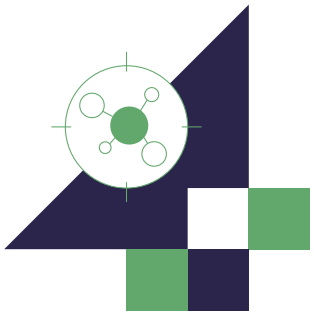
وزارة التعليم
Ministry of Education
موهبة
Mawhiba
نسمو
NSMO

أولمبياد العلوم والرياضيات الوطني "نسمو"

الحقيبة العلمية للمرحلة الرابعة
نهـــائيـــــات "نسمـــو"2026



العلــوم

أحياء

عزيزي الطالب عزيزتي الطالبة:

مؤسسة الملك عبدالعزيز ورجاله للموهبة والإبداع "موهبة" هي مؤسسة حضارية غير هادفة للربح ، أسسها خادم الحرمين الشريفين الملك عبدالله بن عبدالعزيز آل سعود - رحمه الله – عام ١٤١٩ هـ /١٩٩٩م ، تسعى إلى إيجاد بيئة محفزة للموهبة والإبداع، وتعزيز الشغف بالعلوم والمعرفة، لبناء قادة المستقبل من خلال منهجية، وفق أحدث الأساليب العلمية وأفضل الممارسات العالمية في تعليم الموهوبين والمبدعين، لاستثمار طاقاتهم وتمكينهم؛ كونهم الرافد الأساس لازدهار الانسانية، وتسعى موهبة إلى دعم الرؤية بعيدة المدى للإبداع والموهبة ورعايتها في المملكة بما يوائم تطلعات وطموح أهداف رؤية ٢٠٣٠ في تطوير القدرات البشرية الموهوبة واعداد جيل قادم يكون عماد الإنجاز وأمل المستقبل، وعليه تؤمن موهبة بأن الاستثمار في تعليم الموهوبين ليس رفاهية ولا عملًا نخبويًّا بل ضرورة للارتقاء بمعايير عالية الجودة في تعزيز قدراتهم حتى يسهموا في بناء مجتمعهم ليصبحوا قادة المستقبل، كما تتمتع موهبة بخبرات طويلة في تنفيذ العديد من البرامج للطلبة الموهوبين والمبدعين فهي تمثل دوراً رئيسًا في المنظومة المؤسساتية الحالية الداعمة لتعليم الموهوبين في المملكة وتتكامل مع نظام التعليم الوطني من خلال برامج التعرف والرعاية الشاملة والمتكاملة للموهوبين وتبادل الخبرات بما يخص التخطيط والتطبيق القيّم مع المعنيين مثل وزارة التعليم والمؤسسات الأكاديمية العالمية حول كيفية تصميم البرامج والمبادرات وتقديمها من خلال ممارسات تربوية متقدمة.

ونظرا لأن المسابقات العلمية لم تعد ترفاً يمكن الاستغناء عنه، بل أصبحت معادلاً موضوعياً للتفوق والتقدم في المجالات العلمية، ولأنه مع زخم المنافسة للصعود على منصات التتويج أصبح على كل من يريد أن يحقق ذلك أن يسلك كافة السبل التي تتيح له ليس فقط الوصول إلى تلك المنصات بل حجز مكان دائم عليها.

وبين يديك الآن الحقيبة التدريبية الأساسية والتي من خلالها نتعرف بشكل مبدئي على طبيعة موضوعات وأسئلة المسابقات والأساسيات الواجب توافرها حتى ندخل في مرحلة الاتقان التي تضعك على أول طريق المنافسة لنيل شرف تمثيل الوطن في المسابقات الدولية.

ولقد حرصنا في هذه الحقيبة أن نقدم لكم المادة العلمية بلغة سهلة وجذابة تدفع شغفكم الى نقاط ابعد وعوالم أخرى من التحدي والاستمتاع بالتعلم. ولعله من المناسب ان نستعرض لك ادناه رحلتك التي بدأتها معنا من مسابقة موهوب وبإذن الله تستمر حتى نحقق احلامك.

الأهداف العامـــــــة.

١- بناء مفاهيم أساسية لعلم الأحياء في اتجاه الاستعداد للمشاركة في المسابقات.
٢- تأسيس الطالب ليتمكن من مواصلة دراسة أحياء الأولمبياد.
٣- إثراء الميدان بمادة علمية تدعم شغف المهتمين بأحياء الأولمبياد.
٤- نشر ثقافة الأولمبياد.

الأهداف الخاصـــــــة.

١- أن يعرف الطالب قوانين مندل وتطبيقاتها.
٢- أن يصف الطالب التركيب الكيميائي للمادة الوراثية وآلية تكوين البروتين.
٣- أن يعرف الطالب الوراثة البشرية وتطبيقاتها.
٤- أن يصف الطالب الطفرات الجينية، وأنواعها وأسبابها وأهميتها.
٥- أن يعرف الطالب التطبيقات المتنوعة للهندسة الوراثية في حياتنا.

كيف بدأ علم الوراثـــــة؟

- نجح **العالم مندل** في حل لغز الوراثة بسبب المخلوق الحي الذي اختاره وهو نبات البازلاء.

استخدم مندل نبات البازلاء في التجارب:

- لسهولة زراعتة ونموه وإنتاجه المستمر.
- الافراد تحمل شكلاً واحداً من الصفة (الصفات المتضادة) .
- إمكانية حدوث التلقيح الذاتي : اتحاد مشيج مذكرمع مشيج مؤنث من الزهرة نفسها .
- إمكانية حدوث التلقيح الخلطي : انتقال مشيج مذكر (حبة لقاح) من زهرة نبات إلى مشيج مؤنث في نبات آخر.
- كون مندل فرضية تتعلق بتوارث الصفات التي هجنها ومن هنا بدأت دراسة علم الوراثة

علم الوراثة : هو العلم الذي يدرس انتقال الصفات من جيل إلى آخر.

تجربة مندل

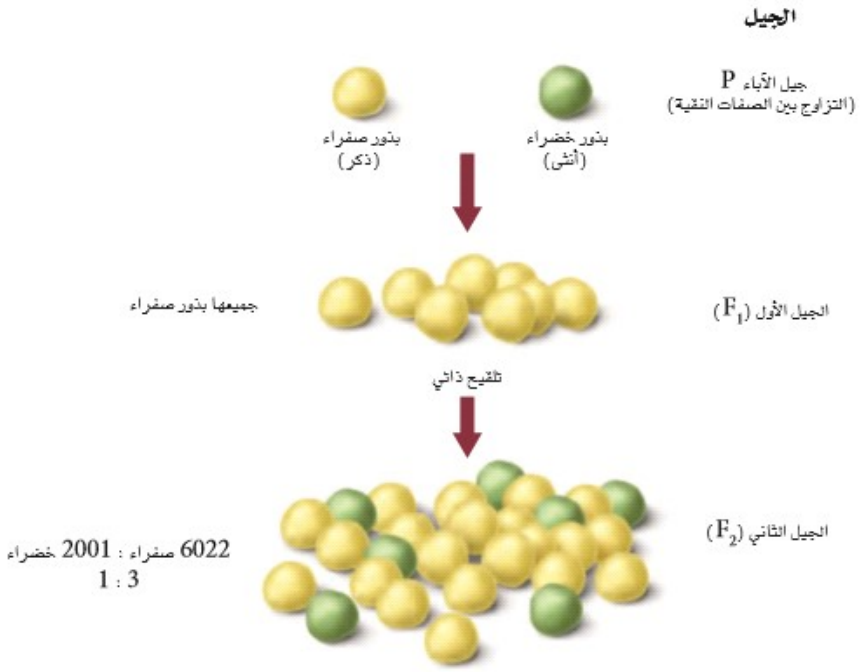
- قام مندل بعمل تلقيح خلطي بين نباتين أحدهما أزهاره بنفسجية نقي وآخر أزهاره بيضاء نقي ، ومن خلال التجربة وضع مندل بعض المصطلحات الوراثية:

- **جيل الآباء P :** ممثل في تلقيح خلطي لنبات بنسجي الأزهار مع نبات أبيض الأزهار نقي .
- **الجيل الأول F1 :** جميع السلالة الناتجة بنفسجية الأزهار .
- **الجيل الثاني F2 :** السلالة الناتجة كونت أزهار بنفسجية وبيضاء بنسبة ٣ : ١

مصطلحات وراثية :

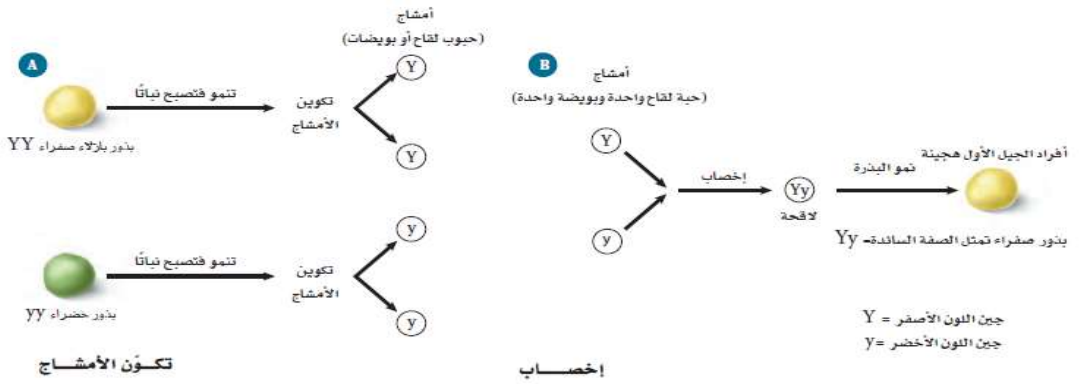
- **صفة سائدة :** الصفةالتي تظهر في الجيل الأول. في التجربة كانت الأزهار البنفسجية.
- **جين سائد:** هو الجين الذي يحمل الصفة السائدة ، **ويرمز له بالحرف الكبير(Y)**
- **صفة متنحية :** الصفة التي لا تظهر في الجيل الأول وتظهر في الجيل الثاني، في التجربة كانت الأزهار البيضاء

- **جين متنحي:** هو الجين الذي يحمل الصفة المتنحية، **ويرمز له بالحرف الصغير (y).**
- **متماثل الجينات :** YY أو yy (صفة نقية) يحمل زوج متماثل من الجينات. كل جين على كروموسوم.
- **غير متماثل الجينات :** Yy (صفة هجينة) يحمل جينان غير متماثلان. كل جين على كروموسوم.
- **الجينات المتقابلة :** جينان متقابلان كل جين من أب يحملان نفس الصفة.
- **الطراز الجيني :** هو أزواج الجينات المتقابلة للصفة في المخلوق الحي.
- **الصفة السائدة يكون لها طرازين جينيين (YY) أو (Yy)**
- **الصفة المتنحية هي دائما متماثلة الجينات (نقية).**
- **الطراز الشكلي :** هو الشكل الظاهري للصفة. طويل – مجعد – أبيض .....

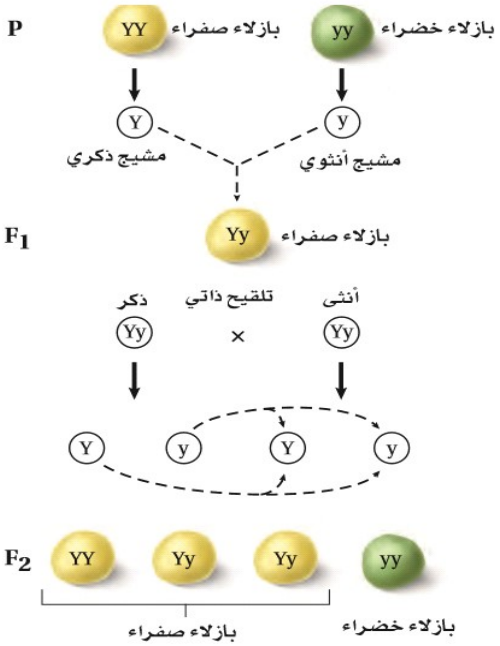


- **قانون مندل الأول (قانون انعزال الصفات):**

تمثل كل صفة بزوج من الجينات ينفصلان عن بعضهما البعض عند تكوين الأمشاج.



التلقيح أحادي الصفة :

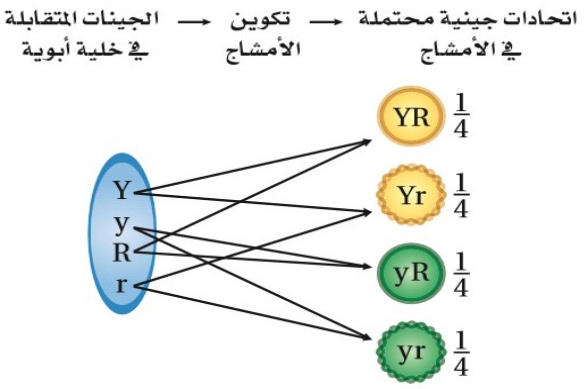


- يقصد بالتلقيح أحاي الصفة :عملية التزاوج بين جينات لصفة واحدة لنباتين مثلا (الطول - لون البذور ..)
- في تجربة مندل عندما ترك أفراد الجيل الثاني(Yy) تلقح نفسها ذاتيا كونت نوعين (Y) أو (y).
- تتحد هذه الأمشاج عشوائيا لتنتج الطرز الجينية التالية: yy , Yy , Yy , YY .
- نسبة الطرز الجينية : 1:2:1 ونسبة
- الطرز الشكلية 3:1 صفراء البذور إلى خضراء البذور.

التلقيح ثنائي الصفة

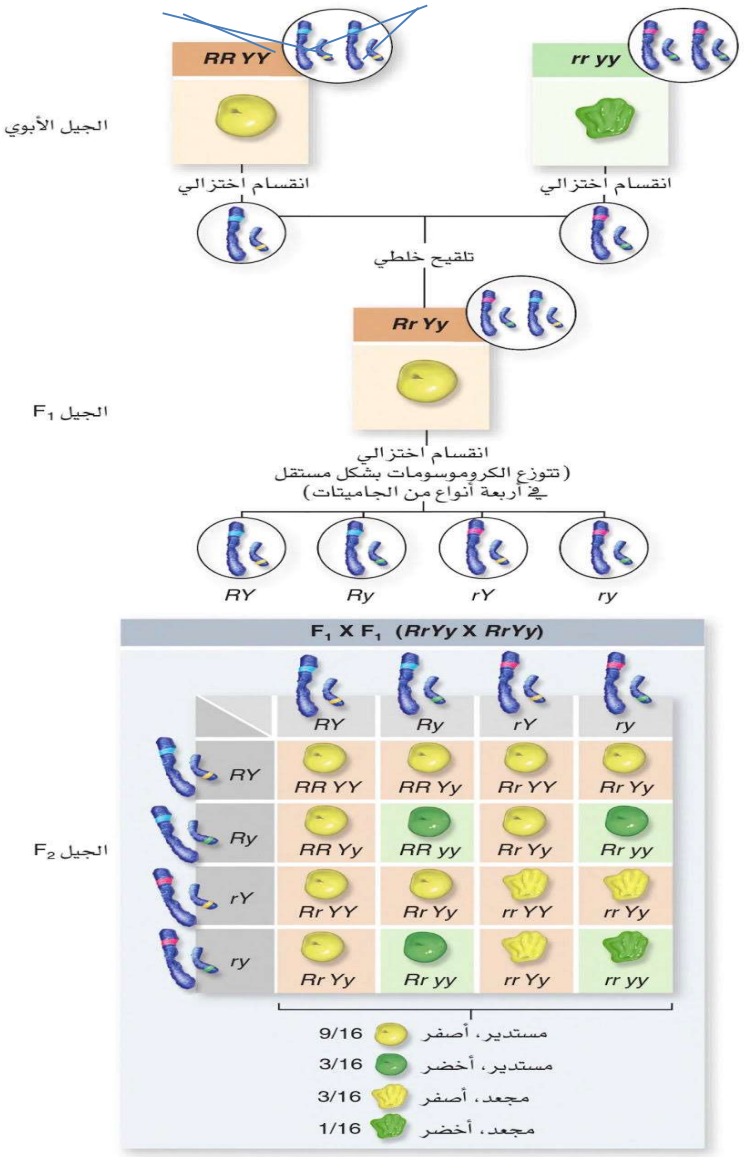
- بعد نجاح العالم مندل في تجربة الصفة الواحدة بدأ في اختبار وراثة صفتين أو أكثر في النبات نفسه.
- في نبات البازلاء تعد صفة البذور المستديرة (R) سائدة على صفة البذور المجعدة (r) كما هو الحال في صفة لون البذور.

ملاحظة : عدد الجينات داخل الأمشاج يساوي دائما عدد الصفات ، مثلا عند دراسة صفتين فإن كل مشيج يحتوي على جينين و عند دراسة ٣ صفات فإن كل مشيج يحتوي على ٣ جينات وهكذا.



قانون التوزيع الحر :

عند تزاوج فردان يحملان أكثر من صفة فإن الجينات تتوزع توزيعا حرا ومستقلا عند تكوين الأمشاج في الانقسام المنصف.



- عند تلقيح نبات بذوره صفراء مستديرة (YYRR) مع نبات بذوره خضراء مجعدة (yyrr) ستكون جميع الطرز للجيل الأول كالتالي : بذور صفراء مستديرة (هجين) (YyRr).
- إذا حدث تلقيح ذاتي بين أفراد الجيل الأول (YyRr) ينتج ٤ أمشاج توزعت توزيعا عشوائيا لكل من الأبوين كالتالي : (YR) (Yr) (yR) (yr)
- ينتج عن هذا التلقيح تسعة طرز جينية مختلفة كالتالي :

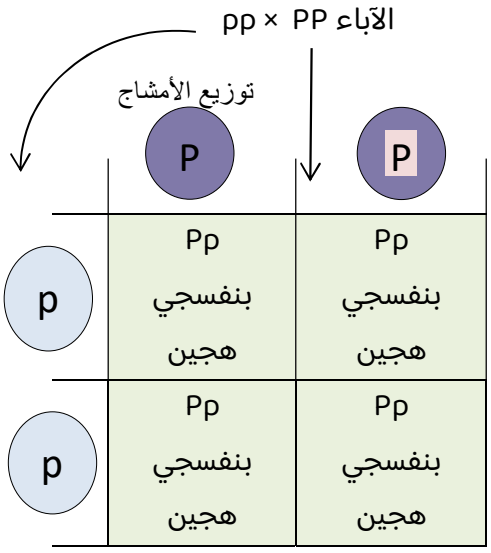
YYRR, YYRr, yyrr, YyRR, YyRr, Yyrr, yyRR, yyRr ,yyrr

- تكون النسب الشكلية للجيل الثاني : 1:3:3:9

مربع بانيت : استخدام شكل مربع ليسهل توقع الأبناء المحتملين.

تطبيـــق:

حدث تلقيح خلطي بين نباتين أحدهما أزهاره بنفسـجية PP والآخر أزهاره بيضـاء pp فما هي احتمالات الأبناء.



- **يعد عبور الجينات مصدرا لتنوع الصفات**
- **التراكيب الجينية الجديدة :** هي التراكيب الناتجة عن ارتباط الجينات الجديدة الناتجة عن العبور والتوزيع الحر
- **يمكن حسـاب التراكيب الجينية الجديدة باسـتخدام المعادلة (2^n)،** مثلا في نبات البازلاء عدد الأزواج الكروموسومية 7 أزواج وتحسب كالتالي :

$2^7 = 128$ لكل مشيج وعند التلقيح : 128×128=16384 تركيباً.

تعدد المجموعة الكروموسومية

١- ثنائي المجموعة الكروموسومية

- يملك مجموعة ثنائية من الكروموسومات مثل : الإنسان

٢- متعدد المجموعة الكروموسومية

- هي وجود مجموعة إضافية واحدة أو أكثر من الكروموسومات في المخلوق الحي
- من أمثلة الكائنات متعددة المجموعة الكروموسومية القمح (6n) الشوفان(6n) قصب السكر (8n)
- في النباتات تعدد المجموعة الكروموسومية يزيد من مناعة النبات ويحسن من إنتاجه.

تطبيـــق:

١- حدث تلقيح خلطي بين نباتي بازلاء أحدهما أزهاره بنفسجيةPp والآخر أزهاره بيضاءpp، فما الطرز الجينية والمظهرية للأبناء؟

طبق قانون مندل الأول ثم حاول الحل..

٢- اكتب الأمشاج الناتجة من الطراز الجيني TtRr بعد نهاية الانقسام المنصف؟

٣- كم عدد الأمشاج الناتجة من الطراز الجيني BBRrTt؟

٤- كم عدد الجينات في كل مشيج متكون من الطراز الجيني BbRRttHh ؟

تدريب١ :

عند تزاوج أرنب أسود (Bb) مع أرنب أبيض (bb) فما نسبة الطراز الشكلية الناتجة؟	
A	0 اسود: ١ ابيض
B	1 اسود: ٠ ابيض
C	1 اسود: ١ ابيض
D	3 اسود: ١ ابيض

تدريب٢:

إذا كان التركيب الجيني لنبات ما (TtRR) ، فما نوع الأمشاج التي يكونها ؟	
A	Tr ,TR
B	RR , Tt
C	TR ,tR
D	TR , Tr

تدريب٣ :

أحد التراكيب الوراثية الآتية يعتبر هجيناً للصفتين :	
A	Rrss
B	RrSs
C	RRSs
D	RRss

تدريب٤ :

عند تزاوج قطة مجعدة الأذنين مع قط غير مجعد الأذنين كانت جميع القطط الصغيرة التي ولدت غير مجعدة الأذنين. وعند تزاوج الأبناء بعضهم مع بعض كانت نسبة الطرز الشكلية ٣ غير مجعدة: ١ مجعدة الأذنين. لذا تعد صفة الأذن المجعدة:	
A	مشتركة
B	سائدة
C	متنحية
D	ناقصة

تدريب ٥:

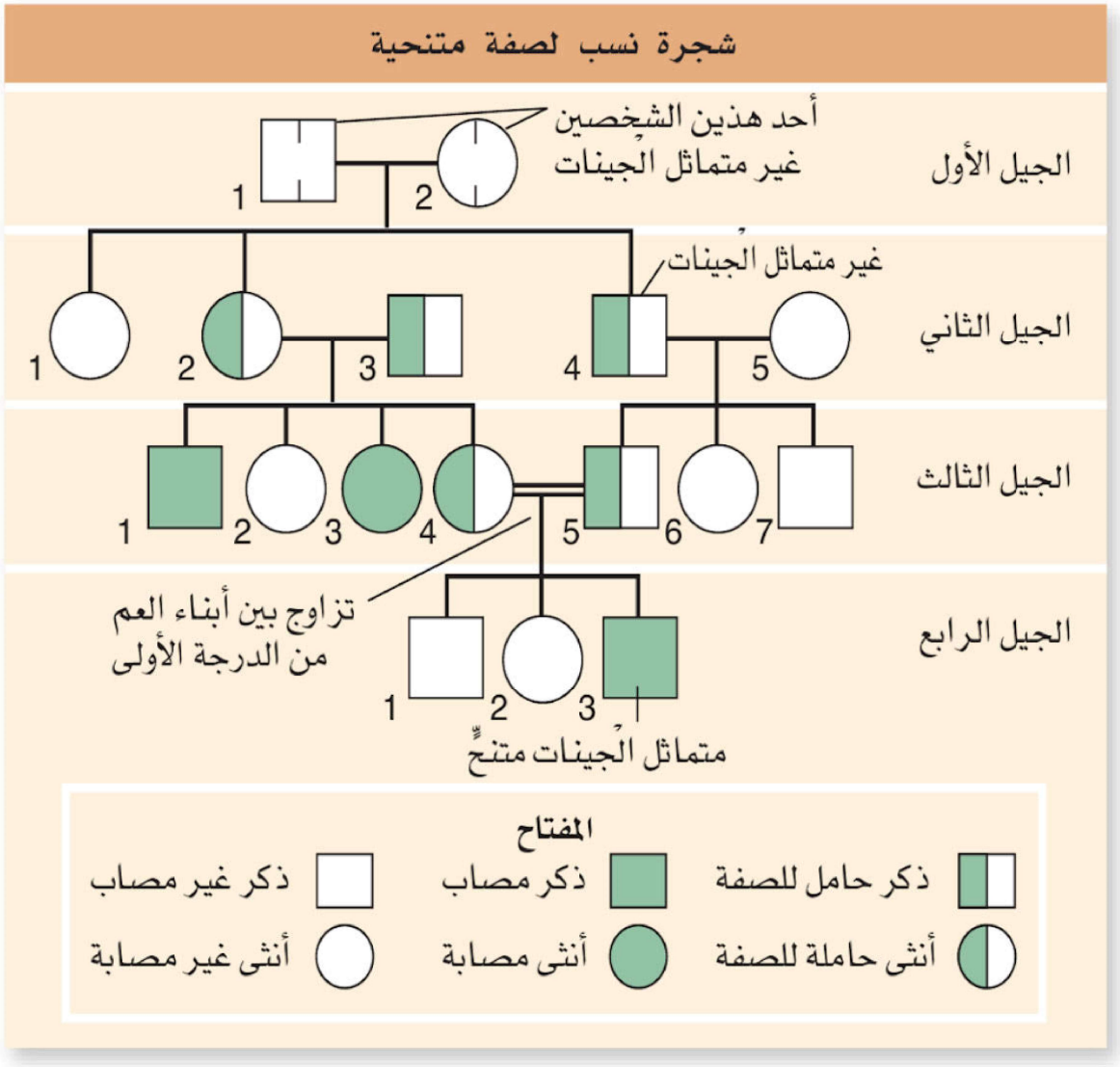
أي المفاهيم التالية لا ينطبق عليه قانون مندل الثاني (التوزيع الحر)	
A	العبور الجيني
B	الجينات المرتبطة
C	تعدد الكروموسومات
D	قانون التوزيع الحر

تدريب ٦ :

يمكن حساب التراكيب الجينية المحتملة للجينات الناتجة عن التوزيع الحر باستخدام المعادلة :	
A	2^n
B	4^n
C	6^n
D	8^n

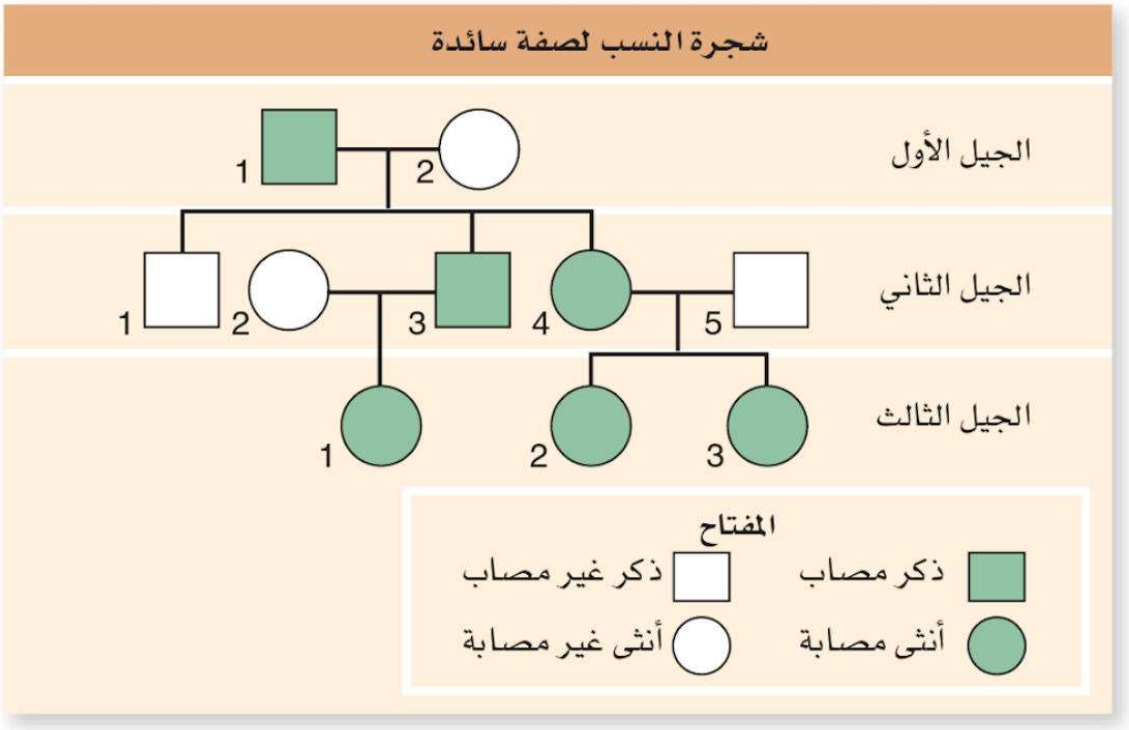
مخطط السلالة

- هو شكل يتتبع وراثة صفة معينة خلال عدة أجيال. ويستخدم مخطط السلالة رموزًا لتوضيح وراثة الصفة. حيث يُمثّل الذكور بالمربعات، وتُمثل الإناث بالدوائر.
- يدرس العلماء تاريخ العائلة(شجرة النسب) باستخدام مخطط السلالة .



تحليل مخطط السلالة

- مخطط السلالة لمرض متنحي
- في الجيل الثاني كان من المحتمل أن يولد طفل مصاب لو التقاء الجينين المتنحيين.
- بما أن الأبوين 2 و 3 في الجيل الثاني سليمين وأنجبا إبنا مصاباً إذاً هما حاملين سليمين .
- الإبن 3 في الجيل الرابع ولد مصاباً بالمرض المتنحي بسبب التقاء الجينين المتنحيين للآباء.



تحليل مخطط السلالة

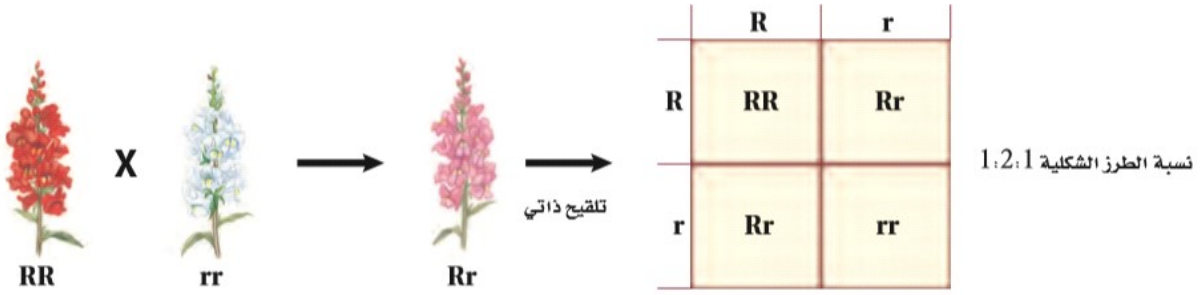
- مخطط السلالة لمرض سائد
- في مخططات السلالة لصفة أو مرض سائد لا يمكن أن يكون أحد الأفراد حاملاً للمرض، ولذلك تظهر الرموز دائماً إما ملونة أو غير ملونة.
- بما أن الإبن 1 في الجيل الثاني سليم فإن الأب المصاب طرازه هجين وعند التقاء الجين المتنحي منه مع الجين المتنحي من الأنثى أنجبا طفلاً سليماً.
- بما أن جميع الأبناء للآباء 2 و3 مصابين فهذا يعني أن الطراز الجيني للأم المصابة نقي.
- يمكن توقع الاختلالات المستقبلية للأجيال إذا تم الاحتفاظ بسجلات جيدة للعائلة.
- عندما يظهر مخطط السلالة لصفة ما جميع الذكور مصابون فهذا يعني أن الصفة محمولة على كروموسوم Y

الأنماط الوراثية المعقــدة (الوراثة اللامندلية)

- لا تنطبق الأنماط الوراثية التي وصفها مندل على وراثة الصفات المعقدة.

السيادة الغير تامة

- الطراز الشكلي للأبناء غيرمتماثلي الجينات يشكل صفة **وسطية بين الطرازين الشكليين للآباء** .
- بعض الصفات ليست سائدة أو متنحية , أي لايسود جين على الأخر .
- **مثال على ذلك: نبات شب الليل**



السيادة المشتركة

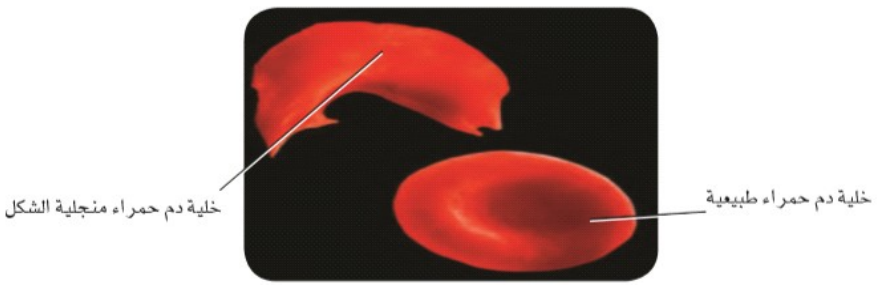
- **ظهور اثر لكل من الجينين بشرط أن يكون الطراز الجيني لصفة ما غير متماثل الجينات .**

مرض أنيميا الخلايا المنجلية :

- ينتقل عندما يجتمع جينان متنحيان من الأبوين .
- يتغير شكل خلايا الدم إلى منجلي ولا تنقل O2 و CO2 .

مرض أنيميا الخلايا المنجلية والملاريا :

- **جين الخلايا المنجلية في المصاب بها يقاوم مرض الملاريا .**

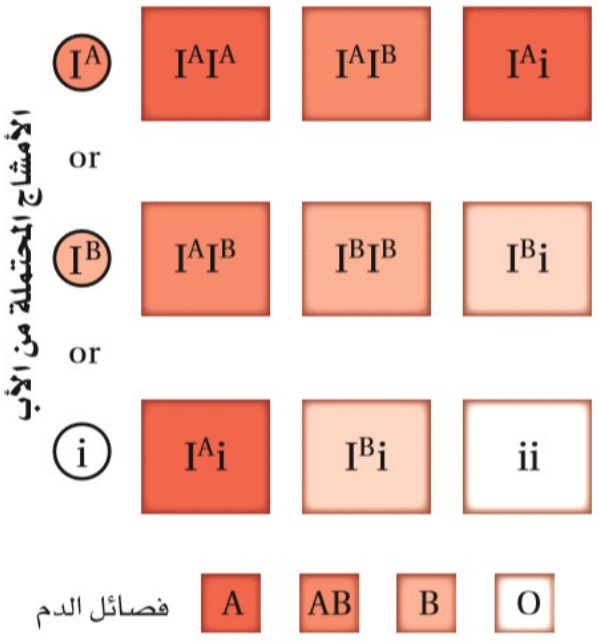


الجينات المتعددة المتقابلة

فصائل الدم في الإنسان :

- فصائل الدم في الإنسان A , B , AB , O تحدد بأكثر من جينين .
- **وهي مثالاً على الجينات المتعددة المتقابلة والسيادة المشتركة.**

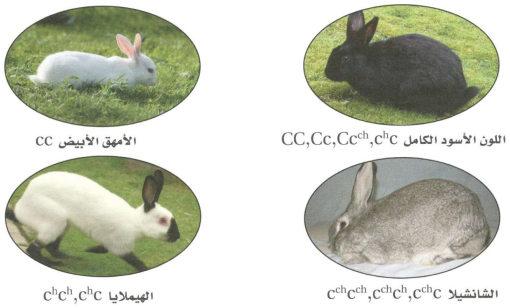
فصيلة الدم	الطرز الجينية المحتملة
A	I^AI^A , I^Ai
B	I^BI^B , I^Bi
AB	I^AI^B
O	ii



العامل الرايزيسي Rh بروتينات على خلايا الدم Rh^+ سائد على Rh^-

مثال آخر على الجينات المتعددة المتقابلة

لون الفراء في الأرانب

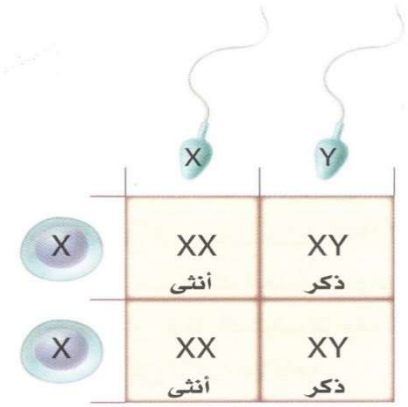


- الجينات المتعددة المتقابلة توضح عملية تسلسل السيادة .
- تسيطر أربعة جينات على لون الفرو في الأرانب .
- الجيـن C سائد ... طراز شكلي أسود .
- والجين c متنح ... طراز شكلي أبيض .
- والجين c^{ch} سائد على الجين c^{h}
- والجين c^{h} سائد على الجين c

تفوق الجينات

- يخفي أحد الجينات تأثيرات الجين الآخر.
- جينان مختلفان يتحكمان في لون الفراء لهذه الكلاب :
- الجين السائد E صبغة داكنة للفراء .
- والجين السائد B يحدد كم ستكون الصبغة داكنة .
- الجين e يخفي تأثيرات الجين السائد B .
- الطراز الجيني ee لا يوجد صبغة .

تحديد الجنس



- خلية جسم الإنسان تحتوي على ٤٦ كروموسوم بمعنى (٢٣ زوج) ، ٢٢ زوج منها جسمية
- **الزوج ٢٣ هو الزوج الجنسي ويحدد نوع الفرد .**
- الأمشاج تحتوي على ٢٣ كروموسوم .
- الكروموسومات الجنسية تحدد جنس الفرد :
- جميع البويضات في الإناث بها كروموسوم X
- الحيوان المنوي في الذكور إما كروموسوم X أو كرموسوم Y

تبديل الكروموسوم أو تعطيله

- الكروموسوم X أكبر حجما من الكروموسوم Y
- الكروموسوم X : يحمل الجينات التي يحتاج إليها الذكور والإناث .
- الكروموسوم Y : يحمل الجينات لنمو الصفات الذكرية.
- **لأن الإناث تحمل كروموسومين X فإنه يتم تعطيل أحدهما ويحدث ذلك في جميع الثديات.**
- **أجسام بار : العالم الكندي موري بار أول من لاحظ الكروموسوم X المعطل غامق اللون في نواة خلايا الإناث**

الصفات المرتبطة بالجنس

X^B = طبيعي
X^b = مصاب بعمى اللونين الأحمر - الأخضر
Y = Y كروموسوم

	X^B	Y
X^B	X^BX^B	X^BY
X^b	X^BX^b	X^bY

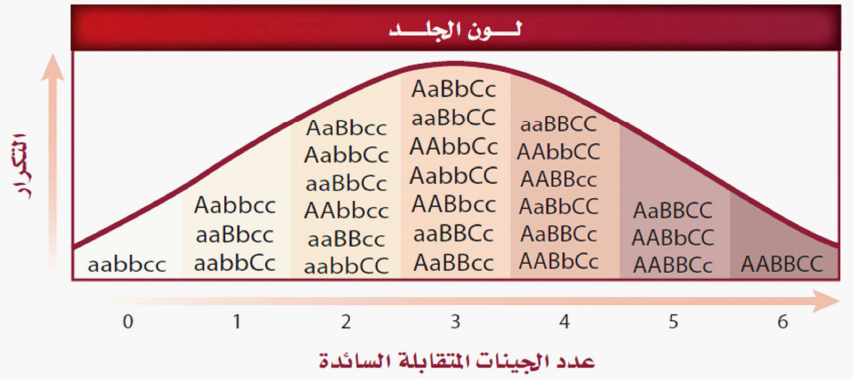
- **تتحكم فيها جينات موجودة على الكروموسوم X**
- في الذكور كروموسوم جنسي X واحدا فقط لذلك يتأثرون بالصفات المتنحية المرتبطة مع الجنس أكثر من الإناث. حيث وجود جين متنحي على كروموسوم X تعني إصابته بالمرض.
- **نزف الدم (الهيموفيليا) :**

تأخر تجلط الدم عند النزف شائع في الذكور دون الإناث .

- **عمى اللونين الأحمر والأخضر :**
- يصاب الذكور بعمى الألوان دون الإناث .

الصفات المتعددة الجينات

- هو تفاعل أكثر من زوج من الجينات .
- **في الإنسان صفات متعددة الجينات مثل : لون الجلد - طول القامة - لون العيون - بصمة الأصابع .**



التأثيرات البيئية

- تؤثر البيئة في الكثير من الصفات (الطرز الشكلية)
- أشعة الشمس والماء : أشعة الشمس تؤثر في إنتاج الأزهار . نقص الماء يسبب فقد أوراق النبات .
- درجة الحرارة :الجين المسؤول عن إنتاج لون الصبغة في القطط السيامية يعمل تحت درجة حرارة منخفضة.

دراسة التوائم

للتوائم المتطابقة :

١- جينات متماثلة تماماً .

٢- الاختلاف بسبب تأثير البيئة .

٣- معدل التوافق عالي .

الصفات المتأثرة بالجنس

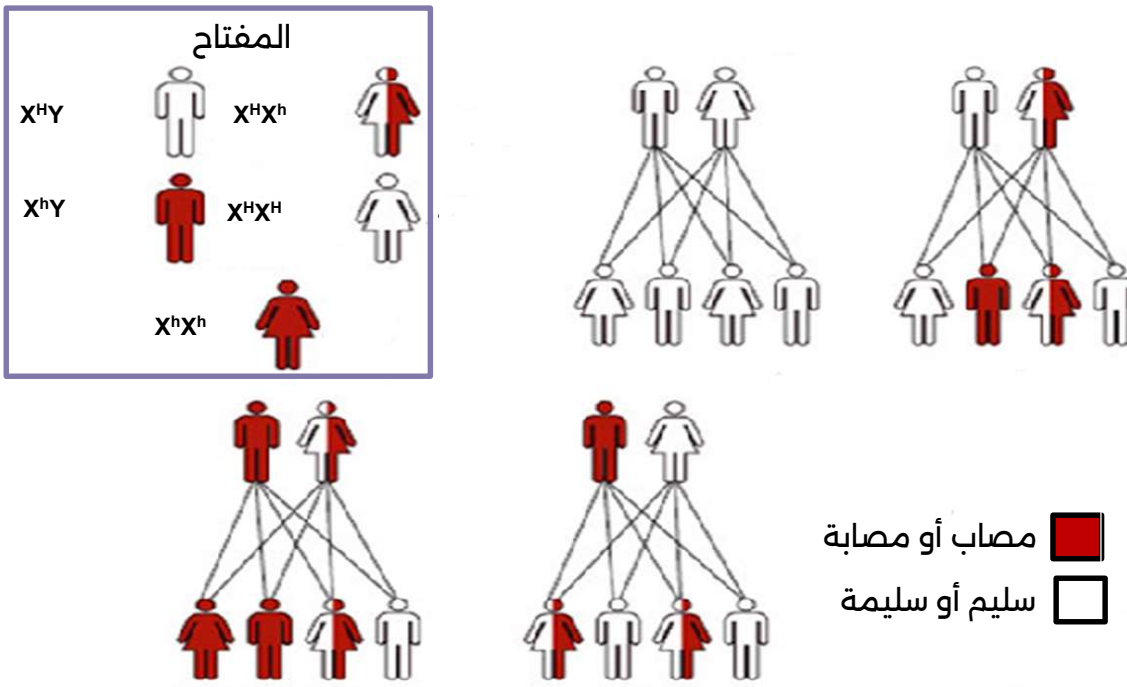
- هي صفات موجودة على كروموسومات جسمية وليست مرتبطة بالجنس ولكن يتحكم بها جين يكون سائداً في احد الجنسين ومتنحي في الجنس الآخر.
- مثال : الصلع .
- من المعتقد أن الصفة المتأثرة بالجنس تتأثر بالهرمونات الذكرية أو الأنثويه فإذا وجد الجين الخاص بالصلع مع الهرمونات الذكرية يصبح سائد وإذا وجد مع الهرمونات الأنثويه يصبح متنحي .

الطرز الجينية	الرجل	المرأة
BB	اصلع	صلعاء
Bb	اصلع	عادية
bb	عادي	عادية

تطبيـــقات وراثية:

مثال (١)

الرسم التالي يمثل حالة عدد من العائلات، اكتب الطرز الجينية لكل فرد من أفراد العائلة.



مثال (٢)

تزوج رجل مصاب بمرض الهيموفيليا بامرأة حاملة للمرض فما الطرز الجينية والمظهرية للأبناء؟

رجل مصاب X^hY × امرأة سليمة X^HX^h		
Y	X^h	الأمشاج
		X^H
		X^h

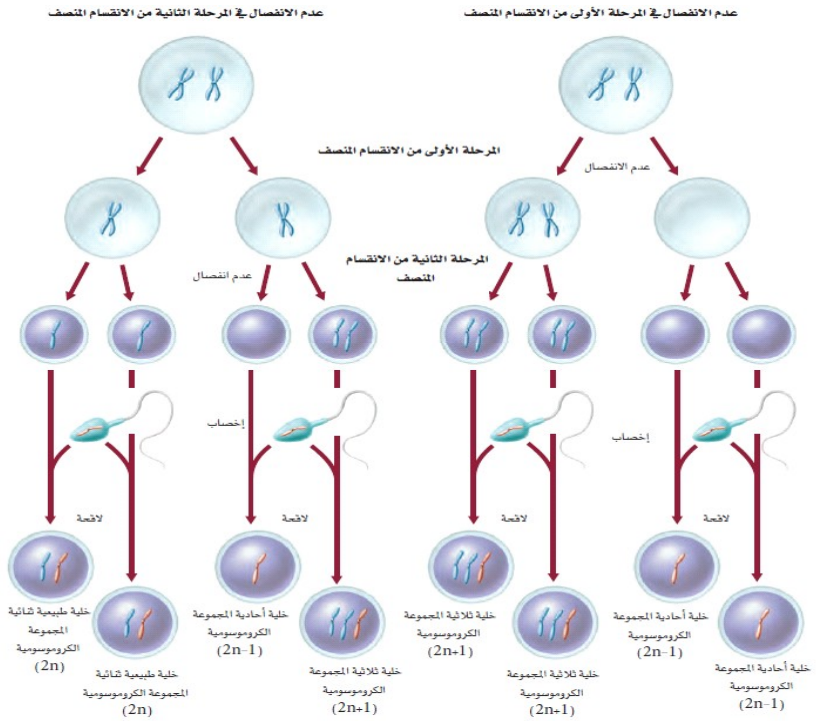
ملاحظة : الأب المصاب بمرض مرتبط بالجنس لا ينقل المرض إلى أبناءه الذكور .

الكروموسومات ووراثة الإنسان

- المخطط الكروموسومي : هو ترتيب الكروموسومات المتشابهة في صورة أزواج قصيرة مجهرية .
- لدراسة المادة الوراثية (للجينات وللكروموسومات) تستعمل صور الكروموسومات المصبوغة خلال الطور الاستوائي .
- الكروموسومات مرتبة من الأكبر إلى الأصغر.
- يحوي الإنسان ٢٣ زوج من الكروموسومات للذكر والأنثى .٢٢ زوج جسمية متطابقة , زوج واحد جنسي لا يتطابق .
- **القطع الطرفية (التيلوميرات)** :أغطية واقية على أطراف الكروموسومات .تتكون من DNA مرتبط مع بروتينات . وظيفتها حماية تركيب الكروموسوم .

عدم انفصال الكروموسومات :

- فشل الكروماتيدات الشقيقة في الانفصال بصورة صحيحة في الانقسام الخلوي .
- يؤدي عدم الانفصال إلى أمشاج تحوي عددا غير طبيعي من الكروموسومات . وتنتج أفراد خلاياهم أحادية أو ثلاثية المجموعة الكروموسومية .
- الاختلالات الناتجة عن عدم الانفصال في الانسان تتسبب في أمراض خطيرة وقد تؤدي إلى الوفاة



عدم انفصال الكروموسومات الجسمية :

- متلازمة داون عندما يحدث زيادة في الكروموسوم ٢١ وتصيب الذكور والإناث.
- الاعراض (الوجه مميز ، قوام قصير ، اضطراب قلبي ، تخلف عقلي)

عدم انفصال الكروموسومات الجنسية :

- متلازمة تيرنر (تصيب الأنثى) كروموسوم جنسي واحد X
- متلازمة كلينفلتر (تصيب الذكر) كروموسومات جنسية X X Y

عدم الانفصال في الكروموسومات الجنسية :

XX	XO	XXX	XY	XXY	XYY	OY
انثى طبيعية	انثى مصابه بمتلازمه تيرنر	انثى طبيعية تقريبا	ذكر طبيعي	ذكر مصاب بمتلازمه كلاينفلتر	ذكر سليم او طبيعي الى حد كبير	يسبب الوفاة

تدريب٧ :

التعبير الذي يصف الشخص الذي يحمل الطراز الجيني غير المتماثل الجينات لاختلال منتحٍّ؟

A	حامل للصفة
B	نقي للصفة
C	مصاب
D	غير مصاب

تدريب ٨:

تسمى الجينات الموجودة على الكروموسومات الجنسية بـ:

A	المتأثرة بالجنس
B	المرتبطة بالجنس
C	متعددة الجينات
D	الجينات المعقدة

تدريب٩ :

ما الكروموسوم الذي يحدد الجنس في الإنسان؟	
A	كروموسوم X
B	الحيوانات المنوية
C	كروموسوم Y
D	البويضة

تدريب ١٠ :

أي المصطلحات التالية تصف وراثة فصائل الدم في الإنسان؟	
A	السيادة الغير تامة
B	الصفات المرتبطة بالجنس
C	الجينات المتعددة المتقابلة
D	السيادة المشتركة

تدريب ١١:

عدد الكروموسومات في الشخص المصاب بمتلازمة تيرنر هو:	
A	44
B	46
C	47
D	45

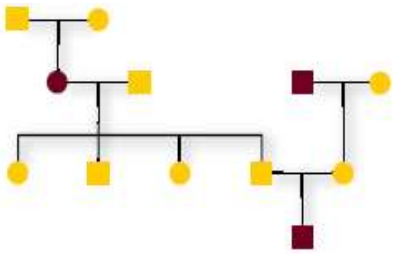
تدريب١٢ :

إذا كان دم طفل من نوع (O) ودم أمه من نوع (A) فلا يمكن أن يكون دم أبيه من نوع :	
A	O
B	AB
C	A
D	B

تدريب ١٣:

رزقت أسرة بسبع بنات فقط فنسبة أن يكون المولود القادم ذكر هو :	
30%	A
50%	B
70%	C
90%	D

تدريب ١٤:

ما عدد كل من الذكور والإناث المصابين في مخطط السلالة	
	
١ ذكر – ٢ انثى	A
٣ ذكر – ١ انثى	B
١ ذكر – ١ انثى	C
٢ ذكر – ١ انثى	D

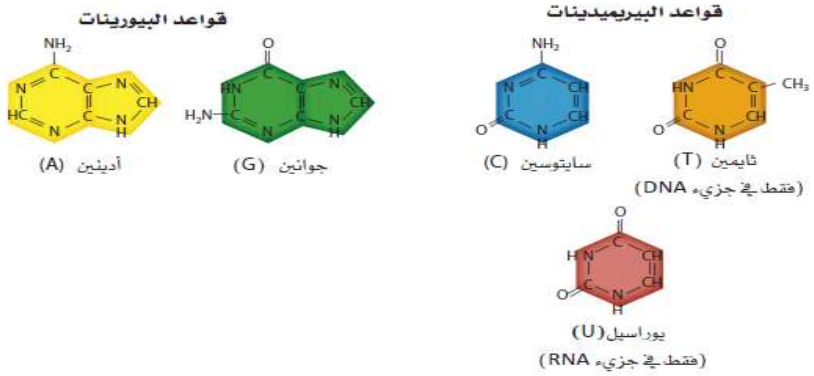
تدريب١٥ :

التركيب الكروموسومي لطفلة مصابة بالبلاهة المنغولية (داون):	
45 + (XX)	A
45 + (XY)	B
44 + (XX)	C
44 + (XY)	D

المادة الوراثيـــة DNA

تركيب DNA

- يتركب الـ DNA من وحدات بنائية تسمى **النيوكليوتيدات**.
- حدد العالم **ليفين التركيب الأساسي للنيوكليوتيدات بأنها عبارة عن : سكر خماسي و مجموعة فوسفات و قاعدة نيتروجينية.**
- الأحماض النووية في الخلايا الحية اثنين DNA و RNA
- السكر الخماسي في DNA عبارة عن سكر رايبوز منقوص الأوكسجين.
- القواعد النيتروجينية في DNA : **أدنين (A) و جوانين(G) و سايتوسين (C) و ثايمين (T).**
- السكر الخماسي في RNA عبارة عن سكر رايبوز.
- القواعد النيتروجينية في RNA : **أدنين (A) و جوانين(G) و سايتوسين (C) و يوراسيل (U).**
- تسمى قواعد **الأدنين والجوانين بقواعد البيورين** (ثنائية الحلقات) **وتسمى القواعد الأخرى بقواعد البيريميدين** (أحادية الحلقة).



العالم تشارجاف

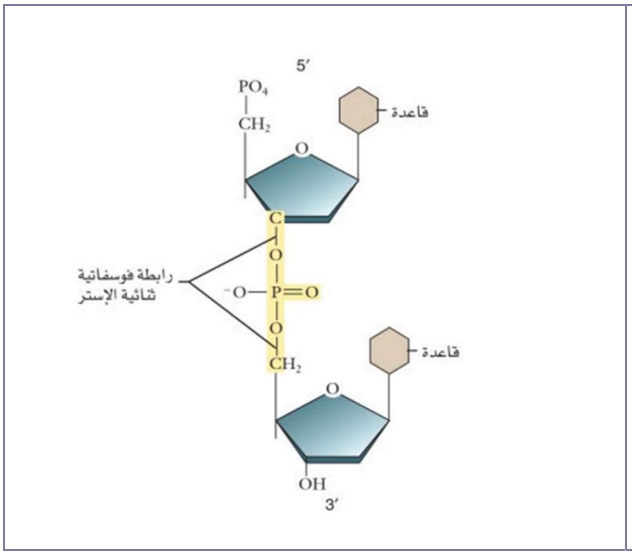
- اكتشف العالم تشارجاف أن كمية (C) = (G) وأن كمية (A) = (T) وأصبحت تسمى بقاعدة تشارجاف.

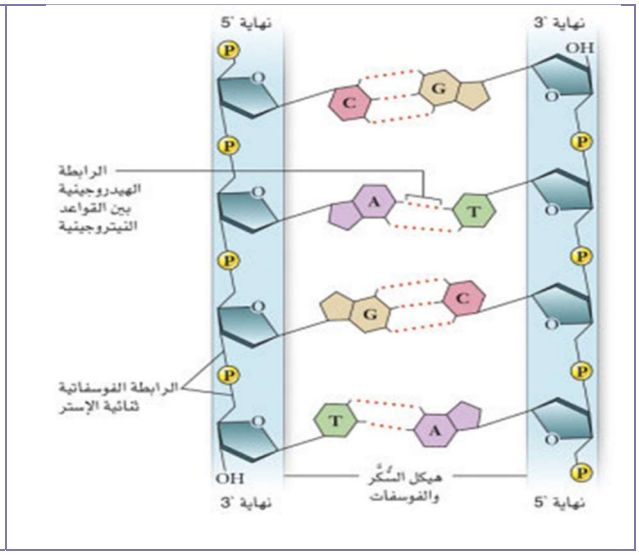
فرانكلين

- تمكنت فرانكلين من التقاط صورة بعد تصويبها الأشعة السينية على جزيء DNA والذي أظهر الـ DNA على شكل سلم ملتوٍ.

العالمان واطسون وكريك

- بعد مشاهدة صورة فرانكلين تمكن العالمان من بناء نموذج لجزيء DNA .
- يتركب DNA من شريطين يلتفان حول بعضهما بشكل سلم لولبي (حلزوني) يتكون من سكر الرايبوز المنقوص الأكسجين وفوسفات بشكل متبادل.
- تشكل أزواج القواعد النيتروجينية درجات هذا السلم .
- يرتبط الأدنين بالثايمين برابطة هيدروجينية ثنائية .
- يرتبط السايتوسين بالجوانين برابطة هيدروجينية ثلاثية .



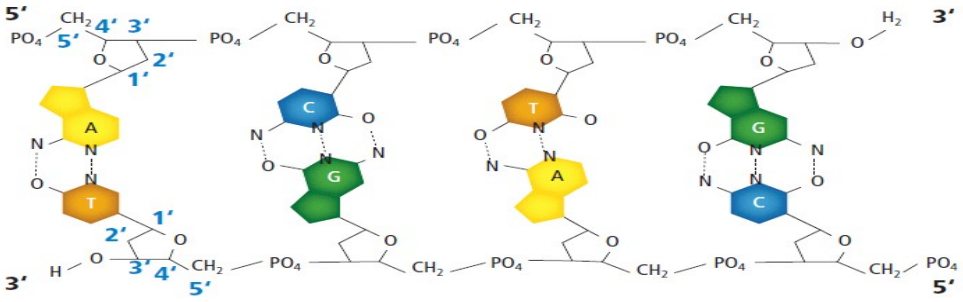


أشكـــال الـ DNA

يتخذ الحامض النووي DNA أشكالاً مختلفة تبعاً لنوع الكائن الحي	
1	2
شريط خيطي مزدوج	شريط دائري مزدوج فائق اللف
• يوجد في أغلب الكائنات الحية حقيقية النواة • بعض الفيروسات	• يلتف الـ DNAعدة التفافات • يوجد في أغلب الكائنات الحية بدائية النواة مثل البكتيريا

الاتجـــاه

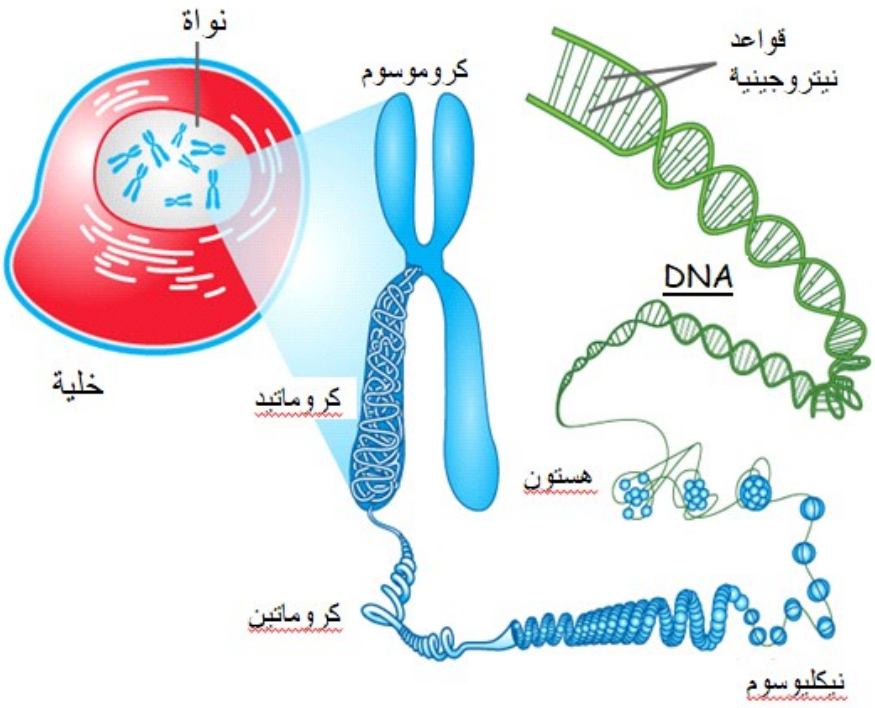
- **يوجد DNA مزدوج الشريط في الطبيعة دائماً بتنظيم التوازي المتعاكس**: بمعنى أنّ أحد الشريطين يسير في اتجاه ٥ إلى ٣، والآخر يسير بعكسه، أي من ٣ إلى ٥. وإضافة إلى التكاملية، فإنّ طبيعة التوازي المتعاكس هذه سيكون لها مضامين مهمة في تضاعف DNA.

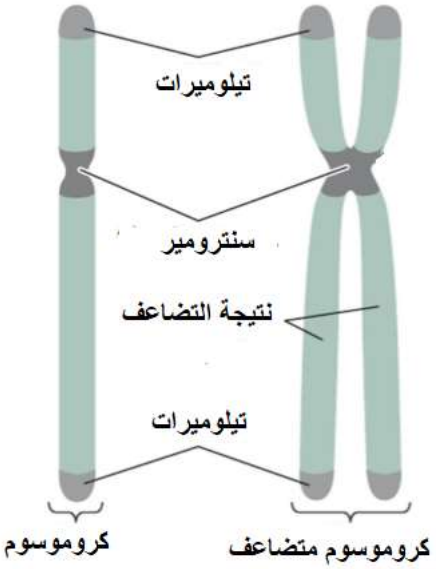


تركيب الكروموسوم

- **يتركب الكروموسوم في المخلوقات حقيقية النواة من :**

١. DNA
٢. **نيكليوسوم** (جسم نووي): **DNA يلتلف حول بروتينات الهستون** .
٣. كروماتين (تجمعات النيوكلوسومات)
٤. كروماتيد (الياف الكروماتين المتجمعة) .





أنواع الحمض النووي RNA

- **rRNA (رايبوسومي):** ٨٠% من الـ RNA. يُبنى في النويّة. يدخل في تركيب الرايبوسوم حيث يشكل ٦٠٪ من وزنه.
- **mRNA (الناسخ):** ١٪ من الــ RNA. يمثل نموذج لبناء البروتينات في الخليّة. ينسخ من الــ DNA في النواة ويترجم إلى بروتين في السيتوبلازم (في الرايبوسومات).
- **tRNA (الناقل):** وظيفته نقل الأحماض الأمينيّة من السيتوبلازم إلى الرايبوسومات.

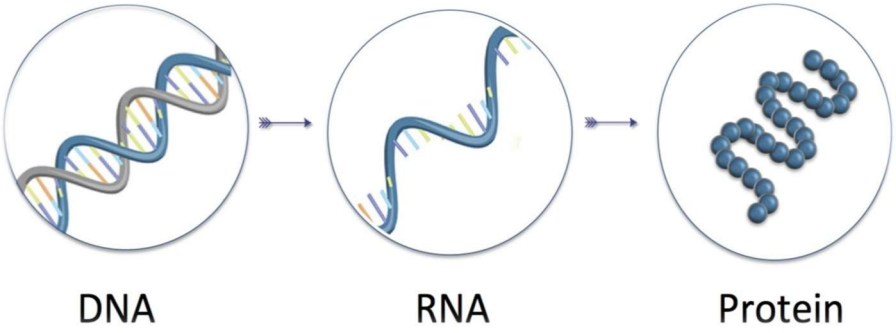
مقارنـــة بين DNA والـ RNA

وجه المقارنة	DNA	RNA
مكان وجوده	النواة	يتكون في النواة ويخرج إلى السيتوبلازم
الشكل	شريط مزدوج من عديد النيوكلوتيدات	شريط مفرد من عديد النيوكلوتيدات
الوظيفة	يحمل المعلومات الوراثية	تصنيع البروتينات
الحالة	يوجد بشكل ثابت	يهدم ويعاد بناؤه باستمرار
أنواعه	نوع واحد	ثلاثة انواع
نوع السكر	سكر دايوكسي ريبوز منزوع الاكسجين	سكر رايبوز
القواعد النيتروجينية	ادينين A = ثيامين T جوانين G = سايتوسين C	ادينين A = يوراسيل U جوانين G = سايتوسين C

بنـــاء البروتيـــن:

ماعلاقة البروتين بالجين؟

- تحدد الجينات الترتيب الطولي والتركيبي للأحماض الأمينية في السلاسل الببتيدية وتكون البروتين وهو الناتج النهائي لعمل الجين.
- اي ان الخصائص والصفات المميزة لكائن ما تحدد عن طريق نوع البروتين الذي تكونه الجينات.
  ما يسمى (**بالتعبير الجيني**)



ما الأساس الذي تبنى عليه البروتينات؟

هو الشفرات الوراثية

- تخزن **المعلومات الوراثية** في الـــDNA على شكل **شفرات**، حروفها الأساسية هي الأربع قواعد النيتروجينية A,C,G,T وتسمى Codon أو شفرات.
- **تعتبر الشفرات الوحدة الأساسية للمورث و تتكون من تتابع ثلاث قواعد نيتروجينية** .
- **كل شفرة وراثية تدل على حمض اميني واحد.** وهذا يعني أن كل:

٣ قواعد نيتروجينية = شفرة وراثية = حمض أميني

تطبيـــق:

١. كم حمضاً أمينيا يمكن تكوينه من ٤ قواعد نيتروجينية؟

---

٢. كم حمض أميني يمكن تكوينه من شريط mRNA مكون من ٧٥ قاعدة نيتروجينية ؟

---

٣. يتكون أحد البروتينات من ٤٣٠ حمض أميني، فكم شفرة وراثية سينقلها شريط mRNA الخاص بهذا البروتين؟

---

٤. يتكون أحد البروتينات من ٤٣٠ حمض أميني، فكم قاعدة نيتروجينية سينقلها شريط mRNA الخاص بهذا البروتين؟

تدريب١٦ :

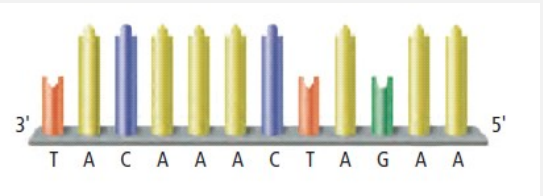
احدى القواعد النيتروجينية التالية لا توجد ضمن شريط DNA :	
A	A
B	T
C	U
D	G

تدريب ١٧ :

يتشابه الحمض النووي DNA و RNA في العديد من الخصائص مثل:	
A	توجد في السيتوبلازم و النواة
B	مكونة من سلاسل مزدوجة
C	تتركب من سكر الرايبوز
D	تتركب من نيوكليوتيدات

تدريب١٨ :

ما تسلسل القواعد في mRNA الذي يقابل شريط DNA المبين في الشكل؟



A	5'ATGTTTGATCTT3'.
B	5'AUGUUUGAUCUU3'.
C	5'TACAAACTAGAA3'.
D	5'UACAAACUAGAA3'.

الاختبار التجريبي

١- تم تحليل تسلسل نيوكليوتيد مضاد للكودون مكون من خمسة جزيئات متتالية من tRNA تشارك في تخليق البروتين ، وكان يحتوي على مايلي:

An anticodon nucleotide sequence of five successive tRNA's involved in protein synthesis was analysed, yielding the following content:

A	G	C	T	U
40%	27%	13%	0%	20%

ما هو التسلسل الصحيح المقابل للكودون على شريط DNA الأصلي؟

What is the correct corresponding sequence of the code on the original DNA template?

	A	G	C	T	U
a	20%	13%	27%	40%	0%
b	40%	27%	13%	20%	0%
c	60%	27%	13%	0%	0%
d	20%	13%	27%	0%	40%

٢- في الإنسان، يتم التحكم في عمى الألوان الأحمر والأخضر بواسطة جين موجود على الكروموسوم X. إذا تزوج رجل وامرأة لديهما رؤية طبيعية للالوان. بينما أب كل منهما مصاب بعمى الألوان. ما هو احتمال أن يكون طفلهم الأول مصابًا بعمى الألوان؟

In humans, red-green colour-blindness is controlled by a gene on the X chromosome. A man and woman with normal colour vision marry. Both of their fathers were colour-blind. What is the probability that their first child will be colour-blind?

A. 0

B. 1/2

C. 1/3

D. 1/4

٣- في الفئران، يظهر الشعر الأسود (B) هيمنة كاملة على الشعر الأبيض (b) ، والشعر الطويل (L) الهيمنة الكاملة على الشعر القصير (l). أي من التزاوجات التالية سينتج جميع الطرز الجينية والمظهرية الممكنة؟

In mice, black hair (B) shows complete dominance over white hair (b), and long hair (L) shows complete dominance over short hair (l). Which of the following crosses would produce all possible genotypes and phenotypes?

A .BbLl x BBLL

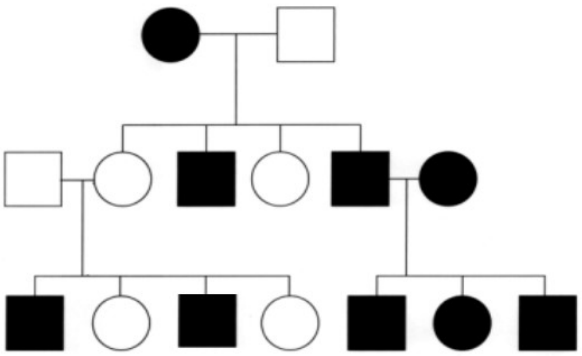
B. BBll x BbLl

C .BbLl x bbll

D . BBLL x bbLl

٤- يوضح مخطط السلالة أدناه حدوث مرض وراثي نادر للغاية في عائلة تزيد عن ثلاثة أجيال. بناءً على مخطط السلالة، ما نوع الصفة المحتملة لهذا المرض؟

The breed diagram below shows the occurrence of an extremely rare genetic disease in a family of more than three generations. Based on the phylogeny, what type of characteristic is this disease likely?



A. صفة متنحية Autosomal recessive

B. صفة متنحية محمولة على كروموسوم X X-linked recessive

C. صفة متنحية محمولة على كروموسوم Y Y-linked recessive

D. صفة سائدة Autosomal dominant

٥- تم تهجين ذبابين من ذباب الفاكهة يحملان النمط الجيني AABbCc و aaBBCc أي من الأنماط الجينية التالية سيتكرر بشكل أكبر في الأبناء؟

Two fruit flies with the genotypes AABbCc and aaBBCc are crossed. Which of the following genotypes is most likely to occur in the offspring?

A .AaBBcc

B. AAbbCc

C .AaBBCC

D . AaBbCc

٦- أُجري تهجين بين فردين مصابين بالمهق، وحصلنا على جيل F1 متطابق ظاهريًا. عند تهجين F1 ذاتيًا، وُجد أن F2 ينتج ٩ أفراد سليمين و٧ أفراد مصابين بالمهق. أي من التركيبات التالية يُناسب هذا النوع من الوراثة؟

A cross was made between two albinos and phenotypically identical F1 generation was obtained. When F1 was self-crossed, F2 was observed as 9 normal and 7 albinos. Which of the following combinations suits this kind of inheritance?

	Parents	Offsprings (F_2)			
___A)	AAbb X aaBB	9A-B-	3aaB-	3A-bb	1aabb
___B)	aabb X AAbb	9A-B-	3aaBb	3Aabb	1aabb
___C)	AaBb X AaBb	9A-B-	3aaBb	3Aabb	1aabb
___D)	aaBb X Aabb	9A-B-	3aaB-	3A-bb	1aabb
___E)	AABB X aabb	9A-B-	3aaB-	3Aabb	1aabb

٧- ان فحص الثلث الأول من الحمل اختبار يُجرَى قبل الولادة ويوفر معلومات مبكرة عن خطر إصـابة الأطفال ببعض الحالات المرتبطة بالكروموسـومات . تم ابلاغ احدى الأمهات بعد اجراء الفحص بأنه تم تلقيح البويضـة بحيوان منوي خالي من الكروموسومات الجنسية، على الأرجح هذا المولود سيكون:

First trimester screening is a prenatal test that offers early information about a baby's risk of certain chromosomal conditions, One of the mothers was informed after the examination that the egg had been fertilized with a sperm without the sex chromosomes, and this newborn would most likely be:

a. ذكر مصاب بمتلازمة كلاينفلتر. a. male with Klinefelter syndrome

b. انثى مصابة بمتلازمة تيرنر b. female with Turner syndrome

c. انثى مصابة بمتلازمة داون c. female with down syndrome

d. ذكر مصاب بمتلازمة تيرنر d. male with turner syndrome

٨- يتراوح وزن ثمار نبات القرع بين ٢ و٤ كجم. وأوزان الثمار ناتجة عن أزواج من الجينات متعددة الجينات المضافة. أي مما يلي صـحيح بالنسـبة للجيل F2 الناتج عن تلقيح قرعة وزنها ٢ كجم بأخرى وزنها ٤ كجم من حيث عدد الأفراد من أي فئة وزنية، وكذلك فيما يتعلق بالأنماط الجينية للقرعتين الملقحتين بوزن ٢ كجم و٤ كجم؟

The fruit weights of a squash plant vary between 2 and 4 kg. The fruit weights are a product of pairs of additive polygenic genes .

Which of the following is true for the F2 generation that resulted from a 2 kg squash being pollinated with a 4 kg one in terms of the number of individuals of any weight classes and also regarding the genotypes of the pollinated 2 kg and 4 kg squashes

	4 kg	3.5 kg	3 kg	2.5 kg	2 kg	2 kg parent	4 kg parent
__A)	1	2	6	2	1	aabb	AABB
__B)	1	4	6	4	1	AaBb	aaBB
__C)	1	4	6	4	1	AAbb	aaBB
__D)	1	6	2	6	1	AABb	AABB
__E)	1	4	6	4	1	aabb	AABB

٩- الأليلات I^A و I^B الموجودة على الكروموسوم ٩ مسؤولة عن فصائل الدم A و B على التوالي. تنتج فصيلة الدم O عندما تكون هذه الأليلات إما غائبة أو لا يتم التعبير عنها. يتم التعبير عن الأليلين I^A وI^B فقط إذا كان الأليل H موجودًا على الكروموسوم ١٩، إما في حالة متماثلة الجينات أو غير متماثلة، حيث تشير h إلى الأليل المتنحي. جيلبرت ينتمي إلى فصيلة الدم AB ، تنتمي أخته هيلين إلى فصيلة الدم A بينما ينتمي والدهم إلى فصيلة الدم O ، تعرف على الطرز الجينية للأم والأب.

Alleles IA and IB present on chromosome 9 are responsible for blood groups A and B, respectively. Blood group O results when these alleles are either absent or not expressed. The alleles IA and IB are expressed only if the H allele is present on chromosome 19, either in the homozygous or heterozygous condition, where h stands for the recessive allele. Gilbert belongs to the AB blood group. His sister Helen belongs to the A group while their father belongs to the O group. Identify the maternal and paternal genotypes.

	Mother	**Father**
a.	H/H, I^A/I^B	H/h, I^O/I^O
b.	H/h, I^B/I^O	h/h, I^A/I^O
c.	h/h, I^O/I^O	h/h, I^A/I^O
d.	H/H, I^A/I^O	H/h, I^B/I^O
e.	h/h, I^B/I^O	H/h, I^O/I^O

١٠- يحكم ألوان الشعر في سلالة معينة من الماشية زوج من الأليلات غير تامة السيادة A,B فالتركيب الوراثي الأصيل AAينتج اللون الأحمر، والتركيب الوراثي الخليط AB ينتج اللون الطوبي والتركيب الوراثي الأصيل الآخر BB ينتج اللون الأبيض. فإذا تم تلقيح بين فردين خليطين

AB X AB من هذه السلالة، فما احتمال الحصول على فرد طوبي أو احمر اللون في النسل الناتج؟

Hair color in a particular breed of cattle is governed by a pair of non-dominant alleles A and B. The homozygous genotype AA produces red color, the heterozygous genotype AB produces brick color and the other homozygous genotype BB produces white. If two crosses AB X AB of this strain were vaccinated, what is the probability of getting a brick or red individual in the resulting offspring?

a. 1/4
b. 2/4
c. 2/3
d. 1/8

مفاتيح إجابة التدريبات

الاسئلة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
الاجابة	A	C	B	C	B	A	A	B	C
الاسئلة	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨
الاجابة	C	D	B	B	D	A	C	D	B

مفاتيح إجابـــة الاختبار

الاسئلة	١	٢	٣	٤	٥
الاجابة	D	D	C	B	D
الاسئلة	٦	٧	٨	٩	١٠
الاجابة	A	B	E	B	E

المراجـــع

[1]مجموعة من المؤلفين، مجموعة من المترجمين، أحياء ٣، مطابع العبيكان، طبعة ١٤٣٧ – 2016

[2]مجموعة من المؤلفين، مجموعة من المترجمين، علم الأحياء، مطابع العبيكان، الطبعة العربية الأولى١٤٣٥ – 2014

[3]الانترنت

كيمياء

فهرس الموضوعات

م	الموضوع	المكونات	الصفحات
1	سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rates	• الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات Kinetics and Reaction Mechanisms • نظرية التصادم Collision theory • العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي Factors Affecting the Rate of Chemical Reaction • قوانين سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rate Laws	3-21
2	الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium	• مفهوم الاتزان The Concept of Equilibrium • حاصل التفاعل وثابت الاتزان The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant • التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين Kc و Kp Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relation Between Kc and Kp • مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل Comparing Q and K to Predict Reaction Direction • كيفية حل مسائل الاتزان How to Solve Equilibrium Problems • مبدأ لو شاتلييه Le Châtelet's Principle	22-46
3	الحموض والقواعد والأملاح Acids, Bases, and Salts	• مفاهيم الحموض والقواعد Acid and Base Concepts • قوة الحموض والقواعد Acid and Base Strength • الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل The pH and pOH of Solutions • اتزانات حمض– قاعدة Acid–Base Equilibria • تميُّؤ الأملاح Salt Hydrolysis • المحاليل المنظمة Buffers • منحنيات المعايرة الحمضية – القاعدية Acid–Base Titration Curves • ثابت حاصل الذائبية (Ksp) Solubility-product constant (Ksp)	47-70
4	التجارب العملية Practical experiments	• تجربة تحليل الخل التجاري Analysis of Commercial Vinegar experiment • تجربة التعرّف النوعي على محاليل مجهولة Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment	71-79

07 Reaction Rates سرعة التفاعل الكيميائي

Kinetics and Reaction Mechanisms الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات

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

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

• **ما الفرق بين كيمياء الثيرموديناميك والكيمياء الحركية؟**

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

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

What is the difference between thermodynamic chemistry and kinetic chemistry?

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

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

سرعة التفاعل الكيميائي

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

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

Reaction Rates

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

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

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

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

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

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

معدل سرعة التفاعل الكيميائي:

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

أو معدل الزيادة في تركيز الناتج بالنسبة للزمن.

أو معدل النقص في تركيز المواد المتفاعلة بالنسبة للزمن.

Rate of Chemical Reaction Speed:

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

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

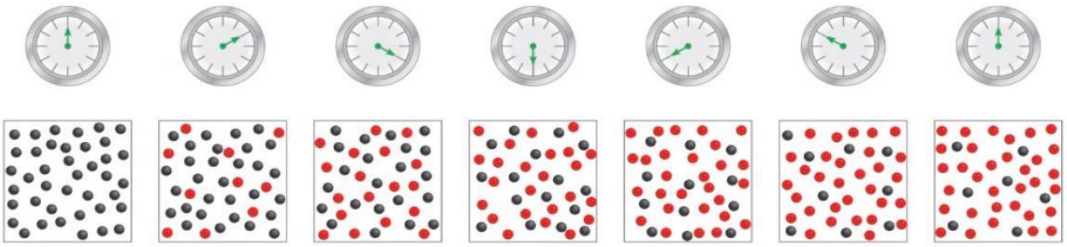
or The rate of decrease of reactants' amount relative to time.

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

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

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

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

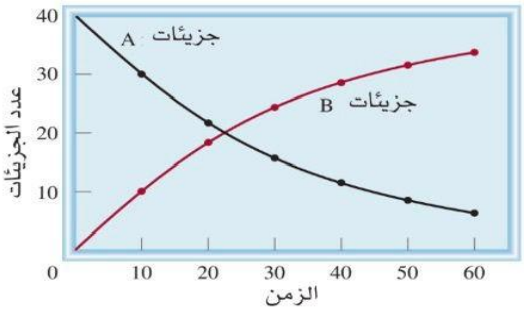


الشكل 1-7: سير التفاعل A→ B تم ملاحظته مدة 60 ثانية، وكانت المتابعة له كل 10 ثوان. في البداية كانت هناك جزيئات A (الكرات الرمادية). ومع مرور الوقت بدات جزيئات B (الكرات الحمراء) تتكون

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

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

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



من الرسوم السابقة يمكننا التعبير عن سرعة التفاعل إما

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

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

الإشارة السالبة في القانون أعلاه تعني أن تركيز المواد المتفاعلة يتناقص مع مرور الزمن

بينما الإشارة الموجبة تعني أن تركيز النواتج يتزايد مع مرور الزمن.

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

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

في التفاعل التالي:

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

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

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

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

mol/ L.s

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

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

Example 7-1 **مثال 7-1**

اكتب تعبيرات التفاعلات الآتية:

Write down the expressions of the following reactions:

A) $I^-_{(aq)} + OCl^-_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + OI^-_{(aq)}$

B) $3O_{2\,(g)} \rightarrow 2O_{3\,(g)}$

الحل:

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

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

Example 7-2 **مثال 7 -2**

لديك التفاعل التالي:

Consider the following reaction:

$$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 3I^-_{(aq)} \rightarrow 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + I_3^-{}_{(aq)}$$

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

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

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

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

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

الحل

$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 3I^-_{(aq)} \rightarrow 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + I_3^-{}_{(aq)}$

t=0 0.050 0.072

t=800 ? M 0.046

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

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

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

Collision theory نظرية التصادم

فروض نظرية التصادم:

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

Assumptions of collision theory:

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

لكي يكون التصادم فعال لابد من تحقيق شرطين أساسيين:

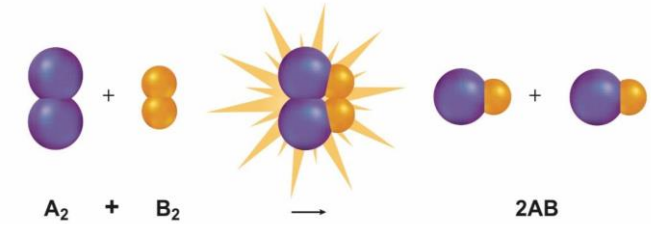
1- أن تتصادم المتفاعلات في الاتجاه الصحيح

2- أن تتصادم المتفاعلات بطاقة كافية لتكوين المعقد المنشط.

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

1- The reactants collide in the right direction

2- The reactants collide with sufficient energy to form the activated complex.

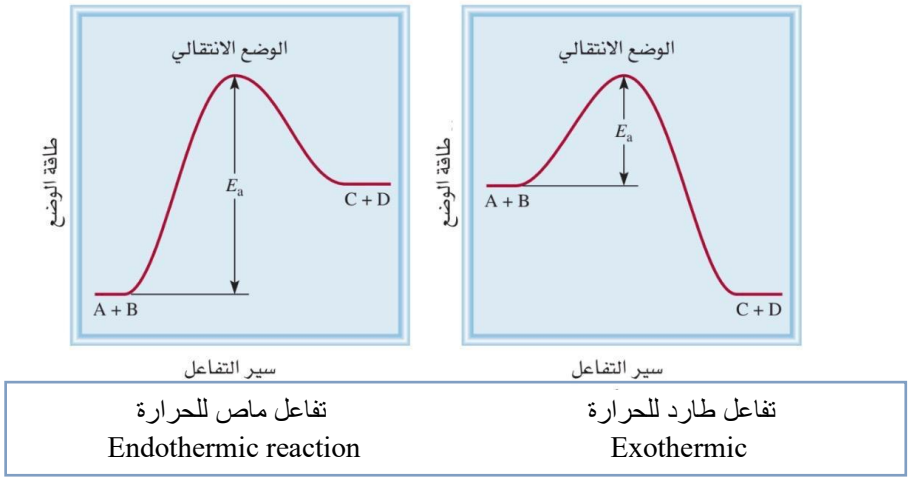


الشكل 7-3: يجب أن تتصادم الجسيمات بالاتجاه الصحيح وبكمية كافية من الطاقة لكي يحث التفاعل

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

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

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



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

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

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية

يمكن تلخيص أهم العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية والمتحكمة فيه على النحو التالي:

1- طبيعة المواد المتفاعلة.

2- تركيز المواد المتفاعلة.

3- درجة الحرارة.

4- وجود العامل المُحفِّز.

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

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

1. The nature of the reactants.

2- Concentration of reactants.

3- Temperature.

4- The presence of the motivating factor.

أولاً: طبيعة المواد المتفاعلة

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

First: The Nature of the Reactants

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

أ) طبيعة المادة نفسها (الطبيعة الكيميائية للمادة)

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

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

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

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

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

• Ions react faster than atoms and atoms react faster than molecules.

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

Example 7-3 **مثال 7-3**

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

Reduction of permanganate ions (MnO4) by ferrous ions in the acidic medium.

$$5Fe^{+2} + MnO^-_4 + 8H^+ \rightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$$

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

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

$$5H_2C_2O_4 + 2MnO^-_4 + 6H^+ \rightarrow 8H_2O + 10CO_2 + 2Mn^{+2}$$

يتم التفاعل ببطء Reaction is slow

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

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

ب) وسط التفاعل

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

b) Reaction medium

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

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

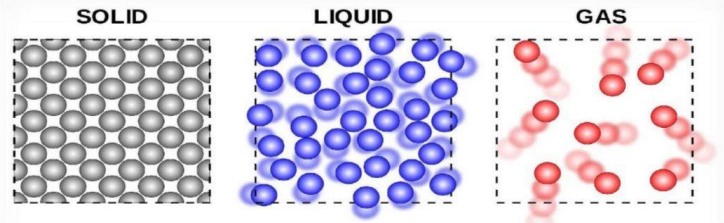
• أما إذا كانت تلك المواد موجودة في أكثر من طور فيسمى التفاعل بالتفاعل غير المتجانس.

• التفاعلات في الطور الغازي غالبا ما تكون أسرع من السائل والسائل أسرع من الصلب.

• When the materials involved in the reaction are present in a single phase, this reaction is called a Homogeneous Reaction

• If these substances are present in more than one phase, the reaction is called a Heterogeneous Reaction

• Reactions in the gaseous phase are often faster than liquid and liquid faster than solid.

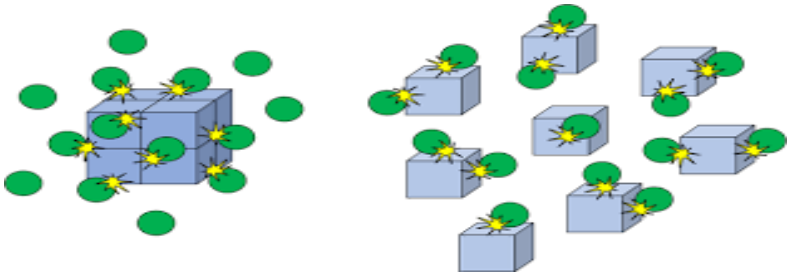


ج) مساحة سطح المادة في حالة كونها صلبة تلعب دوراً مهما في تحديد سرعة التفاعل، حيث أن المواد الصلبة الموجودة على شكل كتل كبيرة تتفاعل بصورة أبطأ مما إذا كانت هذه المواد على شكل بودرة أو مسحوق.

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

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

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



ثانيًا: تركيز المواد المتفاعلة

• تعتمد سرعة التفاعل بشكل رئيسي على تراكيز المواد المتفاعلة حيث إن العلاقة بينهما علاقة طردية.

• عند بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل كبيرة وذلك لأن تركيز المواد المتفاعلة يكون عاليا وبمرور الوقت يقل تركيز المواد المتفاعلة وتنخفض معه سرعة التفاعل.

Second: Concentration of Reactants

• The speed of the reaction depends mainly on the concentrations of the reactants as the relationship between them is direct.

• At the beginning of the reaction, the speed of the reaction is high, because the concentration of the reactants is high, and over time, the concentration of the reactants decreases, and the speed of the reaction decreases.

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

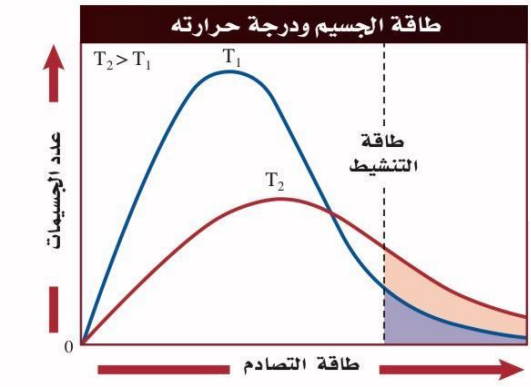
The higher the concentration→ the more molecules→ the higher the number of collisions→ the faster the reaction.

ثالثًا: درجة الحرارة

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

Third: Temperature

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



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

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

Example 7-4 **مثال 7-4**

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

The rate of a certain reaction doubles for every 10 °C rise in temperature.
(a) How much faster does the reaction proceed at 45 °C than at 25 °C?
(b) How much faster does the reaction proceed at 95 °C than at 25 °C?

الحل

Rate 1 = initial rate × 2 for 10 °C
(a) $\Delta t = 45\text{-}25 = 20$, $n = 20/10 = 2$ $Rate2 = \text{initial rate} \times 2^2 = 4$ initial rate for 20°C
(b) $n = 70/10 = 7$ $Rate3 = \text{initial rate} \times 2^7 = 128$ initial rate for 70 °C
(a) 4-times faster and (b) 128-times faster
(a) أسرع بـ 4 مرات و (b) أسرع بـ 128 مرة

رابعًا: المحفزات والمثبطات

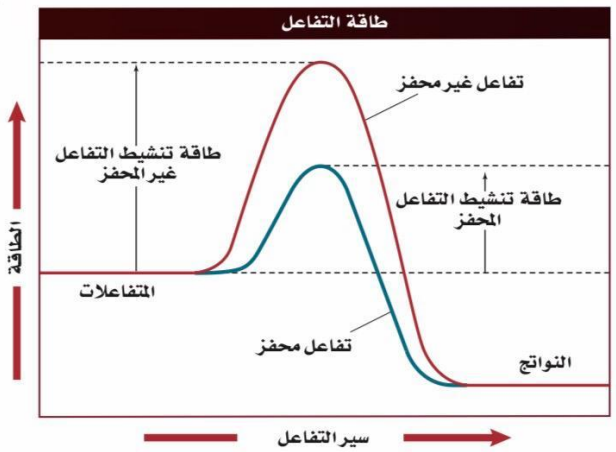
العامل المُحفِّز عبارة عن مادة لها خاصية تنشيط التفاعل الكيميائي وزيادة سرعته دون أن تتغير كيميائيًا، يعمل المُحفِّز على خفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل مما يزيد من سرعة التفاعل.

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

Fourth: Catalysts and Inhibitors

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

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



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

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

Reaction Rate Laws قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

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

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

aA→Products نواتج

RαA $R = k[A]^n$

n: Reaction order رتبة التفاعل

k: Rate constant ثابت سرعة التفاعل

رتبة التفاعل n = عدد صحيح أو كسري

Reaction order n = integer or fractional number

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

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

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

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

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

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

aA + bB+……→Products نواتج

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

Overall reaction Order رتبة التفاعل الكلية = n+m

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

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

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

ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبيًا.

The law of reaction velocity must be determined experimentally.

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

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

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

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

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

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

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

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

Example 7-5 **مثال 7-5**

$$N_2O_{5(g)} \rightarrow 2\ NO_{2\ (g)} + \tfrac{1}{2}\ O_{2\ (g)}$$

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

$R = k \cdot [N_2O_5]$

First order reaction تفاعل من الرتبة الأولى

Example 7-6 **مثال 7-6**

$$C_2H_{6\ (g)} \rightarrow 2\ CH_{3(g)}$$

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

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

Second order reaction تفاعل من الرتبة الثانية

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

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

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

Determine the reaction Order

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

Example 7-7 مثال 7-7

تمَ الحصول على البيانات التالية في الجدول للتفاعل التالي:

The following data were obtained for the reaction:

$$A + 2\,B \rightarrow 3\,C + D$$

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

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

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

الحل

(a) $R = k[A]^y[B]^x$

Compare exp. 1 and 2 $[0.36/0.09]^x = 2.67/0.67$ x=1 for B

And exp. 3 and 2 $(0.32/0.16)^y\,(0.24/0.36) = 7.11/2.67$ $(2)^y = 4$ y=2 for A

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

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

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

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

A	+	2 B	→	3 C	+	D
0.045		0.09		3 ×0.09/2		0.09/2
Excess 0.16- 0.045 =0.115		0		0.135		0.045

[C] = 0.135 M

Example 7-8

مثال 7-8

لديك الجدول للسرعات الابتدائية للتفاعل:

Consider the table of initial rates for the reaction:

$2ClO_2 + 2OH^- \rightarrow ClO_3^- + ClO_2^- + H_2O$.

Experiment	$[ClO_2]_o$, mol/L	$[OH^{1-}]_o$, mol/L	Initial Rate, mol/(L · s)
1	0.050	0.100	5.75×10^{-2}
2	0.100	0.100	2.30×10^{-1}
3	0.100	0. 050	1.15×10^{-1}

What is the order this reaction with respect to ClO_2?

……..

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

……..

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

……..

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

……

Example 7-9

مثال 7-9

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

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

Experiment	$[HB]_o$, µmol/L	$[CO]_o$, µmol/L	Initial Rate, µmol/(L · s)
1	2.21	1.00	0.619
2	4.42	1.00	1.24
3	3.36	2.40	2.26

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

……

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

……

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

……

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

……

الكيمياء الحركية للتفاعلات البسيطة :

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

Kinetic chemistry of simple reactions:

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

تفاعلات الرتبة الصفرية:

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

Zero-Order reactions:

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

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

فترة عمر النصف:

هي الزمن اللازم لتفكك نصف تركيز المادة المتفاعلة وتأخذ الرمز t1/2 ، وتعتمد على رتبة التفاعل.

Half-life:

It is the time required for half of the concentration of the reactant to disintegrate and takes the symbol t1/2 , and it depends on the order of the reaction.

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

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الصفرية:

Half-life of zero-order reactions:

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

تفاعلات الرتبة الأولى:

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

First-order reactions:

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

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

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

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

تفاعلات الرتبة الثانية:

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

Second-order reactions:

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

$$A + B \rightarrow \text{Products}$$

الحالة الأولى : تراكيز متساوية Case One: Equal Concentrations

$$[A]=[B]$$

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

الحالة الثانية: تراكيز غير متساوية Case Two: Unequal Concentrations

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

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

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

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

حالة عامة:

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

General Status:

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

$$n \neq 1$$

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

مثال: تفاعلات الرتبة الثالثة Example: third order reaction

n=3

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

تفاعلات الرتبة الأولى الكاذبة:

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

Pseudo–first-order reactions:

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

Example 7-10 **مثال 7-10**

$$CH_3COOH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + CH_3OH$$

الحل:

تفاعل من الرتبة الثانية Second-order reactions

$$R = k[CH_3COOH_3][H_2O]$$

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

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

$$R = k'[CH_3COOH_3]$$

$$k' = k\,[H_2O]$$

Example الأمثلة

7-8

a . Order with respect to ClO_2: ClO_2 رتبة التفاعل بالنسبة لـ
ClO_2: 2
b. Order with respect to OH^{1-}: OH^{1-} رتبة التفاعل بالنسبة لـ
OH^{1-}: 1
c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل
rate = $k[ClO_2]^2[OH^{1-}]^1$
d. Value and units for the rate constant: قيمة ووحدات ثابت السرعة
$k = 230\ L^2 . mol^{-2} . s^{-1}$

7-9

a . Order with respect to HB: HB رتبة التفاعل بالنسبة لـ
1
b. Order with respect to CO: CO رتبة التفاعل بالنسبة لـ
1
c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل
Rate=k[HB][CO]
d. Value and units for the rate constant:قيمة ووحدات ثابت السرعة
$k=0.28\ Lmol^{-1}s^{-1}$

The Concept of Equilibrium مفهوم الاتزان

معظم التفاعلات الكيميائية لا تَصِل إلى الاكتمال. فعندما تتفاعل المواد المتفاعلة لتكوين النواتج، تتغير تراكيزها إلى أن تبقى ثابتة لكلا الطرفين. تُسمّى هذه الحالة **الاتزان الكيميائي**. على سبيل المثال، في التفاعل $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، يتفكك N_2O_4 عديم اللون إلى NO_2 بني اللون. تزداد شدة اللون في البداية ثم تتوقف عن التغير عندما يصبح معدل التفاعل الأمامي مساويا لمعدل التفاعل العكسي.

يمكن الوصول إلى حالة الاتزان بدءًا من المتفاعلات أو من النواتج أو خليط من كليهما كما هو موضح في الشكل 8.1.

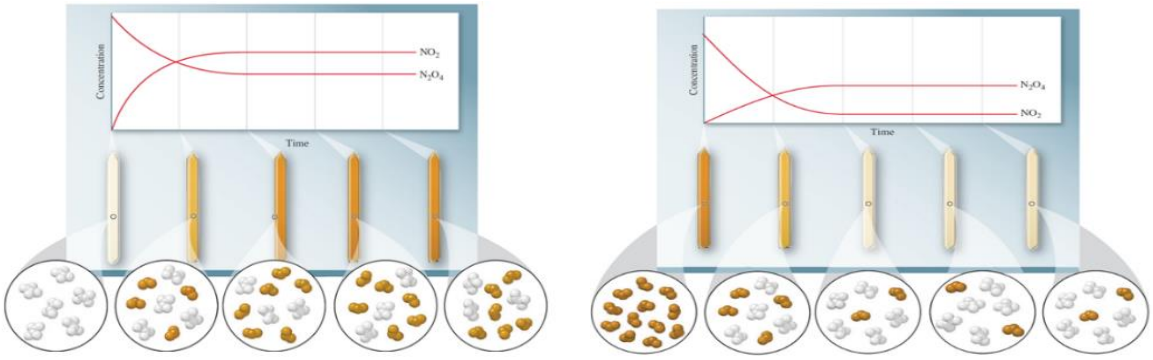
1. عند البدء بـ N_2O_4 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا وتركيز NO_2 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز N_2O_4 ويزداد تركيز NO_2.
2. عند البدء بـ NO_2 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا و تركيز N_2O_4 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز NO_2 ويزداد تركيز N_2O_4.

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

Most chemical reactions do not go to completion. As reactants form products, their concentrations change until both remain constant. This state is called **chemical equilibrium**. For example, in $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$, colorless N_2O_4 decomposes into brown NO_2. The color deepens at first but then stops changing when the forward and reverse reactions occur at the same rate. Equilibrium can be reached starting from reactants, products, or a mixture as shown in Figure 8.1.

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

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



الشكل 8.1 : تغيُّر المعدلات مع تقدم التفاعل

Figure 8.1: Change of rates as reaction proceeds

The Equilibrium State and the Equilibrium Constant حالة الاتزان وثابت الاتزان

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

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

معدل سرعة التفاعل(الامامي) = معدل سرعة التفاعل(العكسي)

$$rate_{fwd} = rate_{rev}$$

$$k_f [N_2O_4]_{eq} = k_r [NO_2]^2_{eq}$$

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

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

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[NO_2]^2_{eq}}{[N_2O_4]_{eq}}$$

تُعرَف نسبة هذين الثابتين بثابتٍ جديد يُسمّى **ثابت الاتزان (K)**.

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

$$K = \frac{k_f}{k_r} = \frac{[NO_2]^2_{eq}}{[N_2O_4]_{eq}}$$

K as a Measure of Reaction Extent **K كمقياس لمدى تقدم التفاعل**

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

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

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} \qquad K = 1 \times 10^{-30} \text{ at } 1000 \text{ K}$$

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

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

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{2(g)} \qquad K = 2.2 \times 10^{22} \text{ at } 1000 \text{ K}$$

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

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

$$2BrCl_{(g)} \rightleftharpoons Br_{2(g)} + Cl_{2(g)} \qquad K = 5 \text{ at } 1000 \text{ K}$$

Generally, بشكل عام،

$K_c > 1 \times 10^2 \rightarrow$ reaction favors products يميل التفاعل لتكوين النواتج

$K_c < 1 \times 10^{-2} \rightarrow$ reaction favors reactants يميل التفاعل لتكوين المواد المتفاعلة

$1 \times 10^{-2} < K_c < 1 \times 10^2 \rightarrow$ both reactants and products are present in significant amount. توجد كميات ملحوظة من كلٍّ من المواد المتفاعلة والنواتج.

The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant حاصل التفاعل وثابت الاتزان

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

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

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

$$Q = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

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

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

Steps to Write a Reaction Quotient — خطوات كتابة حاصل التفاعل

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

هل K و Q تكتب بدون وحدات ؟

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

Do K and Q get written without units?

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

مثال 1: اكتب حاصل التفاعل لكلٍّ من التفاعلات الآتية:

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

a) $2N_2O_{(g)} \rightleftharpoons 2N_{2(g)} + O_{2(g)}$

b) $2NOBr_{(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + Br_{2(g)}$

c) $HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$

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

e) $CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$

f) $H_2C_2O_{4(aq)} \rightleftharpoons 2H^+_{(aq)} + C_2O_4^{2-}{}_{(aq)}$

a) $Q_c = \frac{[N_2]^2[O_2]}{[N_2O]^2}$ b) $Q_c = \frac{[NO]^2[Br_2]}{[NOBr]^2}$ c) $Q_c = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$

d) $Q_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$ e) $Q_c = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2}$ f) $Q_c = \frac{[H^+]^2[C_2O_4^{2-}]}{[H_2C_2O_4]}$

Writing Q for an Overall Reaction **كتابة Q لتفاعل كلي**

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

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

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

مثال 2: يُعَدّ ثاني أكسيد النيتروجين ملوّثًا سامًّا يساهم في تكوّن الضباب الدخاني الضوئي الكيميائي. ويتكوّن جزئيًا من خلال التسلسل الآتي من التفاعلات:

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

(1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ $K_{c1} = 4.3 \times 10^{-25}$

(2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ $K_{c2} = 6.4 \times 10^{9}$

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

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

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

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

(1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ $K_{c1} = 4.3 \times 10^{-25}$

(2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ $K_{c2} = 6.4 \times 10^{9}$

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

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

$$Q = \frac{[NO_2]^2}{[N_2][O_2]^2}$$

$$Q_1 = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]} \qquad Q_2 = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}$$

Product: الناتج:

$$Q_1 . Q_2 = \left(\frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}\right)\left(\frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}\right) = \frac{[NO_2]^2}{[N_2][O_2]^2} = Q$$

$$Q = Q_1 \times Q_2$$

b) K_c

بما أنَ جميع الخطوات عند نفس درجة الحرارة.

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

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

كتابة Q للتفاعل الأمامي والعكسي

Writing Q for a Forward vs. Reverse Reaction

مثال على التفاعل (أكسدة ثاني أكسيد الكبريت):

Example reaction (oxidation of sulfur dioxide):

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

حاصل التفاعل في الاتجاه الأمامي:

Reaction quotient for the forward direction:

$$Q_f = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$$

أما إذا كتبنا التفاعل العكسي (التفكك):

If we write the reverse (decomposition) reaction: $2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$

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

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

$$Q_r = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{1}{Q_f}$$

قاعدة عامة (تنطبق كذلك على K_c):

General rule (holds for K_c as well):

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

مثال عددي، عند 1000 K :

Numerical example, at 1000 K:

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

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

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

كتابة Q لتفاعل ضُربت معاملاته في عامل مشترك

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

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

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

إذا ضربنا جميع المعاملات في تفاعل تكوين ثالث أكسيد الكبريت في ½

If we multiply all the coefficients in the formation of sulfur trioxide by ½

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)} \qquad K_c = 261$$

we obtain. نحصل على:

$$SO_{2(g)} + \tfrac{1}{2}O_{2(g)} \rightleftharpoons SO_{3(g)}$$

$$Q_f = \frac{[SO_3]}{[SO_2][O_2]^{1/2}}$$

لاحظ أن قيمة Q_c لهذه المعادلة المُنصَّفة يساوي Q_c الأصلي مرفوعاً للأس ½ :

Notice that Q_c for this halved equation equals the original Q_c raised to the power of ½:

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

تنطبق العلاقة نفسها على ثابت الاتزان:

The same relationship holds for the equilibrium constant:

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

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

العلاقة العامة **General Relationship**

إذا تمَ ضرب جميع المعاملات في معادلة موزونة بمعامل n:

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

$$n(aA + bB \rightleftharpoons cC + dD)$$

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

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

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

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

كتابة Q لتفاعل يحتوي على سوائل نقية أو مواد صلبة نقية

Writing Q for a Reaction Involving Pure Liquids or Solids

حتى الآن، ناقشنا أنظمة غازية (اتزانات متجانسة). عندما تكون المواد في حالات أطوار مختلفة، فإنَّ ذلك يُعَدّ اتزانًا غير متجانس.

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

Example: مثال:

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

وفقًا للقواعد العامة لكتابة حاصل التفاعل.

According to the general rules for writing reaction quotients.

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

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

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

Thus, وبالتالي:

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

التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين K_c و K_p

Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relationship Between K_c and K_p

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

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

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

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

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

Example: Oxidation of Nitric Oxide مثال: أكسدة أول أكسيد النيتروجين

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

يُكتب حاصل التفاعل اعتمادًا على الضغوط الجزئية كما يلي:

The reaction quotient based on partial pressures is:

$$Q_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{(P_{NO})^2(P_{O_2})}$$

عند الاتزان، عندما يكون كل غاز عند ضغطه الجزئي الاتزاني، فإنَّ ثابت الاتزان المقابل يُرمز له بـ K_p. تبقى جميع العلاقات الخاصة بين Q و K قابلة للتطبيق عند استبدال التراكيز بالضغوط الجزئية.

يرتبط كلٌّ من K_p و K_c بالعلاقة التالية:

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

The K_p and K_c are related by relationship:

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

where: حيث:

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

T = temperature in Kelvin درجة الحرارة بالكالفن

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

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

If: إذا:

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

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

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

مثال 3: يقوم مهندس كيميائي بحقن الحجر الجيري $CaCO_3$ في غاز المداخن الساخن المنبعث من محطة طاقة تعمل بالفحم لتكوين الجير CaO، الذي يزيل غاز SO_2 من الغاز مكوّنًا الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. احسب قيمة K_c للتفاعل الآتي:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \qquad K_p = 2.1\times10^{-4} \quad (\text{at } 1000\ K)$$

Example 3: A chemical engineer injects limestone $CaCO_3$ into the hot flue gas of a coal burning power plant to form lime CaO, which scrubs SO_2 from the gas and forms gypsum $CaSO_4.2H_2O$. Find K_c for the following reaction:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \qquad K_p = 2.1\times10^{-4} \quad (\text{at } 1000\ K)$$

$\Delta n_{(gas)}$ = (1 mol gas products نواتج غازية) − (0 mol gas reactants متفاعلات غازية) = +1

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

Given R = 0.0821 L·atm mol^{-1} K^{-1} and T = 1000 K

$$RT = 82.1\ \text{L·atm mol}^{-1}$$

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

مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل
Comparing Q and K to Predict Reaction Direction

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

- زيادة كمية النواتج تجعل Q أكبر.
- زيادة كمية المتفاعلات تجعل Q أصغر.

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

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

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

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

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

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

$Q < K_c$, reactants متفاعلات $\longrightarrow$ products نواتج

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

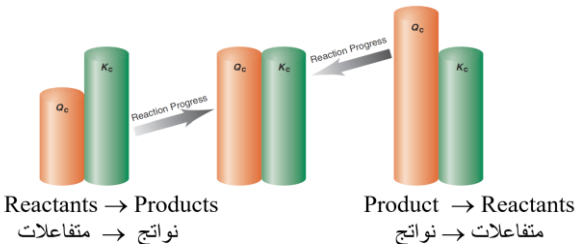
2. If Q is greater than K, the numerator (products) is too large relative to the denominator (reactants). To reach equilibrium, products must decrease, and reactants must increase. The reaction proceeds to the left, toward reactants:

$Q > K_c$, reactants متفاعلات $\longleftarrow$ products نواتج

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

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

$Q = K_c$, reactants متفاعلات $\rightleftharpoons$ products نواتج



الشكل 8.2: اتجاه التفاعل والعلاقة بين قيمتي Q وK

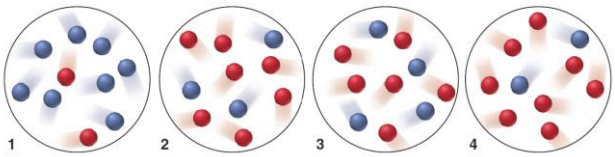
Figure 8.2: Reaction direction and the relative sizes of Q and K

Summary: **المُلخَّص:**

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

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

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



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

التجربة experiment	N_A(red) الأحمر	N_B(blue) الأزرق	$Q_c=N_B/N_A$	مقارنة مع $K_c = 0.43$ Compare to $K_c = 0.43$	الاتجاه Direction
1	2	8	4.0	$Q > K_c$	Left (toward A) اليسار (باتجاه A)
2	7	3	0.43	$Q = K_c$	At equilibrium في حالة اتزان
3	6	4	0.67	$Q > K_c$	Left (toward A) اليسار (باتجاه A)
4	8	2	0.25	$Q < K_c$	Right (toward B) اليمين (باتجاه B)

Final Results: **النتائج النهائية:**

- التجارب 1 و 3: يتجه التفاعل نحو اليسار(تتكوّن كمية أكبر من A).
- التجربة 2: التفاعل في حالة اتزان (لا يحدث تغيُّر).
- التجربة 4: يتجه التفاعل نحو اليمين (تتكوّن كمية أكبر من B).

- Experiments 1, 3: Reaction proceeds left (forms more A).
- Experiment 2: Reaction at equilibrium (no change).
- Experiment 4: Reaction proceeds right (forms more B).

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

Example 5: For the reaction $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$, $K_c = 0.21$ at 100°C. At a point during the reaction, $[N_2O_4] = 0.12$ M and $[NO_2] = 0.55$ M. Is the reaction at equilibrium? If not, in which direction will it proceed?

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

$$Q > K_c$$

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

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

How to Solve Equilibrium Problems — كيفية حل مسائل الاتزان

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

1. حساب قيمة K بمعلومية الكميات عند الاتزان.

2. حساب كميات الاتزان بمعلومية قيمة K والكميات الابتدائية.

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

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

Using Quantities to Find the Equilibrium Constant — استخدام الكميات لإيجاد ثابت الاتزان

هناك نوعان شائعان من هذه المسائل: أحدهما يتضمَّن التعويض بالكميات لحساب K، والآخر يتطلّب إيجاد بعض الكميات أولًا.

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

التعويض بكميات الاتزان في Q لإيجاد K

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

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

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

Substituting Equilibrium Quantities into Q to Find K

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

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

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

$$[H_2] = [I_2] = \frac{1.80}{1.50} = 1.20\ \text{M}, [HI] = \frac{0.520}{1.50} = 0.347\ \text{M}$$

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \Rightarrow K_c = \frac{(0.347)^2}{(1.20)(1.20)} = 8.36 \times 10^{-2}$$

استخدام جدول التفاعل (ICE) لإيجاد كميات الاتزان و K

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

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

مثلاً في دراسة لأكسدة الكربون، سُخِّن وعاء مُفرَّغ يحتوي على كمية صغيرة من مسحوق الجرافيت إلى درجة حرارة 1080 K. أُضيف غاز $CO_{2(g)}$ حتى وصل الضغط إلى 0.458 atm، وتكوَّن CO عند الاتزان، وكان الضغط الكلي 0.757 atm. احسب K_p.

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

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

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

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

$$C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{(g)}$$ (heterogeneous equilibrium اتزان غير متجانس)

ICE table in partial pressures (atm) جدول ICE بالضغوط الجزئية (atm)

State	$CO_{2(g)}$	$CO_{(g)}$	$C_{(s)}$
Initial	0.458	0	excess (فائض)
Change	−x	+2x	–
Equilibrium	0.458 – x	2x	–

Total equilibrium pressure: الضغط الكلي عند الاتزان:

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

$$P_{CO_2,eq} = 0.458 - 0.299 = 0.159 \text{ atm}$$

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

For this reaction, solids are neglected: لهذا التفاعل، تُهمل المواد الصلبة:

$$K_p = \frac{(P_{CO})^2}{P_{CO_2}} = \frac{(0.598)^2}{0.159} \approx 2.25$$

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

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

عند الاتزان، كان [HI] = 0.078 M، احسب قيمة K_c.

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

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

At equilibrium, [HI] = 0.078 M. Calculate K_c.

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

State	HI	H_2	I_2
I	0.100	0	0
C	-2x	+x	+x
E	0.100 − 2x	x	x

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

$$[H_2]_{(eq)} = [I_2]_{(eq)} = 0.011 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[H_2]_{eq}[I_2]_{eq}}{[HI]^2_{eq}} = \frac{(0.011)(0.011)}{(0.078)^2} = 1.99 \times 10^{-2}$$

Using the Equilibrium Constant to Find Quantities

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

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

مثال 7: في دراسة لتحويل الميثان إلى أنواع وقود أخرى، يخلط مهندس كيميائي غازي CH_4 وH_2O في دورق سعة 0.32 L عند درجة حرارة 1200 K. عند الاتزان، يحتوي الدورق على 0.26 mol من CO و0.091 mol من H_2، و 0.041 mol من CH_4، وقليل من H_2O. احسب قيمة $[H_2O]$ عند الاتزان؟ (لهذه العملية عند درجة حرارة 1200 K تكون قيمة $K_c = 0.26$.)

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

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

$$K_c = \frac{[CO]\,[H_2]^3}{[CH_4]\,[H_2O]}$$

Equilibrium concentrations: تراكيز الاتزان:

$$[CH_4] = \frac{0.041}{0.32} = 0.13\ M, [CO] = \frac{0.26}{0.32} = 0.81\ M, [H_2] = \frac{0.091}{0.32} = 0.28\ M$$

$$[H_2O] = \frac{[CO]\,[H_2]^3}{[CH_4]\,K_c} = \frac{(0.813)(0.284)^3}{(0.128)(0.26)} \approx 0.56\ M$$

مثال 8: يستخدم مهندسو الوقود مقدار التحوّل من CO وH_2O إلى CO_2 و H_2 لتنظيم نسب خلطات الوقود التركيبي. إذا وُضِع 0.250 mol من غاز CO و 0.250 mol من بخار الماء في دورق حجمه 125 mL عند 900 K، فما تركيب مزيج الاتزان عند نفس درجة الحرارة، إذا علمت أنَ قيمة K_c تساوي 1.56.

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

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)} \qquad K_c = 1.56$$

Initial concentrations (0.125 L): التراكيز الابتدائية (0.125 L):

$$[CO]_0 = [H_2O]_0 = \frac{0.250}{0.125} = 2.00\ M; [CO_2]_0 = [H_2]_0 = 0$$

Concentration (M)	CO(g)	$H_2O(g)$	$CO_2(g)$	$H_2(g)$
Initial (I)	2.00	2.00	0	0
Change (C)	−x	−x	+x	+x
Equilibrium (E)	2.00 − x	2.00 − x	x	x

$$K_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = \frac{x^2}{(2.00-x)^2} = 1.56 \Rightarrow \frac{x}{2.00-x} = \sqrt{1.56} = 1.249$$

x=1.11

تراكيز الاتزان: Equilibrium concentrations:

$[CO] = [H_2O] = 2.00 - 1.11 = 0.889\ M$

$[CO_2] = [H_2] = 1.11\ M$

وبالتالي عدد مولات الاتزان (في 0.125 L) Equilibrium moles (in 0.125 L)

$n_{CO} = n_{H_2O} = 0.889 \times 0.125 = 0.111\ mol;$

$n_{CO_2} = n_{H_2} = 1.11 \times 0.125 = 0.139\ mol.$

استخدام معادلات من الدرجة الثانية لإيجاد تركيز المجهول

في بعض مسائل الاتزان الكيميائي، لا يمكن استخدام طريقة الاختصار المبسطة التي تفترض أن تراكيز المواد المتفاعلة متساوية في البداية، لأن المواد المتفاعلة قد تبدأ بتراكيز مختلفة.

على سبيل المثال، إذا بدأ التفاعل بتركيز 2.00 M CO و 1.00 M H_2O فإن التغيرات في التراكيز لن تتناقص بشكل متماثل. في هذه الحالة، يجب إعداد جدول ICE (الابتدائي – التغير – الاتزان) بالطريقة المعتادة، وسينتج عن ذلك معادلة من الدرجة الثانية عند كتابة تعبير ثابت الاتزان.

Using the Quadratic Formula to Find the Unknown

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

For example, if a reaction starts with 2.00 M CO and 1.00 M H_2O, the changes in concentration no longer cancel symmetrically. In this case, the ICE (Initial–Change–Equilibrium) table must be set up normally, and the resulting equilibrium expression will form a quadratic equation.

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

Concentration (M)	CO(g)	$H_2O(g)$	$CO_2(g)$	$H_2(g)$
Initial (I)	2.00	1.00	0	0
Change (C)	−x	−x	+x	+x
Equilibrium (E)	2.00 − x	1.00 − x	x	x

$$K_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = \frac{(x)(x)}{(2.00-x)(1.00-x)} = 1.56$$

$x = 0.732\ M$

$[CO] = 2.00 - 0.732 = 1.27\ M$

$[H_2O] = 1.00 - 0.732 = 0.268\ M$

$[CO_2] = [H_2] = 0.732\ M$

المسائل التي تتضمن خليطاً من المواد المتفاعلة والنواتج

Problems Involving Mixtures of Reactants and Products

في مسائل الاتزان السابقة، كانت التفاعلات تبدأ بوجود المتفاعلات فقط، لذلك كان اتجاه التفاعل نحو تكوين النواتج واضحاً، وكانت التغيرات في التراكيز تُعطى بإشارة سالبة للمتفاعلات وإشارة موجبة للنواتج.

أما عندما يبدأ النظام بوجود مزيج من المتفاعلات والنواتج، فإن اتجاه التفاعل غير معروف مسبقاً.

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

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

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

إذا كان $Q < K$، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين النواتج.
إذا كان $Q > K$، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين المتفاعلات.
تساعد هذه المقارنة على تحديد اتجاه التغير قبل إعداد جدول ICE الخاص بالاتزان

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

If $Q < K$, the reaction shifts toward products.
If $Q > K$, the reaction shifts toward reactants.
This comparison identifies the direction of change before setting up the ICE table.

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

$$CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$$

في إحدى التجارب، تم خلط 1.00 mol من CH_4 و 1.00 mol من CS_2 و 2.00 mol من H_2S و 2.00 mol من H_2 في وعاء حجمه 250 mL عند درجة حرارة 960 °C. عند هذه الدرجة من الحرارة، كانت قيمة ثابت الاتزان $K_c = 0.036$.
a) في أي اتجاه سيتقدّم التفاعل للوصول إلى حالة الاتزان؟
b) إذا كان $[CH_4] = 5.56$ M عند الاتزان، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟

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

$$CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$$

In one experiment, 1.00 mol of CH_4, 1.00 mol of CS_2, 2.00 mol of H_2S, and 2.00 mol of H_2 are mixed in a 250 mL vessel at 960 °C. At this temperature, $K_c = 0.036$.
a) In which direction will the reaction proceed to reach equilibrium?
b) If $[CH_4] = 5.56$ M at equilibrium, what are the equilibrium concentrations of the other substances?

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

a) Direction of reaction a) اتجاه التفاعل

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

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

التفاعل ينزاح الى اليسار (باتجاه المتفاعلات) للوصول الى الاتزان.
Reaction shifts left (toward reactants) to reach equilibrium.

b) Find equilibrium concentrations b) ايجاد تراكيز الاتزان

State	$CH_{4(g)}$	$+ 2H_2S_{(g)}$	$\rightleftharpoons CS_{2(g)}$	$+ 4H_{2(g)}$
I	4.00	8.00	4.00	8.00

State	$CH_{4(g)}$	$+ 2H_2S_{(g)}$	$\rightleftharpoons CS_{2(g)}$	$+ 4H_{2(g)}$
C	+x	+2x	−x	−4x
E	4.00 + x	8.00 + 2x	4.00 − x	8.00 − 4x

At equilibrium عند الاتزان $[CH_4] = 5.56$ M
$4.00 + x = 5.56 \Rightarrow x = 1.56$
$[H_2S] = 8.00 + 2(1.56) = 11.12$ M
$[CS_2] = 4.00 - 1.56 = 2.44$ M
$[H_2] = 8.00 - 4(1.56) = 1.76$ M

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

شروط التفاعل والاتزان: مبدأ لو شاتلييه
Reaction Conditions and Equilibrium: Le Châtelet's Principle

Le Châtelet's Principle مبدأ لو شاتلييه

- المبدأ: عندما يتعرض نظام في حالة اتزان لاضطراب، فإنّه يستعيد حالة الاتزان من خلال تفاعلٍ صافٍ يقلّل من تأثير هذا الاضطراب.
- الاضطراب: يحدث عندما يُؤدّي التغيير إلى جعل $Q \neq K$. ومن أكثر التغيُرات شيوعًا: التركيز، أو الضغط (عن طريق الحجم)، أو درجة الحرارة.
- التفاعل الصافي / اتجاه موضع الاتزان: يتجه موضع الاتزان نحو اليمين (من المتفاعلات إلى النواتج) أو نحو اليسار (من النواتج إلى المتفاعلات) حتى يتم الوصول إلى حالة اتزان جديدة، مع تغيّر التراكيز / الضغوط لمعادلة تأثير الاضطراب.
- محور هذا الجزء: دراسة الاستجابة للتغيرات في التركيز، والضغط (أو الحجم)، ودرجة الحرارة، وإضافة عامل محفِّز، باستخدام النظام $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ بوصفه مثالًا توضيحيًا.

- Principle: When a system at equilibrium is disturbed, it reattains equilibrium by a net reaction that reduces the effect of the disturbance.
- Disturbance: Occurs when a change forces $Q \neq K$. Common changes: concentration, pressure (via volume), or temperature.
- Net reaction/shift: The equilibrium position shifts right (from reactants to products) or left (from products to reactants) until a new equilibrium is reached, changing concentrations/pressures to counter the disturbance.
- The focus of this section: studying the response to changes in concentration, pressure (or volume), temperature, and the addition of a catalyst, using the system $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ as an illustrative example.

The Effect of a Change in Concentration تأثير التغيُّر في التركيز

عندما يتعرَض نظام في حالة اتزان لتغيّرٍ في تركيز أحد مكوناته، فإنه يستجيب بالانتقال في الاتجاه الذي يقلّل من هذا التغيُّر:
إذا ازداد تركيز أحد المتفاعلات فإن الاتزان الكيميائي سينتقل في الاتجاه الذي يقلل من هذه الزيادة في التركيز. وبالتالي، ستزداد سرعة التفاعل، وستتغيّر تراكيز النواتج بما يتناسب مع تأثير زيادة التركيز.
وبالمثل، إذا أُزيلت كمية من أحد المتفاعلات، فإن التفاعل سيتجه في الاتجاه الذي يعوّض هذا النقص؛ أي أنّه سيتحرك في الاتجاه الذي يعاكس انخفاض تركيز تلك المادة. فقط المواد التي تظهر في علاقة الاتزان (Q) تُؤثِر على موضع الاتزان؛ لذلك فإن التغيُّر في كميات السوائل أو المواد الصلبة النقية لا يؤثّر.

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

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

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

A Qualitative View of a Concentration Change نظرة نوعية على تغير التركيز

عند درجة حرارة 523 K، يصل النظام $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ إلى حالة الاتزان عندما:

system reaches equilibrium when At 523 K, $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ then:

$$Q_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]} = 24.0 = K_c$$

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

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

1. زيادة كمية متفاعل $PCl_3 + Cl_{2\ (added)} \rightarrow PCl_5$

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

1. Adding a Reactant $PCl_3 + Cl_{2\ (added)} \rightarrow PCl_5$

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

2. إنقاص كمية متفاعل $PCl_5 \leftarrow PCl_{3(removed)} + Cl_2$

إذا تم إنقاص تركيز PCl_3، سيتجه النظام نحو الجهة اليسرى (جهة المتفاعلات) لاستعادة الاتزان. إنَ خَفض تركيز $[PCl_3]$ يؤَدي في البداية إلى زيادة Q_c، بحيث يصبح $Q_c > K_c$. يتفكك جزءً من PCl_5 إلى PCl_3 و Cl_2 حتى يعود الاتزان، حيث تصبح $Q_c = K_c$.

2. Removing a Reactant $PCl_{3(removed)} + Cl_2 \leftarrow PCl_5$

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

3. زيادة أو إنقاص كمية ناتج

تنطبق المبادئ نفسها على النواتج:
زيادة تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليسار (باتجاه المتفاعلات).
إنقاص تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليمين (باتجاه النواتج).

3. Adding or Removing a Product

The same principles apply to a products:
Adding PCl_5 shifts equilibrium to the left (toward reactants).
Removing PCl_5 shifts equilibrium to the right (toward products).

القاعدة المُلخَّصة:

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

Summary Rule:

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

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

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

$$2H_2S_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2S_{(s)} + 2H_2O_{(g)}$$

ما الذي يحدث لـ؟
a) $[H_2O]$ إذا أُضيف O_2؟
b) $[H_2S]$ إذا أُضيف O_2؟
c) $[O_2]$ إذا أُنقص H_2S؟
d) $[H_2S]$ إذا أُضيف الكبريت؟

What happens to?
a) $[H_2O]$ if O_2 is added?
b) $[H_2S]$ if O_2 is added?
c) $[O_2]$ if H_2S is removed?
d) $[H_2S]$ if sulfur is added?

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

(ملاحظة: لا تظهر المادة الصلبة $S_{(s)}$ في كلٍ من Q أو K)
(Note: the solid S(s) does not appear in Q or K)

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

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

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

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

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

- **تغيير تركيز أحد المكونات الغازية**

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

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

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

- **إضافة غاز خامل (لا يشارك في التفاعل)**

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

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

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

- **تغيير حجم وعاء التفاعل**

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

- **Changing the volume of the reaction vessel**

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

تأثير تغيُّر الحجم (أو الضغط) على الاتزان الغازي

Effect of Volume (or Pressure) Changes on Gaseous Equilibrium

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

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

2 mol غاز $\rightleftharpoons$ 1 mol غاز

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

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

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

2 mol gas $\rightleftharpoons$ 1 mol gas

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

Mathematically: رياضياً:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

يُعَد تغير الحجم فعليًا تغيرًا في التركيز، لذا لا تتغيّر قيمة K_c مع تغيّر الضغط/الحجم.

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

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

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

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

b) $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightleftharpoons SF_{6(g)}$

c) $Cl_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2ICl_{(g)}$

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

$0 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 1 \text{ mol gas}$

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

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

b) $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightleftharpoons SF_{6(g)}$

$3 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 1 \text{ mol gas}$

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

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

c) $Cl_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2ICl_{(g)}$

$2 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 2 \text{ mol gas}$ (no change لا يوجد تغير)

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

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

The Effect of a Change in Temperature — تأثير التغير في درجة الحرارة

تأثير درجة الحرارة على الاتزان و K_c

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

لننظر إلى التفاعل: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)} \quad \Delta H_{rxn} = -111\ kJ$

يكون التفاعل الأمامي طارداً للحرارة (يُطلِق حرارة)، بينما التفاعل العكسي ماصاً للحرارة (يمتص حرارة).

إذا عوملت الحرارة (Q) كمكون في النظام : $A \rightleftharpoons B + Q$

رفع درجة الحرارة يُضيف حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي).

وعند خفض درجة الحرارة تُزال حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الطارد للحرارة (الاتجاه الأمامي).

عند الاتزان يكون $Q_c = K_c$.

في التفاعلات الطاردة للحرارة (مثل تكوين PCl_5)، فإن زيادة درجة الحرارة تعادل إضافة حرارة للنظام، لذلك يتجه التفاعل نحو الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي) لامتصاص الحرارة الزائدة، مما يُقلِل تركيز النواتج ويُخفِض قيمة K_c. وعلى العكس فإنَ خَفِض درجة الحرارة، فيتجه التفاعل إلى الاتجاه الأمامي (الطارد للحرارة) مُنتجاً المزيد من PCl_5 ويُزيد من قيمة K_c.

Effect of Temperature on Equilibrium and K_c

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

Consider the reaction: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)} \quad \Delta H_{rxn} = -111\ kJ$

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

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

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

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

At equilibrium, $Q_c = K_c$.

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

باختصار:

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

للتفاعلات الطاردة للحرارة: $(\Delta H_{rxn} < 0)$ زيادة درجة الحرارة تُنقِص من قيمة K_c.

In summary:

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

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

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

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

a) $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons \underline{Ca(OH)_{2(aq)}} \quad \Delta H^o = -82\ kJ$

b) $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + \underline{CO_{2(g)}}$ $\Delta H^o = 178$ kJ

c) $\underline{SO_{2(g)}} \rightleftharpoons S_{(s)} + O_{2(g)}$ $\Delta H^o = 297$ kJ

a) $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons \underline{Ca(OH)_{2(aq)}} + heat$

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

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

b) $CaCO_{3(s)} + heat$ حرارة $\rightleftharpoons CaO_{(s)} + \underline{CO_{2(g)}}$

إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها يزداد تركيز $[CO_2]$ وتزداد قيمة K.

Adding heat shifts the system to the right: $[CO_2]$ and K will increase.

c) $\underline{SO_{2(g)}} + heat \rightleftharpoons S_{(s)} + O_{2(g)}$

إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها ينخفض تركيز $[SO_2]$ وتزداد قيمة K.

Adding heat shifts the system to the right: $[SO_2]$ will decrease, and K will increase.

The Lack of Effect of a Catalyst عدم تأثير العامل المُحفِّز

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

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

اختيار الظروف المثلى للتفاعل- عملية هابر

Choosing the Optimum Conditions for a Reaction- Haber Process

Industrial Production of Ammonia الإنتاج الصناعي للأمونيا

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 \qquad \Delta H = -91.8 \text{ kJ}$$

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

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

Problems مسائل

(8-1)

اختر الإجابة الصحيحة Choose the correct answer

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

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

a) تزداد سرعة التفاعل للتفاعل $A + B \rightarrow C + D$ وتقل سرعة التفاعل للتفاعل $C + D \rightarrow A + B$

a) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases and the rate of $C + D \rightarrow A + B$ reaction decreases.

b) تزداد سرعة كلا التفاعلين $A + B \rightarrow C + D$ و $C + D \rightarrow A + B$ بشكل متساو.

b) The reaction rates for both $A + B \rightarrow C + D$ reaction and $C + D \rightarrow A + B$ reaction increases equally.

c) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أكبر من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$

c) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases more than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

d) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أقل من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$

d) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases less than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

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

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

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} + \text{heat}$$

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

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

a) ينقص العدد الإجمالي للجزيئات في الوعاء.

a) The total number of molecules in the container decreases.

b) تبقى سرعات التفاعل لكلا التفاعلات الأمامية والعكسية ثابتة.

b) The reaction rates of both the forward and reverse reactions remain constant.

c) يقل متوسط الكتلة الجزيئية للمزيج الغازي

c) The average molecular mass of the gaseous mixture decreases.

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

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

(8-2)

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

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

$$2IBr_{(g)} \rightleftharpoons I_{2(g)} + Br_{2(g)}$$

افترض أنه قد تم الوصول الى الاتزان عند درجة الحرارة أعلاه عن طريق إضافة $IBr_{(g)}$ فقط إلى دورق التفاعل. ما تراكيز $I_{2(g)}$ و $Br_{2(g)}$ عند الاتزان أذا كان تركيز $IBr_{(g)}$ 0.0124 moles/liter ؟

Assume that equilibrium is reached at the above temperature by adding only $IBr_{(g)}$ to the reaction flask. What are the concentrations of $I_{2(g)}$ and $Br_{2(g)}$ in equilibrium with 0.0124 moles/liter of $IBr_{(g)}$?

b) ما التركيز الابتدائي لـ $IBr_{(g)}$ قبل الوصول للاتزان؟

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

(8-3)

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

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

$$3A_{(g)} \rightleftharpoons 5B_{(g)} + 2C_{(g)}$$

ما قيمة ثابت الاتزان K_c عند نفس درجة الحرارة؟

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

(8-4)

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

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

PROBLEMS ANSWER إجابات المسائل

(8-1)

1	2
d	c

(8-2)

	$2IBr_{(g)}$	⇌	$I_{2(g)}$	+	$Br_{2(g)}$
I	Y		0		0
C	-2x		+x		+x
E	0.0124		x		x

a) $Y - 2x = 0.0124\ M$

$K = [Br_2][I_2] / [IBr]^2 = x^2/(0.0124)^2 = 4.13 \times 10^{-2}$

$x = 2.52 \times 10^{-3}\ M$

$[Br_2] = [I_2] = 2.52 \times 10^{-3}\ M$

b) $Y - 2x = 0.0124$

$Y = 0.0124 + 2\ (2.52 \times 10^{-3}) = 0.0174\ M$

(8-3)

	$3A_{(g)}$	⇌	$5B_{(g)}$	+	$2C_{(g)}$
I	0.924		0		0
C	-3x		+5x		+2x
	-0.329		5x 0.1195		2x 0.1195
E	0.924-3x = 0.5655		5x = 0.5975		2x = 0.239

$3x = 0.924 \times 38.8\% = 0.3585 \rightarrow x = 0.1195$

$$K_c = \frac{[B]^5[C]^2}{[A]^3}, K_c = \frac{(0.5975)^5(0.239)^2}{(0.5655)^3} = 0.0241$$

(8-4)

(1) $S^{2-} + S_{(s)} \rightleftharpoons S_2^{2-}$ $K_1 = 12$

(2) $S^{2-} + 2S_{(s)} \rightleftharpoons S_3^{2-}$ $K_2 = 130$

(3) $S_2^{2-} + S_{(s)} \rightleftharpoons S_3^{2-}$ $(K_{(3)} = ?)$

$$K_{(3)} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{130}{12} = 10.83$$

Acid and Base Concepts — مفاهيم الحموض والقواعد

تم التعرّف على الحموض والقواعد أولاً من خلال خصائص بسيطة مثل الطعم وتغيير اللون. تتميّز الحموض بطعمها اللاذع وتحوّل ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، بينما تتميز القواعد بطعمها المر وتحوّل ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق. كما تؤثّر أيضًا على الكواشف مثل الفينولفثالين، حيث تحوّل الحموض لونه إلى عديم اللون، بينما تحوّله القواعد الى اللون الوردي. تتعادل الحموض والقواعد مع بعضها لتكوين الأملاح، وتتفاعل الحموض مع الفلزات النشطة مثل المغنيسيوم والزنك مُطلقة غاز الهيدروجين.

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

Arrhenius Concept of Acids and Bases — مفهوم أرهينيوس للحموض والقواعد

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

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

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

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

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

$$HClO_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + ClO_4^-{}_{(aq)}$$
$$NaOH_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

أما الحموض الضعيفة مثل حمض الخليك $HC_2H_3O_2$، فإنها تتأين جزئيًا فقط في تفاعل عكسي:

Weak acids, such as $HC_2H_3O_2$, ionize only partially in a reversible reaction:

$$HC_2H_3O_2 + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$$

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

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

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

وتطلَق حرارة مقدارها -55.90 kJ لكل مول من أيونات H^+.

releasing heat -55.90 kJ per mole of H^+.

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

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

مفهوم برونستد–لاوري للحموض والقواعد

Brønsted–Lowry Concept of Acids and Bases

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

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

$$H_3O^+_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + NH_4^+{}_{(aq)}$$

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

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

$$HCl(benzene) + NH_3(benzene) \rightleftharpoons NH_4Cl_{(s)}$$

حيث يمنح HCl بروتونًا لـ NH_3.

where HCl donates a proton to NH_3.

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

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

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

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

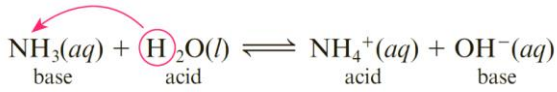
where NH_3 is a base and H_2O is an acid in the forward direction, while NH_4^+ is the acid and OH^- is the base in the reverse direction.

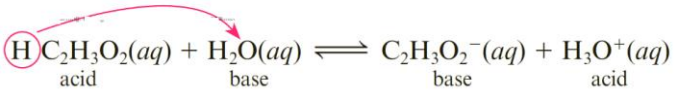
يشكّل كل من NH_4^+ و NH_3 زوج حمض-قاعدة مقترن لأنهما يختلفان ببروتون واحد، حيث أنّ NH_4^+ هو الحمض المقترن لـ NH_3 و NH_3 هي القاعدة المقترنة لـ NH_4^+.

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

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

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





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

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

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

يبين الجدول 9.1 الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة.

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

النوع Species	القاعدة المقترنة Conjugate base	النوع Species	الحمض المقترن Conjugate acid
CH_3COOH	CH_3COO^-	NH_3	NH_4^+
H_2O	OH^-	H_2O	H_3O^+
NH_3	NH_2^-	OH^-	H_2O
H_2SO_4	HSO_4^-	H_2NCONH_2	$H_2NCONH_3^+$

الجدول 9.1: الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة

Table 9.1: Conjugate Acids and Base of Some Common Species

Example 1: **مثال 1:**

1. اكتب صيغ القواعد المقترنة للحموض التالية:

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

a) HCN, b) HCO_3^-, c) $N_2H_5^+$, d) C_2H_5OH, e) HNO_3

2. اكتب صيغ الحموض المقترنة للقواعد التالية:

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

a) $C_2H_3O_2^-$, b) HCO_3^-, c) C_5H_5N, d) $N_2H_5^+$, e) OH^-

3. في المعادلات التالية، عيّن أيَّ نوعٍ يُمثِّل حمضًا و أيَّ نوعٍ يُمثِّل قاعدة. ثم أظهِر أزواج الحمض–القاعدة المقترنة.

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

a) $HCO_3^-(aq) + HF(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + F^-(aq)$

b) $HCO_3^-(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_2O(l)$

Answers **الإجابات**

1. a) $HCN \rightarrow CN^-$, b) $HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-}$, c) $N_2H_5^+ \rightarrow N_2H_4$, d) $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5O^-$, e) $HNO_3 \rightarrow NO_3^-$

2. a) $C_2H_3O_2^- \rightarrow HC_2H_3O_2$, b) $HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3$, c) $C_5H_5N \rightarrow C_5H_5NH^+$, d) $N_2H_5^+ \rightarrow N_2H_6^{2+}$, e) $OH^- \rightarrow H_2O$

3.

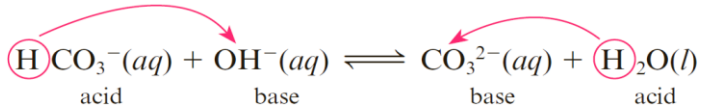
a) $HCO_3^-(aq) + HF(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + F^-(aq)$

base acid acid base

HCO_3^- هو القاعدة، وHF هو الحمض ← H_2CO_3 (الحمض المقترن لـ HCO_3^-) و F^- (القاعدة المقترنة لـ HF). الأزواج المقترنة: HCO_3^-/H_2CO_3 و HF/F^-.

HCO_3^- is the base, HF is the acid → H_2CO_3 (conjugate acid of HCO_3^-) and F^- (conjugate base of HF). Pairs: HCO_3^-/H_2CO_3 and HF/F^-.

b)



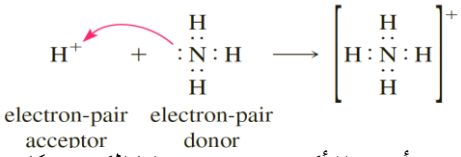
HCO_3^- هو الحمض، وOH^- هو القاعدة ← CO_3^{2-} (القاعدة المقترنة لـ HCO_3^-) و H_2O (الحمض المقترن لـ OH^-). الأزواج المقترنة: HCO_3^-/CO_3^{2-} و H_2O/OH^-.

HCO_3^- is the acid, OH^- is the base → CO_3^{2-} (conjugate base of HCO_3^-) and H_2O (conjugate acid of OH^-). Pairs: HCO_3^-/CO_3^{2-} and H_2O/OH^-.

Lewis Concept of Acids and Bases مفهوم لويس للحموض والقواعد

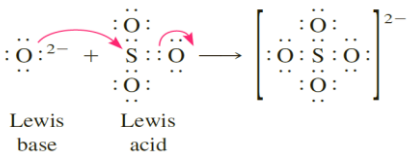
وفقًا للويس G. N. Lewis، يُعرَّف الحمض بأنه النوع الذي يستقبل زوجًا من الإلكترونات لتكوين رابطة تساهمية، بينما تُعرَّف القاعدة حسب لويس بأنها النوع الذي يمنح زوجًا من الإلكترونات لتكوين هذه الرابطة. يُعطي هذا المنظور تفسيرًا آخر للتفاعلات التي يشرحها أيضًا مفهوم برونستد–لاوري، مثل تفاعل NH_3 مع HCl في المحلول المائي، حيث يستقبل البروتون من أيون الهيدرونيوم H_3O^+ زوجًا من الإلكترونات من NH_3 لتكوين رابطة H–N، مما يجعل البروتون حمض لويس و NH_3 قاعدة لويس.

According to G. N. Lewis, a Lewis acid is a species that accepts an electron pair to form a covalent bond, while a Lewis base donates an electron pair to form such a bond. This provides another perspective on reactions also explained by Brønsted–Lowry theory, such as the reaction of NH_3 with HCl in aqueous solution, where a proton from H_3O^+ accepts an electron pair from NH_3 to form an H–N bond, making the proton a Lewis acid and NH_3 a Lewis base.



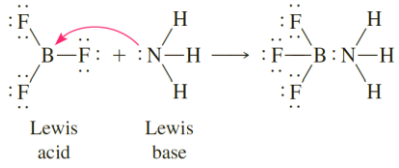
في التفاعل بين Na_2O و SO_3، يمنح أيون الأكسيد O^{2-} زوجًا إلكترونيًا ويعمل كقاعدة لويس، بينما يستقبل SO_3 زوج الالكترونات ويعمل كحمض لويس.

In the reaction between Na_2O and SO_3, the oxide ion O^{2-} donates an electron pair, acting as a Lewis base, while SO_3 accepts the electron pair and acts as a Lewis acid.



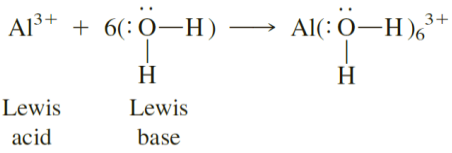
ويُعَد تفاعل ثلاثي فلوريد البورون (BF_3) مع الأمونيا مثالً آخراً، حيث يمنح NH_3 زوج الإلكترونات الحرة إلى ذرة البورون في BF_3، فيكون NH_3 قاعدة لويس و BF_3 حمض لويس، ويشارك زوج الإلكترونات ليكوِن رابطة B–N.

The reaction of boron trifluoride (BF_3) with ammonia is another example in which NH_3 donates its lone electron pair to the boron atom of BF_3, making NH_3 a Lewis base and BF_3 a Lewis acid, with the electron pair now shared to form a B–N bond.



كما أن تكوين الأيونات المعقَّدة مثل $Al(H_2O)_6^{3+}$ ينطوي أيضًا على سلوك حمض–قاعدة وفقًا لمفهوم لويس، حيث يعمل أيون الفلز كحمض لويس باستقباله أزواج الإلكترونات من جزيئات H_2O التي تعمل كقواعد لويس.

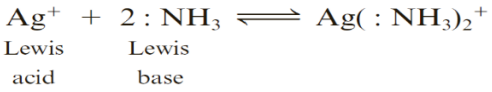
The formation of complex ions such as $Al(H_2O)_6^{3+}$ also involves Lewis acid–base behavior, as the metal ion acts as a Lewis acid by accepting electron pairs from molecules like H_2O, which act as Lewis bases.



مثال 2: في التفاعلات التالية، حدِّد الحمض والقاعدة وفقًا لمفهوم لويس.

Example 2: In the following reactions, identify the Lewis acid and the Lewis base. a) $Ag^+ + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+$, b) $B(OH)_3 + H_2O \rightleftharpoons B(OH)_4^- + H^+$

a)

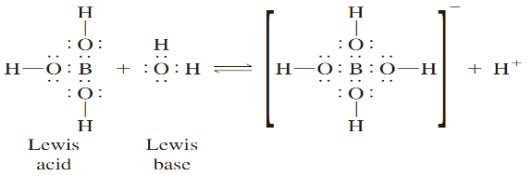


Lewis acid حمض لويس: Ag^+ accepts lone pairs يكتسب زوجا غير رابط

Lewis base قاعدة لويس : NH_3 (donates its N lone pair to Ag^+)

(يمنح الزوج غير الرابط عند N إلى Ag^+)

b) $B(OH)_3 + H_2O \rightleftharpoons B(OH)_4^- + H^+$



Lewis acid حمض لويس: $B(OH)_3$ (boron is electron-deficient; accepts a lone pair).

(البورون فقير بالإلكترونات؛ يستقبل زوجًا غير رابط)

Lewis base قاعدة لويس: H_2O (donates a lone pair to boron to form $B(OH)_4^-$).

(يمنح الماء زوجا غير رابط للبورون لتكوين $B(OH)_4^-$).

Acid and Base Strength قوة الحموض والقواعد

ينظر مفهوم برونستد–لاوري إلى تفاعلات الحموض والقواعد على أنها عمليات انتقال بروتون، ويسمح بمقارنة قوة الحموض بناءً على مدى سهولة منحها للبروتونات، بينما تعتمد قوة القاعدة على مدى قدرتها على الاحتفاظ بالبروتون. من خلال دراسة تفاعلات مثل تأيّن HCl في الماء، حيث يستقبل الماء بروتونًا ويتجه التفاعل تقريبًا بالكامل نحو اليمين، يُعرَف HCl على أنه حمض قوي وهو أقوى من H_3O^+، مما يجعل H_3O^+ الحمض الأضعف.

The Brønsted–Lowry concept views acid–base reactions as proton-transfer processes and allows comparison of acid strengths based on how readily they donate protons, while base strength depends on how strongly they hold protons. By examining reactions such as the ionization of HCl in water, where water accepts a proton and the reaction proceeds almost completely to the right, HCl is identified as a strong acid and stronger than H_3O^+, making H_3O^+ the weaker acid.

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

يُظهِر التفاعل العكسي أنّ أيون Cl^- يعمل كقاعدة تستقبل بروتونًا من H_3O^+، ولكن بما أن HCl يفقد بروتونه بسهولة أكبر من H_3O^+، فإن HCl يُعَدّ حمضًا أقوى.

The reverse reaction shows Cl^- acting as a base accepting a proton from H_3O^+, but since HCl loses its proton more readily than H_3O^+, HCl is considered as stronger acid.

$$\underset{\text{stronger acid}}{HCl_{(aq)}} + H_2O_{(l)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + \underset{\text{weaker acid}}{H_3O^+_{(aq)}}$$

في محلول تركيزه 0.1 M من حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$)، يتأين حوالي 1% فقط، مما يشير إلى أنه أضعف من H_3O^+.

In a 0.1 M solution of acetic acid ($HC_2H_3O_2$), only about 1% ionizes, indicating it is weaker than H_3O^+.

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_3O_2^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

أما HF في محلول تركيزه 0.1 M فيتأين حوالي 3%، مما يجعل HF أضعف من H_3O^+ ولكنه أقوى من $HC_2H_3O_2$. وبالتالي، فإن ترتيب قوة الحموض بين هذه الأمثلة هو:

$$HCl > H_3O^+ > HF > HC_2H_3O_2$$

Whereas HF in a 0.1 M solution ionizes about 3%, making HF weaker than H_3O^+ but stronger than $HC_2H_3O_2$. Thus, the order of acid strength among these examples is:

$$HCl > H_3O^+ > HF > HC_2H_3O_2$$

لا يمكن مقارنة الحموض القوية مثل HCl و HI في الماء لأن كليهما يتأين بالكامل، ولكن في مذيب أقل قاعدية مثل حمض الخليك النقي، يتأين HI بدرجة أكبر من تأين HCl، مما يدل على أن HI أقوى. يُوضح الجدول 9.2 تأثير التسوية للماء على الحموض القوية مرتبة في الجدول من الأقوى (الأعلى) إلى الأضعف.

تتجه التفاعلات نحو الحمض الأضعف كما هو موضح في تفاعل HCl مع H_3O^+ حيث يتجه نحو تكوين H_3O^+. وبالنسبة للقواعد مثل H_2O و Cl^-، فإن القاعدة الأقوى تستقبل البروتون بسهولة أكبر، ولذلك بما أن H_2O أقوى من Cl^-، يتجه التفاعل نحو تكوين H_3O^+ و Cl^- باتجاه القاعدة الأضعف.

Strong acids like HCl and HI cannot be compared in water because both ionize completely, but in a less basic solvent such as pure acetic acid, HI ionizes more than HCl, showing that HI is stronger and demonstrating the leveling effect of water on strong acids. Table 9.2 orders acids from strongest at the top to weakest at the bottom, and reactions proceed toward the weaker acid, as seen when HCl reacts with H_3O^+ and shifts toward H_3O^+. For bases like H_2O and Cl^-, the stronger base accepts protons more readily, so since H_2O is stronger than Cl^-, the reaction moves toward products forming H_3O^+ and Cl^-, following the direction of the weaker base.

توجد علاقة بين قوة الحمض وقوة قاعدته المقترنة، حيث إنَ الحموض القوية تمتلك قواعد مقترنة ضعيفة، و القواعد القوية تمتلك حموضاً مقترنة ضعيفة، لذا، تزداد قوة القواعد المقترنة للحموض في الجدول 9.2 من الأعلى إلى الأسفل. لذلك، اتجاه تفاعل الحمض–القاعدة يميل دائمًا إلى تكوين الحمض الأضعف والقاعدة الأضعف، كما في التفاعل المذكور، حيث يتجه التفاعل من الحمض والقاعدة الأقوى إلى نظيريهما الأضعف.

A relationship exists between acid and base strength, where strong acids have weak conjugate bases and strong bases have weak conjugate acids, so the conjugate bases of the acids in Table 9.2 increase in strength from top to bottom. Therefore, the direction of an acid–base reaction favors the formation of the weaker acid and weaker base, as in the reaction discussed, which proceeds from stronger acid and base to weaker counterparts.

$$\underset{\substack{\text{stronger acid}\\ \text{حمض أقوى}}}{HCl_{(aq)}} + \underset{\substack{\text{stronger base}\\ \text{قاعدة أقوى}}}{H_2O_{(l)}} \rightarrow \underset{\substack{\text{weaker base}\\ \text{قاعدة أضعف}}}{Cl^-_{(aq)}} + \underset{\substack{\text{weaker acid}\\ \text{حمض أضعف}}}{H_3O^+_{(aq)}}$$

	الحمض Acid	القاعدة Base	
Strongest acids الحموض الأقوى	$HClO_4$	ClO_4^-	**Weakest bases** القواعد الأضعف
	H_2SO_4	HSO_4^-	
	HI	I^-	
	HBr	Br^-	
	HCl	Cl^-	
	HNO_3	NO_3^-	
	H_3O^+	H_2O	
	HSO_4^-	SO_4^{2-}	
	H_2SO_3	HSO_3^-	
	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	
	HNO_2	NO_2^-	
	HF	F^-	
	$HC_2H_3O_2$	$C_2H_3O_2^-$	
	$Al(H_2O)_6^{3+}$	$Al(H_2O)_5OH^{2+}$	
	H_2CO_3	HCO_3^-	
	H_2S	HS^-	
	HClO	ClO^-	
	HBrO	BrO^-	
	NH_4^+	NH_3	
	HCN	CN^-	
	HCO_3^-	CO_3^{2-}	
الحموض الأضعف **Weakest acids**	H_2O_2	HO_2^-	القواعد الأقوى **Strongest bases**
	HS^-	S^{2-}	
	H_2O	OH^-	

الجدول 9.2: القوى النسبية للحموض والقواعد

Table 9.2: Relative Strengths of Acids and Bases

تدريب 9-1: حدّد اتجاه التفاعل التالي اعتمادًا على القوى النسبية للحموض والقواعد.

Exercise 9-1: Determine the direction of the following reaction from the relative strengths of acids and bases. $H_2S_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons HC_2H_3O_{2(aq)} + HS^-{}_{(aq)}$

.....

.....

.....

.....

التأيُّن الذاتي للماء Autoionization of Water

يمكن للماء أن يعمل كحمض وكقاعدة، وتتفكك نسبة صغيرة من جزيئاته طبيعيًا في عملية تسمى التأين الذاتي (التأين الذاتي للماء).

Water can act as both an acid and a base, and a small fraction of its molecules ionize naturally in a process called autoionization (self-ionization).

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

في هذا التفاعل، يمنح جزيء ماء بروتون (يعمل كحمض)، بينما يستقبل جزيء ماء آخر البروتون (يعمل كقاعدة). وبذلك ينتج أيوني الهيدرونيوم (H_3O^+) والهيدروكسيد (OH^-) الأساسان الضروريان لجميع التفاعلات الكيميائية المائية.

In this reaction, one water molecule donates a proton (acting as an acid), while another accepts it (acting as a base). This produces two ions essential to all aqueous chemistry: the hydronium ion (H_3O^+) and the hydroxide ion (OH^-).

ثابت الاتزان لهذا التفاعل يُعرف باسم **ثابت حاصل تأين** الماء ويمثَّل بالعلاقة:

The equilibrium constant for this reaction is known as the **ion-product constant** for water, represented as:

$$K_w = [H_3O^+][OH^-]$$

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ at } 25\ ^\circ C$$

وبما أن الماء النقي يُنتِج أعدادًا متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد،

Because pure water produces equal numbers of hydronium and hydroxide ions,

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ at } 25\ ^\circ C$$

فإن هذا يفسر لماذا يظهر الماء النقي متعادلا. إذا أُضيف حمض، يزداد تركيز $[H_3O^+]$ وينخفض تركيز $[OH^-]$، وإذا أُضيفت قاعدة، يزداد تركيز $[OH^-]$ وينخفض تركيز $[H_3O^+]$. لكن يبقى حاصل ضرب $[H_3O^+][OH^-]$ مساوياً لـ K_w عند درجة حرارة معينة.

This explains why pure water is neutral. If an acid is added, $[H_3O^+]$ increases and $[OH^-]$ decreases; if a base is added, $[OH^-]$ increases and $[H_3O^+]$ decreases. However, the product $[H_3O^+][OH^-]$ remains equal to K_w at a given temperature.

مثل جميع ثوابت الاتزان، يتغيَر K_w مع درجة الحرارة؛ فعلى سبيل المثال، يزداد إلى $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ عند 37 °C مما يشير إلى أن الماء يتأين بدرجة أكبر قليلاً عند درجات الحرارة الأعلى.

Like all equilibrium constants, K_w changes with temperature, for example, it increases to $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ at 37 °C showing that water ionizes slightly more at higher temperatures.

مثال 3: تُعدّ الأمونيا السائلة NH_3، مثل الماء، مذيبًا متذبذب البروتون. اكتب معادلة تأيّنها الذاتي.

Example 3: Liquid NH_3, like water, is an amphiprotic solvent. Write the equation for its autoionization.

$$2NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

محاليل الحمض القوي أو القاعدة القوية Solutions of a Strong Acid or Strong Base

عند إذابة المواد في الماء، يمكن تغيير تركيز أيونات H_3O^+ وOH^-. في محلول متعادل، تبقى تراكيز H_3O^+ وOH^- متساوية وهو الحال نفسه في الماء النقي. في محلول حمضي، يكون تركيز H_3O^+ أكبر من تركيز OH^-. أما في محلول قاعدي، فيكون تركيز OH^- أكبر من تركيز H_3O^+.

By dissolving substances in water, you can alter the concentrations of H_3O^+ and OH^- ions. In a neutral solution, the concentrations of H_3O^+ and OH^- remain equal, as they are in pure water. In an acidic solution, the concentration of H_3O^+ is greater than that of OH^-. In a basic solution, the concentration of OH^- is greater than that of H_3O^+.

عند 25°C، تُلاحظ الظروف التالية:

At 25°C, you observe the following conditions:

In an acidic solution, في محلول حامضي $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ M, $[OH] < 1.0 \times 10^{-7}$ M

In a neutral solution, في محلول متعادل $[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ M

In a basic solution, في محلول قاعدي $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M, $[OH^-] > 1.0 \times 10^{-7}$ M

تدريب 2-9: محلول تركيز أيون الهيدروكسيد فيه يكون 1.0×10^{-5} M عند درجة حرارة 25°C. هل المحلول حمضي أم متعادل أم قاعدي؟

Exercise 9-2: A solution has a hydroxide-ion concentration of 1.0×10^{-5} M at 25°C. Is the solution acidic, neutral, or basic?

.....

.....

.....

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل
The pH and pOH of Solutions

يمكن وصف درجة الحموضة كميًا من خلال تحديد تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+، لكن لأنَّ هذه القيم قد تكون صغيرة جدًا، فغالبًا ما يكون من الأسهل التعبير عنها باستخدام مقياس الرقم الهيدروجيني (pH). تُعبّر قيمة pH عن حمضية أو قاعدية المحلول بناءً على تركيز أيون الهيدرونيوم:

You can quantitatively describe the acidity by giving hydronium-ion concentration. But because these concentration values may be very small, it is often more convenient to give the acidity in terms of pH. The pH of a solution expresses its acidity or basicity based on the hydronium-ion concentration:

$$pH = -\log [H^+], \quad pOH = -\log [OH^-]$$

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}, \text{ at } 25^oC$$

$$-\log K_w = (-\log [H_3O^+]) + (-\log [OH^-]) = -\log 1.0 \times 10^{-14}$$

$$pK_w = pH + pOH = 14.00, \text{ at } 25°C$$

At 25°C, you observe the following conditions:

تُلاحظ الظروف التالية عند درجة الحرارة 25°C:

- Neutral solution محلول متعادل: $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH = 7.00
- Acidic solution محلول حامضي: $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH < 7.00
- Basic solution محلول قاعدي: $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH > 7.00

عدد المنازل العشرية في قيمة pH يساوي عدد الأرقام المعنوية في تركيز $[H_3O^+]$.

The number of decimal places in the pH equals the number of significant figures in the $[H_3O^+]$ concentration.

تدريب 9-3: محلول مشبَّع من هيدروكسيد الكالسيوم يحتوي على تركيز لأيون الهيدروكسيد (OH^-) مقداره 0.025 M. ما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟

Exercise 9-3: A saturated solution of calcium hydroxide has a hydroxide concentration (OH^-) of 0.025 M. What is the pH of the solution?

.....

.....

.....

.....

.....

اتزانات حمض– قاعدة
Acid–Base Equilibria

العديد من المواد الشائعة، مثل الأسبرين والفينوباربيتال والساكرين والنياسين، هي حموض ضعيفة. تصل تفاعلاتها مع الماء إلى حالة اتزان بدلاً من أن تكتمل تمامًا. لإيجاد تركيز أيون الهيدرونيوم في محلول حمض ضعيف مثل النياسين، يجب أخذ ثابت الاتزان في الاعتبار، لأنَ الحمض يتأيَّن جزئيًا فقط. إذا كان حمضًا قويًا، فإن محلولًا تركيزه 0.10 M سيعطي 0.10 M من H_3O^+، ولكن بالنسبة للحمض الضعيف، يكون التركيز الفعلي أصغر ويُحدَّد من خلال قيمة ثابت التأيُّن K_a الخاصة به.

Many common substances, such as aspirin, phenobarbital, saccharin, and niacin, are weak acids. Their reactions with water reach equilibrium rather than going to completion. To find the hydronium-ion concentration in a solution of a weak acid like niacin, the equilibrium constant must be considered, since the acid only partially ionizes. If it were a strong acid, a 0.10 M solution would yield 0.10 M H_3O^+, but for a weak acid, the actual concentration is smaller and determined by its K_a value.

Acid-Ionization Equilibrium Constant K_a ثابت اتزان تأيُّن الحمض K_a

يتفاعل الحمض مع الماء لتكوين أيونات الهيدرونيوم (H_3O^+) وقاعدته المقترنة، وهي عملية تُعرف باسم **تأيُّن الحمض**. على سبيل المثال، يتأين حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$) في الماء كما يلي:

An acid reacts with water to form hydronium ions (H_3O^+) and its conjugate base a process called **acid ionization**. For example, acetic acid ($HC_2H_3O_2$), ionizes in water as:

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$$

إنَّ ذرة الهيدروجين المرتبطة بذرة الأكسجين في مجموعة –COOH هي فقط الهيدروجين الحمضي. وبما أن حمض الخليك **إلكتروليت ضعيف**، فإنه يتأين بشكل طفيف فقط (حوالي 5% أو أقل). يمكن كتابة علاقة الاتزان لحمض ضعيف كما يلي:

Only the hydrogen attached to the oxygen in the –COOH group is acidic. Because acetic acid is a **weak electrolyte**, it ionizes only slightly (about 5% or less). The equilibrium expression for a weak acid can be written as:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

where: حيث:

K_a = acid dissociation constant ثابت تفكك الحمض

$[H_3O^+]$ = concentration of hydronium ions تركيز أيونات الهيدرونيوم

$[A^-]$ = concentration of the conjugate base تركيز القاعدة المقترنة

$[HA]$ = concentration of the unionized acid تركيز الحمض غير المتأين

هنا، يعبّر ثابت تأيّن الحمض K_a عن حالة الاتزان للتأيّن المحدود للحمض الضعيف في الماء. يُدرج الجدول 9.3 ثوابت تأيّن الحموض لعدة حموض ضعيفة. الحموض الأضعف هي التي تمتلك أصغر قيم لـ K_a.

Here, K_a expresses the equilibrium for the limited ionization of a weak acid in water. Table 9.3 lists acid-ionization constants for various weak acids. The weakest acids have the smallest values of K_a.

Acetic acid	$HC_2H_3O_2$	1.7×10^{-5}
Benzoic acid	$HC_7H_5O_2$	6.3×10^{-5}
Boric acid	H_3BO_3	5.9×10^{-10}
Carbonic acid	H_2CO_3	4.3×10^{-7}
	HCO_3^-	4.8×10^{-11}
Cyanic acid	HOCN	3.5×10^{-4}
Formic acid	$HCHO_2$	1.7×10^{-4}
Hydrocyanic acid	HCN	4.9×10^{-10}
Hydrofluoric acid	HF	6.8×10^{-4}
Hydrogen sulfate ion	HSO_4^-	1.1×10^{-2}
Hydrogen sulfide	H_2S	8.9×10^{-8}
	HS^-	$1.2 \times 10^{-13\dagger}$
Hypochlorous acid	HClO	3.5×10^{-8}
Nitrous acid	HNO_2	4.5×10^{-4}
Oxalic acid	$H_2C_2O_4$	5.6×10^{-2}
	$HC_2O_4^-$	5.1×10^{-5}
Phosphoric acid	H_3PO_4	6.9×10^{-3}
	$H_2PO_4^-$	6.2×10^{-8}
	HPO_4^{2-}	4.8×10^{-13}
Phosphorous acid	H_2PHO_3	1.6×10^{-2}
	$HPHO_3^-$	7×10^{-7}
Propionic acid	$HC_3H_5O_2$	1.3×10^{-5}
Pyruvic acid	$HC_3H_3O_3$	1.4×10^{-4}
Sulfurous acid	H_2SO_3	1.3×10^{-2}

Substance	Formula	K_b
Ammonia	NH_3	1.8×10^{-5}
Aniline	$C_6H_5NH_2$	4.2×10^{-10}
Dimethylamine	$(CH_3)_2NH$	5.1×10^{-4}
Ethylamine	$C_2H_5NH_2$	4.7×10^{-4}
Hydrazine	N_2H_4	1.7×10^{-6}
Hydroxylamine	NH_2OH	1.1×10^{-8}
Methylamine	CH_3NH_2	4.4×10^{-4}
Pyridine	C_5H_5N	1.4×10^{-9}
Urea	NH_2CONH_2	1.5×10^{-14}

الجدول 9.3: يُدرِج ثوابت التأيّن لمجموعة من الحموض والقواعد الضعيفة عند درجة حرارة 25°C
Table 9.3: lists acid-ionization constants for various weak acids

تُمثّل **درجة (نسبة) التأيّن (α)** الجزء من جزيئات الحمض التي تتأين في المحلول:
The **degree of ionization (α)** represents the fraction of acid molecules that ionize in solution:

$$\alpha = \frac{[H^+]}{C_0}$$

تعتمد درجة تأيّن الحمض الضعيف على كلٍّ من ثابت التأين K_a وتركيز محلول الحمض. عند تركيز معيّن، كلما كانت قيمة K_a أكبر، كانت درجة التأيّن أكبر. ومع ذلك، عند قيمة معيّنة لـ K_a، كلما كان المحلول أكثر تخفيفًا، كانت درجة التأيّن أكبر.
The degree of ionization of a weak acid depends on both K_a and the concentration of the acid solution. For a given concentration, the larger the K_a, the greater is the degree of ionization. For a given value of K_a, however, the more dilute the solution, the greater is the degree of ionization.

مثال 4: a) حمض النياسين هو حمض أحادي البروتون صيغته الكيميائية $HC_6H_4NO_2$. محلول بتركيز 0.012 M من حمض النياسين له قيمة pH تساوي 3.39 عند 25°C. ما قيمة ثابت تأيُّن K_a لهذا الحمض عند 25°C؟ وما درجة التأيّن لحمض النياسين في هذا المحلول؟
b) احسب المولارية التي يكون عندها محلول حمض النياسين متأينًا بنسبة 2.0%.

Example 4: a) Niacin acid is a monoprotic acid with the formula $HC_6H_4NO_2$. A solution that is 0.012 M in niacin acid has a pH of 3.39 at 25°C. What is the acid-ionization constant, K_a, for this acid at 25°C? What is the degree of ionization of niacin acid in this solution?
b) Calculate the molarity at which a niacin acid solution is 2.0% ionized.

a) $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-3.39} = 4.07 \times 10^{-4}$ M

$$HA_{(aq)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)},$$

$C_0 = 0.012$ M

$[A^-] \approx [H_3O^+] = 4.07 \times 10^{-4}$ M

$[HA] \approx 0.012 - 4.07 \times 10^{-4} = 1.159 \times 10^{-2}$ M

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(4.07 \times 10^{-4})^2}{1.159 \times 10^{-2}} = 1.43 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \frac{[\text{ionized acid}]}{[\text{initial acid}]} = \frac{[H^+]}{C} = \frac{4.07 \times 10^{-4}}{0.012} = 0.0339$$

Degree of ionization = 3.39%

b) $\alpha = 2.0\% = 0.020$ $\quad K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ $\quad C = \frac{K_a(1-\alpha)}{\alpha^2}$

$$C = \frac{1.43 \times 10^{-5} \times 0.98}{0.0004} = 0.035\ \text{M}$$

Calculations with ionization constant (K_a) الحسابات باستخدام ثابت التأيُّن (K_a)

تُتيح معرفة قيمة ثابت التأيُّن الحمضي K_a لحمض ما (HA) (كما في جدول 9.3) إمكانية حساب التراكيز عند الاتزان لكل من HA وA^- وH_3O^+ لمحاليل بتراكيز مولارية مختلفة. غالبًا ما يُستخدم التقريب التبسيطي في حالة الحموض الضعيفة لجعل هذه الحسابات أسهل، كما هو موضح في المثال التالي.

Knowing the K_a of an acid (HA) (Table 9.3) allows you to calculate the equilibrium concentrations of HA, A^-, and H_3O^+ for solutions of various molarities. Simplifying approximation is often used for weak acids to make these calculations easier, as shown in the following example.

مثال 5: ما تراكيز حمض النياسين، وأيون الهيدروجين، وأيون النياسينات في محلول تركيزه 0.10 M من حمض النياسين $HC_6H_4NO_2$ عند 25°C؟ ما قيمة pH للمحلول؟ وما درجة تأيُّن حمض النياسين؟

Example 5: What are the concentrations of niacin acid, hydrogen ion, and niacinate ion in a solution of 0.10 M niacin acid, $HC_6H_4NO_2$, at 25°C? What is the pH of the solution? What is the degree of ionization of niacin acid?

Given: $C_0 = 0.10$ M, $K_a = 1.4 \times 10^{-5}$ for $HC_6H_4NO_2$

Use the weak-acid approximation ($x << C_0$): باستخدام التقريب لحمض ضعيف

$$K_a \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_a C_0} = \sqrt{(1.4 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{1.4 \times 10^{-6}} \approx 1.18 \times 10^{-3}\text{M}$$

$[H^+] \approx 1.18 \times 10^{-3}$ M

$[A^-] \approx 1.18 \times 10^{-3}$ M

$[HA] \approx 0.10 - 1.18 \times 10^{-3} = 9.88 \times 10^{-2}$ M

$pH = -\log(1.18 \times 10^{-3}) \approx 2.93$

$$\alpha \approx \frac{x}{C_0} = \frac{1.18 \times 10^{-3}}{0.10} = 0.0118 \approx 1.18\%$$

Base-Ionization Equilibrium (K_b) اتزان تأيّن القاعدة (K_b)

General weak base B قاعدة ضعيفة عامة B

$$B_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HB^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

$$K_b = \frac{[HB^+][OH^-]}{[B]} \qquad [OH^-] \approx \sqrt{K_b C_0} \qquad \alpha \approx \sqrt{\frac{K_b}{C_0}} \times 100\%$$

العلاقة بين K_a و K_b في زوج حمض-قاعدة مقترن

The Relationship Between K_a and K_b of a Conjugate Acid-Base Pair

يمكن اشتقاق علاقة بسيطة بين ثابت تأيّن الحمض الضعيف K_a وثابت تأيّن قاعدته المقترنة K_b كما يلي، باستخدام حمض الخليك كمثال.

A simple relationship between the ionization constant of a weak acid K_a and the ionization constant of its conjugate base K_b can be derived as follows, using acetic acid as an example.

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

تتفاعل القاعدة المقترنة CH_3COO^- مع الماء وفقًا للمعادلة.

The conjugate base, CH_3COO^-, reacts with water according to the equation.

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وتُكتب علاقة اتزان تأيّن القاعدة كما يلي:

and the base ionization equilibrium relationship is written as

$$K_b = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$

كما هو الحال في أي معادلات كيميائية، يمكننا جمع هذين الاتزانين وحذف الحدود المتطابقة.

As for any chemical equations, we can add these two equilibria and cancel identical terms.

$$\begin{array}{lll} CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)} & & K_a \\ + \quad CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)} & & K_b \\ \hline H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} & & K_w \end{array}$$

المحصلة هي تفاعل تأيّن الماء الذاتي. في الواقع، ينطبق هذا على أي حمض ضعيف وقاعدته المقترنة. وبالتالي، بالنسبة لأي زوج حمض–قاعدة مقترنة يكون،

The sum is the autoionization of water. In fact, this is the case for any weak acid and its conjugate base. Thus, for any conjugated acid-base pair,

$$K_a \times K_b = K_w \quad \Longrightarrow \quad K_a \times K_b = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$pK_a + pK_b = 14.00$$

مثال 5: المورفين $C_{17}H_{19}NO_3$ يُعطى طبيًا لتخفيف الألم. وهو قاعدة طبيعية. ما قيمة pH لمحلول تركيزه 0.0075 M من المورفين عند درجة حرارة 25°C؟

Example 5: Morphine, $C_{17}H_{19}NO_3$, is administered medically to relieve pain. It is a natural base. What is the pH of a 0.0075 M solution of morphine at 25°C? $K_b = 1.6 \times 10^{-6}$ at 25°C.

$$[OH^-] \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(1.6 \times 10^{-6})(0.0075)} = \sqrt{1.2 \times 10^{-8}} \approx 1.10 \times 10^{-4}\ M$$

$$pOH \approx -\log(1.10 \times 10^{-4}) \approx 3.96 \Rightarrow pH \approx 14.00 - 3.96 = 10.04$$

Salt Hydrolysis تميُّؤ الأملاح

الملح هو مركب أيوني يتكوّن من تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة. عند إذابة الملح في الماء، يمكن أن يكون المحلول الناتج متعادلًا أو حمضيًا أو قاعديًا، وذلك حسب سلوك الأيونات المكوِّنة له. ووفقًا لنظرية برونستد–لوري (Brønsted–Lowry) ، يمكن لبعض الأيونات الناتجة عن الأملاح أن تعمل كحموض أو كقواعد في المحلول المائي، وهو ما يحدد الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول.

Salt is an ionic compound produced from the neutralization reaction between an acid and a base. When salt dissolves in water, the resulting solution may be neutral, acidic, or basic, depending on the behavior of its ions. According to the Brønsted–Lowry theory, certain ions from salts can act as acids or bases in aqueous solution, and this determines the overall pH of the solution.

مثال: سيانيد الصوديوم (NaCN)

محلول 0.1 M NaCN له قيمة pH = 11.1، مما يعني أنه محلول قاعدي.

Example: Sodium cyanide (NaCN)

A 0.1 M NaCN solution has a pH of 11.1, indicating that it is basic.

$$NaCN(aq) \rightarrow Na^+(aq) + CN^-(aq)$$

لايتفاعل أيون Na^+ مع الماء، لذلك يُعد أيونًا متعادلًا، بينما CN^- يخضع لعملية تميؤ:

The ion Na^+ does not react with water and is considered neutral, whereas CN^- undergoes hydrolysis:

$$CN^-(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons HCN(aq) + OH^-(aq)$$

في هذا التفاعل، يعمل أيون السيانيد (CN^-) كقاعدة، إذ يقبل بروتونًا من الماء، وينتج عن ذلك أيون الهيدروكسيد (OH^-)، مما يجعل المحلول قاعديًا. تُعرف هذه الظاهرة باسم التميؤ(أو التحلل المائي)، وهي العملية التي يتفاعل فيها الأيون مع الماء لتكوين حمضه أو قاعدته المقترنة وإنتاج OH^- أو H_3O^+.

In this reaction, CN^- acts as a base, accepting a proton from water and producing OH^-, which makes the solution basic. This phenomenon is known as hydrolysis, in which an ion reacts with water to form its conjugate acid or base and either OH^- or H_3O^+.

مثال: أيون الأمونيوم (NH_4^+)

Example: Ammonium ion (NH_4^+)

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

يعمل أيون الأمونيوم (NH_4^+) كحمض، إذ يمنح بروتون إلى الماء. وينتج عن ذلك أيون الهيدرونيوم (H_3O^+)، مما يجعل المحلول حمضيًا.

The NH_4^+ ion acts as an acid, donating a proton to water. As H_3O^+ is formed, the solution becomes acidic.

تحديد طبيعة محلول الملح (حمضي أو قاعدي أو متعادل)

Determining the Nature of a Salt Solution (Acidic, Basic, or Neutral)

1. الأيونات السالبة المشتقة من الحموض الضعيفة تتصرف كقواعد. مثال: خلات البوتاسيوم ($KC_2H_3O_2$) تحتوي على أيون K^+ الناتج من القاعدة القوية KOH وهو متعادل، وعلى أيون $C_2H_3O_2^-$، وهي القاعدة المقترنة للحمض الضعيف حمض الخليك، لذلك فهي قاعدية:

1. Anions derived from weak acids act as bases.

Example: Potassium acetate ($KC_2H_3O_2$) contains K^+, from the strong base KOH, which is neutral, and $C_2H_3O_2^-$, the conjugate base of the weak acid acetic acid, which is basic.

$$C_2H_3O_2^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HC_2H_3O_2(aq) + OH^-(aq)$$

2. الأيونات السالبة الناتجة من الحموض القوية تكون متعادلة لا تخضع للتميؤ. مثال :الأيون Cl^- الناتج من HCl لا يتفاعل مع الماء لأن الحمض المقترن له قوي جدًا ويسهل عليه فقد البروتون.

2. Anions of strong acids do not undergo hydrolysis. Example: Cl^- from HCl does not react with water because its conjugate acid is very strong and readily donates protons.

$$Cl^-(aq) + H_2O(l) \rightarrow \text{No reaction}$$ لا يحدث تفاعل

3. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد الضعيفة تتصرف كحموض. مثال: الأيون NH_4^+ الناتج من NH_3 يتصرف كحمض لأنه يمكن أن يمنح بروتون إلى الماء.

3. Cations derived from weak bases act as acids. Example: NH_4^+ from NH_3 behaves as an acid because it can donate a proton to water.

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

4. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد القوية متعادلة. مثال: أيون Na^+ الناتج من NaOH أو أيون Ca^{2+} الناتج من $Ca(OH)_2$ لا يخضعان للتميؤ ويبقيان متعادلين.

Cations derived from strong bases are neutral. Example: Na^+ from NaOH or Ca^{2+} from $Ca(OH)_2$ does not hydrolyze and remains neutral.

$$Na^+(aq) + H_2O(l) \rightarrow \text{no reaction}$$ لا يحدث تفاعل

استثناء:

بعض الأيونات المعدنية الموجبة تكون حمضية. فالكثير من الأيونات المعدنية (باستثناء عناصر المجموعتين 1A و2A عدا البيريليوم) تُكوّن أيونات مميهة (hydrated ions) تتصرف كحموض.

على سبيل المثال، يُكوّن أيون الألومنيوم (Al^{3+}) معقدًا مائيًا $Al(H_2O)_6^{3+}$، حيث يسحب Al^{3+} الكثافة الإلكترونية من جزيئات الماء المحيطة به، مما يجعلها أكثر حمضية .ونتيجة لذلك، يمكن للمعقد أن يمنح بروتون:

Exception: Some metal cations are acidic. Many metal ions (except those of Groups 1A and 2A, other than Be) form hydrated complexes that act as acids. For instance, Al^{3+} forms $Al(H_2O)_6^{3+}$, where the aluminum ion withdraws electron density from the coordinated water molecules, increasing their acidity. As a result, the complex can donate a proton:

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

مثال 6: حدِّد ما إذا كانت المحاليل المائية للأملاح التالية حمضيةً أو قاعديةً أو متعادلةً:

Example 6: Decide whether aqueous solutions of the following salts are acidic, basic, or neutral:

a) KCl; b) NaF; c) $Zn(NO_3)_2$; d) NH_4CN

a) KCl → Neutral متعادل

b) NaF → Basic قاعدي

c) $Zn(NO_3)_2$ → Acidic حمضي

d) NH_4CN → Basic قاعدي

يُعد أيون الأمونيوم (NH_4^+) حمضًا ضعيفًا ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$) ، بينما يُعد أيون السيانيد (CN^-) قاعدة أقوى بكثير ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$) من قيمة K_a الصغيرة جدًا لحمض HCN، وبالتالي يكون المحلول قاعديًا بشكل عام.

NH_4^+ is a weak acid ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$), CN^- is a much stronger base ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$ from HCN's tiny K_a), basic overall.

The pH of a Salt Solution — الرقم الهيدروجيني pH لمحلول ملح

لزوج الحمض-القاعدة المقترنة (HCN/CN^-) في الماء عند 25°C:

For a conjugate acid–base pair (HCN/CN^-) in water at 25°C:

$$K_a(HCN) \times K_b(CN^-) = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$K_b(CN^-) = \frac{K_w}{K_a(HCN)}$$

باستخدام القيم من الجداول القياسية Using the commonly tabulated

$$K_b(CN^-) = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.9 \times 10^{-10}} \approx 2.04 \times 10^{-5}$$

pH من أجل محلول 0.10 M NaCN (باستخدام طريقة التقريب للقاعدة الضعيفة)

pH of 0.10 M NaCN (weak-base approximation)

Hydrolysis التميؤ : $CN^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCN_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

Let $x = [OH^-]$. With $C_0 = 0.10$ M and $K_b \ll C_0$:

$$K_b \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(2.04 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{2.04 \times 10^{-6}}$$

$\approx 1.43 \times 10^{-3}$ M

$pOH = -\log(1.43 \times 10^{-3}) \approx 2.85 \Rightarrow pH \approx 14.00 - 2.85 = 11.15$

تدريب 4-9: 1. حمض البنزويك ($HC_7H_5O_2$) وأملاحه تُستخدم كمُضافات حافظة في الأغذية. ما تركيز حمض البنزويك في محلول مائي يحتوي على 0.015 M من بنزوات الصوديوم؟ وما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟ علماً بأن ثابت التأين الحمضي (K_a) لحمض البنزويك يساوي 6.3×10^{-5}.

2. احسب درجة تميؤ محلول تركيزه 0.0100 M من NH_4Cl.

Exercise 9-4: 1. Benzoic acid, $HC_7H_5O_2$, and its salts are used as food preservatives. What is the concentration of benzoic acid in an aqueous solution of 0.015 M sodium benzoate? What is the pH of the solution? K_a for benzoic acid is 6.3×10^{-5}.

2. Calculate the extent of hydrolysis in a 0.0100 M solution of NH_4Cl.

$K_{bNH3} = 1.75 \times 10^{-5}$

.....

.....

.....

.....

.....

Buffers — المحاليل المنظمة

المحلول المنظِّم هو محلول يقاوم التغيّرات الكبيرة في قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) وذلك عند إضافة كميات صغيرة من حمضٍ أو قاعدةٍ. تتكوّن المحاليل المنَظِّمة دائمًا من مكوّنين: حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A^-)، أو قاعدة ضعيفة (B) وحمضها المقترن (BH^+).

A buffer is a solution that resists significant changes in pH when small amounts of acid or base are added, It always consists of two components, a weak acid (HA) and its conjugate base (A^-), or a weak base (B) and its conjugate acid (BH^+).

مثال: حمض الخليك (CH_3COOH) وأيون الخلات (CH_3COO^-)، أو الأمونيا (NH_3) وأيون الأمونيوم (NH_4^+).

إذا أضيف حمض (H^+ أو H_3O^+)، فإن القاعدة المقترنة في المحلول المنظِّم تقوم بمعادلته.

إذا أضيفت قاعدة (OH^-)، فإن الحمض الضعيف في المحلول المنظِّم يقوم بمعادلتها.
هذه القدرة على "امتصاص" الحمض أو القاعدة المضافة هي ما يسبب ثبات قيمة pH واستقراره نسبيًا.

Example: acetic acid (CH_3COOH) and acetate (CH_3COO^-), or ammonia (NH_3) and ammonium (NH_4^+).
If acid (H^+ or H_3O^+) is added, then the conjugate base in the buffer neutralizes it.
If base (OH^-) is added, the weak acid in the buffer neutralizes it.
This ability to "absorb" added acid or base is what keeps the pH relatively stable.

pH of a Buffer — الرقم الهيدروجيني pH لمحلول مُنظِّم

لتحضير محلول مُنظِّم بقيمة pH معينة، يجب اختيار زوج حمض–قاعدة مقترن بحيث يكون ثابت التأين الحمضي للحمض (K_a) قريبًا من تركيز أيون الهيدرونيوم المطلوب. من أجل محلول مُنظِّم يحتوي على حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A^-).

To prepare a buffer of a desired pH, a conjugate acid–base pair is needed where the acid's K_a is close to the required hydronium-ion concentration. For a buffer containing a weak acid (HA) and its conjugate base (A^-).

$$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$$

The relationship is: تكون العلاقة:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

Rearranging gives: وبإعادة الترتيب تعطي:

$$[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

وبأخذ اللوغاريتمات، نحصل على **معادلة هندرسون–هاسلبالخ**.

Taking logarithms gives the **Henderson–Hasselbalch equation**.

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

In general: بشكل عام

$$pH = pK_a + \log \frac{[base]}{[acid]}$$

مثال 7: تم تحضير محلول تركيزه 0.10 M من حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$) و 0.20 M من خلات الصوديوم ($NaC_2H_3O_2$). ما قيمة pH لهذا المحلول عند 25°C؟

Example 7: A solution is prepared that is 0.10 M in acetic acid ($HC_2H_3O_2$) and 0.20 M in sodium acetate ($NaC_2H_3O_2$). What is the pH of this solution at 25°C?

$K_a(HC_2H_3O_2) = 1.7 \times 10^{-5}$

Use the Henderson–Hasselbalch equation: باستخدام معادلة هندرسون–هاسلبالخ:

$$pK_a = -\log(1.7 \times 10^{-5}) = 4.77$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} = 4.77 + \log \frac{0.20}{0.10} = 4.77 + 0.301 \approx \boxed{5.07}$$

Adding an Acid or Base to a Buffer — إضافة حمض أو قاعدة إلى محلول مُنظِّم

يقاوم المحلول المُنظِّم التغيرات في قيمة pH عند إضافة حمض أو قاعدة.
في محلول مُنظِّم من حمض الخليك/الخلات، يتفاعل H_3O^+ المُضاف مع الخلات لتكوين حمض الخليك مما يُقلِّل من تغير قيمة pH. كما أن أيونات OH^- المُضافة تتفاعل مع حمض الخليك لتكوين الخلات، ما يُقلِّل من تغيّر قيمة pH.

A buffer resists changes in pH when acid or base is added.
In an acetic acid/acetate buffer, added H_3O^+ reacts with acetate to form acetic acid, minimizing pH change. Added OH^- reacts with acetic acid to form acetate, also reducing the pH shift.

مثال 8: احسب قيمة pH لـ 75 mL من المحلول المُنظِّم الموصوف في المثال السابق (0.10 M $HC_2H_3O_2$ و 0.20 M $NaC_2H_3O_2$) بعد إضافة 9.5 mL من محلول 0.10 M HCl عند 25 °C.
ثم قارِن مقدار التغير لما سيحدث في قيمة pH لو تمت إضافة نفس كمية الحمض إلى ماء نقي.

Example 8: Calculate the pH of 75 mL of the buffer solution described in Example 12 (0.10 M $HC_2H_3O_2$ and 0.20 M $NaC_2H_3O_2$) after adding 9.5 mL of 0.10 M HCl at 25 °C. Then compare the pH change to what would occur if the same amount of acid were added to pure water.

nHA (acetic acid حمض الخليك) = $0.0750 \times 0.10 = 0.00750$ mol
nA^- (acetate الخلات) = $0.0750 \times 0.20 = 0.0150$ mol
Moles of H^+ added عدد مولات المضافة من الحمض = $0.0095 \times 0.10 = 0.00095$ mol
Neutralization reaction: تفاعل التعادل $H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)} \rightarrow HA_{(aq)}$
n_{A^-} (after reaction بعد التفاعل) = $0.0150 - 0.00095 = 0.01405$ mol
n_{HA} (after reaction بعد التفاعل) = $0.00750 + 0.00095 = 0.00845$ mol

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{n_{A^-}}{n_{HA}}\right) = 4.7696 + \log\left(\frac{0.01405}{0.00845}\right) = \boxed{4.99}$$

مقارنة عند اضافة نفس الحمض إلى ماء نقي، الحجم الكلي بعد الخلط

Compare adding the same acid to pure water, the total volume after mixing:

$$75.0 + 9.5 = 84.5 \text{ mL} = 0.0845 \text{ L}$$

$$[H^+] = \frac{0.00095}{0.0845} \approx 0.01124 \text{ M} \Rightarrow pH = -\log(0.01124) \approx \boxed{1.95}$$

pH change comparison: **مقارنة التغير في pH:**
For buffer: للمحلول المُنظِم:
$\Delta pH \approx 4.99 - 5.07 = \mathbf{-0.08}$
For water: للماء النقي:
$\Delta pH \approx 1.95 - 7.00 = \mathbf{-5.05}$

الاستنتاج : يقاوم المحلول المُنظِّم تغيّر قيمة pH بدرجة كبير مقارنةً بالماء النقي.

Conclusion: The buffer drastically resists pH change compared to pure water.

Acid–Base Titration Curves — منحنيات المعايرة الحمضية – القاعدية

تُستخدم المعايرة الحمضية – القاعدية لتحديد كمية الحمض أو القاعدة في محلولٍ ما من خلال قياس حجم القاعدة (أو الحمض) ذو التركيز المعلوم اللازم لإتمام التعادل التام.

يُظهر **منحنى المعايرة** كيف يتغيّر الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول عند إضافة القاعدة (أو الحمض). ومن هذا المنحنى يمكننا تحديد **نقطة التكافؤ** — وهي المرحلة التي تتفاعل فيها كميات مكافئة تمامًا من الحمض والقاعدة — واختيار دليل مناسب يتغير لونه بالقرب من تلك النقطة.

An acid–base titration is used to determine the amount of acid or base in a solution by measuring the volume of a base (or acid) of known concentration needed for complete neutralization.

A **titration curve** shows how the pH of a solution changes as base (or acid) is added. From this curve, we can identify the **equivalence point**—the stage where stoichiometric amounts of acid and base have reacted—and choose a suitable indicator that changes color near that point.

Titration of a strong acid with a strong base — معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

مثال، معايرة 25.0 mL من محلول 0.100 M HCl بقاعدة 0.100 M NaOH، يزداد الرقم الهيدروجيني ببطء في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من **نقطة التكافؤ** (pH = 7) . يحتوي المحلول عند التكافؤ على ملح NaCl، وهو **ملح متعادل**، لذا يكون الـ pH = 7.0 عند التكافؤ .يمكن استخدام أدلة يتغير لونها بالقرب من هذه الزيادة الحادة، كما هو موضح في الشكل 9.1 .

الفينولفثالين: (عديم اللون يتحول الى اللون الوردي)، في مدى pH 8.2–10.0 (يعمل جيدًا).

Example, the titration of 25.0 mL of 0.100 M HCl with 0.100 M NaOH, the pH rises slowly at first and then sharply near the **equivalence point** (pH = 7). The solution contains NaCl, a **neutral salt**, so the pH is 7.0 at equivalence. Indicators that change color near this sharp rise can be used, as shown in Figure 9.1. **Phenolphthalein** (colorless turn to pink, pH 8.2–10.0) works well.

مثال 9: احسب قيمة pH لمحلول أُضيف إليه 10.0 mL من 0.100 M NaOH إلى 25.0 mL من 0.100 M HCl.

Example 9: Calculate the pH of a solution in which 10.0 mL of 0.100 M NaOH is added to 25.0 mL of 0.100 M HCl.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \Leftrightarrow H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)}$$

Step 1: Calculate moles of acid and base — احسب عدد مولات الحمض والقاعدة

$$n_{(HCl)} = (0.0250)(0.100) = 0.00250 \text{ mol}$$
$$n_{(NaOH)} = (0.0100)(0.100) = 0.00100 \text{ mol}$$

Step 2: Determine which is in excess — حدِّد أيهما فائض

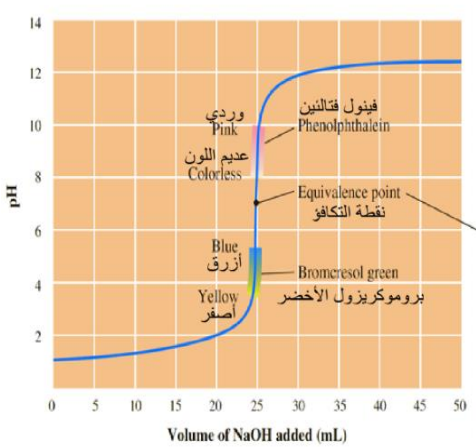
HCl: 0.00250 mol, NaOH: 0.00100 mol, → Acid is in excess. الفائض هو الحمض

Excess HCl = 0.00250 − 0.00100 = 0.00150 mol

$V_{(total)} = 10.0 + 25.0 = 35.0 \text{ mL} = 0.0350 \text{ L}$

$$[H^+] = \frac{0.00150}{0.0350} = 0.0429 \text{ M}$$

pH = −log(0.0429) = 1.37



Volume NaOH added (mL)	pH
0	1.00
5	1.18
10	1.37
15	1.60
20	1.95
21	2.06
22	2.20
23	2.38
24	2.69
25	7.00
26	11.29
27	11.59
28	11.75
29	11.87
30	11.96
35	12.22
40	12.36
45	12.46
50	12.52

الشكل 9.1: منحنى معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

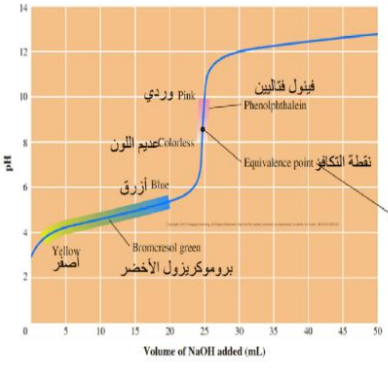
Figure 9.1 Curve for the titration of a strong acid by a strong base

معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، يختلف منحنى المعايرة عن منحنى معايرة حمض قوي. يبدأ المنحنى عند قيمة pH ابتدائية أعلى لأن الحمض ضعيف. يزداد الرقم الهيدروجيني (pH) تدريجيًا في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من نقطة التكافؤ(بين pH 7 و11). وبما أن هذه القفزة في قيمة pH أصغر من تلك في معايرة حمض قوي بقاعدة قوية، وبالتالي اختيار الدليل يصبح أكثر أهمية. فمثلا دليل **الفينولفثالين** الذي يتغير لونه في مدى pH من 8.2 إلى 10.0 (يعمل جيدًا).عند نقطة التكافؤ يكون المحلول **قاعديًا** وليس متعادلًا، وذلك لأن المحلول يحتوي على ملح الحمض الضعيف الذي يخضع للتميؤ منتجًا محلولًا قاعديًا، كما هو موضح في الشكل 9.2.

Titration of a Weak Acid by a Strong Base

When a weak acid is titrated with a strong base, the titration curve differs from that of a strong acid. The curve starts at a higher initial pH, since the acid is weak. The pH increases gradually at first, then rises sharply near the equivalence point (between pH 7 and 11). Because this pH jump is smaller than in a strong acid–strong base titration, the choice of indicator is more critical. **Phenolphthalein** (pH 8.2–10.0) works well. At the equivalence point, the pH is **basic**, not neutral. This is because the solution contains the salt of weak acid, which undergoes hydrolysis to produce a basic solution, as shown in Figure 9.2.



Volume NaOH added (mL)	pH
0	2.92
1	3.47
2	3.79
3	3.98
4	4.13
5	4.25
10	4.67
15	5.03
20	5.45
21	5.57
22	5.72
23	5.91
24	6.23
25	8.78
26	11.29
27	11.59
28	11.75
29	11.87
30	11.96
35	12.22
40	12.36
45	12.46
50	12.52

الشكل 9.2: منحنى معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Figure 9.2: Curve for the titration of a weak acid by a strong base

تدريب 5-9: ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ عندما تتم معايرة 25 mL من 0.10 M HF بمحلول من 0.15M NaOH؟

Exercise 9-5: What is the pH at the equivalence point when 25 mL of 0.10 M HF is titrated by 0.15 M NaOH? K_a (HF) = 6.6×10^{-4}

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

مراحل معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Stages Titration of a Weak Acid with a Strong Base

Stage المرحلة	Main Species Present الأنواع الرئيسة الموجودة	Type of Solution نوع المحلول	Major Reaction / Concept التفاعل أو المفهوم الرئيس	pH Behavior سلوك الرقم الهيدروجيني
1. Before base addition قبل إضافة القاعدة	Weak acid only حمض ضعيف فقط (HA)	Weakly acidic حمضي ضعيف	Partial ionization: تأين جزئي $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ $[H^+] = \sqrt{K_a[HA]}$	pH < 7
2. After some base added (before equivalence) بعد بدء إضافة قليل من القاعدة (قبل نقطة التكافؤ)	$HA + A^-$ (both present) كلاهما متواجدان	Buffer solution محلول منظم	Neutralization: التعادل $HA + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$ use Henderson–Hasselbalch: استخدم معادلة هندرسون-هاسلبالخ $pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$	Gradual increase ازدياد تدريجي
3. Half-equivalence point عند 50% من نقطة التكافؤ	$[HA] = [A^-]$	Buffer محلول منظم	$pH = pK_a$	Moderate (buffered) pH محلول منظم معتدل
4. Equivalence point عند نقطة التكافؤ	A^- only (conjugate base) قاعدة مترافقة فقط	Basic (from hydrolysis) قاعدي (ناتج عن التميؤ)	$A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$ $K_b = \frac{K_w}{K_a}$ $[OH^-] = \sqrt{K_b[A^-]}$	pH > 7
5. After equivalence point بعد نقطة التكافؤ	Excess OH^- (from NaOH) فائض OH من (NaOH)	Strongly basic قاعدي قوي	pH determined by excess base: يُحدد الرقم الهيدروجيني من تركيز القاعدة الزائدة $[OH^-] = \frac{n_{excess}}{V_{total}}$	pH >>> 7

Solubility-product constant K_{sp} ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

تُناقش هذه الفقرة أنظمة الاتزان المتعلقة بذوبانية المركّبات الأيونية قليلة الذوبان. وحتى المواد التي تُعدّ ذائبة تمتلك ذوبانية محدودة، حيث يوجد في المحلول المشبع اتزان بين الأيونات المذابة والمادة الصلبة غير المذابة. ففي حالة مركّب قليل الذوبان مثل فلوريد الرصاص الثنائي (PbF_2)، فإن الكمية القليلة التي تذوب منه تتفكك كليًا إلى أيوناته، مكوّنة اتزانًا على النحو الآتي:

This section discusses equilibrium systems involving the solubility of slightly soluble ionic compounds. Even "soluble" substances have limited solubility, and in a saturated solution, equilibrium exists between dissolved ions and undissolved solid. For a slightly soluble compound like PbF_2, the small amount that dissolves fully dissociate into ions, establishing an equilibrium such as:

$$PbF_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2F^{-}_{(aq)}$$

ومن هذا التفاعل، تُكتب علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) كما يلي:

From this, the ion-product expression (Q_{sp}) is written as:

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][F^{-}]^2$$

عندما يصبح المحلول مشبعًا، تصل علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) إلى قيمة ثابتة تُعرَف باسم **ثابت حاصل الذائبية K_{sp}**. وترتبط هذه القيمة بـ **الذوائبية المولارية (s)** ، وهي عدد مولات المادة التي تذوب في لتر واحد من المحلول عند درجة حرارة معينة. ومن الجدير بالذكر أن قيمة K_{sp} تعتمد فقط على درجة الحرارة.

When a solution becomes saturated, the ion-product expression (Q_{sp}) reaches a constant value known as the **solubility-product constant K_{sp}**. The **molar solubility (s)**, which is the number of moles of a substance that dissolve per liter of solution, is related to this constant. Notably, K_{sp} depends only on temperature.

وبشكل عام، لمركّب من الصيغة M_pX_q، تكون العلاقة:

In general, for a compound M_pX_q, the expression is:

$$K_{sp} = [M^{n+}]^p\,[X^{z-}]^q = K_{sp} = (p\cdot s)^p\,(q\cdot s)^q = p^p q^q\, s^{(p+q)}$$

توجد حالة خاصة في بعض كبريتيدات الفلزات، وذلك لأن أيون الكبريتيد (S^{2-}) يُعَدّ قاعدة قوية ويتفاعل مع الماء ليُكوّن أيون البيكبريتيد (HS^-) وأيون الهيدروكسيد (OH^-). لذلك، بالنسبة لمركّب مثل كبريتيد المنغنيز(MnS) ، يصبح اتزان الذائبية الكلي كما يلي:

A special case occurs with some metal sulfides because the sulfide ion (S^{2-}) is strongly basic and reacts with water to form HS^- and OH^-. Therefore, for a compound like MnS, the overall dissolution equilibrium becomes:

$$MnS_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + HS^{-}_{(aq)} + OH^{-}_{(aq)}$$

and the K_{sp} expression is: وتكون علاقة ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

$$K_{sp} = [Mn^{2+}][HS^-][OH^-]$$

تدريب 9-6: احسب الذائبية المولارية لـ $Mn(OH)_2$ و pH لمحلول مشبع من $Mn(OH)_2$ عند 25°C.

Exercise 9-6: Calculate the molar solubility of $Mn(OH)_2$ and the pH of a saturated solution of $Mn(OH)_2$ at 25°C. K_{sp} for $Mn(OH)_2 = 1.9\times10^{-13}$

.....

.....

.....

.....

.....

EXCERCIS ANSWER **إجابات التدريبات**

تدريب (9-1)

يتجه التفاعل نحو الحمض/القاعدة الأضعف. وبما أن H_2S هو الحمض الأضعف، و$C_2H_3O_2^-$ هي القاعدة الأضعف (كونها القاعدة المقترنة لحمض أقوى)، فإن الاتزان يميل باتجاه تكوّن $H_2S_{(aq)}$ و $C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$. أي أن الجانب المُفضَّل هو الجانب الأيسر (المتفاعلات).

The reaction goes toward the weaker acid/base. Since H_2S is the weaker acid and $C_2H_3O_2^-$ is the weaker base (conjugate of the stronger acid), equilibrium favors $H_2S_{(aq)}$ and $C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$. Favored side left (reactants).

تدريب (9-2)

$[OH^-] = 1.0 \times 10^{-5}$ M , Using, $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[H_3O^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9}\ \text{M}$$

$[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M, so the solution is basic المحلول قاعدي

تدريب (9-3)

$[OH^-] = 0.025$ M

$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[H_3O^+] = \frac{1.0\times10^{-14}}{0.025} = 4.0 \times 10^{-13}\ \text{M}$$

pH = - log $[H_3O^+]$ = - log (4.0×10^{-13}) = 12.40

pH = 12.40, the solution is strongly basic. المحلول ذو طبيعة قاعدية قوية

تدريب (9-4)

1. Hydrolysis التميؤ: $C_6H_5COO^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HC_6H_5COO_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.3 \times 10^{-5}} = 1.59 \times 10^{-10}$$

Let $x = [OH^-] = [HC_6H_5COO^-]$

With $C_o = 0.015$ M and $x \ll C_o$

$x \approx (K_b \times C_o)^{1/2} = ((1.59 \times 10^{-10})(0.015))^{1/2} = 1.54 \times 10^{-6}$ M

pOH = $-\log(1.54 \times 10^{-6}) = 5.81$

$\Rightarrow$ (pH = 14.00 − 5.81 = 8.19)

$[HC_6H_5COOH] \approx (1.54 \times 10^{-6}\ \text{M})$

pH ≈ 8.19

2. For NH_4^+ (the conjugate acid of NH_3): الحمض المقترن بالأمونيا:

$$K_a(NH_4^+) = \frac{K_w}{K_b(NH_3)} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.75 \times 10^{-5}} = 5.71 \times 10^{-10}.$$

Hydrolysis التميؤ: $NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 + H_3O^+$

Let $x = [NH_3] = [H_3O^+]_{formed.}$

$$K_a = \frac{x^2}{C-x} \approx \frac{x^2}{C} \Rightarrow x \approx (K_a.C)^{1/2} = ((5.71 \times 10^{-10}) \times (0.0100))^{1/2} = 2.39 \times 10^{-6}\ \text{M}$$

Extent (degree) of hydrolysis نسبة التميؤ

$$\alpha = \frac{x}{C} = \frac{2.39 \times 10^{-6}}{0.0100} = 2.39 \times 10^{-4} = 0.0239\%.$$

تدريب (9-5)

$V_{(HF)} = 25.0\ mL = 0.0250\ L$

$[HF] = 0.10\ M$

$[NaOH] = 0.15\ M$

$n_{(HF)} = 0.0250 \times 0.10 = 0.00250\ mol$

At the equivalence point, all HF is neutralized تمت معادلة كل HF عند نقطة التكافؤ

$$n_{(NaOH)} = n_{(HF)}$$

$$V_{NaOH} = \frac{0.00250}{0.15} = 0.0167\ L = 16.7\ mL$$

تحول الحمض HF بالكامل الى قاعدته المقترنة F^- (من NaF)

All HF has been converted into its conjugate base: F^- (from NaF)

وبالتالي يحتوي المحلول على أيون الفلوريد فقط الذي يتميأ في الماء

So the solution contains only F^-, which hydrolyzes in water:

$$F^- + H_2O \rightleftharpoons HF + OH^-$$

We use K_b for this reaction: نستخدم K_b لهذا التفاعل

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.6 \times 10^{-4}} = 1.52 \times 10^{-11}$$

$$[F^-] = \frac{\text{mol } F^-}{\text{total volume}}$$

Total volume الحجم الكلي= 25.0 + 16.7 = 41.7 mL = 0.0417 L

$$[F^-] = \frac{0.00250}{0.0417} = 0.0600\ M$$

$$K_b = \frac{[HF][OH^-]}{[F^-]}$$

Assume بفرض $x = [OH^-]$

$$1.52 \times 10^{-11} = \frac{x^2}{0.0600}$$

$x = 9.54 \times 10^{-7}$

$pOH = -\log(9.54 \times 10^{-7}) = 6.02$

$pH = 14 - 6.02 = 7.98$

إذن، عند نقطة التكافؤ يكون المحلول قاعديًا قليلًا لأن الملح NaF يُنتج الأيون القاعدي الضعيف F^-.

So, at the equivalence point, the solution is slightly basic because the salt (NaF) produces the weakly basic ion F^-.

تدريب (9-6)

$$Mn(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$K_{sp} = [Mn^{2+}]\,[OH^-]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$

$K_{sp} = [x][2x]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$

$4x^3 = 1.9 \times 10^{-13}$

$x = 3.6 \times 10^{-5}\ mol/L$

$[OH^-] = 2 \times 3.6 \times 10^{-5} = 7.2 \times 10^{-5}$

$pOH = -\log(7.2 \times 10^{-5}) = 4.14$

$pH = 14.00 - 4.14 = 9.86$

10 Practical experiments 10- التجارب العملية

Analysis of Commercial Vinegar experiment 1- تجربة تحليل الخل التجاري

الهدف

تعيين مولارية حمض الخليك في الخل التجاري ثم حساب نسبته الكتلية باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ودليل الفينولفثالين.

Purpose

Determine the molarity of acetic acid in a commercial vinegar sample and report its mass percent, using a provided standardized sodium hydroxide solution and phenolphthalein as the endpoint indicator.

الكواشف والأدوات

- محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ~ 0.10 M .
- خل تجاري.
- دليل الفينولفثالين (1%).
- ماء مقطر.
- سحّاحة 25mL (+ حامل ومِشبك)، أسطوانة مدرّجة 10 mL (للشطف عند الحاجة).
- ماصّة حجمية 2.00 mL مع مالئة الماصة.
- دوارق مخروطية (125–250 mL) عددها على الأقل 3 .
- زجاجة غسل بماء مقطر.
- كأس أو وعاء نفايات، مناديل مختبرية .

Provided Reagents and Materials

- Standardized sodium hydroxide solution, ~0.10 M (exact molarity provided separately).
- Commercial vinegar.
- Phenolphthalein indicator (1%) .
- Distilled water.
- 25 mL burette (+ stand and clamp), 10 mL graduated cylinder (for rinsing if needed).
- Volumetric pipette, 2.00 mL, with pipette filler.
- Conical flasks (125–250 mL), at least 3 .
- Wash bottle with distilled water.
- Beaker or waste container, laboratory tissue.

تعليمات السلامة

- ارتدِ نظارات واقية ومعطف وقفازات.
- هيدروكسيد الصوديوم مادة كاوية؛ اغسل فورًا أي تلامس جلدي بالماء.

- املأ السحّاحة وهي غير مُثبتة وتحت مستوى الكتف.
- ثبّت الزجاجيات وامسح طرف السحّاحة.
- تقليل امتصاص CO_2: أبقِ زجاجة NaOH مغلقة ولا تتركه طويلًا في السحّاحة.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
- NaOH is corrosive; rinse skin exposure immediately with water.
- Fill the burette off the clamp and below shoulder level.
- Keep glassware stable; wipe the burette tip before each titration.
- Minimize CO_2 uptake: keep the NaOH bottle closed; don't leave NaOH in the burette longer than necessary.

فحوصات ما قبل المعايرة

- اشطف/هيّئ السحّاحة بمحلول NaOH القياسي ثم املأها.
- علّم ثلاثة دوارق مخروطية للخطوات المكررة (1–3).

Pre-Titration Checks

- Rinse/condition the burette with standardized NaOH, then fill it.
- Label three clean conical flasks (Trial 1–3).

تحضير العيّنات (للمحاولات الثلاثة)

- نصيحة جودة: اشطف الماصّة الحجمية بالخل (2–3 مرات بكميات قليلة) قبل السحب.
- باستخدام ماصّة 2.00 mL انقل 2.00 mL من الخل إلى كل دورق مُعلَّم.
- أضِف ~25–50 mL ماء مقطر لكل دورق لضمان مزجٍ كافٍ.
- أضِف 3 قطرات من الفينولفثالين.

Sample Preparation (Three Replicates)

- Good practice: Pre-rinse the volumetric pipette with vinegar (2–3 small rinses).
- Using the 2.00 mL volumetric pipette, transfer 2.00 mL of vinegar into each labeled conical flask.
- Add ~25–50 mL distilled water to each flask for adequate mixing.
- Add 3 drops of phenolphthalein indicator.

المعايرة (لكل محاولة)

- ضع الدورق تحت السحّاحة وخفّض الطرف داخله. سجِّل القراءة الابتدائية لأقرب 0.02 mL .
- عاير بـــ NaOH مع تحريكٍ مستمر. ابدأ أسرع ثم خفِّف المعدّل عند بدء ثبات اللون الوردي الباهت.
- أضِف القاعدة قطرةً قطرة حتى يظهر لون ورديّ باهت متجانس يدوم قرابة 30 ثانية.
- سجِّل القراءة النهائية واحسب حجم NaOH .
- كرّر للمرّتين المتبقيتين. يُفضَّل أن تتفق الأحجام ضمن ~0.05–0.10 mL .

Titration (Repeat for Each Trial)

- Place the flask under the burette; lower the tip into the flask. Record the initial burette reading (to 0.02 mL).
- Titrate with standardized NaOH with continuous swirling. Begin faster, then reduce the rate as a faint pink starts to persist.
- Add NaOH dropwise until a uniform, faint pink persists for ~30 s.
- Record the final burette reading (to 0.02 mL). Compute V_{NaOH} by subtraction.
- Repeat for Trials 2 and 3. Replicates should agree within ~0.05–0.10 mL.

الحسابات

- حجم الخل = 2.00 mL = 0.00200 L .
- معادلة التفاعل: (نسبة 1 : 1) $CH_3COOH+NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

لكل محاولة:

- عدد مولات القاعدة n (NaOH) = M (NaOH) × V_L (NaOH)
- عدد مولات القاعدة = عدد مولات الحمض n (NaOH) = n (acid)
- التركيز المولاري للحمض M (acid) = n (acid) / 0.00200

النسبة الكتلية (m/m%) بافتراض الكثافة = 1.00 g·mL^{-1} والكتلة المولية = 60.05 g.mol^{-1} :

- كتلة العيّنة ≈ 2.00 g
- كتلة الحمض m (acid) = n (acid) × 60.05
- النسبة الكتلية للحمض في محلول الخل التجاري m/m % = (m (acid) ÷ 2.00) × 100

Calculations

- V (vinegar) = 2.00 mL = 0.00200 L
- Reaction (1:1): $CH_3COOH+NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

For each trial:

- n (NaOH) = M (NaOH) × V_L (NaOH)
- n (NaOH) = n (acid)
- M (acid) = n (acid) / 0.00200

Mass percent acetic acid (m/m%) (assume density = 1.00 g·mL^{-1}), M_r = 60.05 g.mol^{-1} :

- Sample mass ≈ 2.00 g
- m (acid) = n (acid) × 60.05
- m/m % = (m (acid) ÷ 2.00) × 100

التنظيف

- صرّف النفايات في الوعاء المخصّص.
- اشطف السحّاحة بماء مقطر وخزّنها مقلوبةً والصنبور مفتوح.
- نظّف السطح واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect waste in the designated container.
- Rinse the burette with distilled water, store inverted with stopcock open.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- القراءات الابتدائية والنهائية للسحّاحة لكل محاولة.
- حجم القاعدة V (NaOH) (مللتر) لكل محاولة.
- تركيز الحمض M (acid) لكل محاولة والمتوسط الحسابي.
- نسبة حمض الخليك m/m% لكل محاولة والمتوسط الحسابي.

ملاحظة عملية: بتركيز NaOH ≈ 0.10 M وخلّ نموذجي ≈ 5%، سيكون حجم المعايِر المطلوب لكل عينة حجمها 2.00 mL قرابة 16–17 mL؛ وهذا مريح داخل سحّاحة حجمها 25 mL دون الحاجة لإعادة تعبئتها.

Data that is recorded

- Initial and final burette readings for each trial.
- V (NaOH) (mL) for each trial.
- M (acid) for each trial and the average M (acid).
- Mass percent acetic acid (%m/m) for each trial and the average %m/m.

Practical note: With NaOH at ≈0.10 M and typical vinegar at ≈5%, the titrant volume required for each 2.00 mL sample is about 16–17 mL. This fits comfortably within a 25 mL burette without needing to refill.

2- تجربة التعرّف النوعي على محاليل مجهولة

Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment

الهدف

تمييز هوية ستة محاليل مائية شفافة مجهولة بالاستدلال من مشاهدات بسيطة عند مزج أزواج المحاليل: تكوّن الراسب، تصاعد الغاز، وتغيّر لون الدليل؛ ثم توثيق النتائج بكتابة المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.

Purpose

Identify the contents of six colorless unknown aqueous solutions by observing simple qualitative cues during pairwise mixing—precipitate formation, gas evolution, and indicator color change—and justify the identifications by writing net ionic equations for the key reactions.

الكواشف والأدوات

- ستة محاليل مجهولة شفافة يختارها مساعد المختبر من المجموعة:
  $AgNO_{3(aq)}$, $BaCl_{2(aq)}$, $NaCl_{(aq)}$, $Na_2SO_{4(aq)}$, $Na_2CO_{3(aq)}$, $HCl_{(aq)}$
- ماء مقطّر، ورقة بيضاء كخلفية للملاحظة.
- أنابيب اختبار مُرقّمة (6) + أنابيب إضافية للمزج الثنائي.
- ماصّات تقطير/قطّارات مخصّصة قدر الإمكان، حامل أنابيب، فرشاة تنظيف.
- كأس/وعاء نفايات.
- فينولفثالين 1% (اختياري) أو ورق تباع الشمس كدليل حمض/قاعدة.

Indicators and Materials

- Six unknown colorless solutions selected (unrevealed to students) from: $AgNO_{3(aq)}$, $BaCl_{2(aq)}$, $NaCl_{(aq)}$, $Na_2SO_{4(aq)}$, $Na_2CO_{3(aq)}$, $HCl_{(aq)}$
- Distilled water; white paper as viewing background.
- Numbered test tubes (6) + extra tubes for pairwise tests.
- Dedicated droppers/Pasteur pipettes when possible; test-tube rack; brush.
- Beaker/waste container.
- Phenolphthalein 1% (optional) or litmus paper as an acid–base indicator.

تعليمات السلامة

- ارتدِ نظارات واقية ومعطف وقفازات طوال الوقت.
- HCl مادة مسببة للتآكل؛ و$AgNO_3$ يلوّن الجلد والملابس ومُهيّج للعينين - تجنّب الملامسة المباشرة.
- محلول الفينولفثالين غالبًا كحولي وقابل للاشتعال: استخدمه بعيدًا عن اللهب ومصادر الشرر.
- اعمل في مكان جيّد التهوية، وجمّع فضلات الفضة بشكل منفصل إن أمكن.

Safety

• Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
• HCl is corrosive; $AgNO_3$ stains skin/fabrics and irritates eyes - avoid direct contact.
• Phenolphthalein solutions are typically alcohol-based and flammable: keep away from ignition sources.
• Work in a well-ventilated area; collect silver-containing waste separately if possible.

فحوصات ما قبل البدء

- تأكد من نظافة الأنابيب وخلوها من بقايا الكربونات/الهيدروكسيد.
- رقِّم 6 أنابيب (1–6) وضع في كلٍّ منها ≈ 15–20 mL من محلول مجهول.
- جهّز 6–8 أنابيب إضافية للمزج الثنائي، واستخدم قطارات منفصلة قدر الإمكان.
- جهّز ورقة تسجيل للمشاهدات وجدول المزج.

Pre-Test Checks

- Ensure tubes are clean and free of residual carbonate/hydroxide.
- Label tubes 1–6 and place ≈ 15–20 mL of an unknown in each.
- Prepare 6–8 spare tubes for pairwise mixing; dedicate droppers when possible.
- Prepare an observation sheet and the mixing matrix.

تحضير العيّنات

- استخدم أحجامًا صغيرة ومتساوية عند المزج (مثل 1–2 mL من كل محلول).
- يمكن استخدام قطرة فينولفثالين أو ورق تباع الشمس لإظهار سلوك حمضي/قاعدي.
- دوِّن فورًا: وجود لون أو راسب، تصاعد الغاز، تغيّر لون الكاشف.

Sample Preparation

- Use small equal volumes (1–2 mL of each solution per mix).
- Optionally use one drop phenolphthalein or litmus for acid–base behavior.
- Record Immediately: precipitate presence/color, gas effervescence, indicator change.

التجربة (مزج أزواج المحاليل)

باستخدام تفاعلات أزواج المحاليل، حدِّد هوية كل أنبوب. املأ الجدول بالمشاهدات. يكفي ملء نصف الجدول؛ أكمل النصف الآخر فقط إذا كرّرت المزج بالعكس للتحقق.

Pairwise Tests

Mix pairs systematically and complete the table. Filling one triangular half is sufficient; fill the other half only if repeating in reverse as a check.

	1	2	3	4	5	6
1	-----					
2		-----				
3			-----			
4				-----		
5					-----	
6						-----

إشارات رئيسية متوقَّعة (للمعلّم كمرشد لا يُسلَّم للطلاب)

- $HCl + Na_2CO_3 \rightarrow CO_{2(g)}$ (فقاعات واضحة) + محلول عديم اللون
  $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$
- $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl_{(s)}$ راسب أبيض (مصدر Cl^- من NaCl أو HCl)
  $Ag^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$
- $Ag^+ + CO_3^{2-} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$ راسب فاتح قد يذوب مع الحمض مع تصاعد CO_2
  $Ag^+{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$
- $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_{4(s)}$ راسب أبيض غير ذائب
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaSO_{4(s)}$
- $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_{3(s)}$ راسب أبيض
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)}$

Key Cues (for teacher, not handed to students)

- $HCl + Na_2CO_3 \rightarrow CO_{2(g)}$ (clear fizzing) + colorless solution.
  $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$
- $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl_{(s)}$ white precipitate (from NaCl or HCl).
  $Ag^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$
- $Ag^+ + CO_3^{2-} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$ (off-white; dissolves with acid, releasing CO_2)
  $Ag^+{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$
- $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_{4(s)}$ (white precipitate, insoluble white).
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaSO_{4(s)}$
- $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_{3(s)}$ (white precipitate).
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)}$

التحليل والاستدلال

- ابدأ بالعلامات القاطعة: CO_2 يكشف زوج (H^+/CO_3^{-2})، و$BaSO_{4(s)}$ يربط Ba^{2+} مع SO_4^{2-}، و$AgCl_{(s)}$ يثبت وجود Ag^+ مع مصدر Cl^- .

- كوّن بصمة تفاعلية لكل أنبوب بمقارنة استجاباته مع بقية الأنابيب، ثم حدد الهوية.
- دوّن الصيغ النهائية للأنابيب الستة، واكتب المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات التي استندت إليها.

Analysis and Inferencing

- Start from decisive cues: CO_2 (H^+/CO_3^{2-} pair), $BaSO_4(s)$ (Ba^{2+} with SO_4^{2-}), $AgCl_{(s)}$ (Ag^+ with Cl^-).
- Build a reaction fingerprint for each tube by comparing its responses to all others, then assign identities.
- Record the final identities and write the net ionic equations used.

التنظيف

- اجمع فضلات الفضة ($Ag^+/AgCl$) في وعاء منفصل إن أمكن؛ صرّف البقية حسب سياسة المختبر.
- اشطف الأنابيب بالماء المقطر ونظّفها بفرشاة عند الحاجة.
- نظّف سطح الطاولة واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect Ag-containing wastes ($Ag^+/AgCl$) separately if possible; dispose the rest per lab policy.
- Rinse test tubes with distilled water; brush clean as needed.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- جدول المشاهدات لكل مزج ثنائي (راسب/لونه/ثباته، غاز، تغيّر لون الكاشف).
- الصيغ/الأسماء النهائية للمحاليل الستة المرتبطة بأرقام الأنابيب.
- المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.

Data to be recorded

- Observation matrix for each pairwise mix (precipitate/color/stability, gas, indicator change).
- Final identities (formulas/names) for the six tube numbers.
- Net ionic equations support the deductions.

لمساعد المختبر فقط ـ تحضير المحاليل (تركيزات مقترحة)

0.10 M: $AgNO_3$, $BaCl_2$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, NaCl
0.50 M: HCl (مخفف)

ملاحظات: اغسل الزجاجيات جيدًا لتجنّب أثر الكربونات/الهيدروكسيد. استخدم قطّارات مخصّصة لمنع التلوّث المتبادل الذي قد يولّد رواسب كاذبة.

For Lab Assistants Only - Solution Preparation (Suggested concentrations)

0.10 M: $AgNO_3$, $BaCl_2$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, NaCl
0.50 M: HCl (dilute)
Notes: Thoroughly wash all glassware to avoid residual carbonate/hydroxide. Use dedicated droppers/pipettes whenever possible to prevent cross-contamination that could produce false precipitates.

Practical note | ملاحظة عملية

استخدم أحجامًا صغيرة متساوية (1–2 mL) وخلفية بيضاء لرؤية الرواسب الباهتة. أعِد أي مزج غير حاسم للتحقّق من النمط. عند الاشتباه بين NaCl وHCl، اختبر كليهما مع Na_2CO_3: ظهور CO_2 يثبت وجود الحمض (HCl).

Use small, equal volumes (1–2 mL) and observe over a white background to visualize faint precipitates. Repeat any ambiguous pairwise mixes to confirm patterns. When uncertain between NaCl and HCl, test both against Na_2CO_3: the appearance of CO_2 bubbles confirms the acid (HCl).

PERIODIC TABLE

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
	I.A																	VIII. A
1.	2.1 **1** **H** 1.0	II. A											III. A	IV. A	V. A	VI. A	VII. A	**2** **He** 4.0
2.	1.0 **3** **Li** 6.9	1.5 **4** **Be** 9.0								EN* **atomic number** **Chem. symbol** relative atomic mass			2.0 **5** **B** 10.8	2.5 **6** **C** 12.0	3.0 **7** **N** 14.0	3.5 **8** **O** 16.0	4.0 **9** **F** 19.0	**10** **Ne** 20.2
3.	0.9 **11** **Na** 23.0	1.2 **12** **Mg** 24.3	III. B	IV. B	V. B	VI. B	VII. B	VIII. B			I. B	II. B	1.5 **13** **Al** 27.0	1.8 **14** **Si** 28.1	2.1 **15** **P** 31.0	2.5 **16** **S** 32.0	3.0 **17** **Cl** 35.5	**18** **Ar** 40.0
4.	0.8 **19** **K** 39.1	1.0 **20** **Ca** 40.1	1.3 **21** **Sc** 45.0	1.5 **22** **Ti** 47.9	1.6 **23** **V** 50.9	1.6 **24** **Cr** 52.0	1.5 **25** **Mn** 54.9	1.8 **26** **Fe** 55.8	1.8 **27** **Co** 58.9	1.8 **28** **Ni** 58.7	1.9 **29** **Cu** 63.5	1.6 **30** **Zn** 65.4	1.6 **31** **Ga** 69.7	1.8 **32** **Ge** 72.6	2.0 **33** **As** 74.9	2.4 **34** **Se** 79.0	2.8 **35** **Br** 79.9	**36** **Kr** 83.8
5.	0.8 **37** **Rb** 85.5	1.0 **38** **Sr** 87.6	1.3 **39** **Y** 88.9	1.4 **40** **Zr** 91.2	1.6 **41** **Nb** 92.9	1.8 **42** **Mo** 95.9	1.9 **43** **Tc** [98]	2.2 **44** **Ru** 101.1	2.2 **45** **Rh** 102.9	2.2 **46** **Pd** 106.4	1.9 **47** **Ag** 107.9	1.7 **48** **Cd** 112.4	1.7 **49** **In** 114.8	1.8 **50** **Sn** 118.7	1.9 **51** **Sb** 121.8	2.1 **52** **Te** 127.6	2.5 **53** **I** 126.9	**54** **Xe** 131.3
6.	0.7 **55** **Cs** 132.9	0.9 **56** **Ba** 137.3	1.1 **57** **La** 138.9	1.3 **72** **Hf** 178.5	1.5 **73** **Ta** 180.9	1.7 **74** **W** 183.8	1.9 **75** **Re** 186.2	2.2 **76** **Os** 190.2	2.2 **77** **Ir** 192.2	2.2 **78** **Pt** 195.1	2.4 **79** **Au** 197.0	1.9 **80** **Hg** 200.6	1.8 **81** **Tl** 204.4	1.8 **82** **Pb** 207.2	1.9 **83** **Bi** 209.0	2.0 **84** **Po** [209]	2.2 **85** **At** [210]	**86** **Rn** [222]
7.	0.7 **87** **Fr** [223]	0.9 **88** **Ra** [226]	1.1 **89** **Ac** [227]	**104** **Rf** [261]	**105** **Db** [262]	**106** **Sg** [266]	**107** **Bh** [264]	**108** **Hs** [269]	**109** **Mt** [268]	**110** **Ds** [271]	**111** **Rg** [272]	**112** **Cn** [285]	**113** **Nh** [284]	**114** **Fl** [289]	**115** **Mc** [289]	**116** **Lv** [293]	**117** **Ts** [294]	**118** **Og** [294]

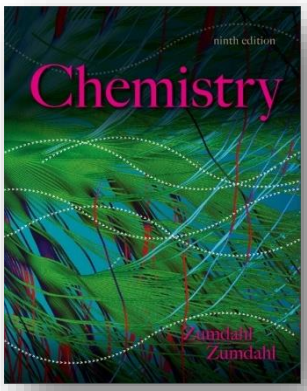
1.1 **58** **Ce** 140.1	1.1 **59** **Pr** 140.9	1.1 **60** **Nd** 144.2	1.1 **61** **Pm** [145]	1.2 **62** **Sm** 150.4	1.2 **63** **Eu** 152.0	1.2 **64** **Gd** 157.3	1.2 **65** **Tb** 158.9	1.2 **66** **Dy** 162.5	1.2 **67** **Ho** 164.9	1.2 **68** **Er** 167.3	1.2 **69** **Tm** 168.9	1.1 **70** **Yb** 173.0	1.2 **71** **Lu** 175.0
1.3 **90** **Th** 232.0	1.5 **91** **Pa** 231.0	1.4 **92** **U** 238.0	1.3 **93** **Np** [237]	1.3 **94** **Pu** [244]	1.3 **95** **Am** [243]	1.3 **96** **Cm** [247]	1.3 **97** **Bk** [247]	1.3 **98** **Cf** [251]	1.3 **99** **Es** [252]	1.3 **100** **Fm** [257]	1.3 **101** **Md** [258]	1.3 **102** **No** [259]	1.3 **103** **Lr** [262]

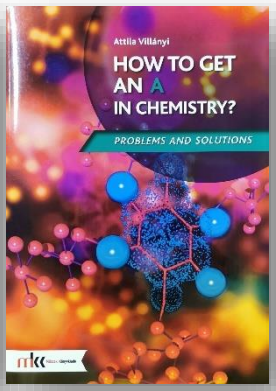
* EN: electronegativity

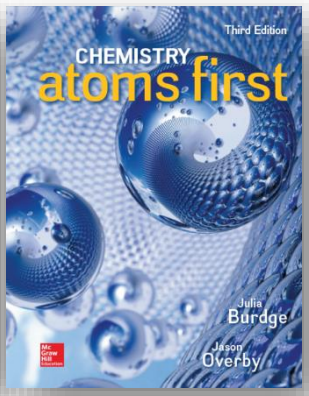
المصادر والمراجع العلمية

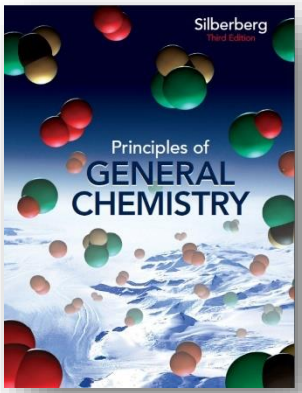
- وزارة التعليم . سلسلة مقررات الكيمياء في المرحلة الثانوية (نظام المسارات) ، المملكة العربية السعودية ، 2025 .

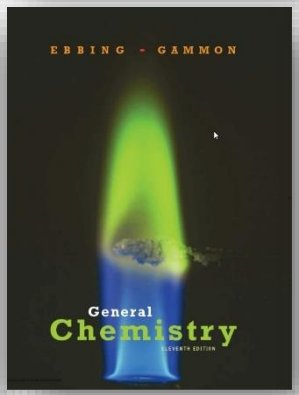
- Burdge , Julia and Jason Overby . Chemistry - atoms first , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2018 .
- Chang, Raymond. Chemistry, Tenth Edition. USA: McGraw-Hill, 2010.
- Ebbing , Darrell D and Steven D. Gammon . General Chemistry , Eleventh Edition . USA : Cengage Learning , 2015 .
- Rosenberg , Jerome L and Others . Schaum's Outline Theory and Problems of College Chemistry , Ninth Edition . USA : McGraw-Hill , 2007 .
- Silberberg , Martin S . Principles of General Chemistry , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2013 .
- Villanyi , Attila . How to Get an A in Chemistry ? , Budapest : Muszaki KonyvKiado , 2021 .
- Zumdahl , Steven S and Susan A. Zumdahl . Chemistry , Ninth Edition . USA : Brooks Cole , 2014 .

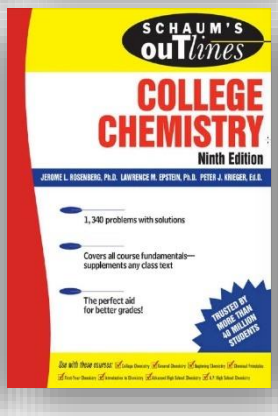


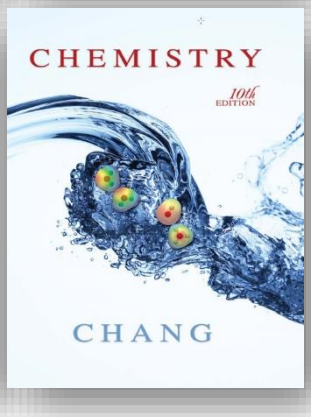












فيزياء

المحتويات

1. الفصل الأول: الشغل والطاقة 3
1.1 الشغل 3
1.2 الطاقة 14
1.3 القوى المحافظة وغير المحافظة 20
1.4 القدرة 23
1.5 أسئلة الفصل (1) الشغل والطاقة 26
1.6 مسائل وتطبيقات: 28
2. الفصل الثاني: التجارب العملية 30
2.1 الفيزياء كعلم تجريبي 30
2.2 الدقة والضبط والأخطاء في التجارب 31
2.3 تحليل البيانات والرسوم البيانية 33
2.4 بعض التجارب البسيطة 38
2.5 الاختبار التجريبي 40
مراجع الحقائب 42

1. الفصل الأول: الشغل والطاقة

1.1 الشغل

في اللغة اليومية، يمكن أن يحمل مصطلح الشغل معاني متعددة، لكن في الفيزياء له تعريف محدّد ودقيق. في المصطلح الفيزيائي، يعبّر الشغل عمّا يتم إنجازه عندما تؤثر قوة على جسم فتتسبب في إزاحته.

ولغرض التوضيح، سنقتصر على الحركة الانتقالية فقط، مع افتراض أن الجسم يتصرف كـ جسم صلب لا يتعرض لتشوّه داخلي، ويمكن اعتباره جسيمًا واحدًا. وبناءً على هذه الفرضية

1.1.1 الشغل المبذول بقوة ثابته

يعرف الشغل المبذول على جسم بفعل قوة ثابتة أي قوة تبقى ثابتة في المقدار والاتجاه بأنه حاصل ضرب مقدار الإزاحة في مركبة القوة الموازية للإزاحة.

ويُعبَّر عن هذه العلاقة رياضيًا بالصيغة:

$$W = F_{\parallel} d$$

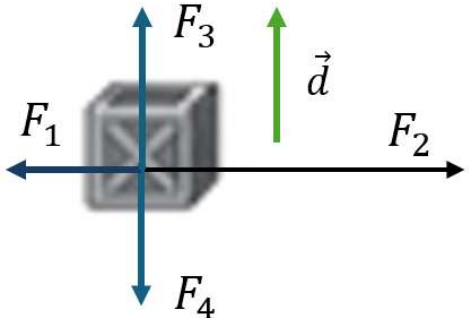
حيث $F_{\parallel}$هي المركبة الموازية للإزاحة للقوة الثابتة F، وd هو مقدار الإزاحة.

ويمكن أيضًا كتابة العلاقة على النحو الآتي:

$$W = Fd\cos\theta \qquad (1)$$

حيث Fهو مقدار القوة المؤثرة، وd هو مقدار الإزاحة، وθ هو الزاوية بين اتجاهي القوة والإزاحة. وتضمن دالة جيب التمام (cos)أن الجزء الموازي من القوة لحركة الجسم فقط هو الذي يساهم في الشغل المبذول.

إن الشغل كمية عددية (قياسية)، أي أنه يمتلك مقدارًا فقط دون اتجاه. ومع ذلك، يمكن أن يكون موجبًا أو سالبًا تبعًا لما إذا كانت مركبة القوة تعمل في اتجاه الإزاحة أو في الاتجاه المعاكس لها. وعند دراسة الشغل والقوى، من الضروري تحديد أي قوة تقوم ببذل الشغل وعلى أي جسم. وفي الأنظمة التي تؤثر فيها قوى متعددة، يجب التمييز بين الشغل الذي تبذله كل قوة على حدة، والشغل الكلي (الصافي) الذي تبذله القوة المحصّلة على الجسم.

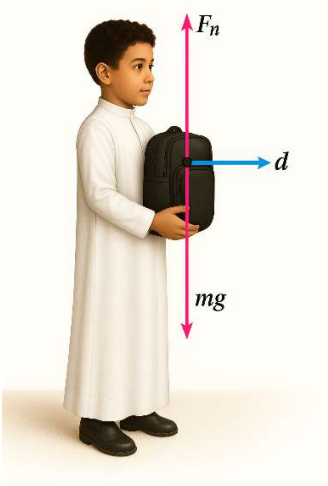


التحقق من المفهوم

يرفع طالب حقيبة كتلتها m مسافة رأسية h بسرعة ثابتة ويمشي أفقيا إزاحة $\vec{d}$، ما هو:

(ا) الشغل الكلي المبذول بوسطة الطالب،

(ب) الشغل المبذول بواسطة القوة $\vec{F}_P$ ؟



ملاحظات مهمة:

- الشغل كمية قياسية (عددية) ليس لها اتجاه، ولكن مقدارها قد يكون سالب أو موجب.

-الشغل وسيلة لنقل الطاقة من وإلى الجسم،

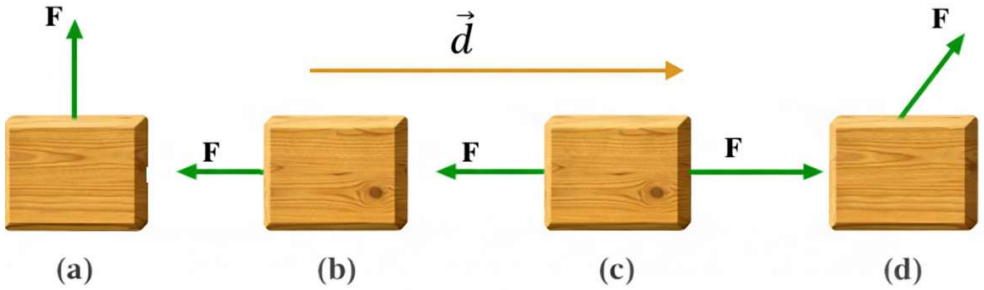
يكون الشغل موجباً: إذا كان للقوة مركبة في اتجاه الحركة، وبالتالي تزيد سرعة الجسم (طاقته الحركية)، وتنتقل طاقة للجسم.

يكون الشغل سالباً: إذا كان للقوة مركبة عكس اتجاه الحركة، وبالتالي تقلل سرعة الجسم (طاقته الحركية)، وتنتقل طاقة من الجسم.

فكر:

يوضح الشكل أربع حالات يتم فيها تطبيق قوة على جسم. في جميع الحالات الأربع: يكون للقوة المقدار نفسه والإزاحة تحدث إلى اليمين وبنفس المقدار .رتب الحالات بالترتيب من حيث الشغل المبذول بواسطة القوة المؤثرة على الجسم، من الأكثر إيجابية إلى الأكثر سلبية.

لاحظ أن الشغل الموجب يعني نقل طاقة للجسم والعكس



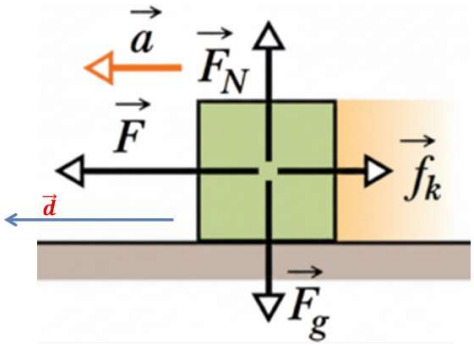
1.1.2 الشغل المبذول بقوة الاحتكاك الحركي

تبذل قوة الاحتكاك الحركي شغلا سالباً لأن اتجاهها يكون معاكساً لاتجاه الإزاحة

شغل قوة الاحتكاك الحركي:

$$W_k = -f_k d \qquad (2)$$

حيث d هي طول المسار المحتك مهما كان شكله (مستقيم أو غير ذلك).



توجيهات لحل المسائل:

1)ارسم مخطط جسم حر مظهراً القوى المؤثرة جميعها في الجسم المراد دراسته.

2)اختر نظاماً إحداثياً مناسباxy ، من المناسب أن تختار اتجاه أحد المحاور موازياً لاتجاه إحدى القوى المؤثرة في الجسم المتحرك، أو موازياً لاتجاه الحركة (أي من الممكن اختيار اتجاه أحد المحاور موازياً لاتجاه حركة الجسم على السطح المائل، وبذلك يكون المحور موازياً للسطح المائل).

3) طبق قوانين نيوتن لتحديد أي قوة مجهولة.

4)أوجد قيمة الشغل المبذول بواسطة أي قوة ثابتة باستخدام $W = Fd\cos\theta$ مع مراعاة كون الشغل سالباً عندما تعاكس القوة اتجاه الإزاحة.

5) لحساب محصلة الشغل المبذول على الجسم عليك أن:

أ) تعمل على إيجاد الشغل المبذول بواسطة كل قوة على حدة، ومن ثم تقوم بجمعها حسابياً.

ب) تعمل على إيجاد محصلة القوى المؤثرة في الجسم F_{net} ، ومن ثم تحسب محصلة الشغل المبذول في حالة القوة الثابتة فتكون: $W = Fd\cos\theta$

1.1 *1*

تنزلق آلة بيانو كتلتها 330 kg مسافة 3.6 m بلا تسارع إلى أسفل سطح مائل بزاوية 28° نتيجة دفعها بقوة موازية للسطح المائل، كما في الشكل. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي يساوي 0.40، فاحسب كلًّا من:

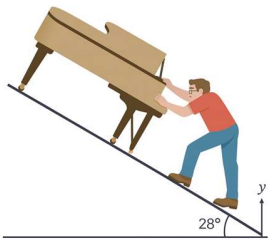
أ- القوة التي تؤثر بها الآلة.

ب- الشغل المبذول على الآلة.

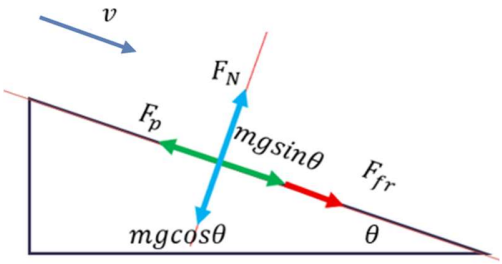
ج-الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك.

د- الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية.

هـ- محصّلة الشغل المبذول على آلة البيانو.



الحل:



تتحرك آلة البيانو بسرعة ثابتة إلى أسفل المستوى المائل. تمثّل قوة $\mathbf{F_p}$ القوة التي يؤثر بها الرجل على البيانو.

ا- قانون نيوتن الثاني لكل اتجاه للبيانو مع كون التسارع يساوي صفر. في الاتجاه الموازي للمستوى يكون مجموع القوى:

القوة الموازية للمستوى التي يسببها الوزن هي

$$F_{g\parallel} = mgsin\ \theta$$

وقوة الاحتكاك تعاكس الحركة وتساوي

$$F_f = \mu_k mgcos\ \theta.$$

بما أن الجسم لا يتسارع، فإن قوة الرجل توازن الفرق بين هاتين القوتين، وبالتالي:

$$F_p = mg(sin\ \theta - \mu_k cos\ \theta)$$

وباستخدام القيم العددية:

$$F_p = (330\,kg)(9.80\,m/s^2)(sin\ 28° - 0.40cos\ 28°) \approx 3.8 \times 10^2\,N$$

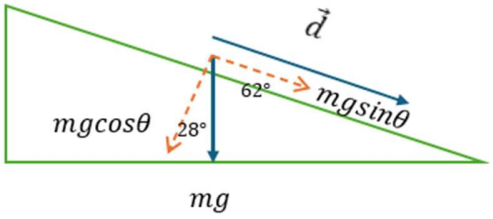
ب- الشغل المبذول بواسطة الرجل هو الشغل الناتج عن القوة $\mathbf{F_p}$، وزاوية القوة مع اتجاه الحركة تساوي $180°$.

$$W_p = F_p dcos\ 180° = -(380\,N)(3.6\,m) \approx -1.4 \times 10^3\,J$$

ج- زاوية قوة الاحتكاك مع اتجاه الحركة تساوي $180°$، لذا:

$$W_f = F_f dcos\ 180° = -\mu_k mgdcos\ \theta$$
$$W_f = -(0.40)(330\,kg)(9.8\,m/s^2)(3.6\,m)cos\ 28° \approx -4.1 \times 10^3\,J$$

د-زاوية قوة الجاذبية مع اتجاه الحركة تساوي $62°$، لذلك يكون الشغل المبذول بواسطة الجاذبية:



$$W_g = mgdcos\ 62°$$
$$W_g = (330\,kg)(9.8\,m/s^2)(3.6\,m)cos\ 62° \approx 5.5 \times 10^3\,J$$

هـ- وبما أن البيانو يتحرك بسرعة ثابتة، فإن القوة المحصلة المؤثرة عليه تساوي صفر، وبالتالي فإن الشغل المحصل على البيانو يساوي أيضًا صفر. يمكن التحقق من ذلك بجمع قيم الشغل الثلاثة.

تدريب 1.1

يتحرك جسمٌ كتلته $m = 20.0\,kg$ على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، تحت تأثير قوة ثابتة $\vec{F}$ تميل بزاوية $\theta = 37.0°$ فوق الاتجاه الأفقي. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح يساوي $\mu_k = 0.40$، فاحسب الشغل الذي تبذله القوة عندما يقطع الجسم إزاحة مقدارها $d = 8.50\,m$.

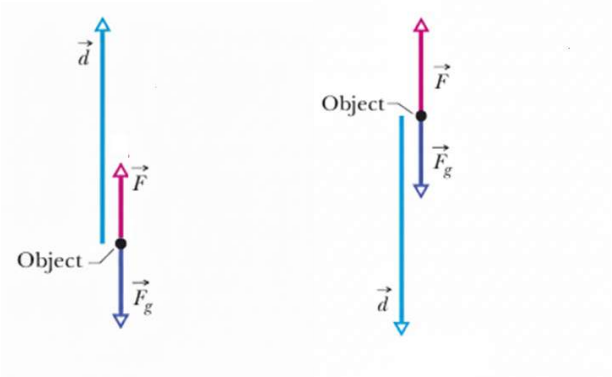
1.1.3 الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية

يوضح الشكل حالتين لحركة جسيم:

قوة مطبقة ترفع الجسيم، إزاحة الجسيم تصنع زاوية 180° مع قوة الجاذبية الأرضية.

قوة مطبقة تؤثر على الجسيم، إزاحة الجسيم تصنع زاوية 0° مع قوة الجاذبية الأرضية.

فسر الإشارات الموجبة والسالبة لشغل القوة المطبقة $\vec{F}$ وقوة الجاذبية الأرضية $\vec{F}_g$



جسم كتلته m يتحرك إزاحة عمودية على سطح الأرض d

في حالة ارتفاع الجسم: فإن الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية:

$$W_g = -mgd \quad (3)$$

في حالة هبوط الجسم: فإن الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية:

$$W_g = mgd \quad (4)$$

1.2

أوجد مقدار القوة اللازمة لرفع طائرة عمودية كتلتها Mبتسارع مقداره 0.10gإلى الأعلى، ثم احسب الشغل المبذول بواسطة هذه القوة عندما ترتفع الطائرة مسافة رأسية مقدارها hإلى الأعلى.

الحل:

القانون الثاني لنيوتن في الاتجاه الرأسي، مع اعتبار الاتجاه لأعلى موجبًا:

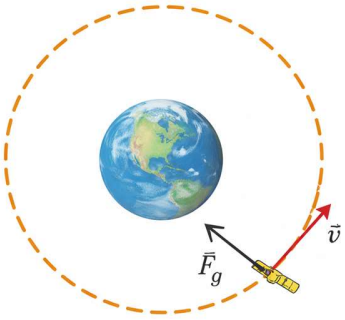
$$\sum F_y = F_L - Mg = Ma = M(0.10g) \quad \Rightarrow \quad F_L = 1.10\,Mg$$

تكون قوة الرفع والإزاحة في الاتجاه نفسه، لذلك فإن الشغل المبذول بواسطة قوة الرفع عند رفع المروحية مسافة رأسية مقدارها hهو:

$$W_L = F_L h \cos 0^\circ = 1.10\,Mgh$$

التحقق من المفهوم

ما هو الشغل المبذول بواسطة قوة الجذب التي تؤثر بها الأرض على القمر الصناعي وتثبت القمر في مساره الدائري.



ملاحظة:

هذا هو السبب في أن القمر والأقمار الصناعية جميعها تستطيع البقاء في مداراتها حول الأرض دون الحاجة إلى صرف أي كمية من الوقود، أي أنها لا تحتاج إلى بذل أي شغل ضد قوة الجاذبية الأرضية وهي في مداراتها.

1.1.4 الشغل المبذول بقوة متغيرة

يمكن حساب الشغل المبذول على جسم ما باستخدام قوة ثابتة بالاعتماد على المعادلة: $W = F\,d\cos\theta$. غير أن الفكرة الأساسية للشغل تبقى صالحة حتى في الحالات التي تكون فيها القوة متغيّرة مقدارا أو اتجاها.

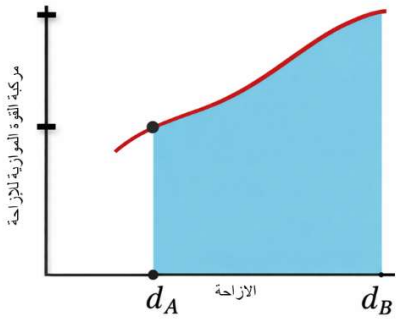
لكن في كثير من الحالات، لا تبقى القوة ثابتة، بل تتغير أثناء حركة الجسم، سواء في مقدارها أو في اتجاهها. على سبيل المثال:

- -تقل قوة الجاذبية التي تؤثر على الصاروخ كلما ابتعد عن الأرض، لأنها تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة من مركز الأرض.
- -تزداد قوة النابض كلما زادت استطالته.
- -تتغير القوة عند دفع عربة أو صندوق على منحدر متغير الميل.

كل هذه الحالات تسمّى قوى متغيرة، أي أنّ القوة تتغير أثناء الإزاحة، ولذلك لا يمكننا استخدام معادلة الشغل للقوة الثابتة بشكل مباشر.

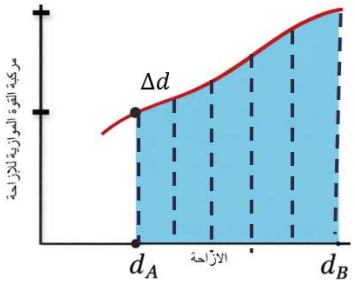
التمثيل البياني لحساب الشغل المتغير

نفترض أن القوة المؤثّرة على جسم ما ليست ثابتة، بل تتغير مع الإزاحة d. يمكن تمثيل مركبة القوة الموازية للإزاحة برسم بياني يوضح العلاقة بين $F\cos\theta$ و d، كما في الشكل.



لتقريب حساب الشغل، نقسم المسافة الكليّة إلى مقاطع صغيرة جدًا مقدار كل منها Δd . نفترض أن مقدار القوة في كل مقطع يساوي قيمة متوسّطة F_i، فيكون الشغل التقريبي لذلك المقطع $\Delta w = F_i \Delta d$ ويمثل ذلك هندسيًا بمساحة مستطيل صغير قاعدته Δd وارتفاعه F_i، بجمع الأشغال الجزئية لكل المقاطع نحصل على الشغل الكلّي، أي:

$$W = \sum F_i \Delta d \qquad (5)$$



نتيجة

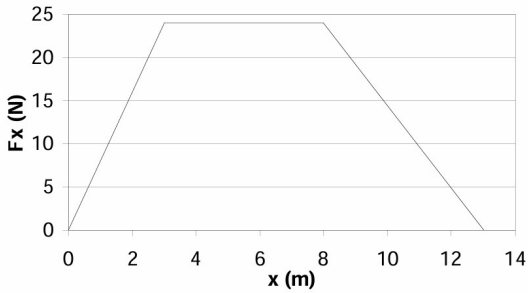
حساب الشغل بيانيا يعادل المساحة المحصورة بين منحنى (مركبة القوة في اتجاه الحركة - الموضع) ومحور الموضع.

1.3

تؤثّر القوة المحصّلة في جسمٍ باتجاه المحور السيني الموجب. ويزداد مقدارها خطّيًا من صفر عند $x = 0$ إلى $24.0\ N$ عند $x = 3.0\ m$، ثم تبقى قيمتها ثابتة عند $24.0\ N$ من النقطة $x = 3.0\ m$ إلى النقطة $x = 8.0\ m$. بعد ذلك تبدأ بالتناقص خطّيًا حتى تصل قيمتها إلى صفر عند $x = 13.0\ m$.

احسب الشغل اللازم لنقل الجسم من $x = 0\ m$ إلى $x = 13.0\ m$ باستخدام الرسم البياني، وحساب المساحة الواقعة تحت منحنى القوة F_x مقابل المحور السيني.

الحل:

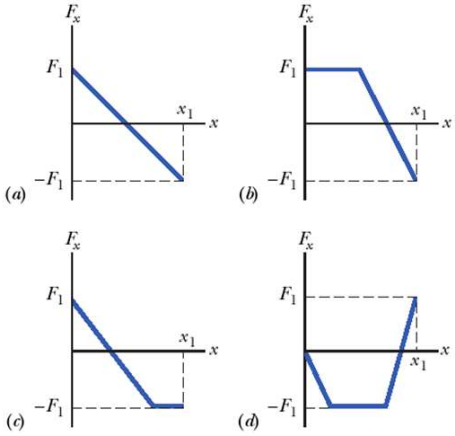


يُمثّل الشغل المبذول المساحةَ الواقعة تحت المنحنى .ويمكن إيجاده باستخدام صيغة مساحة شبه المنحرف:

$$W = \frac{1}{2}(13.0\,m + 5.0\,m)(24.0\,N) = 216\,J$$

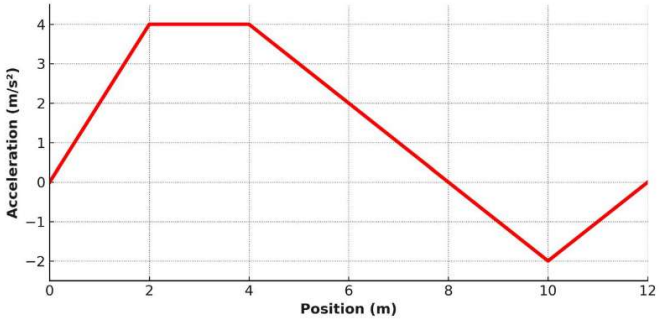
التحقق من المفهوم

أربعة رسوم بيانية (مرسومة بنفس المقياس) للمركبة F_x لقوة متغيرة (موجهة على طول المحور x مقابل الموضع x للجسيم الذي تعمل عليه القوة .رتب الرسوم البيانية وفقًا للشغل الذي تقوم به القوة المؤثرة على الجسيم من $x = 0$ إلى $x = x_1$ ، من الشغل الأكثر إيجابية أولاً إلى الشغل السالب الأكبر أخيراً.



تدريب 1.2

كتلة مقدارها 2.25kg تتحرك بالتسارع المبين في الرسم البياني. كم يبلغ الشغل المبذول على هذه الكتلة بواسطة محصلة القوى؟



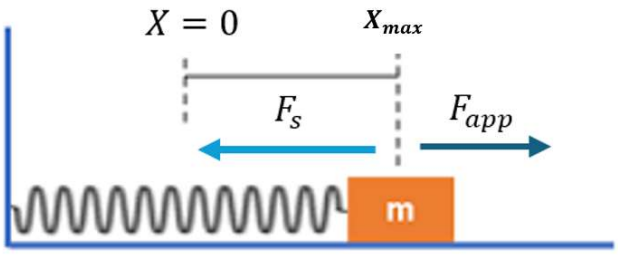
1.1.5 الشغل المبذول بواسطة نابض

نظام كتلة - نابض هو نظام فيزيائي شائع، وفيه تتغير القوة مع الموضع كما في الشكل. افترض ثقل على سطح أفقي أملس مربوط في نابض، إذا تم شد أو ضغط النابض لمسافة صغيرة من نقطة الاتزان بقوة خارجية F_{app} فإن النابض يؤثر على الثقل بقوة مقدارها:

$$F_S = -kx \qquad (6)$$

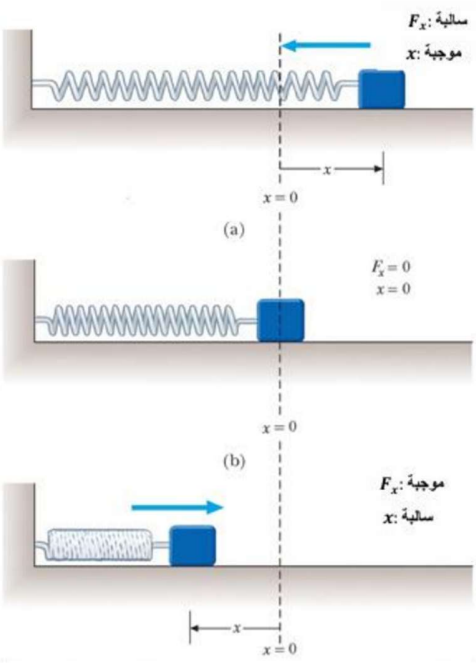
حيث x هي إزاحة الثقل من موضع سكونه $(x = 0)$ و k ثاب-ت موجب يسمى ثابت القوة للنابض أو ثابت النابض.

لاحظ أن القوة الخارجية المستخدمة F_{app} تساوي وتضاد قوة النابض F_S عند أي لحظة.

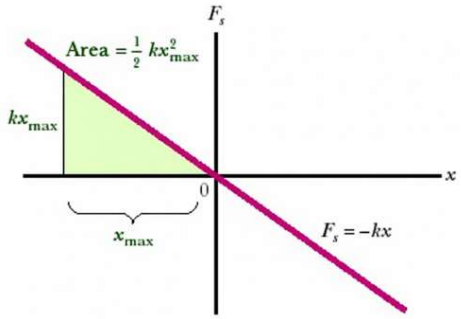


بصورة أخرى فإن القوة اللازمة لانبساط أو انضغاط نابض تتناسب مع مقدار الانبساط أو الانضغاط، يتحقق قانون القوة للنابض ويسمى قانون هوك فقط في الإزاحات الصغيرة، قيم k عبارة عن مقياس لصلابة النابض، النابض الصلب تكون قيمةk كبيرة والنابض الخفيف له قيمةk صغيرة، وكما يلاحظ من المعادلة فإن وحدة k هي N/m

وتعني الإشارة السالبة في المعادلة أن القوة F_S التي يؤثر بها النابض تكون دائما في عكس اتجاه الإزاحةx



$$W_{0\to x} = \frac{kx^2}{2}$$



الشغل يساوي المساحة تحت المنحنى

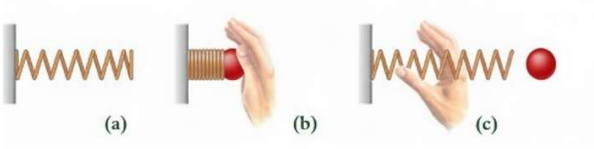
1.2 الطاقة

يعتبر مفهوم الطاقة أحد أهم الموضوعات في العلوم والهندسة، في حياتنا اليومية نرى الطاقة في صورة وقود لوسائل النقل والتدفئة، الكهرباء للإضاءة وتشغيل الأجهزة الكهربائية، والغذاء للاستهلاك. مع ذلك فإن كل هذه الأفكار لا تعرّف الطاقة، إنها تخبرنا فقط أن الوقود مطلوب لأداء الأعمال وأن هذا الوقود يمدنا بشيء يطلق عليه الطاقة.

الطاقة: أحد مكونات العالم الطبيعي، وتتخذ أشكال متعددة، ويمكن أن تتحول من شكل لآخر.

ويمكن تعريفها (عند التعامل مع الطاقة الميكانيكية) بأنها القدرة على بذل الشغل، أو أنها شي يتسبب في تغيير ما يحيط به، وتقاس بوحدة الجول J

على سبيل المثال: يستطيع الزنبرك a أن يخزن طاقة مرنة عندما يتم ضغطه كما في الشكل b، ويستطيع أن يبذل شغلاً عندما يتحرر كما في الشكل c



1.2.1 الطاقة الحركية

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (7)$$

حيث v : سرعة الجسم (m/s)

التحقق من المفهوم

رتب الثلاث السرعات التالية لجسيم بالنسبة للطاقة الحركية التي يملكها الجسيم لكل منها، الأكبر أولاً.

(a) $\vec{v} = -4\hat{i} + 4\hat{j}$

(b) $\vec{v} = -3\hat{i} + 4\hat{j}$

(c) $\vec{v} = \frac{5m}{s}.\ \theta = 30°.$

مثال 1.4

تعد العلاقة بين السرعة والطاقة الحركية من أهم العلاقات في الفيزياء، إذ ترتبط الطاقة الحركية للجسم بسرعة حركة ذلك الجسم ارتباطًا غير خطّي. وعند تغيير إحدى الكميتين (السرعة أو الطاقة الحركية)، فإن الكمية الأخرى لا تتغير بنفس النسبة، مما يستدعي فهمًا دقيقًا لهذه العلاقة.

ما معامل ازدياد سرعة القوس عند مضاعفة طاقته الحركية، وما معامل ازدياد طاقته الحركية عند مضاعفة سرعته؟

الحل:

بما أن $KE = \frac{1}{2}mv^2$ فإن $v = \sqrt{\frac{2(KE)}{m}}$

ولذلك $v \propto \sqrt{KE}$ وبالتالي، إذا تضاعفت الطاقة الحركية، فإن السرعة ستتضاعف بمعامل يساوي $\sqrt{2}$

وبما أن $KE = \frac{1}{2}mv^2$ فإن $KE \propto v^2$

ولذلك، إذا تضاعفت السرعة، فإن الطاقة الحركية ستتضاعف بمعامل يساوي 4

1.2.2 نظرية الشغل وطاقة الحركة

اكتسب قانونا حفظ الطاقة والزخم الخطي أهمية واسعة، لسهولة تطبيقهما عند التعامل مع الأنظمة متعددة الأجسام، وخاصة عندما يكون التعامل مع القوة المسببة للحركة صعباً أو مستحيلاً، كما تجدر الإشارة هنا إلى أمكانية استخدام هذين القانونين أيضاً في مجالات الفيزياء المتعددة الأخرى، والذي من ضمنها علم الفيزياء الذرية بفروعه المختلفة، وتحديداً عند تعذر استخدام قوانين نيوتن للحركة، لعدم صلاحيتها تحت تأثير تلك الظروف.

من قانون نيوتن الثاني إذا ثرت محصلة قوى F_{net} (حيث F_{net} قوة ثابتة) على جسم كتلته m تكسبه تسارعا

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \qquad (8)$$

وبالتعويض $F_{net} = ma$ ونحدد الشغل المبذول على الجسم كما يلي

$$W_{net} = F_{net}d = m\left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}\right) \times d$$

$$W_{net} = F_{net}d = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) \qquad (9)$$

$$W_{net} = KE_f - KE_i \qquad (10)$$

تنص نظرية الشغل-طاقة الحركة على أن: الشغل الكلي المبذول من محصلة القوى $\sum F$ التي تؤثر على جسيم تساوي التغير في الطاقة الحركية للجسيم:

$$\sum W = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) \qquad (11)$$

ملاحظات مهمة:

-تستخدم نظرية الشغل- طاقة الحركة مع القوى الثابتة والمتغيرة.

- عندما نستخدم نظرية الشغل-طاقة الحركة يجب أن نأخذ في الاعتبار جميع القوى التي تبذل شغلاً على الجسم عند حساب الشغل الكلي المبذول.

-من هذه النظرية نلاحظ أن سرعة الجسيم تزداد إذا كان الشغل الكلي المبذول عليه موجباً لأن طاقة الحركة النهائية أكبر من طاقة الحركة الابتدائية.

- تتناقص سرعة الجسيم إذا كان الشغل الكلي المبذول سالباً لأن طاقة الحركة النهائية تكون اقل من طاقة الحركة الابتدائية.

مثال 1.5

سيارة كتلتها $m = 1.0 \times 10^3$ kg تتسارع بانتظام من سرعة ابتدائية $v_i = 15.0$ m/s إلى سرعة نهائية $v_f = 25.0$ m/s .
احسب الشغل الصافي W_{net} اللازم لإحداث هذا التغير في الحركة.

الحل:

ينص مبدأ الشغل والطاقة على أن الشغل الصافي المبذول على جسم يساوي مقدار التغير في طاقته الحركية:

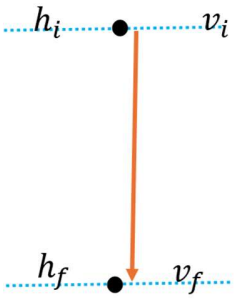
$$W_{net} = \Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

بالتعويض

$$W_{net} = \frac{1}{2}(1.0 \times 10^3)[(25.0)^2 - (15.0)^2]$$
$$W_{net} = 2.0 \times 10^5 \text{ J}$$

تدريب 1.3

يسقط جسم سقوطًا حرًا من حالة السكون، قاطعًا مسافة رأسية مقدارها d تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية فقط. برهن باستخدام العلاقات الرياضية أن الشغل الكلي المبذول على الجسم بواسطة قوة الجاذبية الأرضية يساوي الطاقة الحركية التي يكتسبها الجسم أثناء سقوطه.



التحقق من المفهوم

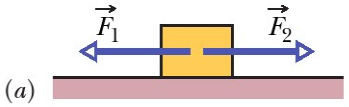
ينزلق جسم على سطح أفقي أملس نحو اليمين، وتؤثر عليه قوتان أفقيتان F_1 وF_2.يُظهر الشكل ثلاث منحنيات للطاقة الحركية K للجسم بدلالة الزمن t.

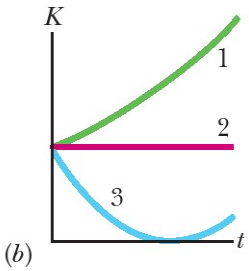
بناءً على الشكل، حدد أي من المنحنيات الثلاثة يمثل كلًّا من الحالات التالية:

(أ) عندما تكون القوتان متساويتين في المقدار $F_1 = F_2$.

(ب) عندما تكون القوة الأولى أكبر من الثانية $F_1 > F_2$.

(ج) عندما تكون القوة الأولى أصغر من الثانية $F_1 < F_2$.





1.2.3 طاقة الوضع

هي طاقة مصاحبة لمجموعة من الأجسام التي تؤثر بقوى متبادلة بينها، وترتبط بقوى محافظة مثل:

طاقة الوضع التثاقلية: وتصاحب نظام مكون من الأرض وجسم، وترتبط بقوة الجاذبية الأرضية (قوة محافظة).

طاقة الوضع المرونية: وتصاحب نظام مكون من نابض وكتلة مربوطة فيه، وترتبط بقوة النابض (قوة محافظة).

ويمكن اعتبار طاقة الوضع كطاقة مخزونة والتي قد يمكنها بذل شغل أو تحول إلى طاقة حركة.

1.2.4 طاقة الوضع التثاقلية

طاقة يكتسبها الجسم بسبب ارتفاعه أو انخفاضه عن مستوى إسناد معين (مثل سطح الأرض) بإزاحة رأسية y

$$PE_g = mgy\,cos\theta$$ 12

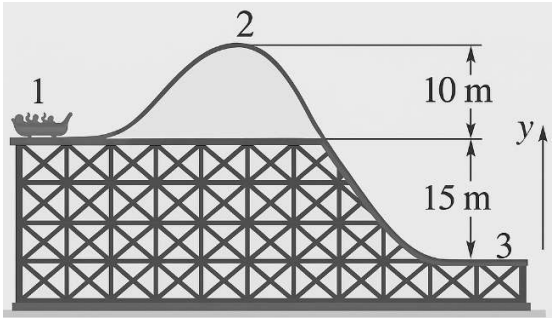
المعادلة صحيحة فقط للأجسام القريبة من سطح الأرض حيث تكون قيمة g ثابتة تقريباً.

مثال 1.6

تتحرك عربة أفعوانيه كتلتها $m = 1.00 \times 10^3$ kg من النقطة (1) إلى النقطة (2)، ثم إلى النقطة (3).

(أ) احسب طاقة الوضع الثقالية للعربة عند النقطتين (2) و(3) بافتراض أن مستوى الإسناد هو عند النقطة (1)، أي $y = 0$ عند النقطة (1).

(ب) احسب التغير في طاقة الوضع الثقالية عندما تنتقل العربة من النقطة (2) إلى النقطة (3).



الحل:

(أ) حساب طاقة الوضع الثقالية عند النقطتين (2) و(3):

كتلة عربة الأفعوانية $m = 1.00 \times 10^3$ kg، وتسارع الجاذبية $g = 9.8 m/s^2$.

يُؤخذ مستوى الإسناد عند النقطة (1) حيث $y_1 = 0$.

من الشكل، ارتفاع النقطة (2) هو $y_2 = 10.0$ m، بينما تقع النقطة (3) أسفل المرجع بمقدار $y_3 = -15.0$ m.

إذن:

$$PE_2 = mgy_2 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(10.0) = 9.80 \times 10^4 \text{ J}$$
$$PE_3 = mgy_3 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(-15.0) = -1.47 \times 10^5 \text{ J}$$

(ب) حساب التغير في طاقة الوضع الثقالية:

$$\Delta PE = PE_3 - PE_2 = (-1.47 \times 10^5) - (9.80 \times 10^4) = -2.45 \times 10^5 \text{ J}$$

إشارة السالب تدل على أن طاقة الوضع نقصت بمقدار 2.45×10^5 J.

أي أن العربة فقدت جزءًا من طاقتها الموضعية، وتحولت هذه الطاقة إلى طاقة حركية أثناء نزولها من النقطة (2) إلى النقطة (3).

تدريب 1.4

يبدأ رياضي كتلته 55 kg بالتسلق من ارتفاع 1.6×10^3 m ليصل إلى قمة ترتفع بمقدار 3.3×10^3 m.

ا-ما التغيّر في طاقته وضعه؟

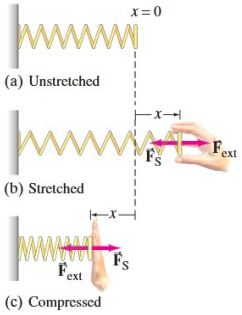
ب- ما مقدار أدنى شغل يجب على الرياضي بذله؟

ج-هل يمكن للشغل المبذول فعليًا أن يكون أكثر من ذلك؟ فسر السبب.

1.2.5 طاقة الوضع المرونية

طاقة تختزن في النابض بسبب انضغاطه أو انبساطه عن موضع اتزانه بمقدار x

$$PE_s = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (13)$$



مثال 1.7

نابض ثابت الصلابة له kأثرت عليه قوة F فاستطال بمقدارx . ثم أثرت علية قوة جديدة 2F. ما نسبة طاقة الوضع المرونية الجديدة إلى الطاقة المرونية السابقة. فسر النتيجة التي توصلت لها.

الحل:

من حيث القوى:

عند التأثير بقوة F يستطيل x أي أن $F_1 = kx$، وعند التأثير بقوة2F يستطيل 2x أي أن $F_2 = k(2x)$

من حيث الطاقة:

$PE_1 = \frac{1}{2}kx^2$ ، $PE_2 = \frac{1}{2}k(2x)^2$

نسبة الطاقة:

$$\frac{PE_2}{PE_1} = 4$$

القوة تتنسبا خطيا مع الاستطالة $F \propto x$, ولكن الطاقة تتناسب تربيعيا مع الاستطالة $PE \propto x^2$ وعليه بتضاعف القوة مرتين تتضاعف الاستطالة مرتين والطاقة تتضاعف أربع مرات

1.3 القوى المحافظة وغير المحافظة

خواص القوى المحافظة: القوى المحافظة لها خاصيتين مهمتين:

(أ) الشغل المبذول بالقوة المحافظة على جسم يتحرك بين أي نقطتين لا يعتمد على مسار الجسم.

(ب) الشغل المبذول بالقوة المحافظة على جسم يتحرك في مسار مغلق يساوي صفراً (المسار المغلق هو المسار الذي ينطبق فيه الموضع الابتدائي على الموضع النهائي).

مثلا: قوة الجاذبية الأرضية وقوة النابض قوى محافظة. ويتضح ذلك من معادلات حساب شغل قوة الجاذبية وقوة النابض

تم دفع صندوق شحن على سطح أفقي من الموضع (1) إلى الموضع (2) عبر مسارين مختلفين: أحدهما مستقيم والآخر منحني على شكل قوس. وبما أن المسافة المقطوعة في المسار المنحني أطول، فإن مقدار الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك يزداد مع زيادة طول المسار. لذا فإن الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك لا يعتمد فقط على موضعي البداية والنهاية (1 و2)، بل يعتمد أيضًا على شكل المسار الذي يسلكه الجسم .وعليه فإن قوة الاحتكاك تُعد قوة غير محافظة.

1.3.1 حفظ الطاقة الميكانيكية

عند تحول الطاقة من صورة لأخرى، فإن الطاقة الكلية المتواجدة لا تتغير، يعني حفظ الطاقة أنه بالرغم من أن صور الطاقة قد تتغير، إذا ما فقد جسم أو منظومة طاقة، فإن نفس الكمية من الطاقة تظهر في جسم آخر، أو في الأوساط المحيطة بالجسم.

ولفهم مبدأ حفظ الطاقة بصورة أفضل، سنقوم بتصنيف النظام الميكانيكي إلى نظام محافظ أو غير محافظ.

النظام المحافظ	النظام غير المحافظ
وهو الذي لا تؤثر عليه قوى غير محافظة. ملاحظة: قوى (الوزن-النابض) قوى محافظة. $E_f = E_i$ (14)	وهو الذي تؤثر عليه قوى غير محافظة.

$E_i E_f$: مجموع الطاقات الميكانيكية الابتدائية والنهائية. نقصد بالطاقات الميكانيكية (طاقات الحركة والوضع التثاقلية والوضع المرونية). $\frac{1}{2}mv_f^2 + \frac{1}{2}kx_f^2 + mgy_f = \frac{1}{2}mv_i^2 + \frac{1}{2}kx_i^2 + mgy_i$ (15)	ملاحظة: قوى (الاحتكاك-الشد والدفع الخارجي - مقاومة الهواء) أمثلة على قوى غير محافظة. $\sum W_{app} - f_k d = E_f - E_i$ (16) $\sum W_{app}$: مجموع الأشغال الخارجية (ماعدا شغل القوى المحافظة مثل الوزن وقوة النابض إن وجدت). $-f_k d$: شغل قوة الاحتكاك الحركي.

مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية للقوى المحافظة:

إذا كانت القوى المؤثرة هي قوى محافظة فقط، فإن الطاقة الميكانيكية الكلية لا تقل ولا تزداد في أي عملية، بل تبقى ثابتة.

توجيهات لحل المسائل: حفظ الطاقة

1) ارسم صورة لحالة النظام الطبيعية.

2) حدد النظام ذا الطاقة المحفوظة: الجسيم أو الجسيمات والقوى المؤثرة.

3) اسأل نفسك عن الكمية التي تبحث عنها، وقرر موضع كل من نقطتي البداية iوالنهايةf

4)إذا تغير ارتفاع الجسم خلال فترة دراستك له، فاختر إطاراً مرجعياً يسهل التعامل معه لتكون عنده $y = 0$ بالنسبة لطاقة الوضع الناتجة من الجاذبية الأرضية، عادة ما تكون أخفض نقطة هي الخيار المناسب. أما إذا كان النظام يحتوي على نابض أو أكثر، فإن موضع النابض غير المستطيل هو الخيار المناسب حيث $x = 0$

5) طبق معادلة حفظ الطاقة المناسبة. واستخدم حدسك لمعرفة إذا كان الشغل لقوة خارجية موجباً أو سالباً، بناء على إجابتك على التساؤل التالي: هل زادت الطاقة الميكانيكية الكلية أم تناقصت نتيجة هذه العملية.

6) استخدما المعادلة (المعادلات) التي طورتها لإيجاد الكمية المجهولة.

مثال 1.8

إذا أُطلقت صخرة من ارتفاع ابتدائي $h = 3.0\ m$، احسب سرعتها عندما تصل إلى ارتفاع $1.0\ m$ فوق سطح الأرض، باستخدام مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية

.

الحل:

نطبق مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية، حيث إن مجموع طاقتي الوضع والحركة يبقى ثابتًا (بإهمال مقاومة الهواء)

$$PE_1 + KE_1 = PE_2 + KE_2$$

عند لحظة الانطلاق من السكون تكون السرعة الابتدائية $v_1 = 0$ وبالتالي

$$mgh_1 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

بحذف الكتلة من الطرفين

$$gh_1 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

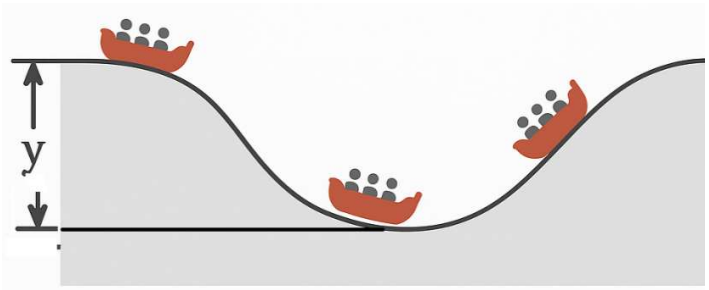
$$v_2 = \sqrt{2(9.8)(2.0)} = \sqrt{39.2} = 6.26\ m/s$$

مراعاة الأرقام المعنوية

$$v_2 = 6.3\ m/s$$

تدريب 1.5

إذا كان ارتفاع التل في الشكل يساوي $y = 40\ m$، وكانت عربة الأفعوانية تبدأ حركتها من السكون عند القمة، فاحسب: (ا) سرعة العربة عندما تصل إلى أسفل التلة. (ب) الارتفاع الذي تمتلك عنده العربة نصف هذه السرعة، افترض أن $y = 0$ عند أسفل التلة. (أهمل الاحتكاك).



1.4 القدرة:

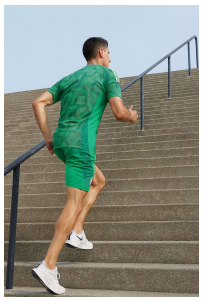
تعرف القدرة بأنها معدل إنجاز الشغل. متوسط القدرة يساوي الشغل المبذول مقسومًا على الوقت المستغرق لإنجازه. كما تُعرَّف القدرة بأنها معدل تحويل الطاقة. وهي كمية قياسية تقاس بوحدة الواط (جول/ثانية) في النظام الدولي، كما

تُستخدم أحيانًا وحدة الحصان الميكانيكي في التطبيقات العملية لقياس قدرة المحركات والآلات، حيث يعادل الحصان الميكانيكي الواحد تقريبًا 746واط (1hp=746J/s)

القدرة المتوسطة	القدرة اللحظية
متوسط الشغل المبذول (أو الناتج) على الجسم أو الآلة في وحدة الزمن: $\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$ (17)	معدل الشغل المبذول (أو الناتج) على الجسم أو الآلة في وحدة الزمن. إذا كانت القوة ثابتة المقدار والاتجاه يمكن حساب القدرة اللحظية لها بالقانون: $P = Fv$ (18) حيث v: سرعة الجسم اللحظية. إذا كانت السرعة ثابتة، فإن: القدرة اللحظية = القدرة المتوسطة.

مثال 1.9

عدّاء كتلته 60 kg يستغرق 4.0 s لصعود درج طويل يبلغ ارتفاعه الرأسي 4.5 m. (أ) احسب قدرة العداء الناتجة بدلالة كل من الواط والحصان (hp).
(ب) مقدار الطاقة اللازمة لذلك.



الحل:
القدرة تساوي:

$$P = \frac{mgh}{t}$$

بالتعويض:

$$P = \frac{(60)(9.8)(4.5)}{4.0} = \frac{2646}{4.0} = 661.5\ W$$

نقرب إلى رقمين معنويين:

$$P = 6.6 \times 10^2\ W = 660\ W$$

وبالتحويل إلى حصان ميكانيكي:

$$P = \frac{660}{746} = 0.884\ hp$$

$$P = 6.6 \times 10^2\ W = 0.88\ hp$$

تدريب 1.6

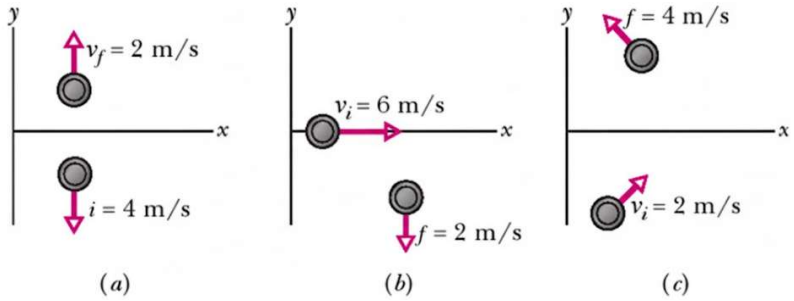
يتحرك جسم كتلته 10 kg من السكون على سطح مائل أملس (مهمل الاحتكاك) تحت تأثير قوة مقدارها 96 N موازية للسطح المائل ومتجهة إلى الأعلى. إذا كان طول السطح المائل 25 m وزاوية ميله 37°، فاحسب القدرة اللحظية للقوة F عند نهاية السطح المائل بوحدة الواط.(W)

1.5 أسئلة الفصل (1): الشغل والطاقة

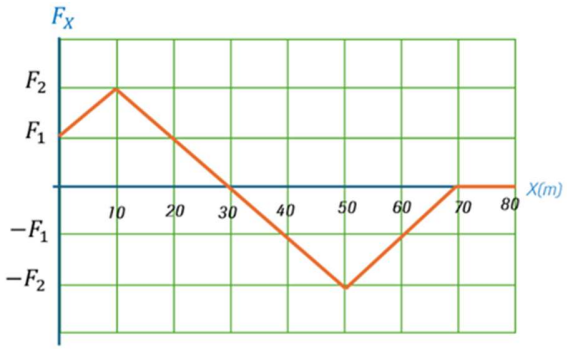
اختبر فهمك:

(1) في ثلاث حالات مختلفة، تؤثر قوة أفقية مطبّقة لفترة زمنية قصيرة على قرص هوكي ينزلق فوق سطح جليدي عديم الاحتكاك. يوضّح الشكل (منظرًا علويًا) في كل حالة اتجاه السرعة الابتدائية للقرص v_i واتجاه سرعته النهائية v_f.

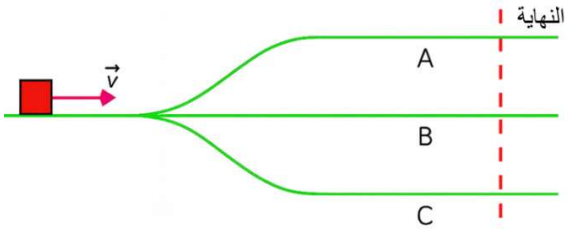
رتّب الحالات الثلاث حسب مقدار الشغل الذي تبذله القوة المطبّقة على القرص، بدءًا من الحالة ذات الشغل الأكبر (الأكثر إيجابية) وانتهاءً بالحالة ذات الشغل الأصغر (الأكثر سلبية).



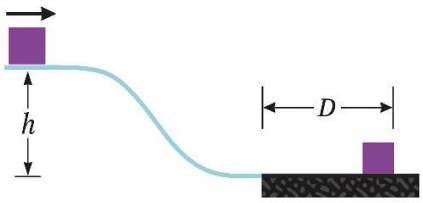
(2) يوضح الشكل المركبة الأفقية F_X لقوة تؤثر على جسيم، إذا تحرك الجسيم من السكون عند $x = 0$، ما هو إحداثي الجسيم عندما يمتلك (أ) أكبر طاقة حركية (ب) أكبر سرعة (ج) سرعة تساوي الصفر (د) ما اتجاه حركة الجسيم بعد أن يصل للإحداثي $x = 60\ m$ ؟



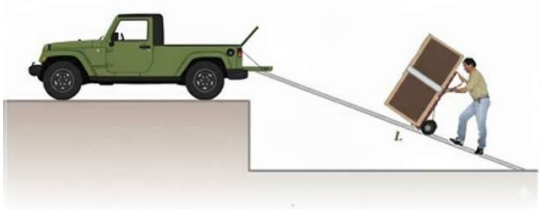
(3) في الشكل، يمكن للكتلة المتحركة أفقيًا أن تأخذ ثلاث مسارات محتكة، تختلف فقط في الارتفاع، للوصول إلى خط النهاية المتقطع .رتب المسارات وفقًا (ا) لسرعة الكتلة عند نهاية الخط و (ب) وقت قطع الكتلة المسار، الأكبر أولاً.



(4) في الشكل، ينزلق قالب على طول مسار يهبط عبر المسافة h والمسار عديم الاحتكاك باستثناء الجزء السفلي .هناك ينزلق القالب إلى نقطة توقف على مسافة معينة D بسبب الاحتكاك (a)إذا قللنا h ، فهل سينزلق القالب إلى نقطة توقف على مسافة أكبر من D أو أقل منها أو مساوية لها؟ (b) إذا قمنا بدلاً من ذلك بزيادة كتلة القالب ، فهل ستكون مسافة التوقف الآن أكبر من أو أقل من أو تساوي D؟



(5) يرغب شخص في تحميل ثلاجة على عربة باستخدام مزلقان (مستوى مائل) كما في الشكل. يعتقد الشخص أن الشغل المبذول يمكن أن ينخفض وذلك بزيادة طول المزلقان L، هل هذا الادعاء صحيح؟ ولماذا؟



1.6 مسائل وتطبيقات:

(1) تحتاج مركبة تسير بسرعة 60km/h إلى مسافة 20m لكي تتوقف تماماً، ما المسافة التي تحتاج إليها المركبة للوقوف إذا كانت تتحرك بضعف سرعتها الابتدائية السابقة أي السرعة 120km/h افترض أن قوة الإيقاف العظمى لا تعتمد على مقدار السرعة

(2) كتلة 6.0kg في حالة سكون مبدئيًا يتم سحبها إلى اليمين على طول سطح أفقي بقوة أفقية ثابتة مقدارها 12N. أوجد سرعة الكتلة بعد تحركها بمقدار 3.0 m إذا كان معامل الاحتكاك الحركي للأسطح المتلامسة يساوي 0.15.

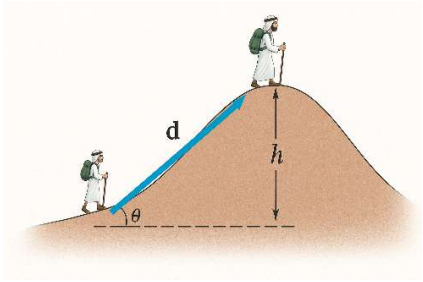
(3) الشغل على الحقيبة: يحمل رجل حقيبة ظهر كتلتها $m = 15.0\ kg$ إلى أعلى تل بارتفاع رأسي مقداره $h = 10.0\ m$، كما هو موضح في الشكل. افترض أن الحركة سلسة وتتم بسرعة ثابتة ($a = 0$). احسب:

(أ) الشغل الذي يبذله الرجل على الحقيبة W_{man}.

(ب) الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية W_g،

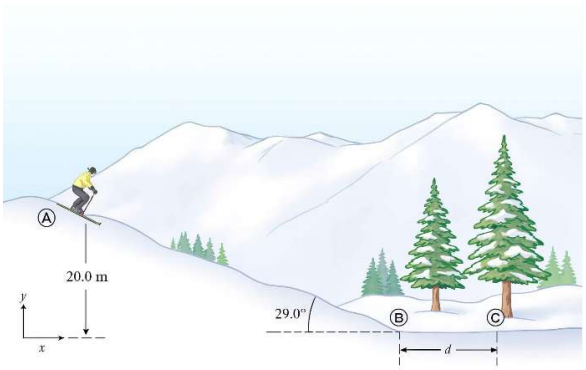
(ج) الشغل الصافي المبذول على الحقيبة W_{net}.

استخدم $g = 9.80\ m/s^2$، وعبّر عن جميع النتائج العددية بالعدد الصحيح من الأرقام المعنوية

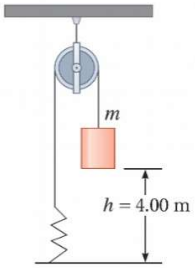


(4) تم ربط مكعب كتلته m بنهاية زنبرك (ثابت صلابة الزنبرك k = اكتب معادلة الطاقة الميكانيكية الكلية، مُهملًا الاحتكاك وكتلة الزنبرك، بدلالة كل من x_0 وموضع x، والسرعة v، عندما يبدأ المكعب بالتذبذب إلى الأمام والخلف نتيجة إزاحته مسافة ابتدائية مقدارها x_0.

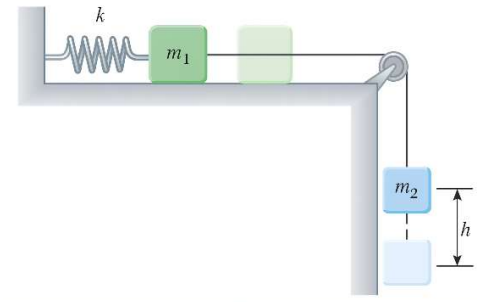
(5) يبدأ متزلج من السكون عند قمة منحدر أملس ارتفاعه 20.0 m كما هو موضح بالشكل. ثم يواصل الحركة من عند قاع المنحدر على سطح أفقي حيث يكون معامل الاحتكاك الحركي بين المزلاج والجليد. 0.210 ما المسافة التي يقطعها على السطح الأفقي قبل أن يتوقف؟ استخدم مبدأ حفظ الطاقة



(6) كتلة معلقة بنابض بطوله الطبيعي، هبطت الكتلة مسافةh قبل أن تسكن، إذا كان ثابت النابض 400N/mاحسب قيمة الكتلة.



(7) ثقلان متصلان ببعضهما بحبل يمر على بكرة ملساء كما في الشكل، يوضع الثقل m1 على السطح الأفقي ومتصل بزنبرك له ثابت قوة k ، ترك الجسم ليتحرك من السكون عندما يكون الزنبرك غير ممتد أو مضغوط، إذا هبط الثقل m2 مسافة h قبل أن يصل إلى السكون، احسب معامل الاحتكاك الكيناتيكي بين الثقل m1 والسطح



2. الفصل الثاني: التجارب العملية

للعالم الفيزيائي اللورد كلفن مقولة شهيرة: "عادة ما أقول أنه عندما تقيس شيئا وتعبر عنه بالأرقام، فإنك تعرف شيئا عنه، وعندما تعجز عن قياسه، والتعبير عنه برقم، فإن معرفتك به محدودة وغير مرضية."

فكر: أعط مثالًا تنطبق عليه مقولة اللورد كلفن.

2.1 الفيزياء كعلم تجريبي

الفيزياء العملية **Experimental Physics** هي أساس علم الفيزياء الحديث. هي الطريقة التي نتحقق بها من صحة النظريات ونكتشف عبرها ظواهرا جديدة. يتم هذا عبر بناء التجارب والقيام بالقياسات، والقياس هو مقارنة كمية مجهولة بكمية معيارية.

لماذا نحتاج التجارب؟

- التحقق من النظريات:

النظريات الفيزيائية تفسر الظواهر العلمية، ولذلك يجب أن تُختبر. فعلى سبيل المثال، تنبأت النظرية النسبية العامة لآينشتاين بأن الضوء ينحني تحت تأثير الجاذبية في عام 1915، وقد تم التحقق من ذلك في عام 1919. لاحظ أن المدة الزمنية بين التنبؤات النظرية والتأكيدات العملية قد تصل لعدة سنين أو العقود.

- لاكتشاف ظواهر جديدة:

كثير من الاكتشافات العلمية جاءت من ملاحظات عملية غير متوقعة، مثل اكتشاف الأشعة السينية **X-rays** من قبل العالم رونتجن عام 1895.

- تطوير التقنيات:

التجارب تؤدي إلى تطوير تقنيات جديدة تفيد البشرية، مثل الليزر **LASER** الذي بدأ كتوقع نظري ثم أصبح تقنية أساسية في حياتنا.

ابحث: أعط أمثلة على تجارب مهمة عبر تاريخ الفيزياء. ما هي الكميات الفيزيائية التي قيست في هذه التجارب؟

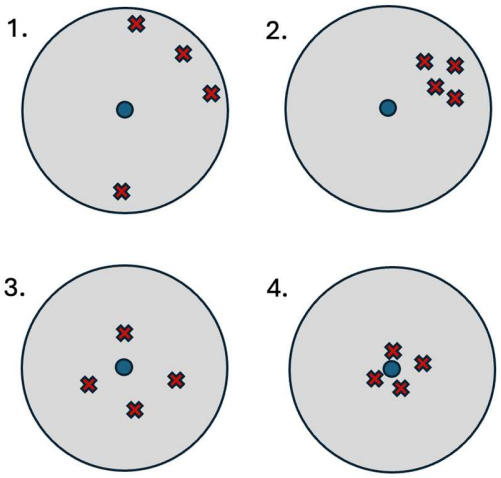
2.2 الدقة والضبط والأخطاء في التجارب

هنالك فرق بين مفهومين رئيسين في التجارب:

الدقة precision: تشير إلى تقارب القياسات المتكررة من بعضها البعض. القياسات الدقيقة تعطي نتائج متقاربة، حتى لو كانت بعيدة عن القيمة الحقيقية أو المرجعية.

الضبط accuracy: يشير إلى قرب القياس من القيمة الحقيقية أو المقبولة للكمية المقاسة.

أنظر للشكل أدناه والذي يوضح الفرق في صورة استهداف مركز الدائرة بالأسهم. حالة 1 ليست مضبوطة ولا دقيقة. حالة 2 دقيقة لقرب النتائج لكنها ليست مضبوطة لبعدها عن الهدف. حالة 3 مضبوطة نوعا ما لكنها ليست دقيقة. حالة 4 دقيقة ومضبوطة.



تدريب 2.1: قام أحمد وحسام بقياس سرعة الضوء، فحصل أحمد على $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8$ **m/s**، وحصل حسام على $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8$ **m/s**. أيهما أكثر دقة ولماذا؟ وأيهما أكثر ضبطا، علما أن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي 2.99792458×10^8 **m/s**.

هنالك عموما نوعان من الأخطاء التي تحدث عند القيام بالتجارب. الأخطاء الإحصائية والأخطاء المنهجية. الأخطاء المنهجية تنبع من محدودية دقة أدوات القياس في التجربة وغيرها من العوامل التي تحد من دقة وضبط القياسات. الأخطاء الإحصائية تأتي من تغير نتيجة القياس عند تكرار القياس مرات عديدة، ويمكن التقليص منها عبر أخذ بيانات إضافية.

لن تقوم في هذه المرحلة بتقدير الأخطاء في نتائجك، لكنك ستعمل على استراتيجيات لتقليصها، مثل تكرار القياسات لتفادي الأخطاء الإحصائية والحرص على بناء وتنفيذ التجربة بشكل سليم لتفادي الأخطاء المنهجية.

2.3 تسجيل البيانات

هنالك ثلاث مراحل أساسية لكل تجربة في أولمبياد الفيزياء. الأولى هي البناء، الثانية هي القياس، والثالثة هي التحليل.

في مرحلة البناء، سيتوجب عليك اتباع خطوات معينة لبناء تجربتك، فمثلا في تجارب الدوائر الكهربائية سيتوجب عليك توصيل آلات القياس وغيرها من عناصر الدوائر الكهربائية ببقية الدائرة. في بعض الأحيان، ستعطى أغلب الخطوات لبناء التجربة، لكن في بعض التجارب، سيتوجب عليك التفكير بكيفية بناء التجربة ذاتيا. في بعض التجارب، من السهل القيام بهذه الخطوة، ولكن في بعضها الآخر قد تكون هذه المرحلة هي التحدي الأساسي في التجربة.

في مرحلة القياس، ستبدأ بالقيام بالتجربة، وفي هذه الأثناء ستأخذ قياسات مختلفة والتي ستساعدك على إيجاد المطلوب.

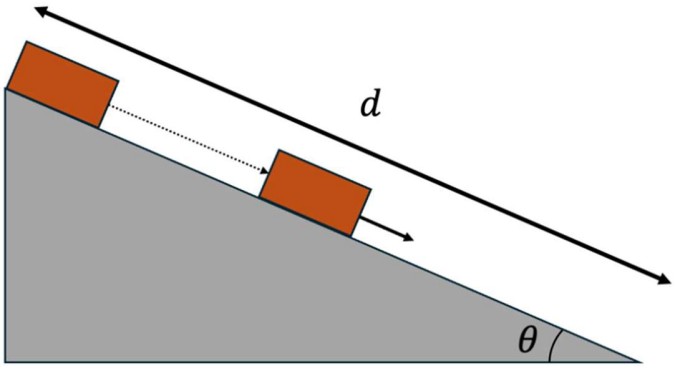
تنويه:

- يتوجب عليك مراجعة قواعد الأعداد المعنوية.
- تذكر أن دقة أداة القياس تساوي نصف قيمة أصغر تدرج على الأداة، لذا عند كتابتك لنتيجة قياساتك، تأكد من عدم استخدام أرقام معنوية تتخطى دقة قياس أدواتك.

مثال 2.1: تقوم ريما بتجربة انزلاق مكعب على سطح مائل أملس لقياس تسارع الجاذبية. ستستخدم النتيجة المعروفة من قوانين نيوتن وهي أن التسارع يرتبط بالإزاحة المقطوعة d والمدة الزمنية t كالتالي

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

وفي حالة السطح المائل الأملس $a = g \sin\theta$.



لنفترض أنها قاست الزاوية θ وطول المنحنى d. سيتوجب عليها تسجيل هذه القيم في جدول يوضح الوحدات ودقة القياس.

θ [**degree**]	d[cm]	t_1[s]	t_2[s]	t_3[s]	t_4[s]	t_5[s]
10.	150.0	**1.38**	**1.28**	1.33	**1.20**	**1.34**

السؤال الآن هو كيف نستخدم هذه البيانات للحصول على تسارع الجاذبية؟

2.4 تحليل البيانات والرسوم البيانية

بعد أن قمت بجدولة بياناتك، ستبدأ بالمرحلة الثالثة، وهي مرحلة تحليل البيانات. في هذه المرحلة، يجب أن تقوم ببعض العمليات الحسابية على البيانات التي قمت بجمعها. في حال تكرار القياس، أحد أبسط العمليات هو أخذ المتوسط.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_N}{N} = \frac{1}{N}\sum_i x_i \quad (1)$$

حساب المتوسط يساعدك على تقليل أثر الخطأ الإحصائي.

مثال 2.2: قم بحساب متوسط الأطوال في المجموعة $\{10,15,18,25\}$، بحيث أنها كلها مقاسة بوحدة الـ**cm**.

معادلة المتوسط تعطى بمجموع القيم قسمة عددها:

$$\bar{L} = \frac{10 + 15 + 18 + 25}{4}\mathbf{cm} = 17\mathbf{cm}$$

تدريب 2.2: قم بحساب متوسط الزمن في تجربة ريما، ثم قم بحساب تسارع الجاذبية بناء على هذه النتيجة.

تنويه: لا يتوجب عليك دائما تكرار قياس كل البيانات. فمثلا سيتوجب عليك تكرار قياس زمن انزلاق المكعب عدة مرات، لكن لا يتوجب عليك تكرار قياس طول المنحنى المائل أو الزاوية عدة مرات.

عند القيام بتجربة مثل تجربة انزلاق المكعب على سطح مائل، من المفيد أن نقوم بتكرار التجربة مع مسافات وزوايا مختلفة حتى يمكننا استخراج المجاهيل عبر الرسم البياني. غالبا ما ستحتاج لرسم بياناتك على رسم بياني لإيجاد قيمة مجهول ما. في الحالات البسيطة، غالبا ما يكون التوقع النظري بين المتغير x والمتغير y تعطى بدالة مثل

$$y = ax^n + b \quad (2)$$

حيث n معطى والمطلوب هو إيجاد المجهولين a وb. أسهل طريقة للقيام بهذا هو تحويل المعادلة إلى معادلة خطية عبر حساب ورسم x^n على المحور الأفقي بدلا من x. فمثلا لو كانت $n = 2$، ستقوم بحساب مربع قيم x من جدول البيانات، ثم سترسمها. وقتها ميل الخط المستقيم سيكون a، والمقطع الصادي سيكون b.

مثال 2.3: تقوم سَمَا بتجربة انزلاق مكعب على سطح مائل خشن لحساب معامل الاحتكاك الحركي μ بين المكعب والسطح الخشن. قامت بجمع البيانات الآتية، واستخدمت زاوية ميلان $\theta = 30.^\circ$. من المعطى أن تسارع الجاذبية في مكان تنفيذ التجربة يساوي $9.8\mathbf{m/s}^2$. قامت سما بجمع بيانات زمن انزلاق المكعب لمسافات مختلفة ووضعتها في الجدول أدناه.

$d\ [cm]$	$t_1[s]$	$t_2[s]$	$t_3[s]$	$t_4[s]$	$t_5[s]$	$t_{avg}[s]$	$t_{avg}^2[s^2]$
40.	**1.09**	**1.16**	**1.07**	**1.13**	**1.11**	**1.11**	**1.24**
50.	**1.28**	**1.21**	**1.24**	**1.17**	**1.27**	**1.23**	**1.52**
60.	**1.36**	**1.34**	**1.28**	**1.37**	**1.42**	**1.35**	**1.83**
70.	**1.56**	**1.45**	**1.42**	**1.61**	**1.40**	**1.49**	**2.22**
80.	**1.58**	**1.57**	**1.62**	**1.57**	**1.56**	**1.58**	**2.50**

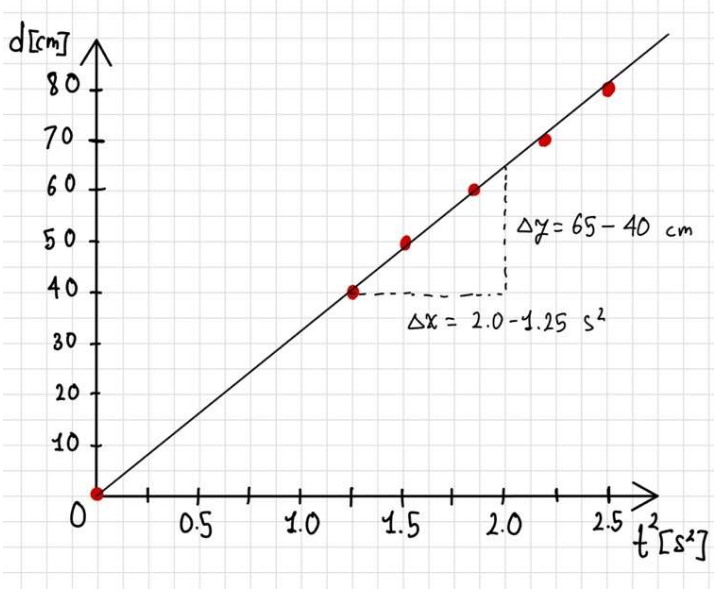
لاحظ:

- كل عمود في الجدول يبدأ بالكمية المقاسة أو المحسوبة ووحدتها.
- العمودان الأخيران في الجدول تم حسابهما بالحاسبة.

ستستخدم سَمَا معرفتها بقوانين نيوتن لاستنتاج أن المسافة مربوطة بالزمن عبر

$$d = \frac{1}{2}g(\sin\theta - \mu\cos\theta)t^2$$

لذا قامت برسم رسم بياني لـt_{avg}^2 مع d:



الميل سيكون

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.33\ \mathbf{m/s^2} = \frac{1}{2}g(\sin\theta - \mu\cos\theta)$$

ومع حل المعادلة لـ μ، نجد أن

$$\mu = 0.50$$

ملاحظات مهمة:

- لاحظ أن نقطة الأصل استخدمت في هذا التحليل لأنه من البديهي أن المدة الزمنية ستكون صفرا عندما تكون الإزاحة صفرية، لكن استخدام نقطة الأصل ليس ممكنا في جميع التجارب ويتوجب عليك تحديد ذلك.
- لا توجد نقاط بين $t = 0.0\mathbf{s}$ و $t = 1.0\mathbf{s}$ في بداية الرسم البياني، وهذا أمر ملائم لأن دقة قياس الوقت تصبح أسوأ عندما تكون المسافة المقطوعة صغيرة لأنها تصبح أقرب لزمن ردة الفعل.

تدريب 2.3: في إحدى التجارب، كان هنالك جسم يتحرك بتسارع ثابت a في خط مستقيم ابتداء من السكون. قام سعود بهذه التجربة عدة مرات لقياس الزمن الذي يحتاجه الجسم ليقطع مسافات مختلفة. قام سعود بتدوين قياساته في الجدول الآتي

d [m]	$t_1[s]$	$t_2[s]$	$t_3[s]$	$t_4[s]$	$t_5[s]$	$t_{avg}[s]$	$t_{avg}^2[s^2]$
1.0	**0.88**	**0.85**	**0.97**	**0.89**	**0.97**		
2.0	**1.32**	**1.23**	**1.24**	**1.21**	**1.24**		
3.0	**1.56**	**1.51**	**1.33**	**1.63**	**1.47**		
4.0	**1.80**	**1.84**	**1.70**	**1.84**	**1.75**		
5.0	**1.88**	**2.02**	**2.06**	**2.01**	**2.00**		

أكمل الجدول للبيانات المعطاة، ثم استخدم ما تعرفه عن الحركة بتسارع ثابت لإيجاد قيمة التسارع a. أوجد قيمة a عبر رسم رسم بياني ملائم.

تدريب 2.4: تقوم كيان بتحليل بيانات جُمعت عن نجم جديد تدور حوله عدة كواكب. يوضح الجدول الآتي نصف القطر الأعظم لمدارات هذه الكواكب حول النجم والمدة الزمنية لدورتها الكاملة.

$a[10^7$**km**$]$	T[**years**]
5.2	0.15
17.3	0.91
30.8	2.11
48.1	4.40
61.9	5.80
68.8	7.01
74.5	7.17

ارسم رسما بيانيا ملائما وقم باستخدام هذه البيانات لحساب كتلة النجم. يمكنك افتراض أن كتلة النجم أكبر بكثير من كتلة الكواكب.

تنويه: لاحظ أن في هذه البيانات، لا يمكنك استخدام نقطة الأصل $(a, T) = (0,0)$ في التحليل لأنها ليست حالة يمكن الحصول عليها عمليا.

ملاحظات مهمة:

- أثناء قيامك بالتجارب، من المهم أن تفكر بعقلية الفيزيائي التجريبي وليس عقلية الفيزيائي النظري. بناؤك للتجربة وأخذك للبيانات لا يتطلب فهما نظريا عميقا وواضحا عما يحصل في التجربة. لذلك تجنب أن تصرف الكثير من الوقت لمحاولة فهم الاشتقاقات النظرية للمعادلات المعطاة وما شابه.
- قبل بنائك للتجربة، قم بقراءة الخطوات وطابق أدوات التجربة. ستخسر الكثير من الوقت لو قمت بخطأ في بناء تجربتك.
- لا تنسَ الأرقام المعنوية.
- لا تنس الوحدات في الرسوم والجداول البيانية.
- دائما اكتب الكميات التي قمت بقياسها أو اختيارها في التجربة بشكل واضح.
- عند أخذ قياسات متكررة، ابنِ جدولا للبيانات، يتضح فيه الكميات المقاسة ووحداتها.
- دع مجالا لتحليل البيانات في الجداول التي تقوم بها.
- فكر بكيفية تقليل الأخطاء في تجربتك.
- عند رسم رسمة بيانية، تأكد من أن رسمتك تغطي أكثر من ثلثي مساحة الرسمة البيانية.

2.5 بعض التجارب البسيطة

تجربة 1: السقوط الحر

ستقوم في هذه التجربة بحساب تسارع الجاذبية عبر السقوط الحر. ستقوم بإفلات كرات صغيرة من على ارتفاعات مختلفة وستحسب زمن السقوط. هذه البيانات ستساعدك على إيجاد تسارع الجاذبية على سطح الأرض.

الأدوات المطلوبة:

- مُؤقت.
- أداة لقياس الطول.
- كرتان كتلتهما مختلفة.

قم بحساب تسارع الجاذبية للكرتين وقارن بين نتائجك.

تجربة 2: الاحتكاك السكوني

ستقوم في هذه التجربة بحساب معامل الاحتكاك السكوني بين سطح خشن وجسم ما.

الأدوات المطلوبة:

- سطح مائل خشن يمكن تغيير زاوية ميلانه.
- منقله لقياس الزوايا.
- مكعب أو لوح صغير.

عبر تغيير زاوية الميلان، قم بتحديد معامل الاحتكاك السكوني بين السطح المائل والجسم الذي اخترته.

تجربة 3: قياس أبعاد مكعب

ستقوم في هذه التجربة بتحديد أبعاد جسم مجهول باستخدام القدمة ذات الورنية.

الأدوات المطلوبة:

- متوازي مستطيلات صغير مجهول الأبعاد.
- قدمة ذات الورنية.

تعلم كيفية استخدام القدمة ذات الورنية وسجل قياساتك لأبعاد متوازي المستطيلات.

2.6 الاختبار التجريبي:

سؤال 1: حساب ثابت الزنبرك

الأدوات:

1. زنبرك مجهول الثابت.
2. شريط لقياس الطول.
3. أوزان صغيرة مختلفة معلومة الوزن للتعليق.
4. قاعدة لتعليق الزنبرك

قم بتعليق الزنبرك بشكل رأسي. بافتراض أن قوة ارجاع الزنبرك تتبع قانون هوك

$$\vec{F}_s = -k\Delta\vec{y}$$

بحيث أن $\Delta\vec{y}$ هي الإزاحة عن نقطة الاتزان.

أوجد ثابت الزنبرك k، علما بأن تسارع الجاذبية يساوي $9.8\mathbf{m/s}^2$ تقريبا.

سؤال 2: البندول البسيط

الأدوات:

1. بندول بسيط
2. شريط قياس
3. مؤقت

تأرجح البندول البسيط له زمن دوري T يرتبط بتسارع الجاذبية g وطول الحبل L عبر

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

قم بحساب زمن التأرجح للبندول البسيط حتى تحدد مقدار تسارع الجاذبية.

تلميح: حتى تقوم بتقليص الخطأ الناتج من تشغيل وإيقاف المؤقت، قم بحساب زمن عدة دورات.

ملاحظة: الصيغة الرياضية أعلاه للزمن الدوري للبندول البسيط تكون دقيقة عندما تكون زاوية التأرجح صغيرة.

الحلول:

التدريبات

(1) $W = 5.1 \times 10^2\ \text{J}$

(2) $W_{\text{net}} = m \times A_{\text{total}} = 2.25 \times 16 = 36\ \text{J}$

(3) $W = \frac{1}{2}mv^2$

(4) $\Delta\text{PE} = +9.2 \times 10^5\ \text{J}, \quad W_{\text{min}} = 9.2 \times 10^5\ \text{J}\ , \quad W_{\text{فعلي}} > \Delta\text{PE}$

(5) $v = 28m/s \quad , \quad y = 30\ \text{m}$

(6) $P = 1.3 \times 10^3\ \text{W}$

الإجابات النهائية لأسئلة الحقيبة

الفصل الأول

اختبر فهمك

(1) $W_c > W_a > W_b$

(2)

(أ) أكبر طاقة	عند $X = 30m$
(ب) أكبر سرعة	عند $X = 30m$
(ج)سرعة تساوي الصفر	عند $X = 60m$
(د)$x = 60\ m$ الاتجاه عند	$+x$

(3)

(أ) ترتيب السرعات النهائية $v_C > v_B > v_A$

(ب) ترتيب من يصل أولًا $C \rightarrow B \rightarrow A$

(4)

(أ)تقليل الارتفاع h تتوقف قبل D

(ب)زيادة الكتلة تتوقف عند نفس D

(5) لا يعتمد على طول المسار

المسائل:

(1) 80.0 m

(2) 1.8 m/s

(3) $W_{\text{man}} = 1.47 \times 10^3$ J , $W_g = -1.47 \times 10^3$ J , $W_{\text{net}} = 0$

(4) $E = \text{PE}_s = \frac{1}{2}kx_0^2$

(5) $d = 95.2$ m

(6) $m = 8.2 \times 10^1$ kg

(7) $\mu_k = \frac{m_2}{m_1} - \frac{kh}{2m_1 g}$

المراجع

العوفي، طارق، والرشيدي، طلال. (2025). حقائب المستويات الأولية لتدريب فريق الفيزياء الأولمبي السعودي. مؤسسة الملك عبد العزيز ورجاله للموهبة والإبداع (موهبة).

إيرودوف، إي. إي. (1982). مسائل في الفيزياء العامة. دار مير للنشر، موسكو.

جيانكولي، دوغلاس سي. (2013). الفيزياء: المبادئ والتطبيقات (الطبعة السابعة). بيرسون للتعليم.

غولدشتاين، هربرت، بول، تشارلز، وسافكو، جون. (2002). الميكانيكا الكلاسيكية (الطبعة الثالثة). دار أديسون-ويسلي.

سيرواي، ريموند أ.، وفيويل، كريس. (2017). فيزياء الكلية (الطبعة العاشرة). سينغيج ليرننغ.

كليبنر، دانيال، وكولينكو، روبرت. (2014). مقدمة في الميكانيكا (الطبعة الثانية). مطبعة جامعة كامبريدج.

هاليداي، ديفيد، ريزنك، روبرت، ووالكر، جيرل. (2013). أساسيات الفيزياء (الطبعة العاشرة). جون وايلي وأولاده.

References

Al-Oufi, T., & Al-Rashidi, T. (2025). *Introductory-level training packages for the Saudi Physics Olympiad Team*. King Abdulaziz and His Companions Foundation for Giftedness and Creativity (Mawhiba).

Giancoli, D. C. (2013). *Physics: Principles with applications* (7th ed.). Pearson Education.

Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Irodov, I. E. (1982). *Problems in general physics*. Mir Publishers.

Kleppner, D., & Kolenkow, R. (2014). *An introduction to mechanics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Serway, R. A., & Vuille, C. (2017). *College physics* (10th ed.). Cengage Learning.

أولمبيـــــاد العلوم
والرياضيات الوطني