, K_c = \frac{(0.5975)^5 (0.239)^2}{(0.5655)^3} = 0.0241$</p>		I	0.924	0	0	C	-3x	+5x	+2x		-0.329	5x 0.1195	2x 0.1195	E	0.924-3x = 0.5655	5x = 0.5975	2x = 0.239
I	0.924	0	0															
C	-3x	+5x	+2x															
	-0.329	5x 0.1195	2x 0.1195															
E	0.924-3x = 0.5655	5x = 0.5975	2x = 0.239															
(8-4)	<p>(1) $\text{S}^{2-} + \text{S}_{(s)} \rightleftharpoons \text{S}_2^{2-} \quad K_1 = 12$ (2) $\text{S}^{2-} + 2\text{S}_{(s)} \rightleftharpoons \text{S}_3^{2-} \quad K_2 = 130$ (3) $\text{S}_2^{2-} + \text{S}_{(s)} \rightleftharpoons \text{S}_3^{2-} \quad (K_{(3)} = ?)$</p> $K_{(3)} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{130}{12} = 10.83$																	

EXCERCISES ANSWER إجابات التدريبات

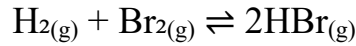
تدريب (8-1)

$$a) Q_c = \frac{[NO_2]^4 [O_2]}{[N_2O_5]^2} \quad b) Q_c = \frac{[CO_2]^3 [H_2O]^4}{[C_3H_8] [O_2]^5}$$

تدريب (8-2)

Add (1)–(3)

بجمع المعادلات (3-1)



Write each Q_c :

اكتب Q_c لكل تفاعل:

$$Q_{c1} = \frac{[Br]^2}{[Br_2]}, \quad Q_{c2} = \frac{[HBr][H]}{[Br][H_2]}, \quad Q_{c3} = \frac{[HBr]}{[H][Br]}$$

$$Q_{c1} Q_{c2} Q_{c3} = \left(\frac{[Br]^2}{[Br_2]} \right) \left(\frac{[HBr][H]}{[Br][H_2]} \right) \left(\frac{[HBr]}{[H][Br]} \right) = \frac{[HBr]^2}{[Br_2][H_2]}$$

From the overall reaction: $H_{2(g)} + Br_{2(g)} \rightleftharpoons 2HBr_{(g)}$ من التفاعل الكلي

$$Q_{c,overall} = \frac{[HBr]^2}{[H_2][Br_2]}$$

$$Q_{c,overall} = Q_{c1} \times Q_{c2} \times Q_{c3}$$

تدريب (8-3)

$$\Delta n_{(gas)} = 1 - 2 = -1$$

$$K_p = K_c (RT)^{(\Delta n_{gas})} = \frac{K_c}{RT}$$

$$R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{and} \quad T = 500 \text{ K}$$

$$RT = (0.08206)(500) = 41.03$$

$$K_p = \frac{1.67}{41.03} \approx 0.0407$$

تدريب (8-4)

(X = orange برتقالي, Y = أخضر ; $K_c = 1.4$, $Q_c = \frac{[Y]}{[X]}$):

المزيج Mixture	عدد Number of (X)	عدد number of (Y)	Q_c	بالمقارنة مع Compare to K_c	الاتجاه للوصول الى الاتزان Direction to reach equilibrium
1	9	3	3/9=0.33	$Q < K$	Right اليمين (form more Y مكونا بشكل اكبر)
2	5	7	7/5=1.4	$Q = K$	لا يحدث تغيير (at equilibrium عند الاتزان)
3	4	8	8/4=2.0	$Q > K$	Left اليسار (form more X مكونا بشكل اكبر)

تدريب (8-5)

$$Q_p = \frac{P_{CH_3Cl} P_{HCl}}{P_{CH_4} P_{Cl_2}} = \frac{(0.24)(0.47)}{(0.13)(0.035)} \approx 24.8$$

$$K_p = 1.6 \times 10^4 = 16000 \quad (Q_p = 24.8) \ll K_p$$

يحتوي الخليط على كمية كبيرة من المتفاعلات مقارنة بالنواتج، لذا سيتجه التفاعل نحو اليمين (باتجاه تكوين النواتج). يتكوّن CH_3Cl (مع HCl) بينما سيتم استهلاك CH_4 و Cl_2 .

The mixture has too much reactant relative to product, so the reaction will proceed to the right (toward products), CH_3Cl is forming (along with HCl); CH_4 and Cl_2 will be consumed.

تدريب (8-6)

State	NO	O ₂	NO ₂
I	1.000	1.000	0.000
C	-2x	-x	+2x
E	1.000 - 2x	1.000 - x	2x

$$P_{(\text{O}_2, \text{eq})} = 1.000 - x = 0.506$$

$$x = 0.494$$

$$P_{(\text{NO}, \text{eq})} = 1.000 - 2(0.494) = 0.012 \text{ atm}$$

$$P_{(\text{NO}_2, \text{eq})} = 2(0.494) = 0.988 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{(P_{\text{NO}_2})^2}{(P_{\text{NO}})^2 (P_{\text{O}_2})} = \frac{(0.988)^2}{(0.012)^2 (0.506)} \approx 1.34 \times 10^4$$

تدريب (8-7)

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n(\text{gas})}$$

$$\Delta n(\text{gas}) = (1 + 1) - 2 = 0$$

$$K_p = K_c = 2.3 \times 10^{30}$$

$$K_p = \frac{P_{\text{N}_2} P_{\text{O}_2}}{(P_{\text{NO}})^2} \Rightarrow P_{\text{NO}} = \sqrt{\frac{P_{\text{N}_2} P_{\text{O}_2}}{K_p}}$$

$$P_{\text{NO}} = \sqrt{\frac{(0.781)(0.209)}{2.3 \times 10^{30}}} \approx 2.7 \times 10^{-16}$$

تدريب (8-8)

$$[\text{HI}]_0 = \frac{2.50 \text{ mol}}{10.32 \text{ L}} = 0.242 \text{ M}$$

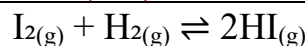
State	HI	H ₂	I ₂
I	0.242	0	0
C	-2x	+x	+x
E	0.242 - 2x	x	x

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{x^2}{(0.242 - 2x)^2} = 1.26 \times 10^{-3}$$

$$x \approx 8.03 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{H}_2]_{(\text{eq})} = 8.03 \times 10^{-3} \text{ M}$$

تدريب (8-9)



a) Total Initial Pressure

الضغط الكلي الابتدائي

$$P = \frac{nRT}{V}$$

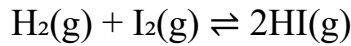
$$n_{(\text{total, initial})} = 0.5 + 0.5 = 1.0 \text{ mol}$$

$$P_{(\text{H}_2)} = P_{(\text{I}_2)} = \frac{0.5 \times 0.0821 \times 721}{10} = 2.959 \text{ atm}$$

$$P_t = P_{(\text{H}_2)} + P_{(\text{I}_2)} = 2.959 + 2.959 = 5.92 \text{ atm}$$

Pressure at Equilibrium

الضغط عند الاتزان



State	H ₂ (atm)	I ₂ (atm)	HI (atm)
Initial (I)	2.959	2.959	0
Change (C)	-x	-x	+2x
Equilibrium (E)	2.959 - x	2.959 - x	2x

$$K_p = \frac{(P_{\text{HI}})^2}{(P_{\text{H}_2})(P_{\text{I}_2})} = \frac{(2x)^2}{(2.959 - x)(2.959 - x)}$$

$$x = 2.307 \text{ atm}$$

Equilibrium Partial Pressures

الضغوط الجزئية عند الاتزان

$$P_{(\text{H}_2)} = 2.959 - 2.307 = 0.652 \text{ atm}$$

$$P_{(\text{I}_2)} = 0.652 \text{ atm}$$

$$P_{(\text{HI})} = 2(2.307) = 4.614 \text{ atm}$$

Total Pressure at Equilibrium

الضغط الكلي عند الاتزان

$$P_{(\text{total, eq})} = 0.652 + 0.652 + 4.614 = 5.92 \text{ atm}$$

لاحظ أن الضغط الكلي لم يتغير لأن $\Delta n_{(\text{gas})} = 0$ ($1 + 1 \rightleftharpoons 2$)

Note: total pressure unchanged because $\Delta n_{(\text{gas})} = 0$ ($1 + 1 \rightleftharpoons 2$).

c) Moles at Equilibrium

عدد المولات عند الاتزان

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$\frac{V}{RT} = \frac{10}{0.0821 \times 721} = \frac{10}{59.241} = 0.1688$$

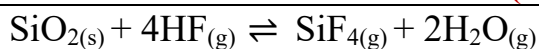
$$n_{(\text{H}_2)} = 0.652 \times 0.1688 = 0.110 \text{ mol}$$

$$n_{(\text{I}_2)} = 0.652 \times 0.1688 = 0.110 \text{ mol}$$

$$n_{(\text{HI})} = 4.614 \times 0.1688 = 0.779 \text{ mol}$$

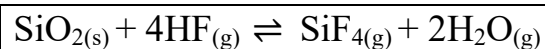
Unreacted I₂ at equilibrium عدد مولات اليود غير المتفاعلة عند الاتزان = 0.110 mol

تدريب (8-10)



$$K_c = \frac{[\text{SiF}_4][\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{HF}]^4}$$

(Note: the solid SiO_{2(s)} does not appear in Q or K).



$$K_c = \frac{[\text{SiF}_4][\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{HF}]^4}$$

(لاحظ أن SiO_{2(s)} لا يظهر في Q أو K).

<p>a) Decreasing $H_2O_{(g)}$: shifts right \rightarrow $[SiF_4]$ increases. b) Adding $H_2O_{(l)}$: does not affect equilibrium — only gaseous H_2O counts in K_c. c) Decreasing HF: system shifts left to replace removed reactant \rightarrow $[SiF_4]$ decreases. d) Decreasing $SiO_{2(s)}$: no effect (pure solid; not in Q) \rightarrow $[SiF_4]$ unchanged.</p>	<p>(a) إنقاص $H_2O_{(g)}$: يتجه الاتزان نحو اليمين \leftarrow يزداد $[SiF_4]$. (b) إضافة $H_2O_{(l)}$: لا يؤثر على الاتزان — فقط بخار الماء $H_2O_{(g)}$ يؤثر على K_c. (c) انقاص HF: يتجه النظام نحو اليسار لتعويض المتفاعل المستهلك \leftarrow ينقص $[SiF_4]$ (d) إنقاص $SiO_{2(s)}$: لا يحدث أي تأثير (مادة صلبة نقية لا تدخل في Q \leftarrow تبقى $[SiF_4]$ دون تغيير.</p>
<p>تدريب (8-11)</p>	
<p>a) $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$ 3 mol \rightleftharpoons 2 mol Left = 3 mol gas, Right = 2 mol gas \rightarrow to shift left: decrease pressure (increase volume). b) $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$ 9 mol \rightleftharpoons 10 mol Left = 9 mol gas, Right = 10 mol gas \rightarrow to shift left: increase pressure (decrease volume). c) $CaC_2O_{4(s)} \rightleftharpoons CaCO_{3(s)} + CO_{(g)}$ 0 mol \rightleftharpoons 1 mol Left = 0 mol gas, Right = 1 mol gas \rightarrow to shift left: increase pressure (decrease volume).</p>	<p>سيتمجه الاتزان نحو اليسار، انخفاض الضغط (أو ازدياد الحجم) سيتمجه الاتزان نحو اليسار ازدياد الضغط (أو نقصان الحجم) سيتمجه الاتزان نحو اليسار ازدياد الضغط (أو نقصان الحجم)</p>
<p>تدريب (8-12)</p>	
<p>القاعدة: انخفاض درجة الحرارة ($\downarrow T$) يُفضّل الاتجاه الطارد للحرارة (الذي يُطلق حرارة). لذلك عندما $\Delta H^\circ < 0$ تزداد K وعندما $\Delta H^\circ > 0$ تقل K. Rule: $\downarrow T$ favors the exothermic direction. Thus, for $\Delta H^\circ < 0 \rightarrow K$ increases; for $\Delta H^\circ > 0 \rightarrow K$ decreases. a) $C_{(s)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)}$, $\Delta H^\circ = -75$ kJ (exothermic طارد للحرارة) سيتمجه التفاعل نحو اليمين، ويزداد الضغط الجزئي لـ CH_4، كما تزداد قيمة K. \rightarrow Shift right. Partial pressure of CH_4 increases; K increases. b) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$, $\Delta H^\circ = +181$ kJ (endothermic ماص للحرارة) سيتمجه التفاعل نحو اليسار، وينخفض الضغط الجزئي لـ NO، كما تنخفض قيمة K. \rightarrow Shift left. Partial pressure of NO decreases; K decreases. c) $P_{4(s)} + 10Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 4PCl_{5(g)}$, $\Delta H^\circ = -1528$ kJ (exothermic طارد للحرارة) سيتمجه التفاعل نحو اليمين، ويزداد الضغط الجزئي لـ PCl_5، كما تزداد قيمة K. \rightarrow Shift right. Partial pressure of PCl_5 increases; K increases.</p>	

Acid and Base Concepts

مفاهيم الحموض والقواعد

تم التعرف على الحموض والقواعد أولاً من خلال خصائص بسيطة مثل الطعم وتغيير اللون. تتميز الحموض بطعمها اللاذع وتحول ورق تباغ الشمس الأزرق إلى الأحمر، بينما تتميز القواعد بطعمها المر وتحول ورق تباغ الشمس الأحمر إلى الأزرق. كما تؤثر أيضاً على الكواشف مثل الفينولفثالين، حيث تحول الحموض لونه إلى عديم اللون، بينما تحوله القواعد إلى اللون الوردي. تتعادل الحموض والقواعد مع بعضها لتكوين الأملاح، وتتفاعل الحموض مع الفلزات النشطة مثل المغنيسيوم والزنك مُطلقة غاز الهيدروجين.

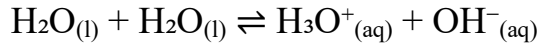
Acids and bases were first identified by simple properties such as taste and color change. Acids taste sour and turn blue litmus red, while bases taste bitter and turn red litmus blue. They also affect indicators like phenolphthalein, with acids turning it colorless and bases turning it pink. Acids and bases neutralize each other to form salts, and acids react with active metals such as magnesium and zinc to release hydrogen gas.

Arrhenius Concept of Acids and Bases

مفهوم أرهينيوس للحموض والقواعد

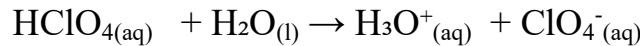
في المحلول المائي، يمنح الحمض أيون الهيدروجين H^+ الذي يوجد على شكل أيون الهيدرونيوم H_3O^+ (aq)، بينما يؤدي وجود القاعدة إلى زيادة تركيز أيون الهيدروكسيد OH^- (aq). كما يقوم الماء نفسه بتكوين هذه الأيونات.

In aqueous solution, an acid donates H^+ , which exists as H_3O^+ (aq), while a base increases OH^- (aq). Also, Water forms these ions.

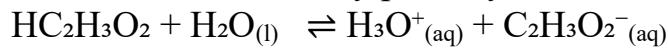


تتأين الحموض القوية مثل $HClO_4$ والقواعد القوية مثل $NaOH$ تأيناً كلياً في الماء، مُنتجة H_3O^+ و OH^- كما هو موضح في التفاعلات:

Strong acids like $HClO_4$ and strong bases like $NaOH$ completely ionize in water, producing H_3O^+ and OH^- , as shown in reactions such as:

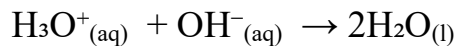


أما الحموض الضعيفة مثل حمض الخليك $HC_2H_3O_2$ ، فإنها تتأين جزئياً فقط في تفاعل عكسي: Weak acids, such as $HC_2H_3O_2$, ionize only partially in a reversible reaction:



تتبع جميع تفاعلات التعادل بين حمض قوي وقاعدة قوية المعادلة الأيونية النهائية:

All strong acid–strong base neutralizations follow the net ionic equation.



وتطلق حرارة مقدارها -55.90 kJ لكل مول من أيونات H^+ releasing heat -55.90 kJ per mole of H^+ .

ولكن مفهوم أرهينيوس محدود لأنه ينطبق فقط على المحاليل المائية ويعتبر أيون الهيدروكسيد OH^- هو النوع الوحيد الذي يُظهر الخواص القاعدية.

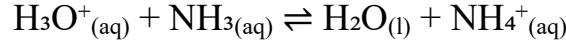
However, the Arrhenius concept is limited because it applies only to aqueous solutions and treats OH^- as the only base species.

مفهوم برونستد-لاوري للحموض والقواعد

Brønsted–Lowry Concept of Acids and Bases

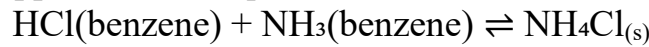
يُعرّف مفهوم برونستد ولاوري الذي اقترحه عام 1923، الحمض بأنه مانح للبروتون (H^+)، والقاعدة بأنها مستقبلية للبروتون. على سبيل المثال، في التفاعل:

The Brønsted–Lowry concept, proposed in 1923 by Brønsted and Lowry, defines an acid as a proton (H^+) donor and a base as a proton acceptor. For example, in the reaction:



ينتقل بروتون من أيون H_3O^+ إلى NH_3 ، مما يجعل H_3O^+ هو الحمض و NH_3 هو القاعدة. ينطبق هذا المفهوم أيضاً في الأوساط غير المائية، مثل التفاعل في البنزين:

a proton is transferred from H_3O^+ to NH_3 , making H_3O^+ the acid and NH_3 the base. This concept also applies in non-aqueous media, such as the reaction in benzene:

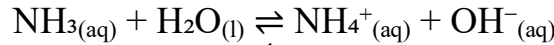


حيث يمنح HCl بروتوناً لـ NH_3 .

where HCl donates a proton to NH_3 .

في التفاعلات العكسية، يحدث انتقال البروتون في كلا الاتجاهين، كما يظهر في التفاعل:

In reversible reactions, proton transfer occurs in both directions, as seen in,



حيث يكون NH_3 قاعدة والماء حمضاً في الاتجاه الأمامي، بينما يكون NH_4^+ هو الحمض و OH^- هو القاعدة في الاتجاه العكسي.

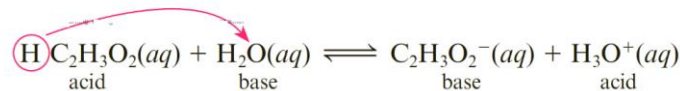
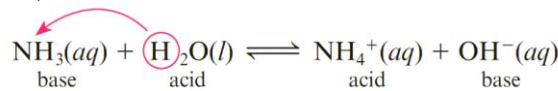
where NH_3 is a base and H_2O is an acid in the forward direction, while NH_4^+ is the acid and OH^- is the base in the reverse direction.

يشكّل كل من NH_3 و NH_4^+ زوج حمض-قاعدة مقترن لأنهما يختلفان ببروتون واحد، حيث أنّ NH_4^+ هو الحمض المقترن لـ NH_3 و NH_3 هي القاعدة المقترنة لـ NH_4^+ .

NH_4^+ and NH_3 form a conjugate acid–base pair because they differ by a proton, with NH_4^+ as the conjugate acid of NH_3 and NH_3 as the conjugate base of NH_4^+ .

بعض المواد يمكنها القيام بالدورين، وتسمى متذبذبة البروتون (amphiprotic) لأنها يمكن أن تفقد أو تكتسب بروتوناً حسب التفاعل. على سبيل المثال، يعمل HCO_3^- كحمض مع OH^- لكنه يعمل كقاعدة في وجود HF . كما يُعد الماء مادة متذبذبة البروتون أيضاً، حيث تعمل كحمض مع NH_3 في التفاعل، وتعمل كقاعدة مع $HC_2H_3O_2$.

Some substances can do both, and these are called amphiprotic because they can lose or gain a proton depending on the reaction. For example, HCO_3^- acts as an acid with OH^- but as a base with HF . Water is also amphiprotic, acting as an acid with NH_3 in the reaction, and as a base with $HC_2H_3O_2$.



يُعد مفهوم برونستد-لاوري أوسع من مفهوم أرهينيوس لأنّ القواعد لا تقتصر على أيون الهيدروكسيد OH^- فقط، ويمكن أن تكون الحموض والقواعد أيونات أو جزيئات، والتفاعلات الحمضية-القاعدية ليست مقيدة بالمحاليل المائية، وبعض الأنواع يمكن أن تعمل كحمض أو كقاعدة. أما مصطلح متذبذب

(amphoteric) فهو أعمّ ويشير إلى أي نوع يمكنه أن يعمل كحمض أو كقاعدة، مثل أكسيد الألومنيوم، الذي لا يُعدّ متذبذب البروتون لأنه لا يحتوي على بروتونات.

The Brønsted–Lowry concept is broader than the Arrhenius concept because bases are not limited to OH^- , acids and bases can be ions or molecules, reactions are not restricted to aqueous solutions, and some species can act as either acids or bases. The term amphoteric is more general and refers to any species that can act as an acid or base, such as aluminum oxide, which is not amphiprotic because it has no protons.

يبين الجدول 9.1 الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة.

Table 9.1 lists the conjugate acids and bases of several common species.

النوع Species	القاعدة المقترنة Conjugate base	النوع Species	الحمض المقترن Conjugate acid
CH_3COOH	CH_3COO^-	NH_3	NH_4^+
H_2O	OH^-	H_2O	H_3O^+
NH_3	NH_2^-	OH^-	H_2O
H_2SO_4	HSO_4^-	H_2NCONH_2	$\text{H}_2\text{NCONH}_3^+$

الجدول 9.1: الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة

Table 9.1: Conjugate Acids and Base of Some Common Species

Example 1:

مثال 1:

1. اكتب صيغ القواعد المقترنة للحموض التالية:

1. Write the formulas for the conjugate bases of the following acids:

a) HCN , b) HCO_3^- , c) N_2H_5^+ , d) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, e) HNO_3

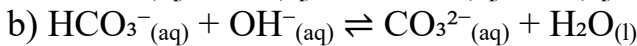
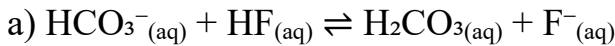
2. اكتب صيغ الحموض المقترنة للقواعد التالية:

2. Write the formulas for the conjugate acids of the following bases:

a) $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$, b) HCO_3^- , c) $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$, d) N_2H_5^+ , e) OH^-

3. في المعادلات التالية، عيّن أي نوع يُمثّل حمضاً و أي نوع يُمثّل قاعدة. ثم أظهر أزواج الحمض–القاعدة المقترنة.

3. In the following equations, label each species as an acid or a base. Show the conjugate acid–base pairs.



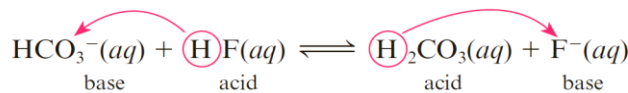
Answers

الإجابات

1. a) $\text{HCN} \rightarrow \text{CN}^-$, b) $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$, c) $\text{N}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4$, d) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$, e) $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_3^-$

2. a) $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- \rightarrow \text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$, b) $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$, c) $\text{C}_5\text{H}_5\text{N} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+$, d) $\text{N}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{N}_2\text{H}_6^{2+}$, e) $\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

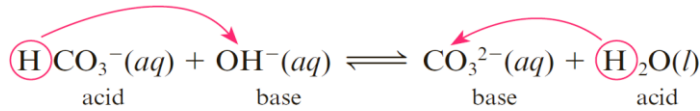
3.



a)

HCO_3^- هو القاعدة، و HF هو الحمض ← H_2CO_3 (الحمض المقترن لـ HCO_3^-) و F^- (القاعدة المقترنة لـ HF). الأزواج المقترنة: $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ و HF/F^- .

HCO_3^- is the base, HF is the acid → H_2CO_3 (conjugate acid of HCO_3^-) and F^- (conjugate base of HF). Pairs: $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ and HF/F^- .



b)

HCO_3^- هو الحمض، و OH^- هو القاعدة ← CO_3^{2-} (القاعدة المقترنة لـ HCO_3^-) و H_2O (الحمض المقترن لـ OH^-). الأزواج المقترنة: $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ و $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$.

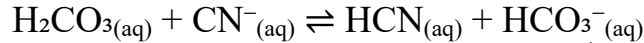
HCO_3^- is the acid, OH^- is the base → CO_3^{2-} (conjugate base of HCO_3^-) and H_2O (conjugate acid of OH^-). Pairs: $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ and $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$.

Exercise 9-1:

تدريب 9-1:

For reaction:

للتفاعل:



قم بتصنيف كل نوع كحمض أو كقاعدة. ما هو الحمض المقترن للقاعدة الموجودة على اليسار؟

label each species as an acid or a base. For the base on the left, what is the conjugate acid?

.....

.....

.....

.....

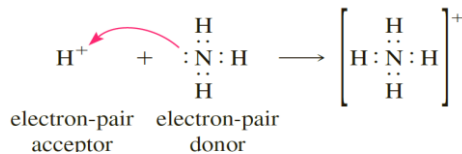
.....

Lewis Concept of Acids and Bases

مفهوم لويس للحموض والقواعد

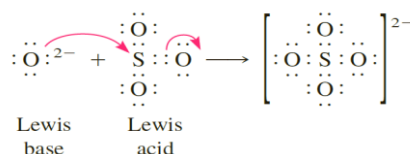
وفقاً للويس G. N. Lewis، يُعرّف الحمض بأنه النوع الذي يستقبل زوجاً من الإلكترونات لتكوين رابطة تساهمية، بينما تُعرّف القاعدة حسب لويس بأنها النوع الذي يمنح زوجاً من الإلكترونات لتكوين هذه الرابطة. يُعطي هذا المنظور تفسيراً آخر للتفاعلات التي يشرحها أيضاً مفهوم برونستد-لاوري، مثل تفاعل NH_3 مع HCl في المحلول المائي، حيث يستقبل البروتون من أيون الهيدرونيوم H_3O^+ زوجاً من الإلكترونات من NH_3 لتكوين رابطة H-N ، مما يجعل البروتون حمض لويس و NH_3 قاعدة لويس.

According to G. N. Lewis, a Lewis acid is a species that accepts an electron pair to form a covalent bond, while a Lewis base donates an electron pair to form such a bond. This provides another perspective on reactions also explained by Brønsted–Lowry theory, such as the reaction of NH_3 with HCl in aqueous solution, where a proton from H_3O^+ accepts an electron pair from NH_3 to form an H-N bond, making the proton a Lewis acid and NH_3 a Lewis base.



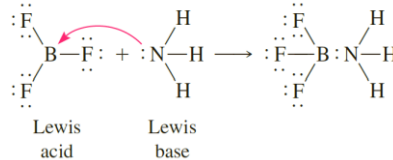
في التفاعل بين Na_2O و SO_3 ، يمنح أيون الأكسيد O^{2-} زوجاً إلكترونياً ويعمل كقاعدة لويس، بينما يستقبل SO_3 زوج الإلكترونات ويعمل كحمض لويس.

In the reaction between Na_2O and SO_3 , the oxide ion O^{2-} donates an electron pair, acting as a Lewis base, while SO_3 accepts the electron pair and acts as a Lewis acid.



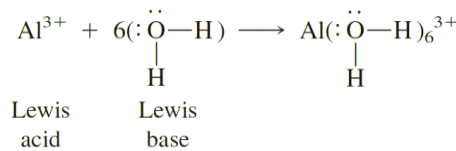
ويُعدّ تفاعل ثلاثي فلوريد البورون (BF_3) مع الأمونيا مثالاً آخرًا، حيث يمنح NH_3 زوج الإلكترونات الحرة إلى ذرة البورون في BF_3 ، فيكون NH_3 قاعدة لويس و BF_3 حمض لويس، ويشترك زوج الإلكترونات ليكون رابطة B-N .

The reaction of boron trifluoride (BF_3) with ammonia is another example in which NH_3 donates its lone electron pair to the boron atom of BF_3 , making NH_3 a Lewis base and BF_3 a Lewis acid, with the electron pair now shared to form a B-N bond.



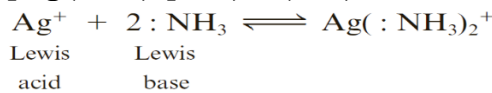
كما أن تكوين الأيونات المعقّدة مثل $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ينطوي أيضًا على سلوك حمض-قاعدة وفقًا لمفهوم لويس، حيث يعمل أيون الفلز كحمض لويس باستقباله أزواج الإلكترونات من جزيئات H_2O التي تعمل كقواعد لويس.

The formation of complex ions such as $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ also involves Lewis acid–base behavior, as the metal ion acts as a Lewis acid by accepting electron pairs from molecules like H_2O , which act as Lewis bases.



مثال 2: في التفاعلات التالية، حدّد الحمض والقاعدة وفقًا لمفهوم لويس.

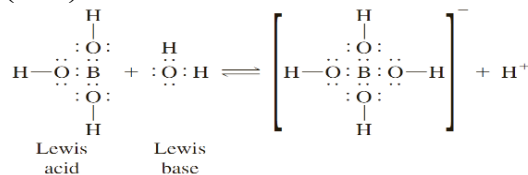
Example 2: In the following reactions, identify the Lewis acid and the Lewis base. a) $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, b) $\text{B}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{B}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+$



a)

يكتسب زوجا غير رابط Ag^+ حمض لويس Lewis acid
 NH_3 (donates its N lone pair to Ag^+) قاعدة لويس Lewis base
 (يمنح الزوج غير الرابط عند N إلى Ag^+)

b) $\text{B}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{B}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+$



Lewis acid حمض لويس $\text{B}(\text{OH})_3$ (boron is electron-deficient; accepts a lone pair).
 (البورون فقير بالإلكترونات؛ يستقبل زوجًا غير رابط)

Lewis base قاعدة لويس H_2O (donates a lone pair to boron to form $\text{B}(\text{OH})_4^-$).
 (يمنح الماء زوجا غير رابط للبورون لتكوين $\text{B}(\text{OH})_4^-$).

Exercise 9-2:

تدريب 9-2:

1. حدّد حمض لويس وقاعدة لويس في كلّ من التفاعلات التالية.

1. Identify the Lewis acid and the Lewis base in each of the following reactions.

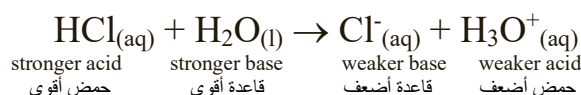
a) $\text{BF}_3 + \text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{BF}_3 \cdot \text{CH}_3\text{OH}$,

b) $\text{O}^{2-} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}$

HCl, showing that HI is stronger and demonstrating the leveling effect of water on strong acids. Table 9.2 orders acids from strongest at the top to weakest at the bottom, and reactions proceed toward the weaker acid, as seen when HCl reacts with H_3O^+ and shifts toward H_3O^+ . For bases like H_2O and Cl^- , the stronger base accepts protons more readily, so since H_2O is stronger than Cl^- , the reaction moves toward products forming H_3O^+ and Cl^- , following the direction of the weaker base.

توجد علاقة بين قوة الحمض وقوة قاعدته المقترنة، حيث إن الحموض القوية تمتلك قواعد مقترنة ضعيفة، و القواعد القوية تمتلك حموضاً مقترنة ضعيفة، لذا، تزداد قوة القواعد المقترنة للحموض في الجدول 9.2 من الأعلى إلى الأسفل. لذلك، اتجاه تفاعل الحمض-القاعدة يميل دائماً إلى تكوين الحمض الأضعف والقاعدة الأضعف، كما في التفاعل المذكور، حيث يتجه التفاعل من الحمض والقاعدة الأقوى إلى نظيريهما الأضعف.

A relationship exists between acid and base strength, where strong acids have weak conjugate bases and strong bases have weak conjugate acids, so the conjugate bases of the acids in Table 9.2 increase in strength from top to bottom. Therefore, the direction of an acid–base reaction favors the formation of the weaker acid and weaker base, as in the reaction discussed, which proceeds from stronger acid and base to weaker counterparts.



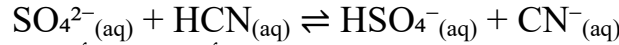
الحمض Acid	القاعدة Base	
Strongest acids الحموض الأقوى	HClO_4	ClO_4^-
	H_2SO_4	HSO_4^-
	HI	I^-
	HBr	Br^-
	HCl	Cl^-
	HNO_3	NO_3^-
	H_3O^+	H_2O
	HSO_4^-	SO_4^{2-}
	H_2SO_3	HSO_3^-
	H_3PO_4	H_2PO_4^-
	HNO_2	NO_2^-
	HF	F^-
	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$
	$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$	$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+}$
	H_2CO_3	HCO_3^-
	H_2S	HS^-
	HClO	ClO^-
	HBrO	BrO^-
	NH_4^+	NH_3
	HCN	CN^-
	HCO_3^-	CO_3^{2-}
	H_2O_2	HO_2^-
Weakest acids الحموض الأضعف	HS^-	S^{2-}
	H_2O	OH^-
		Strongest bases القواعد الأقوى

الجدول 9.2: القوى النسبية للحموض والقواعد

Table 9.2: Relative Strengths of Acids and Bases

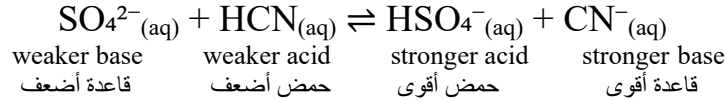
مثال 3: للتفاعل التالي، حدّد أيّ الأنواع تكون هي المُفضّلة عند اكتمال التفاعل (المتفاعلات أم النواتج).

Example 3: For the following reaction, decide which species (reactants or products) are favored at the completion of the reaction.



عند مقارنة القوة النسبية للحمضين HCN و HSO_4^{-} ، نجد أن HCN أضعف. وعند مقارنة القاعدتين SO_4^{2-} و CN^{-} ، نجد أن SO_4^{2-} أضعف. ولذلك، فإن التفاعل يسير بشكل طبيعي من اليمين إلى اليسار.

If you compare the relative strengths of the two acids HCN and HSO_4^{-} , we see that HCN is weaker. Or, comparing the bases SO_4^{2-} and CN^{-} , we see that SO_4^{2-} is weaker. Hence, the reaction would normally go from right to left.



So, the reactants are favored. وبالتالي المتفاعلات هي المُفضّلة.

تدريب 3-9: حدّد اتجاه التفاعل التالي اعتماداً على القوى النسبية للحموض والقواعد.

Exercise 9-3: Determine the direction of the following reaction from the relative strengths of acids and bases. $\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2(\text{aq}) + \text{HS}^{-}(\text{aq})$

.....

.....

.....

.....

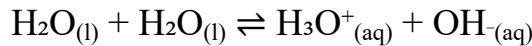
.....

Autoionization of Water

التأين الذاتي للماء

يمكن للماء أن يعمل كحمض وكقاعدة، وتتفكك نسبة صغيرة من جزيئاته طبيعياً في عملية تسمى التأين الذاتي (التأين الذاتي للماء).

Water can act as both an acid and a base, and a small fraction of its molecules ionize naturally in a process called autoionization (self-ionization).



في هذا التفاعل، يمنح جزيء ماء بروتون (يعمل كحمض)، بينما يستقبل جزيء ماء آخر البروتون (يعمل كقاعدة). وبذلك ينتج أيوني الهيدرونيوم (H_3O^{+}) والهيدروكسيد (OH^{-}) الأساسان الضروريان لجميع التفاعلات الكيميائية المائية.

In this reaction, one water molecule donates a proton (acting as an acid), while another accepts it (acting as a base). This produces two ions essential to all aqueous chemistry: the hydronium ion (H_3O^{+}) and the hydroxide ion (OH^{-}).

ثابت الاتزان لهذا التفاعل يُعرف باسم ثابت حاصل تأين الماء ويمثّل بالعلاقة:

The equilibrium constant for this reaction is known as the **ion-product constant** for water, represented as:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^{+}][\text{OH}^{-}]$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^{+}][\text{OH}^{-}] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ at } 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

وبما أن الماء النقي يُنتج أعداداً متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد،

Because pure water produces equal numbers of hydronium and hydroxide ions,

$$[\text{H}_3\text{O}^{+}] = [\text{OH}^{-}] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ at } 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

فإن هذا يفسر لماذا يظهر الماء النقي متعادلاً. إذا أُضيف حمض، يزداد تركيز $[H_3O^+]$ وينخفض تركيز $[OH^-]$ ، وإذا أُضيفت قاعدة، يزداد تركيز $[OH^-]$ وينخفض تركيز $[H_3O^+]$. لكن يبقى حاصل ضرب $[H_3O^+][OH^-]$ مساوياً لـ K_w عند درجة حرارة معينة.

This explains why pure water is neutral. If an acid is added, $[H_3O^+]$ increases and $[OH^-]$ decreases; if a base is added, $[OH^-]$ increases and $[H_3O^+]$ decreases. However, the product $[H_3O^+][OH^-]$ remains equal to K_w at a given temperature.

مثل جميع ثوابت الاتزان، يتغير K_w مع درجة الحرارة؛ فعلى سبيل المثال، يزداد إلى $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ عند $37^\circ C$ مما يشير إلى أن الماء يتأين بدرجة أكبر قليلاً عند درجات الحرارة الأعلى.

Like all equilibrium constants, K_w changes with temperature, for example, it increases to $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ at $37^\circ C$ showing that water ionizes slightly more at higher temperatures.

مثال 4: تُعدّ الأمونيا السائلة NH_3 ، مثل الماء، مذيباً متذبذب البروتون. اكتب معادلة تأينها الذاتي.

Example 4: Liquid NH_3 , like water, is an amphiprotic solvent. Write the equation for its autoionization.



محاليل الحمض القوي أو القاعدة القوية Solutions of a Strong Acid or Strong Base

عند إذابة المواد في الماء، يمكن تغيير تركيز أيونات H_3O^+ و OH^- . في محلول متعادل، تبقى تراكيز H_3O^+ و OH^- متساوية وهو الحال نفسه في الماء النقي. في محلول حمضي، يكون تركيز H_3O^+ أكبر من تركيز OH^- . أما في محلول قاعدي، فيكون تركيز OH^- أكبر من تركيز H_3O^+ .

By dissolving substances in water, you can alter the concentrations of H_3O^+ and OH^- ions. In a neutral solution, the concentrations of H_3O^+ and OH^- remain equal, as they are in pure water. In an acidic solution, the concentration of H_3O^+ is greater than that of OH^- . In a basic solution, the concentration of OH^- is greater than that of H_3O^+ .

عند $25^\circ C$ ، تُلاحظ الظروف التالية:

At $25^\circ C$, you observe the following conditions:

In an acidic solution, $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-7} M$, $[OH^-] < 1.0 \times 10^{-7} M$

In a neutral solution, $[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} M$

In a basic solution, $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7} M$, $[OH^-] > 1.0 \times 10^{-7} M$

مثال 5: احسب تراكيز أيون الهيدرونيوم وأيون الهيدروكسيد عند درجة حرارة $25^\circ C$ في كلٍ من:

Example 5: Calculate the concentrations of hydronium ion and hydroxide ion at $25^\circ C$ in:

a) 0.15 M HNO_3 , b) 0.010 M $Ca(OH)_2$

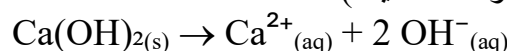
a) 0.15 M HNO_3 (حمض قوي)

$$[H_3O^+] = 0.15 M, K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.15} \approx 6.7 \times 10^{-14} M$$

b) 0.010 M $Ca(OH)_2$ (strong base; 2 OH^- per formula unit)

(قاعدة قوية؛ يوجد $2OH^-$ في وحدة الصيغة)



$$[\text{OH}^-] = 2 \times 0.010 = 0.020 \text{ M}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.020} = 5.0 \times 10^{-13} \text{ M}$$

تدريب 9-4: محلول تركيز أيون الهيدروكسيد فيه يكون $1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ عند درجة حرارة 25°C . هل المحلول حمضي أم متعادل أم قاعدي؟

Exercise 9-4: A solution has a hydroxide-ion concentration of $1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ at 25°C . Is the solution acidic, neutral, or basic?

.....

.....

.....

.....

.....

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل

The pH and pOH of Solutions

يمكن وصف درجة الحموضة كميًا من خلال تحديد تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+ ، لكن لأن هذه القيم قد تكون صغيرة جدًا، فغالبًا ما يكون من الأسهل التعبير عنها باستخدام مقياس الرقم الهيدروجيني (pH). تُعبر قيمة pH عن حمضية أو قاعدية المحلول بناءً على تركيز أيون الهيدرونيوم:

You can quantitatively describe the acidity by giving hydronium-ion concentration. But because these concentration values may be very small, it is often more convenient to give the acidity in terms of pH. The pH of a solution expresses its acidity or basicity based on the hydronium-ion concentration:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+], \text{ pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}, \text{ at } 25^\circ\text{C}$$

$$-\log K_w = (-\log [\text{H}_3\text{O}^+]) + (-\log [\text{OH}^-]) = -\log 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\text{p}K_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14.00, \text{ at } 25^\circ\text{C}$$

At 25°C , you observe the following conditions:

تلاحظ الظروف التالية عند درجة الحرارة 25°C :

- Neutral solution محلول متعادل: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M} \rightarrow \text{pH} = 7.00$
- Acidic solution محلول حامضي: $[\text{H}_3\text{O}^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ M} \rightarrow \text{pH} < 7.00$
- Basic solution محلول قاعدي: $[\text{H}_3\text{O}^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ M} \rightarrow \text{pH} > 7.00$

عدد المنازل العشرية في قيمة pH يساوي عدد الأرقام المعنوية في تركيز $[\text{H}_3\text{O}^+]$.

The number of decimal places in the pH equals the number of significant figures in the $[\text{H}_3\text{O}^+]$ concentration.

مثال 6: عينة من عصير البرتقال تحتوي على تركيز لأيون الهيدرونيوم مقداره $2.9 \times 10^{-4} \text{ M}$. ما قيمة الـ pH؟ هل المحلول حمضي؟

Example 6: A sample of orange juice has a hydronium-ion concentration of $2.9 \times 10^{-4} \text{ M}$. What is the pH? Is the solution acidic?

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (2.9 \times 10^{-4}) = 3.54$$

The pH is less than 7.00, so the solution is acidic المحلول حمضي

تدريب 9-5: محلول مشبع من هيدروكسيد الكالسيوم يحتوي على تركيز لأيون الهيدروكسيد (OH⁻) مقداره 0.025 M. ما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟

Exercise 9-5: A saturated solution of calcium hydroxide has a hydroxide concentration (OH⁻) of 0.025 M. What is the pH of the solution?

.....

.....

.....

.....

.....

Acid–Base Equilibria

اتزانات حمض– قاعدة

العديد من المواد الشائعة، مثل الأسبرين والفينوباربيتال والساكرين والنياسين، هي حموض ضعيفة. تصل تفاعلاتها مع الماء إلى حالة اتزان بدلاً من أن تكتمل تمامًا. لإيجاد تركيز أيون الهيدرونيوم في محلول حمض ضعيف مثل النياسين، يجب أخذ ثابت الاتزان في الاعتبار، لأن الحمض يتأين جزئيًا فقط. إذا كان حمضًا قويًا، فإن محلولًا تركيزه 0.10 M سيعطي 0.10 M من H₃O⁺، ولكن بالنسبة للحمض الضعيف، يكون التركيز الفعلي أصغر ويُحدَّد من خلال قيمة ثابت التأيين K_a الخاصة به.

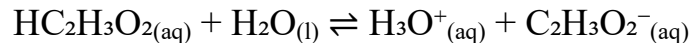
Many common substances, such as aspirin, phenobarbital, saccharin, and niacin, are weak acids. Their reactions with water reach equilibrium rather than going to completion. To find the hydronium-ion concentration in a solution of a weak acid like niacin, the equilibrium constant must be considered, since the acid only partially ionizes. If it were a strong acid, a 0.10 M solution would yield 0.10 M H₃O⁺, but for a weak acid, the actual concentration is smaller and determined by its K_a value.

Acid-Ionization Equilibrium Constant K_a

ثابت اتزان تأين الحمض K_a

يتفاعل الحمض مع الماء لتكوين أيونات الهيدرونيوم (H₃O⁺) وقاعدته المقترنة، وهي عملية تُعرف باسم **تأين الحمض**. على سبيل المثال، يتأين حمض الخليك (HC₂H₃O₂) في الماء كما يلي:

An acid reacts with water to form hydronium ions (H₃O⁺) and its conjugate base a process called **acid ionization**. For example, acetic acid (HC₂H₃O₂), ionizes in water as:



إن ذرة الهيدروجين المرتبطة بذرة الأكسجين في مجموعة -COOH هي فقط الهيدروجين الحمضي. وبما أن حمض الخليك **إلكتروليت ضعيف**، فإنه يتأين بشكل طفيف فقط (حوالي 5% أو أقل). يمكن كتابة علاقة الاتزان لحمض ضعيف كما يلي:

Only the hydrogen attached to the oxygen in the -COOH group is acidic. Because acetic acid is a **weak electrolyte**, it ionizes only slightly (about 5% or less). The equilibrium expression for a weak acid can be written as:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

where:

K_a = acid dissociation constant

[H₃O⁺] = concentration of hydronium ions

[A⁻] = concentration of the conjugate base

[HA] = concentration of the unionized acid

هنا، يعبر ثابت تأين الحمض K_a عن حالة الاتزان للتأين المحدود للحمض الضعيف في الماء. يُدرج الجدول 9.3 ثوابت تأين الحموض لعدة حموض ضعيفة. الحموض الأضعف هي التي تمتلك أصغر قيم لـ K_a.

حيث:

ثابت تفكك الحمض

تركيز أيونات الهيدرونيوم

تركيز القاعدة المقترنة

تركيز الحمض غير المتأين

Here, K_a expresses the equilibrium for the limited ionization of a weak acid in water. Table 9.3 lists acid-ionization constants for various weak acids. The weakest acids have the smallest values of K_a .

Acetic acid	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	1.7×10^{-5}
Benzoic acid	$\text{HC}_7\text{H}_5\text{O}_2$	6.3×10^{-5}
Boric acid	H_3BO_3	5.9×10^{-10}
Carbonic acid	H_2CO_3	4.3×10^{-7}
	HCO_3^-	4.8×10^{-11}
Cyanic acid	HOCN	3.5×10^{-4}
Formic acid	HCHO_2	1.7×10^{-4}
Hydrocyanic acid	HCN	4.9×10^{-10}
Hydrofluoric acid	HF	6.8×10^{-4}
Hydrogen sulfate ion	HSO_4^-	1.1×10^{-2}
Hydrogen sulfide	H_2S	8.9×10^{-8}
	HS^-	1.2×10^{-13}
Hypochlorous acid	HClO	3.5×10^{-8}
Nitrous acid	HNO_2	4.5×10^{-4}
Oxalic acid	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	5.6×10^{-2}
	HC_2O_4^-	5.1×10^{-5}
Phosphoric acid	H_3PO_4	6.9×10^{-3}
	H_2PO_4^-	6.2×10^{-8}
	HPO_4^{2-}	4.8×10^{-13}
Phosphorous acid	H_2PHO_3	1.6×10^{-2}
	H_2PHO_3^-	7×10^{-7}
Propionic acid	$\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_2$	1.3×10^{-5}
Pyruvic acid	$\text{HC}_3\text{H}_3\text{O}_3$	1.4×10^{-4}
Sulfurous acid	H_2SO_3	1.3×10^{-2}

Substance	Formula	K_b
Ammonia	NH_3	1.8×10^{-5}
Aniline	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	4.2×10^{-10}
Dimethylamine	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	5.1×10^{-4}
Ethylamine	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	4.7×10^{-4}
Hydrazine	N_2H_4	1.7×10^{-6}
Hydroxylamine	NH_2OH	1.1×10^{-8}
Methylamine	CH_3NH_2	4.4×10^{-4}
Pyridine	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	1.4×10^{-9}
Urea	NH_2CONH_2	1.5×10^{-14}

الجدول 9.3: يُدرج ثوابت التأيّن لمجموعة من الحموض والقواعد الضعيفة عند درجة حرارة 25°C
Table 9.3: lists acid-ionization constants for various weak acids

تُمثّل درجة (نسبة) التأيّن (α) الجزء من جزيئات الحمض التي تتأين في المحلول:

The **degree of ionization** (α) represents the fraction of acid molecules that ionize in solution:

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{C_0}$$

تعتمد درجة تأيّن الحمض الضعيف على كلّ من ثابت التأيّن K_a وتركيز محلول الحمض. عند تركيز معيّن، كلما كانت قيمة K_a أكبر، كانت درجة التأيّن أكبر. ومع ذلك، عند قيمة معيّنة لـ K_a ، كلما كان المحلول أكثر تخفيفاً، كانت درجة التأيّن أكبر.

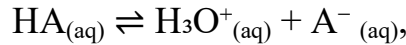
The degree of ionization of a weak acid depends on both K_a and the concentration of the acid solution. For a given concentration, the larger the K_a , the greater is the degree of ionization. For a given value of K_a , however, the more dilute the solution, the greater is the degree of ionization.

مثال 7: a) حمض النياسين هو حمض أحادي البروتون صيغته الكيميائية $\text{HC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$. محلول بتركيز 0.012 M من حمض النياسين له قيمة pH تساوي 3.39 عند 25°C . ما قيمة ثابت تأيّن K_a لهذا الحمض عند 25°C ؟ وما درجة التأيّن لحمض النياسين في هذا المحلول؟
b) احسب المولارية التي يكون عندها محلول حمض النياسين متأيّناً بنسبة 2.0% .

Example 7: a) Niacin acid is a monoprotic acid with the formula $\text{HC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$. A solution that is 0.012 M in niacin acid has a pH of 3.39 at 25°C . What is the acid-ionization constant, K_a , for this acid at 25°C ? What is the degree of ionization of niacin acid in this solution?

b) Calculate the molarity at which a niacin acid solution is 2.0% ionized.

a) $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-3.39} = 4.07 \times 10^{-4} \text{ M}$



$C_0 = 0.012 \text{ M}$

$[A^-] \approx [H_3O^+] = 4.07 \times 10^{-4} \text{ M}$

$[HA] \approx 0.012 - 4.07 \times 10^{-4} = 1.159 \times 10^{-2} \text{ M}$

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(4.07 \times 10^{-4})^2}{1.159 \times 10^{-2}} = 1.43 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \frac{[\text{ionized acid}]}{[\text{initial acid}]} = \frac{[H^+]}{C} = \frac{4.07 \times 10^{-4}}{0.012} = 0.0339$$

Degree of ionization = 3.39%

b) $\alpha = 2.0\% = 0.020$ $K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ $C = \frac{K_a(1-\alpha)}{\alpha^2}$

$$C = \frac{1.43 \times 10^{-5} \times 0.98}{0.0004} = 0.035 \text{ M}$$

تدريب 9-6: a) يتواجد حمض اللاكتيك $HC_3H_5O_3$ في الحليب الحامض، حيث يتم إنتاجه بفعل بكتيريا اللاكتوباسيلوس التي تؤثر على اللاكتوز (سكر الحليب). لمحلول تركيزه 0.025 M من حمض اللاكتيك قيمة $pH=2.75$. ما قيمة ثابت تأين الحمض K_a لهذا الحمض؟ وما درجة التأين؟
b) ما تركيز حمض اللاكتيك اللازم للحصول على $[H^+] = 3.5 \times 10^{-4} \text{ M}$ يساوي

Exercise 9-6: a) Lactic acid, $HC_3H_5O_3$, is found in sour milk, where it is produced by the action of lactobacilli on lactose, or milk sugar. A 0.025 M solution of lactic acid has a pH of 2.75 . What is the ionization constant K_a for this acid? What is the degree of ionization?

b) What concentration of lactic acid is needed to give a $[H^+]$ of $3.5 \times 10^{-4} \text{ M}$?

.....

.....

.....

.....

الحسابات باستخدام ثابت التأين (K_a) (Calculations with ionization constant (K_a))

تُتيح معرفة قيمة ثابت التأين الحمضي K_a لحمض ما (HA) (كما في جدول 9.3) إمكانية حساب التراكيز عند الاتزان لكل من HA و A^- و H_3O^+ لمحاليل بتراكيز مولارية مختلفة. غالبًا ما يُستخدم التقريب التبسيطي في حالة الحموض الضعيفة لجعل هذه الحسابات أسهل، كما هو موضح في المثال التالي.

Knowing the K_a of an acid (HA) (Table 9.3) allows you to calculate the equilibrium concentrations of HA , A^- , and H_3O^+ for solutions of various molarities. Simplifying approximation is often used for weak acids to make these calculations easier, as shown in the following example.

مثال 8: ما تراكيز حمض النياسين، وأيون الهيدروجين، وأيون النياسينات في محلول تركيزه 0.10 M من حمض النياسين $HC_6H_4NO_2$ عند $25^\circ C$ ؟ ما قيمة pH للمحلول؟ وما درجة تأين حمض النياسين؟

Example 8: What are the concentrations of niacin acid, hydrogen ion, and niacinate ion in a solution of 0.10 M niacin acid, $HC_6H_4NO_2$, at $25^\circ C$? What is the pH of the solution? What is the degree of ionization of niacin acid?

Given: $C_0 = 0.10 \text{ M}$, $K_a = 1.4 \times 10^{-5}$ for $HC_6H_4NO_2$

Use the weak-acid approximation ($x \ll C_0$):

باستخدام التقريب لحمض ضعيف

$$K_a \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_a C_0} = \sqrt{(1.4 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{1.4 \times 10^{-6}} \approx 1.18 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[H^+] \approx 1.18 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[A^-] \approx 1.18 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[HA] \approx 0.10 - 1.18 \times 10^{-3} = 9.88 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log(1.18 \times 10^{-3}) \approx 2.93$$

$$\alpha \approx \frac{x}{C_0} = \frac{1.18 \times 10^{-3}}{0.10} = 0.0118 \approx 1.18\%$$

تدريب 9-7: ما تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الخلات في محلول تركيزه 0.10 M من حمض الخليك $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ؟ ما قيمة pH للمحلول؟ وما درجة التأين؟

Exercise 9-7: What are the concentrations of hydrogen ion and acetate ion in a solution of 0.10 M acetic acid, $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$? What is the pH of the solution? What is the degree of ionization?

.....

.....

.....

.....

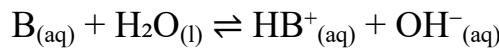
.....

Base-Ionization Equilibrium (K_b)

اتزان تأين القاعدة (K_b)

General weak base B

قاعدة ضعيفة عامة B



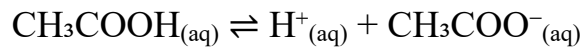
$$K_b = \frac{[HB^+][OH^-]}{[B]} \quad [OH^-] \approx \sqrt{K_b C_0} \quad \alpha \approx \sqrt{\frac{K_b}{C_0}} \times 100\%$$

العلاقة بين K_a و K_b في زوج حمض-قاعدة مقترن

The Relationship Between K_a and K_b of a Conjugate Acid-Base Pair

يمكن اشتقاق علاقة بسيطة بين ثابت تأين الحمض الضعيف K_a وثابت تأين قاعدته المقترنة K_b كما يلي، باستخدام حمض الخليك كمثال.

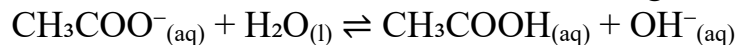
A simple relationship between the ionization constant of a weak acid K_a and the ionization constant of its conjugate base K_b can be derived as follows, using acetic acid as an example.



$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

تتفاعل القاعدة المقترنة CH_3COO^- مع الماء وفقاً للمعادلة.

The conjugate base, CH_3COO^- , reacts with water according to the equation.



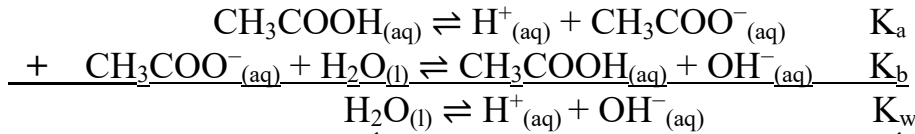
وتكتب علاقة اتزان تأين القاعدة كما يلي:

and the base ionization equilibrium relationship is written as

$$K_b = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$

كما هو الحال في أي معادلات كيميائية، يمكننا جمع هذين الاتزانين وحذف الحدود المتطابقة.

As for any chemical equations, we can add these two equilibria and cancel identical terms.



المحصلة هي تفاعل تأين الماء الذاتي. في الواقع، ينطبق هذا على أي حمض ضعيف وقاعدته المقترنة. وبالتالي، بالنسبة لأي زوج حمض-قاعدة مقترنة يكون،

The sum is the autoionization of water. In fact, this is the case for any weak acid and its conjugate base. Thus, for any conjugated acid-base pair,

$$K_a \times K_b = K_w$$

$$K_a \times K_b = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\text{p}K_a + \text{p}K_b = 14.00$$

مثال 9: المورفين $\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{NO}_3$ يُعطى طبيياً لتخفيف الألم. وهو قاعدة طبيعية. ما قيمة pH لمحلول تركيزه 0.0075 M من المورفين عند درجة حرارة 25°C ؟

Example 9: Morphine, $\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{NO}_3$, is administered medically to relieve pain. It is a natural base. What is the pH of a 0.0075 M solution of morphine at 25°C ?

$K_b = 1.6 \times 10^{-6}$ at 25°C .

$$[\text{OH}^-] \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(1.6 \times 10^{-6})(0.0075)} = \sqrt{1.2 \times 10^{-8}} \approx 1.10 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{pOH} \approx -\log(1.10 \times 10^{-4}) \approx 3.96 \Rightarrow \text{pH} \approx 14.00 - 3.96 = 10.04$$

تريب 9-8: الكينين مادة قلوية، أي أنها قاعدة طبيعية، تُستخدم لعلاج الملاريا. محلول بتركيز 0.0015M من الكينين له قيمة pH مقدارها 9.84. ما قيمة ثابت تأين القاعدة K_b ؟

Exercise 9-8: Quinine is an alkaline, used to treat malaria. A 0.0015 M solution of quinine has a pH of 9.84. What is K_b ?

.....

.....

.....

.....

.....

Salt Hydrolysis

تميؤ الأملاح

الملح هو مركب أيوني يتكوّن من تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة. عند إذابة الملح في الماء، يمكن أن يكون المحلول الناتج متعادلاً أو حمضياً أو قاعدياً، وذلك حسب سلوك الأيونات المكوّنة له. ووفقاً لنظرية برونستد-لوري (Brønsted–Lowry)، يمكن لبعض الأيونات الناتجة عن الأملاح أن تعمل كحموض أو كقواعد في المحلول المائي، وهو ما يحدد الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول.

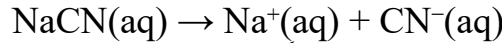
Salt is an ionic compound produced from the neutralization reaction between an acid and a base. When salt dissolves in water, the resulting solution may be neutral, acidic, or basic, depending on the behavior of its ions. According to the Brønsted–Lowry theory, certain ions from salts can act as acids or bases in aqueous solution, and this determines the overall pH of the solution.

مثال: سيانيد الصوديوم (NaCN)

محلول 0.1 M NaCN له قيمة $\text{pH} = 11.1$ ، مما يعني أنه محلول قاعدي.

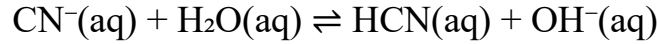
Example: Sodium cyanide (NaCN)

A 0.1 M NaCN solution has a pH of 11.1, indicating that it is basic.



لا يتفاعل أيون $\text{Na}^{\text{+}}$ مع الماء، لذلك يُعد أيونًا متعادلاً، بينما $\text{CN}^{\text{-}}$ يخضع لعملية تميؤ:

The ion $\text{Na}^{\text{+}}$ does not react with water and is considered neutral, whereas $\text{CN}^{\text{-}}$ undergoes hydrolysis:

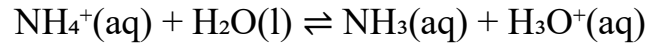


في هذا التفاعل، يعمل أيون السيانيد ($\text{CN}^{\text{-}}$) كقاعدة، إذ يقبل بروتوناً من الماء، وينتج عن ذلك أيون الهيدروكسيد ($\text{OH}^{\text{-}}$)، مما يجعل المحلول قاعدياً. تُعرف هذه الظاهرة باسم التميؤ (أو التحلل المائي)، وهي العملية التي يتفاعل فيها الأيون مع الماء لتكوين حمضه أو قاعدته المقترنة وإنتاج $\text{H}_3\text{O}^{\text{+}}$ أو $\text{OH}^{\text{-}}$.

In this reaction, $\text{CN}^{\text{-}}$ acts as a base, accepting a proton from water and producing $\text{OH}^{\text{-}}$, which makes the solution basic. This phenomenon is known as hydrolysis, in which an ion reacts with water to form its conjugate acid or base and either $\text{OH}^{\text{-}}$ or $\text{H}_3\text{O}^{\text{+}}$.

مثال: أيون الأمونيوم ($\text{NH}_4^{\text{+}}$)

Example: Ammonium ion ($\text{NH}_4^{\text{+}}$)



يعمل أيون الأمونيوم ($\text{NH}_4^{\text{+}}$) كحمض، إذ يمنح بروتون إلى الماء. وينتج عن ذلك أيون الهيدرونيوم ($\text{H}_3\text{O}^{\text{+}}$)، مما يجعل المحلول حمضياً.

The $\text{NH}_4^{\text{+}}$ ion acts as an acid, donating a proton to water. As $\text{H}_3\text{O}^{\text{+}}$ is formed, the solution becomes acidic.

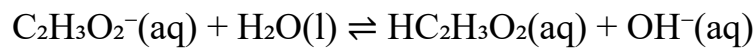
تحديد طبيعة محلول الملح (حمضي أو قاعدي أو متعادل)

Determining the Nature of a Salt Solution (Acidic, Basic, or Neutral)

1. الأيونات السالبة المشتقة من الحموض الضعيفة تتصرف كقواعد. مثال: خلات البوتاسيوم ($\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) تحتوي على أيون $\text{K}^{\text{+}}$ الناتج من القاعدة القوية KOH وهو متعادل، وعلى أيون $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^{\text{-}}$ ، وهي القاعدة المقترنة للحمض الضعيف حمض الخليك، لذلك فهي قاعدية:

1. Anions derived from weak acids act as bases.

Example: Potassium acetate ($\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) contains $\text{K}^{\text{+}}$, from the strong base KOH , which is neutral, and $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^{\text{-}}$, the conjugate base of the weak acid acetic acid, which is basic.



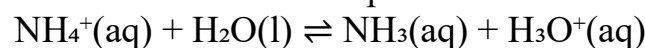
2. الأيونات السالبة الناتجة من الحموض القوية تكون متعادلة لا تخضع للتميؤ. مثال: الأيون $\text{Cl}^{\text{-}}$ الناتج من HCl لا يتفاعل مع الماء لأن الحمض المقترن له قوي جداً ويسهل عليه فقد البروتون.

2. Anions of strong acids do not undergo hydrolysis. Example: $\text{Cl}^{\text{-}}$ from HCl does not react with water because its conjugate acid is very strong and readily donates protons.



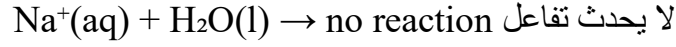
3. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد الضعيفة تتصرف كحموض. مثال: الأيون $\text{NH}_4^{\text{+}}$ الناتج من NH_3 يتصرف كحمض لأنه يمكن أن يمنح بروتون إلى الماء.

3. Cations derived from weak bases act as acids. Example: $\text{NH}_4^{\text{+}}$ from NH_3 behaves as an acid because it can donate a proton to water.



4. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد القوية متعادلة. مثال: أيون Na^+ الناتج من NaOH أو أيون Ca^{2+} الناتج من Ca(OH)_2 لا يخضعان للتميؤ ويبقيان متعادلين.

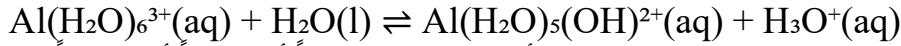
Cations derived from strong bases are neutral. Example: Na^+ from NaOH or Ca^{2+} from Ca(OH)_2 does not hydrolyze and remains neutral.



استثناء:

بعض الأيونات المعدنية الموجبة تكون حمضية. فالكثير من الأيونات المعدنية (باستثناء عناصر المجموعتين 1A و 2A عدا البيريديوم) تُكوّن أيونات مميّهة (hydrated ions) تنصرف كحموض. على سبيل المثال، يُكوّن أيون الألومنيوم (Al^{3+}) معقدًا مائيًا $\text{Al(H}_2\text{O)}_6^{3+}$ ، حيث يسحب Al^{3+} الكثافة الإلكترونية من جزيئات الماء المحيطة به، مما يجعلها أكثر حمضية. ونتيجة لذلك، يمكن للمعقد أن يمنح بروتون:

Exception: Some metal cations are acidic. Many metal ions (except those of Groups 1A and 2A, other than Be) form hydrated complexes that act as acids. For instance, Al^{3+} forms $\text{Al(H}_2\text{O)}_6^{3+}$, where the aluminum ion withdraws electron density from the coordinated water molecules, increasing their acidity. As a result, the complex can donate a proton:



مثال 10: حدّد ما إذا كانت المحاليل المائية للأملاح التالية حمضية أو قاعدية أو متعادلة:

Example 10: Decide whether aqueous solutions of the following salts are acidic, basic, or neutral:

a) KCl ; b) NaF ; c) $\text{Zn(NO}_3)_2$; d) NH_4CN

a) $\text{KCl} \rightarrow$ متعادل Neutral

b) $\text{NaF} \rightarrow$ قاعدي Basic

c) $\text{Zn(NO}_3)_2 \rightarrow$ حمضي Acidic

d) $\text{NH}_4\text{CN} \rightarrow$ قاعدي Basic

يُعد أيون الأمونيوم (NH_4^+) حمضًا ضعيفًا ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$)، بينما يُعد أيون السيانيد (CN^-) قاعدة أقوى بكثير ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$) من قيمة K_a الصغيرة جدًا لحمض HCN ، وبالتالي يكون المحلول قاعديًا بشكل عام.

NH_4^+ is a weak acid ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$), CN^- is a much stronger base ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$ from HCN 's tiny K_a), basic overall.

تدريب 9-9: لديك محاليل الأملاح التالية: (a) NH_4NO_3 و (b) KNO_3 و (c) $\text{Al(NO}_3)_3$ حدد لكلٍ منها، ما إذا كان المحلول حامضيًا أم قاعديًا أم متعادلاً.

Exercise 9-9: Consider solutions of the following salts: a) NH_4NO_3 ; b) KNO_3 ; c) $\text{Al(NO}_3)_3$. For each, determine whether the solution is acidic, basic, or neutral.

.....

.....

.....

.....

.....

The pH of a Salt Solution

الرقم الهيدروجيني pH لمحلول ملح

لزواج الحمض-القاعدة المقترنة (HCN/CN^-) في الماء عند 25°C :

For a conjugate acid–base pair (HCN/CN^-) in water at 25°C :

$$K_a(\text{HCN}) \times K_b(\text{CN}^-) = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$K_b(\text{CN}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{HCN})}$$

Using the commonly tabulated باستخدام القيم من الجداول القياسية

$$K_b(\text{CN}^-) = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.9 \times 10^{-10}} \approx 2.04 \times 10^{-5}$$

pH من أجل محلول 0.10 M NaCN (باستخدام طريقة التقريب للقاعدة الضعيفة)
pH of 0.10 M NaCN (weak-base approximation)

Hydrolysis التميؤ : $\text{CN}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{HCN}_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$

Let $x = [\text{OH}^-]$. With $C_0 = 0.10 \text{ M}$ and $K_b \ll C_0$:

$$K_b \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(2.04 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{2.04 \times 10^{-6}}$$

$$\approx 1.43 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{pOH} = -\log(1.43 \times 10^{-3}) \approx 2.85 \Rightarrow \text{pH} \approx 14.00 - 2.85 = 11.15$$

مثال 11: استخدم الجداول للحصول على القيم التالية عند 25°C:

Example 11: Use Tables to obtain the following at 25°C:

a) K_b for CN^- ; b) K_a for NH_4^+ .

a) $K_a(\text{HCN}) = 4.9 \times 10^{-10}$, then K_b for CN^-

$$K_b(\text{CN}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{HCN})} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.9 \times 10^{-10}} \approx 2.0 \times 10^{-5}$$

b) $K_b(\text{NH}_3) = 1.8 \times 10^{-5}$, then K_a for NH_4^+

$$K_a(\text{NH}_4^+) = \frac{K_w}{K_b(\text{NH}_3)} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} \approx 5.6 \times 10^{-10}$$

تدريب 9-10: 1. حمض البنزويك ($\text{HC}_7\text{H}_5\text{O}_2$) وأملاحه تُستخدم كمُضافات حافظة في الأغذية. ما تركيز حمض البنزويك في محلول مائي يحتوي على 0.015 M من بنزوات الصوديوم؟ وما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟ علماً بأن ثابت التأيّن الحمضي (K_a) لحمض البنزويك يساوي 6.3×10^{-5} .

2. احسب درجة تميؤ محلول تركيزه 0.0100 M من NH_4Cl .

Exercise 9-10: 1. Benzoic acid, $\text{HC}_7\text{H}_5\text{O}_2$, and its salts are used as food preservatives. What is the concentration of benzoic acid in an aqueous solution of 0.015 M sodium benzoate? What is the pH of the solution? K_a for benzoic acid is 6.3×10^{-5} .

2. Calculate the extent of hydrolysis in a 0.0100 M solution of NH_4Cl .

$$K_{b\text{NH}_3} = 1.75 \times 10^{-5}$$

.....

.....

.....

.....

.....

Buffers

المحاليل المنظمة

المحلول المنظم هو محلول يقاوم التغيرات الكبيرة في قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) وذلك عند إضافة كميات صغيرة من حمض أو قاعدة. تتكوّن المحاليل المنظمة دائماً من مكوّنين: حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A^-)، أو قاعدة ضعيفة (B) وحمضها المقترن (BH^+).

A buffer is a solution that resists significant changes in pH when small amounts of acid or base are added, It always consists of two components, a weak acid (HA) and its conjugate base (A⁻), or a weak base (B) and its conjugate acid (BH⁺).

مثال: حمض الخليك (CH₃COOH) وأيون الخلات (CH₃COO⁻)، أو الأمونيا (NH₃) وأيون الأمونيوم (NH₄⁺).

إذا أُضيف حمض (H⁺ أو H₃O⁺)، فإن القاعدة المقترنة في المحلول المنظم تقوم بمعادلته.

إذا أُضيفت قاعدة (OH⁻)، فإن الحمض الضعيف في المحلول المنظم يقوم بمعادلتها.

هذه القدرة على "امتصاص" الحمض أو القاعدة المضافة هي ما يسبب ثبات قيمة pH واستقراره نسبيًا.

Example: acetic acid (CH₃COOH) and acetate (CH₃COO⁻), or ammonia (NH₃) and ammonium (NH₄⁺).

If acid (H⁺ or H₃O⁺) is added, then the conjugate base in the buffer neutralizes it.

If base (OH⁻) is added, the weak acid in the buffer neutralizes it.

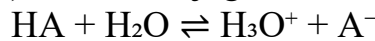
This ability to "absorb" added acid or base is what keeps the pH relatively stable.

pH of a Buffer

الرقم الهيدروجيني pH لمحلول مُنظَّم

لتحضير محلول مُنظَّم بقيمة pH معينة، يجب اختيار زوج حمض-قاعدة مقترن بحيث يكون ثابت التأيين الحمضي للحمض (K_a) قريبًا من تركيز أيون الهيدرونيوم المطلوب. من أجل محلول مُنظَّم يحتوي على حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A⁻).

To prepare a buffer of a desired pH, a conjugate acid–base pair is needed where the acid's K_a is close to the required hydronium-ion concentration. For a buffer containing a weak acid (HA) and its conjugate base (A⁻).



The relationship is:

تكون العلاقة:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

Rearranging gives:

وبإعادة الترتيب تعطي:

$$[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

وبأخذ اللوغاريتمات، نحصل على معادلة هندرسون-هاسلبالغ.

Taking logarithms gives the **Henderson–Hasselbalch equation**.

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

In general: بشكل عام:

$$pH = pK_a + \log \frac{[base]}{[acid]}$$

مثال 12: تم تحضير محلول تركيزه 0.10 M من حمض الخليك (HC₂H₃O₂) و 0.20 M من خلات الصوديوم (NaC₂H₃O₂). ما قيمة pH لهذا المحلول عند 25°C؟

Example 12: A solution is prepared that is 0.10 M in acetic acid (HC₂H₃O₂) and 0.20 M in sodium acetate (NaC₂H₃O₂). What is the pH of this solution at 25°C?

$$K_a(\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2) = 1.7 \times 10^{-5}$$

Use the Henderson–Hasselbalch equation: باستخدام معادلة هندرسون-هاسلبالغ:

$$pK_a = -\log(1.7 \times 10^{-5}) = 4.77$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} = 4.77 + \log \frac{0.20}{0.10} = 4.77 + 0.301 \approx \boxed{5.07}$$

تدريب 9-11: تُحدّد التعليمات الخاصة بتحضير محلول مُنظّم خلط 60.0 mL من محلول NH₃ بتركيز 0.100 M مع 40.0 mL من محلول NH₄Cl بتركيز 0.100 M. ما قيمة pH لهذا المحلول المُنظّم؟

Exercise 9-11: Instructions for preparing a buffer specify mixing 60.0 mL of 0.100 M NH₃ with 40.0 mL of 0.100 M NH₄Cl. What is the pH of this buffer solution? $K_b(\text{NH}_3) = 1.8 \times 10^{-5}$

.....

.....

.....

.....

إضافة حمض أو قاعدة إلى محلول مُنظّم

يقاوم المحلول المُنظّم التغيرات في قيمة pH عند إضافة حمض أو قاعدة. في محلول مُنظّم من حمض الخليك/الخلات، يتفاعل H₃O⁺ المُضاف مع الخلات لتكوين حمض الخليك مما يُقلّل من تغير قيمة pH. كما أن أيونات OH⁻ المُضافة تتفاعل مع حمض الخليك لتكوين الخلات، ما يُقلّل من تغير قيمة pH.

A buffer resists changes in pH when acid or base is added.

In an acetic acid/acetate buffer, added H₃O⁺ reacts with acetate to form acetic acid, minimizing pH change. Added OH⁻ reacts with acetic acid to form acetate, also reducing the pH shift.

مثال 13: احسب قيمة pH لـ 75 mL من المحلول المُنظّم الموصوف في المثال 12 (0.10 M HC₂H₃O₂ و 0.20 M NaC₂H₃O₂) بعد إضافة 9.5 mL من محلول HCl 0.10 M عند 25 °C. ثم قارن مقدار التغير لما سيحدث في قيمة pH لو تمت إضافة نفس كمية الحمض إلى ماء نقي.

Example 13: Calculate the pH of 75 mL of the buffer solution described in Example 12 (0.10 M HC₂H₃O₂ and 0.20 M NaC₂H₃O₂) after adding 9.5 mL of 0.10 M HCl at 25 °C. Then compare the pH change to what would occur if the same amount of acid were added to pure water.

n_{HA} (acetic acid حمض الخليك) = $0.0750 \times 0.10 = 0.00750$ mol

n_{A^-} (acetate الخلات) = $0.0750 \times 0.20 = 0.0150$ mol

Moles of H⁺ added من الحمض = $0.0095 \times 0.10 = 0.00095$ mol

Neutralization reaction: تفاعل التعادل $\text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{A}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{HA}_{(\text{aq})}$

n_{A^-} (after reaction بعد التفاعل) = $0.0150 - 0.00095 = 0.01405$ mol

n_{HA} (after reaction بعد التفاعل) = $0.00750 + 0.00095 = 0.00845$ mol

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{n_{\text{A}^-}}{n_{\text{HA}}}\right) = 4.7696 + \log\left(\frac{0.01405}{0.00845}\right) = \boxed{4.99}$$

مقارنة عند إضافة نفس الحمض إلى ماء نقي، الحجم الكلي بعد الخلط

Compare adding the same acid to pure water, the total volume after mixing:

$$75.0 + 9.5 = 84.5 \text{ mL} = 0.0845 \text{ L}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{0.00095}{0.0845} \approx 0.01124 \text{ M} \Rightarrow \text{pH} = -\log(0.01124) \approx \boxed{1.95}$$

pH change comparison:

For buffer:

$$\Delta\text{pH} \approx 4.99 - 5.07 = -0.08$$

مقارنة التغير في pH:

للمحلول المُنظّم:

For water:

$$\Delta pH \approx 1.95 - 7.00 = -5.05$$

الاستنتاج : يقاوم المحلول المُنظَّم تغيّر قيمة pH بدرجة كبير مقارنةً بالماء النقي.

Conclusion: The buffer drastically resists pH change compared to pure water.

مثال 14: عند درجة حرارة 25°C ، يتأين محلول الأمونيا (NH_3) ذو تركيز 0.0100 M بنسبة 4.1% .

بفرض أن الحجم يبقى ثابتاً، احسب ما يلي:

(a) تركيز أيوني الهيدروكسيد OH^- والأمونيوم NH_4^+ .

(b) تركيز الأمونيا الجزيئية غير المتأينة NH_3 .

(c) ثابت التأيّن القاعدي K_b للأمونيا في الماء.

(d) تركيز OH^- بعد إضافة 0.0090 mol من NH_4Cl إلى 1.00 L من المحلول الأصلي.

(e) تركيز OH^- في محلول مُحضّر بإذابة 0.010 mol من NH_3 و 0.0050 mol من HCl في 1.00 L من المحلول.

Example 14: At 25°C , a 0.0100 M solution of ammonia (NH_3) is 4.1% ionized.

Assuming that the volume remains constant, calculate the following:

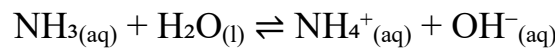
a) The concentrations of OH^- and NH_4^+ ions

b) The concentration of un-ionized (molecular) NH_3

c) The ionization constant (K_b) of aqueous ammonia

d) The concentration of OH^- after adding 0.0090 mol of NH_4Cl to 1.00 L of the original solution

e) The concentration of OH^- in a solution prepared by dissolving 0.010 mol of NH_3 and 0.0050 mol of HCl in 1.00 L of solution.



Given: $\alpha = 4.1\% = 0.041$; $C_0(\text{NH}_3) = 0.0100\text{ M}$.

a) $x = \alpha C_0 = 0.041 \times 0.0100 = 4.10 \times 10^{-4}\text{ M}$.

$[\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+] = 4.10 \times 10^{-4}\text{ M}$.

b) $[\text{NH}_3] = C_0 (1 - \alpha) = 0.0100 \times 0.959 = 9.59 \times 10^{-3}\text{ M}$.

c) K_b of NH_3

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{(4.10 \times 10^{-4})^2}{9.59 \times 10^{-3}} \approx 1.75 \times 10^{-5}$$

d) $[\text{OH}^-]$ after adding 0.0090 mol NH_4Cl to 1.00 L

$[\text{NH}_3] \approx 0.00959\text{ M}$ (من الفقرة b)

$[\text{NH}_4^+] \approx 0.0090 + 0.000410 = 0.00941\text{ M}$

Use the buffer

باستخدام علاقة المحلول المُنظَّم

$$[\text{OH}^-] \approx K_b \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = (1.75 \times 10^{-5}) \frac{0.00959}{0.00941} \approx 1.79 \times 10^{-5}\text{ M}$$

e) $[\text{OH}^-]$ when 0.010 mol NH_3 and 0.0050 mol HCl are dissolved per liter

Neutralization: $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$

من المعادلة الموزونة (1:1) تفاعل HCl بالكامل 0.0050 mol مع 0.0050 mol من NH_3 معطياً

0.0050 mol من الملح NH_4Cl ويتبقى فائض من NH_3 ($0.010 - 0.0050 = 0.0050\text{ mol}$). قاعدة

مع ملحها هو محلول مُنظَّم قاعدي علاقة هندرسون هاسلبالغ:

$$[\text{NH}_3] = 0.0050\text{ M}, [\text{NH}_4^+] = 0.0050\text{ M}.$$

$$[\text{OH}^-] \approx K_b \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = (1.75 \times 10^{-5}) \times \frac{0.0050}{0.0050} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ M}$$

تدريب 9-12: يُمزج 50 cm³ من حمض الخليك بتركيز 0.200 mol/dm³ (محلول A) مع 50 cm³ من هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.500 mol/dm³ (محلول B) ويُضاف 100 cm³ من هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.010 mol/dm³ (محلول C). حدد قيمة pH لكل من المحاليل A ثم A + B ثم A + B + C على التوالي.

Exercise 9-12: We mix 50 cm³ 0.200 mol/dm³ acetic acid (solution A). 50 cm³ 0.500 mol/dm³ sodium acetate (solution B), and 100 cm³ 0.010 mol/dm³ sodium hydroxide (solution C) solutions. Determine the pH of A, A + B, and A + B + C solutions respectively. $K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.8 \times 10^{-5}$

.....

.....

.....

.....

.....

منحنيات المعايرة الحمضية – القاعدية

تُستخدم المعايرة الحمضية – القاعدية لتحديد كمية الحمض أو القاعدة في محلول ما من خلال قياس حجم القاعدة (أو الحمض) ذو التركيز المعروف اللازم لإتمام التعادل التام. يُظهر منحنى المعايرة كيف يتغير الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول عند إضافة القاعدة (أو الحمض). ومن هذا المنحنى يمكننا تحديد نقطة التكافؤ — وهي المرحلة التي تتفاعل فيها كميات مكافئة تمامًا من الحمض والقاعدة — واختيار دليل مناسب يتغير لونه بالقرب من تلك النقطة.

An acid–base titration is used to determine the amount of acid or base in a solution by measuring the volume of a base (or acid) of known concentration needed for complete neutralization.

A **titration curve** shows how the pH of a solution changes as base (or acid) is added. From this curve, we can identify the **equivalence point**—the stage where stoichiometric amounts of acid and base have reacted—and choose a suitable indicator that changes color near that point.

معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

مثال، معايرة 25.0 mL من محلول 0.100 M HCl بقاعدة 0.100 M NaOH، يزداد الرقم الهيدروجيني ببطء في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من نقطة التكافؤ (pH = 7). يحتوي المحلول عند التكافؤ على ملح NaCl، وهو ملح متعادل، لذا يكون الـ pH عند التكافؤ 7.0. يمكن استخدام أدلة يتغير لونها بالقرب من هذه الزيادة الحادة، كما هو موضح في الشكل 9.1.

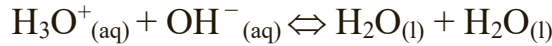
الفينولفثالين: (عديم اللون يتحول إلى اللون الوردي)، في مدى pH 8.2–10.0 (يعمل جيدًا).

Example, the titration of 25.0 mL of 0.100 M HCl with 0.100 M NaOH, the pH rises slowly at first and then sharply near the **equivalence point** (pH = 7). The solution contains NaCl, a **neutral salt**, so the pH is 7.0 at equivalence. Indicators that change color near this sharp rise can be used, as shown in Figure 9.1.

Phenolphthalein (colorless turn to pink, pH 8.2–10.0) works well.

مثال 15: احسب قيمة pH لمحلول أضيف إليه 10.0 mL من 0.100 M NaOH إلى 25.0 mL من 0.100 M HCl.

Example 15: Calculate the pH of a solution in which 10.0 mL of 0.100 M NaOH is added to 25.0 mL of 0.100 M HCl.



Step 1: Calculate moles of acid and base احسب عدد مولات الحمض والقاعدة

$$n_{\text{HCl}} = (0.0250)(0.100) = 0.00250 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = (0.0100)(0.100) = 0.00100 \text{ mol}$$

Step 2: Determine which is in excess حدّد أيهما فائض

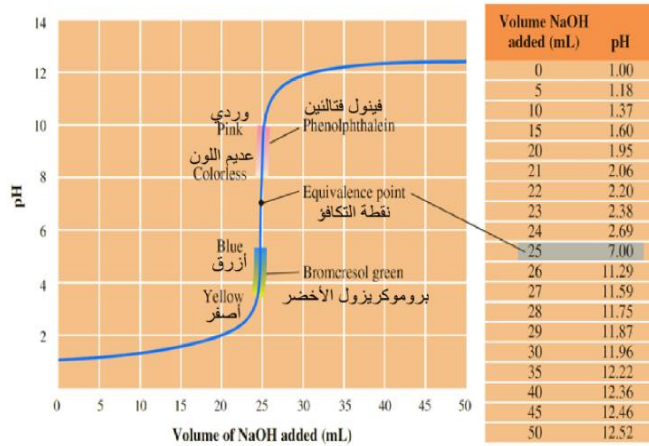
HCl: 0.00250 mol, NaOH: 0.00100 mol, → Acid is in excess. الفائض هو الحمض

$$\text{Excess HCl} = 0.00250 - 0.00100 = 0.00150 \text{ mol}$$

$$V_{\text{total}} = 10.0 + 25.0 = 35.0 \text{ mL} = 0.0350 \text{ L}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{0.00150}{0.0350} = 0.0429 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log(0.0429) = 1.37$$



الشكل 9.1: منحنى معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

Figure 9.1 Curve for the titration of a strong acid by a strong base

تدريب 9-13: ما قيمة pH لمحلول أُضيفت إليه 15 mL من 0.10 M NaOH إلى 25 mL من 0.10 M HCl ؟

Exercise 9-13: What is the pH of a solution in which 15 mL of 0.10 M NaOH has been added to 25 mL of 0.10 M HCl?

.....

.....

.....

.....

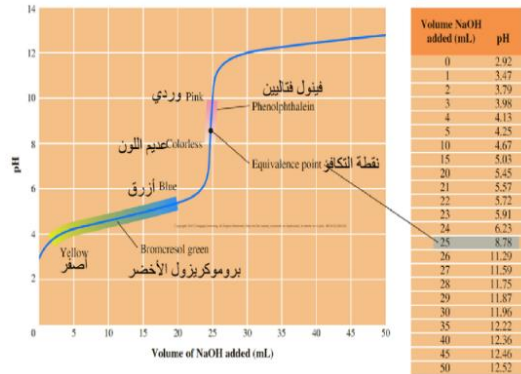
.....

معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، يختلف منحنى المعايرة عن منحنى معايرة حمض قوي. يبدأ المنحنى عند قيمة pH ابتدائية أعلى لأن الحمض ضعيف. يزداد الرقم الهيدروجيني (pH) تدريجياً في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من نقطة التكافؤ (بين pH 7 و 11). وبما أن هذه القفزة في قيمة pH أصغر من تلك في معايرة حمض قوي بقاعدة قوية، وبالتالي اختيار الدليل يصبح أكثر أهمية. فمثلاً دليل الفينولفتالين الذي يتغير لونه في مدى pH من 8.2 إلى 10.0 (يعمل جيداً). عند نقطة التكافؤ يكون المحلول قاعدياً وليس متعادلاً، وذلك لأن المحلول يحتوي على ملح الحمض الضعيف الذي يخضع للتميؤ منتجاً محلولاً قاعدياً، كما هو موضح في الشكل 9.2.

Titration of a Weak Acid by a Strong Base

When a weak acid is titrated with a strong base, the titration curve differs from that of a strong acid. The curve starts at a higher initial pH, since the acid is weak. The pH increases gradually at first, then rises sharply near the equivalence point (between pH 7 and 11). Because this pH jump is smaller than in a strong acid–strong base titration, the choice of indicator is more critical. **Phenolphthalein** (pH 8.2–10.0) works well. At the equivalence point, the pH is **basic**, not neutral. This is because the solution contains the salt of weak acid, which undergoes hydrolysis to produce a basic solution, as shown in Figure 9.2.



الشكل 9.2: منحنى معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Figure 9.2: Curve for the titration of a weak acid by a strong base

مثال 16: احسب قيمة pH لمحلول عند نقطة التكافؤ عندما تتم معايرة 25 mL من حمض النياسين بتركيز 0.10 M بواسطة هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.10 M.

Example 16: Calculate the pH of the solution at the equivalence point when 25 mL of 0.10 M niacin acid is titrated by 0.10 M sodium hydroxide.

$$K_a \text{ niacin acid} = 1.4 \times 10^{-5}$$

At the equivalence point

عند نقطة التكافؤ

عدد مولات الحمض = عدد مولات القاعدة = moles of acid = moles of base

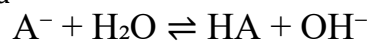
$$n_{\text{acid}} = (0.0250)(0.10) = 0.00250 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = 0.00250 \text{ mol}$$

$$V_{\text{(total)}} = 25.0 + 25.0 = 50.0 \text{ mL} = 0.0500 \text{ L}$$

$$[A^-] = \frac{0.00250}{0.0500} = 0.0500 \text{ M}$$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.4 \times 10^{-5}} = 7.14 \times 10^{-10}$$



$$K_b = \frac{x^2}{0.0500 - x} \approx \frac{x^2}{0.0500}$$

$$x = 5.97 \times 10^{-6}$$

$$[OH^-] = 5.97 \times 10^{-6} \text{ M}, \text{ pOH} = -\log(5.97 \times 10^{-6}) = 5.22, \text{ pH} = 14 - 5.22 = 8.7$$

تدريب 9-14: ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ عندما تتم معايرة 25 mL من 0.10 M HF بمحلول من 0.15M NaOH؟

Exercise 9-14: What is the pH at the equivalence point when 25 mL of 0.10 M HF is titrated by 0.15 M NaOH? K_a (HF) = 6.6×10^{-4}

مراحل معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Stages Titration of a Weak Acid with a Strong Base

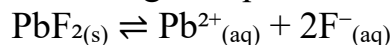
Stage المرحلة	Main Species Present الأنواع الرئيسية الموجودة	Type of Solution نوع المحلول	Major Reaction / Concept التفاعل أو المفهوم الرئيس	pH Behavior سلوك الرقم الهيدروجيني
1. Before base addition قبل إضافة القاعدة	Weak acid only حمض ضعيف فقط (HA)	Weakly acidic حمضي ضعيف	Partial ionization: تأين جزئي $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ $[H^+] = \sqrt{K_a[HA]}$	pH < 7
2. After some base added (before equivalence) بعد بدء إضافة قليل من القاعدة (قبل نقطة التكافؤ)	HA + A ⁻ (both present) كلاهما متواجدا	Buffer solution محلول منظم	Neutralization: التعادل $HA + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$ use Henderson-Hasselbalch: استخدم معادلة هندرسون-هاسلبالخ $pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$	Gradual increase ازدياد تدريجي
3. Half-equivalence point عند 50% من نقطة التكافؤ	[HA] = [A ⁻]	Buffer محلول منظم	$pH = pK_a$	Moderate (buffered) pH محلول منظم معتدل
4. Equivalence point عند نقطة التكافؤ	A ⁻ only (conjugate base) قاعدة مترافقة فقط	Basic (from hydrolysis) قاعدي (نتج عن التميؤ)	$A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$ $K_b = \frac{K_w}{K_a}$ $[OH^-] = \sqrt{K_b[A^-]}$	pH > 7
5. After equivalence point بعد نقطة التكافؤ	Excess OH ⁻ (from NaOH) OH ⁻ فائض من (NaOH)	Strongly basic قاعدي قوي	pH determined by excess base: يُحدد الرقم الهيدروجيني من تركيز القاعدة الزائدة $[OH^-] = \frac{n_{\text{excess}}}{V_{\text{total}}}$	pH >>> 7

Solubility-product constant K_{sp}

ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

تُناقش هذه الفقرة أنظمة الاتزان المتعلقة ذوبانية المركبات الأيونية قليلة الذوبان. وحتى المواد التي تُعدّ ذائبة تمتلك ذوبانية محدودة، حيث يوجد في المحلول المشبع اتزان بين الأيونات المذابة والمادة الصلبة غير المذابة. ففي حالة مركّب قليل الذوبان مثل فلوريد الرصاص الثنائي (PbF₂)، فإن الكمية القليلة التي تذوب منه تتفكك كلياً إلى أيوناته، مكوّنة اتزاناً على النحو الآتي:

This section discusses equilibrium systems involving the solubility of slightly soluble ionic compounds. Even “soluble” substances have limited solubility, and in a saturated solution, equilibrium exists between dissolved ions and undissolved solid. For a slightly soluble compound like PbF₂, the small amount that dissolves fully dissociate into ions, establishing an equilibrium such as:



ومن هذا التفاعل، تُكتب علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) كما يلي:

From this, the ion-product expression (Q_{sp}) is written as:

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][F^{-}]^2$$

عندما يصبح المحلول مشبعًا، تصل علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) إلى قيمة ثابتة تُعرف باسم ثابت حاصل الذائبية K_{sp} . وترتبط هذه القيمة بـ **الذائبية المولارية (s)**، وهي عدد مولات المادة التي تذوب في لتر واحد من المحلول عند درجة حرارة معينة. ومن الجدير بالذكر أن قيمة K_{sp} تعتمد فقط على درجة الحرارة.

When a solution becomes saturated, the ion-product expression (Q_{sp}) reaches a constant value known as the **solubility-product constant K_{sp}** . The **molar solubility (s)**, which is the number of moles of a substance that dissolve per liter of solution, is related to this constant. Notably, K_{sp} depends only on temperature.

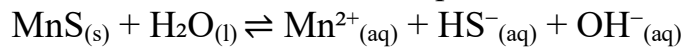
وبشكل عام، لمركب من الصيغة M_pX_q ، تكون العلاقة:

In general, for a compound M_pX_q , the expression is:

$$K_{sp} = [M^{n+}]^p [X^{z-}]^q = K_{sp} = (p \cdot s)^p (q \cdot s)^q = p^p q^q s^{(p+q)}$$

توجد حالة خاصة في بعض كبريتيدات الفلزات، وذلك لأن أيون الكبريتيد (S^{2-}) يُعدّ قاعدة قوية ويتفاعل مع الماء ليُكوّن أيون البيكبريتيد (HS^{-}) وأيون الهيدروكسيد (OH^{-}). لذلك، بالنسبة لمركب مثل كبريتيد المنغنيز (MnS)، يصبح اتزان الذائبية الكلي كما يلي:

A special case occurs with some metal sulfides because the sulfide ion (S^{2-}) is strongly basic and reacts with water to form HS^{-} and OH^{-} . Therefore, for a compound like MnS , the overall dissolution equilibrium becomes:



and the K_{sp} expression is:

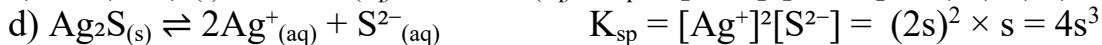
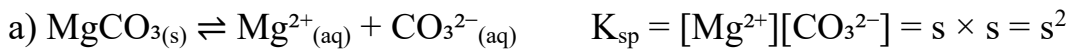
وتكون علاقة ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

$$K_{sp} = [Mn^{2+}][HS^{-}][OH^{-}]$$

مثال 17: اكتب علاقة ثابت حاصل الذائبية (K_{sp}) بدلالة الذائبية المولارية لكل مركب مما يلي:

Example 17: Write (K_{sp}) expression in terms of the molar solubility for each of the following compounds.

- Magnesium carbonate كربونات الماغنيسيوم
- Iron(II) hydroxide هيدروكسيد الحديد الثنائي
- Calcium phosphate فوسفات الكالسيوم
- Silver sulfide كبريتيد الفضة



تدريب 9-15: احسب الذائبية المولارية لـ $Mn(OH)_2$ و pH لمحلول مشبع من $Mn(OH)_2$ عند $25^\circ C$.

Exercise 9-15: Calculate the molar solubility of $Mn(OH)_2$ and the pH of a saturated solution of $Mn(OH)_2$ at $25^\circ C$. K_{sp} for $Mn(OH)_2 = 1.9 \times 10^{-13}$

.....

.....

.....

.....

.....

Problems مسائل

Short Answer

(9-1) إجابات مختصرة

1. محلول 0.10 M من حمض ضعيف، HX، يتأين بنسبة 0.059%. ما قيمة K_a للحمض.
1. A 0.10 M solution of a weak acid, HX, is 0.059% ionized. What is value of K_a for the acid?
2. احسب قيمة pH لمحلول 1.0 m/m% من حمض الهيدروكلوريك إذا علمت أن كثافته 1.00 g/cm^3 .
2. Calculate the pH of the 1.0 m/m% hydrochloric acid if its density is practically 1.00 g/cm^3 .
3. الرقم الهيدروجيني للملح $(\text{CH}_3)_3\text{NHCl}$ 0.15 M هو 5.34. ما النسبة المئوية للتأيون؟
3. The pH of 0.15 M $(\text{CH}_3)_3\text{NHCl}$, a salt, is 5.34. What is percentage of hydrolysis?
4. ما درجة تفكك الماء α في الماء النقي (عند 25°C)؟
4. What is the degree of dissociation of water in pure water (at 25°C)?
- (9-2) تم مزج نفس الحجم من محلولي حمض الهيدروكلوريك $\text{pH} = 2.00$ و $\text{pH} = 13.00$ NaOH. ما قيمة pH للمحلول المتكون؟
- The same volumes of $\text{pH} = 2.00$ hydrochloric acid and $\text{pH} = 13.00$ NaOH solution are mixed. What is the pH of the solution formed?
- (9-3) بأي نسبة حجمية يجب مزج محلول $\text{pH} = 1.00$ و $\text{pH} = 3.00$ للحصول على محلول $\text{pH} = 2.5$ ؟
- In what volume ratio should a $\text{pH} = 1.00$ and a $\text{pH} = 3.00$ solution be mixed to get a $\text{pH} = 2.5$ solution?
- (9-4) وُجد أن محلول 0.25 M من $\text{C}_5\text{H}_5\text{NHCl}$ له pH قيمتها 2.699. ما قيمة K_b لـ $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ؟
- A 0.25 M solution of $\text{C}_5\text{H}_5\text{NHCl}$ was found to have a pH of 2.699. What is K_b for $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$?
- (9-5) ما تركيز محلول NaOH، الذي يتفاعل 25.0 cm^3 منه مع 35.7 cm^3 من محلول H_2SO_4 0.126 M؟
- What is the concentration of a solution of NaOH, of which 25.0 cm^3 reacts with 35.7 cm^3 of a 0.126 M H_2SO_4 solution?
- (9-6) المطلوب معادلة 10 cm^3 من حمض الهيدروكلوريك المخفف ذو قيمة $\text{pH} = 4$. فما هو حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم $\text{pOH} = 5$ الواجب إضافته؟
- 10 cm^3 of diluted hydrochloric acid with a pH -value of 4 must be neutralised. Which volume of a sodium hydroxide solution with a $\text{pOH} = 5$ must be added?
- (9-7) حدد قيمة pH للماء المقطر عند 40°C إذا علمت أن قيمة pH لمحلول 0.038 M NaOH تبلغ القيمة 12.00 عند 40°C !
- Determine the pH of the distilled water at 40°C if it is known that pH of a 0.038 M NaOH solution is 12.00 at 40°C !
- (9-8) تم تبخير لتر من محلول مُشبع عند درجة حرارة 25°C من أوكسالات الكالسيوم CaC_2O_4 حتى الجفاف، فكان الراسب المتبقي 0.0061 g من CaC_2O_4 . احسب ثابت حاصل الذائبية (K_{sp}) لهذا الملح عند 25°C .
- A liter of a solution saturated at 25°C with calcium oxalate, CaC_2O_4 , was evaporated to dryness, giving a 0.0061 g residue of CaC_2O_4 . Calculate the solubility product constant for this salt at 25°C .

EXCERCIS ANSWER

إجابات التدريبات

تدريب (9-1)

Acid: H_2CO_3 ; Base: $\text{CN}^- \rightarrow$ Conjugate pairs أزواج مقترنة: $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ and CN^-/HCN .
Conjugate acid of the base (قاعدته المقترنة للقاعدة) (CN^-) is $\text{HCN}_{(\text{aq})}$.

تدريب (9-2)

1. a) $\text{BF}_3 + \text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{BF}_3 \cdot \text{CH}_3\text{OH}$

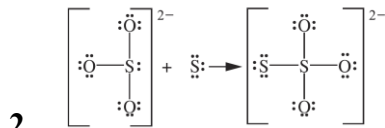
Lewis acid حمض لويس: BF_3 (electron-pair acceptor at B عند اكتساب زوج إلكترونات)

Lewis base قاعدة لويس: CH_3OH (O donates a lone pair منح زوج إلكترونات)

b) $\text{O}^{2-} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}$

Lewis acid حمض لويس: CO_2 (electron-pair acceptor at C عند اكتساب زوج إلكترونات)

Lewis base قاعدة لويس: O^{2-} (donates a lone pair منح زوج غير رابط)



تدريب (9-3)

يتجه التفاعل نحو الحمض/القاعدة الأضعف. وبما أن H_2S هو الحمض الأضعف، و $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ هي القاعدة الأضعف (كونها القاعدة المقترنة لحمض أقوى)، فإن الاتزان يميل باتجاه تكون $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})}$ و $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-_{(\text{aq})}$. أي أن الجانب المفضل هو الجانب الأيسر (المتفاعلات).

The reaction goes toward the weaker acid/base. Since H_2S is the weaker acid and $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ is the weaker base (conjugate of the stronger acid), equilibrium favors $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})}$ and $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-_{(\text{aq})}$. Favored side left (reactants).

تدريب (9-4)

$[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$, Using, $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ M}$$

$[\text{H}_3\text{O}^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$, so the solution is basic

المحلول قاعدي

تدريب (9-5)

$[\text{OH}^-] = 0.025 \text{ M}$

$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.025} = 4.0 \times 10^{-13} \text{ M}$$

$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (4.0 \times 10^{-13}) = 12.40$

$\text{pH} = 12.40$, the solution is strongly basic.

المحلول ذو طبيعة قاعدية قوية

تدريب (9-6)

a) $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2.75} = 1.78 \times 10^{-3} \text{ M}$

	I	C	E
HA	0.025	-x	0.025 - x
H ⁺	0	+x	x
A ⁻	0	+x	x

Since $x = [\text{H}^+] = 1.78 \times 10^{-3}$

$[\text{HA}] = 0.025 - 0.00178 = 0.02322 \text{ M}$

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{(1.78 \times 10^{-3})^2}{0.02322} = 1.36 \times 10^{-4}$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{C} = \frac{1.78 \times 10^{-3}}{0.025} = 0.0712$$

Degree of ionization = 7.12 %

b) $K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$

$$K_a = \frac{[H^+]^2}{C - [H^+]} \rightarrow C = [H^+] + \frac{[H^+]^2}{K_a}$$

$$C = 3.5 \times 10^{-4} + \frac{(3.5 \times 10^{-4})^2}{1.36 \times 10^{-4}} = 1.25 \times 10^{-3}$$

تدريب (9-7)

Equilibrium الاتزان: $HC_2H_3O_2(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + C_2H_3O_2^-(aq)$

Let $x = [H^+] = [C_2H_3O_2^-]$.

Approximation بالتقريب (valid if $x \ll C_0$):

$$K_a \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_a C_0} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-5})(0.10)} \approx 1.34 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$[H^+] = [C_2H_3O_2^-] \approx 1.33 \times 10^{-3} \text{ M}$

$[HC_2H_3O_2] \approx 0.10 - 0.00133 = 9.87 \times 10^{-2} \text{ M}$

$pH = -\log([H^+]) \approx 2.88$

Degree of ionization درجة التأين $(\alpha) = \frac{x}{C_0} \approx \frac{1.33 \times 10^{-3}}{0.10} = 1.33\%$

تدريب (9-8)

C_0 (quinine كوينين) = 0.0015 M, $pH = 9.84$ at $25^\circ C$

$pOH = 14.00 - 9.84 = 4.16$

$[OH^-] = 10^{-4.16} \approx 6.92 \times 10^{-5} \text{ M}$

$[BH^+] = x = 6.92 \times 10^{-5} \text{ M}$

$[B] = C_0 - x = 0.0015 - 0.0000692 = 1.43 \times 10^{-3} \text{ M}$

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = \frac{x^2}{C_0 - x} = \frac{(6.92 \times 10^{-5})^2}{1.43 \times 10^{-3}} \approx 3.3 \times 10^{-6}$$

تدريب (9-9)

a) $NH_4NO_3 \rightarrow$ حامضي acidic

NH_4^+ (الحمض المرافق للقاعدة الضعيفة NH_3) يمنح H^+ ، لذلك فهو حمضي؛ أما NO_3^- (الناتج من الحمض القوي HNO_3) فهو متعادل.

NH_4^+ (conjugate acid of weak base NH_3) donates $H^+ \rightarrow$ acidic; NO_3^- (from strong acid HNO_3) is neutral.

b) $KNO_3 \rightarrow$ متعادل neutral

K^+ (من قاعدة قوية KOH) متعادل؛ أما NO_3^- (ناتج من الحمض القوي HNO_3) متعادل وبالتالي لا يحدث تميؤ K^+ (from strong base KOH) neutral; NO_3^- (from strong acid HNO_3) neutral \rightarrow no hydrolysis.

c) $Al(NO_3)_3 \rightarrow$ حامضي acidic

NO_3^- متعادل؛ بينما يشكل Al^{3+} أيون معقد مائي $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ الذي يتمياً لإعطاء H_3O^+ حمضي. NO_3^- neutral; Al^{3+} forms the hydrated ion $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ which hydrolyzes to release $H_3O^+ \rightarrow$ acidic.

تدريب (9-10)

1. Hydrolysis التميؤ: $C_6H_5COO^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HC_6H_5COO(aq) + OH^-(aq)$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.3 \times 10^{-5}} = 1.59 \times 10^{-10}$$

Let $x = [OH^-] = [HC_6H_5COO^-]$

With $C_0 = 0.015 \text{ M}$ and $x \ll C_0$

$x \approx (K_b \times C_0)^{1/2} = ((1.59 \times 10^{-10})(0.015))^{1/2} = 1.54 \times 10^{-6} \text{ M}$

$pOH = -\log(1.54 \times 10^{-6}) = 5.81$

$\Rightarrow (pH = 14.00 - 5.81 = 8.19)$

$[HC_6H_5COOH] \approx (1.54 \times 10^{-6} \text{ M})$

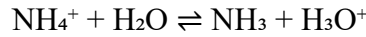
$pH \approx 8.19$

2. For NH_4^+ (the conjugate acid of NH_3):

الحمض المقترن بالأمونيا:

$$K_a(\text{NH}_4^+) = \frac{K_w}{K_b(\text{NH}_3)} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.75 \times 10^{-5}} = 5.71 \times 10^{-10}$$

Hydrolysis التميؤ:



Let $x = [\text{NH}_3] = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{formed}}$.

$$K_a = \frac{x^2}{C-x} \approx \frac{x^2}{C} \Rightarrow x \approx (K_a \cdot C)^{1/2} = ((5.71 \times 10^{-10}) \times (0.0100))^{1/2} = 2.39 \times 10^{-6} \text{ M}$$

Extent (degree) of hydrolysis

نسبة التميؤ

$$\alpha = \frac{x}{C} = \frac{2.39 \times 10^{-6}}{0.0100} = 2.39 \times 10^{-4} = 0.0239\%$$

تدريب (9-11)

$$n(\text{NH}_3) = 0.060 \text{ L} \times 0.100 \text{ M} = 0.00600 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_4^+) = 0.040 \text{ L} \times 0.100 \text{ M} = 0.00400 \text{ mol}$$

$$K_b(\text{NH}_3) \approx 1.8 \times 10^{-5} \Rightarrow \text{p}K_b = 4.745 \Rightarrow \text{p}K_a = 14 - 4.745 = 9.255$$

Use Henderson–Hasselbalch equation

باستخدام معادلة هندرسون هاسلبالغ

(acid form الحمض = NH_4^+ , base form القاعدة = NH_3):

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{base}]}{[\text{acid}]} = 9.255 + \log \left(\frac{0.00600}{0.00400} \right) \\ &= 9.255 + \log(1.5) \\ &= 9.255 + 0.176 \approx 9.43 \end{aligned}$$

تدريب (9-12)

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.8 \times 10^{-5}, \text{ so } \text{p}K_a = 4.7447$$

1. Solution A only (50 mL of 0.200 M CH_3COOH)

Weak acid: $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$

$$[\text{H}^+] \approx \sqrt{K_a \times C} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-5})(0.200)} = 1.90 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{pH} \approx 2.72$$

2. A + B (Mix A with 50 mL of 0.500 M CH_3COONa)

Moles before mixing:

عدد المولات قبل المزج:

$$\text{HA}: 0.050 \times 0.200 = 0.0100 \text{ mol}$$

$$\text{A}^-: 0.050 \times 0.500 = 0.0250 \text{ mol}$$

$$\text{Total } V = 0.100 \text{ L} \Rightarrow [\text{HA}] = 0.100 \text{ M}, [\text{A}^-] = 0.250 \text{ M}$$

Buffer (Henderson–Hasselbalch):

محلول منظم (علاقة هندرسون هاسلبالغ):

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = 4.7447 + \log \left(\frac{0.250}{0.100} \right)$$

$$\text{pH} = 5.14$$

3. A + B + C (Also add 100 mL of 0.010 M NaOH)

Strong base neutralizes HA

تعادل القاعدة القوية الحمض

$$\text{OH}^- \text{ moles} = 0.100 \times 0.010 = 0.00100 \text{ mol}$$



$$\text{HA} \rightarrow 0.0100 - 0.00100 = 0.00900 \text{ mol}$$

$$\text{A}^- \rightarrow 0.0250 + 0.00100 = 0.0260 \text{ mol}$$

$$\text{Total الكلي الحجم } V = 0.200 \text{ L} \Rightarrow [\text{HA}] = 0.0450 \text{ M}, [\text{A}^-] = 0.130 \text{ M}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{0.130}{0.0450}$$

$$\text{pH} = 5.21$$

تدريب (9-13)

$$n_{\text{HCl}} = (0.0250)(0.10) = 0.00250 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = (0.0150)(0.10) = 0.00150 \text{ mol}$$

$\text{HCl}: 0.00250 \text{ mol}, \text{NaOH}: 0.00150 \text{ mol} \rightarrow \text{HCl}$ is in excess

الفائض هو الحمض

$$\text{Excess HCl} = 0.00250 - 0.00150 = 0.00100 \text{ mol}$$

عدد مولات الحمض الفائض

$$V_{\text{total}} = 25.0 + 15.0 = 40.0 \text{ mL} = 0.0400 \text{ L}$$

$$[H^+] = \frac{0.00100}{0.0400} = 0.0250 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log(0.0250) = 1.60$$

تدريب (9-14)

$$V_{(\text{HF})} = 25.0 \text{ mL} = 0.0250 \text{ L}$$

$$[\text{HF}] = 0.10 \text{ M}$$

$$[\text{NaOH}] = 0.15 \text{ M}$$

$$n_{(\text{HF})} = 0.0250 \times 0.10 = 0.00250 \text{ mol}$$

At the equivalence point, all HF is neutralized

تمت معادلة كل HF عند نقطة التكافؤ

$$n_{(\text{NaOH})} = n_{(\text{HF})}$$

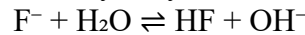
$$V_{\text{NaOH}} = \frac{0.00250}{0.15} = 0.0167 \text{ L} = 16.7 \text{ mL}$$

تحول الحمض HF بالكامل الى قاعدته المقتترنة F^- (من NaF)

All HF has been converted into its conjugate base: F^- (from NaF)

وبالتالي يحتوي المحلول على أيون الفلوريد فقط الذي يتمياً في الماء

So the solution contains only F^- , which hydrolyzes in water:



We use K_b for this reaction:

نستخدم K_b لهذا التفاعل

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.6 \times 10^{-4}} = 1.52 \times 10^{-11}$$

$$[F^-] = \frac{\text{mol } F^-}{\text{total volume}}$$

Total volume = الحجم الكلي = 25.0 + 16.7 = 41.7 mL = 0.0417 L

$$[F^-] = \frac{0.00250}{0.0417} = 0.0600 \text{ M}$$

$$K_b = \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[F^-]}$$

Assume بفرض $x = [\text{OH}^-]$

$$1.52 \times 10^{-11} = \frac{x^2}{0.0600}$$

$$x = 9.54 \times 10^{-7}$$

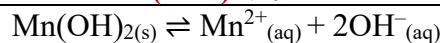
$$\text{pOH} = -\log(9.54 \times 10^{-7}) = 6.02$$

$$\text{pH} = 14 - 6.02 = 7.98$$

إذن، عند نقطة التكافؤ يكون المحلول قاعدياً قليلاً لأن الملح NaF يُنتج الأيون القاعدي الضعيف F^- .

So, at the equivalence point, the solution is slightly basic because the salt (NaF) produces the weakly basic ion F^- .

تدريب (9-15)



$$K_{sp} = [\text{Mn}^{2+}] [\text{OH}^-]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$$

$$K_{sp} = [x][2x]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$$

$$4x^3 = 1.9 \times 10^{-13}$$

$$x = 3.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = 2 \times 3.6 \times 10^{-5} = 7.2 \times 10^{-5}$$

$$\text{pOH} = -\log(7.2 \times 10^{-5}) = 4.14$$

$$\text{pH} = 14.00 - 4.14 = 9.86$$

PROBLEMS ANSWER إجابات المسائل	
(9-1)	<p>1. Fraction ionized: الجزء المتأين: $\alpha = 0.059\% = 5.9 \times 10^{-4}$ $x = [H^+] = \alpha C = (5.9 \times 10^{-4})(0.10) = 5.9 \times 10^{-5} \text{ M}$ For the equilibrium: لتفاعل الاتزان $HX \rightleftharpoons H^+ + X^-$ $K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]} = \frac{x^2}{C - x} = \frac{(5.9 \times 10^{-5})^2}{0.10 - 5.9 \times 10^{-5}}$ $\approx \frac{3.48 \times 10^{-9}}{0.09994} \approx 3.5 \times 10^{-8}$</p>
	<p>2. 100 g solution = 100 mL = 0.100 L. Mass of HCl in 100 g solution = 1.0 g كتلة الحمض Moles HCl = $\frac{1.0}{36.46} = 0.02743 \text{ mol}$ عدد مولات الحمض Molarity المولارية $\approx \frac{0.02743}{0.100} = 0.274 \text{ M}$ Strong acid حمض قوي $[H^+] \approx 0.274 \text{ M}$ $pH = -\log(0.274) \approx 0.56$</p>
	<p>3. $(CH_3)_3NH^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons (CH_3)_3N(aq) + H_3O^+(aq)$ $pH = 5.34 \Rightarrow [H^+] = 10^{-5.34} = 4.57 \times 10^{-6} \text{ M}$ $x \approx [H^+] = 4.57 \times 10^{-6} \text{ M}$ Initial salt concentration: التركيز الابتدائي للملح $C_0 = 0.150 \text{ M}$ Degree of hydrolysis درجة التميؤ $\alpha = \frac{x}{C} = \frac{4.57 \times 10^{-6}}{0.150} =$ $\alpha = 3.05 \times 10^{-5}$</p>
	<p>4. $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ $K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ $[H_2O] = \frac{1000 \text{ g/L}}{18 \text{ g/mol}} \approx 55.5 \text{ mol/L}$ $\alpha = \frac{\text{moles dissociated}}{\text{initial moles}} = \frac{[H^+]}{[H_2O]} = \frac{1.0 \times 10^{-7}}{55.5}$ $\alpha \approx 1.8 \times 10^{-9}$</p>
(9-2)	<p>Since both are strong بما أن كليهما حمض قوي وقاعدة قوية $pH = 2.00 \text{ (HCl)} \Rightarrow [H^+] = 10^{-2} = 0.010 \text{ M}$ $pH = 13.00 \text{ (NaOH)} \Rightarrow pOH = 1.00 \Rightarrow [OH^-] = 10^{-1} = 0.100 \text{ M}$ Equal volumes حجوم متساوية compare moles per same volume قارن عدد المولات لنفس الحجم Acid moles مولات الحمض $\propto 0.010$ Base moles مولات القاعدة $\propto 0.100$ Excess $[OH^-]$ before dilution الفائض من الهيدروكسيد قبل التخفيف $0.100 - 0.010 = 0.090 \text{ M}$ After mixing بعد المزج (volume doubles الحجم يتضاعف) $[OH^-]_{(final)} = 0.090 / 2 = 0.045 \text{ M}$ $pOH = -\log(0.045) \approx 1.3468$ $pH = 14 - 1.3468 \approx 12.65$</p>
(9-3)	<p>$(CH_3)_3NH^+ + H_2O \rightleftharpoons (CH_3)_3N + H_3O^+$ $[H_3O^+] = 10^{-5.34} = 4.57 \times 10^{-6} \text{ M}$</p>

	$\% \text{ hydrolysis} = (4.57 \times 10^{-6} / 0.15) \times 100$ $\% \text{ hydrolysis} = 3.05 \times 10^{-3} \%$
(9-4)	$[\text{H}^+] = 10^{-2.699} \approx 1.9999 \times 10^{-3} \text{ M}$ $\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+ \rightleftharpoons \text{C}_5\text{H}_5\text{N} + \text{H}^+$ <p>Initial (الابتدائي): $[\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+] = 0.25 \text{ M}$, let $x = [\text{H}^+] = 1.9999 \times 10^{-3} \text{ M}$ $[\text{C}_5\text{H}_5\text{N}] = x$, $[\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+] = 0.25 - x$</p> $K_a = \frac{([\text{C}_5\text{H}_5\text{N}][\text{H}^+])}{([\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+])} = \frac{x^2}{(0.25 - x)}$ $K_a = \frac{(1.9999 \times 10^{-3})^2}{0.25 - 1.9999 \times 10^{-3}} \approx 1.61 \times 10^{-5}$ $K_a \times K_b = K_w = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (at } 25^\circ\text{C)}$ $K_b(\text{pyridine}) = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.61 \times 10^{-5}} \approx 6.2 \times 10^{-10}$
(9-5)	$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $n_{(\text{acid H}_2\text{SO}_4)} = 0.126 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \times 0.0357 \text{ dm}^3 = 0.0044982 \text{ mol}$ <p>Moles of NaOH required (2:1 القاعدة من اللازمة من المولات): $n_{(\text{base})} = 2 \times 0.0044982 = 0.0089964 \text{ mol}$</p> <p>Concentration of NaOH تركيز القاعدة</p> $C = \frac{n}{V} = \frac{0.0089964}{0.0250} = 0.3599 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
(9-6)	<p>$\text{pH} = 4 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-4} \text{ M}$ $n_{(\text{H}^+)} = 0.010 \text{ L} \times 10^{-4} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol}$ NaOH: $\text{pOH} = 5 \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-5} \text{ M}$</p> <p style="text-align: right;">الحجم اللازم من القاعدة لهذا العدد من المولات</p> <p>Volume needed so that moles of $\text{OH}^- = 1.0 \times 10^{-6} \text{ mol}$</p> $V = \frac{n}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-6}}{10^{-5}} = 0.10 \text{ L} = 100 \text{ mL}$
(9-7)	<p>First use the given NaOH solution to get K_w at 40°C. يستخدم أولاً محلول القاعدة المعطاة للحصول على K_w عند 40°C.</p> <p>$\text{pH} = 12.00 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-12} \text{ M}$ Strong base (قاعدة قوية): $[\text{OH}^-] \approx 0.038 \text{ M}$ $K_w (T = 40^\circ\text{C}) = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = (10^{-12})(0.038) = 3.8 \times 10^{-14}$</p> <p>For pure water at this temperature (الماء النقي عند هذه الدرجة من الحرارة): $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = (K_w)^{1/2}$ $[\text{H}^+] = (3.8 \times 10^{-14})^{1/2} \approx 1.95 \times 10^{-7} \text{ M}$ $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \approx 6.71$</p> <p>(الماء المتعادل عند درجات حرارة أعلى $\text{pH} < 7$ ولكنه ما يزال متعادلاً) لأن: (Neutral water at higher temperatures has $\text{pH} < 7$; it's still neutral because $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$)</p>

10 - التجارب العملية Practical experiments

إرشادات السلامة في مختبر الكيمياء (دليل الطالب)

Chemistry Laboratory Safety (Student Guide)



السلامة سلوكٌ مُتعلّم ومسؤوليةٌ مشتركة. في كل تجربة فُكّر بهذا الترتيب: خَطِّط للعمل، اضبط مصادر الخطورة، احم نفسك وزملاءك، واستعدّ للاستجابة السريعة. بالإعداد المسبق، والالتزام بمعدات الوقاية، واتباع توجيهات المعلم، تتحول الكيمياء العملية إلى تعلّم آمن وفعال.

Laboratory safety is a learned habit and a shared responsibility. In every experiment, think in this order: plan the work, control the hazards, protect yourself and your peers, and be ready to respond.

When you prepare ahead, use PPE correctly, and

follow your teacher's instructions, you turn practical chemistry into safe, meaningful learning.

Safety rules and procedures

قواعد وإجراءات السلامة

Preparation before the lab

1 الاستعداد قبل المختبر

- اطلع مسبقاً على النشاط وحدّد الأخطار (مواد أكالة، قابلة للاشتعال، سامة، مؤكسدة، غازات مضغوطة) وإجراءات التحكم (معدات الوقاية، خزانة الأبخرة، الكميات، الفصل والتخزين، مسار التخلص).
- تعرّف إلى مكان غسل العين ودشّ السلامة وطفاية/بطانية الحريق وعدة معالجة الانسكابات والإسعاف الأولي ومخارج الطوارئ، وتدرّب على المسار الأقصر للوصول إليها.
- ارتدّ حذاءً مُغلّقاً، وثبّت الشعر والملابس الفضفاضة، وأزل الإكسسوارات المتدلّية. أدخل المختبر بما تحتاجه فقط.
- إذا كانت لديك حساسية جلد/ربو/عدسات لاصقة أو جرح في اليد، أخبر معلّمك ليُعدّل عملك بأمان.

- Read the activity beforehand; identify the hazards (corrosive, flammable, toxic, oxidizer, compressed gas) and the controls you will use (PPE, fume hood, quantities, segregation, waste route).
- Find and know how to use the eyewash, safety shower, fire extinguisher/blanket, spill kit, first-aid kit, and all exits. Practice the path you take in an emergency.
- Wear closed-toe shoes and secure long hair and loose clothing; remove dangling accessories. Bring only what you need to the bench.
- If you have a skin cut, sensitivity, asthma, or wear contact lenses, tell your teacher so your task can be adjusted safely.

Personal protective equipment (PPE)

(2) معدات الوقاية الشخصية

- **العينان:** نظارات واقية مقاومة للرداذ الكيميائي، إلزامية متى وُجدت مواد كيميائية أو لهب/تسخين/ضغط أو زجاجيات - دون استثناء.
- **الجسم:** معطف مختبر مُحكم؛ أبقِ الأكمام بعيداً عن سطح الطاولة. بدّل/اغسل فوراً أي معطف تلوث بالمواد.
- **اليدين:** قفازات مناسبة لطبيعة المادة (النتريل يصلح لمعظم المحاليل المائية - مع مراعاة الاستثناءات التي يذكرها المعلم). بدّل القفاز الممزق أو الملوّث فوراً. تجنّب لمس الهواتف والمقابض بالقفازات.

- **Eyes:** Chemical-splash goggles are required whenever chemicals, flames, heated or pressurized systems, or glassware are in use—no exceptions.
- **Body:** Wear a buttoned lab coat; keep sleeves clear of the bench. Replace/clean any coat contaminated by chemicals the same day.
- **Hands:** Use gloves compatible with the chemical (nitrile suits most aqueous solutions; check your teacher’s table for exceptions). Change torn/contaminated gloves immediately. Do not touch phones, door handles, or taps with gloved hands.

Professional conduct

(3) السلوك المهني

- اعمل فقط بوجود المعلم. يُمنع الأكل والشرب ومضغ العلكة ومستحضرات التجميل. لا تتذوّق المواد ولا تستخدم الشفط بالفم - استعمل أداة الشفط.
- ابدأ التنفيذ بعد فهم الخطوة وسببها. عند الشك: توقّف واسأل. التجارب غير المصرّح بها ممنوعة.

- Work only under teacher supervision. No food, drink, gum, or cosmetics in the lab. Never taste chemicals and never mouth-pipette—use a pipette filler.
- Start only when you understand the step and the reason behind it. If unsure, pause and ask. Unapproved “experiments” are prohibited.

Safe Chemical Handling

(4) التعامل الآمن مع المواد الكيميائية

- أغلق العبوات عند عدم الاستخدام. اقرأ الملصق مرتين وخذ حاجتك فقط. لا تُعد الفائض لعبوة المخزون؛ شاركه أو تخلص منه وفق التعليمات.
- الأبخرة والمساحيق: استخدم خزنة الأبخرة للمواد المتطايرة/النافذة/السامة. تجنّب الاستنشاق.
- المواد الأكالة: عند التخفيف أضف الحمض إلى الماء ببطء مع التحريك (ولا تعكس الترتيب). لطرشة حمض/قلوي على الجلد: اشطف بالماء 15 دقيقة على الأقل وأبلغ المعلم.
- المواد القابلة للاشتعال: أبقها بعيداً عن اللهب والسخانات والشرر. استخدم أقل كمية عملية وأحكم الإغلاق فوراً.
- المؤكسدات/النشطة: فصلها عن الوقود والمواد العضوية، والتزم ترتيب الإضافة والتخزين.

- Keep bottles closed when not in use. Read labels twice and take only what you need. Do not return excess to the stock bottle; share or dispose of it as instructed.
- Fumes and dusts: Work in a fume hood for volatile, pungent, or toxic substances. Avoid inhaling vapors or powders.
- Corrosives: When diluting acids, add acid to water, slowly, with stirring (never the reverse). For small acid/base splashes on skin, rinse with water for at least 15 minutes and inform the teacher.
- Flammables: Keep away from flames, hot plates, and sparks. Use the smallest practical quantity and recap promptly.
- Oxidizers/reactives: Segregate from fuels and organics; follow the specified storage and order of addition.

Glassware, heat, and electrical safety

(5) الزجاجيات والحرارة والكهرباء

- افحص الزجاجيات بحثاً عن الشقوق. لا تُدخِل أنبوباً زجاجياً في سدادة دون تزييت وتقنية صحيحة. حمل القطع الثقيلة بكلتا اليدين عند الحاجة.
- تعامل بحذر مع الزجاج الساخن، استخدم ملقطاً أو قفازات مقاومة للحرارة، ودع السخانات والبواتق تبرد قبل نقلها. وجّه فوهة أنبوب الاختبار بعيداً عنك وعن الآخرين أثناء التسخين.
- احفظ الأسلاك والأيدي جافة، وأبعد السوائل عن المقابس والمفاتيح، وأطفئ الغاز والكهرباء عند الانتهاء.

- Inspect glassware for cracks; do not force glass tubing through stoppers without lubrication and proper technique. Carry one piece at a time with two hands when appropriate.
- Handle hot glass with care, use tongs or heat-resistant gloves; allow hot plates and crucibles to cool before moving. Point test tubes away from people while heating.
- Keep wires and hands dry; keep liquids away from outlets and switches; switch off gas and electricity when not in use.

Organization during the experiment

(6) التنظيم أثناء التجربة

- حافظ على تنظيم السطح، وضع الحقائب بعيداً عن الممرات والمخارج. نظّف الانسكابات المسموح بمعالجتها فوراً وفق إرشادات المعلم.
- لا تصبّ ولا تفرّغ في حاويات فوق مستوى العين. اكتب على الحاويات المؤقتة اسمك، واسم المادة، وتركيزها، وخطرها.
- Keep the bench organized; store bags away from aisles and exits. Clean permitted minor spills immediately as instructed.

- Never pour to or from containers held above eye level. Label temporary containers with your name, chemical, concentration, and hazard.

Waste and decontamination

(7) المخلفات وإزالة التلوث

- لا تُفرِّغ مجهولات أو مواد صلبة في المغسلة إلا بتوجيه. استخدم الحاويات المخصصة للحموض/القواعد، وأملاح المعادن الثقيلة، والمخلفات العضوية، والزجاج المكسور.
- عند الانتهاء: أطفئ الغاز/الماء/الكهرباء، نظّف الأدوات، امسح الطاولات، انزع القفازات، اغسل يديك بالصابون والماء لمدة 20 ثانية، ولا تخلع النظارات إلا بعد إعلان المعلم سلامة المختبر.

- Never pour unknowns or solids down the sink unless you are told to do so. Use designated containers for acids/bases, heavy-metal salts, organics, and broken glass.
- End-of-lab routine: shut off gas/water/electricity, clean glassware, wipe benches, remove gloves, wash hands with soap and water for 20 seconds, and remove goggles only when the teacher declares the lab safe.

Emergencies—act early, stay calm

(8) الطوارئ - بادر وابق هادئاً

- **مادة في العينين/على الجلد:** توجه فوراً إلى غسالة العين أو دشّ السلامة؛ اشطف بالماء لمدة 15 دقيقة فأكثر؛ أزل الملابس الملوثة؛ وأبلغ المعلم.
- **حريق:** تذكّر P.A.S.S. (اسحب-وجه-اضغط-امسح). عند اشتعال الملابس: توقّف وتدحرج أو استخدم بطانية الحريق، ثم اطلب رعاية طبية.
- **انسكاب/كسر:** نبّه من حولك وتراجع؛ بعض الانسكابات تحتاج للمعادلة ولمواد خاصة لامتناسها. اجمع الزجاج المكسور في حاوية مخصصة.
- **قاعدة (قف):** إذا لاحظت خطراً (انسكاب، رائحة قوية، لهب غير مراقب) قل بصوت واضح (قف). يتوقف الجميع حتى تصبح الحالة آمنة.

- **Chemical in eyes/skin:** Go straight to the eyewash or safety shower; flush with water for 15+ minutes; remove contaminated clothing; call the teacher.
- **Fire:** Remember P.A.S.S. (Pull–Aim–Squeeze–Sweep). For clothing fire, stop, drop, and roll or use a fire blanket; seek medical attention afterward.
- **Spills/breakage:** Alert others and step back; some spills require neutralizers or special absorbents. Dispose of broken glass in sharps container only.
- **(STOP) Rule:** If anyone notices a hazard (spill, strong odor, unattended flame), clearly say (STOP). Everyone pauses until the situation is safe.



Beaker

الكأس الزجاجية المدرّجة

وعاء عام للخلط والتسخين الخفيف وحفظ السوائل، تدرجاته تقريبية وليست للقياس الدقيق.

General-purpose vessel for holding, mixing, and gentle heating; graduations are approximate (not for precise measurement).



Graduated Cylinder

المخبار المدرّج

لقياس أحجام السوائل بدقة أعلى من الكأس، وتؤخذ القراءة عند أسفل التقعر وبمستوى العين.

Measures liquid volumes with higher accuracy than a beaker; read the bottom of the meniscus at eye level.



Conical flask

الدورق المخروطي

مناسب للتحريك الدائري دون انسكاب، يقلل التبخر، ويُستخدم للتسخين المعتدل، كما يمكن إحكام إغلاقه بسدادة مناسبة (مطاطية/فلين) لتركيب أنبوب أو مجسّ عند الحاجة. ليس أداة قياس دقيقة للحجم.

Suitable for swirling without spillage, reduces evaporation, and is used for moderate heating; it can also be tightly sealed with an appropriate stopper (rubber or cork) to attach tubing or a probe when needed. It is not a precise volume-measuring device.



Round-bottom Flask

الدورق الكروي

يُستخدم للتسخين المتجانس، الارتجاع (Reflux)، والتقطير؛ شكله الكروي يوزع الإجهاد الحراري بالتساوي، ويُثبّت من عند العنق على الحامل، ويُسند بحلقة فلين/قاعدة دائرية عند الوضع على الطاولة. يُفضّل تسخينه بحمام زيتي أو بطانة تسخين بدل اللهب المباشر.

Used for uniform heating, reflux, and distillation; the spherical body distributes thermal stress evenly. Clamp by the neck on a stand and support with a cork ring when set down. Prefer an oil bath or heating mantle over a bare flame.



Test Tube

لإجراء التجارب بكميات صغيرة والمقارنات السريعة، ويُمسك بحامل عند التسخين وبزاوية لتوزيع الحرارة.

For small-scale reactions and quick comparisons; heat with a tube holder, angled to distribute heat.

أنبوب الاختبار

Watch Glass



لتبخير كميات صغيرة، وتغطية الأكواب مع السماح بمرور الهواء، وحمل مواد صلبة عند الوزن.

Used to evaporate small volumes, cover beakers while allowing gas exchange, and hold solids during weighing.

زجاجة ساعة

Glass Stirring Rod

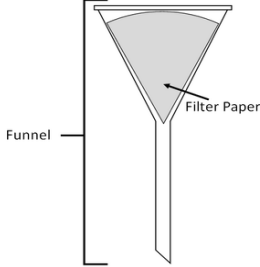


للتحريك الآمن وتوجيه السكب "على الساق" لتقليل الانسكاب، ويمكن خدش الزجاج لتحفيز التبلور.

For safe stirring; directs liquid flow "down the rod" to reduce spills and can scratch glass to induce crystallization.

ساق زجاجية للتحريك

Funnel + Filter Paper



لفصل صلب/سائل بالترشيح بالجاذبية؛ يُبلل الورق أولاً لضمان الإحكام وتجنّب تسرّب الجسيمات.

For solid-liquid separation by gravity filtration; wet the paper to seal and prevent particle bypass.

قمع + ورق ترشيح

Wire Gauze



تُوضع فوق الحلقة المعدنية لتوزيع الحرارة وحماية الزجاجيات من الصدمة الحرارية (غالبًا بمركز خزفي).

Put on a ring to diffuse heat from the burner and protect glassware from thermal shock (often with a ceramic center).

شبكة تسخين

حامل معدني مع حلقة Ring (Retort) Stand + Ring



قاعدة ثقيلة مع قضيب رأسي لتثبيت الحلقات والمشابك ورفع الزجاجيات أو السحّاحات فوق مصدر التسخين.

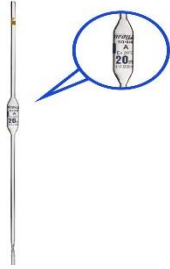
Heavy base with a vertical rod to hold rings/clamps and elevate glassware or burettes above a heat source.



Burette

أداة قياس دقيقة لإيصال الكاشف قطرةً قطرةً في المعايرات؛ تُنَبِّت رأسيًا، تُشَرَّب بالمحلول، يُصَفَّر التدريج، تُؤخذ القراءة بمستوى العين (حتى 0.01 mL)، ويضبط الجريان بالصنوبر مع التحقق من عدم التسرب.

Precision glassware for dropwise titrant delivery; mount vertically, condition with titrant, set zero, read meniscus at eye level (to 0.01 mL), control flow via stopcock, and verify no leaks.



Volumetric Pipette

الماصّة الحجمية

يؤخذ حجم واحد للسائل بدقة عالية. تُملأ بالسائل، تُضبط القراءة عند العلامة، ويتم تصريف السائل بالجاذبية دون نفخ.

A single, highly accurate volume of liquid is delivered. Fill with the liquid, set the reading at the calibration mark, and allow the liquid to drain with gravity without blowing out.

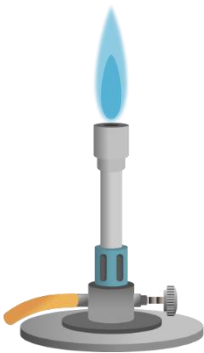


Graduated Pipette

الماصّة المدرّجة

تنتقل مدى من الأحجام بدقة متوسطة؛ تُملأ وتُضبط القراءة، ثم تُصرَّف بالجاذبية حتى العلامة دون نفخ، مع أخذ القراءة عند مستوى العين.

Delivers a range of volumes with moderate accuracy; fill and set the reading, then allow the liquid to drain to the mark by gravity without blow-out, reading the meniscus at eye level.



Bunsen Burner

موقد بنزن

تسخين لهبي مُحكَّم بضبط الغاز والهواء؛ تقليل الهواء يعطي لهبًا أصفر أبرد، وزيادته تعطي لهبًا أزرق غير مضيء، وأعلى حرارة عند قمة المخروط الداخلي. مناسب للتسخين السريع والتعقيم الخفيف؛ أبعد المذيبات القابلة للاشتعال واضبط اللهب ليكون أزرق ثابت.

Controlled flame heating via gas and air adjustment; less air → cooler yellow flame, more air → hot blue flame with the hottest zone at the tip of the inner cone. Suited for quick heating/light sterilization; keep flammables away and tune for a steady blue flame.



Laboratory Thermometer

ميزان حرارة مخبري

لقياس درجة حرارة السوائل أو المخاليط أثناء التسخين/التبريد؛ تُقاس بعد ثبات القراءة دون ملامسة جدار الوعاء.

Measures temperature of liquids/mixtures during heating or cooling; read after stabilization and avoid contact with vessel walls.

Pasteur/Dropper Pipette

قطارة



لإضافة سوائل نقطياً بكميات صغيرة غير مُعايرة بدقّة (أقل دقة من الماصّات القياسية).

For droplet-wise additions of small, non-calibrated volumes (less precise than standard pipettes).

Lab Spatula/Scoop

ملعقة مختبر



لنقل مواد صلبة صغيرة وكشطها وتجميعها بدقّة، وقد تُستخدم للخلط الخفيف.

Transfers small solids, scrapes/collects powders precisely, and can be used for light mixing.

Petri Dish

طبق بتري



وعاء مسطح قليل العمق ذو غطاء شفاف لزراعة الأحياء الدقيقة أو فحص عينات صغيرة على أوساط غذائية (أجار). يُستخدم بظروف معقّمة، ويُحفظ الغطاء نصف مفتوح أثناء العمل لتقليل التلوّث.

A shallow, flat lidded transparent dish for culturing microorganisms or examining small samples on growth media (agar). Use under aseptic conditions; keep the lid partially covering during handling to minimize contamination .

Test Tube Rack

حامل أنابيب اختبار

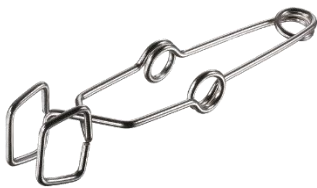


منصة تثبيت منظمة لأنابيب الاختبار أثناء التحضير، الملاحظة، أو بعد التسخين. يمنع التدرج والانسكاب ويسهّل العمل المتوازي والمقارنات. اختر مادة الحامل حسب المهمة: بلاستيك مقاوم للمواد الكيميائية، خشب للعزل الحراري، أو معدن/سلك لثبات أعلى.

An organized stand for holding test tubes during setup/observation or after heating; prevents rolling and spills and enables parallel work. Choose material by task: chemical-resistant plastic, wood for thermal insulation, or metal/wire for added stability.

Test Tube Holder (Clamp)

ماسك أنابيب اختبار



أداة إمساك فردية لأنبوب الاختبار أثناء التسخين أو النقل؛ تُمسك من قرب فوهة الأنبوب، ويوجّهه فم الأنبوب بعيداً عن الوجه والزملاء، مع تحريك الأنبوب عبر اللهب ذهاباً وإياباً لتوزيع التسخين وتجنّب الغليان الفجائي.

A single tube gripping tool for heating or carrying a test tube; grip near the mouth, point the opening away from yourself and others, and move the tube back and forth through the flame to distribute heat and prevent bumping.

Test Tube Brush

فرشاة تنظيف أنابيب



فرشاة بمقبض سلكي لتنظيف الأنابيب والزجاجيات الأسطوانية؛ اختر مقاساً مناسباً، نظّف بلطف بمنظّف خفيف وماء دافئ، وتجنّب كشط القاع أو الزجاجيات المُعايرة.

Wire-handled brush for cleaning test tubes/cylindrical glassware; match size, clean gently with mild detergent and warm water, and avoid scraping or calibrated ware.

Mortar and Pestle

هاون ومدق



أداة لطحن وسحق وخط المواد الصلبة بسرعة وتحكم. استخدم حركة ضغط ثم لفّ، وتجنّب الطرّق، وخصّص أداة لكل فئة مواد لتفادي التلوّث المتبادل، ونظّف وجفّف مباشرة بعد الاستخدام.

Tool for rapid, controlled grinding/crushing and mixing of solids. Use press-and-rotate motion, avoid pounding, dedicate sets to prevent cross-contamination, and clean/dry immediately after use.

Evaporating Dish with Lid

جفنة تبخير مع غطاء



وعاء لتبخير المحاليل وتجفيف الرواسب مع تقليل التناثر والتلوّث. يُوضع الغطاء مائلاً ليمسح بخروج البخار، ويُسخّن تدريجيّاً ويفضّل فوق شبكة تسخين. لا يُحكم إغلاقه أثناء التسخين، ويُمسك بالملقط عند النقل.

Used to evaporate solutions and dry precipitates while minimizing spatter and contamination. Rest the lid ajar to vent vapor; heat gradually—preferably over wire gauze. Do not seal during heating, and handle with tongs when hot.

Digital/Electronic Balance

ميزان إلكتروني



لقياس الكتلة بدقّة: صوّر الوعاء، تجنّب التيارات والاهتزازات والعينات الدافئة، وانتظر ثبات القراءة.

Measures mass accurately: tare the container, avoid drafts/vibrations/warm samples, and record once stable.

Hot Plate

سخان كهربائي



تسخين مُتحكّم بلا لهب؛ مناسب للمذيبات القابلة للاشتعال. استخدم زجاجيات مقاومة للحرارة وعلى سطح مستوٍ، ولا تسخّن أوعية محكمة الإغلاق.

Flameless, controlled heating is safer for flammables. Use heat-resistant glassware on a flat surface; never heat-sealed containers.

Laboratory safety symbols

رموز السلامة في المختبر

الوصف Description	رمز السلامة Safety symbol	الوصف Description	رمز السلامة Safety symbol
مخلوقات و مواد حيّة قد تُسبب ضرراً للإنسان Organisms and biological materials that may cause .harm to humans		يجب اتباع خطوات التخلص من المواد You must follow the proper steps for disposing of substances	
أدوات حادة قد تجرح الجلد Sharp tools that may cut the skin		أشياء قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدة Objects that can burn the skin due to extreme heat or cold	
خطر محتمل من الصعقة الكهربائية Potential risk of electric shock		خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة Potential risk to the respiratory system from fumes	
مواد كيميائية يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتلفها Chemical substances that can react with tissues and other materials and damage them		مواد قد تهيج الجلد Substances that may irritate the skin	
مواد قابلة للاشتعال عند تعرضها للهب أو الشرر أو الحرارة Flammable materials when exposed to flame, sparks, or heat		مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست Substances that cause poisoning if swallowed, inhaled, or touched	
مواد يمكن أن تبقع الملابس أو تحرقها Substances that can stain or burn clothing		ترك اللهب مفتوحا قد يسبب الحريق Leaving an open flame may cause a fire	
يجب ارتداء النظارات الواقية Safety goggles must be worn		المواد المستعملة مشعة The materials in use are radioactive	
تأكد من سلامة الحيوانات في المختبر Ensure the safety of animals in the laboratory		اغسل يديك بعد التجربة بالماء والصابون Wash your hands after the experiment with soap and water	

الهدف

تعيين مولارية حمض الخليك في الخل التجاري ثم حساب نسبته الكتلية باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ودليل الفينولفتالين.



Purpose

Determine the molarity of acetic acid in a commercial vinegar sample and report its mass percent, using a provided standardized sodium hydroxide solution and phenolphthalein as the endpoint indicator.

الكواشف والأدوات

- محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ~ 0.10 M .
- خل تجاري.
- دليل الفينولفتالين (1%).
- ماء مقطر.
- سحّاحة 25mL (+ حامل ومشبك)، أسطوانة مدرّجة 10 mL (للشطف عند الحاجة).
- ماصّة حجمية 2.00 mL مع مائة الماصة.
- دوارق مخروطية (125–250 mL) عددها على الأقل 3 .
- زجاجة غسل بماء مقطر.
- كأس أو وعاء نفايات، مناديل مختبرية .

Provided Reagents and Materials

- Standardized sodium hydroxide solution, ~0.10 M (exact molarity provided separately).
- Commercial vinegar.
- Phenolphthalein indicator (1%) .
- Distilled water.
- 25 mL burette (+ stand and clamp), 10 mL graduated cylinder (for rinsing if needed).
- Volumetric pipette, 2.00 mL, with pipette filler.
- Conical flasks (125–250 mL), at least 3 .
- Wash bottle with distilled water.
- Beaker or waste container, laboratory tissue.

تعليمات السلامة

- ارتد نظارات واقية ومعطف وقفازات.
- هيدروكسيد الصوديوم مادة كاوية؛ اغسل فوراً أي تلامس جلدي بالماء.
- املاً السحّاحة وهي غير مُثبتة وتحت مستوى الكتف.
- تَبَّت الزجاجيات وامسح طرف السحّاحة.
- تقليل امتصاص CO₂: أبقِ زجاجة NaOH مغلقة ولا تتركه طويلاً في السحّاحة.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
- NaOH is corrosive; rinse skin exposure immediately with water.
- Fill the burette off the clamp and below shoulder level.
- Keep glassware stable; wipe the burette tip before each titration.
- Minimize CO₂ uptake: keep the NaOH bottle closed; don't leave NaOH in the burette longer than necessary.

فحوصات ما قبل المعايرة

- اشطف/هَيِّئ السَّحَّاحَة بمحلول NaOH القياسي ثم املاها.
- علِّم ثلاثة دوارق مخروطية للخطوات المكررة (1–3).

Pre-Titration Checks

- Rinse/condition the burette with standardized NaOH, then fill it.
- Label three clean conical flasks (Trial 1–3).

تحضير العينات (للمحاولات الثلاثة)

- نصيحة جودة: اشطف الماصّة الحجمية بالخل (2–3 مرات بكميات قليلة) قبل السحب.
- باستخدام ماصّة 2.00 mL انقل 2.00 mL من الخل إلى كل دورق مُعلِّم.
- أضف ~25–50 mL ماء مقطر لكل دورق لضمان مزج كافٍ.
- أضف 3 قطرات من الفينولفثالين.

Sample Preparation (Three Replicates)

- Good practice: Pre-rinse the volumetric pipette with vinegar (2–3 small rinses).
- Using the 2.00 mL volumetric pipette, transfer 2.00 mL of vinegar into each labeled conical flask.
- Add ~25–50 mL distilled water to each flask for adequate mixing.
- Add 3 drops of phenolphthalein indicator.

المعايرة (لكل محاولة)

- ضع الدورق تحت السَّحَّاحَة وخفِّض الطرف داخله. سجِّل القراءة الابتدائية لأقرب 0.02 mL.
- عاير بـ NaOH مع تحريكٍ مستمر. ابدأ أسرع ثم خفِّف المعدل عند بدء ثبات اللون الوردي الباهت.
- أضف القاعدة قطرةً قطرةً حتى يظهر لون ورديّ باهت متجانس يدوم قرابة 30 ثانية.
- سجِّل القراءة النهائية واحسب حجم NaOH.
- كرِّر للمرتين المتبقيتين. يُفضَّل أن تتفق الأحجام ضمن ~0.05–0.10 mL.

Titration (Repeat for Each Trial)

- Place the flask under the burette; lower the tip into the flask. Record the initial burette reading (to 0.02 mL).

- Titrate with standardized NaOH with continuous swirling. Begin faster, then reduce the rate as a faint pink starts to persist.
- Add NaOH dropwise until a uniform, faint pink persists for ~30 s.
- Record the final burette reading (to 0.02 mL). Compute V_{NaOH} by subtraction.
- Repeat for Trials 2 and 3. Replicates should agree within ~0.05–0.10 mL.

الحسابات

- حجم الخل = 2.00 mL = 0.00200 L
- معادلة التفاعل: (نسبة 1 : 1) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$

لكل محاولة:

- $n(\text{NaOH}) = M(\text{NaOH}) \times V_L(\text{NaOH})$ عدد مولات القاعدة
- $n(\text{NaOH}) = n(\text{acid})$ عدد مولات القاعدة = عدد مولات الحمض
- $M(\text{acid}) = n(\text{acid}) / 0.00200$ التركيز المولاري للحمض
- النسبة الكتلية (m/m%) بافتراض الكثافة = $1.00 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ والكتلة المولية = $60.05 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- كتلة العينة $\approx 2.00 \text{ g}$
- $m(\text{acid}) = n(\text{acid}) \times 60.05$ كتلة الحمض
- $m/m \% = (m(\text{acid}) \div 2.00) \times 100$ النسبة الكتلية للحمض في محلول الخل التجاري

Calculations

- $V(\text{vinegar}) = 2.00 \text{ mL} = 0.00200 \text{ L}$
- Reaction (1:1): $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$

For each trial:

- $n(\text{NaOH}) = M(\text{NaOH}) \times V_L(\text{NaOH})$
- $n(\text{NaOH}) = n(\text{acid})$
- $M(\text{acid}) = n(\text{acid}) / 0.00200$

Mass percent acetic acid (m/m%) (assume density = $1.00 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$), $M_r = 60.05 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$:

- Sample mass $\approx 2.00 \text{ g}$
- $m(\text{acid}) = n(\text{acid}) \times 60.05$
- $m/m \% = (m(\text{acid}) \div 2.00) \times 100$

التنظيف

- صرّف النفايات في الوعاء المخصّص.
- اشطف السحاحة بماء مقطر وخرّنها مقلوبةً والصنبور مفتوح.
- نظّف السطح واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect waste in the designated container.
- Rinse the burette with distilled water, store inverted with stopcock open.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- القراءات الابتدائية والنهائية للسحاحة لكل محاولة.
- حجم القاعدة (NaOH) V (ملتر) لكل محاولة.
- تركيز الحمض M (acid) لكل محاولة والمتوسط الحسابي.
- نسبة حمض الخليك m/m% لكل محاولة والمتوسط الحسابي.

ملاحظة عملية: بتركيز $\text{NaOH} \approx 0.10 \text{ M}$ وخلّ نموذجي $\approx 5\%$ ، سيكون حجم المعاير المطلوب لكل عينة حجمها 2.00 mL قرابة 16–17 mL؛ وهذا مريح داخل سحاحة حجمها 25 mL دون الحاجة لإعادة تعبئتها.

Data that is recorded

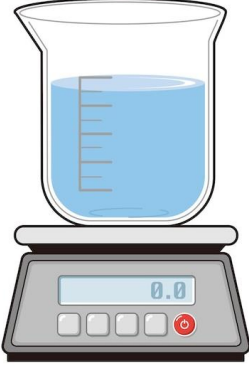
- Initial and final burette readings for each trial.
- V (NaOH) (mL) for each trial.
- M (acid) for each trial and the average M (acid).
- Mass percent acetic acid (%m/m) for each trial and the average %m/m.

Practical note: With NaOH at $\approx 0.10 \text{ M}$ and typical vinegar at $\approx 5\%$, the titrant volume required for each 2.00 mL sample is about 16–17 mL. This fits comfortably within a 25 mL burette without needing to refill.

2- تجربة تحديد النسبة المئوية لبicarbonات الصوديوم في خليط

Experiment to determine the Percentage of Sodium Bicarbonate in a Mixture

الهدف



تعيين النسبة المئوية الكتلية لبicarbonات الصوديوم NaHCO_3 في خليطٍ صلبٍ يحتوي على كلوريد الصوديوم NaCl (خامل تجاه الحمض) بقياس كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المفقودة عند تفاعل العينة مع حمضٍ مخفّف، ثم تحويل كتلة CO_2 إلى كتلة NaHCO_3 وفق الحسابات الكيميائية (الستويكيومترية).

Purpose

Determine the mass percent of NaHCO_3 in a solid mixture containing NaCl (inert to acid) by measuring the mass of CO_2 released upon reaction with dilute acid and converting CO_2 mass to NaHCO_3 mass using chemical stoichiometric calculations.

الكواشف والأدوات

- خليط صلب مطحون جيّدًا من $\text{NaHCO}_3/\text{NaCl}$ (نسبة NaHCO_3 مجهولة).
- حمض هيدروكلوريك مخفّف $\sim 0.50 \text{ M HCl}$ (بديل أضعف: خلّ تجاري).
- ماء مقطر للشطف الداخلي لجدران الدورق.
- دورق مخروطي (125–250 mL) مع غطاء مُنفذ (زجاجة ساعة أو رقائِق ألومنيوم مثقّبة بثقب دبوس).
- ماصّات/قطّارات لإضافة الحمض تدريجيًا.
- ميزان إلكتروني (دقة $\pm 0.01 \text{ g}$ أو أفضل).
- ورق وزن جاف، مناديل مختبرية، كأس نفايات، حامل.

Indicators and Materials

- Finely ground $\text{NaHCO}_3/\text{NaCl}$ solid mixture (unknown NaHCO_3 fraction).
- Dilute $\text{HCl} \sim 0.50 \text{ M}$ (household vinegar is an acceptable weaker alternative).
- Distilled water (to rinse down flask walls).
- Erlenmeyer flask (125–250 mL) with a vented cover (watch glass or pin-holed foil).
- Droppers/Pasteur pipettes for gradual acid addition.
- Electronic balance (resolution $\pm 0.01 \text{ g}$ or better).
- Dry weighing paper, lab tissues, waste beaker, stand.

تعليمات السلامة

- نظارات واقية، معطف مختبر، قفازات طوال الوقت.
- HCl مادة مسببة للتآكل: اغسل أي ملامسة جلدية فورًا بالماء.
- أجر التفاعل داخل دورقٍ مغطّى بغطاء مُنفذ صغير للسماح بتحرر CO_2 وتقليل الرذاذ.

- تجنّب الاستنشاق المباشر؛ اعمل في مكان جيّد التهوية.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves always.
- HCl is corrosive - rinse any skin contact immediately with water.
- Carry out reactions in a flask loosely covered to vent CO₂ and suppress splashes.
- Avoid direct inhalation; ensure good ventilation.

فحوصات ما قبل البدء

- جفّف جميع الزجاجيات (الرطوبة تُحرّف قيم الكتلة).
- ضع الميزان على سطح مستوٍ واضبط الصفر (tare).
- حضّر الغطاء المُنفذ (زجاجة ساعة أو رقائق ألومنيوم بثقب دبوس).

Pre-Test Checks

- Dry all glassware (moisture biases mass readings).
- Level and tare the balance.
- Prepare a vented cover (watch glass or pin-holed foil).

تحضير العينات (ثلاث مكررات على الأقل)

- زن كتلة من الخليط $m_{\text{sample}} \approx 1.50\text{--}2.00$ g على ورق وزن جاف.
- انقل العيّنة إلى دورقٍ مخروطي جاف (125–250 mL).
- أضف $\approx 15\text{--}25$ mL من $\text{HCl} \sim 0.50$ M تدريجيًا بالقطارة مع تحريكٍ لطيف، ثم غطّ الدورق بغطاء مُنفذ.

Sample Preparation (\geq Three Replicates)

- Weigh $m_{\text{sample}} \approx 1.50\text{--}2.00$ g of the mixture on dry weighing paper.
- Transfer to a dry Erlenmeyer flask (125–250 mL).
- Add $\approx 15\text{--}25$ mL of ~ 0.50 M HCl gradually with gentle swirling; cover the flask vented.

الإجراء (لكل محاولة)

- الكتلة الابتدائية: ضع الدورق + العيّنة + الغطاء على الميزان وسجّل m_{initial} الكتلة الابتدائية.
- أضف الحمض قطرةً قطرةً حتى يتوقف الفوران (CO₂). اشطف الجدران الداخلية بقليل ماء مقطر لإسقاط أي بقايا صلبة.
- أضف قطراتٍ إضافية من الحمض للتأكد من تمام التفاعل (لا فقاعات جديدة).
- امسح الخارج بمناديل، وانتظر استقرار القراءة ($\approx 30\text{--}60$ s) ثم سجّل m_{final} الكتلة النهائية.
- **الضابط الفارغ (اختياري موصى به) - توضيح مهم:**
الضابط الفارغ هو تنفيذ تجربةٍ مطابقة دون العيّنة (نفس الدورق، نفس حجم/تركيز الحمض، نفس الغطاء والزمن)، لقياس فرق كتلة ناتج عن التبخر أو الرذاذ فقط. نحسبه كالتالي:
 $\Delta m_{\text{blank}} = \text{الكتلة الابتدائية (blank)} - \text{الكتلة النهائية (blank)}$
ثم نطرحه من الفقد الكلي في التجربة الحقيقية لتحديد كتلة CO₂ فقط.

- كرّر لمحاولتين إضافيتين على الأقل، واستهدف تقارب m_{CO_2} ضمن $0.05-0.02 \pm$ g بين المحاولات.

Procedure (Per Trial)

- Initial mass: Flask + sample + cover → record $m_{initial}$.
- Add acid dropwise until effervescence ceases (CO_2). Rinse down walls with a little distilled water.
- Add a few extra drops of acid to verify completion (no new bubbles).
- Dry the outside; when stable, record m_{final} .

- **Blank (recommended) - clear definition:**

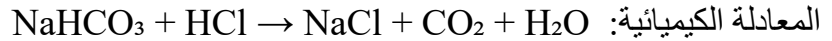
The blank is a matching run without the sample (same flask, same acid volume/concentration, same cover and time) to measure mass change due only to evaporation/splashes. Compute as follows:

$$\Delta m_{blank} = m_{initial}(blank) - m_{final}(blank)$$

then subtract it from the total mass loss to determine the mass of CO_2 only.

- Repeat for ≥ 2 more trials; aim for $\pm 0.02-0.05$ g agreement in m_{CO_2} .

الحسابات



- كتلة الغاز المفقود:
- m_{CO_2} كتلة الغاز = (m الكتلة الابتدائية - m الكتلة النهائية) - Δm_{blank} كتلة الضابط
- عدد المولات (الحسابات الكيميائية): $n_{CO_2} = m_{CO_2} / 44.01$
- وبحسب الحسابات الكيميائية (نسبة 1:1): $n_{NaHCO_3} = n_{CO_2}$
- كتلة البيكربونات في العينة: $m_{NaHCO_3} = n_{CO_2} \times 84.0066$
- النسبة المئوية الكتلية = (كتلة $NaHCO_3$ ÷ كتلة العينة) $\times 100$
- $\% NaHCO_3 = (m_{NaHCO_3} / m_{sample}) \times 100$

Calculations



- $m_{CO_2} = (m_{initial} - m_{final}) - \Delta m_{blank}$
- $n_{CO_2} = m_{CO_2} / 44.01 \Rightarrow n_{NaHCO_3} = n_{CO_2}$
- $m_{NaHCO_3} = n_{CO_2} \times 84.0066$
- $\% NaHCO_3 = (m_{NaHCO_3} / m_{sample}) \times 100$

التنظيف

- صرّف المحاليل الملحية المخففة في وعاء النفايات المخصّص ووفق سياسة المختبر.
- اشطف الزجاجيات بالماء المقطر ونظّفها وجفّفها.
- امسح سطح الطاولة واغسل اليدين.

Clean-Up

- Dispose of diluted salt/acid solutions per lab policy.
- Rinse, clean, and dry glassware.
- Wipe benches and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- كتلة العينة m_{sample} ، الكتلة الابتدائية m_{initial} ، الكتلة النهائية m_{final} ، كتلة الشاهد التصحيحية Δm_{blank} (إن وُجد)، وكتلة الغاز المحسوبة m_{CO_2} .
- عدد مولات الغاز n_{CO_2} ، عدد مولات البيكربونات m_{NaHCO_3} ، النسبة المئوية الكتلية للبيكربونات $\% \text{NaHCO}_3$ لكل محاولة.
- ملاحظات عملية (زمن الفوران، إضافة حمض تأكسدية، استقرار القراءة).

Data to be recorded

- m_{sample} , m_{initial} , m_{final} , Δm_{blank} (if used), computed m_{CO_2} .
- n_{CO_2} , m_{NaHCO_3} , $\% \text{NaHCO}_3$ per trial.
- Procedural notes (effervescence time, confirmation acid addition, reading stability).

ملاحظة عملية | Practical note

- استخدام غطاء مُنفذ يقلل الفقد بالتناثر ويحدّ التبخر.
- اختيار كتلة العينة تقريبا $m_{\text{sample}} \sim 2 \text{ g}$ يعطي كتلة الغاز المتصاعد تقريبا $m_{\text{CO}_2} \sim 0.3\text{--}0.6 \text{ g}$ لقياسات أوضح.
- عند الشك في تمام التفاعل، أضف قطرات حمض إضافية: إذا لم تظهر فقاعات جديدة فالتفاعل تام.
- يمكن استخدام الخلّ بدل HCl لبيئة أكثر أماناً؛ الحساب يبقى صحيحاً لأنه يعتمد على كتلة CO_2 فقط.

- Using a vented cover (watch glass or pin-holed foil) reduces splashing and limits evaporation, improving mass accuracy.
- Choosing $m_{\text{sample}} \approx 2 \text{ g}$ typically yields $m_{\text{CO}_2} \approx 0.3\text{--}0.6 \text{ g}$, which is easier to measure reliably on a $\pm 0.01 \text{ g}$ balance.
- If you are unsure the reaction is complete, add a few extra drops of acid: if no new bubbles appear, the reaction is complete.
- Household vinegar may be used instead of HCl for a safer setup; the mass-based calculation remains valid because it depends only on the measured CO_2 mass.

3- تجربة التعرف النوعي على محاليل مجهولة

Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment

الهدف

تميز هوية ستة محاليل مائية شفافة مجهولة بالاستدلال من مشاهدات بسيطة عند مزج أزواج المحاليل: تكوّن الراسب، تصاعد الغاز، وتغيّر لون الدليل؛ ثم توثيق النتائج بكتابة المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.



Purpose

Identify the contents of six colorless unknown aqueous solutions by observing simple qualitative cues during pairwise mixing—precipitate formation, gas evolution, and indicator color change—and justify the identifications by writing net ionic equations for the key reactions.

الكواشف والأدوات

- ستة محاليل مجهولة شفافة يختارها مساعد المختبر من المجموعة:
 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$, $\text{BaCl}_2(\text{aq})$, $\text{NaCl}(\text{aq})$, $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$, $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$, $\text{HCl}(\text{aq})$
- ماء مقطر، ورقة بيضاء كخلفية للملاحظة.
- أنابيب اختبار مرقّمة (6) + أنابيب إضافية للمزج الثنائي.
- ماصّات تقطير/قطّارات مخصّصة قدر الإمكان، حامل أنابيب، فرشاة تنظيف.
- كأس/وعاء نفايات.
- فينولفتالين 1% (اختياري) أو ورق تباع الشمس كدليل حمض/قاعدة.

Indicators and Materials

- Six unknown colorless solutions selected (unrevealed to students) from:
 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$, $\text{BaCl}_2(\text{aq})$, $\text{NaCl}(\text{aq})$, $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$, $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$, $\text{HCl}(\text{aq})$
- Distilled water; white paper as viewing background.
- Numbered test tubes (6) + extra tubes for pairwise tests.
- Dedicated droppers/Pasteur pipettes when possible; test-tube rack; brush.
- Beaker/waste container.
- Phenolphthalein 1% (optional) or litmus paper as an acid–base indicator.

تعليمات السلامة

- ارتد نظارات واقية ومعطف وقفازات طوال الوقت.
- HCl مادة مسببة للتآكل؛ و AgNO_3 يلوّن الجلد والملابس ومُهَيِّج للعَيْنين - تجنّب الملامسة المباشرة.
- محلول الفينولفتالين غالبًا كحولي وقابل للاشتعال: استخدمه بعيدًا عن اللهب ومصادر الشرر.
- اعمل في مكان جيّد التهوية، وجمّع فضلات الفضة بشكل منفصل إن أمكن.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
- HCl is corrosive; AgNO₃ stains skin/fabrics and irritates eyes - avoid direct contact.
- Phenolphthalein solutions are typically alcohol-based and flammable: keep away from ignition sources.
- Work in a well-ventilated area; collect silver-containing waste separately if possible.

فحوصات ما قبل البدء

- تأكد من نظافة الأنابيب وخلوها من بقايا الكربونات/الهيدروكسيد.
- رقم 6 أنابيب (1-6) وضع في كلٍ منها $\approx 15-20$ mL من محلول مجهول.
- جهّز 6-8 أنابيب إضافية للمزج الثنائي، واستخدم قطارات منفصلة قدر الإمكان.
- جهّز ورقة تسجيل للملاحظات وجدول المزج.

Pre-Test Checks

- Ensure tubes are clean and free of residual carbonate/hydroxide.
- Label tubes 1-6 and place $\approx 15-20$ mL of an unknown in each.
- Prepare 6-8 spare tubes for pairwise mixing; dedicate droppers when possible.
- Prepare an observation sheet and the mixing matrix.

تحضير العينات

- استخدم أحجامًا صغيرة ومتساوية عند المزج (مثل 1-2 mL من كل محلول).
- يمكن استخدام قطرة فينولفثالين أو ورق تباع الشمس لإظهار سلوك حمضي/قاعدي.
- دوّن فورًا: وجود لون أو راسب، تصاعد الغاز، تغيير لون الكاشف.

Sample Preparation

- Use small equal volumes (1-2 mL of each solution per mix).
- Optionally use one drop phenolphthalein or litmus for acid-base behavior.
- Record Immediately: precipitate presence/color, gas effervescence, indicator change.

التجربة (مزج أزواج المحاليل)

باستخدام تفاعلات أزواج المحاليل، حدّد هوية كل أنبوب. امأ الجدول بالملاحظات. يكفي ملء نصف الجدول؛ أكمل النصف الآخر فقط إذا كرّرت المزج بالعكس للتحقق.

Pairwise Tests

Mix pairs systematically and complete the table. Filling one triangular half is sufficient; fill the other half only if repeating in reverse as a check.

	1	2	3	4	5	6
1	-----					
2		-----				
3			-----			
4				-----		
5					-----	
6						-----

إشارات رئيسية متوقعة (للمعلم كمرشد لا يُسلّم للطلاب)

- $\text{HCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ (فقاعات واضحة) + محلول عديم اللون
 $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ راسب أبيض (مصدر Cl^- من NaCl أو HCl)
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
- $\text{Ag}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s})$ راسب فاتح قد يذوب مع الحمض مع تصاعد CO_2
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s})$
- $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$ راسب أبيض غير ذائب
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$
- $\text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{BaCO}_3(\text{s})$ راسب أبيض
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaCO}_3(\text{s})$

Key Cues (for teacher, not handed to students)

- $\text{HCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ (clear fizzing) + colorless solution.
 $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ white precipitate (from NaCl or HCl).
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
- $\text{Ag}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s})$ (off-white; dissolves with acid, releasing CO_2)
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s})$
- $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$ (white precipitate, insoluble white).
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$
- $\text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{BaCO}_3(\text{s})$ (white precipitate).
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaCO}_3(\text{s})$

التحليل والاستدلال

- ابدأ بالعلامات القاطعة: CO_2 يكشف زوج ($\text{H}^+/\text{CO}_3^{2-}$)، و $\text{BaSO}_4(\text{s})$ يربط Ba^{2+} مع SO_4^{2-} ، و $\text{AgCl}(\text{s})$ يثبت وجود Ag^+ مع مصدر Cl^- .

- كَوْن بصمة تفاعلية لكل أنبوب بمقارنة استجاباته مع بقية الأنابيب، ثم حدد الهوية.
- دَوْن الصيغ النهائية للأنابيب الستة، واكتب المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات التي استندت إليها.

Analysis and Inferencing

- Start from decisive cues: CO_2 ($\text{H}^+/\text{CO}_3^{2-}$ pair), $\text{BaSO}_4(\text{s})$ (Ba^{2+} with SO_4^{2-}), $\text{AgCl}(\text{s})$ (Ag^+ with Cl^-).
- Build a reaction fingerprint for each tube by comparing its responses to all others, then assign identities.
- Record the final identities and write the net ionic equations used.

التنظيف

- اجمع فضلات الفضة (Ag^+/AgCl) في وعاء منفصل إن أمكن؛ صرّف البقية حسب سياسة المختبر.
- اشطف الأنابيب بالماء المقطر ونظّفها بفرشاة عند الحاجة.
- نظّف سطح الطاولة واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect Ag-containing wastes (Ag^+/AgCl) separately if possible; dispose the rest per lab policy.
- Rinse test tubes with distilled water; brush clean as needed.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- جدول المشاهدات لكل مزج ثنائي (راسب/لونه/ثباته، غاز، تغيّر لون الكاشف).
- الصيغ/الأسماء النهائية للمحاليل الستة المرتبطة بأرقام الأنابيب.
- المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.

Data to be recorded

- Observation matrix for each pairwise mix (precipitate/color/stability, gas, indicator change).
- Final identities (formulas/names) for the six tube numbers.
- Net ionic equations support the deductions.

لمساعد المختبر فقط - تحضير المحاليل (تركيزات مقترحة)

AgNO_3 , BaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaCl :0.10 M
HCl :0.50 M (مخفف)

ملاحظات: اغسل الزجاجيات جيدًا لتجنّب أثر الكربونات/الهيدروكسيد. استخدم قطّارات مخصّصة لمنع التلوّث المتبادل الذي قد يولّد رواسب كاذبة.

For Lab Assistants Only - Solution Preparation (Suggested concentrations)

0.10 M: AgNO₃, BaCl₂, Na₂SO₄, Na₂CO₃, NaCl

0.50 M: HCl (dilute)

Notes: Thoroughly wash all glassware to avoid residual carbonate/hydroxide. Use dedicated droppers/pipettes whenever possible to prevent cross-contamination that could produce false precipitates.

ملاحظة عملية | Practical note

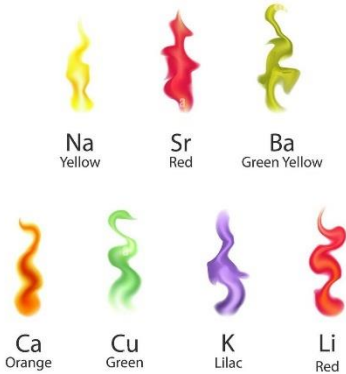
استخدم أحجامًا صغيرة متساوية (1–2 mL) وخلفية بيضاء لرؤية الرواسب الباهتة. أعد أي مزج غير حاسم للتحقق من النمط. عند الاشتباه بين NaCl و HCl، اختبر كليهما مع Na₂CO₃: ظهور CO₂ يثبت وجود الحمض (HCl).

Use small, equal volumes (1–2 mL) and observe over a white background to visualize faint precipitates. Repeat any ambiguous pairwise mixes to confirm patterns. When uncertain between NaCl and HCl, test both against Na₂CO₃: the appearance of CO₂ bubbles confirms the acid (HCl).

4- تجربة بصمة العناصر في اللهب - اختبار الألوان الذرية

The elements fingerprint experiment in flame — The Atomic Colors Test experiment

الهدف



تمييز كاتيونات القلويات والقلويات الترابية Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} عبر ألوان اللهب المميزة، مع توثيق الملاحظات بلغة قياسية قابلة للتقييم (لون/شدة/زمن) مع لغز المجهولات A–F.

Purpose

Identify alkali and alkaline-earth cations (Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+}) by their characteristic flame colors, and record observations in a consistent, gradable format (color/intensity/time) with an A–F unknowns puzzle..

الكواشف والمواد الكيميائية والأدوات

- أملاح مناسبة (صلبة بكميات صغيرة جدًا $\approx 1-2$ mg أو محاليل $0.5-1.0$ M : $LiCl/LiNO_3$, $NaCl/NaNO_3$, KCl/KNO_3 , $CaCl_2/Ca(NO_3)_2$, $SrCl_2/Sr(NO_3)_2$, $BaCl_2/Ba(NO_3)_2$.

- حمض هيدروكلوريك مخفف $1-2$ M (أضف قطرة صغيرة ≈ 0.03 mL لزيادة تطاير الكلوريدات).



- ماء مقطر، إيثانول 70% (للتجفيف بعيدًا عن اللهب - اختياري).
- موقد بنزن أو موقد غاز بيوتان صغير بلهب أزرق قابل للضبط.
- أدوات حمل العينة (ثلاثة خيارات معتمدة):

- 1- أعواد خشبية نظيفة.
- 2- حلقة سلك بلاتين صغيرة (الأدق علميًا إن توفرت).
- 3- حلقة سلك ستانلس غير مجلفن (بديل متوافر؛ يُختبر فارغًا قبل الاستخدام).

- شرائط ورق ترشيح مقصوصة ($\approx 5 \times 0.5$ سم) + مشبك معدني/ملقط.
- مرشح أزرق (زجاج كوبالت أو بديل مدرسي)، قطارات، أطباق/أنابيب صغيرة، خلفية ورقية بيضاء، ساعة إيقاف، مناديل، ملاقط.

Indicators, reagents and Materials

- Suitable salts (solids in very small amounts $\approx 1-2$ mg or $0.5-1.0$ M solutions: $LiCl/LiNO_3$, $NaCl/NaNO_3$, KCl/KNO_3 , $CaCl_2/Ca(NO_3)_2$, $SrCl_2/Sr(NO_3)_2$, $BaCl_2/Ba(NO_3)_2$.
- Diluted HCl, $1-2$ M (add a small drop ≈ 0.03 mL to enhance volatility).
- Distilled water, 70% ethanol (off-flame drying, optional).
- Bunsen burner or small butane gas burner with an adjustable blue flame.
- Sample holders (three approved options):

- 1- clean wooden splints
 - 2- platinum loop (preferred if available)
 - 3- non-galvanized stainless-steel loop (blank-tested).
- Filter-paper strips ($\approx 0.5 \times 5$ cm) + metal clip/tongs.
 - Cobalt/blue filter, droppers, small dishes/tubes, white background, timer, tissues, tongs.

تعليمات السلامة

- نظارات واقية، معطف، قفازات؛ اربط الشعر الطويل وتجنّب الأكمام الفضفاضة.
- أبقِ المواد القابلة للاشتعال والإيثانول بعيداً عن منطقة اللهب، ولا تقرب أي مرشح/بلاستيك من النار.
- استخدم HCl المخفف بقطرة صغيرة، وعلى بُعد من اللهب، ومع تهوية مناسبة.
- الباريوم سام نسبياً: استخدم كميات صغيرة جداً وجمع سوائله في وعاء نفايات مخصّص (لا تُصرف في المغسلة).
- لا تمرّر الوجه/اليد فوق اللهب، وأطفئ اللهب قبل ترتيب الأدوات أو نقلها.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves; tie back long hair and avoid loose sleeves.
- Keep flammables and ethanol away from the flame zone; never bring filters/plastics near flames.
- Use diluted HCl sparingly, away from the burner, and ensure good ventilation.
- Barium solutions are toxic: use very small quantities and collect liquids in a dedicated waste container (do not pour into the sink).
- Do not pass face/hands over the flame; extinguish the flame before rearranging equipment.

ضبط اللهب

- اضبط فتحة الهواء للحصول على لهب أزرق غير مُتوهج (مخروط داخلي واضح).
- إذا ظهر لهب أصفر (احتراق غير كامل)، أوقف العمل وأعد الضبط قبل القياس.

Flame Setup

- Adjust the air intake to obtain a non-luminous blue flame (clear inner cone).
- If a yellow flame appears (incomplete combustion), stop and re-adjust before measurements.

فحوصات ما قبل البدء

- تنظيف الطرف/الحلقة:
 - 1- عود خشبي: سخّن طرف عود نظيف سريعاً للتأكد من خلّوه من ألوان، ثم اتركه يبرد.
 - 2- حلقة بلاتين: نظّف باللهب حتى يختفي اللون، ثم أضف قطرة صغيرة من HCl المخفف، ثم اشطف بماء مقطّر، ثم نظّف باللهب ثانيةً.

3- حلقة ستانلس (غير مجلفن): انقع 2-3 دقائق في HCl مخفف 1-2 M لإزالة الأكاسيد، ثم اشطف بماء مقطر، ثم نظف باللهب؛ بعد ذلك نفذ اختباراً ضابطاً فارغاً باللهب (دون عينة) وتأكد أنه لا يوجد لون.

- اختبار ضابط فارغ (Blank) إلزامي قبل أول عينة، وبين العينات الحساسة: مرر الأداة في اللهب وسجل "لا يوجد لون". إن ظهر لون، أعد التنظيف حتى يختفي.
- ظروف الرؤية: خفض الإضاءة قليلاً دون إظلام المختبر، وثبت الخلفية البيضاء وزاوية النظر.
- ترتيب القياس المقترح: ابدأ بـ Li/K (الألوان الأضعف)، ثم Ca/Sr/Ba، وأخيراً Na لتقليل تلوث الصوديوم.

Pre-Test Checks

- Clean the holder:
 - 1- Wooden splint: briefly flame-check a clean tip to ensure no color, then cool.
 - 2- Platinum loop: flame to colorless, add a small drop of dilute HCl, rinse with distilled water, flame again.
 - 3- Non-galvanized stainless loop: soak 2-3 min in 1-2 M HCl, rinse with distilled water, flame, then perform a blank test (no color).
- Mandatory blank: before the first sample and between sensitive runs; if any color appears, re-clean.
- Viewing conditions: dim room slightly (not dark), fix the white background and viewing angle.
- Suggested order: Li/K → Ca/Sr/Ba → Na to minimize Na contamination.

تحضير العينات

* طريقة العود الخشبي:

بلل طرف العود بقطرة ماء مقطر، ثم المس بلطف كمية صغيرة جداً (قدر رأس دبوس ≈ 1-2mg) من الملح، ثم أضف قطرة صغيرة (≈ 0.03 mL) من HCl المخفف، ثم جفف تماماً بعيداً عن اللهب.

* طريقة الحلقة (بلاتين أو ستانلس غير مجلفن):

حمل على الحلقة كمية صغيرة جداً من العينة الصلبة، أو نقطة صغيرة من محلولها، ثم أضف قطرة صغيرة من HCl المخفف لزيادة التطاير، ثم أدخل الحلقة في المنطقة الساخنة مباشرة وسجل اللون فوراً.

* طريقة شريط ورق الترشيح (بديل صقي سريع):

اغمس طرف الشريط (≈ 1 cm) في محلول العينة لثانية واحدة، أو بلله بالماء المقطر ثم المس كمية صغيرة جداً من الملح، ثم أضف قطرة صغيرة من HCl المخفف على الطرف، ثم جفف تماماً بعيداً عن اللهب، ثم أمسك الشريط بمشبك معدني ومرره مروراً سريعاً (1-2 ثانية) عبر المنطقة الساخنة، ثم أبعده فوراً لتجنب احتراقه.

تنبيه: ورق الترشيح العادي قد يحمل أثر Na^+ ؛ يُفضّل استخدام ورق ترشيح عديم الرماد "Ashless"، أو اشطف الشريط سريعاً بـ HCl المخفف ثم ماء مقطر قبل التجفيف.

Sample Preparation

* Splint method (preferred):

Moisten the splint tip with a drop of distilled water, then touch a very small (pinhead-sized ≈ 1-2 mg) amount of the salt, then add a small drop (≈ 0.03 mL) of dilute HCl, then dry completely away from the flame.

* Loop method (platinum or non-galvanized stainless):

Load a very small amount of the solid (or a small drop of its solution) onto the loop, then add a small drop of dilute HCl to enhance volatility, then place the loop into the hot zone and record the color immediately.

* Filter-paper strip method (classroom-friendly):

Dip ~1 cm of the strip into the sample solution for one second, or moisten with distilled water and touch a very small amount of the solid, then add a small drop of dilute HCl to the tip, then dry completely away from the flame, then hold the strip with a metal clip and pass it briefly (1–2 s) through the hot zone, then withdraw immediately to avoid charring.

Note: Filter paper may carry Na⁺; prefer ashless paper, or pre-rinse quickly with dilute HCl then distilled water before drying.

خطوات التجربة (لكل كاتيون)

- أدخل الطرف/الحلقة في المنطقة الساخنة (أعلى المخروط الداخلي).
- سجّل اللون فوراً؛ ذروة الشدة أو أقصى شدة لمعان تظهر في الثواني الأولى.
- انظر عبر مرشح أزرق لكبح أصفر الصوديوم وإظهار ليلاك K⁺ وأخضر Ba²⁺.
- إذا ظهر وهج أبيض/دخان فالحمل كبير؛ كرّر بكمية أصغر.
- كرّر مرتين، وسجّل الشدّة (1–5) وزمن الظهور/الاختفاء (بالثانية).
- نفذ اختباراً ضابطاً فارغاً عند الانتقال بين أيونات ضعيفة اللون وقوية اللون (خصوصاً قبل/بعد Na).

Procedure (per cation)

- Place the holder in the hot zone (above the inner cone).
- Note the color immediately; peak intensity occurs in the first seconds.
- View through a blue filter to suppress Na yellow and reveal K⁺ lilac / Ba²⁺ green.
- If a white/orange glare or smoke appears, the load is excessive; repeat with a smaller amount.
- Repeat twice; log intensity (1–5) and on/off time (s).
- Perform a blank when moving between weak- and strong-color ions (especially before/after Na).

المبدأ العلمي للاختبار (مختصر)

التسخين يثير إلكترونات الذرات/الأيونات إلى مستويات أعلى؛ وعند عودتها للحالة الأرضية تُصدر فوتونات بأطوال موجية مميزة، فتظهر ألوان لهبية خاصة بكل عنصر. يهيمن الصوديوم بخطّي D قرب 589 nm؛ لذا يُستعمل مرشح أزرق لتخفيف اللون الأصفر وكشف الانبعاثات الأضعف (مثل ليلاك K⁺ وأخضر Ba²⁺). أي هالة بيضاء/برتقالية من احتراق الحامل ليست انبعاثاً ذرياً وتدلّ عادةً على كمية زائدة.

Scientific Principle (brief)

Heating excites electrons; relaxation emits photons at element-specific wavelengths (characteristic flame colors). Sodium dominates via intense D-lines

near 589 nm; a blue filter attenuates yellow, revealing weaker emissions (e.g., K^+ lilac, Ba^{2+} green). A white/orange glare from burning the carrier is not atomic emission and usually indicates overloading.

الألوان المتوقعة

• Li^+ أحمر قرمزي (قصير) • Na^+ أصفر ذهبي شديد (طاغي) • K^+ ليلكي باهت (أوضح مع المرشح الأزرق) • Ca^{2+} أجري/برتقالي محمّر • Sr^{2+} أحمر قاني ساطع (أطول من Li) • Ba^{2+} أخضر تقّاحي (قد يميل للأصفر المخضر عند زيادة الكمية).

Expected Colors

• Li^+ crimson (brief) • Na^+ intense golden yellow (dominant) • K^+ pale lilac (clearer with blue filter) • Ca^{2+} brick/orange-red • Sr^{2+} strong red (longer than Li) • Ba^{2+} apple-green (may shift yellow-green if overloaded).

البيانات التي يتم تسجيلها

(أ) جدول الرصد الأساسي:

الاستنتاج	ملاحظة "Blank" ضابط فارغ بدون عينة	زمن الظهور/الاختفاء (بالثانية)	الشدة: 5-1	اللون مع المرشح الأزرق	اللون بالعين	العينة

(ب) ملحوظة توثيقية:

دوّن أي مصادر تلوث محتملة (خشب/ورق/غبار/ملاسة بالأصابع).

Data to Recorded

A) Core observation table:

Sample	color by eye	Color with blue filter	Intensity: 5-1	Appearance/ Disappearance Time (in seconds)	Note: "Blank" Empty, without sample	Conclusion

B) Documentation note:

record any potential contamination sources (wood/paper/dust/finger contact).

التنظيف

أطفئ موقد بنزن/موقد الغاز، وتخلص من الأعواد في سلة نفايات صلبة. اغسل الزجاجيات والقطّارات بالماء العادي ثم بالماء المقطر وجفف السطح. أغلق القوارير بإحكام وأعدّها إلى مواضعها. اجمع سوائل الباريوم في وعاء النفايات المخصّص.

Clean-Up

Extinguish the Bunsen/butane burner, discard splints in solid waste. Wash glassware/droppers tap → distilled water and dry the bench. Cap reagents and store properly. Collect barium liquids in the designated waste container.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	
PERIODIC TABLE																	VIII. A	
I. A																	VIII. A	
1 H 1.0	II. A												III. A	IV. A	V. A	VI. A	VII. A	2 He 4.0
2. 3 Li 6.9	4 Be 9.0												5 B 10.8	6 C 12.0	7 N 14.0	8 O 16.0	9 F 19.0	10 Ne 20.2
3. 11 Na 23.0	12 Mg 24.3	III. B	IV. B	V. B	VI. B	VII. B	VIII. B			I. B	II. B	13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.0	17 Cl 35.5	18 Ar 40.0	
4. 19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8	
5. 37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc [98]	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	
6. 55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]	
7. 87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	104 Rf [261]	105 Db [262]	106 Sg [266]	107 Bh [264]	108 Hs [269]	109 Mt [268]	110 Ds [271]	111 Rg [272]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [289]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]	

EN*
atomic number
Chem. symbol
relative atomic mass

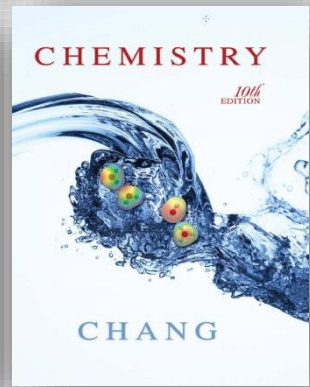
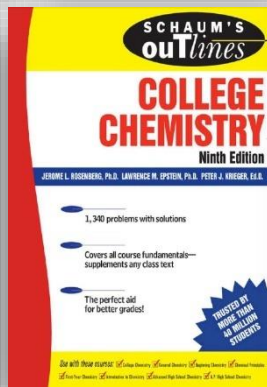
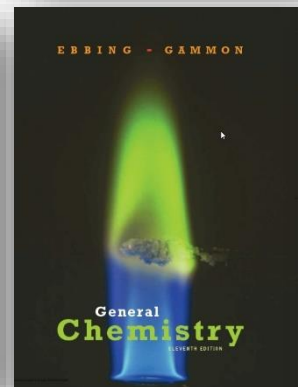
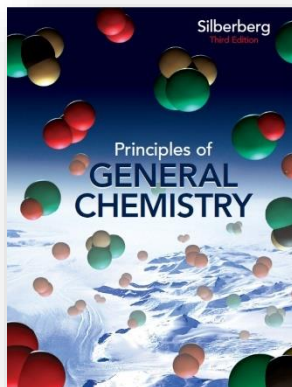
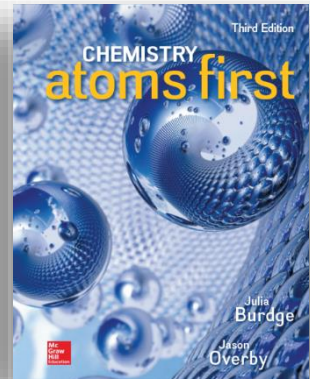
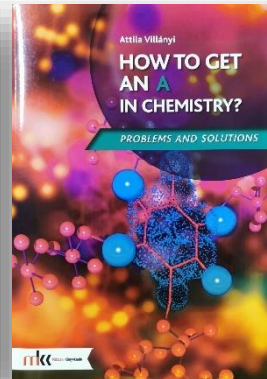
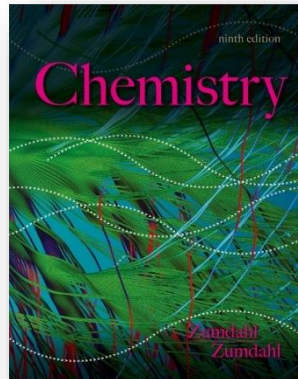
58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm [145]	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

* EN: electronegativity

المصادر والمراجع العلمية

• وزارة التعليم . سلسلة مقررات الكيمياء في المرحلة الثانوية (نظام المسارات) ، المملكة العربية السعودية ، 2025 .

- Burdge , Julia and Jason Overby . Chemistry - atoms first , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2018 .
- Chang, Raymond. Chemistry, Tenth Edition. USA: McGraw-Hill, 2010.
- Ebbing , Darrell D and Steven D. Gammon . General Chemistry , Eleventh Edition . USA : Cengage Learning , 2015 .
- Rosenberg , Jerome L and Others . Schaum's Outline Theory and Problems of College Chemistry , Ninth Edition . USA : McGraw-Hill , 2007 .
- Silberberg , Martin S . Principles of General Chemistry , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2013 .
- Villanyi , Attila . How to Get an A in Chemistry ? , Budapest : Muszaki Konyvkiado , 2021 .
- Zumdahl , Steven S and Susan A. Zumdahl . Chemistry , Ninth Edition . USA : Brooks Cole , 2014 .





وزارة التعليم
Ministry of Education



موهبة
Mawhiba