سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

١٢

الكيمياء

للصف الثاني عشر

الفصل الدراسي الثاني

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الطبعة التجريبية

١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم

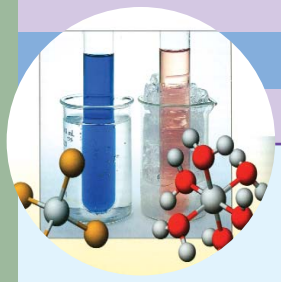
المحتويات

الموضوع	الصفحة
المحتويات	٥
تقديم	٩
المقدمة	١٠
الوحدة الثالثة: الغازات وقوانينها	١٤
Gases and Their Laws	
الفصل الخامس: خواص وسلوك الغازات	١٦
Properties and Behavior of Gases	
(٥-١) ضغط الغاز	١٨
(٥-٢) نظرية الحركة الجزيئية	٢١
(٥-٣) قانون بويل	٢٣
الاستكشاف (١) : العلاقة بين حجم الغاز وضغطه	٢٣
(٥-٤) قانون شارل	٢٨
الاستكشاف (٢) : العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته	٢٨
(٥-٥) قانون جاي لوساك	٣٤
(٥-٦) قانون الغازات الموحد	٣٦
أسئلة الفصل	٤٠
الفصل السادس: خليط الغازات وتفاعلاتها	٥٠
Gas Mixture and Reactions	
(٦-١) قانون الغاز المثالي	٥٢
الاستكشاف (١) : قياس الكتلة المولية للغاز	٥٦
(٦-٢) الغاز المثالي والغازات الحقيقية	٥٧
(٦-٣) قانون افوجادرو	٥٩
(٦-٤) الحجم المولي للغاز	٦١
(٦-٥) قانون دالتون للضغوط الجزئية	٦٦
(٦-٦) تطبيقات الضغوط الجزئية	٦٩
(٦-٧) الانتشار والتدفق	٧٢
الاستكشاف (٢) : الانتشار	٧٢
(٦-٧) التطبيقات التقانية على الغازات	٧٥
اسئلة الفصل	٧٨

الوحدة الرابعة:

الاتزان الكيميائي والاحماض والقواعد ٨٦

Chemical Equlibrium and Acids and Bases



الفصل السابع: الاتزان الكيميائي ٨٨

Chemical Equilibrium

(٧-١) التفاعلات العكسية وغير العكسية ٩٠
(٧-٢) طبيعة الاتزان ٩١
(٧-٣) ثابت الاتزان ٩٤
(٧-٤) حسابات ثابت الاتزان ٩٩
(٧-٥) العوامل المؤثرة على الاتزان ١٠٢
١- التركيز ١٠٣
الاستكشاف (١) : تغير التركيز ١٠٣
٢- الضغط ١٠٥
٣- درجة الحرارة ١٠٧
٤- العامل الحفاز (المساعد) ١١١
(٧-٥) تطبيقات عملية على الاتزان وأهميته في العمليات الكيميائية ١١٢
أسئلة الفصل ١١٥

الفصل الثامن: الاتزان في الأحماض والقواعد ١٢٤

Acids and Bases Equlibruim

(٨-١) نظرية برونستد-لوري للاحماض والقواعد ١٢٦
(٨-٢) التاين الذاتي للماء ١٣١
(٨-٣) الاتزان في محاليل الاحماض الضعيفة ١٣٣
(٨-٤) الاتزان في محاليل القواعد الضعيفة ١٣٩
(٨-٥) التميؤ ١٤٠
الاستكشاف (١) : دراسة سلوك محاليل الأملاح ١٤١
(٨-٦) ثابت حاصل الإذابة ١٤٥
(٨-٧) تأثير الايون المشترك ١٤٩
الاستكشاف (٢) : دراسة اثر الايون المشترك ١٤٩
(٨-٨) المحاليل المنظمة ١٥٣
الاستكشاف (٣) : اثر المحاليل المنظمة ١٥٤
أسئلة الفصل ١٦٠

الموضوع	الصفحة

ارتباط الكيمياء بالمهن ١٦٨
المراجع العربية ١٧٠
المراجع الأجنبية ١٧١
المواقع إلكترونية ١٧٢
ملحق ١٧٣
الجدول الدوري ١٧٤

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين ، وبعد،،

نتيجة لما يشهده المجتمع العُماني من تطورات متسارعة في مختلف مناحي الحياة كغيره من المجتمعات المعاصرة ، سعت وزارة التربية والتعليم إلى تطوير التعليم في السلطنة وتحديثه ؛ بما يتلاءم وهذه التطورات ، مراعية في ذلك خصوصية المجتمع ، وهويته الثقافية .

ويعد الكتاب المدرسي من الركائز الأساسية في المنظومة التعليمية ، وإحدى الوسائل المهمة في توصيل المعلومات ، والمهارات ، والقيم ، والاتجاهات إلى الطلاب ، وإحدى حلقات الوصل القائمة بين المدرسة والبيت . وعلى هذا الأساس فقد حظي باهتمام بالغ من التطوير ، والتجديد ، وسعت الوزارة إلى ضمان تكامله مع المصادر التعليمية الأخرى ؛ كمركز مصادر التعلم ، والوسائل والتجهيزات التربوية الحديثة ، أما بالنسبة لموضوعاته فقد تم اختيارها لتناسب مستويات الطلاب في كل مرحلة عمرية ، وتتوافق مع خصائص نموهم ، وثقافتهم الاجتماعية، وطبيعة العصر ، واحتياجاته، ومتطلباته المستقبلية ، وعرضت تلك الموضوعات بأسلوب مشوق وجذاب، مشتملة على بعض الصور والأشكال التوضيحية .

ولزيادة فاعلية الكتاب المدرسي ، اهتمت الوزارة بتدريب المعلمين على الاستخدام الأمثل له ، وتبصيرهم بكيفية توظيف الوسائل المصاحبة له ، توظيفا يمكنهم من إيصال المعلومة إلى أذهان الطلاب بسهولة ويسر، ويساعدهم على امتلاك المهارات ؛ لمعالجة الموضوعات بشكل واضح ، ودقيق .

ونأمل من خلال تكاتف جهود أولياء الأمور ، والمعلمين ، وأبنائي الطلاب أن يحقق الكتاب المدرسي الأهداف المرسومة له .

نسأل الله لنا جميعا التوفيق والسداد ، ولمسيرتنا التربوية التقدم ، والرقي ، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم ، حفظه الله ورعاه .

والله ولي التوفيق

يحيى بن سعود السليمي

وزير التربية والتعليم

المقدمة

عزيزي الطالب :

نقدم لك هذا العام كتاب الكيمياء للصف الثاني عشر في جزئه الثاني ، والذي ستدرسه في الفصل الدراسي الثاني، والذي سوف تختتم به حياتك المدرسية ، لتنتقل بعد ذلك لمواصلة دراستك العليا وأنت في رصيدك مجموعة من المعلومات والمهارات التي اكتسبتها خلال مشوار تعليمك المدرسي .

ويعتبر الجزء الثاني مكملا للجزء الأول لمنهج الكيمياء الذي درسته في الفصل الدراسي الأول . وقد جاء هذا المنهاج مكملا لمنهج الكيمياء الذي درسته في الصف الحادي عشر والصفوف السابقة ، حيث تم بناء هذا الكتاب وفقا لمخرجات التعلم لمرحلة التعليم ما بعد الأساسي .

اشتمل الكتاب على موضوعات ستحقق من خلالها مخرجات التعلم المعرفية والمهارية ، وقد تم مراعاة جوانب التخصص التي تلزمك في المستقبل لدراسة علم الكيمياء ، إضافة إلى التخصصات الأخرى التي ترتبط بالكيمياء مثل الطب والهندسة والزراعة والتقانة وغيرها .

وإيمانا منا بفلسفة التعليم التي تعتبر الطالب محور العملية التعلمية ، ، فقد حاولنا في هذا الكتاب إكسابك المفاهيم العلمية الكيميائية بطريقة متدرجة لتساعدك على تنمية مهارات التفكير العلمي لديك، وتوظيف هذه المهارات في الاستقصاء وتفسير الظواهر المختلفة ، وربطها بالحياة وبمواد العلوم المختلفة بعضها بعضا تحقيقا لمبدأ التكامل بين مواد العلوم.

إن الإلمام بالحقائق والمفاهيم الكيميائية واكتساب المهارات المخبرية بصورة وظيفية هو أمر ضروري للغاية بالنسبة لك، لأن ذلك سيساعدك كثيرا في اتخاذ القرارات المناسبة لمعالجة القضايا الكيميائية والمشكلات التي تواجه مجتمعاتنا يوما بعد يوم ، ومن أجل ذلك ستجد أن هذا الكتاب قد اشتمل على عرض عدد من فقرات "اختبر فهمك" التي تتضمن تساؤلات حول قضايا تثير لديك الميل للبحث والاستقصاء ،بالإضافة إلى تنفيذ عدد من الدروس العملية والاستكشافات بعضها عملي يتطلب توافر مواد وأدوات مخبرية ، وبعضها نظري موزعة في كتاب الطالب والكراس العملي .

وقد تضمنت كل وحدة على مقدمة بسيطة تشمل عدد من الأسئلة التي تعطي دلائل ومؤشرات عن مضمون ومحتوى الوحدة. كما اشتملت كل وحدة من وحدات الكتاب معلومات تربطك بمجتمعك وحياتك وواقعك تحت بند معلومات تهمك.

ويتكون الجزء الثاني من هذا الكتاب من وحدتين هما :

١- الوحدة الثالثة : الغازات وقوانينها.

٢- الوحدة الرابعة : الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد.

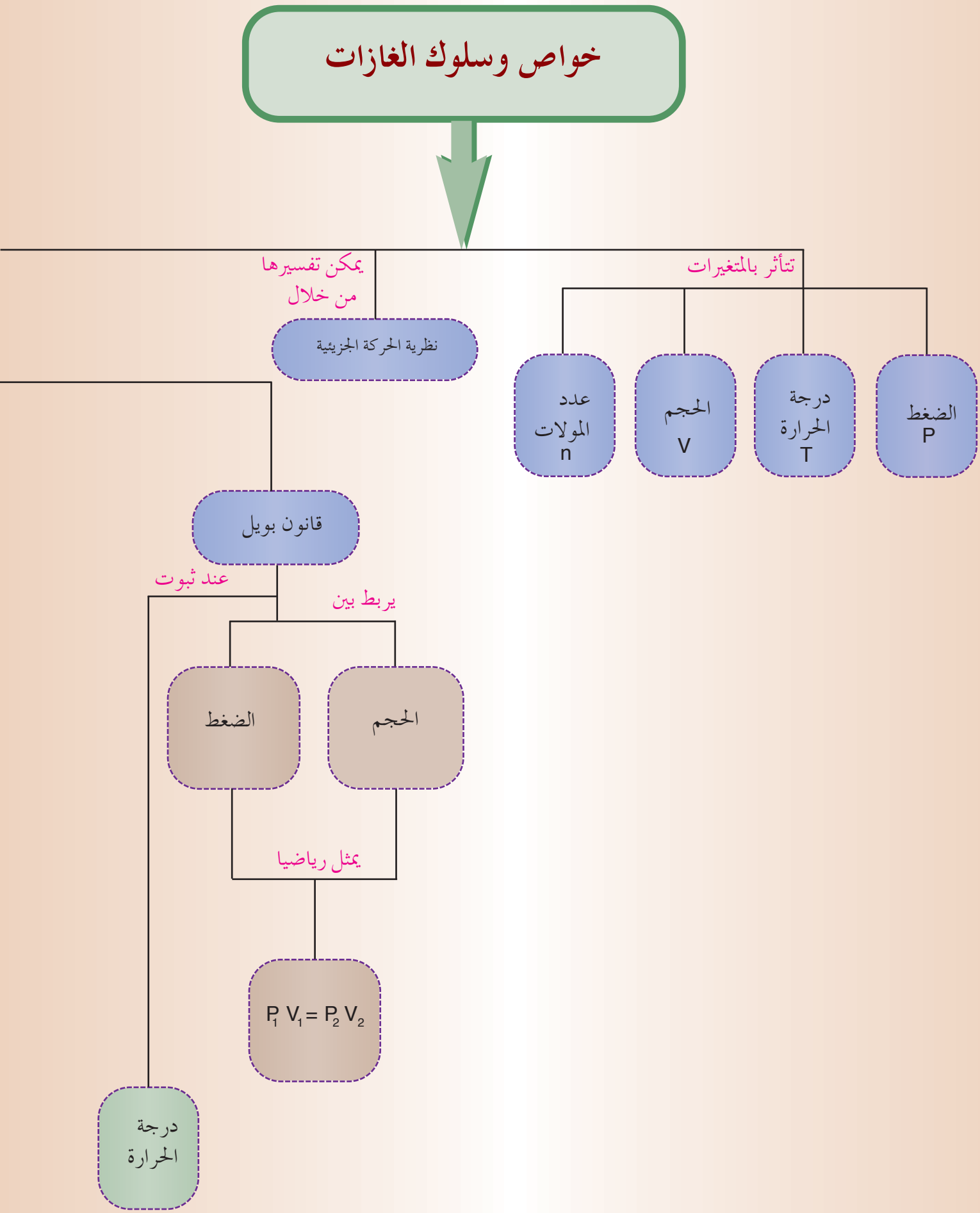
واربع فصول هي:

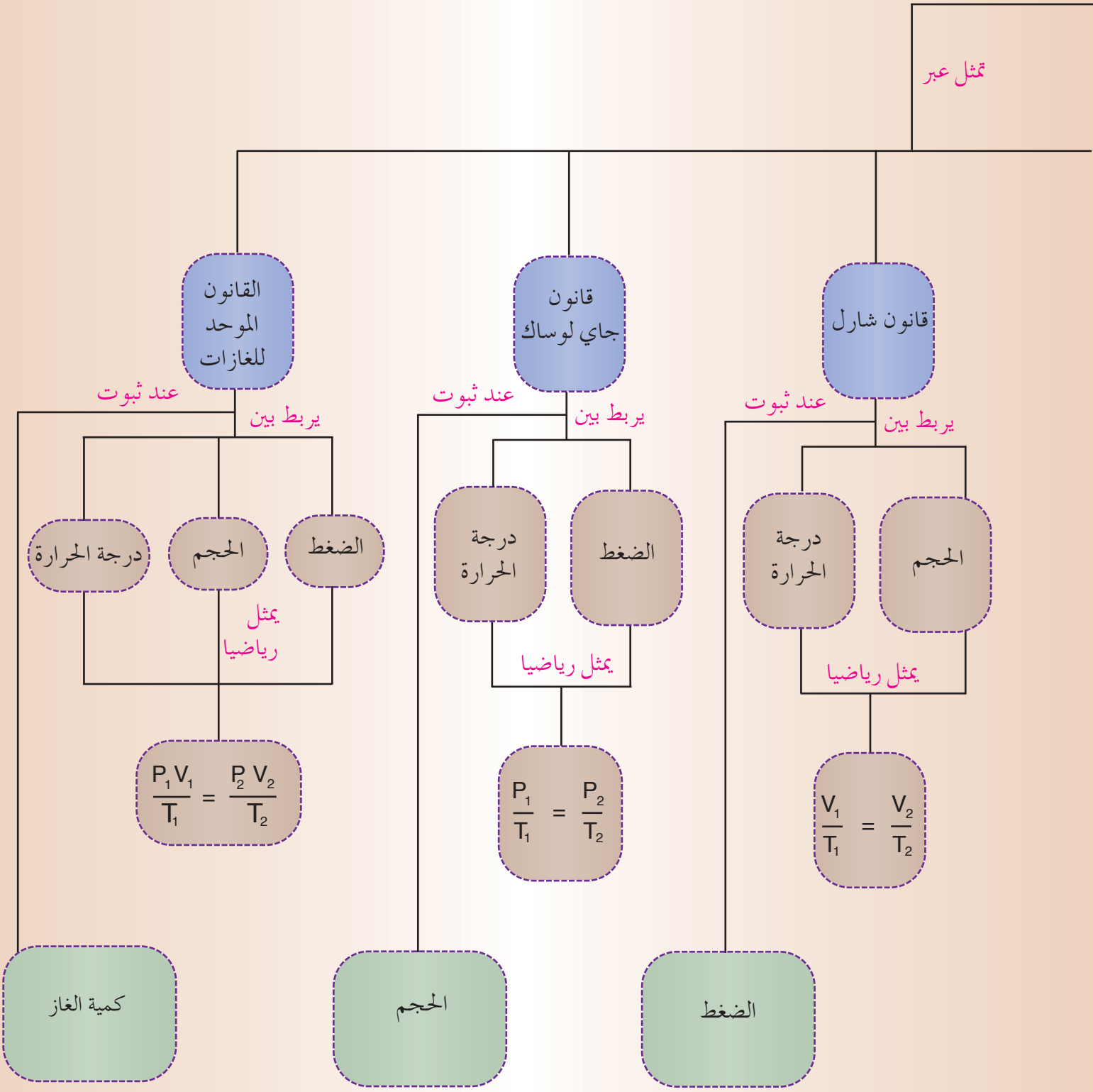
وأخيرا ، نأمل أننا قد وفقنا في تقديم هذا الكتاب لأبنائنا الطلبة والطالبات الذين هم جيل المستقبل وعنصر أساس في بناء هذا الوطن الغالي .

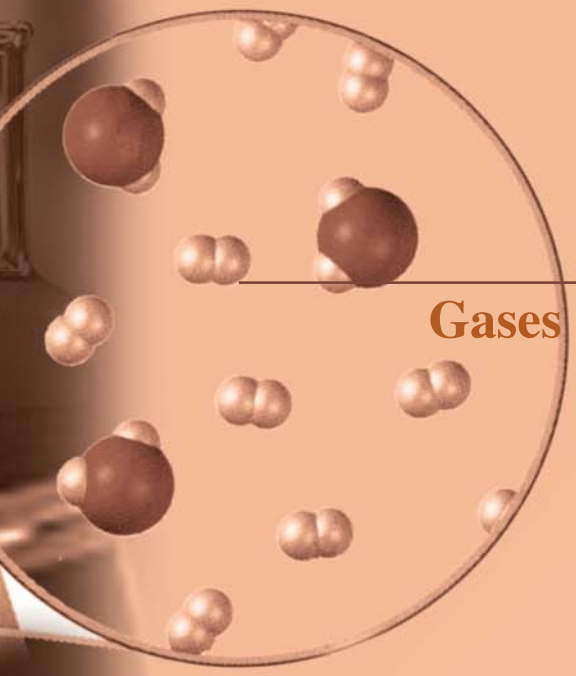
والله من وراء القصد .

المؤلفون

خواص وسلوك الغازات




تمثل عبر
قانون شارل
قانون جاي لوساك
القانون الموحد للغازات
عند ثبوت
يربط بين
الحجم
درجة الحرارة
الضغط
يمثل رياضيا
$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$
الضغط
الحجم
كمية الغاز



الوحدة الثالثة ٣

الغازات وقوانينها
Gases and Their Laws

الفصل الخامس
خواص وسلوك الغازات
Properties and Behavior of Gases

الفصل السادس
خليط الغازات وتفاعلاتها
Gas mixtures and Reactions

مقدمة

هل تخيلت يومًا ماذا سيحدث إذا اختفى الهواء الجوي من على سطح الكرة الأرضية ، أو ماذا سوف يحدث إذا لم تكن هناك مواد غازية إطلاقًا ؟ وكيف سيؤثر ذلك على حياتنا اليومية ؟

تعدُّ الغازات محورًا هامًّا وأساسيًّا من محاور استمرار الحياة البشرية، فهي ليست مهمة فقط لتنفس الكائنات الحية، ولكن أهميتها في حياتنا اليومية تتسع لتشمل التوسع التكنولوجي الذي تشهده المجتمعات البشرية، فمثلاً ستجد أن الغاز الطبيعي يمثل مصدرًا هامًّا ورئيسًّا للوقود. كما أن بعض الغازات يستخدم لتشغيل كثير من الأجهزة كالثلاجة، وستظهر لك أهمية الغازات أيضا على الصعيد الطبي، فأنت تحتاج بعض الغازات لإجراء عمليات التخدير اللازمة في العمليات الجراحية.

ولهذه الأهمية الكبيرة للغازات، فقد حظيت باهتمام العلماء لدراستها ووضع النظريات المختلفة لفهم سلوكها وتفسيره. وحتى نتعرّف على سلوك الغازات، ستدرس في هذه الوحدة خصائص الغازات والقوانين التي تحكمها والتفاعلات بينها.

الأفكار الرئيسة :

في هذه الوحدة ستحاول الإجابة عن التساؤلات الآتية :

١- ما الخصائص الفيزيائية التي يمكن قياسها لجميع الغازات ؟

٢- كيف يتكون ضغط الغاز؟ وما وحدات قياس الضغط ؟

٣- ما أهمية نظرية الحركة الجزيئية في تفسير سلوك الغازات ؟

٤- ما العلاقة التي تربط بين كلٍّ من الضغط، والحجم ، ودرجة الحرارة، للغازات، وكمية الغاز ؟

٥- كيف تستخدم قوانين، ومبادىء الغازات في الظروف المعيارية لحساب العلاقات الكمية بين الغازات؟

٦- ما الاستخدامات التقنية لقوانين الغازات ؟

الغازات وقوانينها
Gases and Their Laws

الفصل الخامس خواص وسلوك الغازات
Properties and Behavior of Gases

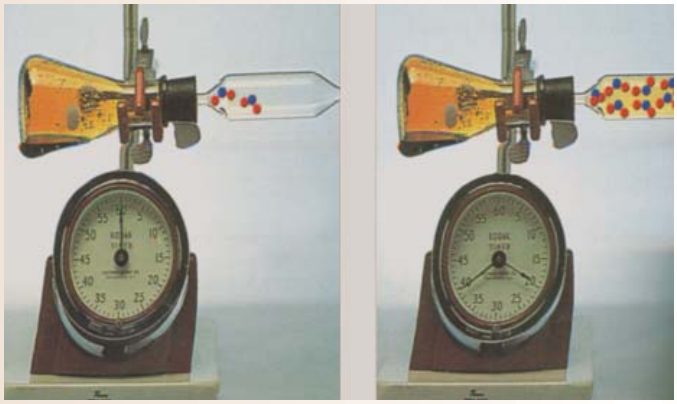
مقدمة الفصل

لقد درست سابقا أن الغازات تشكل إحدى حالات المادة الثلاثة (الصلبة ، والسائلة ، والغازية)، وتتكون الغازات من جزيئات تفصل بينها مسافات كبيرة نسبيًا، وهذه الجزيئات في حركة عشوائية دائمة في كل الاتجاهات، ويمكنك أن تتخيل بأن كل جزيء يتحرك بحرية وبصورة مستقلة عن الجزيئات الأخرى؛ وذلك نظرًا لأن قوى التجاذب بين جزيئات الغاز ضعيفة جدًّا ، أو معدومة.

وتختلف المواد في الحالة الغازية عن غيرها من المواد في قابليتها للانضغاط، وتأثرها الكبير بالتغيرات التي تحدث في الضغط ودرجة الحرارة. ولتكون قادرًا على فهم سلوك الغازات، لا بد من أن تجيب عن الأسئلة الآتية: ما أهم المتغيرات الفيزيائية التي تؤثر في ضغط الغازات ؟ وما أهم القوانين والعلاقات التي تحكم سلوك الغازات؟ كيف تساعدك نظرية الحركة الجزيئية على فهم وتفسير قوانين الغازات المختلفة ؟ وما أهم الاستخدامات التقنية القائمة على قوانين الغازات ؟

الموضوعات الرئيسة :

٥-١ : ضغط الغاز.
٥-٢ : نظرية الحركة الجزيئية.
٥-٣ : قانون بويل.
٥-٤ : قانون شارل.
٥-٥ : قانون جاي لوساك.
٥-٦ : قانون الغازات الموحد.



الغازات وقوانينها
Gases and Their Laws

مصطلحات علمية جديدة :

١- ضغط الغاز ..... 1- *Gas Pressure*

٢- الظروف المعيارية من الضغط ودرجة الحرارة ..... 2- *Standard Temperature and Pressure*

٣- نظرية الحركة الجزيئية ..... 3- *Kinetic-Molecular Theory*

٤- الغاز المثالي ..... 4- *Ideal Gas*

٥- الصفر المطلق ..... 5- *Absolute Zero*

٦- مقياس درجة الحرارة المطلقة ..... 6- *Absolute Temperature Scale*

٧- وحدة الكلفن ..... 7- *Kelvin Unit*

عناوين الاستكشافات :

الاستكشاف (١): العلاقة بين حجم الغاز وضغطه.

الاستكشاف (٢): العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته.

الغازات وقوانينها
Gases and Their Laws

٥-١ ضغط الغاز : Gas Pressure

شكل (٥-١): أثر ضغط الغاز على البالون

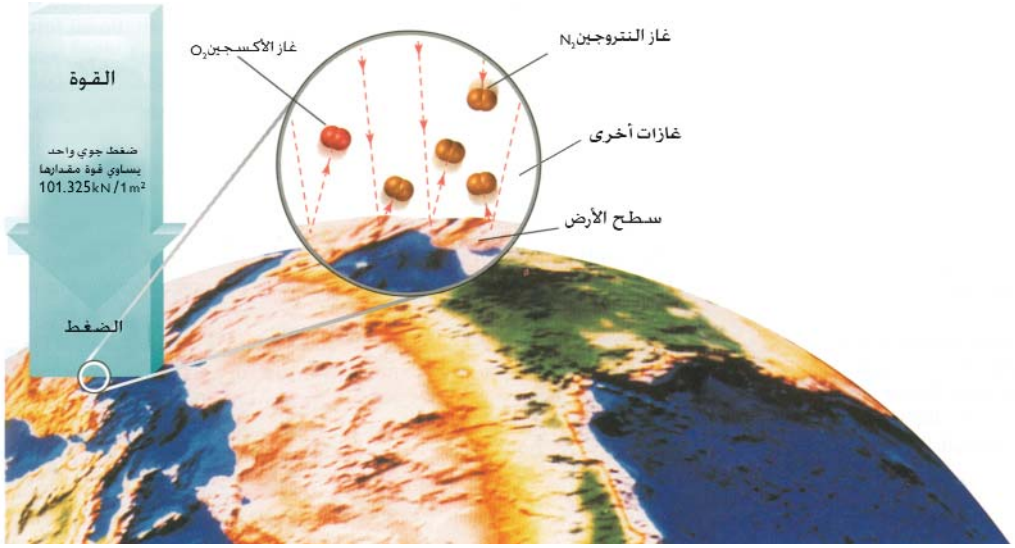
إذا نفخت بالونًا مطاطيًا بالهواء سوف يزداد حجم البالون ؛ وذلك بسبب اصطدام جزيئات الهواء بالجدران الداخلية للبالون، حيث إن هذه الاصطدامات تسبب دفعا لجدران البالون الداخلية إلى الخارج ، أو تسبب ضغطا على جدران البالون الداخلية والذي يظهر في صورة تمدد أو انتفاخ في حجم البالون، الشكل (٥-١) .

فالضغط هو: **القوة** المؤثرة على وحدة **المساحة** ، ويمكن ترجمة ذلك رياضيًّا بالعلاقة الآتية :

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث(*P*): الضغط *(Pressure)* ، و *(F)* : القوة *(Force)* ، و*(A)* : المساحة *(Area)*.

ويعرف الضغط الجوي (atmospheric pressure) بأنه: الضغط الناتج عن عمود من الهواء يمتد حتى طبقات الجو العليا، ويرجع هذا الضغط إلى وزن الغازات التي يتألف منها الغلاف الجوي حينما تؤثر في وحدة المساحة، كما يتضح في الشكل (٥-٢):



شكل (٥-٢): الضغط الناتج من وزن غازات الغلاف الجوي

ويستعمل الباسكال *(Pascal)* وحدة للضغط في نظام الوحدات الدولية *SI (System International d' Unites)*، ويرمز له اختصارا بالرمز *(Pa)* ، ويعرف بأنه: الضغط الناتج عن قوة مقدارها نيوتن واحد *(1 N)* عندما تؤثر في مساحة مقدارها $1m^2$ ، وتنسب وحدة الباسكال إلى عالم الفيزياء والرياضيات الفرنسي بلازك باسكال *(Balasic Pascal)*،غير أن الباسكال تعد وحدة صغيرة جداً لقياس الضغط في الحياة العملية، ولذا يلجأ العلماء إلى استخدام الكيلو باسكال *(kPa)*.

ويتضح من الشكل (٥–٢) إن غازات الغلاف الجوي تصطدم بسطح الأرض وتمارس ضغطا، وهو ما يعرف بالضغط الجوي، وتكون قيمة هذا الضغط عند سطح البحر حوالي *101.325 kPa*، ويستخدم جهاز البارومتر *(barometer)* لقياس الضغط الجوي.

وقد أتفق العلماء على أن الظروف القياسية (المعيارية) المناسبة لدراسة خصائص المواد الغازية بالظروف المعيارية الآتية: ضغط جوي واحد *(1atm)* أي ما يعادل *(101.325 kPa)* ، و درجة حرارة صفر سيليزي $(0^{o}C)$ ، وقد أطلق على هذه الظروف مصطلح الظروف المعيارية من الضغط ودرجة الحرارة *(Standard Temperature and Pressure)* ، ويرمز لها اختصارا بالرمز *(STP)* .

ويوضح الجدول (٥–١) التحويلات الرياضية بين وحدات الضغط، والتي ستيسر لك التعامل مع مختلف التطبيقات الرياضية في هذه الوحدة:

الوحدة	الرمز	التحويل
الباسكال	*Pa*	$1Pa = 1N/m^2$
وحدة ضغط جوي	*atm*	*1 atm = 101.325 kPa*
المليمتر زئبق	*mm Hg*	*760 mmHg = 1 atm = 101.325 kPa*
التور	*torr*	*1 torr = 1 mm Hg*

جدول (٥ – ١): وحدات قياس الضغط والعلاقة بينها

مثال (1) :

عبِّر عن قيم الضغط الآتية بوحدة الكيلو باسكال *(kPa)* :

أ- *745 mm Hg* .

ب- *2.50 atm* .

الحل :

(أ)

$$\text{الضغط} = \frac{745\ \cancel{mm\ Hg} \times 101.325\ kPa}{760\ \cancel{mm\ Hg}}$$

$$= 99.3\ kPa$$

(ب)

$$\text{الضغط} = \frac{2.50\ \cancel{atm} \times 101.325\ kPa}{1\ \cancel{atm}}$$

$$= 253.3\ kPa$$

اختبر فهمك (1) :

يبلغ متوسط الضغط الجوي في مدينة مسقط *0.830 atm* ، عبِّر عن هذا الضغط بوحدة كلٍّ من :

أ- *mmHg* ب- *kPa* ج- torr

معلومة تهمك : (الضغط الجوي)

يعدُّ البحر الميت الذي يقع بين الأردن وفلسطين أعمق نقطة على سطح الكرة الأرضية، حيث ينخفض بمقدار *417m* تحت سطح البحر؛ مما يؤدي إلى زيادة الضغط الجوي عند سطحه بنسبة *5%* من الضغط الجوي عند سطح البحر العادي، وهذه الزيادة تعتبر مفيدة لعلاج بعض مشكلات الجهاز التنفسي.

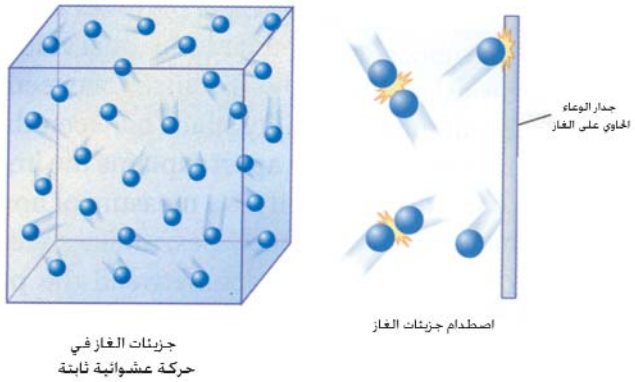
٥-٢ نظرية الحركة الجزيئية : (Kinetic-Molecular Theory)

إن دراسة الخصائص التجريبية لحالات المادة الثلاثة: الصلبة، والسائلة، والغازية زودتنا بمعلومات مهمة عن طبيعة المادة وتركيبها. فأنت بلا شك تعلم أنه عند نفس درجة الحرارة توجد بعض المواد في الحالة الصلبة، والبعض في الحالة السائلة أو الغازية. وقد درست سابقا النموذج الجزيئي الذي يفسر الفرق بين خصائص المادة في حالاتها الفيزيائية المختلفة .

ويساعد النموذج الجزيئي أو **نظرية الحركة الجزيئية** على فهم سلوك جزيئات الغازات وخصائصها الفيزيائية، وتفترض هذه النظرية ما يلي:

١- تتكون الغازات من عدد كبير من الجزيئات المتناهية في الصغر، تفصلها مسافات أكبر بكثير من حجم الجزيئات نفسها. أي أن الحجم الفعلي للجزيئات يعد كمية مهملة إذا ما قورن بالحيز الذي يشغله الغاز، وهذا ما يفسر الكثافة المنخفضة للغازات، بالمقارنة مع كثافة المواد السائلة والصلبة، كما ويفسر قابلية الغازات للانضغاط.

٢- جزيئات الغاز في حركة مستمرة، وعشوائية في جميع الاتجاهات، كما يظهر في الشكل (٥-٣).



شكل (٥-٣): الحركة العشوائية لجزيئات الغاز

كما أن جزيئات الغاز تتحرك في مسارات مستقيمة وبسرعات مختلفة، وتصطدم الجزيئات في أثناء حركتها مع بعضها ومع جدران الإناء الذي توجد فيه، وينشأ ضغط الغاز نتيجة لاصطدام الجزيئات مع جدران الإناء .ويعدّ هذا التصادم بين جزيئات الغاز بعضها ببعض، وجدران الإناء ، تصادماً من النوع المرن إفتراضا

والتصادم المرن *(elastic collision)* هو: التصادم الذي لا تفقد فيه الجزيئات أيًّا من طاقتها الحركية، ما دامت درجة الحرارة ثابتة.

٣- تمتلك جزيئات الغاز طاقة حركية نتيجة لحركتها الدائمة والسريعة والعشوائية في جميع الاتجاهات، وتتغلب الطاقة الحركية للجزيئات على قوى التجاذب بينها، والتي تعتبر ضعيفة جداً يمكن إهمالها. فالجزيء يتحرك بصورة مستقلة عن الجزيئات الأخرى، حتى يصطدم بجدران الإناء أو مع جزيءٍ آخر.

٤- يعتمد معدل الطاقة الحركية لجزيئات الغاز على درجة حرارتها المطلقة، ويعبر عن الطاقة الحركية للأجسام المتحركة عموما، وجزيئات الغاز خصوصًا، بالمعادلة الآتية :

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

حيث m تمثل كتلة جزيء الغاز، و v سرعته.

والجدير بالذكر هنا أن جزيئات الغاز تمتلك طاقة حركية مختلفة ؛ وذلك بسبب اختلاف سرعاتها، ويزداد معدل السرعات والطاقات الحركية لجزيئات غاز ما مع ارتفاع درجة الحرارة، ويقل بانخفاضها.

إن السلوك الفيزيائي للغاز لا يتوقف على التركيب الكيميائي له، وإنما يتوقف على عدد من المتغيرات الرئيسة أهمها: درجة الحرارة، والضغط، والحجم، وعدد مولات الغاز. وتختلف الحالة الغازية عن الحالتين : السائلة، والصلبة، في أن جميع الغازات تتماثل في سلوكها وعلاقاتها المختلفة تحت تأثير المتغيرات الأربعة المشار إليها، أما في الحالتين السائلة والصلبة، فإن كل مادة تسلك سلوكًا مختلفًا عن المواد الأخرى، ولهذا السبب كان بالإمكان وضع ما يسمى بالقوانين العامة للغازات والتي سنتناول بعضًا منها في هذه الوحدة .

اختبر فهمك (٢) :

١- تلاحظ أن أكياس البطاطس الجاهزة تبدو وكأنها منتفخة عند تعرضها لأشعة الشمس، فسَّر ذلك في ضوء نظرية الحركة الجزيئية .

٢- أي فروض النظرية الحركية الجزيئية يفسر استخدام الأكياس الهوائية في السيارات لحماية السائقين والركاب عند حدوث الاصطدامات الناجمة عن حوادث السيارات ؟

معلومة تهمك : عدد تصادمات جزيئات الهواء

هل تعلم أن متوسط عدد التصادمات بين جزيئات الهواء في الثانية الواحدة قرب مستوى سطح البحر يبلغ 7×10^9 تصادم، وأن متوسط عدد التصادمات هذه يتقلص عند ارتفاع $600\ km$ (لانخفاض درجة الحرارة) إلى حوالي تصادم واحد كل دقيقة.

٥-٣ قانون بويل : Boyle's Law

ينسب هذا القانون إلى العالم الإنجليزي روبرت بويل Robert Boyle (١٦٢٧ – ١٦٩١م) ، وهو أول من قام بدراسة العلاقة بين التغيرفي حجم كمية معينة من غاز محصور مع الضغط الواقع عليها عندثبوت درجة الحرارة.
وللتوصل إلى النتائج التي حصل عليها بويل من تجاربه، قم بإجراء الاستكشاف الآتي :

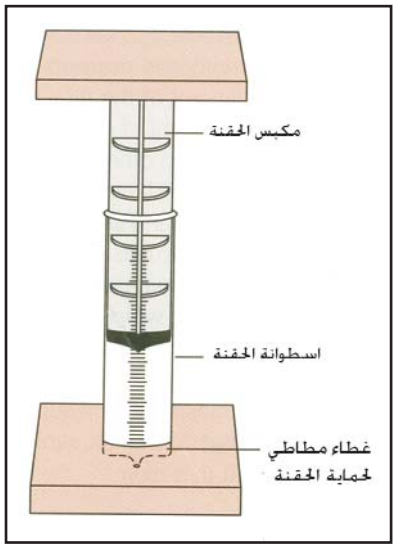
الاستكشاف ١ العلاقة بين حجم الغاز وضغطه

سؤال علمي: ما العلاقة التي تربط بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة الحرارة ؟

المواد والأدوات: محقن زجاجي (30 mL) ، ممحاة، عدد من الأثقال ذات كتل متساوية (كتلة كل منها (500 g أو 1 kg) ، حامل، مثقب.

الإجراءات :

١ – اسحب مكبس المحقن بالكامل ، بحيث يدخل (30 mL) من الهواء داخل أسطوانة المحقن.
٢ – غطِّ فوهة المحقن بالغطاء المرافق، وفي حالة عدم توافر غطاء المحقن ؛ قم بعمل ثقب صغير في الممحاة، ثم إغمد رأس المحقن في الممحاة (تجنبًا لتسرب كمية الغاز المحبوس من المحقن).
٣ – ثبِّت المحقن بواسطة حاملٍ بشكل رأسي، كما يوضح الشكل (٥-٤)، بحيث يتجه رأس المحقن للأسفل.
٤ – سجِّل الحجم المبدئي لكمية الغاز المحصورة في أسطوانة المحقن .
٥ – تأكَّد من أن المحقن مثبتًا بشكل محكم في الحامل ، قم بوضع ثقل واحد من الأثقال معلومة الكتلة (كتلة كل منها 500 g أو 1 kg) أو ما يعادل هذه الكتلة من الكتب المدرسية على مكبس المحقن ، ثم سجِّل ملاحظاتك.
٦ – سجِّل القراءة الجديدة لحجم الغاز المحصور في أسطوانة المحقن .
٧ – كرر الخطوات من (٥-٦) باستخدام مزيد من الأثقال حتى تصل إلى (3 kg) . وفي كل مرة سجِّل القراءة التي يسجلها حجم الغاز في اسطوانة المحقن ، استعن بالجدول الآتي لتسجيل النتائج التي تحصل عليها :



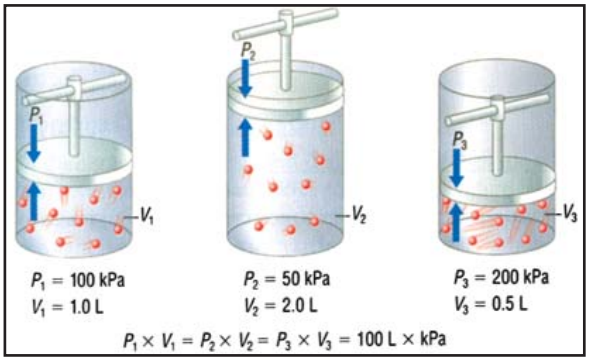
شكل (٥-٤): تركيب الحقنة

رقم المحاولة	الضغط ممثلا بوزن الأثقال المستخدمة	الحجم
١		
٢		
٣		
٤		
٥		

التحليل والتفسير:

١- ارسم علاقة بيانية تربط فيها بين وزن الأثقال والحجوم المسجلة في أسطوانة المحقن في كل مرة .
٢- كيف يؤثر التغير في الوزن على ضغط الغاز المحصور في اسطوانة المحقن ؟
٣- ما تأثير زيادة الضغط على حجم الغاز المحصور عند ثبوت درجة الحرارة ؟

لعلك لاحظت من خلال الاستكشاف السابق، أن مضاعفة الضغط لغاز محصور في إناء عند ثبوت درجة الحرارة يؤدي إلى تناقص حجم الغاز، والعكس صحيح الشكل (٥-٥). وفي ضوء ذلك اقترح بويل عام١٦٦٢م قانونًا لوصف هذا السلوك للغازات ينص على أنه: **يتناسب الحجم (V) الذي تشغله كمية معينة (n) من غاز محصور تناسبًا عكسيًا مع الضغط (P) الواقع عليه عند ثبوت درجة الحرارة (T) . وهو ما يعرف بقانون بويل *Boyle's Law*** والذي يمكن تمثيله رياضيًا كما يلي:



شكل(٥-٥) :العلاقة بين الضغط والحجم

يلي:

$$V \propto \frac{1}{P}$$

أي أن :

$$V = \frac{\text{مقدار ثابت}}{P}$$

وبتحويل المعادلة السابقة إلى علاقة رياضية، فإننا نحصل على المعادلة:

$$V = \frac{Constant}{P} \quad \text{أو} \quad PV = Constant$$

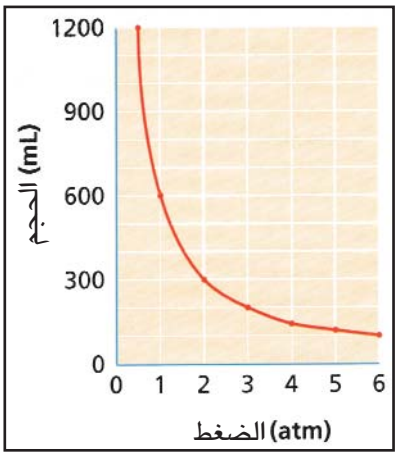
حيث *(Constant)* مقدار ثابت .

ولتتضح لك هذه العلاقة، ادرس البيانات الموضحة في الجدول (٥–٢) والمستقاة من إحدى تجارب الغازات، والتي توضح لك أثر التغير في حجم غاز محصور على ضغطه عند ثبوت كمية الغاز ودرجة الحرارة :

الحجم (mL)	الضغط (atm)	الحجم × الضغط (atm ×mL)
1200	0.50	600
600	1.00	600
300	2.00	600
200	3.00	600
150	4.00	600

جدول (٥–٢): نتائج تجريبية لقياس ضغط عينة من الهواء عند حجوم مختلفة مع ثبات درجة الحرارة وكمية الغاز

تبيّن لنا من الجدول السابق أن حاصل ضرب كمية من غاز ما في ضغطه يساوي كمية ثابتة عند ثبوت درجة الحرارة، وكمية الغاز. وعند تمثيل العلاقة بين حجم العينة من الغاز وضغطها بيانيًّا عند ثبوت درجة الحرارة، فإننا نحصل على العلاقة المبينة في الشكل(٥–٦):



شكل (٥–٦): شكل بياني يوضح العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه

ومن الجدول السابق ، يمكن التوصل إلى العلاقة التالية عند ثبوت درجة الحرارة:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = ... = P_nV_n$$

حيث V_1 , V_2 , V_n ، حجم الغاز عند الضغوط P_1 , P_2 , P_n على الترتيب، وتستخدم هذه العلاقة في حساب الحجم الذي يشغله الغاز عند تغير الضغط، مع ثبوت درجة الحرارة وكمية الغاز .

> **ملاحظة:**
> تعتمد قيمة الثابت *(Constant)* في قانون بويل، على كمية الغاز ودرجة الحرارة .

والآن كيف يمكنك استخدام نظرية الحركه الجزيئية لفهم العلاقة بين حجم الغاز وضغطه ؟

مثال (١) :

منطاد على ارتفاع عال يحتوي على *(30 L)* من غاز الهليوم عند ضغط *(103 kPa)*. ما حجم الغاز في المنطاد عندما يكون على ارتفاع قيمة ضغطه *25 kPa* فقط؟ (افترض أن درجة الحرارة تظل ثابتة).

الحل:

المعطيات:

$$P_1 = 103\ kPa$$

$$P_2 = 25\ kPa$$

$$V_1 = 30\ L$$

المطلوب: حساب V_2

باستخدام العلاقة الآتية :

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$V_2 = \frac{V_1P_1}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{30\ L \times 103\ \cancel{kPa}}{25\ \cancel{kPa}}$$

$$V_2 = 123.6\ L$$

مثال (٢) :

في مركبة ما تكونت عينة من غاز النيتروجين في وسادة هوائية حجمها *(65 L)* ، تحت ضغط *(745 mm Hg)* ، فإذا نقلت هذه العينة من الغاز إلى وسادة هوائية أخرى حجمها *(25 L)* ،كم تكون قيمة ضغط الغاز المحصور في هذه الحالة بوحدة *kPa* ؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة .

الحل :

المعطيات:

$P_1 = 745\ mm\ Hg$

$V_1 = 65\ L$

$V_2 = 25\ L$

المطلوب: حساب P_2

باستخدام العلاقة الآتية :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = \frac{V_1 P_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{65\ \cancel{L} \times 745\ mm\ Hg}{25\ \cancel{L}}$$

$$P_2 = 1937\ mm\ Hg$$

$$= 258.3\ kPa$$

اختبر فهمك (٣) :

١- كمية من غاز التخدير عند درجة حرارة $(20^{\circ}C)$ حجمها $(2.5L)$ داخل محقن يتحكم فيه مكبس حر الحركة، فإذا انخفض الضغط داخل المحقن من $(105\ kPa)$ إلى $(40.5\ kPa)$ ، عند ثبوت درجة الحرارة. احسب الحجم النهائي للغاز.

٢- بالون مليء بغاز الهيليوم حجمه $(500\ mL)$ ، تحت ضغط $1\ atm$، أطلق البالون ووصل إلى ارتفاع $(6.5\ km)$، حيث يصبح الضغط $(0.5\ atm)$ ، ما الحجم الذي يأخذه الغاز عند هذا الارتفاع بوحدة اللتر. مفترضا ثبات درجه الحرارة.

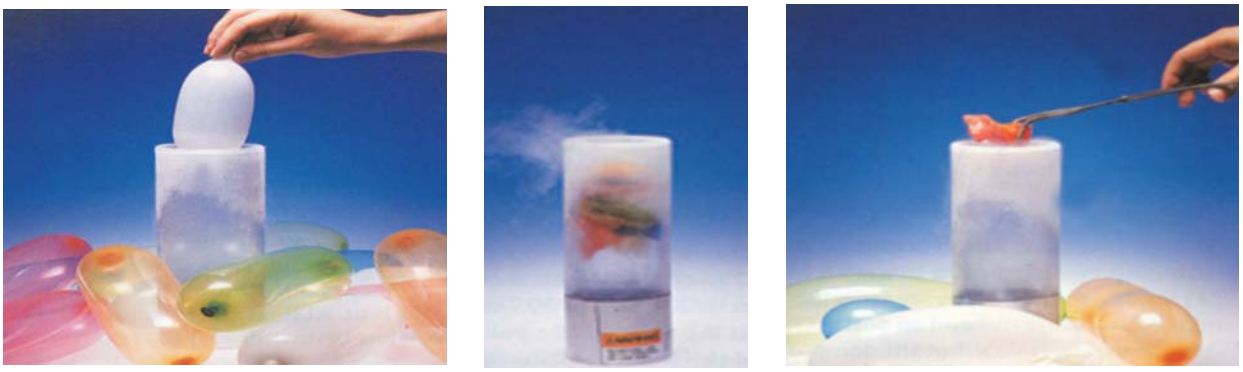
معلومة تهمك (أسماك الأعماق)

شكل (٥-٧): سمكة من أسماك أعماق المحيطات

هل تعلم أن الأسماك التي تعيش في أعماق المحيطات، قد تموت إذا تم جلبها قريبا من السطح، حيث ينخفض الضغط مقارنة بالضغط الهائل في الأعماق، مما يؤدي إلى تمدد حجم الغازات في أجسامها (الخلايا، والأغشية، ومثانات العوم) بصورة سريعة تؤدي إلى موتها.

٥-٤ قانون شارل : Charle's law

تخيل أنك قمت بوضع عدد من البالونات المليئة بالهواء في نيتروجين مسال عند درجة حرارة $(-196^{o}C)$ ، ماذا تتوقع أن يحدث لها ؟ ادرس الشكل (٥-٨) والذي يوضح النتائج التي يكن أن تحصل عليها، ماذا تلاحظ؟ فسّر ذلك ؟



شكل (٥-٨): بالونات مليئة بالهواء في نيتروجين مسال

شكل (٥-٩): جاك شارل

قام العالم الفيزيائي وخبير المناطيد الفرنسي جاك شارل عام ١٧٨٧م ببحث تأثير درجة الحرارة في حجم الغاز تحت ضغط ثابت، فما نوع العلاقة التي تربط بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبات الضغط؟ قم بتنفيذ الاستكشاف العلمي (٢):

الاستكشاف ٢

العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته

سؤال علمي : ما نوع العلاقة التي تربط بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت الضغط؟

إجراءات الأمن والسلامة :

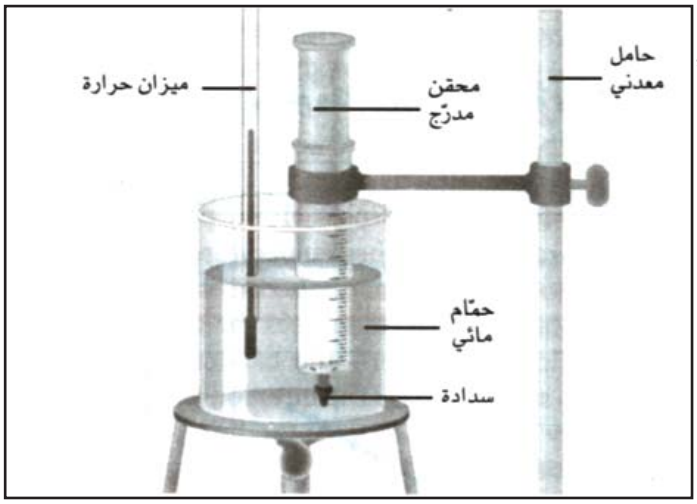
* ارتداء اللباس المخبري، والنظارات الواقية .

المواد والأدوات:

محقن زجاجي متدرج سعة $100\ mL$ ، حمام مائي، ميزان حرارة كحولي، لهب، حامل معدني، سدادة بلاستيكية لأسفل المحقن.

الإجراءات :

١- اسحب مكبس المحقن ليصبح حجم الهواء داخل المحقن $20\ mL$.
٢- قمْ بسد أسفل المحقن بالسدادة البلاستيكية.
٣- ركّب الجهاز كما موضح لك في الشكل(أ). مع مراعاة عدم ملامسة الحقنة لحواف الإناء .



شكل (أ) :تركيب الجهاز المستخدم في التجربة

٤- ضع المحقن في حمام مائي، وقس التغير في حجم الهواء داخله عند درجات الحرارة المختلفة (تتراوح ما بين درجة حرارة الغرفة إلى $80\ ^{\circ}C$) المشار إليها في الجدول الآتي :

الرقم	حجم الهواء (mL)	درجة الحرارة $(^{\circ}C)$	درجة الحرارة بالكلفن K	$\frac{V}{T}\ (mL/K)$
1				
2				
3				
4				
5				

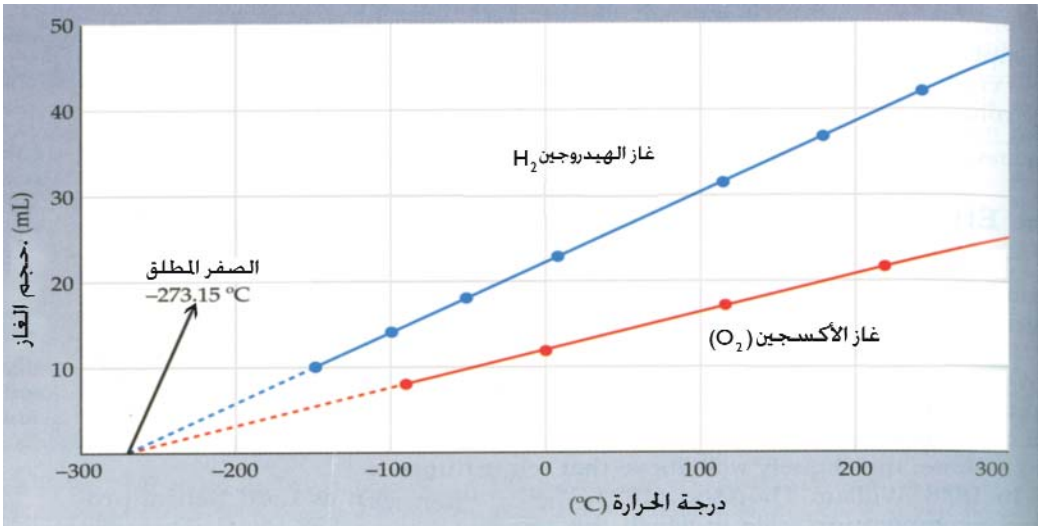
** لتحويل درجة الحرارة السيليزية إلى وحدة الكلفن (K) ، ارجع إلى صفحة (٣١) .

ملاحظة:
وحدة الحجم التي سوف تستخدمها في القياس تعتمد على نوع المحقن الموجود عندك في المختبر.

التحليل والتفسير:

١- ارسم شكلاً بيانيًّا يوضح العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة السليزية أو درجة الحرارة المطلقة.
٢- مد الخط البياني حتى يقابل محور درجة الحرارة. ما الدرجة التي يقابل الخط عندها المحور؟ ماذا تسمى هذه الدرجة ؟
٣- في ضوء ملاحظاتك التي قمت بجمعها، ما تأثير ارتفاع درجة الحرارة على حجم الغاز المحصور في المحقن ؟ فسّر إجابتك.
٤- ماذا تلاحظ على القيم $\frac{V}{T}$ المستخلصة من التجربة. ماذا تستنتج ؟

لاحظ العالم شارل من دراساته الكمية أن العلاقة البيانية بين الحجم ودرجة الحرارة عند ثبوت الضغط تعطي خطًّا مستقيمًا، فعندما تزداد درجة الحرارة يزداد الحجم الذي يشغله عدد محدد من جزيئات الغاز مع بقاء الضغط ثابت، ويوضح الشكل (٥-١٠) تغير حجم عينات من غازات مختلفة بتغير درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

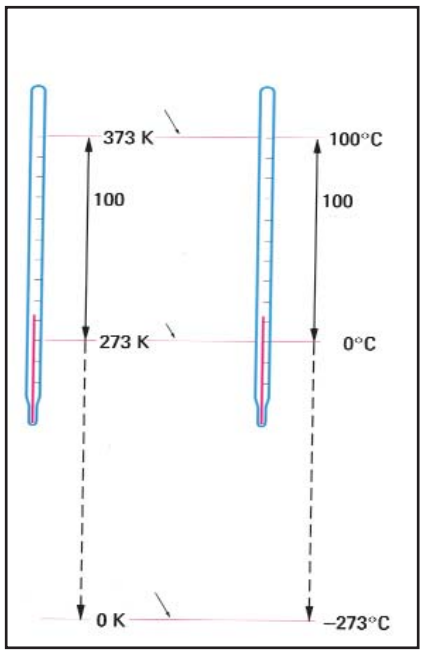


شكل (٥-١٠): العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة لعينات مختلفة من الغازات

وقد لاحظ شارل أنه عندما يتم مد هذه الخطوط المستقيمة،فإنها تتقاطع جميعا في نقطة واحدة على محور السينات، مناظرة للحجم صفر *(V=0)* ودرجة حرارة *(-273.15°C)* ولكن عمليًّا فإن جميع الغازات تتحول إلى الحالة السائلة، أو الصلبة قبل الوصول إلى هذه الدرجة؛ وذلك لأن قوى التجاذب بين جزيئاتها تتغلب على الطاقة الحركية للجزيئات .

وقد أدرك اللورد كلفن أهمية قيمة درجة الحرارة هذه $(-273.15^{o}C)$ وعرفها **بدرجة الصفر المطلق** ***(absolute zero)***، وهي درجة الحرارة التي تساوي عندها طاقة الحركة المتوسطة لدقائق الغاز (صفر) نظريًا. وكان هذا الأساس الذي بني عليه كلفن عام ١٨٤٨م **مقياس درجة الحرارة المطلقة** ***(absolute temperature scale)***، ويسمى هذا المقياس بمقياس كلفن لدرجة الحرارة (K). وعلى ذلك فإن درجة الصفر بالكلفن *(Kelvin)* تقابل $(-273.15^{o}C)$ ، ولتسهيل الحسابات يقرب الرقم $(-273.15^{o}C)$ إلى $(-273^{o}C)$، ويمكن استعمال العلاقة التالية لتحويل الدرجات السيليزية إلى درجات الحرارة بالكلفن أو العكس :

$$T\,(K) = t^{o}C + 273$$



شكل (٥–١١): مقارنة بين مقياس الحرارة السيليزي ومقياس كلفن

حيث تمثل (T) درجة الحرارة بالكلفن، وتمثل (t) درجة الحرارة السيليزية .

مثال (١) :

كم تبلغ قيمة درجة الحرارة $(25^{o}C)$ على مقياس كلفن ؟

الحل :

$$T\,(K) = t(^{o}C) + 273$$
$$= 25^{o}C + 273$$
$$= 298\ K$$

ويوضح لك الشكل(٥–١١) مقارنة بين كل من مقياس درجة الحرارة السيليزي (^{o}C)، ومقياس كلفن لدرجة الحرارة المطلقة (K) .

وبناءً على الملاحظات التي توصل إليها كل من شارل وكلفن، فإن قانون شارل ينص على أنه " **عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز ما تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته المطلقة** " ، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بصورة رياضية: (عند ثبوت الضغط) :

$$V \propto T$$

وحيث إن النسبة التي يحدث بها التغير للكميتين المتغيرتين تساوي مقدارًا ثابتًا عند ثبوت الضغط ، فإنه يمكن تحويل العلاقة السابقة إلى الصورة الآتية:

$$V = Constant \times T$$

حيث يمثل *(Constant)* مقداراً ثابتًا **(على ماذا تعتمد قيمة الثابت هنا؟)**، وتمثل العلاقة السابقة الصورة الرياضية لقانون شارل ، **وضّح كيف يمكنك الحصول من العلاقة السابقة على العلاقة الآتية :**

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_n}{T_n}$$

حيث V_1, V_2, V_n حجوم عينة الغاز عند درجات الحرارة T_1, T_2, T_n على الترتيب عند ثبوت الضغط وكمية الغاز.

ملاحظة:
لاحظ أنه عند حل التطبيقات الرياضية على قوانين الغازات ، يجب التعبير دائما عن درجة الحرارة بمقياس كلفن أي درجة الحرارة المطلقة . ولتسهيل العلاقة بين درجة الحرارة والحجم فإن استخدام الكلفن يعطي علاقة واضحة تبدأ من نقطة الأصل وعليه فإن درجة الحرارة يجب أن تكون بالكلفن .

مثال (٢) :
تم تسخين أسطوانة لغاز النيتروجين مع مكبس متحرك، لدرجة حرارة *(315°C)* فإذا كان حجم الغاز في الأسطوانة يساوي *(0.3 L)* عند درجة حرارة *(25°C)* . احسب الحجم النهائي للغاز عند درجة حرارة *(315°C)* ؟

الحل :

$$V_1 = 0.3\ L$$
$$T_1 = 25^oC = 298\ K$$
$$T_2 = 315^oC = 588\ K$$

المطلوب:
$$V_2 = ?$$

من العلاقة:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$
$$V_2 = \frac{V_1\ T_2}{T_1}$$
$$V_{N_2} = \frac{0.3\ L \times 588\ \cancel{K}}{298\ \cancel{K}}$$
$$V_{N_2} = 0.59\ L$$

إذن الحجم النهائي لغاز النيتروجين عند درجة حرارة *315 °C* يساوي *(0.59 L)* .

اختبر فهمك (٤):

١- يحتوي بالون على $(500\ cm^3)$ عند درجة حرارة (27^oC)، ما حجم البالون إذا أدخل في براد عند درجة حرارة (-18^oC)؟

٢- في صباح يوم بارد (10^oC) ، قام أحد الطلاب بملء بالون بالهواء، وبعد أن امتلأ البالون إلى مستوى $\frac{3}{4}$ من حجمه ، قام بتسخين الهواء حتى امتلىء البالون متخذا أقصى سعة له وهي $(1700\ cm^3)$. ما درجة حرارة الهواء السيليزية في البالون عند هذه السعة؟ (افترض أن ضغط الهواء وكميته ثابتة منذ بدء التسخين).

٣- فسِّر قانون شارل في ضوء النظرية الحركية الجزيئية.

٤- لماذا يستخدم مقياس الحرارة المطلقة في حسابات قوانين الغازات عوضًا عن مقياس الدرجات السيليزية؟

معلومة تهمك: اللورد كلفن

هل تعلم أن العالم وليام طومسون(١٨٢٤-١٩٠٧م)، والمشهور باللورد كلفن، كان مهندسًا وعالم رياضيات وفيزياء أسكوتلندي، وقد كان مشهوراً بين أبناء جيله بفكره العلمي العميق، والذي كان ذا اثر واضح على الفكر العلمي في تلك الحقبة الزمنية، كان من أبرز إسهاماته العلمية وضع مقياس كلفن للحرارة، ولم يقتصر نشاط اللورد كلفن على بحوثه في الهندسة والرياضيات والفيزياء، وإنما انعكس على كافة جوانب حياته الاجتماعية الأخرى، فقد اشتهر بحبه لرياضة التجديف، وقد حاز على الجائزة الفضية لجامعة كامبريدج في هذا النوع من الرياضة، كما واشتهر أيضًا بمغامراته وأسفاره الكثيرة في أوروبا والولايات المتحدة .

٥-٥ قانون جاي لوساك : Gay - Lussac's Law

قد تتساءل لماذا يكتب على عبوات المعطر الجوي *(aerosol-spray)* ، تحذير بعدم وضعها بالقرب من لهب مشتعل أو إحراقها؟ إن هذا التحذير يوضح لك أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة، فإن ذلك يؤدي إلى تمدد جزيئات الغاز، وتزايد ضغط الغاز داخل العلبة؛ مما قد يؤدي إلى انفجارها **(فسَّر ذلك في ضوء النظرية الحركية الجزيئية للغازات)**. وقد كان الفرنسي جاي– لوساك (١٧٧٨–١٨٥٠م)، من بين عددٍ من العلماء درسوا العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة الحرارة، وقد كُرّم عام ١٨٠٢م على دراساته في هذا النطاق.

وينص قانون جاي لوساك على أن : "**يتناسب ضغط كمية معينة من الغاز طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة ، وذلك عند ثبوت الحجم**". ويمكن التعبير عن هذه العلاقة رياضيًّا كالآتي :

$$P = Constant \times T$$

أي أن

$$\frac{P}{T} = Constant$$

حيث إن *(T)* هي درجة الحرارة بالكلفن، و*(Constant)* مقدار ثابت تعتمد قيمته على كمية الغاز وحجمه .

إذا افترضنا أن حجم وكمية الغاز ثابتة، فإن حاصل قسمة المتغيرين $\frac{P}{T}$ تعطي قيمة ثابتة ***(Constant)*** ، وهذا يعني أنه يمكن مقارنة حسابات الضغط ودرجة الحرارة لمجموعتين كما يلي :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

والآن هل تستطيع إيجاد وجه الشبه بين هذا القانون وقانون شارل ؟

مثال (١) :

إذا كانت درجة حرارة صهريج يحتوي على غاز الأرجون في الليل 18^oC، وكان ضغط الغاز عند هذه الدرجة يعادل $875\ kPa$ ، ما قيمة ضغط الغاز خلال فترة النهار إذا ارتفعت درجة حرارة الغاز في الصهريج إلى 32^oC ؟ (افترض ثبوت حجم الصهريج وكمية الغاز) .

الحل :

$$T_1 = 18^oC = 291\ K$$

$$T_2 = 32^oC = 305\ K$$

$$P_1 = 875\ kPa$$

المطلوب: $P_2 = ?$

من العلاقة

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

$$= \frac{875 \text{ kPa} \times 305 \cancel{\text{ K}}}{291 \cancel{\text{ K}}}$$

$$P_{Ar} = 917 \text{ kPa}$$

اختبر فهمك (٥):

١- فسِّر: تكون إطارات السيارات(لا سيما المتهالكة) عرضة للانفجار في أيام الصيف الحارة.

٢- عينة من غاز الهيليوم، يبلغ ضغطها $1.2\ atm$، عند درجة حرارة $22^{o}C$. ما درجة الحرارة المئوية التي يصل عندها الهيليوم إلى ضغط $2.0\ atm$ ؟

معلومة تهمك: العلاقة بين درجة الحرارة والضغط

تشير العديد من المراجع العلمية إلى أن العالم الفرنسي الشهير جاي لوساك (١٧٧٨-١٨٥٠م) يعتبر مكتشف العلاقة بين درجة الحرارة وضغط الغاز في بداية عام (١٨٠٠م) ، ولذلك تطلق الكثير من المراجع العلمية على هذه العلاقة مسمى قانون جاي لوساك، ولكن يشير تاريخ الاكتشافات العلمية أيضا إلى أن كلاً من العالم الفرنسي جاك شارل والكيميائي الإنجليزي جون دالتون قد توصلوا إلى اكتشاف هذه العلاقة من خلال تجاربهم في فترة متزامنة مع اكتشافات جاي لوساك.

٥-٦ قانون الغازات الموحد : (The Combined Gas Law)

قد تتعرض عينة من الغاز لتغيرات متزامنة في درجة الحرارة والضغط والحجم . مما يترتب عليه وجوب مراعاة التغيرات الثلاثة في آنٍ واحد. ولذلك تم وضع قانون موحد للتعامل مع مثل هذه الحالات ، يجمع قوانين كل من بويل وشارل وجاي لوساك ، وقد أطلق عليه **القانون الموحد للغازات** ، ويعبر هذا القانون عن العلاقة بين ضغط كمية معينة من الغاز وحجمها ودرجة حرارتها، ويمكن تمثيل هذا القانون رياضيًّا بالعلاقة الآتية :

$$\frac{PV}{T} = Constant$$

ويمكن إعادة كتابة صيغة القانون الموحد للغازات عند ثبوت كمية الغاز علي النحو الآتي:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

مثال (١) :

بالون مليء بالهيليوم حجمه $50\ L$ عند درجة حرارة (25^oC) وتحت ضغط $1.08\ atm$ ما حجم البالون، عندما يصبح الضغط $0.855\ atm$ ودرجة الحرارة 10^oC ؟

الحل :

حجم الهيليوم $V_1 = 50\ L$

درجة حرارة الهيليوم $T_1 = 25^oC + 273\ K = 298\ K$

درجة حرارة الهيليوم $T_2 = 10^oC + 273 = 283\ K$

ضغط الهيليوم $P_1 = 1.08\ atm$

ضغط الهيليوم $P_2 = 0.855\ atm$

حجم الهيليوم $V_2 = ?$

من خلال إعادة ترتيب القانون الموحد للغازات نستطيع حساب قيمة الحجم النهائي لغاز الهيليوم

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1\ T_2}{P_2T_1}$$

وبالتعويض بالقيم المعلومة في العلاقة السابقة:

$$V_2 = \frac{(1.08\ \cancel{atm})\ (50\ L\ He) \times (283\ \cancel{K})}{(0.855\ \cancel{atm}) \times (298\ \cancel{K})} = 60\ L\ He$$

مثال (٢):

عينة هواء حجمها $5\ L$ ، عند درجة حرارة $(-50\ ^oC)$ ، وعند ضغط $107\ kPa$ كم يصبح الضغط الجديد لعينة الهواء عندارتفاع درجة الحرارة إلى 102^oC ، وتمدد الحجم إلى $7\ L$ ؟

الحل (١):

$$V_1 = 5\ L$$
$$V_2 = 7\ L$$
$$T_1 = -50\ ^oC + 273 = 223\ K$$
$$T_2 = 102\ ^oC + 273 = 375\ K$$
$$P_1 = 107\ kPa$$

المطلوب: P_2

بالتعويض في العلاقة التالية:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1V_1T_2}{V_2T_1}$$

$$P_2 = \frac{107\ kPa \times 5\ \cancel{L} \times 375\ \cancel{K}}{7\ \cancel{L} \times 223\ \cancel{K}}$$

$$P_2 = 128.5\ kPa$$

اختبر فهمك (٦):

١- يمكن الحصول على أيٍّ من قوانين الغازات الثلاثة من قانون الغازات الموحد، في حال تم تثبيت المتغير المناسب (أثبت ذلك؟)

٢- ما الضغط اللازم لتقليص حجم $(60\ mL)$ من غاز تحت الظروف القياسية إلى $10\ mL$ عند درجة حرارة مقدارها 25^oC ؟

٣- عينة من غاز الأرجون حجمها $(100\ mL)$ عند درجة حرارة (35^oC) وتحت ضغط $(760\ torr)$ ما درجة الحرارة اللازمة لخفض ضغط نفس الغاز إلى $(720\ torr)$ ، ولزيادة حجمه إلى $(200\ mL)$ ؟

معلومة تهمك: الفشار

هل تعلم كيف تتحول حبيبات الذرة إلى فشار منتفخ؟ عندما يتم تسخين حبيبات الذرة ، فإن الماء المختزن داخل هذه الحبيبات يبدأ بالتبخر، وكلما ارتفعت درجة الحرارة باستمرار التسخين ، يزداد الضغط البخاري للماء؛ مما يسبب انتفاخ حبيبات الذرة وتشقق قشرتها وانفجارها على هيئة الفشار المعروف لديك.

شكل (٥-١٢): الفشار

أسئلة الفصل

السؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

١- غاز ما تحت ضغط $115\ kPa$، خُفضت درجة حرارته من 35^oC إلى 25^oC ، عند ثبات الحجم، يكون ضغطه النهائي بوحدة kPa :

أ) 82 ب) 111 ج) 119 د) 161

٢- عينة من غاز ما في وعاء حجمه $300\ cm^3$ عند درجة حرارة 25^oC ، ضغطها $82.5\ kPa$ ، فإذا نقلت إلى وعاء حجمه $500\ cm^3$ عند درجة حرارة 50^oC ، فإن ضغطها بوحدة kPa يساوي :

أ) 15.9 ب) 45.67 ج) 49.5 د) 53.7

٣- – إذا كانت درجة حرارة غاز ما تساوي 12^oC، فإن درجة حرارته المطلقة بالكلفن (K) تساوي:

أ) 249 ب) 258 ج) 285 د) 385

٤- سجَّل بارومتر زئبقي قراءة للضغط الجوي تشير إلى $74.58\ cm\ Hg$ ، تكون هذه القيمة بوحدة التور $(torr)$:

أ) 0.9813 ب) 99.43 ج) 745.8 د) 760.8

٥- تشغل عينة من الغاز عند درجة حرارة 27^oC حجما قدره $250\ mL$، ما الحجم بوحدة mL الذي ستشغله هذه العينة عند درجة حرارة 35^oC مع ثبوت الضغط ؟

أ) 4.1 ب) 243.5 ج) 257 د) 325

٦- جميع الوحدات الآتية تستخدم للتعبير عن الضغط ما عدا:

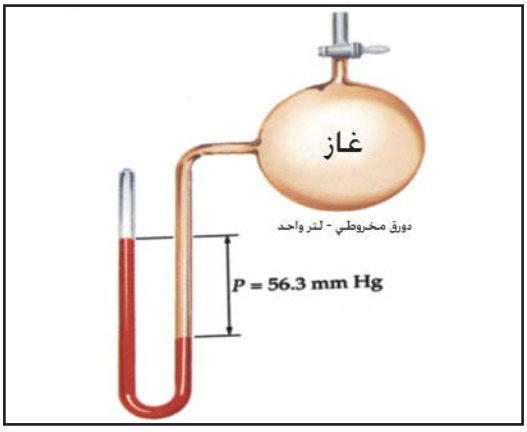
أ) $mm\ Hg$ ب) $torr$ ج) K د) Pa

٧- عندما يزداد ضغط غاز ما ،عند درجة حرارة ثابتة، فإن الحجم:

أ) يزداد.
ب) يقل.
ج) يزداد ثم يقل.
د) يقل ثم يزداد.

٨- قيمة الضغط في المانومتر المقابل بوحدة *atm* تساوي :

أ) *0.074*
ب) *0.741*
ج) *1.35*
د) *427880*



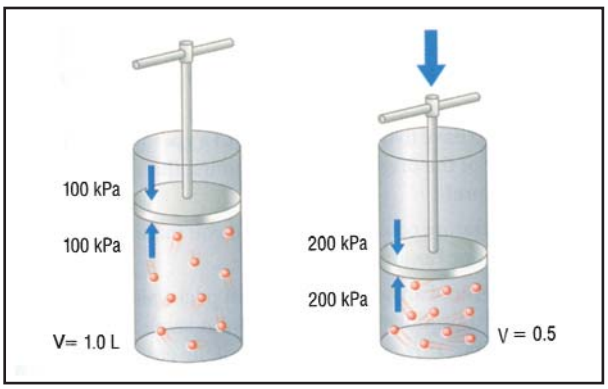
٩) إذا تضاعفت كتلة جزيء الغاز ثلاث مرات مع ثبات السرعة، فإن كمية الطاقة الحركية *(KE)* :

أ) تتضاعف ٣ مرات.
ب) تتقلص إلى الربع.
ج) تتضاعف مرتين.
د) تتقلص إلى النصف.

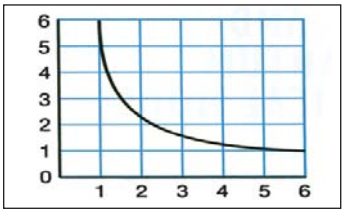
استخدم الشكل التوضيحي المقابل للإجابة عن المفردات (١٠) و (١١):

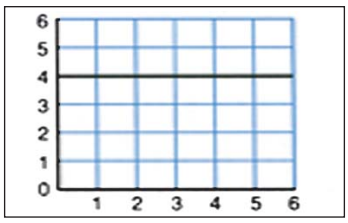
١٠- يمثل الشكل المقابل قانون:

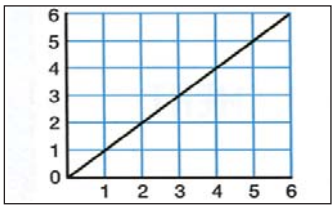
أ) بويل.
ب) شارل.
ج) جاي لوساك.
د) أفوجادرو.

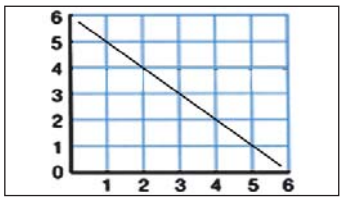


١١- الشكل البياني الذي يعكس العلاقة في هذا الشكل هو:

أ)


ب)


ج)


د)


١٢- قيمة الثابت C ، وفقا للبيانات المعطاة لك في الجدول المقابل تساوي:

V(mL)	P(kPa)
50	100
33	150
25	200
20	250
17	300

أ) $2\ kPa/mL$
ب) $2\ kPa\ .mL$
ج) $5000\ kPa.mL$
د) $5000\ kPa/mL$

١٣- غاز محصور يشغل حجما مقداره $22.4\ L$ عند درجة حرارة $0\ ^oC$ ، فإذا سخن هذا الغاز إلى درجة حرارة 25^oC تحت نفس الضغط، فإن حجمه بوحدة اللتر يكون:

أ) 3.63
ب) 20.5
ج) 24.5
د) 560

السـؤال الثاني :

١– **فسِّر:**

أ) تصمم طائرات الركاب التي تحلق على ارتفاعات شاهقة بطريقة تحافظ على معدل ضغط جوي، قريبا من الضغط الجوي على سطح الأرض.

ب) يجب عدم إلقاء علب البخاخ أو معطرات الجو *(aerosol-spray)* في اللهب حتى لو كانت فارغة.

ج) تنفخ مناطيد البحث العلمي المستخدمة في الارتفاعات الشاهقة بشكل جزئي قبل إطلاقها.

٢– قام فريق من الطلاب بملء بالون بالهواء عند درجة حرارة $5\ ^{o}C$ ، حتى امتلىء بنسبة 80% من سعته الكلية، وبعد ذلك أشعل الفريق اللهب لتسخين الهواء، حتى امتلأ البالون تماما بالهواء وأصبح الحجم النهائي للبالون $1600\ cm^3$، ما درجة الحرارة التي لزمت لتسخين الهواء حتى وصل البالون إلى أقصى حجم له من الامتلاء ؟

٣– كان ضغط الهواء في إطار سيارة في صباح أحد الأيام $198\ kPa$ عند درجة حرارة $27^{o}C$ ، وفي نهاية النهار ارتفع الضغط إلى $225\ kPa$ ، حيث كان اليوم مشمسًا حارًّا. ما درجة حرارة الهواء داخل إطار السيارة (افترض أن حجم الإطار بقي ثابتًا)

السـؤال الثالث :

أ) تمثل البيانات في الجدول الآتي ، نتائج تجربة تم إجراؤها لتتبع تأثير تغير درجة الحرارة على حجم غاز ما، بافتراض أن كمية وضغط الغاز مقادير ثابتة، ادرس البيانات في الجدول ثم أجب عما يليها من أسئلة:

الحجم (L)	درجة الحرارة (^{o}C)	درجة الحرارة (K)	$V/T\ (L/K)$
5.00	25		
5.42	50		
5.84	75		
6.26	100		
6.68	125		

أ– أكمل البيانات الناقصة في الجدول.
ب– ماذا تمثل القيمة $\frac{V}{T}$ ؟ وما المتغيرات التي تؤثر بها ؟
ج– ارسم شكلاً بيانيًّا توضح فيه أثر ارتفاع درجة الحرارة على حجم الغاز .
د– أذا انخفضت درجة حرارة الغاز إلى الصفر المطلق، كم يكون حجم الغاز ؟

٢) معدل تنفس الإنسان الطبيعي حوالي 15 مرة في الدقيقة. ومعدل حجم الهواء لكل مرة يحصل فيها التنفس هو $505\ cm^3$ عند درجة حرارة $20\ ^oC$ ، وتحت ضغط $9.95 \times 10^4\ Pa$ كم يبلغ حجم الهواء الذي يتنفسه إنسان في يوم كامل بوحدة cm^3 تحت شروط STP ؟

٣)
أ– عينة من غاز الميثان ،حجمها $1000\ mL$ ، تحت ضغط $740\ torr$ ، ودرجة حرارة $25\ ^oC$ ، كم تكون درجة حرارة عينة الغاز تحت ضغط $814\ torr$ وحجم $900\ mL$ ؟
ب– تكونت فقاعة هواء حجمها $2\ mL$ في قاع بحيرة ، حيث الضغط يساوي $3\ atm$ ، فإذا افترضنا أن درجة حرارة الماء تبقى ثابتة ، ماذا تتوقع أن يحدث لحجم الفقاعة عندما ترتفع إلى السطح ؟ فسّر إجابتك .

السؤال الرابع :

أ) إذا علمت أن حجم خليط الوقود المحبوس داخل أسطوانة محرك هو $400\ cm^3$ ، تحت ضغط $1\ atm$ ، و درجة حرارة $27\ ^oC$.

في ضوء ذلك أجب عما يأتي:

١– عندما ينضغط المكبس، تصل درجة الحرارة إلى $77\ ^oC$ ، ويتقلص الحجم إلى $50\ cm^3$ ما قيمة الضغط الجديد؟
٢– بعد انضغاط المكبس، تحرق شمعة الإشعال خليط الوقود.ماذا تتوقع أن يحدث لحجم الغاز؟
ب) غاز حجمه $1\ L$، عند ضغط $1\ atm$، ودرجة حرارة $200\ ^oC$، احسب الضغط اللازم لجعل حجم هذا الغاز يساوي نصف لتر عند درجة حرارة $40\ ^oC$ ؟
ج) عينة من غاز حجمها $3.5\ L$ ، عند درجة حرارة $20\ ^oC$، وضغط $86.7\ kPa$ تمددت هذه العينة لحجم $8\ L$ ، وضغط نهائي $56.7\ kPa$ ما درجة الحرارة النهائية للغاز ؟

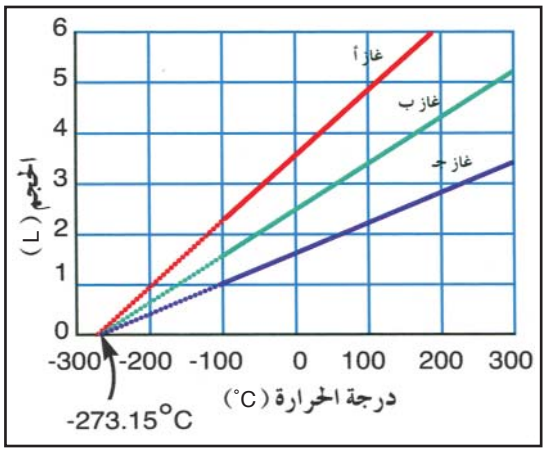
السـؤال الخـامـس :

أ– إذا سخنت علبة معدنية مفتوحة وفارغة لمشروب غازي لمدة دقيقة على لهب بنزن، صف ما الذي سيحدث إذا قمت بإزاحة العلبة بسرعة من على اللهب وأغطستها في وضع مقلوب في حمام مائي مثلج ؟ استخدم النظرية الحركية الجزيئية في تفسير ما سوف يحدث.

ب–يعلم الغواصون أن ضغط الماء يزداد حوالي $100\ kPa$ كلما ازداد عمق الماء في البحر $10.2\ m$ وهذا يعني أنه على عمق $10.2\ m$ تحت سطح الماء يصبح الضغط $201\ kP$ ، وعلى عمق $20.4\ m$ يصبح الضغط $301\ kPa$ ، وهكذا. فإذا كان حجم بالون $3.5\ L$ تحت شروط STP ، وعلى افتراض أن درجة حرارة الماء ثابتة،ما حجم البالون عندما يكون على عمق $51\ m$ تحت سطح الماء ؟

ج– عينة من الغاز حجمها $80\ L$ ، عند درجة حرارة 27.0^oC ، وتحت ضغط $0.2atm$ ما حجم عينة الغاز نفسها تحت الشروط القياسية المحيطة STP ؟

السـؤال السـادس :



ادرس الشكل المقابل بدقة ، ثم أجب عما يليه من أسئلة :

١– أي قانون من قوانين الغازات يعكس الشكل البياني المقابل ؟

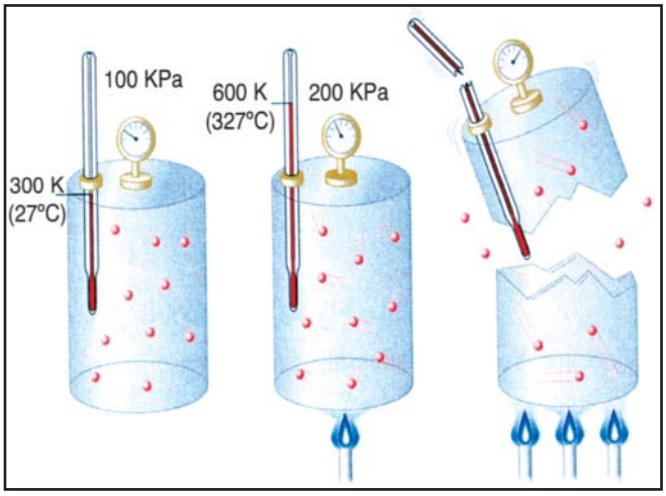
٢– ما نوع العلاقة في هذا الشكل ؟

٣– ما درجة الحرارة التي يساوي عندها متوسط طاقة الحركة للجزيئات " صفر " نظريًا ؟

٤– إذا كان حجم الغاز(أ) عند درجة حرارة $100\ ^oC$ يساوي $4.8\ L$ ،كم يصبح حجم هذا الغاز إذا انخفضت درجة حرارته إلى الصفر السيليزي ؟

٥– احسب قيمة الثابت $(Constant)$ للغاز (أ) ؟

السـؤال السـابع :



أ– ادرس الشكل المقابل، ثم أجب عما يليه من أسئلة:

١– ما العوامل (المتغيرات) المستقلة ؟ وما هي العوامل الثابتة في الشكل المقابل ؟

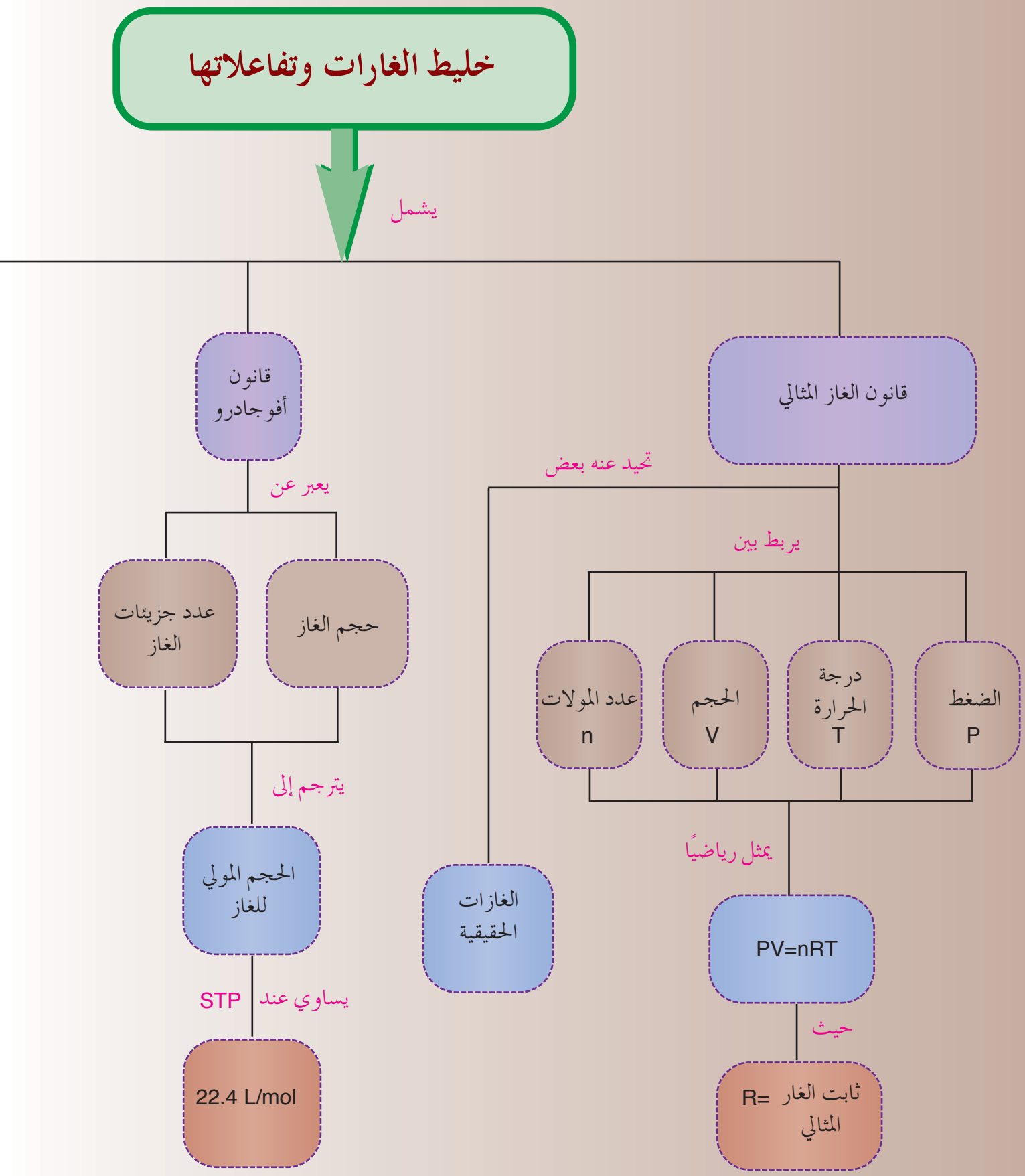
٢– فسر التغيرات التي تطرأ على ضغط الغاز في الشكل المقابل في ضوء النظرية الحركية للجزيئات ؟

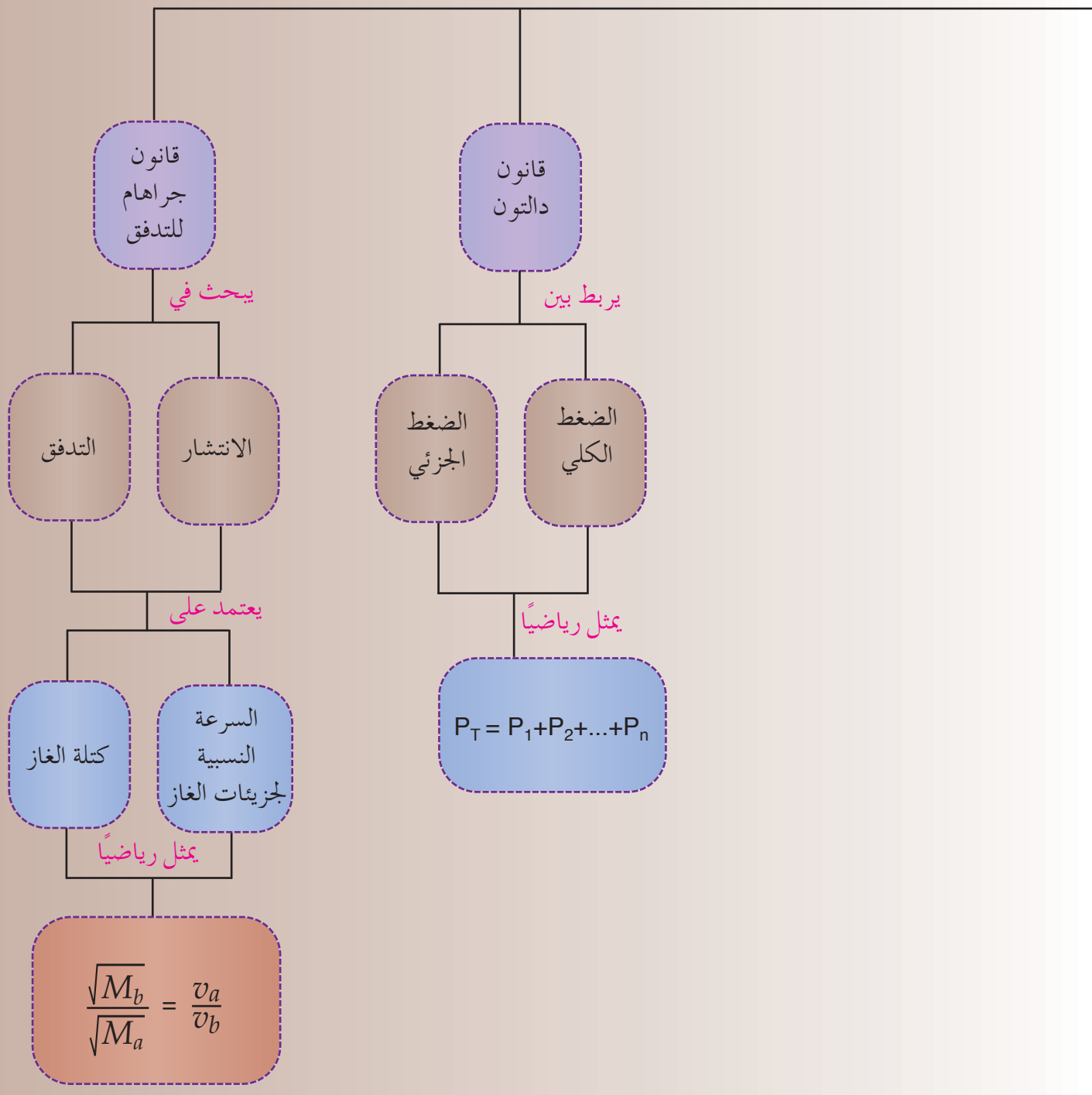
٣– ما العلاقة التي يمكن أن تتوصل لها بين درجة حرارة الغاز بالكلفن، ومتوسط طاقة حركة جزيئاته ؟

٤– ما التغيرات التي تقترح إدخالها في التجربة لتفادي انفجار الإناء في الشكل؟ مع تفسير مقترحاتك .

ب) عينة من غاز الهيليوم عند ضغط *745 torr*، لها حجم *2.55 L* ، عند درجة حرارة *25°C* ،تم تسخينها من إلى *75°C* ولذلك تمدد حجم الوعاء إلى *2.75 L* ، احسب الضغط النهائي لغاز الهيليوم بوحدة *torr* .

خليط الغازات وتفاعلاتها




قانون دالتون
يربط بين
الضغط الكلي
الضغط الجزئي
يمثل رياضيًا
$P_T = P_1+P_2+...+P_n$
قانون جراهام للتدفق
يبحث في
الانتشار
التدفق
يعتمد على
السرعة النسبية لجزيئات الغاز
كتلة الغاز
يمثل رياضيًا
$\frac{\sqrt{M_b}}{\sqrt{M_a}} = \frac{v_a}{v_b}$

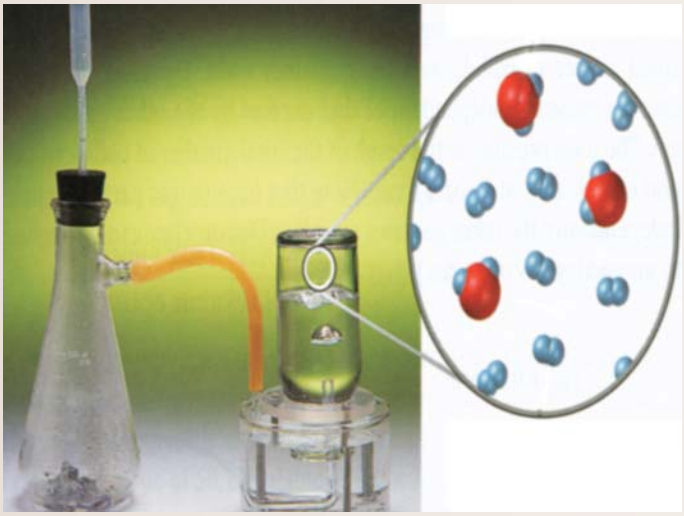
الفصل السادس خليط الغازات وتفاعلاتها
Gas Mixture and Reactions

مقدمة الفصل

يقول الله تعالى في كتابه الكريم:
﴿ فَمَن يُرِدِ اللَّهُ أَن يَهْدِيَهُ يَشْرَحْ صَدْرَهُ لِلإِسْلامِ وَمَن يُرِدْ أَن يُضِلَّهُ يَجْعَلْ صَدْرَهُ ضَيِّقًا حَرَجًا كَأَنَّمَا يَصَّعَّدُ فِي السَّمَآءِ كَذَلِكَ يَجْعَلُ اللَّهُ الرِّجْسَ عَلَى الَّذِينَ لا يُؤْمِنُون ﴾ (الأنعام:١٢٥).

تشير الآية الكريمة، إلى معجزة علمية اكتشفها العلماء ، وهي انخفاض الضغط الجوي بالصعود في طبقات الجو العليا؛ مما يسبب ضيق صدر الصاعد حتى يصل إلى درجة الاختناق،ولقد فسّر العلماء هذه الظاهرة بعد سلسلة طويلة من التجارب لمعرفة مكونات الهواء، وخصائصه. فهل فكرت يوما بمحتوى الغلاف الغازي الذي يحيط بالأرض؟ مم يتكون؟ هل تبادر يوما إلى ذهنك أن هذا السقف الأزرق الممتد فوقنا، المشرق نهارا، والمتلألئ بالنجوم ليلا، والذي يعد عنصرا أساسيًّا لاستمرار بقائنا على كوكب الأرض، يشكل أضخم وسط للتبادل الغازي على سطح الأرض. في هذا الفصل ستتعرّف على ماهية الغاز المثالي، والغازات الحقيقية، والشروط والعلاقات التي تحكم المخاليط الغازية وتفاعلاتها، كما وستتعرّف على أهم التطبيقات التقانية على الغازات.

الموضوعات الرئيسة :



٦-١ : قانون الغاز المثالي.
٦-٢ : الغاز المثالي والغازات الحقيقية
٦-٣ : قانون أفوجادرو.
٦-٤ : الحجم المولي للغاز.
٦-٥ : قانون دالتون للضغوط الجزئية.
٦-٦ : تطبيقات الضغوط الجزئية.
٦-٧ : الانتشار والتدفق.
٦-٨ : التطبيقات التقانية للغازات.

الغازات وقوانينها
Gases and Their Laws

مصطلحات علمية جديدة :

١- الغاز الحقيقي ..... *1- Real Gas*

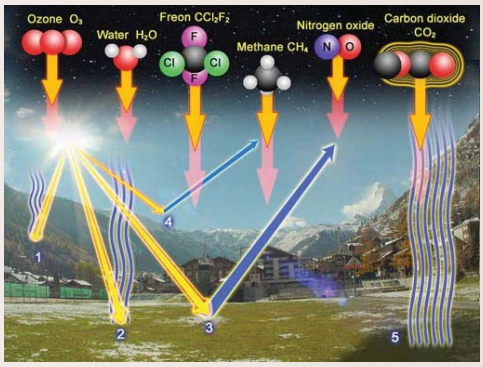
٢- الضغط الجزئي ..... *2- Partial Pressure*

٣- الضغط الكلي ..... *3- Total Pressure*

٤- الغازات المضغوطة ..... *4- Compressed Gases*

٥- الانتشار ..... *5- Diffusion*

٦- التدفق ..... *6- Effusion*



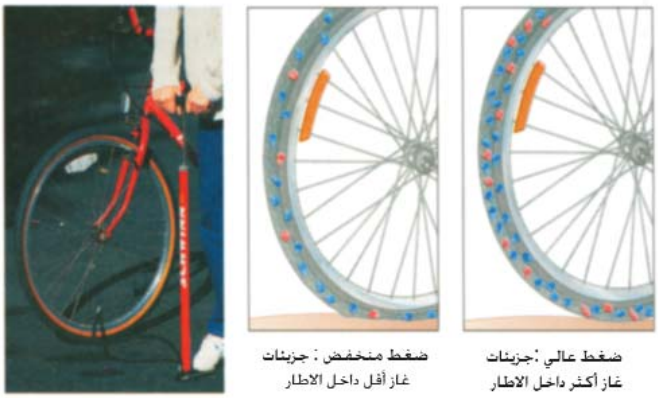
عناوين الاستكشافات :

الاستكشاف (١): قياس الكتلة المولية للغاز.

الاستكشاف (٢): الانتشار.

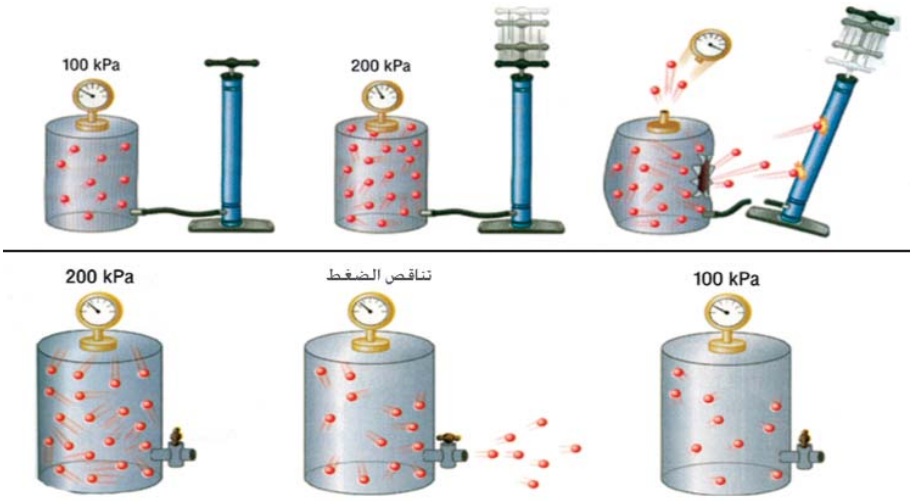
٦-١ قانون الغاز المثالي : The Ideal Gas Law

لا بد أنك تلاحظ أنه كلما أضفنا مزيداً من الغاز للبالونات، أو لإطارات السيارات، فإنه تزداد حجومها؛ مما يدعونا للاستنتاج أن العوامل المؤثرة على حجم الغاز ليست فقط الضغط ودرجة الحرارة، بل وكمية الغاز أيضًا، كما في الشكل (٦-١).



الشكل (٦-١) : تأثير زيادة كمية الغاز على الضغط

إن عدد جزيئات الغاز أو عدد المولات يؤثر في متغير واحد على الأقل من المتغيرات الثلاثة الأخرى، فنسبة تصادم الجزيئات على وحدة المساحة تعتمد على عدد الجزيئات الموجودة؛ فإذا ازداد عدد الجزيئات عند حجم ودرجة حرارة ثابتين، فإن هذا يؤدي إلى زيادة عدد التصادمات، وبالتالي يزيد الضغط. لكن ماذا تتوقع أن يحدث إذا ازداد عدد الجزيئات عند ثبات الضغط ودرجة الحرارة؟انظر الشكل (٦-٢أ).



(أ) عند زيادة كمية الغاز

(ب) عند تناقص كمية الغاز

الشكل (٦-٢): أثر متغير كمية الغاز على سلوك الغازات

يتضح لك من الشكل (٦-٢) أن حجم الغاز يتناسب مع كمية الغاز أو عدد مولاته،ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$V \propto n$$

حيث (n) ، عدد مولات الغاز. وبدمج قوانين الغازات التي سبق ودرستها، نجد أن حجم كمية معينة من الغاز يتناسب مع كلٍّ من:

$$V \propto \frac{1}{P} \times T \times n$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة في صورة معادلة رياضية كالآتي:

$$V = (Constant) \times \frac{1}{P} \times T \times n$$

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

$$\boxed{PV = nRT}$$

يطلق على القانون السابق قانون الغاز المثالي، ويمثل الرمز (R) ثابت يعرف بثابت الغاز المثالي *(ideal gas constant)*. ويمكن حساب قيمة هذا الثابت بالتعويض بقيم المتغيرات الأخرى المعروفة عند الظروف القياسية. فعلى سبيل المثال، عند الظروف القياسية *STP* ، يشغل مول واحد من أي غاز حجما وقدره $22.4\ L$ ، وعند تطبيق هذه القيم في قانون الغاز المثالي نحصل على النتيجة الآتية :

$$PV = nRT$$

$$R = \frac{PV}{nT}$$

$$= \frac{101.325\ kPa \times 22.4\ L}{1.0\ mol \times 273.15\ K}$$

$$= 8.31\ kPa.L/mol.K$$

وتعتمد قيمة (R) على الوحدات المستعملة للضغط والحجم، ودرجة الحرارة، ويوضح الجدول (٦–١) القيم التي يمكن أن تأخذها R عند استخدام وحدات أخرى للضغط :

وحدة P	قيمة R	وحدة R
atm	0.0821	L.atm/mol.K
kPa	8.314	L.kPa/mol.K

جدول (٦–١): القيم التي يأخذها ثابت الغاز المثالي باختلاف وحدات الضغط

مثال (١):

ما الحجم بوحدة اللتر الذي يشغله $0.25\ mol$ من غاز الأكسجين عند درجة حرارة $20\ ^{o}C$ ، وضغط $0.974\ atm$ ؟

الحل :

المعطيات :

$$P_{O_2} = 0.974\ atm$$
$$n_{O_2} = 0.25\ mol$$
$$T = 293\ K$$
$$R = 0.0821\ L.atm/mol.K$$

المطلوب : $V_{O_2} = ?$

وبالتعويض في قانون الغاز المثالي :

$$VP = nRT$$

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

$$V = \frac{(0.25\ mol\ O_2) \times (0.0821\ L.atm/mol\ .K) \times (293\ K)}{0.974\ atm}$$

$$= 6.17\ L$$

كما ويمكن اشتقاق معادلة رياضية من قانون الغاز المثالي تبيّن العلاقة بين كثافة الغاز ، والضغط، ودرجة الحرارة، والكتلة المولية، وذلك كما يأتي:

بالتعويض عن (n) بقيمتها في قانون الغاز المثالي، نحصل على :

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{mRT}{M}$$

$$M = \frac{mRT}{PV}$$

كما ويمكن حساب كثافة الغاز (d) ، باستخدام قانون الغاز المثالي ، **وضّح كيف يمكن اشتقاق العلاقة الآتية من قانون الغاز المثالي:**

$$d = \frac{MP}{RT}$$

مثال (٢):

عينة من غاز النيون ،تم ضغطها في أنبوبة حجمها $0.88\ L$ ، عند ضغط $90\ kPa$ ، ودرجة حرارة $30\ ^oC$؟ احسب كتلة الغاز وكثافته.

الحل :

المعطيات:

$$V= 0.88\ L$$
$$P= 90\ kPa$$
$$T=303\ K$$

المطلوب:

$$m_{Ne}=?$$
$$d=?$$

باستخدام العلاقة الآتية:

$$M= \frac{mRT}{PV}$$

$$m= \frac{PVM}{RT}$$

$$= \frac{90\ \cancel{kPa} \times 0.88\ \cancel{L} \times (20.18\ g/\cancel{mol})}{(8.31\ \cancel{kPa.L}/\cancel{mol.K}) \times 303\ \cancel{K}}$$

$m_{Ne} = 0.63\ g$ (كتلة غاز النيون)

$$d = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{0.63\ g}{0.88\ L}$$

$d = 0.72\ g/L$ (كثافة غاز النيون)

اختبر فهمك (١) :

١- أثبت أن ثابت الغاز المثالي (R)، يأخذ القيمة الآتية: $62.4\ L.mm\ Hg/mol.K$

٢- وضّح باستخدام العلاقات الرياضية كيف تحول قانون الغاز المثالي إلى كلٍّ من قانون بويل،وقانون شارل، وقانون جاي لوساك ؟

٣- ما الفرق بين قانون الغاز المثالي، والقانون الموحد للغازات ؟

٤- احسب كثافة عينة من غاز الأمونيا NH_3 ، عند ضغط $0.980\ atm$، ودرجة حرارة $20\ ^oC$.

الاستكشاف ١

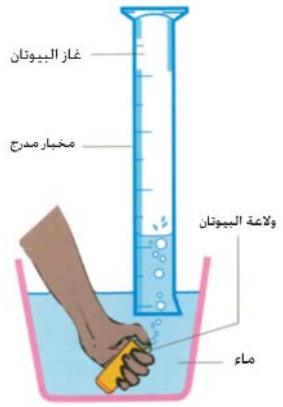
قياس الكتلة المولية للغاز

سؤال علمي : كيف يمكن قياس الكتلة المولية للغاز؟

إجراءات الأمن والسلامة: ارتداء اللباس المخبري ، والنظارات الواقية.

المواد والأدوات: قداحة بيوتان(ولاعة)، حوض مائي، مخبار مدرج سعة *100-150 mL* ،الميزان الإلكتروني، الثيرمومتر، جهاز البارومتر.

الإجراءات:



الشكل (٦-٣): تحديد الكتلة المولية للبروبان

١- زن كتلة ولاعة البيوتان، بواسطة الميزان الإلكتروني، ثم قم برصدها في جدول البيانات.
٢- املأ الحوض المائي إلى ثلاث أرباعه بالماء.
٣- املأ المخبار المدرج تماما بالماء، ثم اقلبه في الحوض المائي،مع مراعاة عدم وجود أي فقاعات هوائية داخل المخبار.
٤- احمل ولاعة البيوتان داخل الحمام المائي أسفل فوهة المخبار المدرج، كما هو موضح في الشكل (٦-٣).
٥- اطلق غاز البيوتان من الولاعة، واستمر في ذلك حتى ينخفض مستوى سطح الماء في المخبار ويصبح مساويًا لحجم الماء في الحوض ، انتبه إلى أن فقاعات غاز البيوتان جميعها تصعد داخل المخبار المدرج. سجل حجم الغاز في المخبار.
٦- سجل درجة حرارة المختبر، والضغط الجوي.
٧- جفف ولاعة البيوتان بحذر، ثم قم بوزنها مجددا،ثم سجل كتلتها النهائية.
٨- سجل البيانات التي قمت بجمعها في الجدول الآتي :

كتلة ولاعة البيوتان الأولية m_1	*g*
كتلة ولاعة البيوتان النهائية m_2	*g*
حجم غاز البيوتان الذي تم جمعه في المخبار المدرج	*L*
درجة حرارة المختبر	*K*
قراءة الضغط الجوي	*torr*

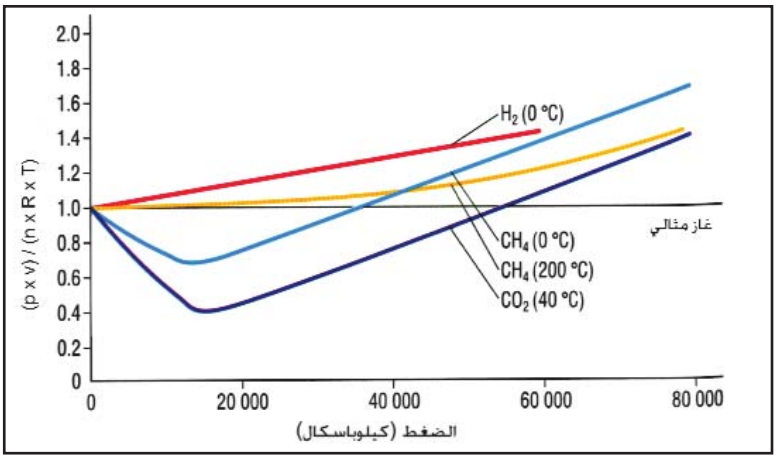
التحليل والتفسير:

أ- احسب الكتلة المولية لغاز البيوتان .
ب- قارن الكتلة المولية التي حصلت عليها بالكتلة المولية النظرية لغاز البيوتان .
ج- إذا كان هنالك اختلاف بين الكتلتين، فما مصادر الخطأ في هذه التجربة ؟

٦-٢: الغاز المثالي والغازات الحقيقية : *Ideal Gas and Real Gases*

ربما تتساءل : ما الغاز المثالي ؟ وهل تسلك جميع الغازات سلوكًا مثاليًّا ؟ يكون الغاز مثاليًّا عندما تنطبق عليه جميع قوانين الغازات في ظروف معينة من الضغط ودرجة الحرارة، أي يتفق بشكل تام مع فرضيات نظرية الحركة الجزيئية.ولكننا نتعامل في الواقع مع غازات حقيقية، وهي غازات تحيد عن السلوك المثالي للغاز المثالي عند الظروف المختلفة من الضغط ودرجة الحرارة .

ويمكنك اثبات هذا الحيود رياضيًّا بالرجوع إلى النسبة $\frac{PV}{nRT}$ ،حيث إن هذه النسبة طبقا للغاز المثالي تساوي الواحد الصحيح. فإذا رسمت العلاقة بين ضغط الغاز المثالي، وهذه النسبة، فستحصل على خط مستقيم، الشكل (٦-٤):



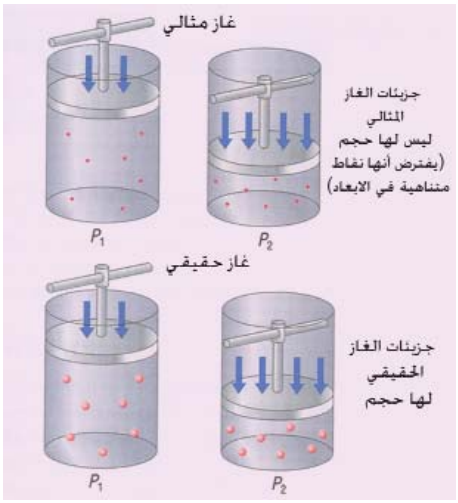
الشكل (٦-٤): حيود الغازات عن قانون الغاز المثالي

تلاحظ من الشكل السابق أن الغازات الحقيقية تحيد عن القيمة الثابتة للغاز المثالي عند الظروف المختلفة من الضغط ودرجة الحرارة، ويمكن تفسير هذا الحيود عن سلوك الغاز المثالي في ضوء عاملين رئيسين وهما:

١- **قوى التجاذب بين الجزيئات:** عند الضغوط العالية ودرجات الحرارة المنخفضة، فإن قوى التجاذب بين الجزيئات تزداد، وبتأثيرها يمكن إسالة العديد من الغازات.

لكن فروض نظرية الحركة الجزيئية للغازات تفترض عدم وجود قوى تجاذب بين الجزيئات، أو تكون قوى التجاذب بينها ضعيفة جدا، ولذلك تظهر الغازات النبيلة سلوكًا مثاليًّا ضمن مدى واسع من درجة الحرارة والضغط (فسِّر ذلك). كما وتظهر أيضا جزيئات بعض الغازات الغير قطبية كجزيئات غاز الهيدروجين (H_2) سلوكا مشابها لسلوك الغاز المثالي تحت ظروف معينة، في حين نجد أن جزيئات غاز الأمونيا NH_3 تنحرف عن سلوك الغاز المثالي بدرجة كبيرة (لماذا؟).

٢- **حجم الجزيئات :** لا يمكن إهمال حجم الجزيئات عند ظروف معينة من الضغط ودرجة الحرارة ، لا سيما عند الضغوط العالية ودرجات الحرارة المنخفضة ، أي عندما تكون كثافة الغاز عالية ، حيث إن الغازات في هذه الحالة تتكون من جزيئات حقيقية لها حجم، كما يوضح الشكل(٦-٥) .



الشكل(٦-٥): حجم الجزيئات في الغاز الحقيقي مقارنة بالغاز المثالي

اختبر فهمك (٢) :

١- قارن بين كل زوج من الغازات الآتية من حيث قربها من سلوك الغاز المثالي ، تحت نفس الظروف من درجة الحرارة والضغط:

أ- $He_{(g)}$ & $HCl_{(g)}$

ب- $CH_{4(g)}$ & $H_2O_{(g)}$

٢- عند أي ظروف تسلك الغازات الحقيقية سلوك الغاز المثالي؟ ولماذا ؟

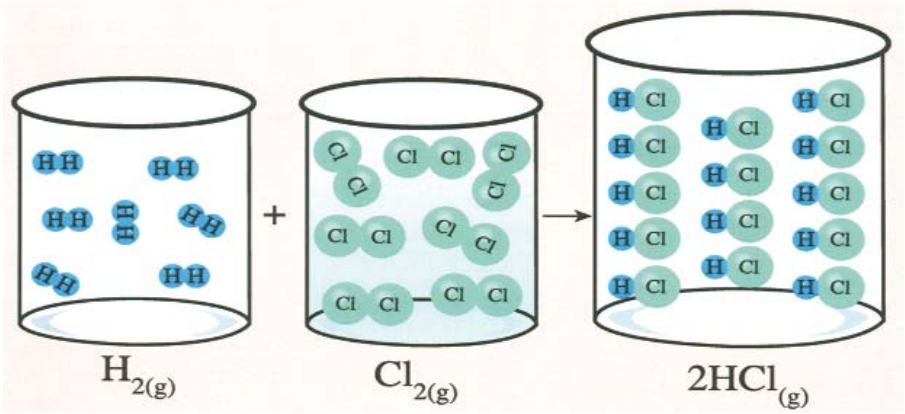
٣- هل يمكن تحويل الغاز إلى سائل بزيادة الضغط دون خفض لدرجة الحرارة؟ فسِّر ذلك .

معلومة تهمك : (قوى فان ديرفال)

افترض العالم الألماني جوهانز فان ديرفال (١٨٣٧-١٩٢٣م)، وجود قوى تجاذب بين جزيئات الغاز، ليفسر حيود هذه الغازات عن قانون الغاز المثالي. وقد أطلق عليها قوى فان ديرفال، والتي عرفت فيما بعد بقوى لُندن.

٦-٣ قانون أفوجادرو : (Avogadro's Law)

في بداية القرن التاسع عشر، توصل العالم الفرنسي جاي لوساك إلى أن النسبة بين حجوم الغازات المتفاعلة دائما نسبة عددية بسيطة، إذا ما قيست هذه الحجوم تحت ظروف ثابتة من الضغط ودرجة الحرارة، وهذا ما يعرف بقانون جاي لوساك للحجوم المتفاعلة. فعلى سبيل المثال، لاحظ جاي لوساك أن لترًا من غاز الهيدروجين (H_2) يتفاعل مع لتر من غاز الكلور (Cl_2) لإعطاء لترين من غاز كلوريد الهيدروجين (HCl)، كما يتضح من الشكل (٦-٦) :



شكل (٦-٦): تفاعل غازي الهيدروجين والكلور لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \longrightarrow 2\,HCl_{(g)}$$
$$1\,L \quad 1\,L \quad 2\,L$$
نسبة الحجم $1 \quad 1 \quad 2$

أي أن النسبة بين حجم الهيدروجين وحجم الكلور المتفاعلين تساوي 1:1 وهي نسبة عددية بسيطة، كما أن النسبة بين حجم كلوريد الهيدروجين الناتج من التفاعل، وحجم الهيدروجين أو الكلور الداخل في التفاعل تساوي 1:2 وهي أيضًا نسبة عددية بسيطة. كما ويمكن ملاحظة ذلك في تفاعل تفكك الماء، حيث إن النسبة بين غازي الهيدروجين والأكسجين الناتجين هي نسبة عددية بسيطة 2:1 ، **وضِّح ذلك** ؟

وفي عام ١٨١١م ، قدّم العالم الإيطالي أميدو أفوجادرو تفسيرًا لقانون الحجوم لجاي لوساك، وقد كانت دراسته مكملة لدراسات بويل، وشارل وجاي لوساك في هذا المجال، حيث افترض المبدأ الآتي: " **الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي على العدد نفسه من الجزيئات، وذلك تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة** "، وهذا ما عُرف **بقانون أفوجادرو** ***(Avogadro's Law)*** ، وهذا يعني أنه تحت الظروف نفسها من الضغط ودرجة الحرارة ، يتناسب حجم أي غاز مع عدد جزيئاته ، تمثل هذه العلاقة رياضيًا كالآتي :

$$\text{حجم الغاز } (V) \propto \text{عدد المولات } (n)$$
$$V = Kn$$

في ضوء ذلك فإن المعاملات في التفاعلات الكيميائية التي تتضمن مواد غازية تدل على الاعداد النسبية للمولات والجزيئات والحجوم النسبية ، وبذلك يمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \longrightarrow 2\,HCl_{(g)}$$
عدد المولات $1\,mol \quad 1\,mol \quad 2\,mol$
$$1\,L \quad 1\,L \quad 2\,L$$

ويمكن توضيح قانون افوجادرو عبر الأمثلة الآتية :

مثال (١):

ما حجم غاز أول أكسيد الكربون الناتج من تفاعل *(2 L)* من غاز الأكسجين مع كمية كافية من الكربون ؟

الحل :

معادلة التفاعل :

$$2C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CO_{(g)}$$

يتضح من المعادلة الموزونة أن:
الحجم الواحد من الأكسجين ينتج حجمين من أول أكسيد الكربون.
أي أن لترين من غاز الأكسجين ينتجان x .
إذن × تساوي:

$$= 2\times2= 4\ L\ CO$$

حل آخر :

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \Longrightarrow \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{2n_1}$$

$$V_1 = \frac{V_2}{2} \Longrightarrow V_2 = 2V_1$$

$$V_2 = 2 \times 2 = 4\ L\ CO$$

مثال (٢):

يتم الحصول على غاز الأمونيا من مفاعلة غازي الهيدروجين والنيتروجين ، كما في المعادلة الآتية :

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \longrightarrow 2NH_{3(g)}$$

فإذا بدأت التفاعل بـ *(15 L)* من (H_2) وكمية مكافئة من النيتروجين :
١– ما حجم النيتروجين اللازم لإتمام هذا التفاعل تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة ؟
٢– ما حجم غاز (NH_3) الناتج باللتر تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة ؟
٣– هل تتفق هذه النتائج التي حصلت عليها وقانون جاي لوساك للحجوم المتفاعلة ؟

الحل:

بما أن حجم الغاز يتناسب مع عدد مولاته، تستطيع أن تستخدم حجم الغازات عوضًا عن عدد المولات، وذلك على النحو الآتي:

١– من المعادلة الموزونة :

$1\ L(N_2)$ يتفاعل مع $3\ L(H_2)$

$x\ L(N_2)$ يتفاعل مع $15\ L(H_2)$

حجم غاز (N_2) اللازم لإتمام التفاعل=

$$= \frac{15\ L(H_2) \times 1\ L(N_2)}{3L(H_2)}$$

$$= 5\ L\ (N_2)$$

حل آخر :

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{\frac{1}{3}n_1}$$

$$\frac{1}{3} \times V_1 = V_2$$

$$= 5\ L\ (N_2)$$

٢- حجم غاز (NH_3) الناتج باللتر:

$$= \frac{15\ L(H_2) \times 2\ L(NH_3)}{3\ L(H_2)}$$

$$= 10\ L\ NH_3$$

اختبر فهمك (٣):

١- يحترق غاز الميثان بوجود غاز الأكسجين لينتج غاز (CO_2) ، وبخار الماء (H_2O)، وفقا للمعادلة الآتية:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

إذا احترق $22.4\ L$ من غاز الميثان (CH_4) ، ما حجم غاز الأكسجين اللازم لإكمال عملية الاحتراق؟ وما حجم كل من غاز (CO_2) وبخار الماء (H_2O) الناتجين ؟ افترض أن جميع الغازات عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة .

٢- إذا مزجنا $(5\ L)$ من غاز أول أكسيد الكربون مع $(2\ L)$ من غاز الأكسجين، وجرى بين المادتين التفاعل الآتي:

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CO_{2(g)}$$

فما حجم خليط الغازات الناتج إذا بقي الضغط ودرجة الحرارة ثابتين ؟

٦-٤ الحجم المولي للغاز : Molar Volume of Gas

لقد سبق ودرست أن المول الواحد من أي مادة يحتوي على عدد ثابت من الجزيئات يسمى **ثابت أفوجادرو**، ويساوي (6.022×10^{23})، فمول واحد من غاز (O_2) يحتوي على (6.022×10^{23}) **جزيء** من جزيئات غاز (O_2)، وتبلغ كتلته $(32\ g)$ ، ويحتوي مول واحد من الهيدروجين على العدد نفسه من جزيئات الهيدروجين ثنائي الذرات، في حين أن كتلته تبلغ $(2.02\ g)$.

وفي ضوء قانون أفوجادرو: **يشغل مول واحد من أي غاز الحجم نفسه الذي يشغله مول واحد من غاز آخر، تحت الشروط نفسها من درجة الحرارة والضغط بالرغم من اختلاف كتلتيهما.**

وفي ضوء ذلك يعرف الحجم الذي يشغله مول واحد من أي غاز باسم **الحجم المولي للغاز** ***molar Volume of Gas*** ، ويساوي *22.4 L/mol* تحت شروط *STP* ، ويوضح الشكل (٦–٧) أن *1 mol* من أي غاز يشغل الحجم نفسه اعند *STP* .

إن معرفة الحجم المولي للغازات سهَّل على العلماء تعيين الكتل الجزيئية للغازات، ثم الكتل الذرية للعناصر الداخلة في تكوين هذه الغازات.

مثال (١) :

في تفاعل كيميائي نتج *0.0680 mol* من غاز الأكسجين، ما الحجم باللترات الذي تشغله عينة من هذا الغاز تحت شروط *STP*؟

الحل :

المعطيات:

عدد مولات $O_2 = 0.0680\ mol$

المطلوب:

حجم O_2 باللترات تحت شروط *STP* = ؟

في ضوء مبدأ أفوجادرو يمكن استخدام الحجم المولي القياسي لإيجاد كمية مولية معينة للغاز تحت شروط *STP*:

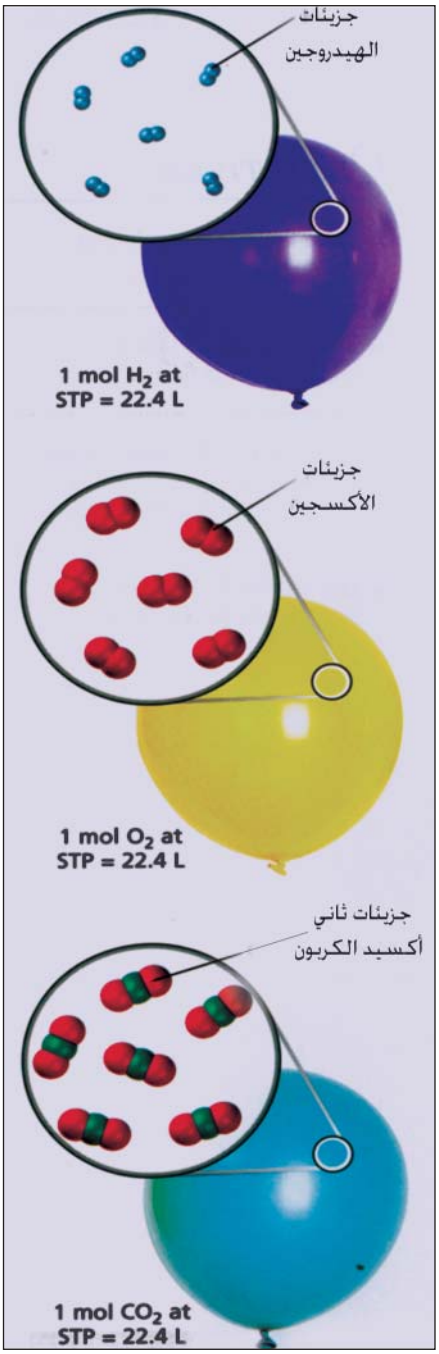
1 mol من غاز O_2 يشغل حجما قدره *22.4 L* .

إذن:

0.0680 mol من غاز O_2 يشغل حجما قدره ***x***

$$x = 0.0680\ \cancel{mol}\ O_2 \times 22.4\ L/\cancel{mol}$$

$$= 1.52\ L\ O_2$$



الشكل (٦–٧): نموذج يوضح الحجم المولي لعدد من الغازات

مثال (٢) :

ينتج من تفاعل كيميائي $98\ mL$ من غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، تحت شروط STP . ما كتلة الغاز الناتج بالجرامات ؟

الحل :

حجم $SO_2 = 98\ mL$ تحت شروط STP .

كتلة SO_2 بالجرامات = ؟

باستخدام الحجم المولي القياسي

$1\ mol$ من غاز SO_2 يشغل حجما قدره $22.4\ L$

$x\ mol$ من غاز SO_2 يشغل حجما قدره $98\ mL \times 1\ L/1000\ ml$

$$x = \frac{98\ \cancel{mL} \times 1\ \cancel{L} \times 1 mol\ SO_2}{1000\ \cancel{mL} \times 22.4\ \cancel{L}}$$

$$= 4.375 \times 10^{-3}\ mol$$

إذن عدد مولات SO_2 التي تشغل حجما قدره $98\ mL$

$$= 4.375 \times 10^{-3}\ mol$$

وحيث إن عدد المولات:

$$n = \frac{m}{M}$$

فإن كتلة SO_2 بالجرامات $= M \times n$

$$= 64.06\ g/\cancel{mol} \times 4.375 \times 10^{-3}\ \cancel{mol}$$
$$= 0.280\ g$$

تتضمن كثير من التفاعلات الكيميائية، موادًا غازية متفاعلة أو ناتجة، وقد ساعدت دراسة هذه التفاعلات العلماء على تطوير أفكارهم حول آلية حدوث هذه التفاعلات. وتعدُّ العلاقات التي سبق ودرستها خلال هذه الوحدة مثل قانون أفوجادرو، والحجم المولي للغاز،وقانون الغاز المثالي مهمة جدًّا لفهم التفاعلات الكيميائية التي تتضمن الغازات ، وفيما يلي عدد من التطبيقات الرياضية حول الحسابات الكيميائية للغازات:

مثال (٣):

إذا احترق $275\ g$ من غاز البروبان احتراقًا تامًّا، احسب حجم الأكسجين اللازم لإتمام هذا التفاعل عند الظروف القياسية STP ؟

الحل:

حتى تجيب على هذا السؤال لا بد من مراعاة الآتي :

١. تكتب المعادلة الموزونة لهذا التفاعل.

٢. تحديد كل الكميات المعلومة التي ستمكنك من إجراء الحسابات المطلوبة.

١- معادلة التفاعل :

$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \longrightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

٢- تحديد الكميات المعلومة

$$m_{C_3H_8} = 275\ g$$
$$M_{C_3H_8} = 44\ g/mol$$
$$n_{C_3H_8} = \frac{275\ \cancel{g}}{(44\ mol/\cancel{g})}$$
$$= 6.25\ mol$$

من المعادلة:

$1mol$ من C_3H_8 يتفاعل مع $5\ mol$ من O_2

$6.23\ mol$ من C_3H_8 يتفاعل مع $x\ mol$ من O_2

عدد مولات $O_2 = \dfrac{6.23\ mol\ \cancel{C_3H_8} \times 5\ mol O_2}{1\ mol\ \cancel{C_3H_8}}$

عدد مولات $O_2 = 31.2\ mol$

حجم O_2 اللازم لإتمام التفاعل $= \dfrac{31.2\ \cancel{mol}\ O_2 \times 22.4\ L}{1\ \cancel{mol}\ O_2}$

$$= 698.9\ L\ O_2$$

مثال (٤) :

ينتج غاز الهيدروجين من تفاعل فلز الصوديوم مع الماء، ما كتلة الصوديوم اللازمة لإنتاج $20.0L$ من غاز الهيدروجين عند الظروف القياسية STP ؟

الحل :

أولا : معادلة التفاعل

$$2Na_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow H_{2(g)} + 2NaOH_{(aq)}$$

الكميات المعلومة :

حجم H_2 الناتج $= 20.0\ L$

الكتلة المولية $Na = 23\ g/mol$

$$n_{H_2} = \frac{20.0\ \cancel{L} \times 1\ mol}{22.4\ \cancel{L}} = 0.893\ mol\ H_2$$

$$n_{Na} = \frac{0.893\ \cancel{mol\ H_2} \times 2\ \cancel{mol\ Na}}{1\ \cancel{mol\ H_2}} = 1.79\ mol\ Na$$

$$m_{Na} = \frac{1.79\ \cancel{mol} \times 23\ g}{1\ \cancel{mol}}$$

$$= 41.1\ g$$

ويمكن أن تحسب الكتلة المطلوبة ضمن خطوة واحدة كالآتي:

$$m_{Na} = \frac{20.0\ \cancel{L\ H_2} \times 1\ \cancel{mol\ H_2}}{22.4\ \cancel{L\ H_2}} \times \left(\frac{2\ \cancel{mol\ Na} \times 23\ g/\cancel{mol}}{1\ \cancel{mol\ H_2}} \right) = 41.1\ g\ Na$$

اختبر فهمك (٤) :

١- عند تسخين كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ينتج أكسيد الكالسيوم ، كما في التفاعل الآتي :

$$CaCO_{3(s)} \longrightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

كم جرامًا من كربونات الكالسيوم يجب تفككها لإنتاج $5\ L$ من CO_2 عند الظروف القياسية STP ؟

٢- كم لترًا من غاز الأكسجين يمكن تجميعها تحت الماء عند درجة حرارة $25\ ^oC$ وتحت ضغط $0.987\ atm$، عندما يتفكك $30.6\ g$ من $KClO_3$ بالتسخين ؟

٣- تشغل عينة من غاز النيون حجمًا قدره $550\ cm^3$ ، تحت شروط STP ، ما عدد مولات غاز النيون الذي تمثله هذه العينة؟

٤- ما عدد جزيئات غاز الأكسجين الموجودة في 3.36 L من غاز الأكسجين عند الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة (STP) ؟

٥- كم مولاً من غاز الكلور في (5.60 L) عند الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة (STP) ؟

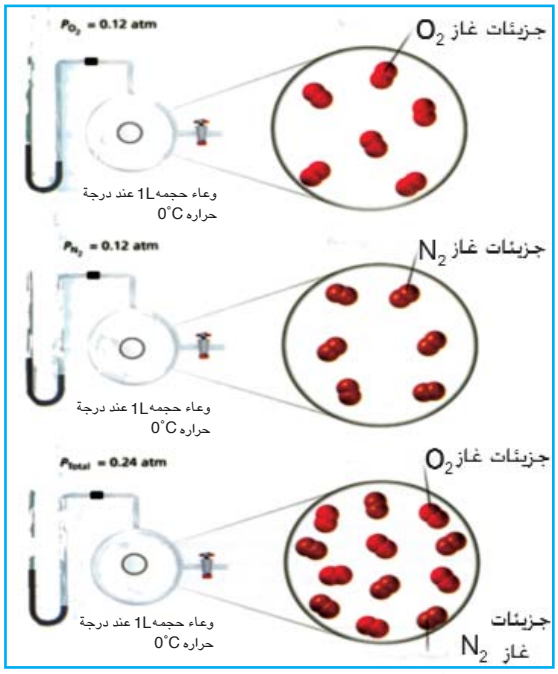
٦-٥ قانون دالتون للضغوط الجزئية : Dalton's Law Of Partial Pressures

لقد درست سابقا أن الهواء الذي نتنفسه يتكون من خليط من عدة غازات، كالنيتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وكميات قليلة من غازات أخرى، حيث يساهم كل غاز ضمن خليط الغازات الأخرى بضغط معين، بحيث يكون ضغط الهواء الجوي هو مجموع الضغوط الجزئية التي يؤثر بها كل مكون من مكوناته.

لقد درس الكيميائي الإنجليزي جون دالتون (١٧٦٦-١٨٤٤م) مزج الغازات ، فوجد أن ضغط مزيج من الغازات الغير متفاعلة يساوي مجموع ضغوط هذه الغازات منفردة.

ويوضح الشكل (٦-٨)، وعاء حجمه 1 L مليئًا بغاز الأكسجين، الواقع تحت ضغط 0.12 atm ، عند درجة حرارة 0°C وفي وعاء آخر حجمه أيضًا 1 L ، يؤثر عدد مساو من جزيئات غاز النيتروجين بضغط مقداره 0.12 atm وعند درجة حرارة 0°C . ثم جمعت عينتا الغازين بعدئذ داخل وعاء حجمه 1 L (عند درجة حرارة 0°C ، لا يتفاعل كل من غازي الأكسجين والنيتروجين). وعند قياس الضغط الكلي داخل الوعاء وجد أنه يبلغ 0.24 atm ، عند درجة حرارة 0°C ، مما يشير إلى أن الضغط الكلي للغازين في الوعاء يساوي حاصل جمع ضغطي الغازين.

يسمى ضغط كل غاز في مزيج من الغازات الضغط الجزئي (Partial Pressure) لذلك الغاز ، وفي ضوء ذلك وضع دالتون قانونا للضغوط الجزئية ينص على الآتي :



الشكل ٦-٨: الضغط الجزئي لعدد من الغازات

عند ثبوت الحجم ودرجة الحرارة فإن الضغط الكلي لمزيج من الغازات الغير متفاعلة يساوي مجموع الضغوط الجزئية لهذه الغازات .

ويمكن التعبير عن قانون دالتون رياضيا بالعلاقة الآتية:

$$P_T = P_1+P_2+P_3+....$$

حيث P_T تمثل الضغط الكلي للمزيج ، و P_1، P_2 ، P_3...هي الضغوط الجزئية لمكونات المزيج من الغازات 1 ، 2، 3 ...إلخ. كما ويمكن حساب الضغط الجزئي لغاز ما ضمن مجموعة من الغازات في وعاء واحد من العلاقة الآتية:

$$\text{الضغط الجزئي للغاز} = \frac{\text{(عدد مولات الغاز)}}{\text{(عدد المولات الكلي)}} \times \text{الضغط الكلي}$$

$$P_X = \frac{n_X}{(n_T)} \times P_T$$

كيف تفسر نظرية الحركة الجزيئية قانون دالتون ؟

تشير نظرية الحركة الجزيئية إلى أن الغازات تتكون من عدد كبير من الذرات أو الجزيئات التي تتحرك في جميع الاتجاهات وتصطدم ببعضها البعض، أو بجدارن الإناء الذي توجد به. تفترض هذه النظرية بأن جزيئات الغاز تتحرك في مسارات مستقيمة أثناء التصادمات، مما يعني أنه لا توجد بين هذه الجزيئات وبعضها البعض طاقة تجاذب أو تنافر. فإذا أفترضنا أن وعاء ما يحوي خليطًا غازيًا من غازات غير متفاعلة، فإنها ستسلك نفس السلوك ، حيث تكون، لها فرص متساوية للاصطدام بجدران الوعاء. لذلك فإن كل غاز يؤثر بضغط مستقلٍ عما تؤثر به بقية الغازات من ضغوط، ويكون الضغط الكلي ناتجًا عن مجموع الاصطدامات التي تمارسها الغازات على وحدة المساحة من الجدار في وحدة الزمن.

مثال(١) :

تحتوي اسطوانة غوص عند عمق 30 m، على خليط من غاز الأكسجين تحت ضغط 28 atm ، وغاز النيتروجين تحت ضغط 110 atm ما الضغط الكلي للخليط الغازي في اسطوانة الغوص ؟

الحل :

المعطيات

$$P_{O_2} = 28\ atm$$
$$P_{N_2} = 110\ atm$$

المطلوب:

$$P_T = \ ?$$

باستخدام قانون الضغط الكلي:

$$P_T = P_{O_2} + P_{N_2}$$
$$= 28\ atm + 110\ atm$$
$$P_T = 138\ atm$$

إذن الضغط الكلي لخليط الغازات يساوي $138\ atm$.

مثال (٢):

وعاء يحتوي على $2\ mol$ ، من غاز He ، و $1mol$ ، من غاز O_2 ، و $0.5\ mol$ ، من غاز Ne تحت ضغط $4.0\ atm$ ، أحسب الضغط الجزئي لغاز النيون في هذا الوعاء .

المعطيات:

$$n_{He} = 2\ mol$$
$$n_{O_2} = 1\ mol$$
$$n_{Ne} = 0.5\ mol$$
$$P_T = 4.0\ atm$$

المطلوب:

$$P_{N_e} = ?$$

الحل:

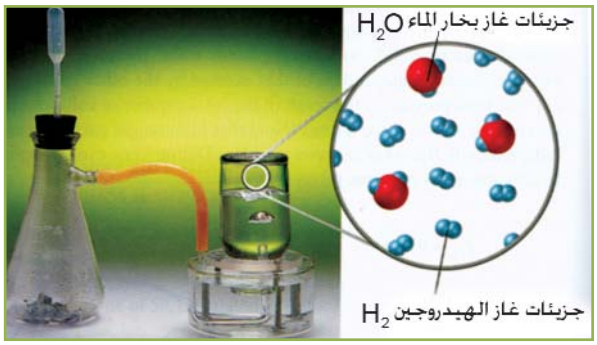
عدد المولات الكلي $= 2+1+0.5 = 3.5\ mole$

$$P_{N_e} = \frac{n_{Ne}}{n_T} \times P_T$$

الضغط الجزئي للنيون $= \frac{0.5}{3.5} \times 4.0\ atm$

$$= 0.57\ atm$$

معظم الغازات التي يتم إنتاجها في المختبر، يتم تجميعها فوق الماء حيث يزيح الغاز الناتج عن التفاعل الماء في مخبار جمع الغاز، ويمكنك توظيف قانون دالتون في حساب ضغط الغازات الناتجة بهذه الطريقة. حيث لا يكون ضغط الغاز، الذي تم جمعه عن طريق إزاحة الماء نقيًّا، بل ممزوجًا ببخار الماء (الشكل ٦–٩) حيث تتبخر جزيئات الماء من سطح السائل وتمتزج بجزيئات الغاز، ويمارس بخار الماء ضغطًا كغيره من الغازات، يسمى الضغط الجزئي لبخار الماء.



الشكل (٦–٩): تحضير غاز الهيدروجين

ولمعرفة الضغط الكلي للغاز وبخار الماء داخل مخبار جمع الغاز، لا بد من رفع وخفض المخبار حتى يتساوى مستوى الماء داخل المخبار وخارجه. وفي هذه الحالة يصبح الضغط الكلي داخل المخبار مساويًا للضغط الجوي، وطبقا لقانون دالتون في الضغوط الجزئية :

$$P_{atm} = P_{gas} + P_{H_2O}$$

فإذا أردت حساب الضغط الجزئي للغاز(الجاف) فقط دون بخار الماء، عليك قراءة الضغط الجوي P_{atm} ، ثم قراءة درجة حرارة المختبر، وإيجاد ضغط بخار الماء عند تلك الدرجة، وذلك بالاستعانة بالملحق (١) ، ثم إجراء الحسابات اللازمة.

مثال (٣) :

تم تجميع غاز الأكسجين الناتج عن تفكك كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ بطريقة إزاحة الماء؛ فإذا كانت قيمة كل من الضغط الجوي ودرجة الحرارة في أثناء إجراء التجربة $731.0\ torr$ و $20\ ^oC$ على التوالي . ما الضغط الجزئي للأكسجين المجمع ؟

الحل :

المعطيات:

$$P_T = P_{atm} = 731.0\ torr$$
$$T = 20\ ^oC$$

المطلوب : P_{O_2}

بالاستعانة بملحق الكتاب رقم (١) ، نستطيع إيجاد قيمة الضغط البخاري للماء عند درجة $20\ ^oC$ ، وبالتعويض في قانون دالتون للضغوط الجزئية.

$$P_{O_2} = P_{atm} - P_{H_2O}$$
$$P_{O_2} = 731.0\ torr - 17.5\ torr = 713.5\ torr$$

٦-٦ تطبيقات الضغوط الجزئية : *Applications of Partial Pressure*

توجد العديد من التطبيقات العملية المهمة في حياتنا على قانون دالتون للضغوط الجزئية، وفيما يأتي بعض هذه التطبيقات:

١- الاحتياطات اللازمة للتنفس في الارتفاعات الشاهقة :

إن الحقائق التي تضمنها قانون دالتون، ذات تطبيقات مهمة في عمليات الطيران وتسلق الجبال، فعلى سبيل المثال يتناقص الضغط الجوي الكلي على قمة إفرست في جبال الهملايا إلى $33.73\ kPa$.

(أي حوالي $\frac{1}{3}$ قيمته عند سطح البحر). وبالتالي يتناقص الضغط الجزئي للأكسجين بالنسبة نفسها ليصل إلى حوالي $7.06\ kPa$ الضغط الجزئي للأكسجين عند سطح البحر). هذا النقص في ضغط الأكسجين يجعله غير كاف للتنفس، حيث إن الإنسان يحتاج إلى ضغط جزئي للأكسجين قدره $10.67\ kPa$ على الأقل .

الشكل (٦–١٠): احتياطات الأمن والسلامة في الأرتفاعات الشاهقة

ويوضح الشكل (٦–١٠) بعض الاحتياطات كإمدادات الأكسجين الإضافية، والتي يلتزم بها طيارو الطائرات النفاثة ومتسلقو الجبال للتغلب على ظروف الارتفاعات العالية. كما ونستطيع ملاحظة هذا التأثير لنقص الضغط الجزئي لغاز الأكسجين عند الصعود إلى الجبل الأخضر، فعند الارتفاعات الشاهقة قد يشعر زائرو الجبل بنوع من الضيق أو الاختناق.

٢– عملية التبادل الغازي:

إن عملية التبادل الغازي بين الكائنات الحية والبيئة التي تعيش بها هذه الكائنات تعتمد على خصائص الغازات، وبالأخص على خاصيتي الضغوط الجزئية للغازات وذوبانيتها. وقد أوضحت الدراسات العلمية التغيرات في الضغوط الجزئية لغازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، التي تصاحب عملية التنفس في الظروف الطبيعية، كما يوضحها الجدول (٦–٢).

ادرس الجدول (٦–٢) والذي يوضح التغيرات في الضغوط الجزئية للغازات التي تدخل في عملية التنفس، ثم ناقش مع معلمك وزملائك الإجابات المحتملة للأسئلة التي تليه:

الضغط الجزئي (kPa)		
الغاز	هواء الشهيق	هواء الزفير
$N_{2(g)}$	79.3	75.9
$O_{2(g)}$	21.3	15.5
$CO_{2(g)}$	0.040	3.7
$H_2O_{(g)}$	0.67	6.2

الجدول(٦–٢): التغيرات في الضغوط الجزئية للغازات في أثناء عملية التنفس

- ماذا تلاحظ على الضغوط الجزئية لغازات كلٍّ من هواء الشهيق وهواء الزفير ؟
– احسب الضغط الكلي لهواء الشهيق؟ ماذا تلاحظ ؟
– احسب الضغط الكلي لهواء الزفير؟ ماذا تلاحظ ؟
– ماذا تستنتج ؟

لعلك لاحظت من معطيات الجدول السابق أن هواء الزفير يتكون من نسبة أقل من الأكسجين ونسبة أكبر من غاز CO_2 مقارنة بهواء الشهيق ؛ وذلك حتى يتعادل الضغط الكلي لهواء الشهيق والزفير مع الضغط الجوي.

اختبر فهمك (٥):

١– في المناطق المرتفعة من سطح الأرض كقمة إفرست، تبقى نسبة غاز الأكسجين تقريبا ثابتة في الهواء الجوي أي 21% من حجم الهواء الكلي ، في حين أن الضغط الجزئي لغاز الأكسجين قد ينخفض ، فسّر ذلك .

٢– تم جمع عينة من غاز الهيليوم فوق الماء عند درجة حرارة 25 °C ، ما الضغط الجزئي للهيليوم ، إذا علمت أن الضغط الجوي 750 mmHg ؟

٣– جمعت عينة من غاز ما في وعاء حجمه 175 mL فوق الماء عند درجة حرارة 15 °C، وتحت ضغط جوي 752 torr. ما الحجم الذي يشغله الغاز تحت ضغط 770 torr ، وعند درجة حرارة 15 °C ؟

معلومة تهمك : الكريوستات

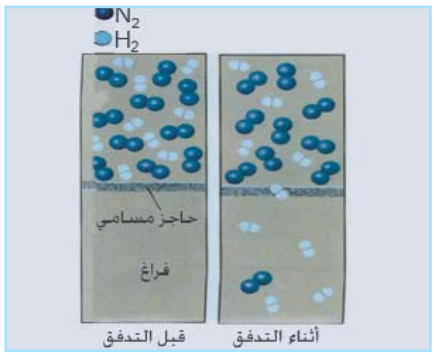
الشكل(٦–١١): الكريوستات

أوعية لنقل وتخزين الغازات المسالة، حيث يمنع تصميمها انتقال الحرارة من الوسط المحيط للسائل البارد جدًّا في داخلها،والكريوستات الأكثر استخداما تسمى قارورات ديوار *dewar flasks* ، نسبة إلى العالم الأسكتلندي جيمس ديوار *(James Dewar)* ، الذي قام بتصميمها في عام ١٨٩٢م،وهي أوعية مزدوجة الجدران يفصل بينها فراغ. وهي تشبه الترمس المعروف الذي يستخدم لحفظ المشروبات الباردة أو الساخنة.
الكريوستات أوعية خفيفة مقارنة بأسطوانات الغاز المضغوط .

٦-٧ الانتشار والتدفق : *Diffusion and Effusion*

الشكل (٦-١٢): الانتشار

ماذا يحدث إذا فتح أحدهم عبوة عطر متطاير، على مسافة منك ؟ إن ما يحدث، هو امتزاج جزيئات المركب العطري مع جزيئات الهواء (شكل ٦-١٢) ، إن عملية الامتزاج أو الاختلاط بين جزيئات غازين أو أكثر هو ما يعرف بعملية الانتشار *(diffusion)* ، وهي تحدث نتيجة للحركة العشوائية لجزيئات الغاز.وتستمر هذه العملية حتى يصبح الضغط الجزئي للغاز متجانساً في الوسط الذي ينتشر فيه، ولا شك أنك تعلم أن الغاز ينتقل من منطقة ذات ضغط عال إلى منطقة ذات ضغط منخفض . في حين أن عملية انتقال جزيئات غاز محصور في وعاء من خلال ثقوب صغيرة في جدران الوعاء إلى وعاء آخر أقل ضغط يعرف بعملية التدفق *(Effusion)*، الشكل (٦-١٣).



الشكل (٦-١٣): التدفق

الاستكشاف ٢ الانتشار

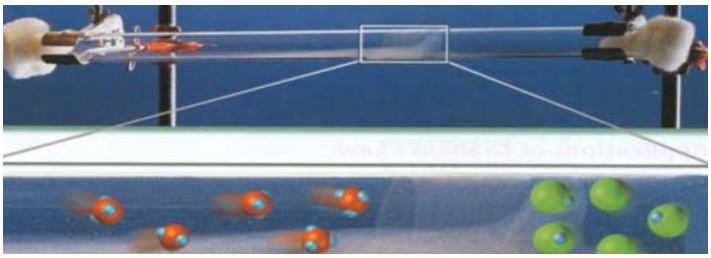
سؤال علمي : هل تنتشر الغازات المختلفة بنفس المعدل؟

المواد والأدوات : أمونيا *(0.1 M)* ، حمض الهيدروكلوريك *(0.1 M)* ، أنبوبة زجاجية مفتوحة الطرفين طولها يتراوح بين *(5-10 cm)* ، حامل (عدد ٢) ، قطارة (عدد ٢) ، كوؤس زجاجية سعة *50 mL* (عدد٢) ، قطن .

الإجراءات:

١- ثبت الأنبوبة الزجاجية على الحاملين كما هو موضح في الشكل (٦-١٤).

٢- اسكب كمية من الحمض في كأس، واسكب كمية مساوية من الأمونيا في الكأس الأخرى.


الشكل (٦-١٤)

٣- باستخدام القطارة بلل قطنة بمحلول الأمونيا، وبلل أخرى بمحلول HCl .
٤- بصورة متزامنة سد طرفي الأنبوبة الزجاجية بقطعتي القطن المبللتين، كما هو موضح في الشكل (٦-١٤).
٥- سجِّل ملاحظاتك.

التحليل والتفسير:

١- ما المادة المتكونة في الأنبوبة ؟ اكتب معادلة التفاعل ؟
٢- في أي جزء من الأنبوبة تكونت هذه المادة؟ فسر ذلك .

لقد درس الكيميائي الأسكوتلندي توماس جراهام (١٨٠٥- ١٨٦٩م) ظاهرتي الانتشار والتدفق لغازات مختلفة عندما تكون هذه الغازات تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة، ووجد أن معدل انتشار أو تدفق الغازات يعتمد على السرعة النسبية لجزيئات الغاز، حيث يتناسب معدل تدفق الغازات من فتحة صغيرة في جدار وعاء ما تناسبًا عكسيًّا مع الجذر التربيعي للكتلة المولية (M) لهذه الغازات. وهو ما يعرف بقانون جراهام للتدفق. وتترجم هذه العلاقة رياضيًّا كالآتي:

$$\text{سرعة التدفق } (v) \propto \sqrt{\frac{1}{M}}$$

واستنادًا إلى النتائج التي توصل إليها جراهام، يمكن مقارنة سرعة تدفق غازين مختلفين عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة باستخدام العلاقة الآتية:

$$\frac{v_a}{v_b} = \frac{\sqrt{M_b}}{\sqrt{M_a}}$$

حيث يرمز كل من v_a و v_b إلى معدل تدفق كل من الغازين a و b .
ويعتمد معدل تدفق الغاز من الإناء الذي يوجد فيه على العوامل الآتية:
١- مساحة المقطع العرضي للفتحة التي يندفع منها الغاز(وضِّح ؟).
٢- كثافة الغاز (وضِّح ؟).
٣- معدل السرعة الجزيئية للغاز (وضِّح ؟).

مثال (١):
قارن بين معدلي تدفق الهيدروجين والأكسجين تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة .

الحل:
يمكن إيجاد نسبة معدلات التدفق لكلٍّ من غازي H_2 و O_2 تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة باستخدام قانون جراهام كما يأتي:

$$\frac{\text{معدل تدفق } H_2}{\text{معدل تدفق } O_2} = \frac{\sqrt{M_{O_2}}}{\sqrt{M_{H_2}}}$$

$$\frac{v_{H_2}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{(32g/mol)}{(2g/mol)}} = 3.98$$

إذن يتدفق الهيدروجين بسرعة تساوي 4 أضعاف سرعة تدفق الأكسجين تقريبًا.

مثال (٢):

يتدفق غاز رابع فلورو الأثيلين C_2F_4 عبر حاجز بمعدل $4.6 \times 10^{-6}\ mol/h$ فإذا تدفق غاز مجهول يتكون من البروم والهيدروجين، بمعدل $5.8 \times 10^{-6}\ mol/L$ تحت نفس الظروف . احسب الكتلة المولية للغاز المجهول .

الحل :

$$\frac{v_a}{v_b} = \frac{\sqrt{M_b}}{\sqrt{M_a}}$$

$$\frac{4.6 \times 10^{-6}\ mol/h}{5.8 \times 10^{-6}\ mol/h} = \frac{\sqrt{M_x}}{\sqrt{M_{C_2F_4}}}$$

$$0.793 = \frac{\sqrt{M_x}}{\sqrt{100\ g/mol}}$$

وبتربيع طرفي المعادلة :

$$0.63 = \frac{M_x}{100\ g/mol}$$

$$M_x = 63\ g/mol$$

اختبر فهمك (٦) :

١- احسب القيمة التقريبية للكتلة المولية لغاز يتدفق بسرعة تبلغ 1.6 مرة من معدل تدفق ثاني أكسيد الكربون.

٢- تتدفق عينة من غاز الهيليوم عبر وعاء مسامي بسرعة تفوق 6.50 مرة معدل تدفق غاز مجهول x . احسب الكتلة المولية للغاز المجهول .

٦–٨ التطبيقات التقانية على الغازات: *Applications of Gases*

للغازات أهمية كبيرة في حياتنا اليومية كما أشرنا سابقا، فأنت تتعامل معها بشكل مباشر في العديد من جوانب حياتك، هل تستطيع أن تذكر بعض التطبيقات المعروفة لديك ؟ لا بد أنك توصلت إلى أن للغازات تطبيقات في كثير من المجالات، وفيما يلي سنستعرض بعض تطبيقاتها التقانية:

١– الغازات المضغوطة: *Compressed Gases*

تعدُّ الغازات المضغوطة إحدى أهم التطبيقات التقانية للغازات ، وهي الغازات التي يتم ضغطها في حجم معين عند ضغط أعلى من الضغط الجوي. وفيما يلي أهم التطبيقات التقانية على الغازات المضغوطة:

أ– الهواء المضغوط في إطارات المركبات، والعجلات؛ وذلك لتسهيل حركتها .

ب– أسطوانات غاز الطهي، كأسطوانة غاز البروبان، أو أسطوانات خليط البروبان والبيوتان.

ج–الغازات المضغوطة المستخدمة في التنفس الاصطناعي في المستشفيات.

د–أسطوانات الغاز لإطفاء الحرائق.

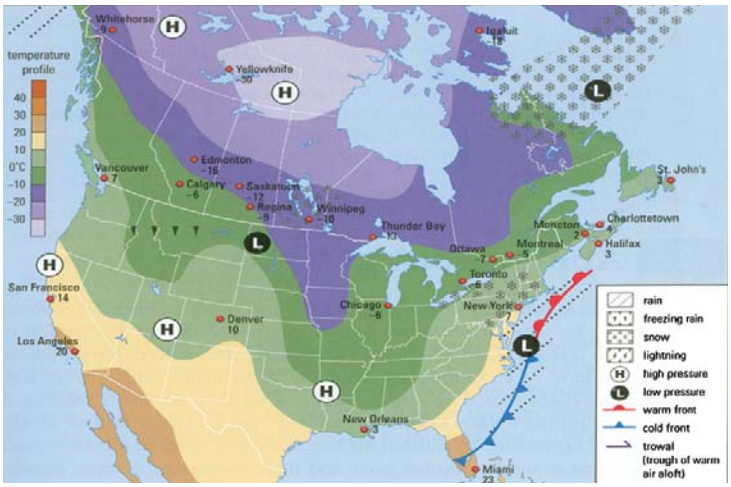
هـ –عبوات العطور(البخاخ).

و– أسطوانات اللحام التي تستخدم غازي الأكسجين والأستلين في لحام المعادن.

ز– الغازات النبيلة كغاز الأرجون *Ar* ، الذي يستخدم في مجال صناعة الرقائق الحاسوبية .

٢– الأرصاد الجوية: *Meteorology*

قد تسمع أحيانا في نشرة الأحوال الجوية أو تقارير الطقس، بمناطق الضغط الجوي المنخفض أو المرتفع (الشكل ٦–١٥)، والتي تحدث في طبقة التروبوسفير *(troposphere)* من طبقات الغلاف الجوي، والتي تتكون من خليط متنوع من الغازات. إن تركيب هذه الغازات وضغوطها الجزئية تساعد على التنبؤ بكثافة الكتل الهوائية المتحركة، والتي تعتبر عاملاً مهمًّا لفهم تقلبات الطقس والتنبؤ بها أيضًا، هذا بالإضافة إلى عوامل أخرى مثل ميل محور الأرض، وتباين درجات حرارة سطح الأرض والذي يعتبر من العوامل المؤثرة على التغيرات الحادثة في كثافة الكتل الهوائية. و تستخدم مراكز أبحاث الأرصاد الجوية الآن نماذج حاسوبية متطورة لمحاكاة التغيرات المناخية في طبقة التروبوسفير، مستندة إلى كم هائل من المعلومات من مختلف أنحاء العالم .

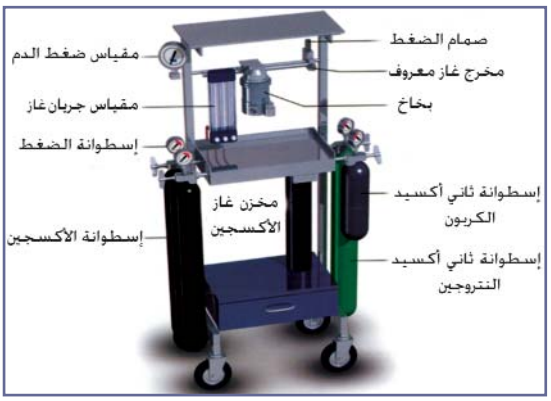


الشكل(٦–١٥): مناطق الضغط الجوي

٣–المجال الطبي: *Area of Medicine*

تلعب الغازات دوراً حيوياً في المجال الطبي، وتحديداً في مجال التنفس الاصطناعي، وعمليات التخدير. فعندما يعجز الجهاز التنفسي في جسم الإنسان عن القيام بوظيفته الحيوية في التبادل الغازي لسبب أو لآخر، يلجأ الأطباء إلى دعم هذا الجهاز عبر أجهزة التنفس الاصطناعي التي تمد الرئة بغاز الأكسجين وتعمل على تخليص الجسم من غاز CO_2.

وتزداد أهمية التنفس الاصطناعي في أثناء عمليات التخدير في الجراحة، وعادة ما يستخدم أطباء التخدير جهازاً يطلق عليه جهاز بويل للتخدير *(Boyle's machine)*، الشكل (٦–١٦)، حيث إن هذا الجهاز لا يتحكم فقط في عملية التنفس الاصطناعي، وإنما أيضا يعمل على ضبط كميات الغاز المستخدمة في هذه العملية مثل غاز N_2O والذي أُستخدم قديما في عمليات التخدير، ويتحكم الجهاز أيضا بالسوائل الطيارة المستخدمة أيضا في عملية التخدير. وبذلك يتضح أن العمل في المجال الطبي المختص بعمليات التخدير يتطلب فهماً واضحاً ودقيقاً لقوانين الغازات وآلية التبادل الغازي.



الشكل(٦–١٦): جهاز بويل للتخدير

٤–الغوص في أعماق البحار: *Deep Sea Diving*

إن كثيراً من الأعمال المهمة تتم تحت سطح البحار والمحيطات، ويقوم بمعظمها غطاسون متمرسون يستطيعون إصلاح السفن وفحصها، والمساهمة في بناء القواعد المائية لاستخراج النفط مثلا. وغالبا ما يؤدي الغواصون هذه الأعمال على أعماق بعيدة تحت سطح الماء، فكيف يستطيع الغطاسون التأقلم مع الضغط الهائل للماء في أعماق البحار والمحيطات؟

أنهم يستطيعون ذلك بالاستعانة بأدوات خاصة بالتنفس تحت الماء، ومن بين هذه الأدوات أسطوانات تحوي خليطاً من الغازات يستعينون بها لمعادلة الضغوط العالية (الشكل ٦–١٧). وهذه الأسطوانات متصلة بجهاز يعرف بالمنظم *(Regulator)* والذي يعمل أوتوماتيكيا لضبط ضغط الغاز الخارج من هذه الأسطوانات، بحيث يعمل هذا المنظم على معادلة الضغط داخل وخارج الرئتين.

وغالبا لا يستخدم الغطاس أسطوانات الهواء المضغوط العادي؛ لأنه تحت الضغوط العالية تذوب كمية من الغازات

الشكل(٦–١٧): أدوات الغوص

التي يتكون منها الهواء في دمه بكمية أكبر من مستوى ذوبانها عند الضغط العادي، وحيث إن المكون الأساسي للهواء هو غاز النيتروجين N_2 ، فإن ذوبانه بدرجات عالية من التركيز في الدم ، قد يسبب مشكلتين للغطاس: الأولى هي التخدير بالنيتروجين، والثانية : تظهر عند عودة الغطاس إلى السطح، فعندما يقل الضغط، يميل النيتروجين الذائب في الدم إلى التمدد والخروج؛ مما ينتج عنه تكون فقاعات غازية صغيرة للغاية في دم الغطاس مما قد يؤدي أحيانا إلى الوفاة.

ولتلافي هذه المشكلات يلجأ الغطاسون إلى استخدام أسطوانات هوائية تحتوي على خليط خاص من الغازات بدلا من الهواء المضغوط. وهذا الخليط يتكون من النيتروجين والأكسجين المعروف باسم النيتروكس، حيث يحتوي هذا الخليط على نسبة أقل من غاز النيتروجين؛ مما يقلل من خطورة المشاكل التي يسببها غاز النيتروجين. ويستخدم الغطاسون أيضا في المناطق العميقة جدًّا أنواعًا أخرى من المخاليط الغازية مثل خليط الهليوكس: وهو خليط مكون من غاز الهيليوم والأكسجين، وخليط التراي ميكس: وهو مكون من خليط الهليوكس مع كمية قليلة من غاز النيتروجين.

اختبر فهمك (٧) :

١- ابحث عن إستخدامات أخرى للغازات المضغوطة ؟
٢- بالرجوع إلى مصادر المعلومات المختلفة، اكتب تقريرًا عن أهمية الغازات المضغوطة في عملية إطفاء الحرائق.

أسئلة نهاية الفصل

السـؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

١– أي الغازات التالية يبدي انحرافًا ملموسًا عن السلوك المثالي :

أ) O_2 ب) N_2

ج) He د) CO_2

٢– عدد الجزيئات في $1cm^3$ من النيتروجين عند الظروف القياسية STP ، يساوي :

أ) 26.87×10^{19} ب) 26.87×10^{21}

ج) 2.687×10^{19} د) 2.687×10^{21}

٣– أي عينات الغازات التالية تمثل أكبر كتلة للغاز :

أ) $1.0\ L\ H_2$ عند الظروف القياسية STP .

ب) $1.0\ L\ Ar$ عند الظروف القياسية STP .

ج) $1.0\ L\ H_2$ عند $27\ ^oC$ و $760\ mm\ Hg$

د) $1.0\ L\ He$ عند $0\ ^oC$ و $900\ mm\ Hg$

٤– الغاز الأكثر كثافة عند ضغط $1atm$ ، ودرجة حرارة $298\ ^oC$ هو :

أ) NH_3 ب) N_2 ج) NO_2 د) CO

٥– كمية غاز الكلور في $5.60\ L$ تحت الظروف القياسية بوحدة المول :

أ) 125.4 ب) 22.5 ج) 12.5 د) 0.25

٦– كتلة بخار الماء الذي حجمه $5.6\ L$ عند الظروف القياسية STP ، بوحدة g :

أ) 72 ب) 45 ج) 7.2 د) 4.5

٧– يقترب سلوك الغاز الحقيقي من سلوك الغاز المثالي في الظروف الآتية :

أ) الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المرتفعة.

ب) الضغط المنخفض ودرجة الحرارة المرتفعة.

ج) الضغط المنخفض ودرجة الحرارة المنخفضة.

د) الضغط المرتفع ودرجة الحرارة المنخفضة.

٨– كثافة غاز CO_2 بوحدة g/L ، عند $25\ ^oC$ ، وضغط $750\ mm\ Hg$ تساوي :
أ) 0.563 ب) 1.775 ج) 18.595 د) 33.0

٩– الحجم الذي يشغله $8.8\ g$ من CO_2 عند الظروف القياسية STP ، بوحدة اللتر يساوي:
أ) 0.2 ب) 4.48 ج) 44 د) 112

١٠– أي الحالات الآتية تؤدي إلى زيادة حجم الغاز في ضوء قانون الغاز المثالي :
أ) زيادة P ب) زيادة T ج) انخفاض T د) انخفاض n

١١– يتناسب حجم الغاز طرديًّا مع عدد مولاته، عند ثبات :
أ) الضغط ب) درجة الحرارة
ج) سرعة الجزيئات د) الضغط ودرجة الحرارة

١٢– الحجم الذي يشغله 4.02×10^{22} جزيء من غاز الهيليوم تحت شروط STP ، بوحدة اللتر يساوي :
أ) 2.4×10^{46} ب) 22.4 ج) 1.5 د) 0.07

١٣– الكتلة المولية لغاز تحت شروط STP تساوي كثافة هذا الغاز :
أ) مضروبًا في كتلة مول واحد ب) مضروبًا في $22.4\ L$
ج) مقسومًا على كتلة مول واحد د) مقسومًا على $22.4\ L$

السؤال الثاني :

١– فسِّر ما يلي:
أ– يسهل إسالة غاز الأمونيا ،بينما يصعب إسالة غاز الهيليوم .
ب– تحيد الغازات عن السلوك المثالي عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا .
ج– عند نفس درجة الحرارة تتحرك ذرات غاز النيون بسرعة أكبر من ذرات غاز الرادون .

٢– في أي من الحالات الآتية تؤثر قوى التجاذب على خواص الغاز؟ فسِّر ذلك :
أ– تم ضغط الغاز إلى حجم أصغر عند درجة حرارة ثابتة.
ب– تم إضافة المزيد من الغاز إلى حجم ثابت ، ودرجة حرارة ثابتة.
ج– تم رفع درجة حرارة الغاز عند حجم ثابت.

٣– احسب عدد ذرات غاز الهيليوم المحصورة في بالون حجمه $1\ L$، عند ضغط جوي $1\ atm$ ، ودرجة حرارة $25\ C^o$.

السـؤال الثالث :

١) خليط من الغازات يتكون من $1\ g$ من غاز H_2 و $8\ g$ من غاز Ar ، في وعاء حجمه $3\ L$ ، عند درجة حرارة $27\ ^oC$ ؟
أ– احسب الضغط الجزئي لكل غاز من غازات الخليط.
ب– احسب الضغط الكلي للخليط.

٢) ما كتلة غاز الهيليوم بالجرام اللازمة لكي تملأ بالون حجمه $5.0\ L$ تحت ضغط $1.1\ atm$ ، ودرجة حرارة $25\ ^oC$ ؟

٣) تم ملء بالونين ، أحدهما بغاز الهيدروجين ، والآخر بغاز الهيليوم. فإذا كان حجم بالون H_2 ضعف حجم بالون He ، وكان ضغط الغاز في بالون H_2 $1\ atm$ وضغط الغاز داخل بالون He يساوي $2\ atm$ فإذا وضع بالون He في الخارج، حيث يتساقط الثلج ودرجة الحرارة تنخفض إلى $(-5\ ^oC)$ ، ووضع بالون H_2 في غرفة درجة حرارتها $23\ ^oC$
في ضوء ذلك أجب عما يلي:
أ– أي البالونين يحتوي على عدد أكبر من الجزيئات؟
ب– أي البالونين يحتوي على كتلة أكبر للغاز؟

السـؤال الرابع :

١) يتفاعل الحديد مع حمض الهيدروكلوريك ، وينتج كلوريد الحديد الثنائي وغاز الهيدروجين، فإذا تم جمع غاز الهيدروجين الناتج من تفاعل $2.2g$ من الحديد مع كمية كافية من حمض HCl في دورق حجمه $10.0\ L$، عند درجة حرارة $25\ ^oC$ ؟
أ– أكتب معادلة التفاعل موزونة .
ب– ما ضغط الغاز الناتج في هذا الدورق ؟

٢) يعدُّ الكلوروفورم من السوائل الطيارة سريعة التبخر، فإذا كان ضغطه البخاري في دورق مخروطي $195\ mm\ Hg$ ، عند درجة حرارة $25\ ^oC$ وكانت كثافة البخار داخل الدورق $1.25\ g/L$ ، احسب الكتلة المولية للكلوروفورم .

٣) ينحل ملح كربونات أحد فلزات المجموعة $2A$ من الجدول الدوري، كما في المعادلة الآتية:

$$MCO_{3(S)} \longrightarrow MO_{(S)} + CO_{2(g)}$$

فإذا نتج عن تسخين $0.158\ g$ من ملح الكربونات الصلب MCO_3 ، كمية من غاز CO_2 ، لها ضغط مقداره $69.8\ mm\ Hg$ ، في دورق حجمه $285\ mL$ وعند درجة حرارة $25\ ^oC$ ، حدد الكتلة المولية لـ M ؟

السؤال الخامس :

١) بالون مطاطي تم ملؤه بغاز He الى حجم $12\ L$ ، وضغط $1.0\ atm$ ، ثم أضيف للبالون كمية من غاز الأكسجين، بحيث أصبح الحجم النهائي للبالون $26\ L$ ، مع ضغط كلي $1\ atm$ ، ودرجة حرارة ثابتة للغازين عند $20\ ^oC$ ، في ضوء ذلك أجب عما يأتي :

أ– ما عدد جرامات غاز الهيليوم في البالون ؟

ب– ما الضغط الجزئي النهائي لغاز الهيليوم في البالون ؟

ج–ما الضغط الجزئي لغاز الأكسجين في البالون ؟

٢– عندما ينفجر النيتروجيليسرين $C_3H_5(NO_3)_3$ ، ينتج ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين، والأكسجين، وبخار الماء . فإذا انفجر $5.00 \times 10^2 g$ من النيتروجيليسرين تحت شروط STP ، ما الحجم الكلي للغازات الناتجة ؟

٣– غاز كثافته $1.23\ g/L$ عند درجة $25\ ^oC$، وضغط جوي $760\ torr$:

أ) ما الكتلة المولية لهذا الغاز؟

ب) إذا علمت أن هذا الغاز يحتوي على 79.8% كربون، و 20.2 هيدروجين، فما الصيغة الجزيئية للغاز ؟

السؤال السادس :

١– يتفاعل غاز الزنون مع غاز الفلور لينتجا مركب سادس فلوريد الزنون XeF_6 :

أ– اكتب معادلة التفاعل موزونة.

ب– إذا احتاج الباحث إلى $3.14\ L$ من XeF_6 ، للقيام بتجربته ، فما حجم كل من غاز الزنون وغاز الفلور اللازمين للتفاعل؟ (افترض أن كل الحجوم مقاسة تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة).

٢– يتدفق النيتروجين عبر ثقب صغير أسرع 1.7 مرة من تدفق عنصر غازي آخر ، تحت الشروط نفسها . احسب الكتلة المولية للعنصر الآخر ، ثم حدد هويته المحتملة .

– أي غاز سيتدفق بسرعة أكبر عند درجة الحرارة نفسها: الأكسجين الجزيئي أم الأرجون الذري؟

السؤال السابع :

أ– إذا مزج $600\ mL$ من غاز الهيدروجين مع $600\ mL$ من غاز الأكسجين وحدث التفاعل الآتي بينهما في ظروف ثابتة من الضغط ودرجة الحرارة:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(g)}$$

أجب عما يأتي:

١– ما الغاز الذي لم يتفاعل كليًّا ؟ وما حجمه المتبقي؟

٢– ما حجم بخار الماء الناتج؟

٣– ما حجم الغازات بعد نهاية التفاعل في الوعاء؟

ب– أيهما يشغل حجما أكبر تحت نفس الظروف $2\ g$ من غاز H_2 أم $30\ g$ من غاز CO_2 ؟ فسِّر إجابتك .

ج– كثير من الأضرار تحدث نتيجة لسوء تخزين ونقل الأسمدة النيتروجينية، كسماد نترات الأمونيوم، وهو مركب قابل للانحلال السريع وفقا للمعادلة الآتية:

$$2NH_4NO_{3(g)} \longrightarrow 2N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)} + O_{2(g)}$$

في ضوء ذلك، ما حجم الغازات الناتجة عند ظروف STP من انحلال $1\ mol$ من نترات الأمونيوم ؟

السؤال الثامن

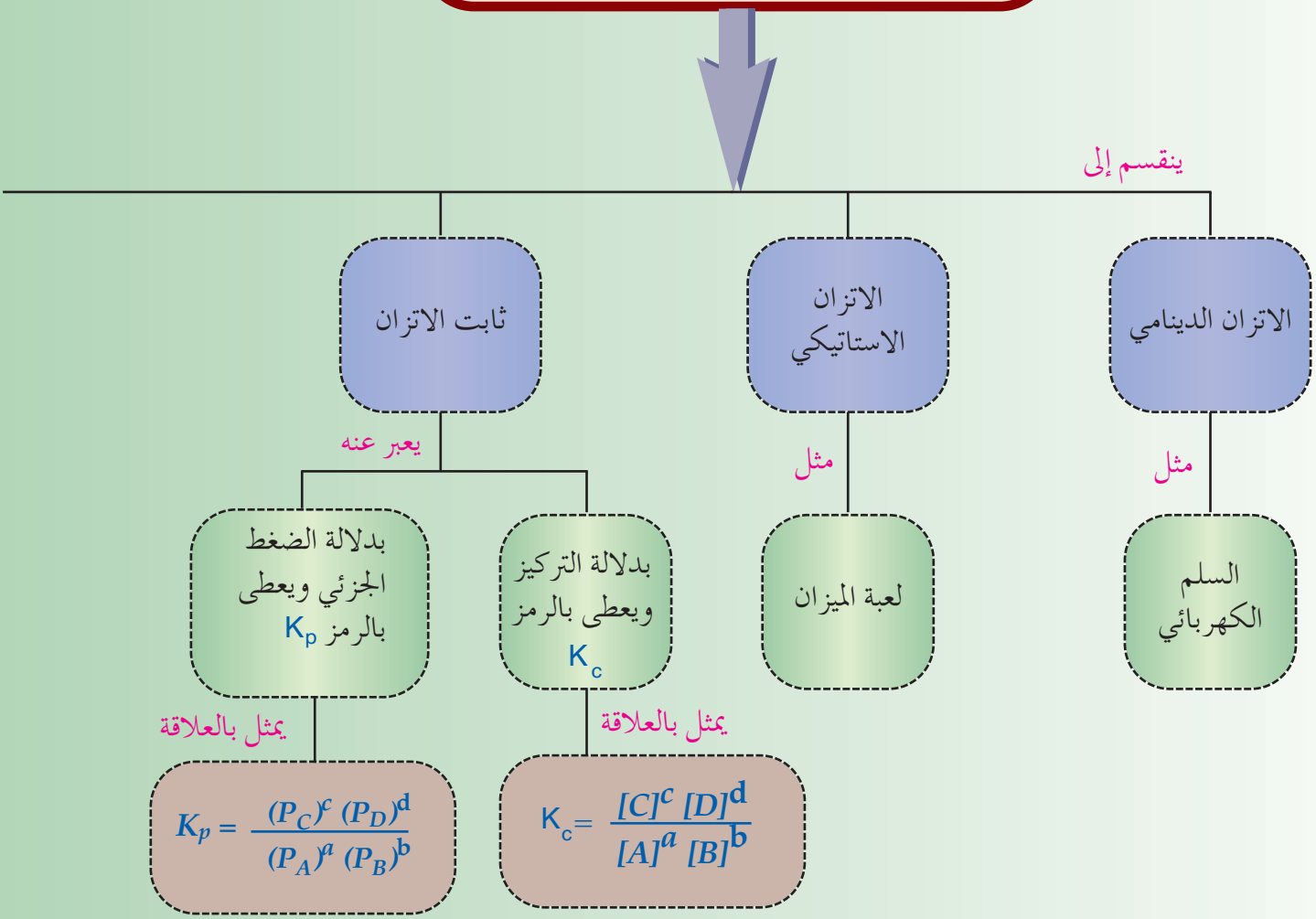
إذا كان لديك خزان غاز سعته الكلية $550\ mL$ ، وضغط الغاز به $1.56\ atm$ ، وذلك عند درجة حرارة $24\ ^oC$. وكنت تعتقد مبدئيًا أن هذا الخزان يحتوي فقط على غاز CO النقي، لكن لاحقا اكتشفت أنه يحتوي على كميات صغيرة من غازي CO_2 و O_2 وقد أشارت التحليلات إلى أن ضغط الغاز في الخزان ينخفض إلى 1.34 (عند درجة حرارة $24\ ^oC$) إذا تم إزالة غاز CO_2 ، وأشارت تجربة أخرى إلى أنه بالإمكان إزالة $0.0870\ g$ من غاز الأكسجين بطرق كيميائية.

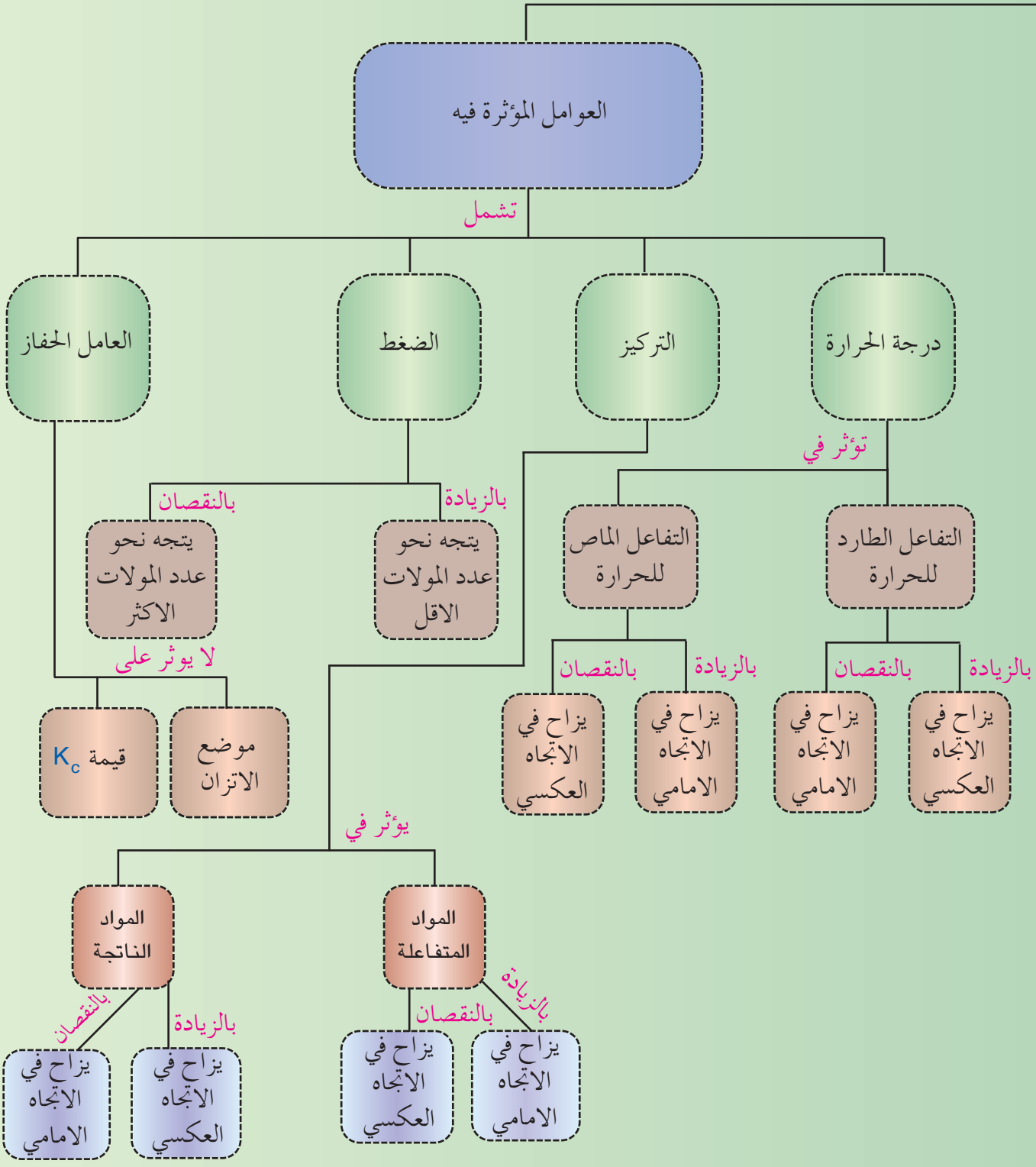
في ضوء معطيات السؤال احسب:

أ– كتلة كل من غازي CO و CO_2 في الخزان .

ب– الضغط الجزئي لكلٍّ من غازي CO و CO_2 في الخزان .

الاتزان الكيميائي




العوامل المؤثرة فيه
تشمل
درجة الحرارة
التركيز
الضغط
العامل الحفاز
تؤثر في
التفاعل الطارد للحرارة
التفاعل الماص للحرارة
بالزيادة
بالنقصان
يزاح في الاتجاه الامامي
يزاح في الاتجاه العكسي
يزاح في الاتجاه الامامي
يزاح في الاتجاه العكسي
بالزيادة
بالنقصان
يتجه نحو عدد المولات الاقل
يتجه نحو عدد المولات الاكثر
لا يوثر على
يؤثر في
المواد المتفاعلة
المواد الناتجة
بالزيادة
بالنقصان
يزاح في الاتجاه الامامي
يزاح في الاتجاه العكسي
بالنقصان
بالزيادة
يزاح في الاتجاه الامامي
يزاح في الاتجاه العكسي
موضع الاتزان
قيمة K_c

الوحدة الرابعة ٤

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

الفصل السابع
الاتزان الكيميائي
Chemical Equilibrium

الفصل الثامن
الاتزان في الأحماض والقواعد
Acids and Bases Equilibrium

مقدمة

يعد مفهوم الاتزان من المفاهيم الرئيسة في الكيمياء ، إلا أنه ليس خاص بالكيمياء فقط .

فإذا تأملنا كوكب الأرض الذي نعيش عليه نجد كثيراً من الظواهر التي يتضح منها مفهوم الاتزان مثل ما يتم فيه من دورات مختلفة كدورة الكربون ودورة الأكسجين ودورة الماء ، وفي الحقيقة فإن هذا الكوكب هو وعاء كبير تكون فيه الغازات والماء بحالاته المختلفة في حالة اتزان ، قال تعالى :﴿ وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنبَتْنَا فِيهَا مِن كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ ﴾ (الحجر:١٩).

وينطبق مفهوم الاتزان على سلوك كثير من المواد الكيميائية في محاليلها ، وخاصة محاليل الأحماض الضعيفة ، ومحاليل القواعد الضعيفة وتطبيقاتها .

وسوف يتم في هذه الوحدة تقديم نظرة عن مفهوم الاتزان الكيميائي ، وكيفية حدوثه والعوامل المؤثرة عليه ، وكيف يتم حساب ثابت الاتزان ، كما سيتم التطرق إلى الاتزان في الأحماض والقواعد .

الأفكار الرئيسة :

في هذه الوحدة سوف تتمكن من الإجابة عن الأسئلة الآتية:

١ –الماء وثاني أكسيد الكربون من المكونات الرئيسة في الطبيعة .. هل تمثل دورة كل منهما اتزانًا ديناميًا ؟ وضّح ذلك.

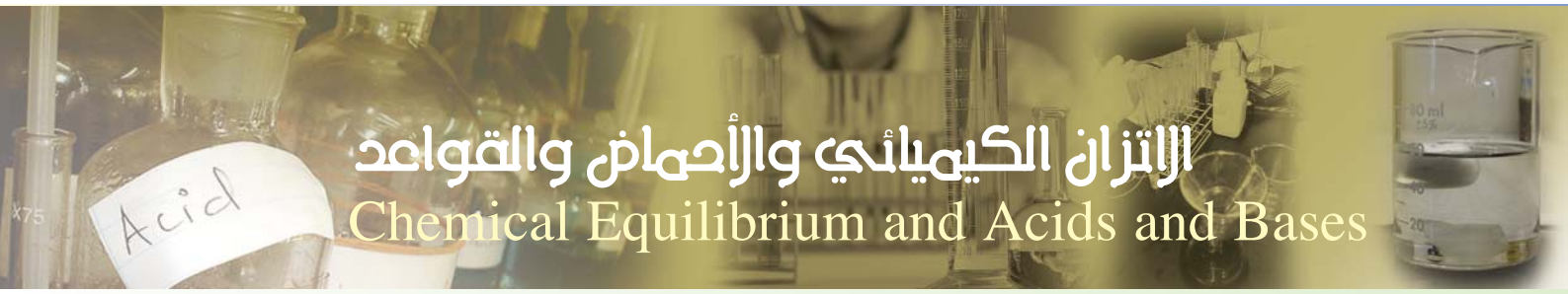
٢– متى يكون التفاعل الكيميائي في حالة اتزان ؟

٣– هل يمكن التنبؤ بأثر تغير الظروف المحيطة بالاتزان في تحديد اتجاه سير التفاعل للوصول إلى حالة اتزان جديدة ؟

٤– ما دور المحاليل المنظمة في حياتنا وفي المختبر ؟

٥– ماذا تتوقع أن يحدث لقيمة *pH* لمحلول حمض أو قاعدة عند إذابة بلورات من ملح ما فيه ؟

٦– كيف يستفاد من الاتزان في التطبيقات التكنولوجية ؟



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

الفصل السابع : الاتزان الكيميائي : *Chemical Equilibrium*

مقدمة الفصل

تسير كثير من التفاعلات الكيميائية في اتجاه واحد ، وذلك بأن تتحول المواد المتفاعلة جميعها أو بعضها إلى مواد ناتجة، فما الذي يحدث ؟ وهل من الضرورة استهلاك جميع المواد المتفاعلة عند التوقف الظاهري للتفاعل ؟ وهل يمكن للمواد الناتجة أن تعطي مرة أخرى المواد المتفاعلة الأصلية في نفس التفاعل؟ وما أثر تغير بعض ظروف التفاعل على حالة الاتزان؟ وما هو ثابت الاتزان ؟ وكيف يمكنك كتابة صيغ ثابت الاتزان لتفاعلات كيميائية ؟

سوف تتمكن الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل .

الموضوعات الرئيسة :

٧ ـ ١ : التفاعلات العكسية و غير العكسية .
٧ ـ ٢ : طبيعة الاتزان .
٧ ـ ٣ : ثابت الاتزان
٧ ـ ٤ : حسابات ثابت الاتزان.
٧ ـ ٥ : العوامل المؤثرة على الاتزان .
٧ ـ ٦ : تطبيقات عملية على الاتزان وأهميته في العمليات الكيميائية .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

مصطلحات علمية جديدة :

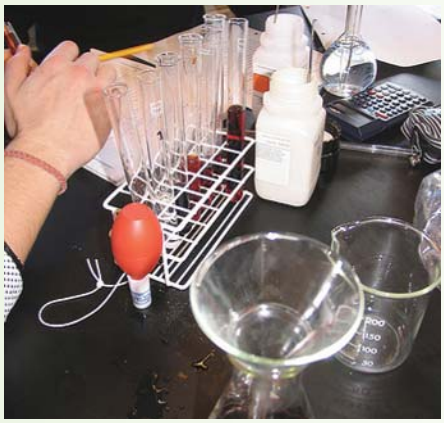
١- الاتزان الديناميي ..... *1- Dynamic equilibrium*

٢- الاتزان الاستاتيكي ..... *2- Static equilibrium*

٣- ثابت الاتزان ..... *3- Equilibrium constant*

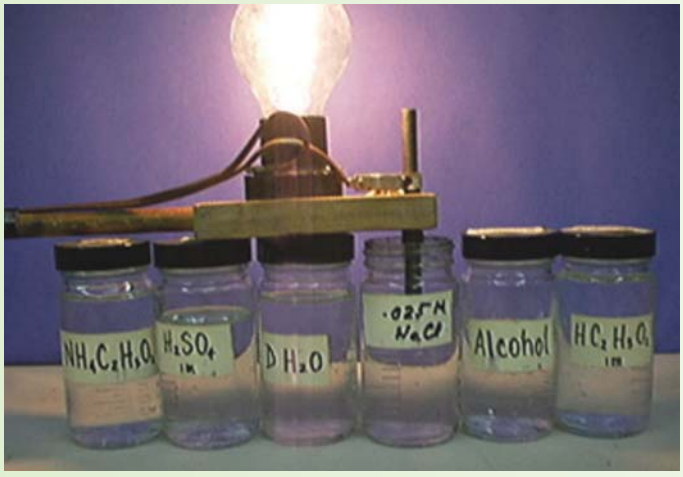
٤- تفاعل عكسي ..... *4- Reversible reaction*

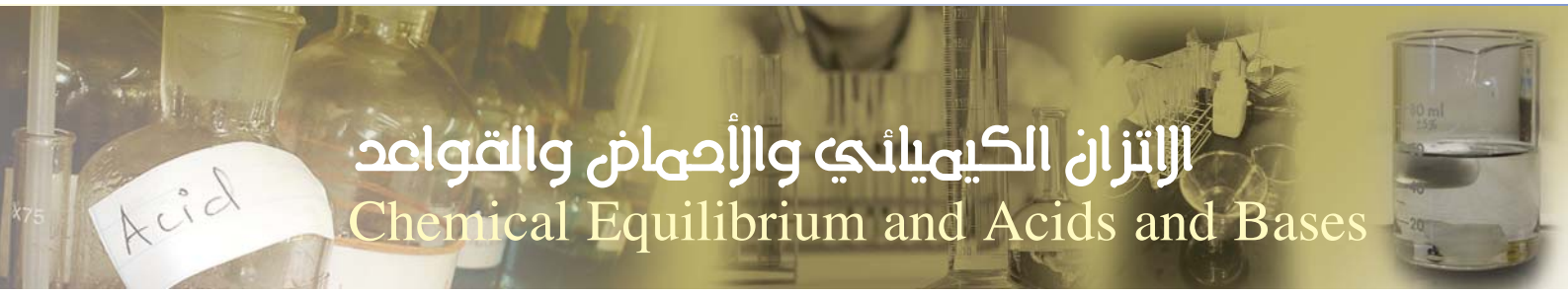
٥- تفاعل غير عكسي ..... *5- Irreversible reaction*



عناوين الاستكشافات :

الاستكشاف (١): تغير التركيز





الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

٧-١ التفاعلات العكسية و غير العكسية :
Reversible and Ireversible Reaction

يمكن تقسيم التفاعلات الكيميائية من حيث طبيعة سير هذه التفاعلات إلى نوعين هما :

١- التفاعلات غير العكسية : *Irreversible Reactions*

هي التفاعلات التي تتحول فيها المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة (تفاعل يسير في اتجاه واحد) ، كما في تفاعل احتراق سكر الجلوكوز :

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \longrightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

ويتم التعبير عن هذه التفاعلات بمعادلة كيميائية تحتوي على سهم في اتجاه واحد فقط ($\longrightarrow$) . وهذا النوع ينحصر في تلك التفاعلات التي لا تستطيع فيها المواد الناتجة أن تتفاعل مع بعضها البعض لتكوين مواد متفاعلة ، مثل تفاعلات تكوين رواسب يتم فصلها من وسط التفاعل عند انتهاء الترسيب أو انبعاث غازات تخرج من وسط التفاعل ، ومن هذه التفاعلات ما يلي:

$$2Al_{(s)} + 6HCl_{(aq)} \longrightarrow 2AlCl_{3(s)} + 3H_{2(g)} \uparrow$$

$$NaCl_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \longrightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3(aq)}$$

٢- التفاعلات العكسية : *Reversible Reactions*

هي التفاعلات التي تستهلك فيها المواد المتفاعلة لتكوين مواد ناتجة تتفاعل مع بعضها لتعطي مرة أخرى المواد المتفاعلة (تفاعل يسير في اتجاهين مختلفين) ، بمعنى أنه يحدث تفاعلين أحدهما تفاعل أمامي (طردي) يسير باتجاه تكوين المواد الناتجة ، والآخر عكسي يسير باتجاه تكوين المواد المتفاعلة ، كما في تفاعل تكوين الأمونيا (النشادر) :

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

ويتم التعبير عن مثل هذه التفاعلات بمعادلة كيميائية واحدة تحتوي على سهمين في اتجاهين مختلفين ($\rightleftharpoons$) .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

معلومة تهمك: كيف اكتشفت التفاعلات العكسية ؟

لاحظ الكيميائي الفرنسي بيرثيلوت عام ١٧٩٨ م حدوث ترسبات كربونات الصوديوم حول أطراف بعض البحيرات الملحية ، حسب المعادلة الآتية :

$$Na_2CO_{3(aq)} + CaCl_{2(aq)} \longrightarrow CaCO_{3(s)} + 2NaCl_{(aq)}$$

وهذا التفاعل يتم في المختبر بطريقة تامة ، ولكن بسبب زيادة تركيز **NaCl** الذي يحدث نتيجة للتبخر البطيء للماء ، فإن التفاعل يندفع في الاتجاه العكسي، وبالتالي أصبح التفاعل يكتب كالآتي :

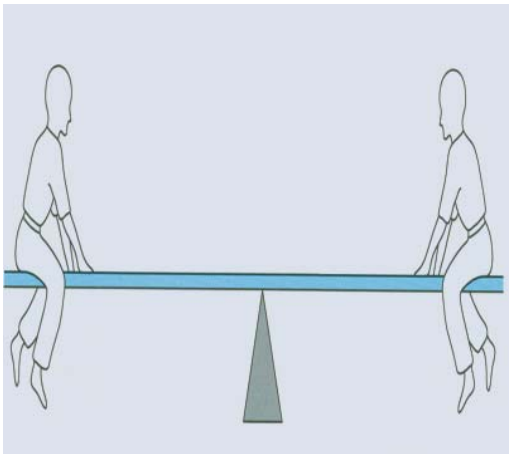
$$Na_2CO_{3(aq)} + CaCl_{2(aq)} \rightleftharpoons CaCO_{3(s)} + 2NaCl_{(aq)}$$

٧-٢ طبيعة الاتزان : *Nature of Equilibrium*

يطلق مصطلح الاتزان في الطبيعة للتعبير عن الثبات والاستقرار ، وهناك نوعين رئيسين من الاتزان هما : الاتزان الاستاتيكي أو الثابت *(Static equilibrium)*، والاتزان الدينامي أو الحركي *(Dynamic equilibrium)*. فما الفرق بينهما؟

لمعرفة ذلك ادرس الأمثلة الآتية:

إذا جلس شخصان متساويان في الكتلة على طرفي لعبة الميزان ، وعلى بعد متساو من منتصفها ،كما في الشكل (٧-١) ، فإنهما يكونان في حالة اتزان وتسمى هذه الحالة من الاتزان (بالاتزان الاستاتيكي).



الشكل (٧-١): لعبة الميزان

والآن تخيل أنك تقف على سلم كهربائي متحرك كما في الشكل (٧–٢) ، سواء أكنت متجهًا إلى أعلى أم إلى أسفل ، وأردت أن تظهر للناظر إليك أنك تقف في النقطة نفسها وعلى المسافة نفسها من أسفل السلم ، فما عليك إلا الحركة في الاتجاه المضاد لحركة السلم وبالسرعة نفسها تقريبًا .

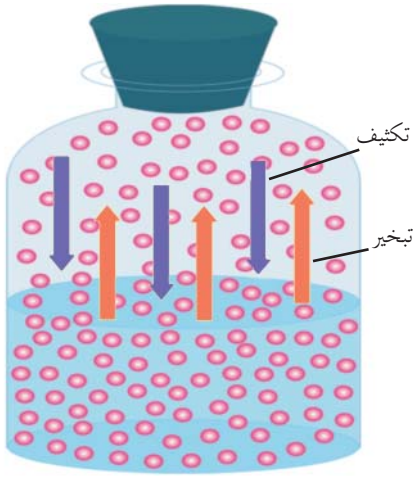
الشكل (٧–٢): السلم الكهربائي

وبذلك يظهر لأي شخص ناظر إليك بأنك ثابت في مكانك على الرغم من الحركة المستمرة التي تقوم بها أنت والسلم ، وتسمى هذه الحالة من الاتزان **بالاتزان الديناميي** .

ويعتبر اتزان الماء السائل مع بخاره في وعاء مغلق أحد الأمثلة على الاتزان الديناميي وهو اتزان فيزيائي ، ويمكن تمثيل حالة الاتزان هذه بالمعادلة الآتية :

$$H_2O_{(l)} \underset{\text{تكثيف}}{\overset{\text{تبخير}}{\rightleftharpoons}} H_2O_{(g)}$$

إن ما يحدث في هذا الوعاء هو أن بعض جزيئات الماء السطحية لديها طاقة حركية عالية مقارنة بالجزيئات الأخرى ، مما يعني أن لها القدرة على الإفلات من سطح السائل لتصبح حرة الحركة في أعلى جزيئات السائل وتبقى هذه الجزيئات في حركة مستمرة ، وبعض هذه الجزيئات تعود إلى السائل لأن طاقتها الحركية غير كافية للاستمرار في الحالة الغازية ، أي أن معدل تحول الجزيئات إلى الحالة الغازية أعلى عن معدل تحولها إلى الحالة السائلة ، وفي النهاية يصل النظام إلى نقطة تكون فيه عدد الجزيئات التي تغادر سطح السائل مساوية لعدد الجزيئات التي تعود إلى السائل ، وحين يصل النظام إلى تلك النقطة تكون هناك عمليتان متعاكستان هما: التبخير والتكثيف ، وتحدثان بنفس المعدل (السرعة) ، وتسمى تلك النقطة **بالاتزان**.



الشكل (٧–٣):اتزان الماء

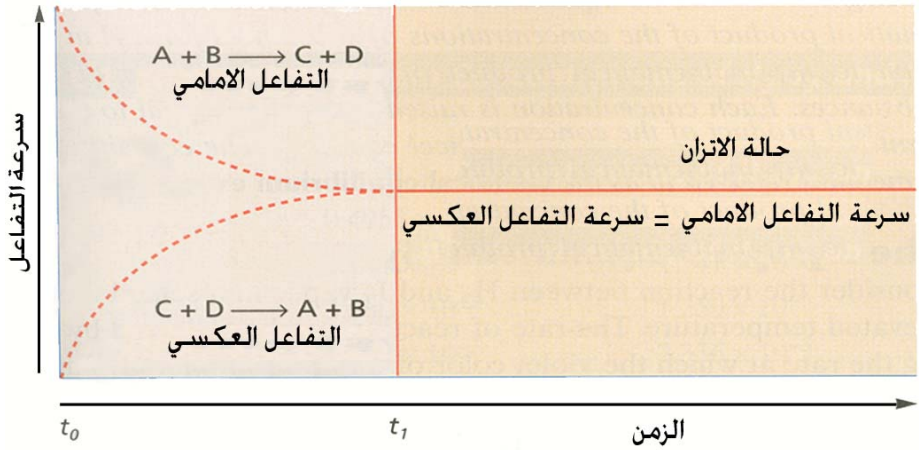
وبالنظر إلى الشكل (٧–٣) الذي يوضح اتزان الماء السائل مع بخاره ، يبدو أن النظام وكأنه متوقف عند نقطة الاتزان ، ولكن هذا ليس صحيحًا لأن كل من عمليتي التبخير والتكثيف تظلان مستمرتين وبنفس السرعة .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

ولكي تفهم كيف يصل أي نظام إلى حالة الاتزان تمعن في الشكل (٧–٤) الذي يوضح التغيرات التي تحدث على كلّ من سرعة التفاعل الأمامي ، وسرعة التفاعل العكسي للتفاعل العام التالي في حالة الاتزان :

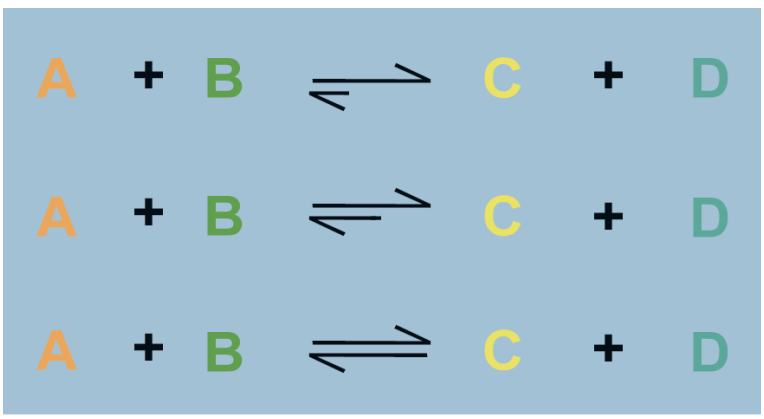
$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

وما العلاقة بين سرعتيهما لحظة الوصول إلى الاتزان ؟

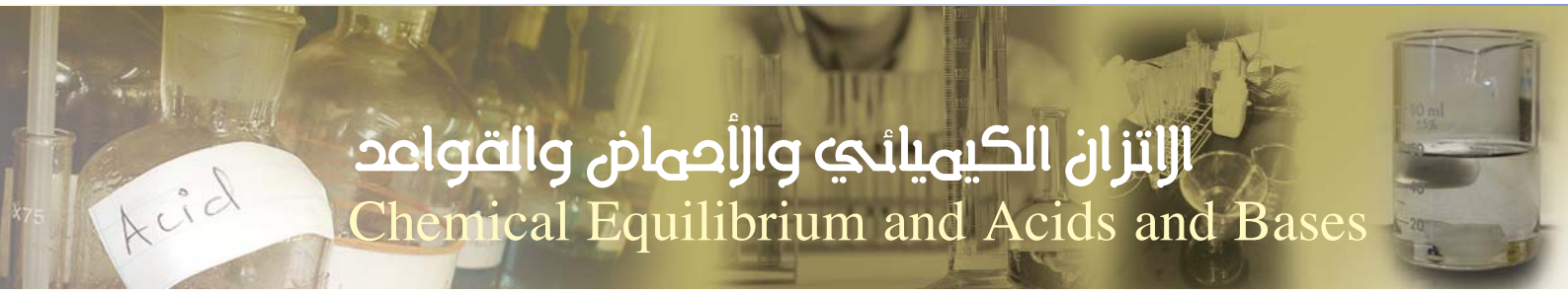


الشكل(٧–٤): التغيّر في سرعة التفاعل الأمامي والعكسي بمرور الزمن

عند بدء التفاعل يكون تركيز المواد المتفاعلة ***(A ، B)*** كبيرًا حيث تتفاعل مع بعضها بسرعة معينة مكونة المواد الناتجة ***(C ، D)*** ، التي تبدأ بالتفاعل تدريجيًا مكونة المواد المتفاعلة مرة أخرى ، وهكذا فإنه بمرور الزمن تقل سرعة التفاعل الأمامي نظرًا لنقص تركيز المواد المتفاعلة ، وفي المقابل تزداد سرعة التفاعل العكسي نظرًا لزيادة تركيز المواد الناتجة ويستمر ذلك حتى تتساوى سرعة التفاعلين الأمامي والعكسي ، وفي هذه الحالة يبدو التفاعل وكأنه متوقفًا وهو توقف ظاهري أي أن التفاعل وصل إلى حالة اتزان .



أي أن الاتزان هو الحالة التي يصل فيها النظام إلى تساوي سرعة التفاعلين الأمامي والعكسي ، وعندها تثبت تراكيز جميع المواد الموجودة في التفاعل كما تثبت الخواص الفيزيائية لها مثل اللون. ويمكن التعبير عن التغير في سرعة التفاعلين الأمامي والعكسي للوصول إلى حالة الاتزان بالتمثيل المجاور :



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

من التمثيل نستنتج أن طول السهم يتناسب مع سرعة التفاعل حسب الاتجاه الذي يشير إليه السهم . ولعلك تتسأل هل يتوقف التفاعل عند وصوله إلى حالة الاتزان ، أو بصيغة أخرى ماذا نقصد بالتوقف الظاهري لتفاعل ما عند وصوله إلى حالة الاتزان ؟

إن ثبات تركيز المواد في التفاعل المتزن ، وكذلك ثبات الخواص الفيزيائية لا يعني أن التفاعل قد توقف بل أن هذا التوقف الملاحظ ناتج عن تساوي سرعة التفاعلين الأمامي والعكسي ، فالتفاعل في الحقيقة نشط وليس متوقفًا كما يبدو من ثبات التركيز والخواص. وبناءً على ما سبق يمكن تعريف الاتزان الكيميائي الذي يعتبر أحد أشكال الاتزان الدينامي بأنه: ''**حالة نظام تتساوى عنده سرعة التفاعل الأمامي وسرعة التفاعل العكسي و ثبات تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة**''.

اختبر فهمك (١) :

١- هل هناك أشكال أخرى للاتزان الدينامي غير الاتزان الكيميائي . ابحث عنها مدعمًا إجابتك ببعض الأمثلة .

٢- هل الاتزان يعني التساوي في التراكيز ؟ فسّر إجابتك .

٣- أضيفت قطرات من محلول حمض HCl إلى أنبوبة تحتوي على محلول دايكرومات البوتاسيوم حتى تغير اللون . هل هذا التفاعل يوجد في حالة اتزان ؟ فسّر إجابتك.

٧-٣ ثابت الاتزان : *The Equilibrium Constant (K)*

يعرف ثابت الاتزان لتفاعل ما بأنه " **حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة مقسومًا على حاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة كل مرفوع إلى أس يساوي عدد مولاته في المعادلة الموزونة عند درجة حرارة معينة** '' ، ويرمز له بالرمز K .

فمثلاً في التفاعل الافتراضي الآتي :

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

فإن ثابت الاتزان (K) يعطى بالعلاقة :

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

حيث تمثل الرموز A ، B ، C ، D المواد المتفاعلة والمواد الناتجة ، بينما تمثل الرموز a ، b ، c ، d معاملات تلك المواد في معادلة التفاعل .

في تفاعلات المواد التي تكون بصورة محاليل فإنه يعبر عنها بتراكيزها . وفي التفاعلات التي تحتوي على مواد سائلة نقية أو مواد صلبة نقية فإن تراكيزها لا تتغير بتغير كمية المادة ، وبالتالي فإنها لا تكتب في علاقة ثابت الاتزان . ويعرف ثابت الاتزان في هذه الحالة بأنه ثابت الاتزان بدلالة التركيز ، ويرمز له بالرمز K_c .

مثال (١) : اكتب علاقة ثابت الاتزان للتفاعل الآتي :

$$CH_3COOC_2H_{5(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + C_2H_5OH_{(aq)}$$

الحل :

$$K_c = \frac{[CH_3COOH][C_2H_5OH]}{[CH_3COOC_2H_5]}$$

أما في التفاعلات التي تتم بين المواد في الحالة الغازية فإنه يمكن التعبير عن تراكيزها بدلالة الضغوط الجزئية أيضًا، وفي هذه الحالة يستخدم الرمز K_p بدلاً من الرمز K_c للدلالة على ثابت الاتزان كما في العلاقة :

$$K_p = \frac{(P_C)^c\ (P_D)^d}{(P_A)^a\ (P_B)^b}$$

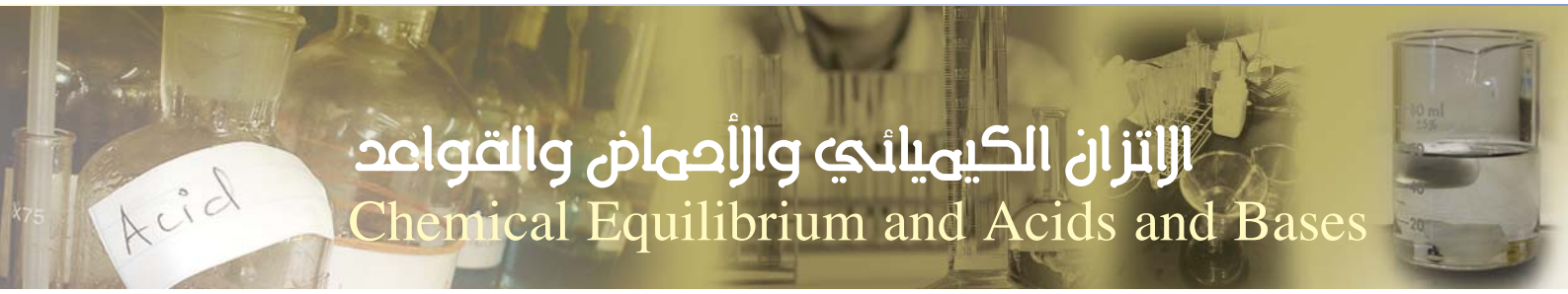
حيث تمثل الرموز P_A ، P_B ، P_C ، P_D الضغوط الجزئية لرموز المواد المتفاعلة والناتجة A ، B ، C ، D في الحالة الغازية ، بينما تمثل الرموز a ، b ، c ، d معاملات تلك المواد في الحالة الغازية .

مثال (٢) : اكتب علاقة ثابت الاتزان للتفاعل :

$$2H_2O_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$

الحل :

$$K_p = \frac{(P_{H_2})^2\ (P_{O_2})}{(P_{H_2O})^2}$$



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

معلومة تهمك : تحلل كربونات الكالسيوم

وجد عند تحلل كربونات الكالسيوم بالحرارة في نظام مغلق كما يلي :

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

حيث يحدث الاتزان عندما يكون الضغط الجزئي لغاز $0.22\ atm = Pco_2 = CO_2$ عند درجة حرارة $800\ ^oC$ أما عند إجراء هذا التفاعل في نظام مفتوح فإن غاز CO_2 الناتج سوف ينتشر في محيط التفاعل ولن يبلغ ضغطه الجزئي في هذه الحالة $0.22\ atm$ ، لذا فإن التفاعل لا يصل إلى حالة الاتزان ، بل يستمر تحلل كربونات الكالسيوم حتى النهاية. أما على سطح كوكب الزهرة وجد أن الضغط الجزئي لغاز CO_2 عند الاتزان $90\ atm = (Pco_2)$ عند درجة حرارة $550\ ^oC$ ، ولا يحدث تحلل لكربونات الكالسيوم ، وبالتالي يتوقع العلماء وفرة كمية كربونات الكالسيوم على كوكب الزهرة .

والجدير بالذكر أن قيمة ثابت الاتزان لتفاعل ما ذات قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة تتغير فقط بتغير درجة الحرارة.

اختبر فهمك (٢) :

اكتب علاقة ثابت الاتزان بدلالة K_c أو K_p للتفاعلات الآتية :

1- $3Fe_{(s)} + 4H_2O_{(g)} \rightleftharpoons Fe_3O_{4(s)} + 4H_{2(g)}$

2- $Zn_{(s)} + Fe^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)}$

إن معرفتنا لقيمة ثابت الاتزان تساعدنا في التنبؤ بكميات المواد المتفاعلة والمواد الناتجة عند الاتزان ، **ففي التفاعل التالي الذي يحدث عند درجة حرارة $440\ ^oC$** :

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)} \quad , \quad K_c = 49$$

سوف تلاحظ أن قيمة K_c كبيرة ($1 < K_c$) ، وهذا يعني أن الاتزان يحدث عندما يكون حاصل ضرب تراكيز

المواد الناتجة كبير جداً بالنسبة لحاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة ،كما في الشكل (٧–٥ أ) .

الشكل (٧–٥ أ)

أما في التفاعل التالي الذي يحدث عند درجة حرارة $25\ ^oC$:

$$CuCl_{(s)} \rightleftharpoons Cu^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)} \quad , \quad K_c = 1.7 \times 10^{-7}$$

إن قيمة K_c لهذا التفاعل قليلة ($1 > K_c$)، وهذا يعني أن حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة أقل من حاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة (مما يدل على أن ذوبانية $CuCl$ في الماء قليلة جداً) ، كما في الشكل (٧–٥ب) .

الشكل (٧–٥ب)

وإذا كانت قيمة ($K_c = 1$ تقريباً) فإن الاتزان يحدث عندما يكون حاصل ضرب تراكيز المواد الناتجة مساوياً لحاصل ضرب تراكيز المواد المتفاعلة الموضح في الشكل (٧–٥ ج) ، **كما في التفاعل التالي الذي يحدث عند درجة حرارة $500\ ^oC$:**

$$NO_{2(g)} + NO_{(g)} \rightleftharpoons N_2O_{(g)} + O_{2(g)} \quad , \quad K_c = 0.914$$

الشكل (٧–٥ ج)

اختبر فهمك (٣) :

١- فيما يلي مقدار ثابت الاتزان K_c لثلاث تفاعلات مختلفة :

أ- 3.5×10^{-16} ب- 0.4 ج- 4×10^{3}

في أي تفاعل تكون تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من المواد الناتجة ؟

٢- في التفاعل الافتراضي الآتي :

$$A \rightleftharpoons B$$

وجد أن قيمة ثابت الاتزان $(K_c) = 0.1$ ، فما دلالة قيمة K_c ؟

٣- إذا علمت أن قيمة ثابت الاتزان $K_c = 0.0415$ عند درجة حرارة $25\ ^{o}C$ للتفاعل المتزن الآتي:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

وقد تم خلط $0.50\ mol$ من PCl_3 و $0.30\ mol$ من Cl_2 ، بالإضافة إلى $1.0\ mol$ من PCl_5 في وعاء سعته لتر . وضح هل هذا النظام في حالة اتزان ؟ وفي أي اتجاه يسير التفاعل ؟

والجدير ذكره أنه عندما تعكس معادلة التفاعل الكيميائي ، فإن ثابت الاتزان للمعادلة الجديدة يساوي مقلوب ثابت الاتزان للمعادلة الأصلية $\frac{1}{K_c}$.

فمثلاً إذا كان ثابت الاتزان للتفاعل :

$$A + B \rightleftharpoons C$$

هو K_c ، فإن ثابت الاتزان للتفاعل :

$$C \rightleftharpoons A + B$$

هو $\frac{1}{K_c}$.

كما أن قيمة K_c ترفع إلى أس يساوي المعامل الذي تضرب فيه معادلة التفاعل .

٧-٤ حسابات ثابت الاتزان : *Calculations of the Equilibrium Constant*

يعتمد حساب ثابت الاتزان لتفاعل ما على حساب تراكيز مكوناته في بداية التفاعل وعند الوصول إلى حالة الاتزان وبالرجوع إلى معادلته الموزونة ، ويتضح ذلك من خلال الأمثلة الآتية :

مثال (١) : في تجربة تحلل غاز بروميد الهيدروجين HBr لتكوين غازي H_2 و Br_2، وضعت كمية من HBr في إناءسعته $2.0\ L$ عند درجة حرارة معينة، وعند الاتزان وجد أن الإناء يحتوي على $0.01\ mol$ من H_2 و $0.01\ mol$ من Br_2 و $0.25\ mol$ من HBr . احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل .

الحل : أولا نكتب معادلة التفاعل موزونة :

$$2HBr_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + Br_{2(g)}$$

ثم نحسب تركيز المواد من العلاقة :

$$\text{التركيز} = \frac{\text{عدد المولات}}{\text{الحجم باللتر}}$$

$$[HBr] = \frac{0.25\ mol}{2.0\ L} = 0.125\ mol/L$$

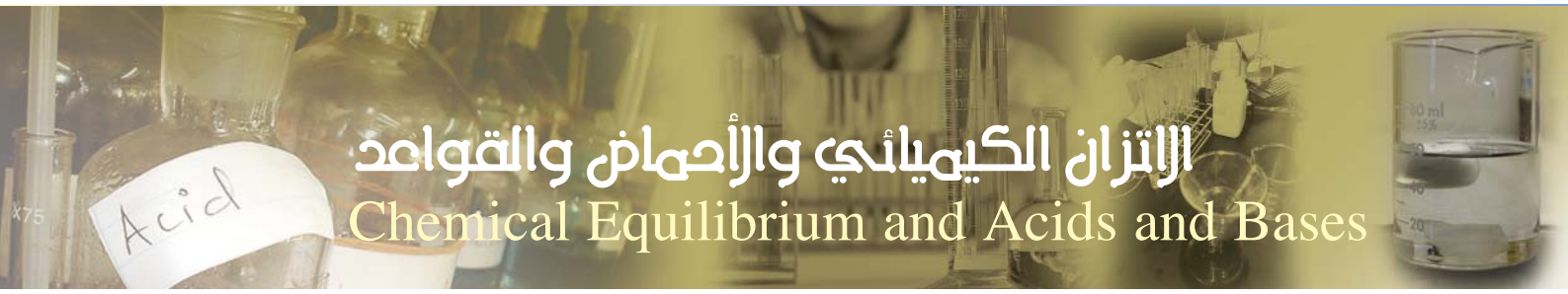
$$[Br_2] = \frac{0.01\ mol}{2.0\ L} = 0.005\ mol/L$$

$$[H_2] = \frac{0.01\ mol}{2.0\ L} = 0.005\ mol/L$$

وبالتعويض في العلاقة :

$$K_c = \frac{[H_2]\,[Br_2]}{[HBr]^2}$$

$$K_c = \frac{(0.005)(0.005)}{(0.125)^2} = 1.6 \times 10^{-3}$$



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

مثال (٢): يتم تحضير غاز الهيدروجين صناعيًا من تفاعل بخار الماء مع غاز أول أكسيد الكربون تحت ظروف معينة. فإذا تم خلط ***4.0 mol*** من كل من غاز أول أكسيد الكربون و بخار الماء في وعاء سعته ***1.0 L*** ، ثم سخن الوعاء إلى درجة حرارة ***900 °C*** حتى وصل التفاعل إلى حالة الاتزان ، ومنتجًا غاز ثاني أكسيد الكربون . احسب تركيز مكونات التفاعل عند الاتزان إذا علمت أن قيمة K_c للتفاعل تساوي ***4.2*** ؟

الحل . أولاً: نكتب معادلة التفاعل موزونة :

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$$

ثانيًا : نكتب عدد مولات كل مادة في بداية التفاعل وعند الاتزان كما في الجدول الآتي :

معادلة التفاعل الموزونة	$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$			
عدد المولات في بداية التفاعل	4	4	0.00	0.00
بفرض أن : التغير في عدد المولات	$-x$	$-x$	$+x$	$+x$
عدد المولات عند الاتزان	$4-x$	$4-x$	x	x

ملاحظة : تشير $(-x)$ في الجدول إلى أن عدد المولات ينقص بمقدار x ، أما $(+x)$ تعني أن عدد المولات يزداد بمقدار x ، حيث يمكن التعويض عن التركيز بعدد المولات إذا كان حجم المحلول يساوي لترًا .

ثالثًا : نعوض قيمة التركيز عند الاتزان في تعبير ثابت الاتزان :

$$K_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$$

$$4.2 = \frac{(x)^2}{(4-x)^2}$$

وبأخذ الجذر التربيعي لطرفي المعادلة نجد أن:

$$2.05 = \frac{x}{4-x}$$

وبحل هذه المعادلة نجد أن : $x = 2.69\ mol/L$

إذا التراكيز عند الاتزان هي: $[CO_2] = [H_2] = 2.69\ mol/L$

$[CO] = [H_2O] = 4 - 2.69 = 1.31\ mol/L$

مثال (٣) : يتفكك كلوريد النيتروزيل $NOCl_{(g)}$ وفق المعادلة الآتية :

$$2NOCl_{(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + Cl_{2(g)}$$

فإذا أدخلت كمية منه إلى وعاء حجمه **1.0 L** ، ثم سخنت هذه الكمية إلى درجة حرارة **40 °C** ووصل التفاعل إلى حالة الاتزان عندما تفكك منه **60%** ، احسب ثابت الاتزان K_P للتفاعل ، علمًا بأن الضغط الكلي للمواد الموجودة عند الاتزان هو **0.5 atm** ؟

الحل : بفرض أن عدد مولات كلوريد النيتروزيل التي أدخلت إلى الوعاء تساوي **100 mol** .
نستخدم الجدول التالي لحل المثال :

معادلة التفاعل الموزونة	$2NOCl_{(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + Cl_{2(g)}$		
عدد المولات قبل التفاعل	100 mol	0.00	0.00
التغير في عدد المولات	- 2 x	+ 2 x	+ x
	- 60	+ 60	+ 30
عدد المولات عند الاتزان	40 mol	60 mol	30 mol

عدد المولات الغازية الكلية = 130 mol

نحسب الضغط الجزئي كما يلي :

$$p_{NOCl} = \frac{40\ mol}{130\ mol} \times 0.5\ atm = 0.1538\ atm$$

$$p_{NO} = \frac{60\ mol}{130\ mol} \times 0.5\ atm = 0.2307\ atm$$

$$p_{Cl_2} = \frac{30\ mol}{130\ mol} \times 0.5\ atm = 0.1153\ atm$$

ومن معادلة ثابت الاتزان :

$$K_p = \frac{(p_{NO_2})^2 (p_{Cl_2})}{(p_{NOCl})^2}$$

وبالتعويض في المعادلة نجد أن :

$$K_p = \frac{(0.2307)^2 (0.1153)}{(0.1538)^2} = 0.259\ atm$$

اختبر فهمك (٤) :

١- وجد أن ثابت الاتزان للتفاعل المتزن التالي عند درجة حرارة $750\ ^oC$ يساوي 32 :

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \quad , \quad Kc = 32\ at\ 750\ ^oC$$

احسب تركيز خامس كلوريد الفسفور، إذا علمت أن تركيز كل من ثالث كلوريد الفسفور والكلور عند الاتزان $0.70\ mol/L$ ، $0.80\ mol/L$ على الترتيب .

٢- يتفاعل $4.00\ mol$ من كل من اليود I_2 والبروم Br_2 في وعاء حجمه $2.0\ L$ عند درجة حرارة $150\ ^oC$ ، وذلك لإنتاج يوديد البروم IBr ، علمًا بأن تركيز يوديد البروم عند الاتزان يساوي $3.38\ mol/L$:

أ- اكتب معادلة الاتزان للتفاعل. ب- احسب قيمة K_c للتفاعل المتزن .

٧-٥ العوامل المؤثرة على الاتزان : Factors Affecting Equilibrium

علمت سابقًا أن التفاعل الكيميائي يصل إلى حالة الاتزان عندما تصبح سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي ، وسرعة التفاعل الكيميائي تتأثر ببعض العوامل مثل التركيز و الضغط و درجة الحرارة و العامل الحفاز ، وهذه العوامل تعمل على تغيير سرعة التفاعل الأمامي أو التفاعل العكسي وبالتالي تؤدي إلى الإخلال بحالة الاتزان أي تكون مكونات النظام غير متزنة مع بعضها . وعندما يتعرض أي نظام متزن إلى حالة اضطراب (أي يقع عليه جهد)، فإن النظام يصبح في حالة عدم اتزان للحظات قصيرة ، ويتفاعل هذا النظام كيميائيًا ليصل إلى حالة اتزان جديدة ليتلائم مع التغيير الذي طرأ عليه .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

إن معرفة تأثير العوامل المختلفة على حالة الاتزان له أهمية كبيرة وخاصة في مجالات الصناعة ، فاختيار الظروف المناسبة يساعد على توجيه التفاعل نحو زيادة إنتاجية مادة معينة . لذا قام العالم الفرنسي هنري لوتشاتلييه ***(Henrey-Louis Le Chatelier)*** سنة ١٨٨٤م بدراسة العوامل التي يمكن أن تؤثر على نظام متزن في حالة الاتزان ، وقد توصل إلى مبدأ عام يعرف باسمه وأصبح من المبادئ المهمة في العلوم ، ومنه يمكن التنبؤ بأثر العوامل المختلفة في موضع الاتزان .

وينص مبدأ لوتشاتلييه ***(Le Chatelier's Principle)*** على أنه : " **إذا حدث تغير في أحد العوامل المؤثرة على نظام متزن في حالة الاتزان مثل التركيز أو الضغط أو درجة الحرارة ، فإن النظام سيعدل نفسه إلى حالة اتزان جديدة ، بحيث يقلل تأثير هذا التغير إلى أقصى درجة ممكنة** " .

وعند دراسة تأثير أحد العوامل المؤثرة على حالة الاتزان يفترض تثبيت العوامل الأخرى .

وفيما يلي سندرس أثر كل عامل من العوامل المؤثرة على حالة الاتزان حسب مبدأ لوتشاتلييه .

١- التركيز : *Concentration*

لتوضيح أثر تغير التركيز في حالة الاتزان ، قم بإجراء الاستكشاف الآتي :

تغير التركيز

سؤال علمي : ما أثر تغير التركيز على موضع الاتزان ؟

المواد والأدوات : أنبوبة اختبار – محلول كرومات البوتاسيوم ***(0.1 M)*** أومحلول دايكرومات البوتاسيوم ***(0.1 M)*** الشكل (٧-٦) – محلول ***HCl (1.0M)*** – محلول ***NaOH (0.1 M)*** – قطارة.

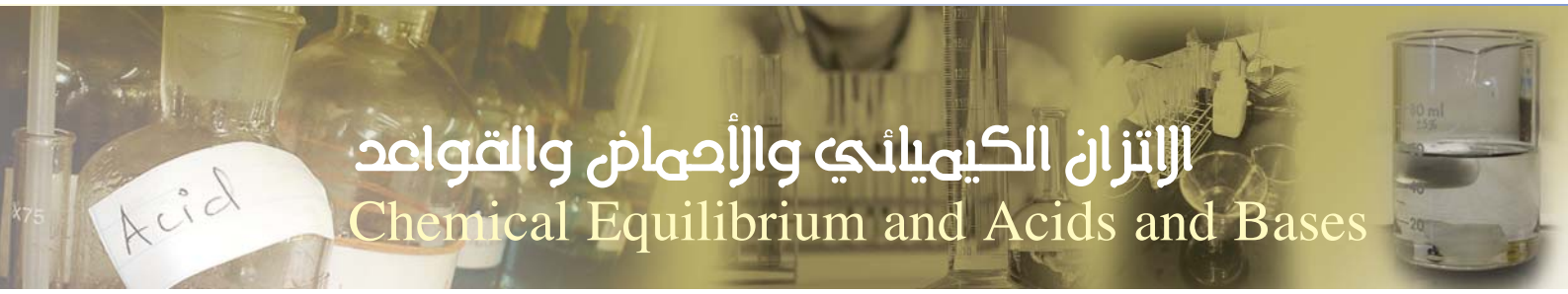
الإجراءات :

١- ضع ***5 mL*** من محلول كرومات البوتاسيوم أومحلول دايكرومات البوتاسيوم في أنبوبة الاختبار .

٢- أضف قطرتين أو ثلاث قطرات من محلول ***HCl*** . سجّل ملاحظاتك.

٣- أضف كمية من محلول ***NaOH*** إلى أن يتغير اللون.

الشكل (٧-٦): محلول الكرومات لونه أصفر ، ومحلول الدايكرومات لونه برتقالي



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

التحليل والتفسير :

١– صف التغير في لون المحلول بعد إضافة كلّ من الحمض والقاعدة .
٢– هل لتغيير تركيز المواد المختلفة أثر على حالة الاتزان ؟ فسّر إجابتك .
٣– اعتمادًا على المعادلة الآتية :

$$2CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

فسّر النتائج التي حصلت عليها .

ولتوضيح أثر تغير التركيز دعنا نناقش التفاعل الآتي :

وهو تفاعل تكوين غاز الفريون (كلوروفلوركربون *CFC*) والذي يمثل بالمعادلة الآتية :

$$CCl_{4(l)} + 2HF_{(g)} \rightleftharpoons CCl_2F_{2(g)} + 2HCl_{(g)}$$

الفريون

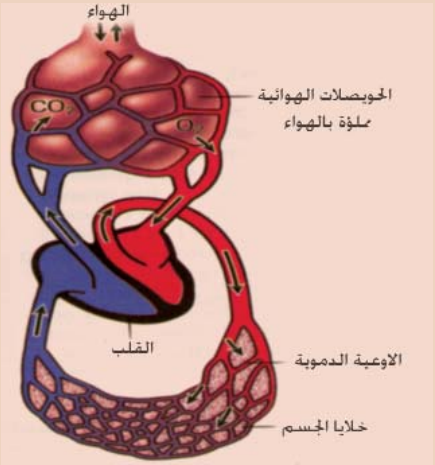
عند إضافة كمية من *HF* إلى وسط التفاعل الموجود في حالة الاتزان فإن هذه الزيادة في تركيز *HF* تحدث خللا في الاتزان، ولذلك فإن التفاعل يندفع في الاتجاه الأمامي حتى يعود إلى حالة اتزان جديدة ، ويزداد نتيجة لذلك تركيز الفريون (CCl_2F_2) وحمض الهيدروكلوريك (HCl).

معلومة تهمك: القلب

من حالات الاتزان المهمة في جسم الإنسان هو تفاعل هيموجلوبين الدم مع الأكسجين الذي يتم حسب المعادلة الآتية :

$$Hb_{(aq)} + O_{2(aq)} \rightleftharpoons HbO_{2(aq)}$$

هيموجلوبين الدم — أكسي الهيموجلوبين



الشكل (٧–٧) : القلب

يتم التفاعل الأمامي عند الشعيرات الدموية الرئوية حيث تكون هناك زيادة في كمية الأكسجين ، وبالتالي فإن موضع الاتزان يزاح نحو تكوين HbO_2 وذلك حسب مبدأ لوتشاتلييه. بينما عند الخلايا يكون هناك نقص في كمية الأكسجين (وذلك لأن الخلية استهلكته في عمليات الاحتراق الحيوي) ، وبالتالي فإن موضع الاتزان يزاح نحو الاتجاه العكسي ، وتقوم الخلية بأخذ ما يكفيها من الأكسجين كما في الشكل (٧–٧) .

ملاحظة : $Hb = C_{2952}H_{4664}N_{832}S_8Fe_4$

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

ومن المهم أن نعلم أن **التغير في التركيز لا يؤثر على قيمة ثابت الاتزان** ، وذلك لأن النسبة بين تراكيز المواد **تظل ثابتة** .

اختبر فهمك (٥) :

تمثل الخطوة الأخيرة في عملية تحضير حمض النتريك في الصناعة بالمعادلة الآتية :

$$3NO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons 2HNO_{3(aq)} + NO_{(g)}$$

وضّح أثر التغيرات التالية على موضع الاتزان :

١- زيادة كمية NO_2 .

٢- تخفيف المحلول .

٣- زيادة كمية NO .

٢- الضغط : *Pressure*

يقتصر تأثير تغير الضغط في حالة الاتزان على التفاعلات التي تحتوي على مواد غازية سواء كانت مواد متفاعلة أم مواد ناتجة ، حيث يتناسب ضغط الغاز مع تركيز جزيئاته عند درجة حرارة معينة ، وهذا يدل على أن ضغط الغاز يعتمد على عدد المولات وليس على نوع جزيئات الغاز.

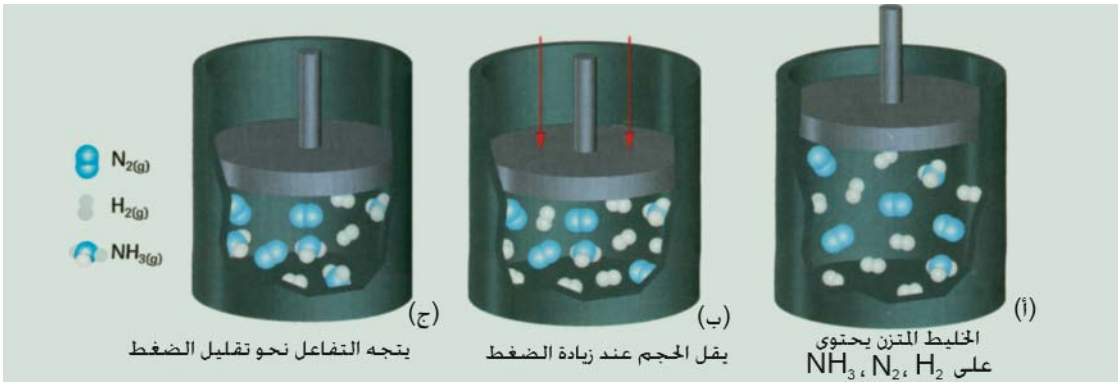
وللتعرّف على مدى تأثير تغير الضغط على حالة الاتزان لتفاعل معين ، فإنه يلزم معرفة ما إذا كان التفاعل مصحوبًا بنقص في الحجم أو زيادة فيه . فعلى سبيل المثال عند تحضير غاز النشادر من عناصره الأولية (النيتروجين والهيدروجين) فإنه يحدث تغيرًا في عدد المولات الكلية بمقدار (2) مول حسب المعادلة الآتية :

$$\underset{1\ mol}{N_{2(g)}} + \underset{3\ mol}{3H_{2(g)}} \rightleftharpoons \underset{2\ mol}{2NH_{3(g)}}$$

$$4\ mol \qquad\qquad 2\ mol$$

إن زيادة الضغط على هذا التفاعل يؤدي إلى نقص الحجم ، وبالتالي فإن التفاعل سوف يسير في الاتجاه الذي يقلل من الضغط ، أي في الاتجاه الذي يقل فيه عدد المولات (الاتجاه الأمامي) ، وهذا يدل على أن موضع الاتزان يزاح نحو تكوين الأمونيا . بينما عند تقليل الضغط يحدث العكس ، ونجد أن التفاعل يسير في الاتجاه الذي يزداد

فيه عدد المولات (الاتجاه العكسي) أي في الاتجاه الذي تتفكك فيه الأمونيا لتعطي مزيداً من النيتروجين والهيدروجين وهذا يدل على أن موضع الاتزان سوف يزاح نحو تكوين النيتروجين والهيدروجين ، وذلك حسب مبدأ لوتشاتلييه . ويوضّح الشكل (٧–٨) أثر تغير الضغط على موضع الاتزان بالنسبة لتفاعل تحضير الأمونيا .



الشكل (٧–٨): تغير الضغط على موضع الاتزان لتفاعل تحضير الأمونيا

ولكن ماذا يحدث للاتزان عند تغير الضغط في التفاعلات الغازية التي يصاحبها زيادة في الحجم مع بقاء درجة الحرارة ثابتة ؟

لمعرفة ذلك ادرس تفاعل تفكك غاز ثالث أكسيد الكبريت ، كما في معادلة الاتزان الآتية :

$$2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

ووضّح كيف يتغير عدد المولات بسبب التفاعل؟ وما أثر ذلك على الضغط الناتج ؟

أما في حالة التفاعلات الغازية التي لا يصاحبها أي تغير في عدد المولات (تغير في الحجم) ، كما في تفاعل تكوين يوديد الهيدروجين حسب المعادلة الآتية :

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

$$1\ mol \quad 1\ mol \quad 2\ mol$$

$$2\ mol$$

نلاحظ من هذا التفاعل أن عدد مولات المواد المتفاعلة (H_2 ، I_2) يساوي عدد مولات المواد الناتجة (HI) ، أي أن هذا التفاعل غير مصحوب بتغير في الحجم . ولذا فإن التغير في الضغط لا يؤثر على كميات المواد المختلفة الموجودة في خليط التفاعل عند الاتزان ، وبالتالي يظل موضع الاتزان ثابتًا بدون تغيير، أي لا أثر للضغط على ذلك.

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

٣- درجة الحرارة : *Temperature*

علمت أن الطاقة في التفاعلات الكيميائية المتزنة قد تظهر إلى جانب المواد الناتجة عندما يكون التفاعل طارداً للحرارة *(Exothermic)* كالآتي :

$$\underset{\text{مواد متفاعلة}}{Reactants} \rightleftharpoons \underset{\text{مواد ناتجة}}{Products} + \underset{\text{طاقة}}{Energy}$$

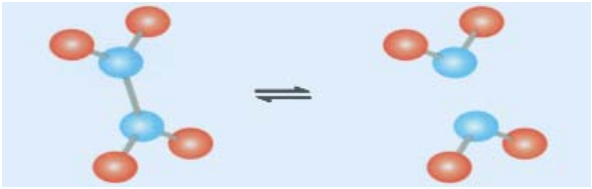
أما في التفاعل الماص للحرارة *(Endothermic)* تظهر الطاقة إلى جانب المواد المتفاعلة كالآتي:

$$\underset{\text{مواد متفاعلة}}{Reactants} + \underset{\text{طاقة}}{Energy} \rightleftharpoons \underset{\text{مواد ناتجة}}{Products}$$

ويمكن التنبؤ بتأثير التغير في درجة الحرارة على تفاعل ما في حالة الاتزان من خلال معرفة ما إذا كان التفاعل يصاحبه انطلاق أو امتصاص حرارة.وعندئذ يكون تأثير التغير في درجة الحرارة على تفاعل متزن بنفس الطريقة الذي يؤثر بها التغير في التركيز . وللتعرّف أكثر على كيفية تأثير التغير في درجة الحرارة على التفاعلات المتزنة ، ادرس التفاعلات الآتية:

أ – تفكك غاز رابع أكسيد النيتروجين (N_2O_4) عديم اللون إلى غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) ذي اللون البني مصحوباً بامتصاص حرارة ، حسب المعادلة الآتية

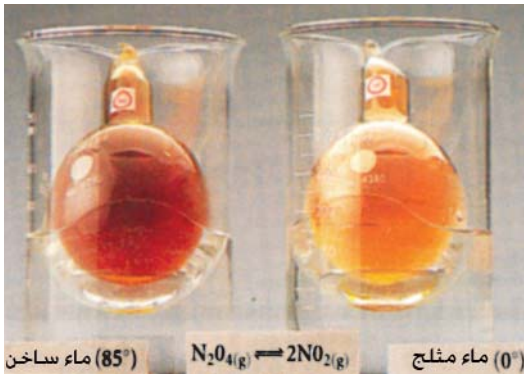
$$\underset{\text{عديم اللون}}{N_2O_{4(g)}} + 57.2\ kJ \rightleftharpoons \underset{\text{بني اللون}}{2NO_{2(g)}}$$



ماذا تتوقع أن يحدث للتفاعل السابق إذا تعرض للتسخين أو التبريد ؟

عند التسخين تزداد طاقة التفاعل وسوف يزاح موضع الاتزان إلى الاتجاه الأمامي أي نحو تكوين المزيد من غاز NO_2 (تزداد شدة اللون البني) كما في الشكل (٧-٩) ، وبالتالي تزداد قيمة ثابت الاتزان .

أما عند التبريد تقل طاقة التفاعل وسوف يزاح موضع الاتزان إلى الاتجاه العكسي أي نحو تكوين N_2O_4 (تقل شدة اللون البني تدريجياً)، وبالتالي تقل قيمة ثابت الاتزان .



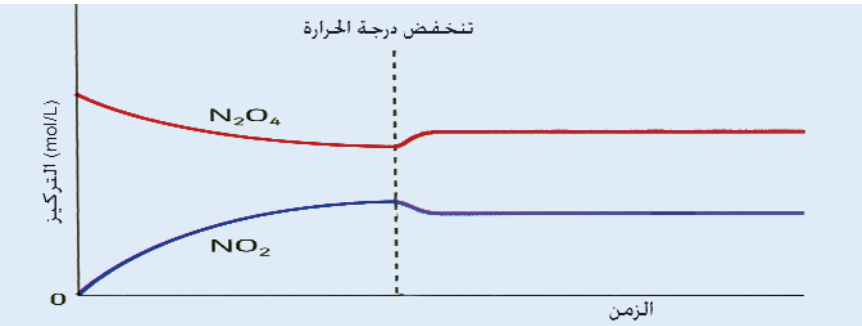
الشكل (٧-٩)

وقد ذكرنا سابقًا أن قيمة ثابت الاتزان تعتمد على درجة الحرارة ، ويوضّح الجدول(٧–١) كيف تتغير قيمة ثابت الاتزان بتغير درجة الحرارة لتفاعل تفكك غاز رابع أكسيد النيتروجين :

قيمة ثابت الاتزان K_c	درجة الحرارة بوحدة الكلفن (K)
1300	273
170	298

الجدول (٧–١) : قيمة ثابت الاتزان بتغير درجة الحرارة

ويبين الشكل (٧–١٠) العلاقة بين أثر درجة الحرارة ، وتغير تركيز المواد للتفاعل السابق بمرور الزمن :

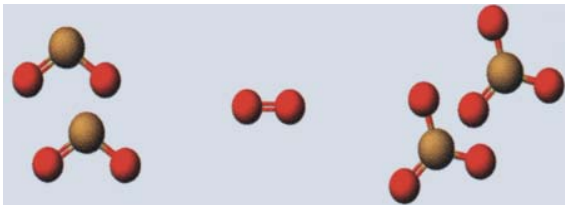


الشكل (٧–١٠) : أثر درجة الحرارة على تغير تركيز المواد بمرور الزمن على حالة الاتزان لتفاعل تفكك N_2O_4

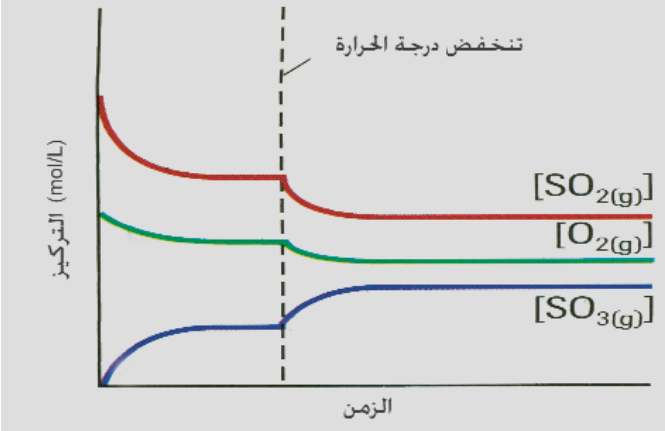
نلاحظ من الشكل إنه بعد مرور فترة من الزمن يصل التفاعل إلى حالة اتزان كما هو مبين علي الخط المتقطع في الشكل ، فإذا خفضنا درجة حرارة الوعاء فإن التفاعل سيندفع في الاتجاه العكسي ، وبذلك فإن موضع الاتزان سيتغير إلى حالة اتزان جديدة ، نتيجة زيادة تركيز المواد المتفاعلة N_2O_4 ، وبالتالي يقل تركيز المواد الناتجة NO_2 ، وفي حالة الاتزان الجديدة هذه فإن موضع الاتزان يحدث عند تراكيز جديدة ، مما يؤدي إلى نقصان قيمة K_c .

ب – تفاعل غاز الأكسجين مع غاز ثاني أكسيد الكبريت لتكوين غاز ثالث أكسيد الكبريت مصحوبًا بانطلاق طاقة ، حسب المعادلة الآ تية.

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)} + 197\ kJ$$



نلاحظ في التفاعل الأمامي أن الحرارة تنطلق عندما يتحد الأكسجين وثاني أكسيد الكبريت ، أما التفاعل في العكسي فإن تفكك ثالث أكسيد الكبريت$(2SO_3)$ يحتاج إلى حرارة ، وعند رفع درجة الحرارة فإن التفاعل سوف يندفع إلى الاتجاه العكسي ، أي أن موضع الاتزان سوف يزاح نحو اتحاد جزيئات المواد المتفاعلة$(O_2$ و $SO_2)$ وتفكك (SO_3) ، أي يميل الاتزان إلى الاتجاه الذي تمتص فيه الحرارة، وهذا يؤدي إلى زيادة تركيز المواد المتفاعلة $(O_2$ و $SO_2)$ وتناقص تركيز المواد الناتجة (SO_3) ، وبالتالي يصل النظام إلي حالة اتزان جديدة تقل فيه قيمة ثابت الاتزان لأن تركيز المواد الناتجة يقل . أما عند تقليل درجة الحرارة يحدث العكس حيث يزاح موضع الاتزان نحو تكوين مزيد من المواد الناتجة(SO_3) أي في الاتجاه الأمامي الذي تنطلق منه الحرارة ، وبالتالي يصل النظام إلى حالة اتزان جديدة تزداد فيه قيمة ثابت الاتزان .



الشكل (٧-١١): أثر درجة الحرارة على تغير تركيز المواد بمرور الزمن على حالة الاتزان لتفاعل تكوين SO_3

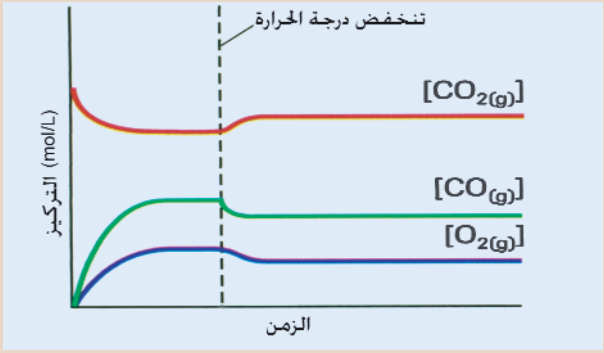
من الشكل نلاحظ إنه بعد مرور فترة من الزمن يصل التفاعل إلى حالة اتزان كما هو مبين على الخط المتقطع في الشكل ، فإذا خفضنا درجة الحرارة فإن التفاعل سيندفع في الاتجاه الأمامي ، وبذلك فإن موضع الاتزان سيتغير إلى حالة اتزان جديدة ، نتيجة نقصان تركيز المواد المتفاعلة $(O_2$ ، $SO_2)$،وبالتالي يزيد تركيز المواد الناتجة (SO_3)، وفي حالة الاتزان الجديدة هذه فإن موضع الاتزان يحدث عند تراكيز جديدة ، مما يؤدي إلى زيادة قيمة K_C .

اختبر فهمك (٦) :

يتفكك غاز ثاني أكسيد الكربون إلى غازي أول أكسيد الكربون والأكسجين ويكون مصحوبًا بامتصاص حرارة ، حسب المعادلة الآتية :

$$2CO_{2(g)} + 566\ kJ \rightleftharpoons 2CO_{(g)} + O_{2(g)}$$

أ- وضح أثر تقليل درجة الحرارة على حالة الاتزان في هذا التفاعل كما هو موضح بالشكل (٧-١٢) .



الشكل (٧-١٢)

ب- وضّح بالرسم فقط أثر زيادة درجة الحرارة على حالة الاتزان للتفاعل السابق.

معلومة تهمك : تآكل الأسنان

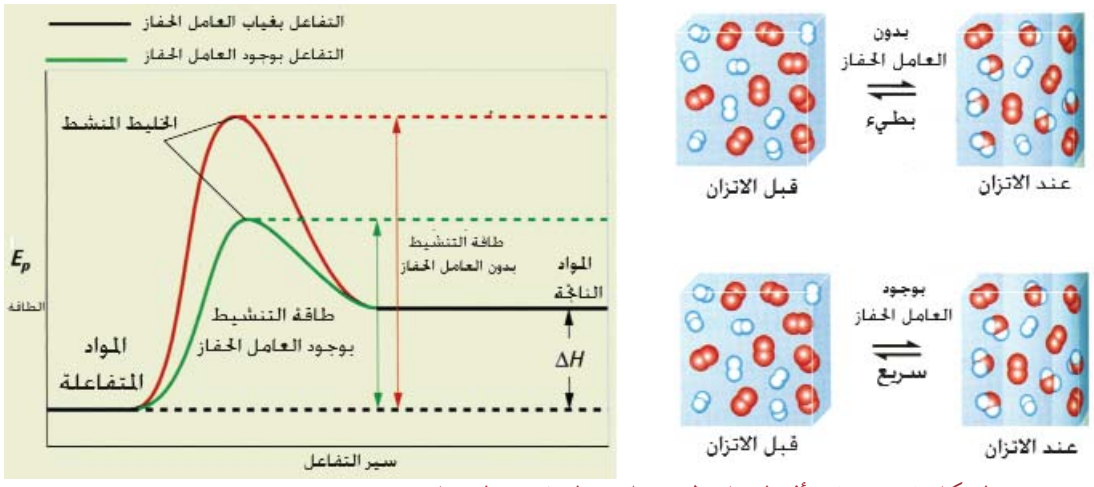
يحتوي مينا الأسنان على مادة شحيحة الذوبان تسمى هيدروكسي اباتيت $Ca_5(PO_4)_3OH$ ، وداخل الفم يحدث الاتزان الآتي :

$$Ca_5(PO_4)_3OH_{(s)} \rightleftharpoons 5Ca^{2+}_{(aq)} + 3PO_4^{3-}{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

عند امتصاص الأسنان للسكر وتخمره فيها ينتج H^+ الذي يؤدي إلى اختلال الاتزان ، وذلك بسبب اتحاده مع كلّ من OH^- لتكوين الماء و PO_4^{3-} لتكوين HPO_4^{2-} ، وبالتالي فإن إزالة كل من OH^- و HPO_4^{2-} يؤدي إلى ذوبان المزيد من هيدروكسي اباتيت ، مما يؤدي إلى تآكل الأسنان ، ولكن إضافة الفلور يساعد منع تآكل الأسنان وذلك باستبدال OH^- في هيدروكسي اباتيت بأيون F^- فينتج مادة $Ca_5(PO_4)_3F$ المقاومة تمامًا لهجوم الأحماض والسكريات .

٤- العامل الحفاز (المساعد) : *Catalyst*

علمت أن العامل الحفاز يقلل من طاقة التنشيط لحدوث التفاعل ، أي يعمل على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي .ولكن ماذا تتوقع أن يحدث عند إضافة العامل الحفاز إلى نظام متزن ؟ للإجابة عن السؤال تمعن في الشكل (٧-١٣) الذي يوضح أثر العامل الحفاز على حالة الاتزان لتفاعل ما .

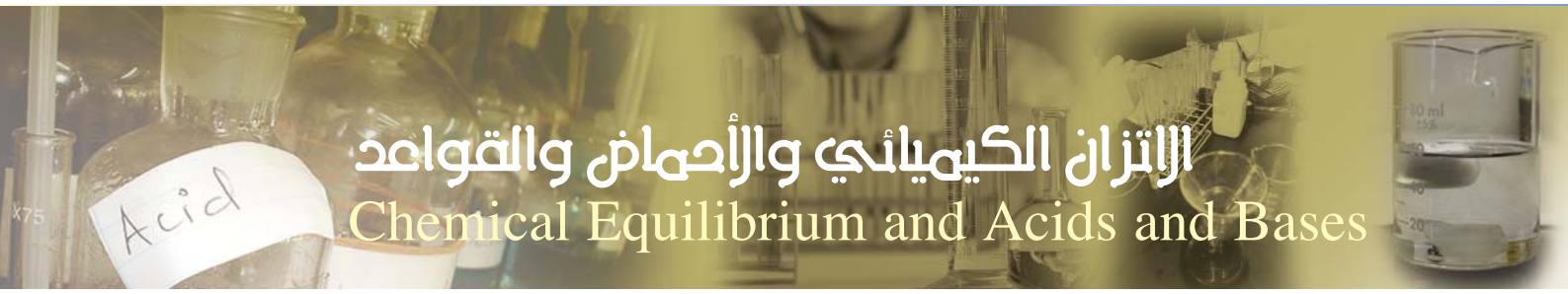


الشكل (٧-١٣) : أثر العامل الحفاز على حالة الاتزان لتفاعل ما

وبشكل عام يمكن تلخيص أثر العوامل المختلفة على موضع الاتزان كما في الجدول (٧-٢) :

العوامل المؤثرة	نوع التغير		التأثير على موضع الاتزان	التأثير على قيمة K_c
التركيز	الزيادة	المواد المتفاعلة	يزاح في الاتجاه الأمامي (اليمين)	تبقى قيمته ثابتة لا تتغير
		المواد الناتجة	يزاح في الاتجاه العكسي (اليسار)	
	النقصان	المواد المتفاعلة	يزاح في الاتجاه العكسي (اليسار)	
		المواد الناتجة	يزاح في الاتجاه الأمامي (اليمين)	
درجة الحرارة	الزيادة	طارد	يزاح في الاتجاه العكسي (اليسار)	تقل قيمته
		ماص	يزاح في الاتجاه الأمامي (اليمين)	تزداد قيمته
	النقصان	طارد	يزاح في الاتجاه الأمامي (اليمين)	تزداد قيمته
		ماص	يزاح في الاتجاه العكسي (اليسار)	تقل قيمته
الضغط	الزيادة		يزاح في اتجاه عدد المولات الغازية الاقل	تبقى قيمته ثابتة لا تتغير
	النقصان		يزاح في اتجاه عدد المولات الغازية الأكثر	
العامل الحفاز	ـــــ		لا يتأثر	تبقى قيمته ثابتة لا تتغير

الجدول (٧-٢) : ملخص أثر العوامل المختلفة على موضع الاتزان



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

اختبر فهمك (٧) :

ينحل كبريتيد الأمونيوم الهيدروجيني NH_4HS الصلب بالحرارة حسب المعادلة الآتية :

$$NH_4HS_{(s)} \rightleftharpoons NH_{3(g)} + H_2S_{(g)}$$

أ- ما التغيرات التي تقترحها في كلّ من درجة الحرارة والضغط لزيادة كمية كبريتيد الهيدروجين ؟

ب- تنبأ بما يحدث لكمية الأمونيا عند استخدام وعاء أقل حجمًا لإجراء التفاعل فيه .

ج- عند الوصول إلى حالة الاتزان ، تم إضافة كمية أخرى من الملح الصلب دون تغيير درجة الحرارة . باعتقادك ما أثر ذلك على تركيز كلّ من الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين ؟

٧-٦ تطبيقات عملية على الاتزان وأهميته في العمليات الكيميائية :
Application of Equilibrium and it's Importance in Chemicals Operation

قد تبين لك من خلال دراستك للعوامل المؤثرة على الاتزان أنها تلعب دورًا مهمًا وخاصة في الجوانب الاقتصادية، نظرًا لأثرها في زيادة وتحسين إنتاج مواد معينة أي يستفاد منها في تطبيقات صناعية عديدة ، كما أن لها أهمية كبيرة في المحافظة على اتزان النظام البيئي وما يترتب على ذلك من آثار مهمة في حياة الكائنات الحية .

١- المحافظة على ثبات نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي :

يمثل النظام المتزن التالي تفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع الماء والحجر الجيري :

$$CO_{2(g)} + CaCO_{3(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2HCO_3^-{}_{(aq)}$$

ويعمل هذا النظام المتزن في المحافظة على ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون عند مستوى معين بحيث يلائم حياة جميع الكائنات الحية . وإذا حدث خلل لهذا النظام بسبب حرق الوقود أو عوادم السيارات أو ما شابه ، فإن ذلك يؤدي إلى حدوث زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، مما يشكل تهديدًا خطيرًا على حياة الكائنات الحية ما لم يتم استهلاكه بالسرعة المطلوبة سواء كان ذلك طبيعيًا من خلال عملية البناء الضوئي التي تقوم به النباتات الخضراء أم التقليل من العوامل التي تعمل على زيادة تركيزه .

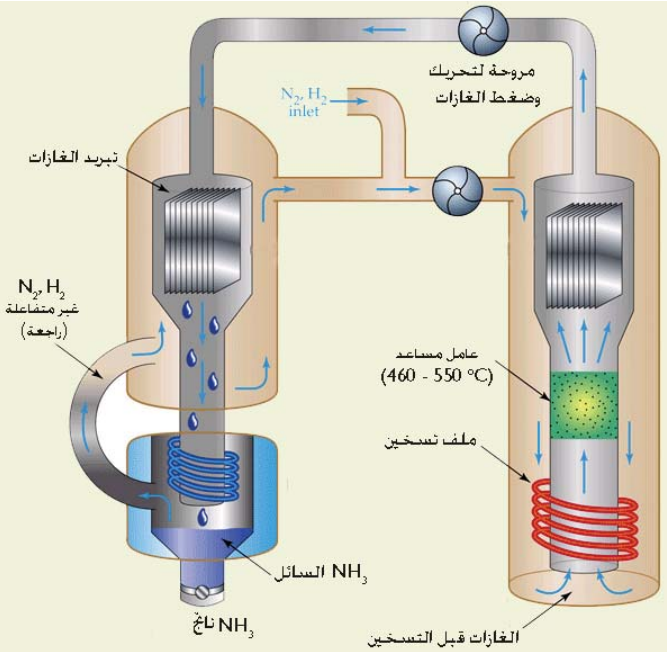
٢- صناعة الأمونيا بطريقة هابر :

تدخل الأمونيا في صناعة العديد من الأسمدة النتروجينية . ويتم تحضيرها في الصناعة حسب المعادلة الآتية :

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + 92\ KJ$$

وفي ضوء دراستك ، ما توقعاتك حول الظروف المناسبة لإنتاج الأمونيا صناعيًا ؟

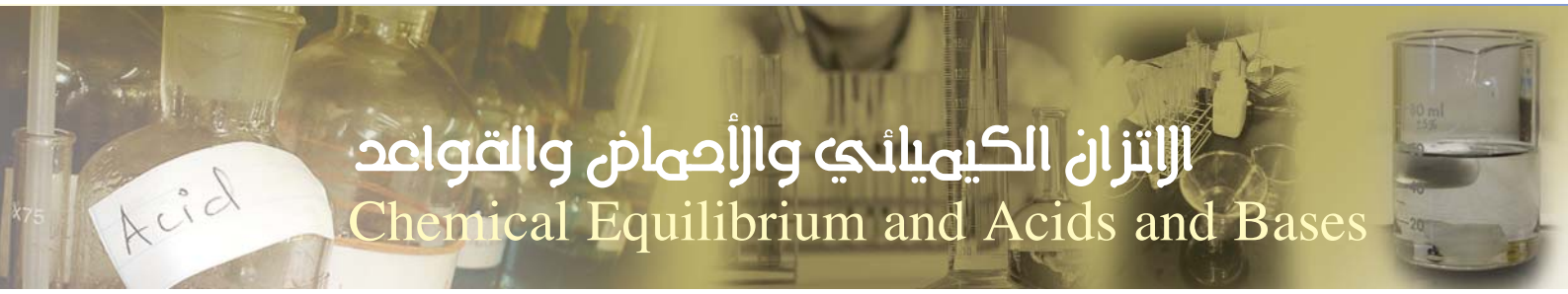
عند النظر إلى المعادلة ستجد أن التفاعل طارد للحرارة ، وأن تقليل درجة الحرارة سوف يؤدي إلى تكوين المزيد من الأمونيا.
ونتيجة لذلك قام العالم هابر بدراسة كيفية صناعة الأمونيا ، وقد وجد عمليًا بعد إجراء العديد من التجارب والاختبارات أن أفضل الظروف المناسبة التي تستخدم في صناعة الأمونيا يتم عند درجة حرارة تتراوح بين ***(460 °C - 550 °C)***، ووجود عامل حفاز مناسب (Fe_2O_3 أو Fe)، واستخدام ضغوط مرتفعة للغازات تتراوح بين***(200 - 300 atm)***. ويوضح الشكل (٧-١٤) طريقة هابر لصناعة الأمونيا :



الشكل (٧-١٤) : طريق هابر لانتاج الأمونيا

وقد استخدم هابر عدة ماد تضاف مع العامل الحفاز والتي تزيد من إنتاج الأ مونيا مثل :$(K_2O + Al_2O_3 \text{ ، } K_2O)$
عند ضغوط تتراوح بين ***200 atm - 400 atm*** .

والجدير بالذكر أنه يمكن انتاج كمية أكبر من الأمونيا عند درجات حرارة أقل ولكن سرعة التفاعل تكون بطيئة جدًا .



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

٣- معالجة التلوث في الهواء الجوي :

تعتبر مشكلة تلوث الهواء الجوي من المشكلات المعاصرة التي تهدد حياة جميع الكائنات الحية وبالنظام البيئي ككل . ويتغير تركيب الهواء النقي بفعل ملوثات الهواء التي تطلقها أدخنة المصانع وعوادم السيارات على شكل غازات مثل : NO ، CO ، SO_2 ، CO_2 وهي غازات ضارة وسامة ينتج عنها إصابة الإنسان بأمراض خطيرة ، كما تؤدي إلى تكوين الأمطار الحمضية.

فعلى سبيل المثال ، ينتج غاز NO في محرك السيارة حسب التفاعل التالي :

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2NO_{(g)}$$

ثم يتحد غاز أكسيد النتروجين مع أكسجين الهواء :

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

ويظهر NO_2 في شكل سحابة بنية اللون عند تعرضه لضوء الشمس، كما في الشكل (٧-١٥) ولغاز NO_2 آثار بيئية ضارة ، ابحث عنها .

الشكل (٧-١٥) : تلوث المدن

إن سلطنة عمان ممثلة بوزارة البيئة والشوؤن المناخية تلعب دوراً كبيراً من أجل الحفاظ على سلامة البيئة ومكافحة تلوث الهواء . في ضوء ذلك ، اكتب تقريراً حول دور وزارة البيئة والشوؤن المناخية في تقليل نسبة هذه الغازات في الهواء الجوي .

أسئلة الفصل

السـؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة لك :

١- أي العوامل التالية تؤثر على قيمة ثابت الاتزان ؟

أ) درجة الحرارة　　ب) التركيز

ج) العامل الحفاز　　د) ضغط الغاز

٢- يوصف الاتزان الدينامي بأنه النظام الذي :

أ) تتحول فيه المواد المتفاعلة إلى المواد الناتجة .

ب) تتحول فيه المواد الناتجة إلى المواد المتفاعلة .

ج) تكون سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي .

د) تكون فيه تراكيز المواد المتفاعلة مساوية لتراكيز المواد الناتجة .

٣- إذا تم تقليل حجم الدورق الذي يتم فيه التفاعل الآتي :

$Cl_{2(g)} + 3F_{2(g)} \rightleftharpoons 2ClF_{3(g)} + heat$ فإن :

أ) التفاعل يندفع في اتجاه تكوين المواد الناتجة .

ب) التفاعل يندفع في اتجاه تكوين المواد المتفاعلة.

ج) لا يتغير موضع الاتزان .

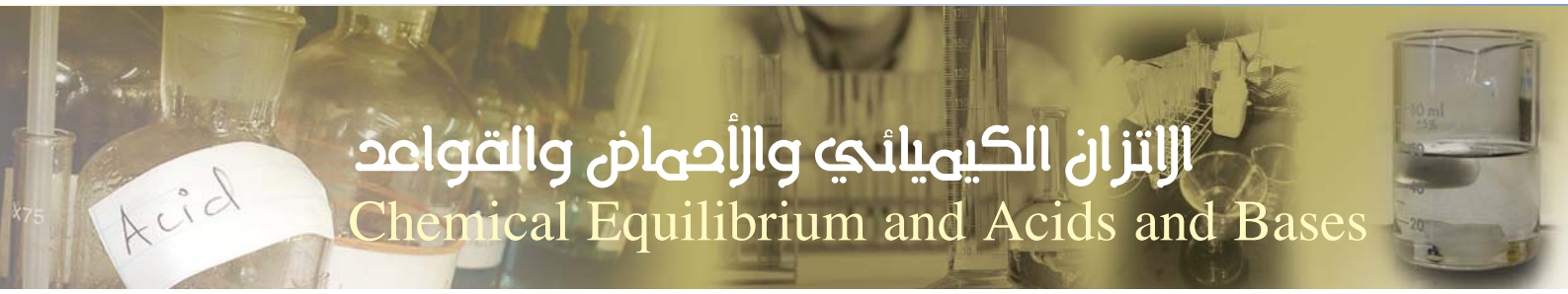
د) يسير التفاعل في البداية جهة اليمين ثم يتحول إلى جهة اليسار .

٤- تمثل إحدى العلاقات الرياضية التالية تعبيراً لثابت الاتزان للتفاعل :

$2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$

أ) $Kc = \frac{[SO_2]\,[O_2]}{[SO_3]}$　　ب) $Kc = \frac{[SO_2]^2\,[O_2]}{[SO_3]^2}$

ج) $Kc = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$　　د) $Kc = [SO_2]\,[O_2]$



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

٥- من قيمة K_c للتفاعل التالي الذي يتم في خلية الوقود عند الظروف القياسية :

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(g)} \quad , \quad K_c = 1 \times 10^{80}$$

يمكن استنتاج أن :

أ) التفاعل لا يوجد في حالة الاتزان .

ب) تركيز بخار الماء > من تركيز غازي الهيدروجين والأكسجين .

ج) تركيز بخار الماء = تركيز غازي الهيدروجين والأكسجين .

د) تركيز غازي الهيدروجين والأكسجين > تركيز بخار الماء .

٦- تفاعل طارد للحرارة وفي حالة اتزان إذا تم رفع درجة حرارته ، فإن التفاعل :

أ) يندفع في الاتجاه الأمامي .

ب) يندفع في الاتجاه العكسي .

ج) يتوقف .

د) لا يتأثر .

٧- أي المواد التي تظهر ضمن علاقة تعبير ثابت الاتزان في التفاعل المتزن :

$$2PbS_{(s)} + 3O_{2(g)} + C_{(s)} \rightleftharpoons 2Pb_{(s)} + CO_{2(g)} + 2SO_{2(g)}$$

أ) SO_2 ، CO_2 ، Pb

ب) C ، O_2 ، PbS

ج) SO_2 ، CO_2 ، O_2

د) O_2

٨- تكون قيمة K_c = كبيرة إذا كان :

أ) لها قيمة أقل من 1 .

ب) تركيز المواد الناتجة > من تركيز المواد المتفاعلة .

ج) تركيز المواد الناتجة < من تركيز المواد المتفاعلة .

د) تركيز المواد المتفاعلة = تركيز المواد الناتجة .

٩- في وعاء حجمه $1.0\ L$ سخّن مزيجًا من الغازات الموجودة في معادلة التفاعل الآتي :

$$2NO_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + O_{2(g)}$$

فإذا علمت أن عدد مولات الغازات الموجودة في الوعاء عند الاتزان هي :

$0.4\ mol$ من $NO_{2(g)}$ ، $0.8\ mol$ من $O_{2(g)}$ ، $0.8\ mol$ من $NO_{2(g)}$ فإن قيمة K_c للتفاعل تساوي :

أ) 0.3125 ب) 0.625 ج) 1.6 د) 3.2

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

١٠– أي التفاعلات التالية يزيد من كمية المواد الناتجة بزيادة الضغط ؟

أ) $CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(l)}$

ب) $PCl_{3(g)} + 3NH_{3(g)} \rightleftharpoons P(NH_2)_{3(g)} + 3HCl_{(g)}$

ج) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$

د) $2H_2O_{2(l)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$

١١– يحدث التفاعل التالي في وعاء مغلق :

$$CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + 3H_{2(g)}$$

حيث يمكن زيادة كمية غاز الهيدروجين بواسطة :

أ) إضافة أول أكسيد الكربون .
ب) إزالة بخار الماء .
ج) تقليل الضغط .
د) زيادة الضغط .

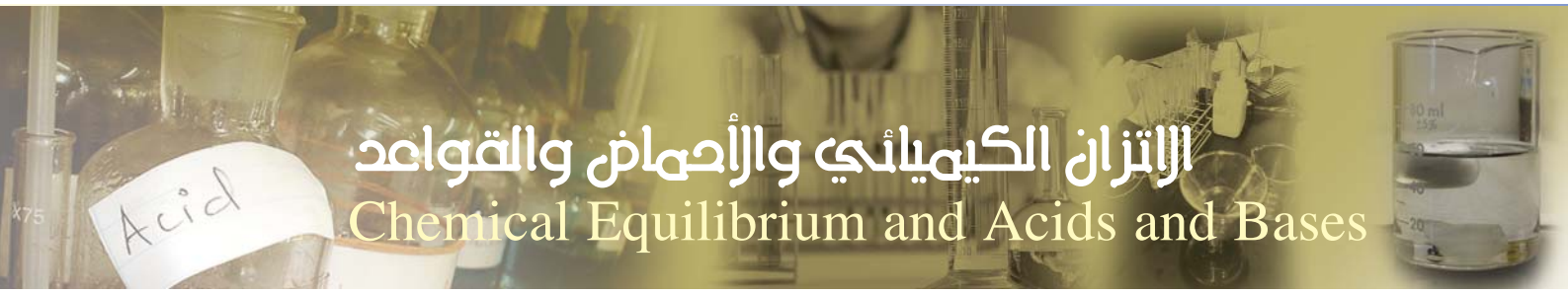
١٢– إذا علمت أن قيمة K_c تساوي 2.5 في تفاعل تحول ايزوبيوتان (*isobutene*) إلى ن–بيوتان (*n-butane*). فإن قيمة K_c لمعكوس التفاعل تساوي :

أ) 0.4
ب) 1.3
ج) 2.5
د) 6.25

١٣– أي التغيرات التي تزيد من إنتاج بخار الماء في التفاعل الآتي :

$$2H_2S_{(g)} + 3O_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(g)} + 2SO_{2(g)}$$

أ) إضافة SO_2
ب) سحب O_2
ج) سحب H_2S
د) سحب SO_2



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

السـؤال الثـاني :

١ – فسّر مايلي:

أ) يصنف التفكك الحراري لنترات النحاس في وعاء مفتوح من التفاعلات التامة.
ب) الاتزان الكيميائي عملية حركية وليست ثابتة .
ج) لا يكتب تركيز الماء النقي أو تركيز المواد الصلبة في معادلات حساب K_c .
د) بالرغم من أن تفاعل إنتاج الأمونيا طارد للحرارة إلا أنه لا يبدأ إذا تعرضت المواد للتسخين .

٢ – من خلال معادلة الاتزان الآتية :

$$C_2H_{2(g)} + H_{2(g)} + energy \rightleftharpoons C_2H_{4(g)}$$

أكمل الجدول أدناه بفرض ثبوت درجة الحرارة والضغط ما لم يذكر عكس ذلك :

المؤثر	المتأثر	أثر التغير
سحب H_2	تركيز C_2H_2	
إضافة C_2H_2	K_c	
رفع درجة الحرارة	تركيز C_2H_4	
نقص الضغط	K_c	
إضافة C_2H_4	تركيز H_2	

السـؤال الثـالث :

١ – يتم الحصول على غاز الهيدروجين من الغاز الطبيعي كما في المعادلة :

$$CH_{4(g)} + 2H_2O_{(g)} + energy \rightleftharpoons CO_{2(g)} + 4H_{2(g)}$$

أ) اكتب علاقة تعبير ثابت الاتزان K_p للتفاعل .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

ب) وضّح كيف يؤثر كل مما يأتي على قيمة K_p :

* زيادة الضغط .
* زيادة درجة الحرارة .
* إضافة العامل الحفاز .

٢- عند درجة حرارة $25\ ^oC$ كانت قيمة K_c للتفاعل التالي تساوي 10^{10} :

$$Sn^{2+}_{(aq)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} \rightleftharpoons Sn^{4+}_{(aq)} + 2Fe^{2+}_{(aq)}$$

فاحسب قيمة K_c للتفاعلات الآتية :

$$1- Sn^{4+}_{(aq)} + 2Fe^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)} + 2Fe^{3+}_{(aq)}$$

$$2- 2Sn^{2+}_{(aq)} + 4Fe^{3+}_{(aq)} \rightleftharpoons 2Sn^{4+}_{(aq)} + 4Fe^{2+}_{(aq)}$$

٣- كثافة كل من الماس $(diamond)$ والجرافيت $(graphite)$ $3.5g/cm^{-3}$ ، $2.3g/cm^{-3}$ على الترتيب . ويمثل تحول الجرافيت إلى الماس بالتفاعل الآتي:

$$C(graphite) \rightleftharpoons C(diamond) \qquad \Delta H = +2\ kJ$$

ما أثر تغير درجة الحرارة في تكوين الألماس من الجرافيت ؟

السـؤال الرابع :

١- وجد أن ثابت الاتزان K_P للتفاعل الآتي :

$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

عند درجة حرارة $400\ ^oK$ يساوي 5.1×10 ، وعند درجة حرارة $600\ ^oK$ يساوي 1.4×10^4 ، أجب عن ما يأتي :

أ) هل هذا التفاعل طارد أو ماص للحرارة ؟ وضّح إجابتك .

ب) احسب K_P لهذا التفاعل عند درجة حرارة $55\ ^oC$، ذا علمت أن الضغط الجزئي لكلّ من N_2O_4 و NO_2 يساوي $0.6\ atm$ عند هذه الدرجة .

٢- يوضح الجدول أدناه نتائج تجربتين للتفاعل التالي عند درجة حرارة $425\ ^oC$:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

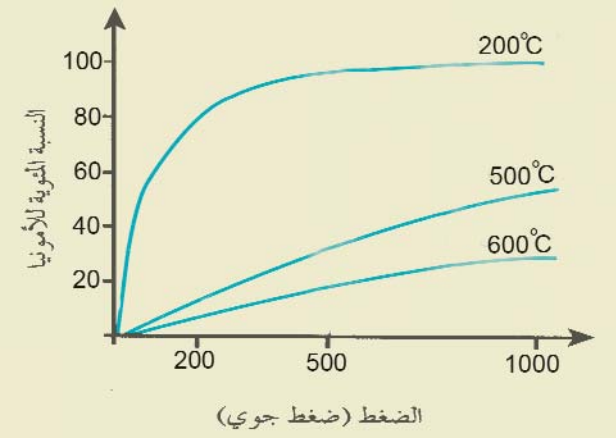
التجربة	التركيز الأبتدائي (M) $[H_2]$ $[I_2]$ $[HI]$	التركيز عند الاتزان (M) $[H_2]$ $[I_2]$ $[HI]$
1	1.000 1.000 0.0	0.212 0.212 1.576
2	0.0 0.0 1.000	0.106 0.106 0.788

أ) احسب ثابت الاتزان لهذا التفاعل عند كل تجربة .
ب) تشير النتائج الموضحة في الجدول إلى حدوث ظاهرة . ما اسم هذه الظاهرة؟

٣- تحضر الأمونيا وفقًا للتفاعل :

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

ويبيّن الشكل المقابل نسبة NH_3 الناتجة عند ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة.



الشكل (٧-١٢)

أ) ماذا يحدث لنسبة الأمونيا الناتجة عند خفض درجة الحرارة من $500\ ^oC$ إلى $200\ ^oC$ تحت ضغط $700\ atm$ ؟
ب) ما المشكلة التي سوف تواجه إنتاج الأمونيا عند خفض درجة الحرارة ؟
ج) ما أثر زيادة الضغط في نسبة إنتاج الأمونيا عند درجة حرارة $600\ ^oC$ ؟

السؤال الخامس :

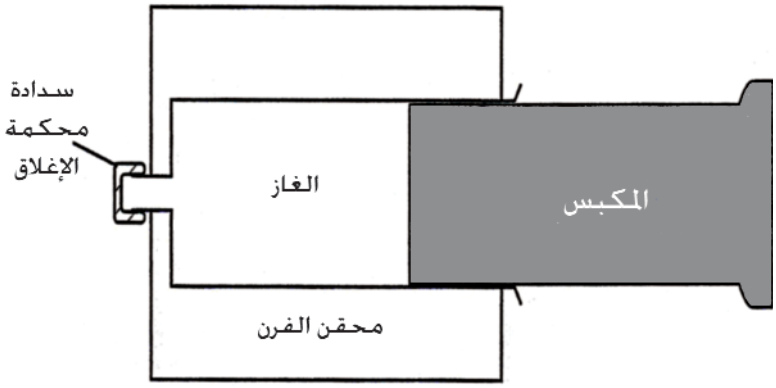
١- عند درجة حرارة $460\ ^oC$ كانت قيمة K_C تساوي 75 للتفاعل الآتي :

$$SO_{2(g)} + NO_{2(g)} \rightleftharpoons NO_{(g)} + SO_{3(g)}$$

احسب تركيز كل من هذه الغازات الأربعة عند الاتزان . علمًا أن تركيز كل من SO_2 ، NO_2 قبل بدء التفاعل يساوي $0.05\ mol/L$.

٢- أدخلت كمية من خامس أكسيد الفسفور في محقن فارغ مثبت به مكبس متحرك،كما موضح في الشكل (٧-١٦). ثم سمح لهذه المادة بالتمدد حتى وصلت إلى حالة الاتزان عند درجة حرارة تسمح لخامس أكسيد الفسفور بالتفكك كما في المعادلة

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$



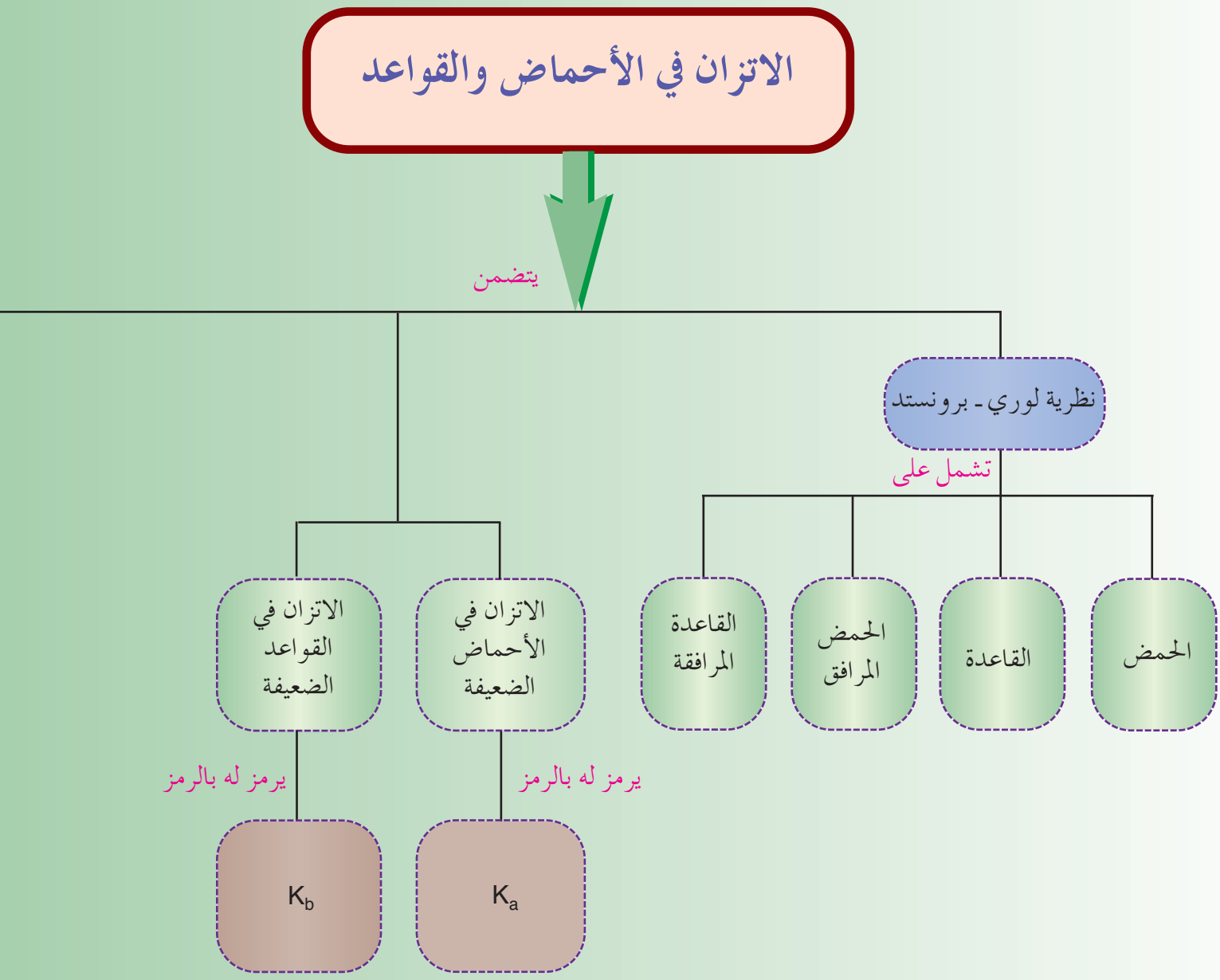
الشكل (٧-١٦)

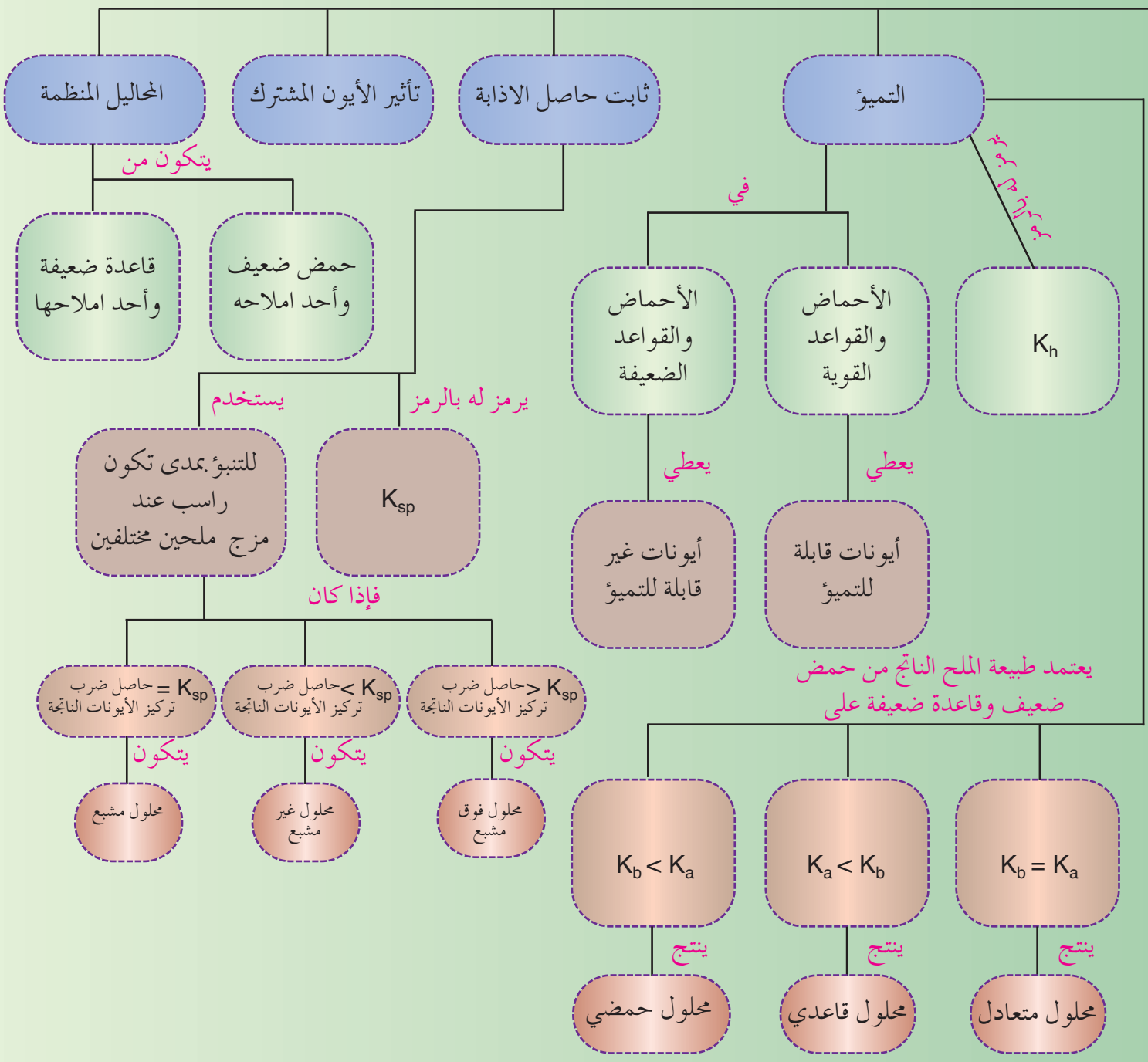
فأي العبارات التالية صحيحة مع تعليل إجابتك ؟

أ) يكون الضغط في المحقن عند الاتزان أكبر من الضغط الجوي .

ب) إنتاج كمية أكبر من PCl_5 عند دفع المكبس في حالة الاتزان .

ج) عند الاتزان يكون حجم غاز PCl_5 داخل المحقن أكبر منه في حالة عدم تفككه.


الاتزان في الأحماض والقواعد
يتضمن
نظرية لوري - برونستد
تشمل على
الحمض
القاعدة
الحمض المرافق
القاعدة المرافقة
الاتزان في الأحماض الضعيفة
الاتزان في القواعد الضعيفة
يرمز له بالرمز
يرمز له بالرمز
K_a
K_b


التميؤ
ثابت حاصل الاذابة
تأثير الأيون المشترك
المحاليل المنظمة
في
الأحماض والقواعد القوية
الأحماض والقواعد الضعيفة
K_h
يعطي
أيونات قابلة للتميؤ
أيونات غير قابلة للتميؤ
يعتمد طبيعة الملح الناتج من حمض ضعيف وقاعدة ضعيفة على
$K_b = K_a$
$K_a < K_b$
$K_b < K_a$
ينتج
محلول متعادل
محلول قاعدي
محلول حمضي
يرمز له بالرمز
K_{sp}
يستخدم
للتنبؤ بمدى تكون راسب عند مزج ملحين مختلفين
فإذا كان
حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة > K_{sp}
حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة < K_{sp}
حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة = K_{sp}
يتكون
محلول فوق مشبع
محلول غير مشبع
محلول مشبع
يتكون من
حمض ضعيف وأحد املاحه
قاعدة ضعيفة وأحد املاحها

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

الفصل الثامن : الاتزان في الأحماض والقواعد : *Acids-Bases Equilibrium*

مقدمة الفصل

تشكل محاليل الأحماض والقواعد محاليل مائية مهمة نستخدمها في حياتنا اليومية سواء كانت في المنزل أم المختبرات . وتتميز المحاليل المائية للأحماض والقواعد ببعض الخواص المهمة كالتوصيل الكهربائي، وتأثيرها على الكواشف ، كما أن التفاعل بين الحمض والقاعدة يؤدي إلى تعادلهما وتكوين الملح .

إن معظم الكائنات الحية حساسة للتغير في درجة الحموضة ، ففي الإنسان تكون قيمة ***pH*** للدم عند ***7.40***، وتتغير هذه القيمة بمقدار *0.20* تقريبًا ويمكن أن تؤدي إلى الوفاة ، كما وجد أن بعض الأسماك مثل سمك السلمون لا يستطيع الحياة في المياه الملوثة بمواد حمضية أو قاعدية .

بعد دراستك لهذا الفصل يتوقع منك الإجابة عن الأسئلة الآتية : هل تتأثر قيمة ***pH*** للدم عندما تتناول أغذية تحتوي على أحماض أو قواعد ؟ ولماذا تكون قيمة ***pH*** للماء النقي تساوي *7.00* ؟ ولماذا تكون المحاليل ذات نفس التركيز من حمض الهيدروكلوريك وحمض الاستيك لهما قيم *pH* مختلفة ؟

الموضوعات الرئيسة :

٨–١ : نظرية برونستد–لوري للأحماض والقواعد .
٨–٢ : التأين الذاتي للماء .
٨–٣ : الاتزان في محاليل الأحماض الضعيفة .
٨–٤ : الاتزان في محاليل القواعد الضعيفة .
٨–٥ : التميؤ .
٨–٦ : ثابت حاصل الإذابة .
٨–٧ : تأثير الأيون المشترك .
٨–٨ : المحاليل المنظمة .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

مصطلحات علمية جديدة :

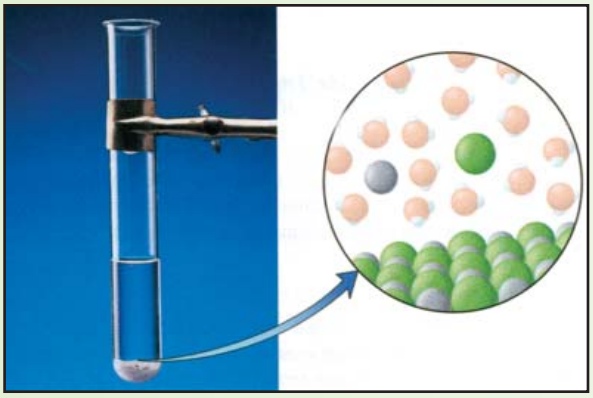
١- الحمض المرافق ..... 1- *Conjugate Acid*

٢- القاعدة المرافقة ..... 2- *Conjugate Base*

٣- ثابت حاصل الإذابة ..... 3- *Solubility Product*

٤- الأيون المشترك ..... 4- *Common Ion*

٥- المحاليل المنظمة ..... 5- *Buffers*



عناوين الاستكشافات :

الاستكشاف (١):دراسة سلوك محاليل الأملاح .

الاستكشاف (٢): دراسة أثر الأيون المشترك .

الاستكشاف (٣): طبيعة المحاليل المنظمة .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

٨-١ نظرية برونستد-لوري للأحماض والقواعد :
Bronsted-Lowery Theory of Acids & Bases

مر مفهوم الحمض والقاعدة بمراحل عدة ، فقد درست في الصف الحادي عشر نظرية ارهينوس للأحماض والقواعد ، فما المقصود بكلّ من الحمض والقاعدة حسب هذه النظرية ؟ واذكر أمثلة على ذلك .

لقد أدت الاعتراضات على تعريفات ارهينوس للأحماض والقواعد والتي تتمثل باعتبار الماء هو الوسط المذيب الوحيد الذي يميز بين الحمض والقاعدة ، إلى البحث عن تعريفات أكثر شمولاً ، لذلك اقترح كل من العالمين الكيميائيين الدنماركي برونستد والبريطاني لوري عام ١٩٢٣م إلى تعريف جديد للحمض والقاعدة أكثر شمولاً ويتضمن عددًا أكبر من المواد وتفاعلاتها الكيميائية .

وطبقًا لمفهوم برونستد- لوري فإن :

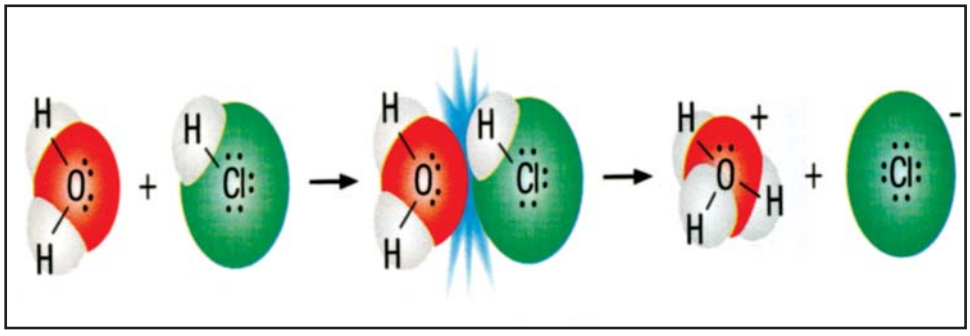
الحمض : هو المادة التي تعطي بروتونًا أو أكثر لمادة أخرى .

القاعدة : هي المادة التي تستقبل بروتونًا أو أكثر من مادة أخرى .

فمثلاً يسلك كلوريد الهيدروجين عند تفاعله مع الماء سلوكًا حمضيًا حسب تعريف برونستد-لوري وذلك لأنه يمنح بروتونًا H^+ للماء ، أما جزيء الماء فهو يعتبر قاعدة لأنه يستقبل البروتون كما هو موضح بالشكل (٨-١) :

$$H_2O_{(l)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

قاعدة — حمض — أيون الهيدرونيوم — أيون الكلوريد



الشكل (٨-١): تفاعل الماء مع كلوريد الهيدروجين

أما في حالة تفاعل الأمونيا مع الماء كما في المعادلة الآتية :

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

قاعدة — حمض — أيون الأمونيوم — أيون الهيدروكسيد

نلاحظ أن جزيء الأمونيا استقبل بروتونًا من الماء مكونًا أيون NH_4^+ ، ولذلك تعتبر الأمونيا قاعدة ، بينما يعتبر الماء حمضًا لأنه منح بروتونًا للأمونيا حسب تعريف برونستد–لوري .

إذا نظرت إلى المعادلتين السابقتين ستجد أن الماء في المعادلة الأولى يسلك سلوك القاعدة عند تفاعله مع الأحماض، بينما في المعادلة الثانية يسلك سلوك الحمض عند تفاعله مع القواعد .

اختبر فهمك (١) :

١– هل تمثل قواعد ارهينوس مثل $NaOH$ قواعد أيضا حسب تعريف برونستد–لوري ؟ فسّر إجابتك.

٢– في معادلات التفاعلات التالية ، حدد كلاً من الحمض والقاعدة حسب تعريف برونستد–لوري مبينًا سلوك الماء في كل منها :

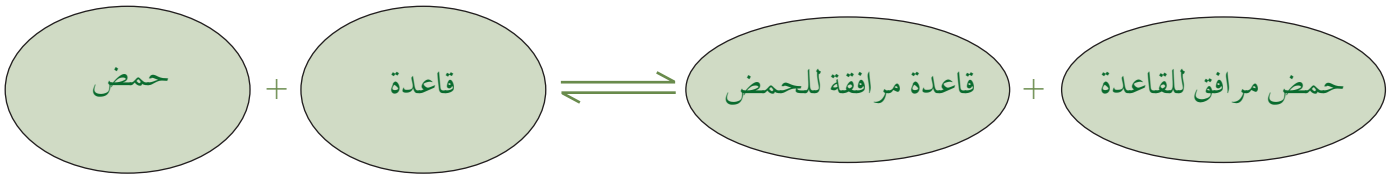
$$1\text{- } HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

$$2\text{- } HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HCOO^-_{(aq)}$$

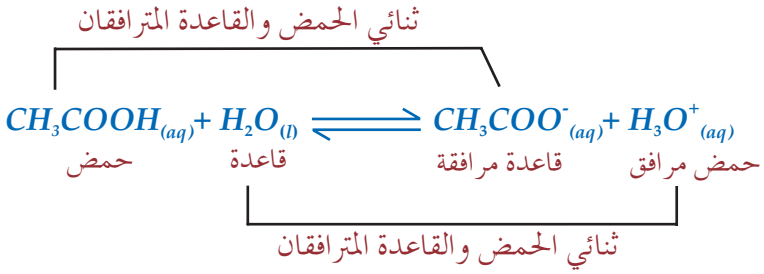
$$3\text{- } F^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HF_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

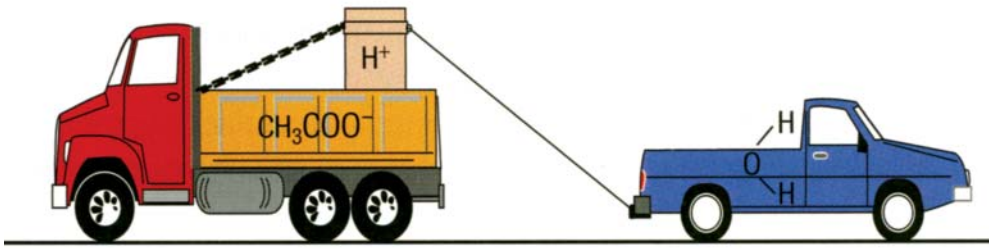
$$4\text{- } H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

يتضح من أمثلة التفاعلات السابقة أن تعريف برونستد–لوري للأحماض والقواعد امتد إلى مفهوم جديد وهو مفهوم زوج الحمض والقاعدة المرافق ، حيث إن تبادل البروتون H^+ يحول الحمض إلى قاعدة جديدة كما يحول القاعدة إلى حمض جديد ، ونتيجة لذلك اتفق على تسمية الحمض بعد فقده للبروتون قاعدة مرافقة ***Conjugate base*** ، وتسمية القاعدة بعد فقدها للبروتون حمض مرافق ***Conjugate acid*** ، كما يلي :



وكمثال على ذلك تأين حمض الخليك في ، الماء كما موضح في المعادلة التالية والشكل (٨–٢) :





الشكل (٨–٢) : مفهوم زوج الحمض المرافق

ويوضح الجدول (٨–١) مفهوم ثنائي زوج الحمض والقاعدة المترافقين لعدد من التفاعلات الكيميائية:

أحماض	قواعد	أحماض مرافقة	قواعد مرافقة
$HCO_3^-{}_{(aq)}$	$S^{2-}{}_{(aq)}$	$HS^-{}_{(aq)}$	$CO_3^{2-}{}_{(aq)}$
$H_2O_{(l)}$	$H_2O_{(l)}$	$H_3O^+{}_{(aq)}$	$OH^-{}_{(aq)}$
$NH_4^+{}_{(aq)}$	$H_2O_{(l)}$	$NH_3{}_{(aq)}$	$H_3O^+{}_{(aq)}$

الجدول (٨–١) : مفهوم زوج ثنائي الحمض والقاعدة المترافقين

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

اختبر فهمك (٢) :

١- في التفاعلين التاليين حدد كلاً من الزوجين المرافقين من الحمض والقاعدة :

$$1-\ CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons OH^-{}_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

$$2-\ Al(H_2O)_6^{3+}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + Al(H_2O)_5(OH)^{2+}{}_{(aq)}$$

٢- أ) ما الحمض المرافق للقاعدة HPO_4^{2-} ب) ما القاعدة المرافقة للحمض H_2S

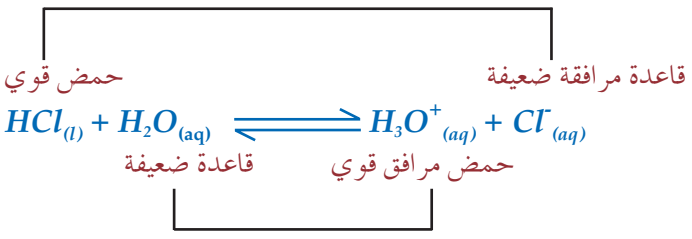
القوى النسبية للأحماض والقواعد :

يعتبر تفاعل الحمض مع القاعدة تفاعل منافسة بينهما على البروتونات ، وتقاس قوة كل من الحمض والقاعدة حسب تعريف برونستد–لوري بمقدار الميل إلى فقد أو كسب البروتون كالآتي :

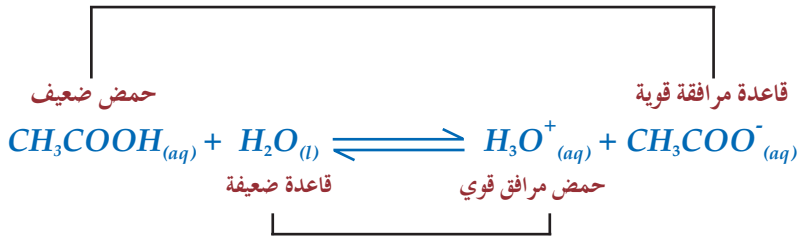
حمض $\xrightarrow{\text{فقد}}$ H^+ $\xrightarrow{\text{كسب}}$ قاعدة

ولكن كيف يمكنك معرفة العلاقة بين قوة الحمض وقاعدته المرافقة وكذلك قوة القاعدة وحمضها المرافق ؟

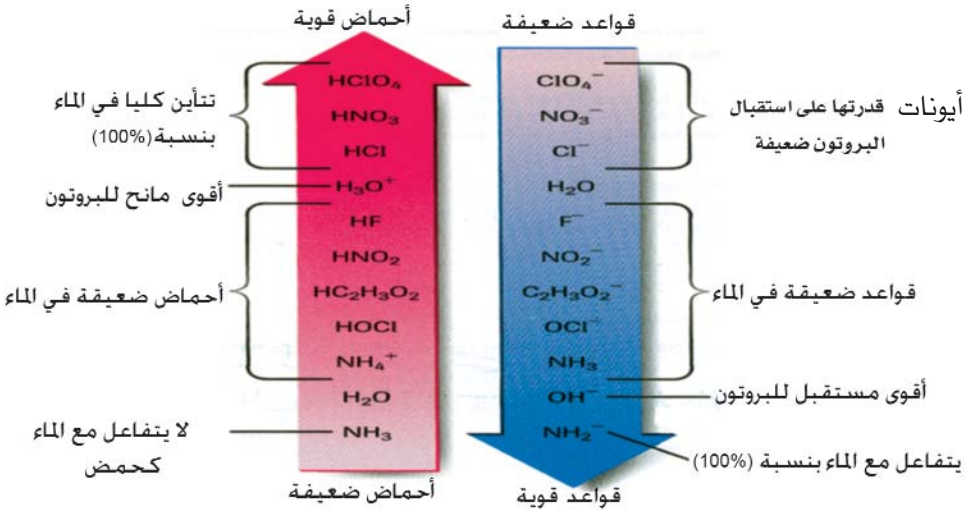
قد عرفت سابقًا أن كل من الحمض والقاعدة تصنف على اساس التأين والتفكك ، وبالتالي هنالك علاقة محددة بين قوة الحمض وقوة القاعدة ، فعندما يتأين الحمض بشكل تام (يفقد البروتون بسهولة)، فهذا يعني أن قاعدته المرافقة ضعيفة لا تستطيع كسب البروتون كما في المثال الآتي :



أما عندما يتأين الحمض بشكل جزئي (يفقد البروتون بصعوبة) فهذا يدل على أن قاعدته المرافقة قوية تستطيع كسب البروتون كما في المثال الآتي :



ويبين الشكل (٨–٣) القوى النسبية لبعض أزواج الأحماض والقواعد المرافقة لها :



الشكل (٨–٣) : القوى النسبية للأحماض والقواعد

وبشكل عام يمكن القول أن :

الحمض القوي ينتج قاعدة مرافقة ضعيفة والحمض الضعيف ينتج قاعدة مرافقة قوية، أما القاعدة القوية فحمضها المرافق ضعيف والقاعدة الضعيفة حمضها المرافق قوي .

والجدير بالذكر أن أدق الطرق للمقارنة بين القوى النسبية للأحماض والقواعد هو ثابت التأين الذي سوف تدرسه لاحقًا.

اختبر فهمك (٣) :

مستعينًا بالشكل(٨–٣) الذي يبيّن الترتيب النسبي لقوة الأحماض والقواعد التالية ، أجب عما يلي :

$HOCl$ ، HNO_2 ، HF

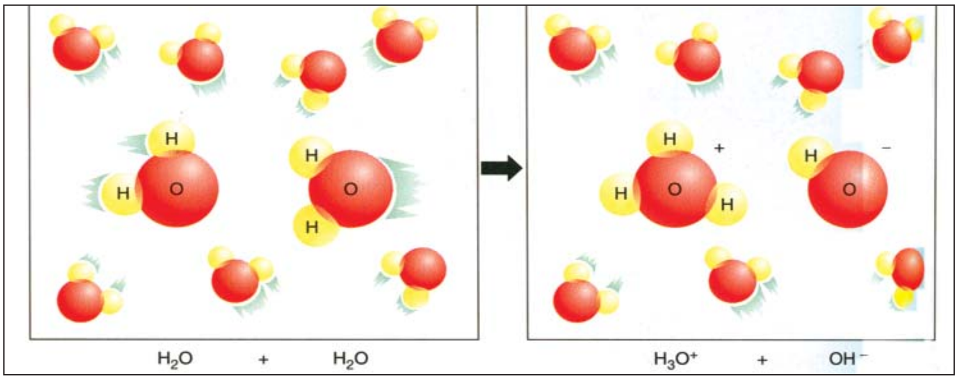
١– اكتب معادلات تفاعلات لكلّ من الأحماض السابقة مع الماء محددًا الأزواج المرافقة .

٢– رتّب القاعدة المرافقة لكلّ من الأحماض السابقة حسب قدرتها على استقبال البروتون في الماء .

٨–٢ التأين الذاتي للماء : The Autoionization of Water

علمت سابقًا أن الماء النقي يوصل التيار الكهربائي بصورة ضعيفة جدًا وذلك لأن تأينه قليل جدًا ، لذا فإن تركيز جزيئات الماء في الماء تكون أكبر بكثير من تركيز أيونات الماء ، ونتيجة لذلك توصل العلماء إلى أن الماء يتأين كما في الشكل (٨–٤) والمعادلة الآتية :

$$H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$



الشكل (٨–٤) : التأين الذاتي للماء

وفي ضوء ذلك تكتب معادلة تفاعل تأين الماء للتبسيط كالآتي :

$$H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

ويمكن كتابة معادلة ثابت الاتزان للماء والذي يرمز له بالرمز K_w كما يلي :

$$K_w = [H^+]\,[OH^-]$$

وذلك لأن تركيز جزيئات الماء سواء في حالته النقية أم حالة المحاليل المخففة ثابتًا .
وثابت التأين الذاتي للماء يساوي :

$$K_w = [H^+]\,[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ at } 25\,^{\circ}C$$

ويعتبر الحاصل الأيوني للماء $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ قيمة قياسية بالنسبة للماء النقي ، حيث إن قيمة K_w تتغير بتغير درجة حرارته.

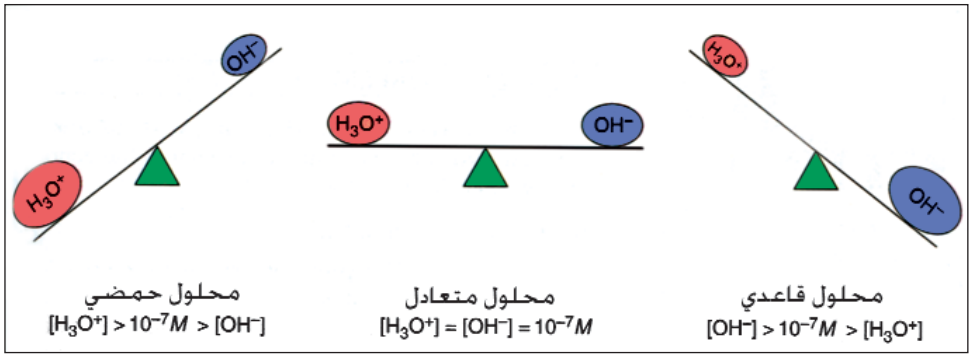
ويوضح الجدول (٨–٢) قيم K_w للماء النقي عند درجات حرارة مختلفة :

درجة الحرارة (^oC)	قيمة K_w
صفر	1.5×10^{-15}
10	3.0×10^{-15}
20	6.8×10^{-15}
25	1.0×10^{-14}
30	1.5×10^{-14}
40	3.0×10^{-14}
50	5.5×10^{-14}
60	9.5×10^{-14}

الجدول(٨–٢): قيم K_w للماء النقي عند درجات حرارة مختلفة

ولكن قد تسأل كيف يتغير تركيز كل من أيونات H^+ وأيونات OH^- عند إذابة حمض أو قاعدة في الماء ؟

في واقع الأمر أن حالة الاتزان ستظل ثابتة بين أيونات H^+ وأيونات OH^- من جهة وجزيئات الماء H_2O من جهة أخرى في المحاليل المائية سواء كانت متعادلة أم حمضية أم قاعدية ، فعند إضافة الحمض إلى الماء سوف يزيد تركيز أيونات $[H^+]$ ولأن قيمة K_w ثابتة فإن تركيز أيونات $[OH^-]$ ستنخفض حسب مبدأ لوتشاتيليه لأن التفاعل سوف يسير عكسيًا ، ويحدث المثل عند إضافة القاعدة إلى الماء كما موضح في الشكل (٨–٥):



الشكل (٨–٥) : حالة الاتزان بين أيونات H^+ وأيونات OH^-

وفي المحاليل المائية فإن :

$$[H^+]\,[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

أي أن :

$$pH + pOH = 14.00 \quad \text{عند درجة حرارة } 25\ ^oC$$

اختبر فهمك (٤) :

١- ما قيمة pOH لمحلول يكون فيه تركيز أيونات OH^- تساوي $3.0 \times 10^{-6}\ M$ ؟

٢- احسب كتلة هيدروكسيد الصوديوم الموجودة في محلول حجمه $2.0\ L$ ، إذا علمت أن قيمة pH لهذا المحلول تساوي 10.35 عند الظروف القياسية ؟

٨-٣ الاتزان في محاليل الأحماض الضعيفة : Equilibrium of Weak Acids

عرفت من خلال دراستك السابقة أن المواد الالكتروليتية القوية تتأين تأينًا تامًا عند ذوبانها في الماء ، ومن ضمنها الأحماض والقواعد القوية مثل حمض النتريك HNO_3 وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH .

ولنفرض إننا نرمز للحمض القوي بالرمز HA والذي يتأين في الماء كالآتي :

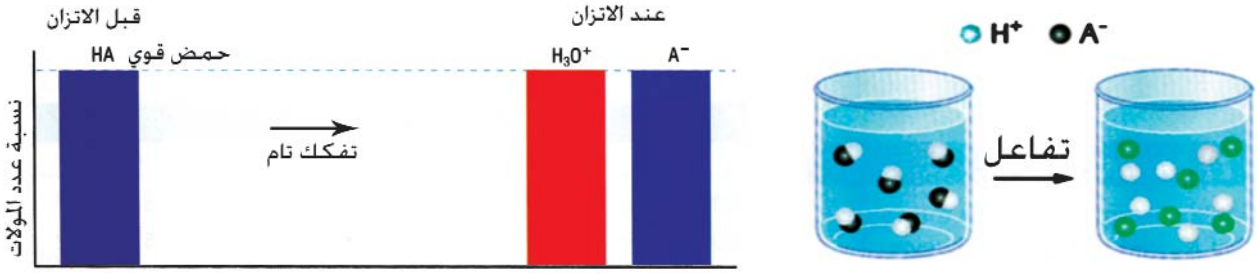
الشكل (٨-٦) : مدى التأين للحمض القوي

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

وتكتب للتبسيط :

$$HA_{(aq)} \longrightarrow H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

من المعادلة السابقة نجد أن مولا واحدًا من الحمض HA يعطي مولا واحدًا من كل من أيونات H_3O^+ (H^+) وأيونات A^- ، ويتم هذا طبعًا في حالة محلول الحمض القوي أحادي البروتون ، لذل يمكن اعتبار تركيز أيونات H_3O^+ (H^+) مساويًا لتركيز الحمض قبل التأين كما في الشكل (٨–٧) .



الشكل (٨–٧) : تركيز أيونات H_3O^+ تساوي تركيز الحمض القوي الذي يتأين أكثر من 99% في المحلول المائي HA

مثال (١) : احسب $[H_3O^+]$ و $[OH^-]$ في محلول حمض البيركلوريك تركيزه $0.001\ M$.

الحل : حمض البيركلوريك $HClO_4$ حمض قوي يتأين في الماء حسب المعادلة .

	$HClO_{4(aq)} \longrightarrow H^+_{(aq)} + ClO^-_{4\,(aq)}$		
عدد المولات	1 mol	1 mol	1 mol
التركيز قبل التأين	0.001	0.00	0.00
التركيز بعد التأين	0.00	0.001	0.001

$$[H_3O^+]=[H^+]= 0.001M$$

وبما أن :

$$[H^+]\ [OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

إذا :

$$[OH^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14} M^2}{0.001\ M} = 10^{-11} M$$

اختبر فهمك (٥) :

١- احسب تركيز أيونات OH^- في محلول حمض HBr تركيزه $0.25\ M$ وهو من الأحماض القوية ؟
٢- احسب قيمة pH في محلول حجمه $500\ mL$ مذاب فيه $2.6\ g$ من هيدروكسيد الباريوم وهي قاعدة قوية؟

هنالك كثير من الأحماض الضعيفة التي سبق وتعرفت عليها والتي تعتبر من أمثلة المواد الالكتروليتية الضعيفة التي تتأين تأينًا جزئيًا عند ذوبانها في الماء مثل حمض الفورميك $HCOOH$ ، وحمض الهيدروفلوريك HF . وإذا فرضنا أن الحمض الضعيف يعطى أيضًا بالرمز HA إنه سوف يتأين في الماء حسب المعادلة :

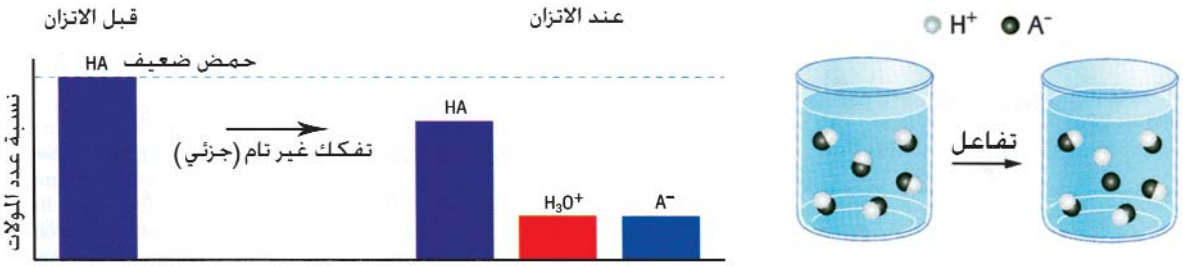
الشكل (٨-٨) : مدى التأين للحمض الضعيف

$$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

وتكتب للتبسيط :

$$HA_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$$

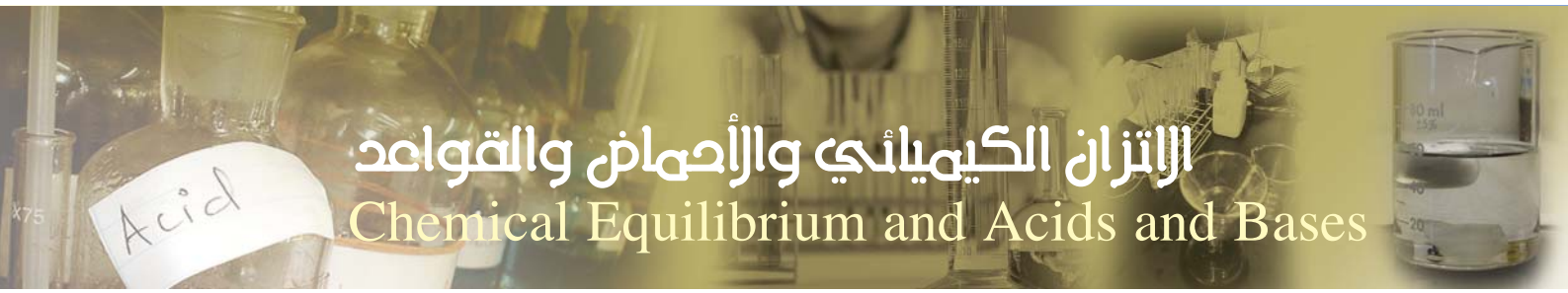
أي أن في محلول الحمض الضعيف تكون هناك حالة اتزان بين الأيونات (H^+, A^-) الناتجة من تأين الحمض وبين جزيئاته غير المتأينة (HA) ، كما في الشكل (٨-٩):



الشكل (٨-٩) : تركيز أيونات H_3O^+ أقل من تركيز الحمض الضعيف HA

عند الاتزان يمكن التعبير عن ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف الذي يرمز له بالرمز K_a بالعلاقة :

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$



ونظرًا لأن درجة تأين الماء قليلة جدًا بحيث إن تركيز أيونات H^+ الناتجة منه أقل بكثير من تركيز أيونات H^+ الناتجة من تأين الحمض الضعيف ، لذا يمكن اعتبار أن المصدر الوحيد لكل من أيونات H^+ وأيونات A^- في المحلول هو الحمض الضعيف ، وعلى هذا الأساس فإن كل أيون A^- يقابله أيون H^+ وبالتالي يكون تركيز أيونات A^- مساوية تقريبًا لتركيز أيونات H^+ .

ويوضح الجدول (٨–٣) قيم ثوابت التأين K_a لعدد من الأحماض الضعيفة في المحاليل المائية عند درجة حرارة $25\ ^oC$:

اسم الحمض	الصيغة	K_a
أيون كبريتات الهيدروجين	HSO_4^-	1.2×10^{-2}
حمض الهيدروفلوريك	HF	6.8×10^{-4}
حمض الفورميك	HCO_2H	1.8×10^{-4}
حمض البنزويك	$HC_7H_6O_2$	6.5×10^{-5}
حمض الاستيك	$HC_2H_3O_2$	1.8×10^{-5}
حمض الكربونيك	H_2CO_3	4.5×10^{-7}
حمض الهيبوكلورز	$HClO$	3.0×10^{-8}
أيون كربونات الهيدروجين	HCO_3^-	5.6×10^{-11}
حمض السيانيك	HCN	6.2×10^{-10}
فينول	HOC_6H_5	1.6×10^{-10}

الجدول (٨–٣) : قيم ثوابت التأين K_a

نلاحظ من الجدول أن قيمة K_a تعد مقياسًا لقوة الحمض ، حيث إن قوة الأحماض ودرجة تأينها تعتمد على قيمة K_a .

ملاحظة : في الحسابات يهمل النقص في تركيز الحمض الضعيف والقاعدة الضعيفة عند تأينهما في محاليلهما إذا كان هذا النقص أقل أو يساوي $5\ \%$.

مثال (٢) : احسب ثابت التأين K_a لحمض الفورميك تركيزه $0.2\ M$ ، إذا علمت أن الرقم الهيدروجيني pH له يساوي 2.38 .

الحل : معادلة تأين الحمض :

$$HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(aq)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

أو يمكن كتابتها :

$$HCOOH_{(aq)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H^+_{(aq)}$$

يحسب تركيز أيون $[H^+]$ باستخدام العلاقة :

$$pH = - Log[H^+]$$
$$[H^+] = 10^{-pH}$$
$$= 10^{-2.38}$$
$$[H^+] = 4.2 \times 10^{-3}\ M$$

وبالرجوع إلى معادلة التأين للحمض نستنتج أن :

$$[H^+] = [HCOO^-] = 4.2 \times 10^{-3}\ M$$

وعند الاتزان يكون :

$$[HCOOH] = 0.2 - 4.2 \times 10^{-3} \cong 0.2$$

ولاثبات أن هذه القيمة مقبولة كما وردت في الملاحظة السابقة ($5\% \geq$) فإن : $\frac{2.5 \times 10^{-5}}{1.0} \times 100\ \% = 2.5 \times 10^{-13}\%$

ومن العلاقة الرياضية لحساب ثابت التأين :

$$K_a = \frac{[HCOO^-]\,[H^+]}{[HCOOH]}$$

وبالتعويض نجد أن :

$$K_a = \frac{(4.2\times 10^{-3})(4.2\times 10^{-3})}{0.2}$$

إذًا :

$$K_a = 8.82 \times 10^{-5}$$

مثال (٣) : احسب تركيز أيون $[H^+]$ لمحلول حمض الهيدروسيانيك إذا كان تركيز الحمض $1.0\ M$ وثابت تأينه $K_a = 6.2 \times 10^{-10}$ عند درجة حرارة $25\ ^oC$.

الحل : معادلة التأين :

$$HCN_{(aq)} + H_2O_{(aq)} \rightleftharpoons CN^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

أو يمكن كتابتها :

$$HCN_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

وللتوضيح نستخدم الجدول الآتي :

	$HCN_{(aq)} \rightleftharpoons$	$H^+_{(aq)} +$	$CN^-_{(aq)}$
عدد المولات	1 mol	1 mol	1 mol
التركيز قبل التأين	1.0 M	0.00	0.00
التركيز عند الاتزان	1- x	x	x

وبما أن :

$$K_a = \frac{[H^+][CN^-]}{[HCN]}$$

نجد :

$$6.2 \times 10^{-10} = \frac{x^2}{1-x}$$

وبما أن مقدار ما يتأين من الحمض قليل جدًا $(1-x)$ فأنها تهمل ، ويكون :

$$x^2 = 6.2 \times 10^{-10}$$

$$x = \sqrt{6.2 \times 10^{-10}} = 2.5 \times 10^{-5}\ M$$ (أثبت أن هذه القيمة مقبولة ≥ 5%)

أي أن :

$$[H^+] = 2.5 \times 10^{-5}\ M$$

اختبر فهمك (٦) :

قام أحد الطلاب بتحضير محلول مائي من الحمض HA حجمه $400\ mL$ وذلك بإذابة $0.04\ mol$ من الحمض النقي في الماء . احسب ثابت تأين الحمض K_a إذا علمت أن قيمة pH للمحلول تساوي 4.23 .

بالنسبة للأحماض عديدة البروتونات مثل حمض الكبريتيك H_2SO_4 وحمض البوريك H_3BO_3 يكون لها أكثر من ثابت تأين K_a ، فمثلا حمض الاكساليك $H_2C_2O_4$ يتأين في الماء كالآتي :

$$H_2C_2O_{4(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HC_2O_4^-{}_{(aq)} \qquad (1)$$

$$K_{a_1} = \frac{[H^+][HC_2O_4^-]}{[H_2C_2O_4]}$$

$$HC_2O_4^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + C_2O_4^{2-}{}_{(aq)} \qquad (2)$$

$$K_{a_2} = \frac{[H^+][C_2O_4^{2-}]}{[HC_2O_4^-]}$$

ويوضح الجدول (٨–٤) قيم ثوابت التأين لبعض الأحماض عديدة البروتونات عند درجة حرارة $25\ ^oC$.

اسم الحمض	الصيغة	K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}
حمض الاوكساليك	$H_2C_2O_{4(aq)}$	5.4×10^{-2}	5.4×10^{-5}	–
حمض الاسكوربيك	$H_2C_6H_6O_{6(aq)}$	7.9×10^{-5}	1.6×10^{-12}	–
حمض الكبريتيك	$H_2SO_{4(aq)}$	عالي جدا	1.0×10^{-2}	–
حمض الكبريتيد	$H_2S_{(aq)}$	1.1×10^{-7}	1.3×10^{-13}	–
حمض الفوسفوريك	$H_3PO_{4(aq)}$	7.1×10^{-3}	6.3×10^{-8}	4.2×10^{-13}
حمض الارسينك	$H_3AsO_{4(aq)}$	5×10^{-3}	8×10^{-8}	4.0×10^{-12}
حمض الكربونيك	$H_2CO_{3(aq)}$	4.4×10^{-7}	4.7×10^{-11}	–

الجدول (٨–٤) : قيم ثوابت التأين لبعض الأحماض عديدة البروتونات

نجد من الجدول أن قيم K_{a_1} أكبر من قيم K_{a_2} وهذا يدل على أن التأين الثاني للحمض يكون أضعف من التأين الأول (فسر ذلك)، **وبصورة عامة فإن :**

$$K_{a_1} > K_{a_2} > K_{a_3} .....$$

٨–٤ الاتزان في محاليل القواعد الضعيفة : Equilibrium of Weak Bases

تعتبر القواعد الضعيفة أحد المواد الالكتروليتية الضعيفة التي تتأين تأينًا جزئيًا عند ذوبانها في الماء مثل الأمونيا .
وبصورة عامة نفترض أن القاعدة الضعيفة يرمز لها بالرمز B وبالتالي يكون تأينها حسب المعادلة :

$$B_{(aq)} + H_2O_{(aq)} \rightleftharpoons HB^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

عند الاتزان يمكن التعبير عن ثابت الاتزان لتأين القاعدة الضعيفة ، والذي يرمز له بالرمز K_b بالعلاقة :

$$K_b = \frac{[HB^+]\,[OH^-]}{[B]}$$

ويوضح الجدول (٨–٥) قيم ثوابت التأين لعدد من القواعد الضعيفة عند درجة حرارة $25\ ^oC$:

اسم القاعدة	الصيغة	K_b
ثنائي ميثيل أمين	$(CH_3)_2NH_{(aq)}$	9.6×10^{-4}
بيوتيل أمين	$C_4H_9NH_{2(aq)}$	5.9×10^{-4}
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)}$	4.4×10^{-4}
أمونيا	$NH_{3(aq)}$	1.8×10^{-5}
هيدرازين	$N_2H_{4(aq)}$	1.7×10^{-6}
مورفين	$C_{17}H_{19}NO_{3(aq)}$	7.5×10^{-7}
أيون هيبوكلوريت	$ClO^-_{(aq)}$	3.45×10^{-7}
بيريدين	$C_5H_5N_{(aq)}$	1.7×10^{-9}
أيون اسيتات	$C_2H_3O^-_{2(aq)}$	5.6×10^{-10}
يوريا	$NH_2CONH_{2(aq)}$	1.5×10^{-14}
أيون فوسفات	$PO^{2-}_{4(aq)}$	2.4×10^{-2}
أيون فلوريد	$F^-_{(aq)}$	1.5×10^{-11}
انيلين	$C_6H_5NH_{2\,(aq)}$	4.1×10^{-10}

الجدول (٨–٥) : قيم ثوابت التأين K_b

وللعلم تحسب K_b بنفس الطريقة المتبعة لحساب K_a .

اختبر فهمك (٧) :

المورفين أحد أشهر العقاقير النشطة المستخدمة للتخفيف عن الألم . تم إعطاء أحد المرضى حقنة من محلول المورفين تركيزه $0.01\ mol/L$ والرقم الهيدروجيني pH له يساوي 10.10 ، فاحسب ثابت التأين للمورفين K_b .

٨–٥ التميؤ : Hydrolysis

تعلم أن الملح عبارة عن مركب أيوني ناتج من تفاعل التعادل بين الحمض والقاعدة مثل كلوريد الصوديوم $NaCl$ الذي ينتج من التفاعل :

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

إذا كانت محاليل الأملاح ناتجة من تفاعلات الأحماض مع القواعد فهل تمتلك صفات حمضية أم قاعدية ؟

للإجابة عن هذا التساؤل قم بتنفيذ الاستكشاف الآتي :

الاستكشاف ١

دراسة سلوك محاليل الأملاح

الهدف : التعرّف على الصفات الحمضية والقاعدية لمحاليل الأملاح .

إجراءات الأمن والسلامة : ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

المواد والأدوات : أنابيب اختبار عدد (٤) ، جهاز مقياس الحموضة pH ، ورق تباع الشمس ، ماء مقطر ، محاليل المواد الآتية : كلوريد الصوديوم ، خلات الصوديوم ، نترات الأمونيوم ، كلوريد الأمونيوم.

الإجراءات :

١- خذ أربعة أنابيب اختبار نظيفة ثم قم بترقيمها .

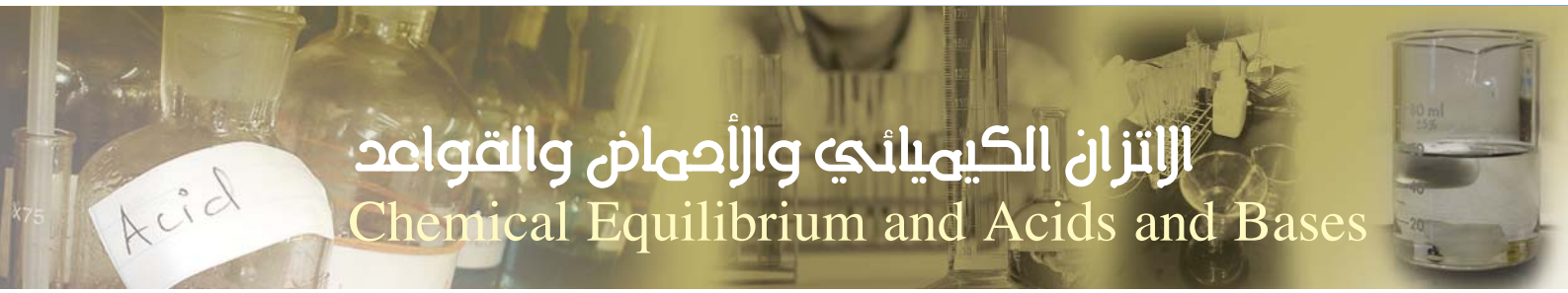
٢- ضع $5\ mL$ في كل من الأنابيب الآتية : الأنبوبة رقم (١) محلول كلوريد الصوديوم ، الأنبوبة رقم (٢) محلول خلات الصوديوم، الأنبوبة رقم (٣) محلول كلوريد الأمونيوم ، الأنبوبة رقم (٤) محلول نترات الأمونيوم .

٣- اكشف عن المحاليل السابقة بواسطة وضع ورق تباع الشمس في الأنابيب الأربعة .

٤- باستخدام جهاز مقياس الحموضة ، قم بتسجيل قيمة الرقم الهيدروجيني pH في جميع المحاليل الموجودة في الأنابيب الأربعة .

٥- سجّل نتائجك وملاحظاتك حسب الجدول أدناه :

الملح	صيغة الشق الموجب	صيغة الشق السالب	قيمة pH لمحلول الملح	أثر محلول الملح على ورق تباع الشمس
كلوريد الصوديوم				
خلات الصوديوم				
كلوريد الأمونيوم				
خلات الأمونيوم				



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

التحليل والتفسير :

١- صنّف المحاليل المائية للأملاح السابقة إلى(حمض - قاعدة - متعادل) .
٢- رتّب المحاليل السابقة ترتيبًا تصاعديًا حسب قيمة pH .
٣- اكتب معادلات كيميائية تفسر السلوك الحمضي أم القاعدي أم المتعادل لمحاليل الأملاح السابقة .

نستنتج من الاستكشاف السابق أن محاليل الأملاح قد تكون متعادلة أو حمضية أو قاعدية . ويمكن تفسير ذلك من خلال عملية التميؤ ، حيث يعرف التميؤ بأنه : " تفاعل بين أيونات الملح والماء لإنتاج حمض وقاعدة أحدهما أو كلاهما ضعيف" .

وقد لاحظنا مثلاً أن محلول كلوريد الصوديوم متعادل لأنه يتأين في الماء إلى أيونات غير قابلة للتميؤ ، وهما أيون Na^+ المشتق من قاعدة قوية ، والأيون الآخر هو أيون Cl^- المشتق من حمض قوي :

$$NaCl_{(aq)} \longrightarrow \underset{\text{لا يتميأ}}{Na^+_{(aq)}} + \underset{\text{لا يتميأ}}{Cl^-_{(aq)}}$$

ولذلك فإن هذه الأيونات $(Cl^-\ ،\ Na^+)$ لا يؤدي وجودها في الماء إلى تغيير قيمة الرقم الهيدروجيني لمحلول ملح كلوريد الصوديوم ، وبالتالي تكون قيمة pH له تساوي 7.00 .
أما في حالة محلول خلات الصوديوم CH_3COONa فإنها تتأين في الماء لتنتج أيونات Na^+ غير قابلة للتميؤ ، وأيونات CH_3COO^- القابلة للتميؤ لأنها مشتقة من حمض ضعيف وهو حمض الخليك CH_3COOH ، ويتأين الملح في الماء كالآتي:

$$CH_3COONa_{(aq)} \longrightarrow \underset{\text{يتميأ}}{CH_3COO^-_{(aq)}} + \underset{\text{لا يتميأ}}{Na^+_{(aq)}}$$

وعند تميؤ أيون الخلات CH_3COO^- في الماء ينتج أيون OH^- المميز للصفة القاعدية :

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

لذلك فإن المحلول المائي لملح خلات الصوديوم يكون قاعدي التأثير وقيمة pH تكون أكبر من 7.00 ، ويمكن حساب ذلك بمعرفة تركيز الملح في المحلول حيث تعامل معادلة تميؤ خلات الصوديوم كميًا ، لذا فإن لها قيمة لثابت الاتزان يسمى ثابت التميؤ للملح ويرمز له بالرمز K_h ، ويعبر عنه بالعلاقة :

$$K_h = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$

فإذا ضربنا البسط والمقام في $[H^+]$ فإن :

$$K_h = \frac{[CH_3COOH][H^+][OH^-]}{[CH_3COO^-][H^+]} = \frac{K_W}{K_a}$$

وبنفس الطريقة يمكنك تفسير سلوك المحاليل المائية لكل من ملح كلوريد الأمونيوم وملح نترات الأمونيوم .

و يوضح الشكل (٨–١٠) لون كل من محاليل الأملاح الآتية : كلوريد الصوديوم وخلات الصوديوم وكلوريد الأمونيوم .

لون محلول CH_3COONa

لون محلول $NaCl$

لون محلول NH_4Cl

الشكل (٨–١٠): لون لعدد من محاليل الأملاح

وبصورة عامة يمكن تلخيص ما سبق فيما يلي :

الأحماض والقواعد القوية تعطي أيونات غير قابلة للتميؤ، أما الأحماض والقواعد الضعيفة تعطي أيونات قابلة للتميؤ.

وتعتمد طبيعة الأملاح المشتقة من حمض ضعيف وقاعدة ضعيفة في كونها حمضية أم قاعدية أم متعادلة على قوة كل من الحمض والقاعدة الناتجين في معادلة التميؤ، فإذا كانت :

١– $K_b < K_a$ يكون محلول الملح حمضيًّا .

٢– $K_a < K_b$ يكون محلول الملح قاعديًّا .

٣– $K_b = K_a$ يكون محلول الملح متعادلاً .

مثال (١) : احسب قيمة *pH* لمحلول سيانيد الصوديوم يحتوي اللتر منه على *0.1 mol* من الملح النقي .

الحل : يتأين سيانيد الصوديوم وفق المعادلة :

$$\underset{0.1\ M}{NaCN_{(s)}} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{لا يتميأ}}{Na^+_{(aq)}} + \underset{0.1\ M}{CN^-_{(aq)}}$$

ويتميأ أيون CN^- كالآتي :

$$CN^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCN_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

ويعبر عن ثابت تأين الملح بالعلاقة :

$$K_h = \frac{[HCN]\,[OH^-]}{[CN^-]} \qquad (١)$$

وبفرض أن مقدار ما يتميأ من أيون CN^- يساوي $x\ mol/L$، فإن :

$$[HCN] = [OH^-] = x\ mol/L$$

$$[CN^-] = 0.1 - x \cong 0.1\ M$$

وبما أن :

$$K_h = \frac{K_W}{K_a} = \frac{1 \times 10^{-14}}{6.2 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5}$$

وبالتعويض في العلاقة (١) نجد أن :.

$$1.6 \times 10^{-5} = \frac{x^2}{0.1}$$

$$x^2 = 1.6 \times 10^{-6}$$

$$x = 1.27 \times 10^{-3}$$

إذًا : $[OH^-] = 1.27 \times 10^{-3}\ M$

ومنه : $[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.27 \times 10^{-3}} = 7.9 \times 10^{-12}\ M$

نجد أن : $pH = 11.10$

قيمة الرقم الهيدروجيني *pH* لمحلول *NaCN* تساوي *11.10*

اختبر فهمك (٨) :

١- إذا كان لديك المحاليل الآتية : $NaCN$ ، HCl ، KOH ، NH_4Cl لها نفس التركيز $1.0\ M$ ، رتبها ترتيبًا تنازليًّا حسب الرقم الهيدروجيني pH لها ، ثم فسّر إجابتك .

٢- فسّر بالمعادلات الكيميائية سلوك الأملاح الآتية في محاليلها :

$MgCl_2$ ، CH_3COONH_4

٣- أثبت أن ثابت التميؤ للملح المشتق من تفاعل حمض قوي وقاعدة ضعيفة يمثل بالعلاقة :

$$K_h = \frac{K_W}{K_b}$$

ثم احسب قيمة pH لمحلول NH_4Br تركيزه $0.3\ M$ ؟

٨-٦ ثابت حاصل الإذابة : Solubility Product

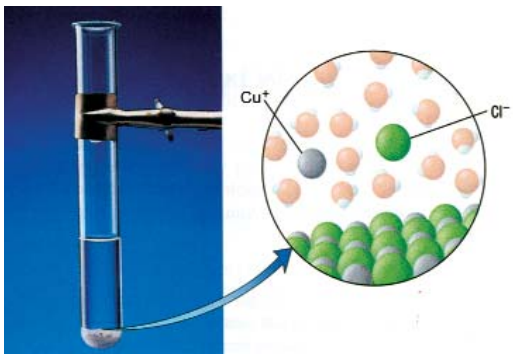
عند إضافة أية كمية من المادة المذابة إلى المحلول المشبع تترسب فيه وتنشأ حالة اتزان دينامي بين المادة الصلبة المذابة في المحلول والمادة المترسبة ، وبالتالي تكون سرعة ذوبان المادة المذابة مساوية لسرعة ترسيبها . وعلى هذا الأساس تم تقسيم الأملاح من حيث ذوبانها في الماء إلى أملاح ذائبة مثل كلوريد الصوديوم ، وأملاح شحيحة الذوبان في الماء مثل كلوريد الفضة ، لذا سنحاول التركيز على كيفية حساب ذوبانية الأملاح الشحيحة الذوبان في الماء .

تتميز الأملاح شحيحة الذوبان في الماء بأن كمية ضيئلة جدًّا منها تذوب في الماء والباقي يترسب ، ولنأخذ مثلاً محلول كلوريد النحاس (I) الموضح في الشكل (٨-١١) ، حيث تكتب معادلة تأينه كالآتي :

$$CuCl_{(s)} \underset{}{\overset{H_2O}{\rightleftharpoons}} Cu^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

ويمكن التعويض عن $[CuCl_{(s)}]$ K_c بمقدار ثابت جديد يسمى ثابت حاصل الإذابة ويرمز له بالرمز K_{SP} $(SP: Solubility\ Product)$ وعليه يعبر عن ثابت حاصل الإذابة بالشكل الآتي :

$$K_{sp} = [Cu^+]\,[Cl^-]$$



الشكل(٨-١١): محلول كلوريد النحاس (I)

مثال (١) : اكتب علاقة ثابت حاصل الإذابة لفوسفات الكالسيوم ؟

الحل : يتأين فوسفات الكالسيوم حسب المعادلة :

$$Ca_3(PO_4)_{2(s)} \rightleftharpoons 3Ca^{2+}_{(aq)} + 2PO_4^{3-}{}_{(aq)}$$

فإن :

$$K_{sp} = [Ca^{2+}]^3\,[PO_4^{3-}]^2$$

ومما سبق يمكن تعريف ثابت حاصل الإذابة لملح شحيح الذوبان بأنه : "حاصل ضرب تركيز الأيونات الذائبة بوحدة المول/لتر والموجودة في حالة اتزان في المحلول المشبع عند درجة حرارة معينة كل منها مرفوع إلى أس يساوي عدد مولاته في معادلة الاتزان" .

ويوضح الجدول (٨–٦) قيم ثوابت حاصل الإذابة K_{sp} لعدد من المركبات الأيونية شحيحة الذوبان عند درجة حرارة $25\ ^oC$:

الاسم	الصيغة	K_{sp}
هيدروكسيد الكوبالت (II)	$Co(OH)_{2(s)}$	1.1×10^{-15}
كلوريد الزئبق (I)	$Hg_2Cl_{2(s)}$	1.5×10^{-18}
كربونات النيكل (II)	$NiCO_{3(s)}$	1.4×10^{-7}
كبريتيد القصدير (II)	$SnS_{(s)}$	3.2×10^{-28}
هيدروكسيد الخارصين	$Zn(OH)_{2(s)}$	7.7×10^{-17}
فوسفات الكالسيوم	$Ca_3(PO_4)_{2(s)}$	2.1×10^{-33}
فلوريد الماغنيسوم	$MgF_{2(s)}$	$7.4. \times 10^{-11}$

جدول (٨–٦) : قيم ثابت حاصل الإذابة K_{sp}

وتجدر الإشارة إلى أن ثابت حاصل الإذابة K_{sp} يتم التعبير عنه بواسطة التركيز المولاري للأيونات في المحلول المشبع ، والتركيز المولاري مرتبط بالذوبانية المولارية للمركب الأيوني .

مثال (٢) : إذا علمت أن ذوبانية فلوريد الماغنسيوم MgF_2 عند درجة حرارة $25\ ^oC$ تساوي $0.00172g/100mL$ ، احسب ثابت حاصل الإذابة K_{sp} لهذا الملح ؟

الحل : نحسب أولا عدد مولات MgF_2 الذائبة في المحلول:

كتلة المول ل MgF_2 $= 24.31 + (2 \times 19) = 62.31g$

وبما أن : عدد مولات MgF_2 في اللتر = $\frac{\text{كتلة } MgF_2}{\text{كتلة المول منه}}$

إذًا: عدد مولات MgF_2 = $\frac{0.0172}{62.31} = 2.8 \times 10^{-4}\ mol$

وبالتعويض بعدد المولات في المعادلة :

	$MgF_{2(s)}$	$\rightleftharpoons$ $Mg^{2+}_{(aq)}$	+	$2F_{(aq)}$
عدد المولات	$2.8 \times 10^{-4}\ mol$	$2.8 \times 10^{-4}\ mol$		$2(2.8 \times 10^{-4})\ mol$
التركيز عند الاتزان	$2.8 \times 10^{-4}\ mol/L$	$2.8 \times 10^{-4}\ mol/L$		$2(2.8 \times 10^{-4})\ mol/L$

نجد أن :

$$K_{sp} = [Mg^{2+}]\,[F^-]^2$$
$$= (2.8 \times 10^{-4})\,(5.5 \times 10^{-4})^2$$

إذًا:

$$K_{sp} = 8.47 \times 10^{-11}$$

ويستخدم ثابت حاصل الإذابة K_{sp} للتنبؤ حول إمكانية تكوين راسب عند خلط محلولين لملحين مختلفين، فإذا كان :

١- K_{sp} <حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة ، فإنه يتكون محلول فوق مشبع ويحدث ترسيب .
٢- K_{sp} >حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة ، فإنه يتكون محلول غير مشبع ولا يحدث ترسيب (يحدث ذوبان) .
٣- K_{sp} =حاصل ضرب تركيز الأيونات الناتجة ، فإن التفاعل يكون في حالة اتزان لا يحدث ترسيب ويتكون محلول مشبع .

مثال (٣) : وجد أن تركيز أيون Ca^{2+} في بلازما الدم لشخص ما يساوي $0.0022\ M$ وتركيز أيون الاوكسالات $C_2O_4^{2-}$ يساوي $2 \times 10^{-6}\ M$، ماذا تتوقع أن يحدث لاوكسالات الكالسيوم في الدم CaC_2O_4 إذا علمت أن K_{sp} له تساوي 2.3×10^{-9} ؟

الحل : معادلة ذوبان اوكسالات الكالسيوم في الماء :

$$CaC_2O_{4(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + C_2O_4^{2-}_{(aq)}$$
$$2.2 \times 10^{-3} \qquad 2 \times 10^{-6}$$

وبما أن :

$$K_{sp} = [Ca^{2+}]\,[C_2O_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-9}$$

فأن :

$$[Ca^{2+}]\,[C_2O_4^{2-}] = (2.2 \times 10^{-3})(2 \times 10^{-6})$$

إذا :

$$= 4.4 \times 10^{-9}\ M$$

وبما أن قيمة حاصل الإذابة K_{sp} أقل من حاصل ضرب تركيز الأيونات لاكسالات الكالسيوم CaC_2O_4 سوف يتكون محلول فوق مشبع ويحدث ترسيب .

معلومة تهمك: أهمية ثابت حاصل الإذابة

يستفاد من دراسة ثابت حاصل الإذابة في كثير من التطبيقات وخاصة في مجالات الصناعة ، فمثلاً يتم تنقية ملح الطعام وذلك بإمرار غاز كلوريد الهيدروجين في محلول مشبع من الملح فيترسب الملح تاركًا الشوائب على هيئة أيونات ذائبة في المحلول ، كما تستخدم أيضا في ترسيب الصابون وذلك بإضافة محلول مشبع من $NaCl$ إليه.

اختبر فهمك (٩) :

١- اكتب علاقة ثابت حاصل الإذابة لكلٍّ من : $FeCO_3$ ، Ag_2CrO_4

٢- احسب ثابت حاصل الإذابة لكبريتيد النحاس (II) علمًا بأن ذوبانيته تساوي $8.9 \times 10^{-19}\ mol/L$ ؟

٣- وضّح هل يتكون راسب عند إضافة محلول من نترات الرصاص $pb(NO_3)_2$ تركيزه $0.003\ M$ إلى حجم مماثل من محلول كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) تركيزه $0.04\ M$ ؟ علمًا بأن K_{sp} لكبريتات الرصاص $= 1.8 \times 10^{-8}$.

٨-٧ تأثير الأيون المشترك : The Common Ion Effect

يستفاد من دراسة أثر الأيون المشترك في تعيين قيم ***pH*** وثابت حاصل إذابة الأملاح شحيحة الذوبان في الماء .
فماذا تتوقع أن يحدث لقيمة ***pH*** إذا كان لدينا محلول مشبع متزن من حمض الخليك CH_3COOH وأضفنا إليه قليلاً من محلول ملح خلات الصوديوم CH_3COONa؟
للإجابة عن هذه التساؤلات قم بتنفيذ الاستكشاف الآتي :

الاستكشاف ٢ دراسة أثر الأيون المشترك

الهدف : التعرّف على تأثير الأيون المشترك في تأين الأحماض الضعيفة والقواعد الضعيفة .

إجراءات الأمن والسلامة : ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

المواد والأدوات : كؤوس زجاجية سعة $250\ mL$ عدد (٤) ، محلول حمض الخليك تركيزه $0.1\ M$ ، محلول الأمونيا تركيزه $0.1\ M$ ، ملح خلات الصوديوم ، ملح كلوريد الأمونيوم ، محلول كاشف الفينولفثالين (مدى تغير اللون $8.2 - 10$) ، محلول كاشف الميثيل البرتقالي (مدى تغير اللون $3.2 - 4.4$) ، ماء مقطر .

الإجراءات :

١- ضع في كأسين زجاجيين $20\ mL$ من محلول حمض الخليك، ثم أضف إلى كل كأس ثلاث قطرات من كاشف الميثيل البرتقالي . سجّل ملاحظاتك .
٢- أضف $2\ g$ من خلات الصوديوم في إحدى الكأسين . قارن لون المحلول الناتج بلون المحلول في الكأس الآخر . سجّل ملاحظاتك .
٣- ضع $20\ mL$ من محلول الأمونيا في كأسين زجاجيين ، ثم أضف إلى كل منها قطرتين من كاشف الفينولفثالين. سجّل ملاحظاتك.
٤- أضف $2\ g$ من كلوريد الأمونيوم في إحدى الكأسين . قارن لون المحلول الناتج بلون المحلول في الكأس الآخر. سجّل ملاحظاتك .
٥- سجّل ملاحظاتك ونتائجك في الجدول الآتي :

المحلول	اسم الكاشف	اللون	pH
CH_3COOH			
CH_3COOH مع CH_3COONa			
NH_3			
NH_3 مع NH_4Cl			

التحليل والتفسير :

١– ما أثر إضافة ملح خلات الصوديوم إلى محلول CH_3COOH لكل مما يلي :

أ– الرقم الهيدروجيني لمحلول الحمض .

ب– تركيز جزيئات الحمض غير المتأينة .

٢– كيف يتغير الرقم الهيدروجيني لمحلول الأمونيا عند إذابة بلورات من كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ فيه ؟ فسّر إجابتك .

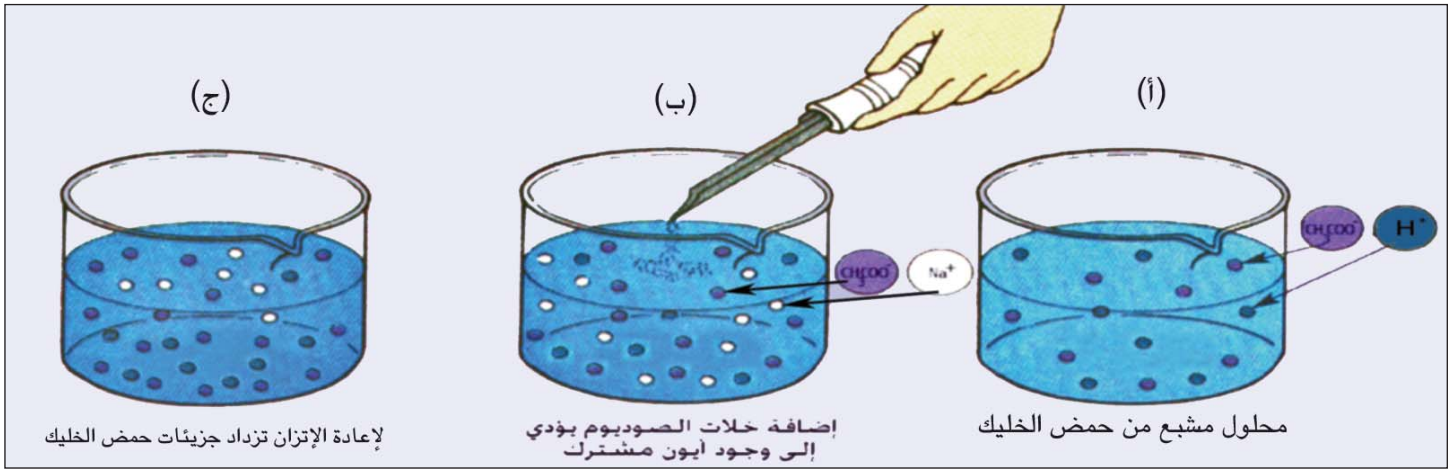
٣– هل تتوقع تغير الرقم الهيدروجيني لمحلول HCl عند إذابة بلورات من كلوريد الصوديوم فيه ؟ فسّر إجابتك .

توضح كل من المعادلتين الآتيتين حالة تأين كل من حمض الخليك وخلات الصوديوم :

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H^+_{(aq)} \quad (١)$$

$$CH_3COONa_{(s)} \xrightarrow{H_2O} CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} \quad (٢)$$

نلاحظ من المعادلتين زيادة تركيز أيون CH_3COO^- في المحلول وهو أيون مشترك لكل من الحمض والملح المضاف، وحسب مبدأ لوشاتيليه فإن موضع الاتزان سوف يزاح إلى جهة اليسار في المعادلة الأولى نتيجة اتحاد بعض أيونات CH_3COO^- مع أيونات H^+ لتكوين جزيئات غير متأينة من الحمض فتزداد سرعة التفاعل العكسي ويصل التفاعل إلى حالة اتزان جديدة يقل فيها تركيز أيون H^+، وبالتالي زيادة قيمة pH كما في الشكل (٨–١٢) .



الشكل (٨–١٢) : الأيون المشترك

مثال (١) : محلول مائي يحتوي على $0.01\ M$ من حمض البنزويك C_6H_5COOH احسب قيمة pH للمحلول. فإذا أضيف إليه $0.02\ M$ من بنزوات الصوديوم C_6H_5COONa، احسب التغير في قيمة pH للمحلول .

الحل : **أولا :** حساب قيمة pH لحمض البنزويك :

معادلة تأين الحمض هي :

$$C_6H_5COOH_{(aq)} \rightleftharpoons C_6H_5COO^-_{(aq)} + H^+_{(aq)}$$

وبفرض أن مقدار ما يتأين من الحمض يساوي $x\ mol/L$ ، فتكون التراكيز عند الاتزان هي :

$$[C_6H_5COO^-] = [H^+] = x\ mol/L$$
$$[C_6H_5COOH\ ] = 0.01 - x \cong 0.01M$$

وبتطبيق العلاقة :

$$K_a = \frac{[C_6H_5COO^-]\ [H^+]}{[C_6H_5COOH]}$$

نجد أن :

$$6.3 \times 10^{-5} = \frac{x^2}{0.01}$$
$$x^2 = 6.3 \times 10^{-7}$$

وبأخذ الجذر التربيعي نجد أن :

$$x = 7.94 \times 10^{-4}\ M$$

إذًا :

$$[C_6H_5COO^-] = [H^+] = 7.94 \times 10^{-4}\ M$$

ومن العلاقة :

$$pH = -\log [H^+]$$

نجد أن:

$$pH = 3.10$$

ثانيًا : حساب التغير في قيمة pH للمحلول بعد إضافة بنزوات الصوديوم :

عند إضافة بنزوات الصوديوم لمحلول الحمض فإن أيونات البنزوات $C_6H_5COO^-$ تزداد بمقدار $0.02\ mol$ ، وفق المعادلات الآتية :

$$\underset{0.01}{C_6H_5COOH_{(aq)}} \rightleftharpoons C_6H_5COO^-_{(aq)} + H^+_{(aq)}$$

$$C_6H_5COONa_{(s)} \longrightarrow \underset{0.02}{C_6H_5COO^-_{(aq)}} + Na^+_{(aq)}$$

وبتطبيق العلاقة :

$$K_a = \frac{[C_6H_5COO^-][H^+]}{[C_6H_5COOH]}$$

نجد أن :

$$6.3 \times 10^{-5} = \frac{0.02 \times [H^+]}{0.01}$$

$$[H^+] = 3.15 \times 10^{-5}\ M$$

وبتطبيق العلاقة :

$$pH = -\log [H^+]$$

نجد أن :

$$pH = 4.50$$

لاحظ أن إضافة الأيون المشترك $C_6H_5COO^-$ إلى محلول الحمض أدى إلى تقليل تركيز $[H^+]$، وبالتالي فإن التغير في قيمة pH تكون :

$$pH = 4.50 - 3.10 = 1.40$$

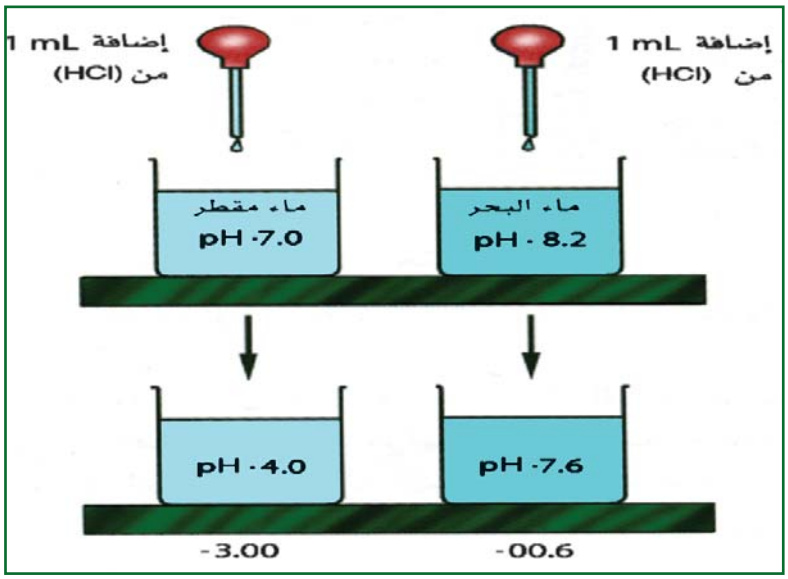
اختبر فهمك (١٠) :

أذيب $3\ g$ من حمض البروبيونيك CH_3CH_2COOH في $100\ mL$ من الماء ، ثم أضيف إليه $50\ mL$ من محلول يحتوي على $1.2\ g$ من بروبانوات الصوديوم CH_3CH_2COONa . احسب قيمة pH لمحلول الحمض قبل وبعد إضافة الملح، إذا علمت أن K_a لحمض البروبيونيك يساوي 1.3×10^{-5} .

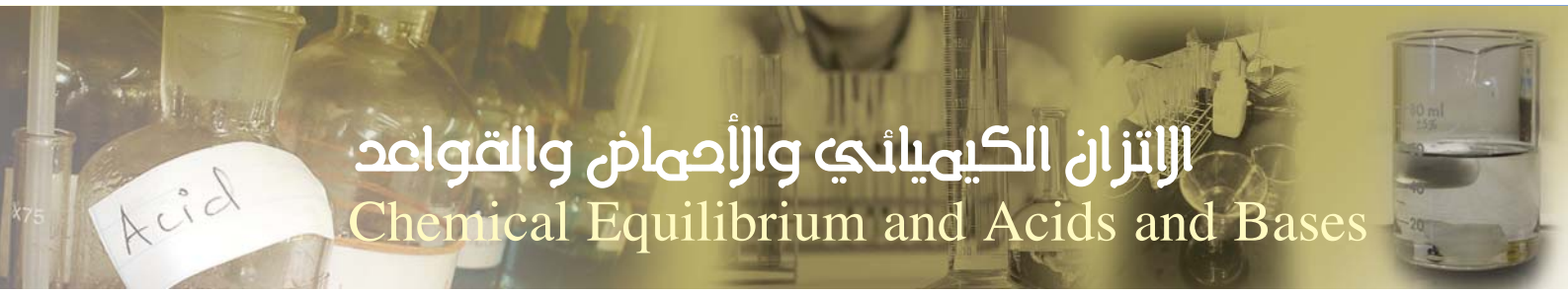
٨-٨ المحاليل المنظمة : Buffers

علمت أن مدى **pH** للمحاليل المختلفة يتراوح من الصفر إلى ١٤ ، وأن التحكم في قيمة **pH** في حدود ضيقة غاية في الأهمية وتتطلب إجراء العديد من العمليات الكيميائية سواء في الأنظمة الحيوية أم التطبيقات الصناعية. وتختلف محاليل المواد عن بعضها في مقاومة التغير في قيمة الرقم الهيدروجيني **pH** . فماذا تتوقع أن يحدث لقيمة **pH** للعصارة المعدية عند تناولك كأسًا من عصير الليمون؟ لعلك تعتقد أن قيمة **pH** للعصارة المعدية ستقل وذلك نتيجة لإضافة عصير الليمون ، ولكن ما يحدث في المعدة أن قيمة **pH** للعصارة المعدية لا تقل إلا بمقدار ضئيل جدًّا يكاد لا يذكر ، وذلك لأن الله جلت قدرته مكّن المعدة من إفراز الأنزيمات التي تقاوم التغيرات في قيمة **pH** عند إضافة محاليل حمضية أو محاليل قاعدية لعصارة المعدية ، وهذا ما يسمى بالمحاليل المنظمة .

تأمل الشكل (٨-١٣) الذي يوضح مدى مقاومة ماء البحر والماء النقي للتغير في قيمة **pH** عند إضافة كميات قليلة من حمض **HCl** تركيزه $0.1\ M$ أو من إضافة كميات قليلة من قاعدة **NaOH** تركيزها $0.1\ M$ إلى كل منهما عند درجة حرارة **25 °C** :



الشكل (٨-١٣) : مدى مقاومة ماء البحر والماء النقي للتغير في قيمة **pH**



الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

أي المحلولين تتغير فيه قيمة الرقم الهيدروجيني ***pH*** بمقدار كبير؟
سوف تجد أن التغير في قيمة ***pH*** لمحلول ماء البحر يكون قليلاً ، والسبب في ذلك يعود إلى وجود أملاح ذائبة فيه تقاوم التغير في قيمة ***pH*** .

وللتعرّف أكثر على المحاليل التي تقاوم التغير في قيمة ***pH*** عند إضافة كميات قليلة من حمض أو قاعدة إليها قم بتنفيذ الاستكشاف الآتي:

طبيعة المحاليل المنظمة

الهدف : توضيح دور المحلول المنظم في مقاومة التغيرات المفاجئة في الرقم الهيدروجيني ***pH*** عند إضافة كميات قليلة من حمض قوي أو قاعدة قوية .

إجراءات الأمن والسلامة : ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

المواد والأدوات : أنابيب اختبار عدد (٤) ، محلول ***NaOH*** تركيزه *0.1 M* ، محلول حمض ***HCl*** تركيزه *0.1 M* محلول **NaCl** تركيزه *0.1 M* ، محلول كاشف الفينولفثالين ، محلول كاشف الميثيل البرتقالي ، محلول منظم ***(pH = 7.00)*** .

الإجراءات :

١- خذ أربعة أنابيب اختبار نظيفة ثم قم بترقيمها .
٢- ضع في الأنبوبة رقم (١) *3 mL* من محلول ***NaCl*** ، وضع في الأنبوبة رقم (٢) *3 mL* من محلول منظم .
٣- أضف *(2-3)* قطرات من كاشف الفينولفثالين إلى كل من الأنبوبتين (١ ، ٢) .
٤- أضف عدد من قطرات ***NaOH*** إلى الأنبوبتين (١ ، ٢) حتى يتغير لون الكاشف .
٥- كرر الخطوة رقم ٢ على الأنبوبتين (٣ ، ٤).
٦- أضف *(2-3)* قطرات من كاشف الميثيل البرتقالي إلى كل من الأنبوبتين (٣ ، ٤) .
٧- أضف عددًا من قطرات ***HCl*** إلى الأنبوبتين (٣ ، ٤) حتى يتغير لون الكاشف .
٨- سجّل ملاحظاتك ونتائجك في الجدول الآتي :

المحلول	عدد قطرات $NaOH$ التي تغير لون المحلول	عدد قطرات HCl التي تغير لون المحلول
محلول $NaCl$		
محلول منظم		

التحليل والتفسير :

١– في اعتقادك لماذا تم استخدام الكواشف لإجراء الاستكشاف ؟
٢– فسّر : لا يصلح المخلوط المكون من HNO_3 تركيزه $0.1\ M$ و KNO_3 تركيزه $0.1\ M$ كمحلول منظم .
٣– ما المقصود بالمحلول المنظم ؟

نستنتج من الاستكشاف أنه عند إضافة كمية قليلة من محلول حمض قوي **(HCl)** إلى المحلول المنظم فإنه يزداد تركيز أيونات H^+، ويقاوم المزيج هذه الزيادة بتفاعل الأيونات السالبة A^- الناتجة من المحلول المنظم مع أيونات H^+ الناتجة من تفكك الحمض القوي مكونة حمض ضعيف التأين:

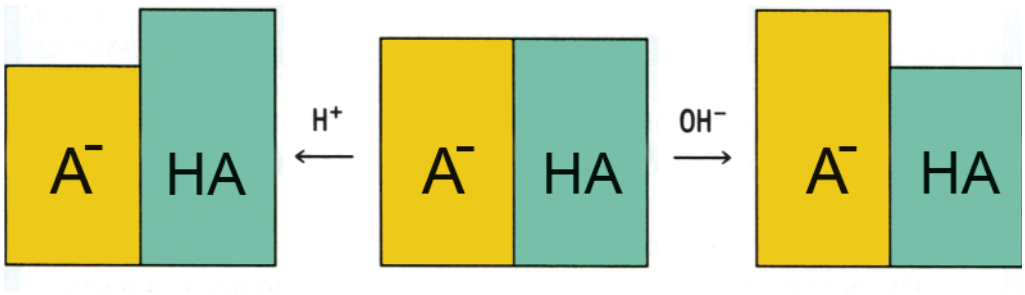
$$H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)} \rightleftharpoons HA_{(aq)}$$

وبذلك يقل تأثير $[H^+]$ من الحمض المضاف ، وبالتالي تبقى قيمة pH للمحلول المنظم ثابتة تقريبًا .
أما عند إضافة كمية قليلة من محلول قاعدي **(NaOH)** فإن أيونات OH^- الناتجة من تفكك القاعدة المضافة سوف تتعادل مع أيونات H^+ الناتجة من تأين الحمض الضعيف **(HA)** مكونة جزيئات ماء ضعيفة التأين :

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$$

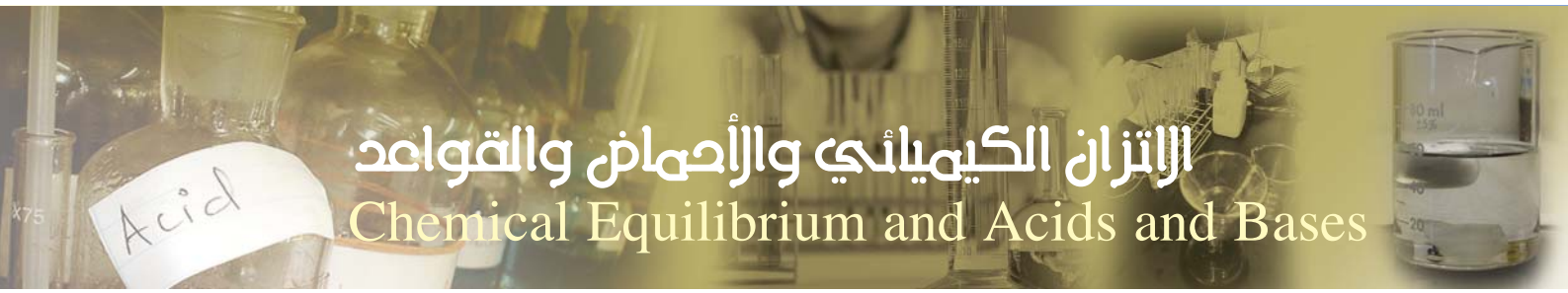
وبذلك يقل تأثير $[OH^-]$ من القاعدة المضافة ، ويتفكك جزء من الحمض الضعيف لتعويض النقص في أيونات H^+، وبالتالي تبقى قيمة pH للمحلول المنظم ثابتة تقريبًا .

ويوضح الشكل (٨–١٤) التغير الحادث للحمض ضعيف التأين عند إضافة كميات قليلة من الحمض أو القاعدة في حالة عدم وجود المحلول المنظم :



$$HA \longleftarrow H^+ + A^- \qquad HA + OH^- \longrightarrow A^- + H_2O$$

الشكل (٨–١٤): تغير تركيز حمض ضعيف التأين عند إضافة كميات قليلة من الحمض أو القاعدة بدون المحلول المنظم



ويعرف المحلول المنظم بأنه " مزيج من حمض ضعيف وأحد أملاحه أو من قاعدة ضعيفة وأحد أملاحها وهو يقاوم التغير المفاجئ في قيمة الرقم الهيدروجيني ***pH*** عند إضافة كميات قليلة من حمض أو قاعدة " .

ويوضح الجدول (٨–٧) أمثلة لبعض المحاليل المنظمة :

المحلول المنظم	الصيغة الكيميائية
حمض الخليك / خلات الصوديوم	CH_3COOH/CH_3COONa
محلول الأمونيا / كلوريد الأمونيوم	NH_3 / NH_4Cl
حمض الكربونيك / كربونات الصوديوم الهيدروجينة	H_2CO_3 / $NaHCO_3$
حمض الفورميك / فورمات البوتاسيوم	$HCOOH$ / $HCOOK$
فوسفات الصوديوم ثنائية الهيدروجين / فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين	NaH_2PO_4 / Na_2HPO_4

الجدول (٨–٧) : بعض المحاليل المنظمة

حساب قيمة *pH* للمحلول المنظم :

لمعرفة قيمة ***pH*** للمحلول المنظم ، دعنا ندرس المثال الآتي :

مثال : محلول منظم حجمه $1.0\ L$ يتكون من كلوريد الأمونيوم NH_4Cl تركيزه $0.33\ M$ و الأمونيا NH_3 تركيزها $0.33M$ في الماء ، احسب قيمة ***pH*** للمحلول علما بأن K_b للأمونيا يساوي 1.8×10^{-5} ، ثم احسب التغير في قيمة ***pH*** للمحلول عند إضافة $0.1\ mol$ من ***HCl*** إليه ؟

الحل : أولا : حساب قيمة *pH* قبل إضافة الحمض ***HCl***

تتأين الأمونيا في الماء كالآتي :

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

$0.33\ M$

ويتأين كلوريد الأمونيوم وفق المعادلة :

$$NH_4Cl_{(aq)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$$
$$0.33\ M$$

وبتطبيق العلاقة :

$$K_b = \frac{[NH_4^+]\,[OH^-]}{[NH_3]} \qquad (١)$$

وبالتعويض نجد أن :

$$1.8 \times 10^{-5} = \frac{0.33 \times [OH^-]}{0.33}$$
$$[OH^-] = 1.8 \times 10^{-5}\ M$$

إذا:
$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.5 \times 10^{-10}\ M$$

ومن العلاقة :
$$pH = -\log[H^+]$$

نجد أن :
$$pH = 9.26$$

ثانيًا : حساب قيمة pH بعد إضافة حمض HCl

باعتبار أن حمض HCl حمض قوي ، فإن تركيز أيون H^+ يساوي تركيز الحمض ، ومنه نستنتج أن تركيز أيون H^+ يحسب كالآتي :

$$[H^+] = \frac{0.1\ mol}{1.0\ L} = 0.1\ M$$

وتتعادل أيونات H^+ المضافة بنسبة $1:1$ للتفاعل الآتي :

$$NH_{3(aq)} + H^+{}_{(aq)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)}$$

ويكون تركيز الأمونيا NH_3 النهائي :

$$[NH_3] = (0.33 - 0.1) = 0.23\ M$$

وتركيز أيون الأمونيوم NH_4^+ النهائي :

$$[NH_4^+] = (0.33 + 0.1) = 0.43\ M$$

وبالتعويض في العلاقة (١) نجد أن :

$$1.8 \times 10^{-5} = \frac{0.43 \times [OH^-]}{0.23}$$

$$[OH^-] = 3.4 \times 10^{-5}\ M$$

ومن العلاقة : $pOH = -\log [OH^-]$

نجد أن : $pOH = 4.47$

ومنها نستنتج أن : $pH = 9.53$

إذًا التغير في قيمة pH للمحلول المنظم هي : 0.28

اختبر فهمك (١١) :

١- يوجد في جسم الإنسان العديد من المحاليل المنظمة مثل حمض الكربونيك ، وأيون الكربونات الهيدروجينية. ابحث في المصادر المتوفرة لديك حول كيفية تواجد حمض الكربونيك في الدم ، ثم اشرح مع كتابة المعادلات الكيميائية كيف يقاوم هذا المحلول المنظم التغير في قيمة pH للدم ؟

٢- لديك محاليل المواد الآتية : حمض الاوكساليك - هيدروكسيد الأمونيوم .
وضّح كيف يمكنك الحصول على محلول منظم باستخدام هاتين المادتين .

٣- أراد أحد الطلاب تحضير محلول منظم حجمه $1\ L$ ، فقام بخلط محلول حجمه $40\ mL$ يحتوي على $0.0l\ mol$ من NaF النقي مع محلول حجمه $60\ mL$ يحتوي على $0.01\ mol$ من حمض HF النقي. احسب قيمة pH للمحلول المنظم ؟

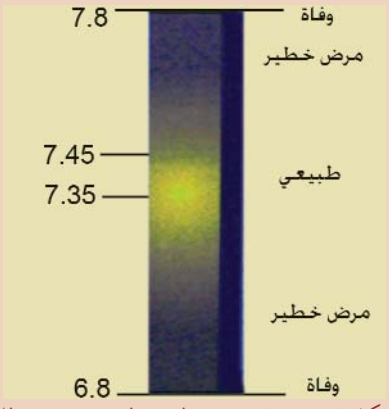
٤- هل تتأثر قيمة pH للمحلول المنظم حجمه $100\ mL$ إذا تم تخفيفه إلى حجم $1\ L$ ؟ فسّر إجابتك .

الاتزان الكيميائي والأحماض والقواعد
Chemical Equilibrium and Acids and Bases

معلومة تهمك :

١- المحاليل المنظمة في حياتنا

تلعب المحاليل المنظمة دورًا مهمًّا في أجسام الكائنات الحية ، فالسوائل البيولوجية تعتبر محاليل منظمة لقيمة *pH* ولها أهمية حيوية لأداء عملها بصورة صحيحة ، والمعروف أن الرقم الهيدروجيني لدم الإنسان يبلغ تقريبًا *7.4* وإذا تغيرت هذه القيمة بالزيادة أو النقصان فإنه تظهر اضطرابًا وأعراض مرضية خطيرة على صحة الإنسان، قد تؤدي إلى حدوث تجلط في الدم أو الوفاة ، ومن حكمة الله وقدرته جعل في الدم مواد كيميائية تحافظ على ثبات درجة حموضته (أي يحوي محولاً منظمًا) .ويتأثر نشاط الإنزيمات بقيمة *pH* حسب الوسط الذي يعمل فيه . ولكل إنزيم رقم هيدروجيني معين ، فمثلاً قيمة **pH** للعصير المعدي هي *1.5* تقريبًا وهذه القيمة مهمة لعمل الإنزيمات واتزان الضغط الاسموزي .ويوضح الشكل (٨-١٥) مدى الرقم الهيدروجيني في جسم الإنسان.وللمحاليل المنظمة أيضا أهمية كبيرة في بعض العمليات الصناعية مثل : دباغة الجلود ، وطلاء المعادن بالكهرباء ، وترسيب بعض المواد .

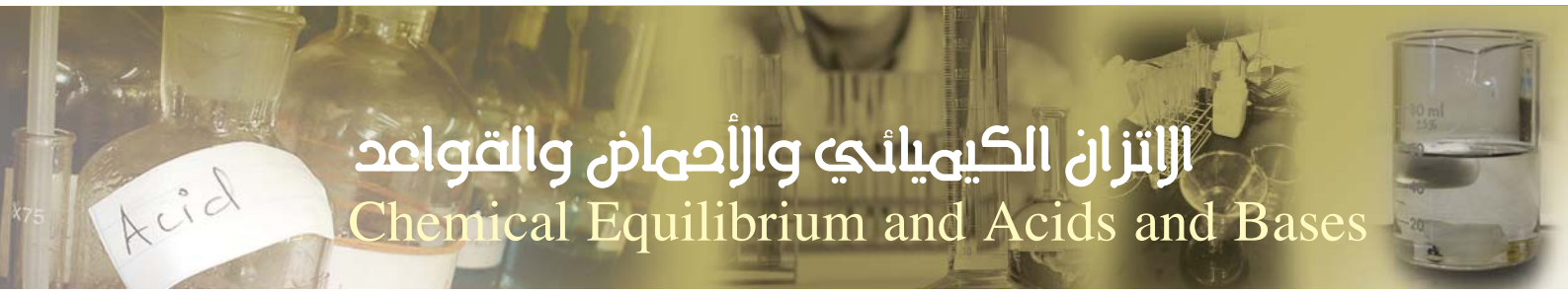


الشكل(٨-١٥): مدى الرقم الهيدروجيني للدم

٢-السكر في الدم

توجد في جسم الإنسان حالة اتزان للسكر ، بمعنى إذا تغير تركيز السكر في الدم سواء بالزيادة أو النقصان فإن الجسم يفرز إنزيمات لتعويضه ، ولهذا يجب على مرضى السكري مراقبة اتزان السكر في دمهم بطريقة دورية باستخدام جهاز قياس مستوى السكر الموضح في الشكل (٨-١٦).

الشكل(٨-١٦) جهاز قياس مستوى السكر



أسئلة الفصل

السـؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات الآتية من بين البدائل المعطاة :

١- توصف القاعدة حسب نظرية برونستد-لوري بأنها :

أ) تمنح البروتون .
ب) تستقبل البروتون .
ج) تمنح الهيدروكسيد .
د) تستقبل الهيدروكسيد .

٢- في التفاعل الآتي :

$$H_3AsO_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2AsO_4^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

القاعدة المرافقة للحمض في هذا التفاعل :

أ) H_2O
ب) $H_2AsO_4^-$
ج) H_3O^+
د) H_3AsO_4

٣- إذا علمت أن قيمة K_b للأمونيا تساوي 1.74×10^{-5} ، فإن قيمة K_a للتفاعل الآتي :

$$NH_4^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

تساوي :

أ) 5.75×10^{-10}
ب) 5.75×10^{-4}
ج) 1.74×10^{-5}
د) 2.98×10^{-2}

٤- أي محاليل الأملاح التالية له تأثير قاعدي ، علمًا بأن تراكيزها تساوي $0.1\ M$ ؟

أ) NH_4ClO_4
ب) $NaCN$
ج) KCl
د) $Ca(NO_3)_2$

٥- إذا علمت أن تركيز أيون Cl^- يساوي $0.032\ M$ في محلول $PbCl_2$ ، فإن قيمة K_{SP} لهذا الملح تساوي :

أ) 5.1×10^{-4}
ب) 4.8×10^{-3}
ج) 3.9×10^{-5}
د) 1.6×10^{-5}

٦- في معادلة الاتزان الآتية :

$AgBr_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}_{(aq)} + Br^{-}_{(aq)} \quad K_{SP} = 3.3 \times 10^{-13}$

كان $[Br^{-}] = 0.50\ M$ ، فإن $[Ag^{+}]$ يساوي :

أ) 6.6×10^{-13} ب) 7.5×10^{12}

ج) 1.7×10^{-13} د) 3.3×10^{-13}

٧- تتأثر قيمة Kw للماء بواسطة :

أ) ذوبانية الملح في المحلول . ب) التغير في درجة الحرارة .

ج) التغير في تركيز أيون OH^{-} د) وجود حمض قوي .

٨- في التفاعل الافتراضي : $AB_{(s)} \rightleftharpoons A^{+}_{(aq)} + B^{-}_{(aq)}$

كانت ذوبانية AB تساوي $0.0427\ M$ ، فإن قيمة K_{SP} لهذا التفاعل تساوي :

أ) 1.82×10^{-3} ب) 4.27×10^{-3}

ج) 4.6×10^{-3} د) 3.3×10^{-6}

٩- إذا كان تركيز أيون CO_3^{2-} في محلول $BaCO_3$ يساوي $1.1 \times 10^{-4}\ M$ ، وقيمة K_{SP} للمادة تساوي 8.1×10^{-9}، فإن هذا المحلول يوصف بأنه :

أ) مشبع ب) غير مشبع ج) فوق مشبع د) متزن

١٠- صيغة الأيون المشترك في محلول يتكون Ag_2CrO_4 و $AgNO_3$ هي :

أ) CrO_4^{2-} ب) Ag^{+} ج) Ag^{2+} د) NO_3^{-}

١١- أحد المخاليط التالية لا يصلح كمحلول منظم :

أ) أيون الأمونيوم / الأمونيا .

ب) أيون الكربونات الهيدروجينية / حمض الكربونيك .

ج) أيون الكبريتات / حمض الكبريتيك .

د) أيون الاكسالات / حمض الاكساليك .

١٢- في التفاعل الآتي :

$HSO_{4\,(aq)}^{-} + HSO_{3\,(aq)}^{-} \rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} + SO_{4\,(aq)}^{2-}$

ووفقًا لنظرية برونستد–لوري ، فإن الحمضين الموجودين في هذا التفاعل هما :

أ) HSO_4^{-} و HSO_3^{-} ب) HSO_4^{-} و H_2SO_3

ج) SO_4^{2-} و H_2SO_3 د) HSO_3^{-} و SO_4^{2-}

١٣- إذا كانت قيمة K_a لحمض الخليك $HC_2H_3O_2$ تساوي 1.8×10^{-5} وتركيزه $0.1\ M$ فأي الاستنتاجات التالية في محلوله صحيحة ؟

أ) $[H^+]\,[C_2H_3O_2^-] > [HC_2H_3O_2]$

ب) $[H^+]\,[C_2H_3O_2^-] = [HC_2H_3O_2]$

ج) $[H^+]\,[C_2H_3O_2^-] < [HC_2H_3O_2]$

د) $[H^+] > [C_2H_3O_2^-]$

١٤- يوضح الجدول التالي قيم K_a لعدد من الأحماض ، علمًا بأن لها نفس التركيز $0.1\ mol/L$:

الحمض	قيمة K_a
HF	6.6×10^{-4}
HCO_2H	1.8×10^{-4}
$HC_2H_3O_2$	1.8×10^{-5}
$HClO$	2.9×10^{-8}
HCN	6.2×10^{-10}

الترتيب الصحيح لهذه الأحماض حسب زيادة قيمة pH هو :

أ) HF ، HCO_2H ، $HC_2H_3O_2$ ، $HClO$ ، HCN

ب) $HC_2H_3O_2$ ، HCO_2H ، $HClO$ ، HCN ، HF

ج) $HClO$ ، HF ، $HC_2H_3O_2$ ، HCN ، HCO_2H

د) HCN ، $HClO$ ، $HC_2H_3O_2$ ، HCO_2H ، HF

١٥- أي الأملاح التالية ينتج محلولاً متعادلاً عند ذوبانه في الماء ؟

أ) NH_4Cl ب) $Ba(OH)_2$

ج) KCl د) $Ca(NO_3)_2$

١٦- محلول مائي لقاعدة ضعيفة B تركيزه $0.01\ mol/L$ ، وكانت قيمة K_b لها تساوي 1.6×10^{-9} ، فإن $[H_3O^+]$ في المحلول بوحدة mol/L تساوي :

أ) 4×10^{-5} ب) 4×10^{-6}

ج) 2.5×10^{-9} د) 2.5×10^{-10}

١٧- إضافة ملح نتريت الرصاص $Pb(NO_2)_3$ إلى محلول حمض النيتروز HNO_2 يؤدي إلى :

أ) خفض قيمة pH للمحلول الناتج .

ب) زيادة قيمة pH للمحلول الناتج .

ج) خفض قيمة K_{SP} لمحلول الحمض .

د) زيادة مقدار ما يتأين من محلول الحمض .

١٨- إذا كانت نسبة القاعدة AOH تركيزها $0.1\ M$ في المحاليل المائية تساوي 20% فإن قيمة ثابت التأين K_b لهذه القاعدة تساوي:

أ) 2×10^{-3} ب) 5×10^{-5}

ج) 2×10^{-5} د) 5×10^{-3}

السـؤال الثـاني :

١- فسّر ما يلي :

أ) يستدل على قوة الأحماض من قيمة ثابت تأينها K_a .

ب) محلول كلوريد البوتاسيوم متعادل التأثير على ورق تباع الشمس .

ج) المحلول الذي يحتوي على حمض الفورميك وفورمات الصوديوم يقاوم التغير في قيمة pH .

د) لا يتكون حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم عند إذابة ملح الطعام في الماء ، بينما يتكون حمض الاستيك وهيدروكسيد الأمونيوم عند إذابة اسيتات الأمونيوم في الماء . (مستعينًا بجدول قيم K_a ، وقيم K_b).

هـ) يزداد ترسيب كلوريد الفضة في محلول مشبع منها في حالة الاتزان مع أيوناته عند إضافة حمض الهيدروكلوريك .

و) اختلاف قيمة pH لكل من محلول $NaHSO_4$ و محلول $NaHSO_3$ على الرغم من لهما نفس التركيز $0.1\ mol/L$

ز) تعتبر الأيونات السالبة قواعد برونستد–لوري .

٢- يوضح الجدول الآتي قيم التأين الذاتي للماء K_w باختلاف درجات الحرارة :

درجة الحرارة (^oC)	قيمة K_w
25	1.0×10^{-14}
37	2.7×10^{-14}
60	9.6×10^{-14}

أ) هل التأين الذاتي للماء طارد للحرارة أم ماص للحرارة ؟ فسّر إجابتك .

ب) هل تتغير قيمة pH للماء عند تغير درجة الحرارة ؟ فسّر إجابتك .

٣- اشرح ما يحدث عند إضافة كمية كبيرة من حمض قوي أو قاعدة قوية إلى محلول منظم موضحًا ذلك بمعادلات كيميائية ، وفسّر ذلك .

السؤال الثالث :

١- يعتبر الانيلين $C_6H_5NH_2$ قاعدة ضعيفة ذات لون مميز وتشبه إلى حد ما الأمونيا، ومنذ القدم كانت تستخدم كإحدى الصبغات . احسب K_b للانيلين ، علمًا بأن تركيز محلول الانيلين يساوي $0.10\ M$ والرقم الهيدروجيني له يساوي 8.81 .

٢- الأسبرين حمض ضعيف الشكل (٨-١٧) ويستخدم كمسكن للآلام ومقاوم لجلطات الدم ، صيغته الجزيئية $H_8C_9O_4$:

$$H_8C_9O_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_9H_7O_4^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

فإذا أذيب قرصان من الأسبرين ، كتلة كل منهما $0.325\ g$ في الماء ، وكان حجم المحلول الناتج $200\ mL$ ، ما قيمة pH للمحلول ؟

علمًا بأن $K_a = 3.27 \times 10^{-4}$ للأسبرين .

الشكل(٨-١٧): الأسبرين

٣- احسب درجة حموضة pH للمحلول المنظم المحضر من خلط $515\ mL$ من محلول حمض الميثانويك تركيزه $0.005\ M$ مع $460\ mL$ من محلول ميثانوات البوتاسيوم تركيزه $0.001\ M$ ثم احسب قيمة pH هذا المحلول بعد إضافة $8.5\ mL$ من محلول حمض HCl تركيزه $0.002\ M$ إلى $85\ mL$ من المحلول المنظم .(علمًا بأن K_a لحمض الميثانويك يساوي 1.8×10^{-4}).

٤- اضيف $255\ mL$ من محلول كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ تركيزه $0.00016\ mol/L$ إلى محلول حجمه $456\ mL$ من كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 تركيزه $0.00023\ mol/L$ ، وضح هل يتكون راسب ؟ علمًا بأن K_{SP} لمحلول كبريتات الكالسيوم يساوي 3.6×10^{-5} .

السؤال الرابع :

١- يوضح الجدول التالي أمثلة لبعض الأدوية الطبية وهي عبارة عن قواعد ضعيفة :

اسم الدواء	قيمة K_b
أتروبين *atropine*	3.2×10^{-5}
مورفين *morphine*	7.9×10^{-7}
ارثروماسين *erythromycin*	6.3×10^{-6}

أ) رتّب هذه الأدوية ترتيبًا تصاعديًّا حسب قوتها القاعدية .
ب) احسب قيمة pH لكل منها إذا علمت أن تركيز محلول كل منها يساوي $0.1\ M$

٢- إذا علمت أن الرقم الهيدروجيني لبلازما الدم يساوي 7.4 عند درجة حرارة $25\ ^oC$:

أ) هل بلازما الدم حمضية أم قاعدية أم متعادلة ؟ فسّر إجابتك .
ب) احسب كلاّ من $[OH^-]$ ، $[H_3O^+]$ في بلازما الدم .

٣- إذا كان ثابت تأين K_a حمض النيكوتينك C_5NH_4COOH يساوي 1.4×10^{-5} ، احسب تركيز $[H^+]$ في محلول حجمه $500\ mL$ يحتوي على $0.48\ mol$ من الحمض .

٤- ما كتلة كربونات الصوديوم اللازم إذابتها في محلول حجمه $300\ mL$ يحتوي على $0.01\ M$ من حمض الكربونيك لعمل محلول منظم قيمة pH له تساوي 4.55 ؟

السـؤال الخامس :

١- لديك أربعة محاليل مائية لبعض الأحماض الضعيفة بتراكيز متساوية $(0.1\ M)$ لكل منها . بالاعتماد على المعلومات الواردة عن كل حمض في الجدول المقابل ، أجب عما يلي :

صيغة الحمض	المعلومات
HA	$[A^-]=7\times10^{-6}M$
HB	$pH=4$
HC	$K_a = 4.5\times10^{-4}$
HD	$K_a = 6.4\times10^{-5}$

أ) احسب قيمة K_a لكل من الحمضين : HA ، HB .
ب) أي القاعدتين المرافقتين أقوى : C^- أم D^- ؟ ولماذا ؟
ج) ماذا يحدث لقيمة pH للحمض HB إذا خففنا التركيز إلى $0.05\ M$ (تقل، تزداد ، تبقى ثابتة) ؟
د) اكتب معادلة تفاعل الحمض HC مع القاعدة NH ، حسب نظرية برونستد–لوري ، وحدد الزوجين المرافقين من الحمض والقاعدة في معادلة التفاعل نفسه.

٢- تم تحضير محلول منظم من الحمض H_2CO_3 والملح $NaHCO_3$ بالتركيز نفسه ، فإذا كان $[H_3O^+]$ في المحلول يساوي $4.0\times10^{-7}\ M$ ، ويتأين الحمض في الماء كما في المعادلة الآتية :

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(aq)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

أجب عما يلي :
أ) احسب قيمة ثابت التأين K_a للحمض H_2CO_3 .
ب) اكتب صيغة الأيون المشترك .

٣- ادرس التفاعلات الآتية ثم أجب عن الأسئلة التي تليها :

1- $(C_6H_5)_3C^-_{(aq)} + C_4H_4NH_{(aq)} \rightleftharpoons (C_6H_5)_3CH_{(aq)} + C_4H_4N^-_{(aq)}$

2- $HC_2H_3O_{2(aq)} + HS^-_{(aq)} \rightleftharpoons H_2S_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$

3- $O^{2-}_{(aq)} + (C_6H_5)_3CH_{(aq)} \rightleftharpoons (C_6H_5)_3C^-_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

4- $C_4H_4N^-_{(aq)} + H_2S_{(aq)} \rightleftharpoons C_4H_4NH_{(aq)} + HS^-_{(aq)}$

أ) حدد كلا من : الحمض ، القاعدة ، الحمض المرافق ، القاعدة المرافقة في كل التفاعلات السابقة .
ب) صمم جدولاً توضح فيه كل الأحماض والقواعد في التفاعلات السابقة ، علمًا بأن الأحماض في التفاعلات السابقة مرتبة حسب انخفاض القوة النسبية لها .

٤- حمض الكربونيك H_2CO_3 حمض ضعيف ثنائي البروتون ، يتأين كالآتي :

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

$$K_{a_1} = 4.2 \times 10^{-7}$$

$$HCO_3^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

$$K_{a_2} = 4.8 \times 10^{-11}$$

أجب عما يلي :

أ) احسب تركيز أيون H_3O^+ في محلول الحمض تركيزه $0.037\ M$.

ب) ما قيمة pH لمحلول الحمض ؟

ارتباط الكيمياء بالمهن

Chemistry on The Jobs

تعد الكيمياء مركز للعلم في نظر الكثيرين، فهو يختص بدراسة المواد وتركيبها وبنيتها وخواصها وتفاعلاتها، وتساعد على شرح العالم المادي من حولنا، إلى جانب أنها تلعب دوراً هاماً في حياتنا. لقد ساهم علماء الكيمياء بشكل كبير في التطورات التكنولوجية للمجتمعات وقدموا إسهامات كثيرة في دراسة المركبات والعناصر الموجودة في الطبيعة.

نقدم لك المعلومات من أجل مساعدتك على دخول سوق العمل في العلوم الكيميائية عن طريق إعطاء وصف في المهن الكيميائية ، إضافة لتوضيح الخيارات المتوفرة أمام الحاصلين على درجات عليا في العلوم الكيميائية.

الهندسة البيئية : Environmental Engineering

هذا التخصص يطبق مبادئ العلوم و الهندسة لتوفير بيئة يتوفر بها الهواء النقي و الماء و الأرض الصالحة لتكون محيط و بيئة صالحة لعيش الإنسان و الكائنات الأخرى، من خلال هذا التخصص يتم الحد من التأثير السلبي الناتج عن التلوث البيئي من خلال نشر التوعية و الإصلاح و وضع النظم و القوانين التي تحد من التلوث البيئي ويتم أيضا الحفاظ على المصادر و الثروات الطبيعية دون تلويثها و إساءة استخدامها عن طريق تطبيق سياسات عديدة كإعادة الاستخدام و التدوير و المعالجة للفضلات .

الكيمياء الزراعية : Agricultural Chemistry

تركز الكيمياء الزراعية على التركيبات الكيميائية والتغيرات التي تحدث في عملية إنتاج وحماية واستغلال المحاصيل والمواشي، وهي تهدف إلى التحكم بالعمليات التي ينتج الإنسان بواسطتها لنفسه الطعام والألياف والأعلاف للحيوانات من أجل زيادة المحاصيل وتحسين جودة المنتجات وتخفيض تكلفة التصنيع. يدرس أخصائي الكيمياء الزراعية أسباب ونتائج التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تتعلق بتنمية النبات والحيوان، كما يسعى لإيجاد وسائل للسيطرة على هذه التفاعلات وتحسين المنتجات الكيميائية التي تقدم العون في السيطرة على تلك التفاعلات.

ارتباط الكيمياء بالمهن

Chemistry on The Jobs

الكيمياء التحليلية : Analytic Chemistry

يقوم اخصائي الكيمياء التحليلية بدراسة المعلومات حول تركيب وبنية المادة ومعالجتها بالإضافة إلى دراسة نوعية وكمية المواد الكيميائية .كما يلجأ للاختبار والتعريف والعزل والتركيز وحفظ العينات ووضع حدود للأخطاء والتأكيد على النتائج من خلال التحديد وتوحيد المقاييس . ويسعى من خلال معرفته وإلمامه بالكيمياء والحاسوب والإحصاء لعلاج الصعوبات في كل حقول الكيمياء تقريباً، فهو يستخدم القياس على سبيل المثال للتأكد من الالتزام بالمعايير البيئية وأية تعليمات أخرى، والتحقق من شروط الجودة والأمان في إنتاج المواد الغذائية والعقاقير الطبية والمياه والوقوف إلى جانب الإجراءات القانونية ومساعدة الأطباء على تشخيص الأمراض والابتعاد عن المقاييس الكيميائية المعتمدة في التجارة.

الطب الشرعي : Forensic medicine

يعمل المختص بالطب الشرعي بشكل عام على تحليل الأدلة التي تُرفع من مسارح الجرائم ويتوصلون لاستنتاجات مبنية على الاختبارات التي يجرونها على الأدلة التي بحوزتهم، كما أن مهمته تتمثل في تعريف الدليل كجزء من عملية أكبر على طريق حل الجريمة.

المراجع العربية

١–قنديل ، عبد الحكيم طه ،(٢٠٠٦م) أساسيات الكيمياء ، الطبعة الأولى ، مصر - القاهرة : دار الفكر العربي.

٢–الكيمياء للصف الثاني عشر من التعليم العام (٢٠٠٥م) ، الطبعة الثالثة ، وزارة التربية والتعليم ، سلطنة عمان .

٣–الكيمياء للصف الحادي عشر من التعليم العام (٢٠٠٥م) ، الطبعة الأولى ، وزارة التربية والتعليم ، سلطنة عمان .

٤–الكيمياء للمرحلة الثانوية / الفرع العلمي - المستويان الأول والثاني ، (٢٠٠٦م) وزارة التربية والتعليم ، المملكة الأردنية الهاشمية .

٥– عادل جرار ، كمال أبو داري ، فواز الخليلي (١٩٩٧) الكيمياء العامة ، الطبعة الثالثة ، الأردن -عمّان: دار حنين ، مكتبة الفلاح .

٦– أبراهيم الخطيب ، مصطفى إعبيد ، فواز الخليلي (٢٠٠٨) الكيمياء العامة ، الطبعة الثالثة ، الأردن - عمّان : دار المسيرة .

٧– الكتاب المرجع في الكيمياء للمرحلة الثانوية (الجزء الثاني) - الزامل ، الخويطر ، الحجاجي - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم .

٨– أحمد مدحت سلام ، مصطفى محمود عمارة (٢٠٠٠) أسس الكيمياء العامة وغير العضوية ، القاهرة .

المراجع الأجنبية

1- Antoney C. Wilbraham & others .(2002) .Chemistry Addison -wesley , Prentice hall. USA: New Jersey.

2- Rady J.& Holum J.(1998) Fundamentals of chemistry (3rd ed.). USA: Wiley.

3- HN Suckocki .(2001). Conceptual Chemistry, understanding our world of atoms and molecules. Addison -Wesley. USA .

4- Lugston M.& Flemming R.(2000). Advanced chemistry . oxford University Press . New York .

5- R. Frank Jenkins & others .(2002) .Nelson .Chemistry 11.Canada .

6- Avis, Metcalfe, William, Castka (2006). Modern Chemistry. USA: Holt-Rinehart & Winston.

7- Otz & Treichel .(1999).Chemistry and chemical reactivity (4th ed). Sanderscollege Puplishing: Canada & USA

8- H.Eugene LeMay, Jr & others (2002).Chemistry connections to our changing world .USA : Pritice Hall .

9- Strom C. & others (2002). Chemistry, concepts and applications. USA: Glencoe - McGraw-Hill.

10- Maitland Jones, Jr.(1997). Organic Chemistry Princeton University , London .UK.

11- Hodder and Stoughton, Chemistry Counts, second edition , UK.

12- Earl and LDR Wilford, (2003). GCSE Chemistry . second (2nd ed) , UK.

13- Peter D Riley (2005). Chemistry, London, UK.

14- Lawire Ryan, (2001). Chemistry for you, second edition, Nelson Thornes, UK.

15- Atkins P. Jones. L., Chemical Principles, W.H. Freeman and Company, New York.

16- Brady E. , (1988). Fundamentals of Chemistry, Wiley, USA.

17- John C. Kotz, (1999). Chemistry and Chemical Reactivity. Harcount Brace College, USA.

18- Zumdahl S (1989). Chemistry, Second Edition, Canada.

المواقع الالكترونية

1- *http://members.aol.com/profchm/limits.html*

2- *http://genchem.chem.wisc.edu/sstutorial/Text 11/Tx116/tx116.html*

3- *http://www.ausetute.com.au/ppteeqtn.html*

4- *http://wine.sb.fsu.edu/chm1045/notes/Stoich/Limiting/Stoich07.htm*

5- *http://www.chemistry.nmsu.edu/studntres/chem116/notes/titrations.html*

6- *http://www.usoe.k12.ut.us/curr/science/sciber00/8th/matter/sciber/chemtype.htm*

7- *http://www.angelfire.com /bc2/OrgChem/l*

8- *http://www.kentchemistry.com/esm_mcmurry_chemistry_4/0,7623,620140-,00.html*

9- *http://faculty.concordia.ca/bird/C206/notes/Chapter15.html*

10- *http://www.answers.com/topic/buffer-solution-2*

11- *http://www.chemguide.co.uk/physical/acidbaseeqia/buffers.html*

12- *http://www.caudh.edu/oliver/chemdata/buffers.htm*

13- *http://www.library.thinkquest.org/12596/ideal.html*

14- *http://www.mpcfaculty.net/mark_bishop/real_gases.htm*

15- *http://chemed.chem,purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch4/deviation.php*

16- *http://members.aol.com/profchm/realgas.html*

17- *http://nvcc.edu/alexandria/science/MVO00,htm*

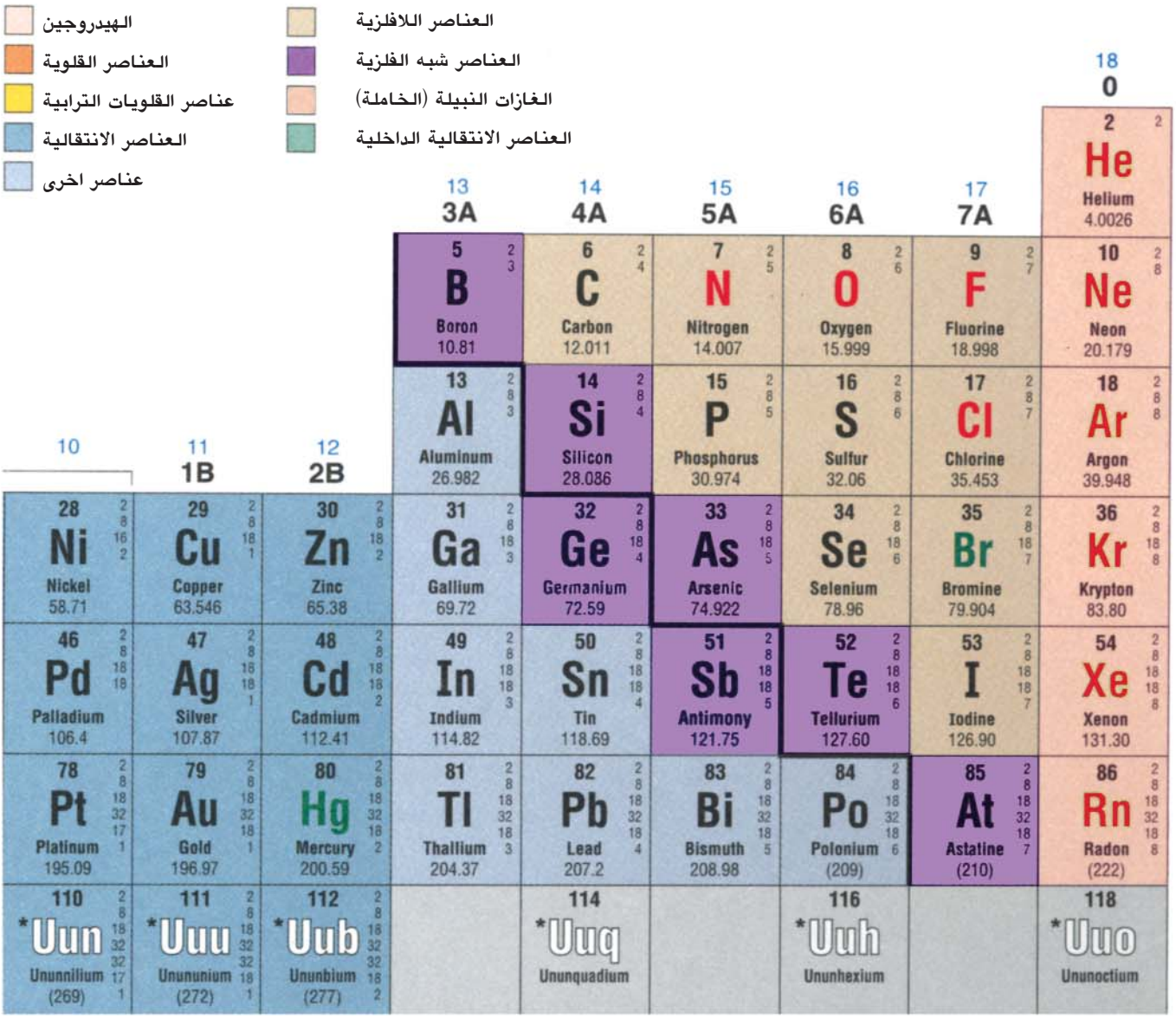
18- *http:// library.thinkquest.org/C006669/data/Chem/gases/graham.html*

19- *http://www.4um.com/tutorial/science/gas2.htm*

20- *http:/wiki.answers.com/Q/Explain_the_difference_between_effusion_and_diffusion*

(ملحق)
الضغط البخاري للماء عند درجات الحرارة المختلفة

درجة الحرارة C^o	الضغط البخاري torr	درجة الحرارة C^o	الضغط البخاري torr	درجة الحرارة C^o	الضغط البخاري torr	درجة الحرارة C^o	الضغط البخاري torr
0	4.58	26	25.2	51	97.2	76	301.4
1	4.93	27	26.7	52	102.1	77	314.1
3	5.68	28	28.3	53	107.2	78	327.3
4	6.10	29	30.0	54	112.5	79	341.0
5	6.45	30	31.8	55	118.0	80	355.1
6	7.01	31	33.7	56	123.8	81	369.7
7	7.51	32	35.7	57	129.8	82	384.9
8	8.04	33	37.7	58	136.1	83	400.6
9	8.61	34	39.9	59	142.6	84	416.8
10	9.21	35	41.2	60	149.4	85	433.6
11	9.84	36	44.6	61	156.4	86	450.9
12	10.5	37	47.1	62	165.8	87	468.7
13	11.2	38	49.7	63	171.4	88	487.1
14	12.0	39	52.4	64	179.3	89	506.1
15	12.8	40	55.3	65	187.5	90	525.8
16	13.6	41	58.3	66	196.1	91	546.0
17	14.5	42	61.5	67	205.1	92	567.0
18	15.5	43	68.4	68	214.2	93	588.6
19	16.5	44	68.3	69	223..7	94	610.9
20	17.5	45	71.9	70	233.7	95	633.9
21	18.6	46	75.6	71	243.9	96	657.6
22	19.8	47	79.6	72	254.6	97	982.1
23	21.1	48	83.7	73	265.7	98	707.3
24	22.4	49	88.8	74	277.2	99	733.2
25	23.8	50	92.5	75	289.1	100	760.0
						101	787.6

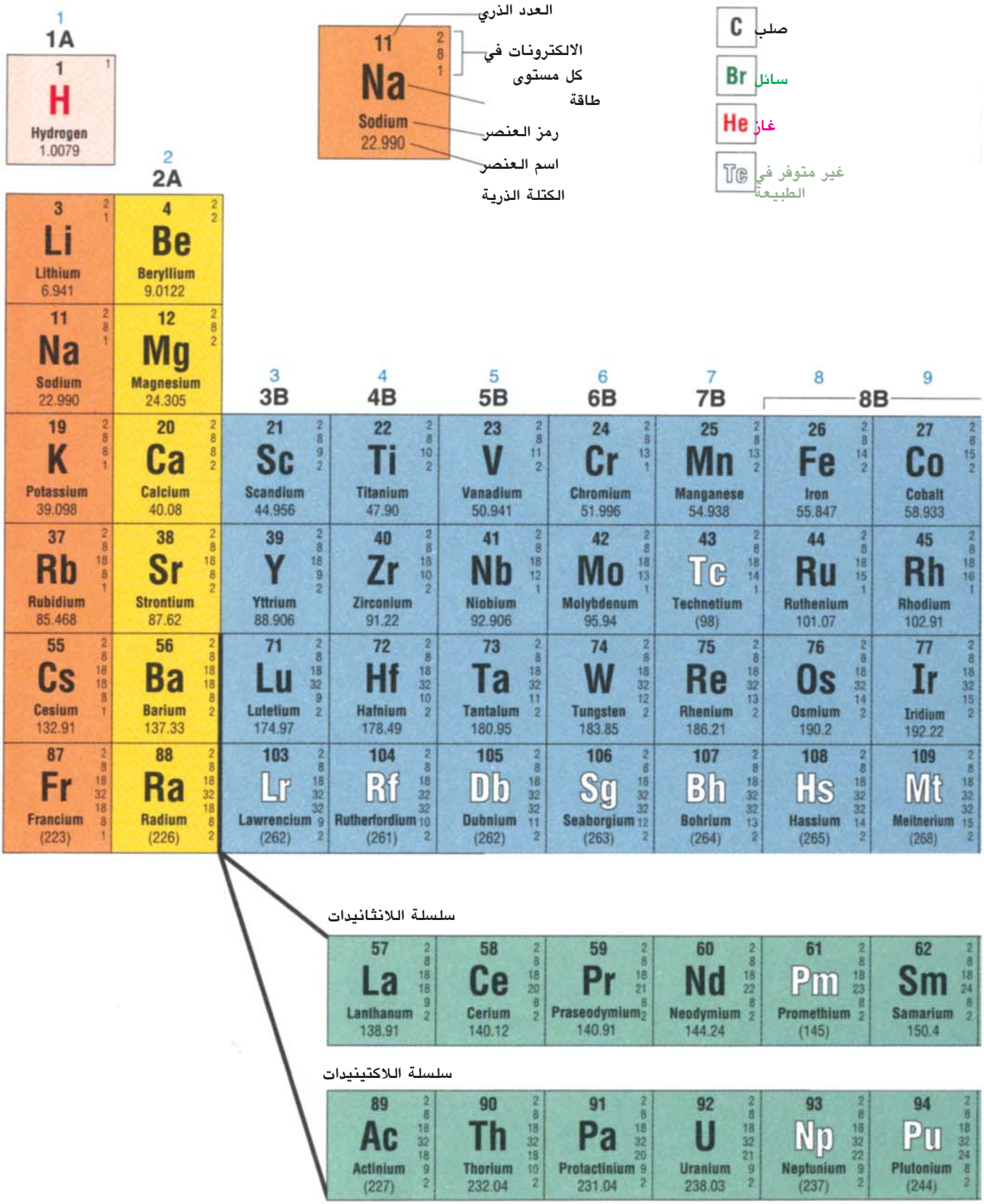


× الاسم لم يعيّن رسمياً

63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04

95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)

الحالة عند درجة حرارة $20\ ^0C$



رقم الإيداع :/٢٠٠٨م

www.moe.gov.om

عزيزي الطالب: محافظتك على كتابك المدرسي قيمة حضارية

في حالة الطلب الاتصال بسلطة عمان هاتف: ٢٤٤١٨٧٧٧