



شارح: الرابطة الهيدروجينية

في هذا الشارح، سوف نتعلم كيف نَصِف ونوضِّح الرابطة الهيدروجينية، وتأثيرها على الخواص الفيزيائية للجزيئات.

الروابط الهيدروجينية تداخلات ثنائية القطب تُوجد بين ذرات الهيدروجين المترابطة تساهميًا وأزواج الإلكترونات الحرة في الذرات ذات السالبية الكهربائية العالية. وعادةً ما تتكوّن الروابط الهيدروجينية بين طرف جزيء مشحون بشحنة موجبة جزئية ($\delta+$) وطرف جزيء آخر مشحون بشحنة سالبة جزئية ($\delta-$).

■ تعريف: الرابطة الهيدروجينية

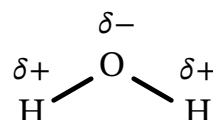
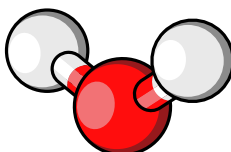
الروابط الهيدروجينية تداخلات ثنائية القطب تُوجد بين ذرات الهيدروجين المترابطة تساهميًا وأزواج الإلكترونات الحرة في العناصر ذات السالبية الكهربائية العالية.

الروابط الهيدروجينية نوعٌ خاص من تداخلات ثنائية القطب تُوجد بين الجزيئات التي تحتوي على ذرات لها أعلى قيم ممكنة للسالبية الكهربائية. الذرات العالية السالبية الكهربائية تجذب قدرًا كبيرًا من الكثافة الإلكترونية من الروابط التساهمية، وتجعل الجزيئات عالية القطبية وعالية الفعالية في توليد قوى بين جزيئية قوية.

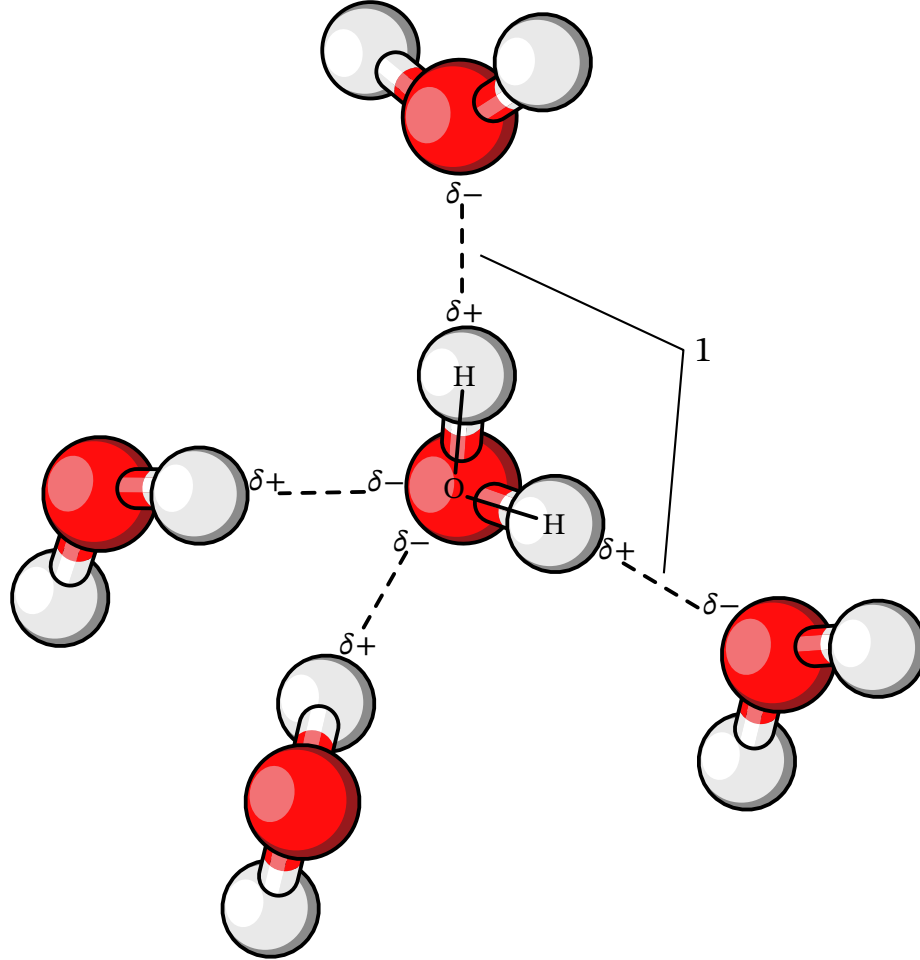
عادةً ما تتكوّن الروابط الهيدروجينية من جزيئات تحتوي على ذرة فلور أو أكسجين أو نيتروجين واحدة على الأقل. يوضِّح الجدول الآتي شدة قوى تجاذب بين جزيئية مختلفة، لكن من المهم معرفة أن هذه البيانات تقريبية وليست شاملة.

نوع القوة بين الجزيئية	تحدث بين	تتضمّن	(kJ/mol) شدة التجاذب تقريبًا
التشوّت	الجزيئات غير القطبية	ثنائيات الأقطاب المؤقتة	0.5 - 2.5
تداخلات ثنائيات الأقطاب	الجزيئات القطبية	ثنائيات الأقطاب الدائمة	2.0 - 12.5
رابطة هيدروجينية	الجزيئات القطبية	N أو O و F و H ثنائيات أقطاب دائمة بين	15.0-35.0

جزيئات الماء تحتوي على ذرة أكسجين واحدة عالية السالبية الكهربائية ترتبط تساهميًا بذرتي هيدروجين. تسحب ذرة الأكسجين مقدارًا كبيرًا من الكثافة الإلكترونية من الرابطين التساهميتين O-H؛ وهو ما يجعل جزيئات الماء غير المتماثلة عالية القطبية. ذرات الهيدروجين مشحونة بشحنة كهروستاتيكية موجبة جزئية، وذرات الأكسجين مشحونة بشحنة كهروستاتيكية سالبة جزئية.



كل جزيء من الماء يمكن أن يكون حتى 4 روابط هيدروجينية؛ لأنه يتكوّن من ذرتي هيدروجين مشحونتين بشحنات موجبة جزئية، واثنين من أزواج الإلكترونات الحرة. في الشكل الآتي، نستخدم الخطوط الرفيعة غير المتصلة (تُشير إليها بـ 1) للتعبير عن الروابط الهيدروجينية لنوضح كيف يمكن لجزيء واحد من الماء أن يكون حتى 4 روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء المجاورة الأخرى.



■ مثال ١: تحديد عدد الروابط الهيدروجينية التي يمكن تكوينها من جزيء ماء واحد

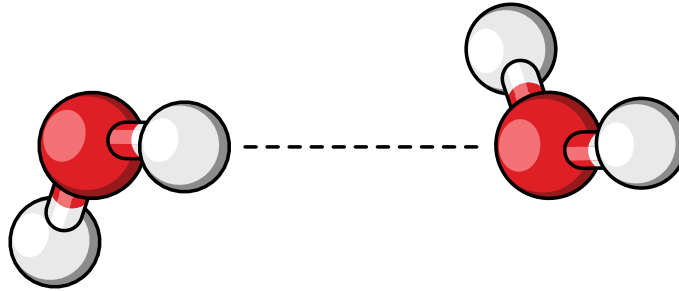
ما العدد الأقصى للروابط الهيدروجينية التي يمكن أن يكونها جزيء واحد من الماء؟

الحل

الروابط الهيدروجينية تداخلات بين جزيئية قوية يمكن أن تتكوّن بين جزيئات متجاورة. تتكوّن الروابط الهيدروجينية بين زوج إلكترونات حر من جزيء وذرة الهيدروجين المترابطة تساهميًا من جزيء ثانٍ. يجب أن تكون ذرة الهيدروجين المترابطة تساهميًا مرتبطة بذرة عالية السالبية الكهربية، مثل الفلور أو الأكسجين أو النيتروجين. وكل ذرة من ذرات الهيدروجين المترابطة تساهميًا يمكن أن تكوّن رابطة هيدروجينية واحدة مع زوج إلكترونات حر واحد.

يحتوي كل جزيء ماء على ذرتي هيدروجين مترابطتين تساهمياً بذرة أكسجين عالية السالبية الكهربية. وتحتوي ذرة الأكسجين على إجمالي ستة إلكترونات في الغلاف الخارجي لها، ويظل أربعة من هذه الإلكترونات في جانب واحد من جزيء الماء. تُرتَّب الإلكترونات على هيئة زوجين حرَّين من الإلكترونات يقبل كلُّ منهما تكوين رابطة هيدروجينية واحدة. كل زوج حر من هذين الزوجين وذرتي الهيدروجين المترابطتين تساهمياً يمكن أن يكوِّن رابطة هيدروجينية واحدة مع جزيئات الماء الأخرى أو نوع آخر من الجزيئات القطبية التي تكمل العدد. وهذه العبارة يمكن استخدامها لاستنتاج أن جزيء ماء واحد يمكن أن يكوِّن إجمالي 4 روابط هيدروجينية.

تكون الروابط الهيدروجينية في الغالب أطول وأضعف من الروابط التساهمية. طول الرابطة O-H يتراوح بين 0.95 أنجستروم و1.00 أنجستروم (Å)، والرابطة الهيدروجينية بين جزيئي ماء قد تكون أطول منها مرتين أو ثلاث مرات.



يقارن الجدول الآتي بين بيانات الأنواع المختلفة للروابط التساهمية والهيدروجينية. ستلاحظ أن الروابط الهيدروجينية تكون في الغالب أطول مرتين أو ثلاث مرات من الروابط التساهمية، وأن الروابط الهيدروجينية تكون في الغالب أضعف خمس مرات من الروابط التساهمية.

الرابطة التساهمية	طول الرابطة (Å)	قوة الرابطة (kJ/mol)
الرابطة التساهمية	1.0-1.5	150-1 000
الرابطة الهيدروجينية	2.5-3.5	15-35

■ مثال ٢: تحديد إنتالبي الرابطة للروابط الهيدروجينية

يوضِّح الجدول قيم إنتالبي الرابطة لروابط هيدروجينية وروابط تساهمية بين أزواج من الذرات. أيُّ عمود يقابل قيم إنتالبي الرابطة للروابط الهيدروجينية؟

زوج من الذرات	قيم إنتالبي الرابطة (kJ/mol)
(i)	(ب)
N و H	386
O و H	464
F و H	565

أ. (i)

ب. (ب)

الحل

الروابط الهيدروجينية تداخلات بين جزيئية قوية يمكن أن تتكوّن بين الجزيئات المتجاورة. بشكل عام يمكن أن تتكوّن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات تحتوي على الأقل على ذرة واحدة عالية السالبية الكهربية مترابطة تساهميًا بذرة هيدروجين. عادةً ما تكون الذرة العالية السالبية الكهربية هي ذرة نيتروجين أو أكسجين أو فلور. في النهاية، تكون ذرة الهيدروجين المترابطة تساهميًا موجبة الشحنة جزئيًا ($\delta+$)، والذرة ذات السالبية الكهربية تكون سالبة الشحنة جزئيًا $\delta-$.

تتكوّن الروابط الهيدروجينية عند تداخل الطرف المشحون بشحنة موجبة جزئية من جزيء ما مع الطرف المشحون بشحنة سالبة جزئية لجزيء مجاور. وتكون التداخلات بين الجزيئية قوية، وتتراوح قيم إنثالبي الرابطة للروابط التساهمية بين 15-35 kJ/mol.

الروابط التساهمية نوع من الروابط الكيميائية والتداخلات بين الجزيئية. تتكوّن الروابط التساهمية عندما تتداخل إلكترونات التكافؤ لإحدى الذرات مع إلكترونات التكافؤ في ذرة ثانية. الروابط التساهمية أقوى بكثير من الروابط الهيدروجينية بين الجزيئية. تتراوح قيم إنثالبي الرابطة للروابط التساهمية بين 150-1 000 kJ/mol.

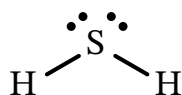
يوضّح العمود (أ) القيم التي تتراوح بين 15-35 kJ/mol، ويوضّح العمود (ب) قيم إنثالبي الرابطة التي تقع خارج هذا النطاق. يوضّح العمود (أ) قيم إنثالبي الرابطة التي قد تناظر قيم إنثالبي الرابطة للروابط الهيدروجينية، ويوضّح العمود (ب) قيم إنثالبي الرابطة التي لا يمكن أن تكون مناظرة لإنثالبي الرابطة للروابط الهيدروجينية. يمكننا استخدام هذه العبارات لتحديد أن الخيار (أ) هو الإجابة الصحيحة لهذا السؤال.

تحتوي جزيئات كل من كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والماء (H_2O) على ذرتي هيدروجين وذرة واحدة من المجموعة السادسة عشرة بالجدول الدوري. جزيئات كل من كبريتيد الهيدروجين والماء لها شكل هندسي يشبه حرف V (زاوي)، ولكن لها تداخلات بين جزيئية ودرجات غليان مختلفة.

درجة غليان الماء مرتفعة نسبيًا، $100^\circ C$ ؛ وذلك لأن كل جزيء ماء يمكن أن يكوّن حتى 4 روابط هيدروجينية. أما درجة غليان كبريتيد الهيدروجين فهي أقل بكثير، $-61^\circ C$ ؛ وذلك لأن جزيئات كبريتيد الهيدروجين لا يمكن أن تساهم في تكوين أي روابط هيدروجينية على الإطلاق.

يتطلّب فصل جزيئات الماء قدرًا كبيرًا من الطاقة؛ لأن الجزيئات ترتبط معًا بروابط هيدروجينية قوية. أما فصل جزيئات كبريتيد الهيدروجين، فيحتاج إلى طاقة أقل بكثير؛ لأنها لا تحتوي على ذرات عالية في السالبية الكهربية، التي يمكنها المساهمة في تكوين أي روابط هيدروجينية. ذرات الكبريت لها قيمة سالبة كهربية أقل بـ 25% من قيمة السالبية الكهربية للأكسجين. يوضّح الشكل الآتي التشابهات بين بنيّتي جزيئات الماء وكبريتيد الهيدروجين.

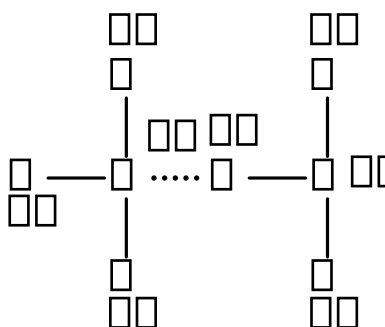
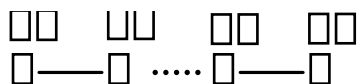
كبريتيد الهيدروجين



الماء



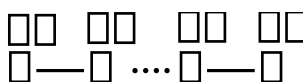
تعتمد قوة الرابطة الهيدروجينية على قوة عزوم ثنائيات الأقطاب الكهربائية المستحثة. الذرات الأعلى في السالبية الكهربائية تسحب أغلب الكثافة الإلكترونية من الروابط التساهمية، وهذا يُنتج بشكل مكثف عزومًا ثنائية الأقطاب غير متماثلة. تُنتج العزوم الثنائية الأقطاب غير المتماثلة الأكثر كثافة أقوى الروابط الهيدروجينية. عادةً ما تسحب ذرات الفلور كثافة إلكترونية أكثر مما تستطيع ذرات النيتروجين، وهذا ما يفسّر أن جزيئات فلوريد الهيدروجين HF تنتج روابط هيدروجينية أقوى من جزيئات الأمونيا (NH₃). يوضّح الشكل الآتي كيف يمكن تكوين رابطة هيدروجينية واحدة بين جزيئي فلوريد هيدروجين متجاورين وجزيئي أمونيا متجاورين.



■ مثال ٣: تحديد شكل الرابطة الهيدروجينية الصحيح

أي الأشكال الآتية يُظهر بصورة صحيحة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئي HF؟

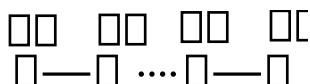
(أ)



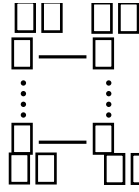
(ب)



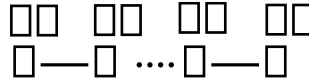
(ج)



(د)



(هـ)



الحل

الروابط الهيدروجينية قوى بين جزيئية قوية تُوجد بين ذرة هيدروجين مترابطة تساهميًا في أحد الجزيئات وزوج حر من الإلكترونات لجزيء مجاور. يجب أن تكون ذرة الهيدروجين مترابطة تساهميًا مع ذرة فلور أو نيتروجين أو أكسجين. ذرات الفلور لها أعلى قيمة سالبة كهربية بين عناصر الجدول الدوري، والرابطة H-F عالية القطبية. ذرات الفلور مشحونة بشحنة كهروستاتيكية سالبة جزئية (δ^-)، وذرات الهيدروجين مشحونة بشحنة كهروستاتيكية موجبة جزئية (δ^+). تتكوّن الروابط الهيدروجينية بين ذرة هيدروجين مترابطة تساهميًا من جزيء فلوريد هيدروجين وزوج حر من الإلكترونات من ذرة فلور مجاورة.

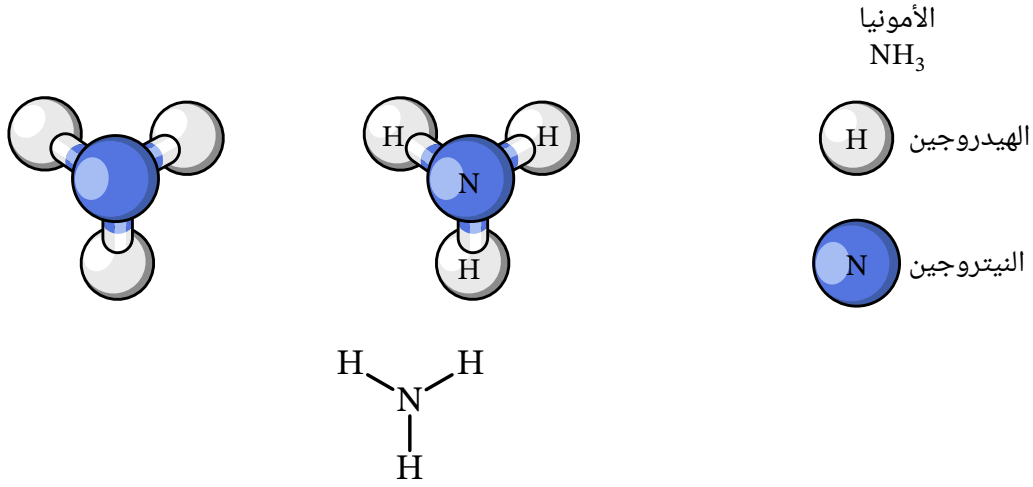
يمكن تمثيل الروابط الهيدروجينية بين جزيئات فلوريد الهيدروجين المتجاورة بصور أساسية نسبيًا تُستخدم الرمز H و F لتمثيل ذرتي الهيدروجين والفلورين، وخط أحادي مستقيم لتمثيل الروابط التساهمية. قيم الشحنة الكهروستاتيكية الموجبة والسالبة الجزئية يمثلها الرمز δ^+ و δ^- . وتمثّل الروابط الهيدروجينية بخط متقطع رفيع، ولا تُمثّل أبدًا بأسهم أحادية الجانب.

يطلب منا السؤال تحديد الشكل الذي يُظهر بصورة صحيحة الرابطة الهيدروجينية بين جزيئين من فلوريد الهيدروجين. الشكل الصحيح سيكون مرسومًا بعلامة δ^+ بجانب رمز ذرة الهيدروجين (H)، وعلامة δ^- بجانب رمز ذرة الفلور (F). كما أن الشكل الصحيح ستكون به الرابطة الهيدروجينية بجانب الجزء δ^+ من جزيء واحد و δ^- من جزيء مجاور. الخيار (أ) هو الصورة الوحيدة التي بها الرموز والروابط في أماكنها الصحيحة، ونستنتج من ذلك أن الخيار (أ) لا بد أن يكون هو الإجابة الصحيحة لهذا السؤال.

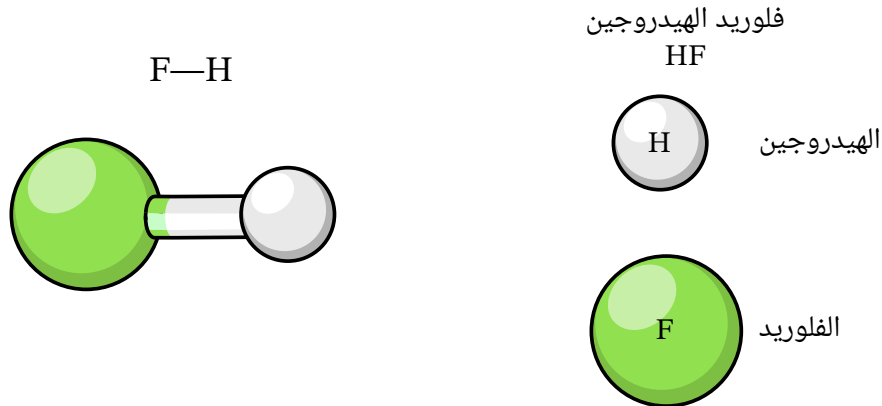
درجة غليان جزيئات فلوريد الهيدروجين والأمونيا أقل من الماء؛ وذلك لوجود روابط هيدروجينية أقل بين مجموعات جزيئات فلوريد الهيدروجين أو الأمونيا، ووجود روابط هيدروجينية أكثر بين مجموعات جزيئات الماء. فصل مجموعات جزيئات الأمونيا أو فلوريد الهيدروجين يتطلب قدرًا متوسطًا من الطاقة الحرارية؛ لأن هذه الجزيئات مترابطة بعدد قليل نسبيًا من الروابط الهيدروجينية. أما فصل مجموعات جزيئات الماء، فيتطلب طاقة حرارية أكبر؛ وذلك لأن جزيئات الماء مترابطة بعدد أكبر من الروابط الهيدروجينية. يمكن فهم الاختلاف في القدرة على الترابط الهيدروجيني بالنظر إلى العدد غير المتساوي من الأزواج الحرة وذرات الهيدروجين المشحونة بشحنة موجبة جزئية في كلٍّ من الأمونيا وفلوريد الهيدروجين السائلين.

يحتوي كل جزيء أمونيا على 3 ذرات هيدروجين مشحونة بشحنة موجبة جزئيًا وزوج حر أحادي من الإلكترونات. وجزيئات الأمونيا لا يمكن أن تولّد نفس نوع شبكات الروابط الهيدروجينية التي تتكوّن في الماء السائل. يمكن لكل جزيء أمونيا في المتوسط تكوين رابطتين هيدروجينيتين مع جزيئات الأمونيا المحيطة. فهي تكوّن رابطة هيدروجينية واحدة

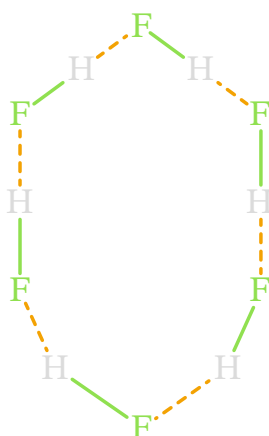
بزوج إلكترونات حر واحد على ذرة النيتروجين، ورابطة هيدروجينية أخرى بإحدى ذرات الهيدروجين المشحونة بشحنة موجبة جزئية في نفس الجزيء.



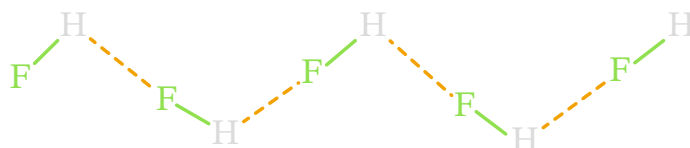
يحتوي كل جزيء فلوريد هيدروجين على ذرة هيدروجين واحدة مشحونة بشحنة موجبة جزئية، و3 أزواج حرة من الإلكترونات. ولا يمكن لجزيئات فلوريد الهيدروجين تكوين شبكات الروابط الهيدروجينية نفسها التي تتكوّن في الماء السائل. يمكن لكل جزيء من فلوريد الهيدروجين تكوين رابطتين هيدروجينيتين في المتوسط مع جزيئات فلوريد الهيدروجين المحيطة. فهو يكوّن رابطة هيدروجينية واحدة مع ذرة الهيدروجين الأحادية المشحونة بشحنة موجبة ورابطة هيدروجينية أخرى مع واحد من أزواج الإلكترونات الحرة.



وحقيقة أن فلوريد الهيدروجين يمكن في المتوسط أن يكوّن رابطتين هيدروجينيتين، تُخذ من الأشكال التي يمكن أن تنتجها جزيئات متعددة عندما ترتبط بروابط هيدروجينية. في الشكل الآتي يمكننا أن نرى أمثلة على ترتيب الجزيئات في سلسلة مستقيمة وفي حلقة مغلقة.



حلقة مغلقة

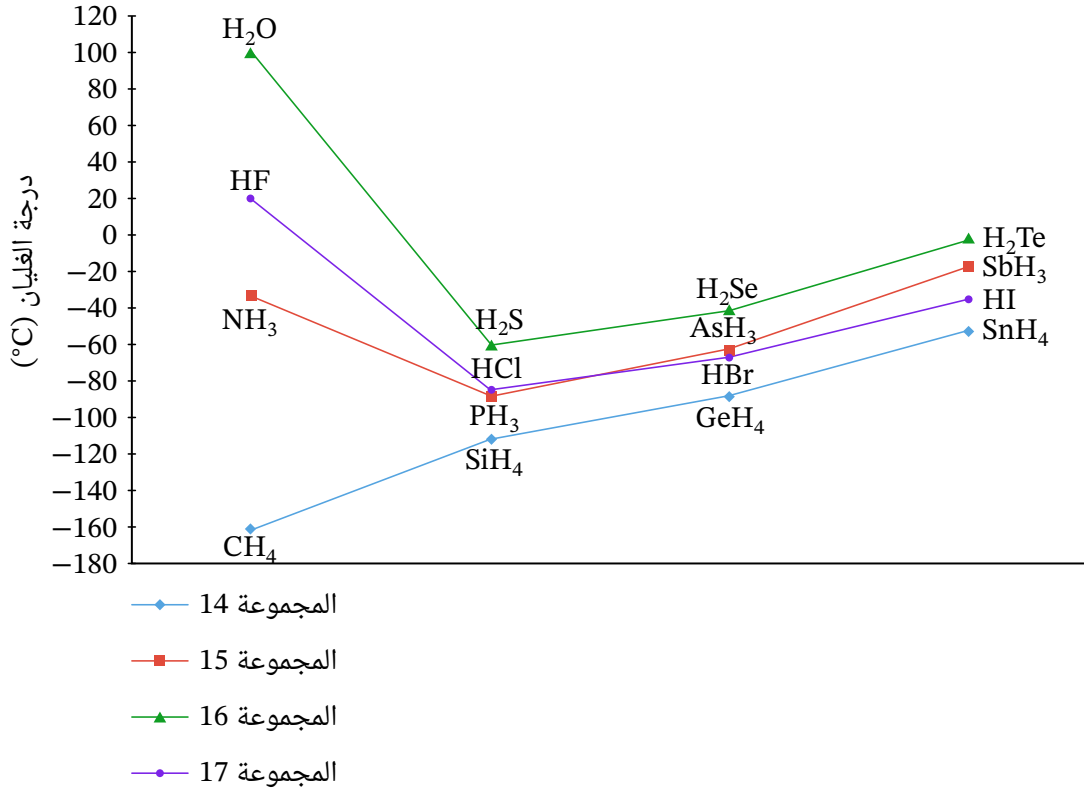


سلسلة مستقيمة

ذكرنا من قبل أن درجة غليان الماء أعلى من درجة غليان كبريتيد الهيدروجين، ومن الجدير بالملاحظة أيضًا أن درجة غليان فلوريد الهيدروجين والأمونيا أعلى أيضًا من درجات غليان بعض الجزيئات الأحادية الهيدريد والثلاثية الهيدريد عند المقارنة. تشير بيانات درجة الغليان إلى أن أغلب جزيئات الهيدريد غالبًا ما تكون درجة غليانها أعلى إذا كانت تحتوي على ذرات عالية السالبية الكهربائية، يمكنها المساهمة في تكوين روابط هيدروجينية. تزيد الروابط الهيدروجينية من قوة التجاذب بين الجزيئات المتجاورة، ويحتاج فصل هذه الجزيئات إلى طاقة حرارية أكبر. درجة غليان فلوريد الهيدروجين (HF) أعلى بـ 105 درجات من درجة غليان كلوريد الهيدروجين (HCl)، ودرجة غليان الأمونيا (NH₃) أعلى بـ 54 درجة من درجة غليان الفوسفين (PH₃).

■ مثال ٤: فهم تأثير الروابط الهيدروجينية على درجات غليان مركبات جزيئية بسيطة

يوضح الرسم البياني بالأسفل درجات غليان هيدريدات المجموعات 14 و15 و16 و17.



١. لماذا تكون درجة غليان NH_3 و H_2O و HF أعلى بكثير من الهيدريدات الأخرى في مجموعاتها؟

- الحجم الأصغر لهذه الذرات يعني أن هذه الجزيئات تحتوي على روابط تساهمية أقوى.
- هذه الجزيئات لها ضغوط بخارية عالية مقارنةً بالهيدريدات الأخرى.
- تستطيع هذه الجزيئات تكوين بنى تساهمية شبكية، ويجعل ذلك لها درجات غليان أعلى مقارنةً بالهيدريدات الأخرى في المجموعة.
- يمكن لهذه الجزيئات تكوين روابط هيدروجينية، ويمنحها ذلك قوى جذب بين جزيئية أقوى مقارنةً بالهيدريدات الأخرى.
- الحجم الأصغر لهذه الجزيئات يعني إمكانية تقارب بعضها من بعض.

٢. لماذا تزداد درجة الغليان كلما اتجهنا إلى أسفل المجموعة 14؟

- تصبح العناصر ذات طبيعة فلزية؛ ولذلك تقوم بترباط فلزي، وهو أقوى من الترباط التساهمي.
- يزداد عدد الإلكترونات في كل ذرة، مسبباً قوى جذب فان دير فالس أعلى بين الجزيئات.
- تزداد قوة الرابطة بين ذرات المجموعة 14 وذرات الهيدروجين، ويعني ذلك الحاجة إلى طاقة أعلى لفصلها.
- يمكن لهذه الجزيئات تكوين روابط هيدروجينية أقوى، ويزيد ذلك درجة الغليان.

هـ. تقل فاعلية الجزيئات، ويعني ذلك الحاجة إلى طاقة أكبر لتغيير حالتها من سائلة إلى غازية.

الحل

الجزء الأول

تعتمد درجات الغليان على قوة التداخلات بين الجزيئية بين الجزيئات. يكون للمواد درجة غليان مرتفعة نسبيًا عند وجود تداخلات بين جزيئية قوية بين الجزيئات المكوّنة. ويكون للمواد درجات غليان منخفضة نسبيًا عند وجود تداخلات بين جزيئية ضعيفة بين الجزيئات المكوّنة.

درجة غليان فلوريد الهيدروجين أعلى من الهيدريدات الأخرى في المجموعة 17؛ وذلك لأن فلوريد الهيدروجين هو الهيدريد الوحيد الذي يمكنه تكوين روابط هيدروجينية في المجموعة 17. درجة غليان الماء والأمونيا أعلى من هيدريدات المجموعتين 15 و16؛ لأن كلاً منهما هو الهيدريد الوحيد الذي يمكنه تكوين روابط هيدروجينية في المجموعتين 15 و16. يمكن استخدام هاتين العبارتين لتحديد أن الخيار (د) هو الإجابة الصحيحة لهذا السؤال.

الجزء الثاني

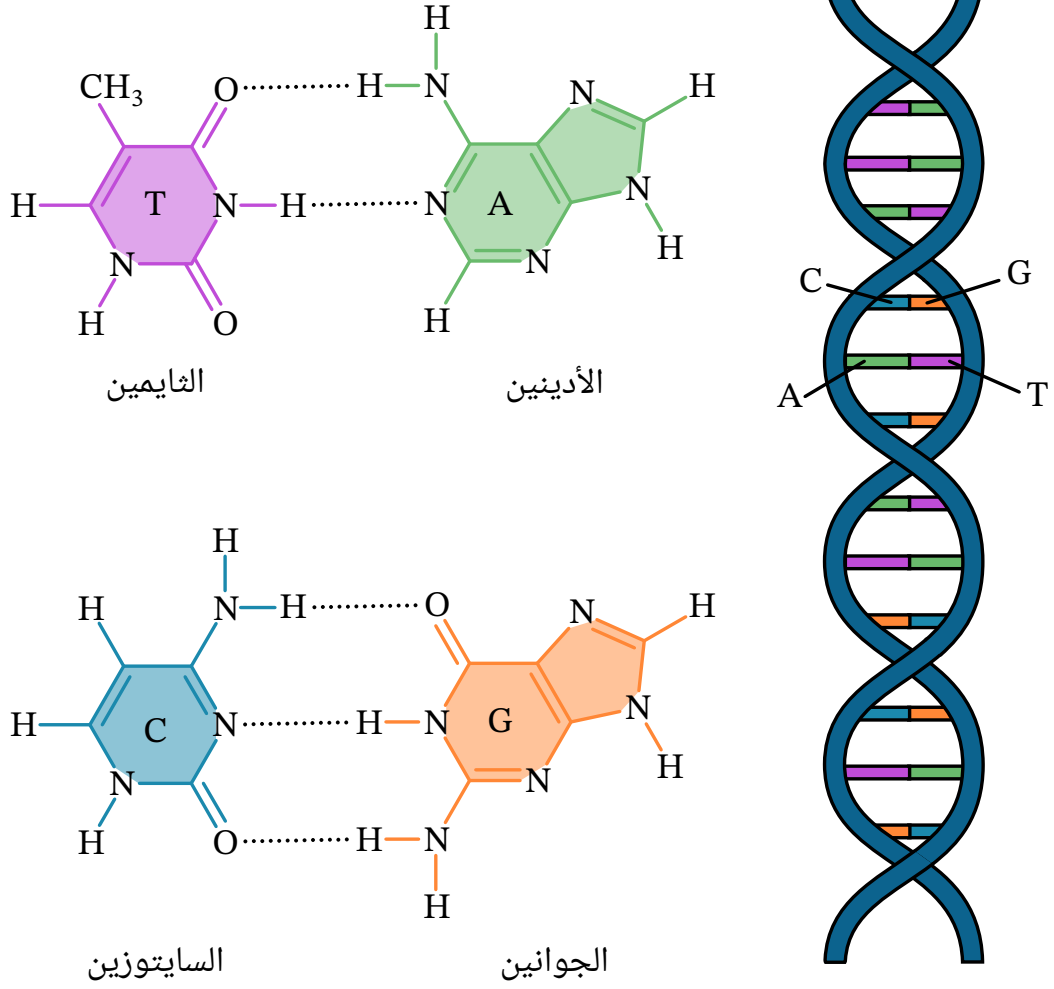
تعتمد درجات الغليان على قوة التداخلات بين الجزيئية بين الجزيئات. تكون درجات غليان بعض المواد عالية نسبيًا؛ لأنها تتكوّن من جزيئات يمكنها تكوين روابط هيدروجينية بين جزيئية قوية. وتكون درجة غليان مواد أخرى منخفضة؛ لأنها تتكوّن من جزيئات يمكنها تكوين تداخلات تشتت بين جزيئية أضعف.

درجة غليان جميع مركبات الهيدريد الرباعية بالمجموعة 14 منخفضة نسبيًا؛ لأنها جزيئات غير قطبية ترتبط معًا بقوى تشتت ضعيفة فقط. بعض مركبات الهيدريد الرباعية في المجموعة 14 درجة غليانها أعلى من مركبات الهيدريد الرباعية الأخرى في المجموعة 14؛ لأنها تتكوّن من مركبات غير قطبية يمكنها تكوين تداخلات تشتت أقوى.

تعتمد شدة قوة التشتت على قوة ثنائي القطب الجزيئي الذي يمكن حثه في الجزيء. يمكن للجزيئات توليد عزوم كهربية ثنائية الأقطاب أقوى عندما تحتوي على عدد أكبر من الإلكترونات وقدّرًا أكبر من الكثافة الإلكترونية السالبة التي يمكن إعادة توزيعها. يزيد عدد الإلكترونات عندما ننتقل لأسفل المجموعة 14، وهذا يفسّر كون درجة غليان الستنان (هيدريد القصدير) (SnH_4) أعلى من درجة غليان الجيرمان (هيدريد الجيرمانيوم) (GeH_4)، كما يفسّر كون درجة غليان الجيرمان (GeH_4) أعلى بكثير من درجة غليان الميثان (CH_4). يُلخّص الخيار (ب) هذا المنطق، إذن نستنتج أن الخيار (ب) هو الإجابة الصحيحة لهذا السؤال.

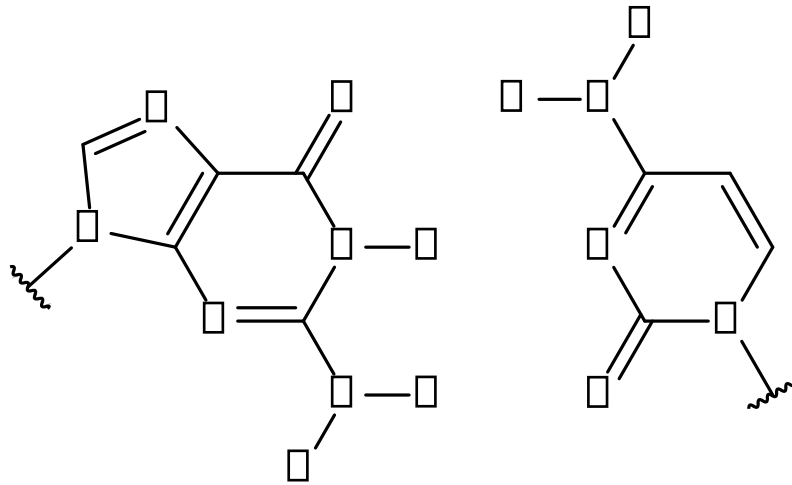
الروابط الهيدروجينية تنظم بنية وعمل بعض الجزيئات البيولوجية الضخمة، ويتضمّن هذا: بروتينات α اللولبية الموجودة عبر الأغشية وشرايط اللولب المزدوج للحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين (DNA). تُوجد رابطتان هيدروجينيتان أو ثلاث روابط هيدروجينية بين أزواج القواعد النيتروجينية المتكاملة في الحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين والعديد من الروابط الهيدروجينية بين مجموعات الكربونيل وهيدروجين الأميد في سلاسل أغلب البروتينات المدمجة في الأغشية. أغلب بنية الحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين وبروتينات α اللولبية والبروتينات ذات الشكل الصفائحي من نوع β سيفقد على الفور شكله ووظيفته البيولوجية إذا فقد كل روابطه الهيدروجينية بين الجزيئية أو حتى بعضًا منها. يوضّح الشكل الآتي كيف تساعدنا الروابط الهيدروجينية على الاحتفاظ بالبنى المعقدة الثلاثية الأبعاد للولب المزدوج للحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين. الروابط الهيدروجينية تمثّلها خطوط متقطعة رفيعة. تُوجد رابطتان هيدروجينيتان بين زوج القواعد المتكاملة الثايمين (T) والأدينين (A)، وتُوجد 3 روابط هيدروجينية بين زوج القواعد المتكاملة السايٲوزين (C) والجوانين (G).

بنية DNA



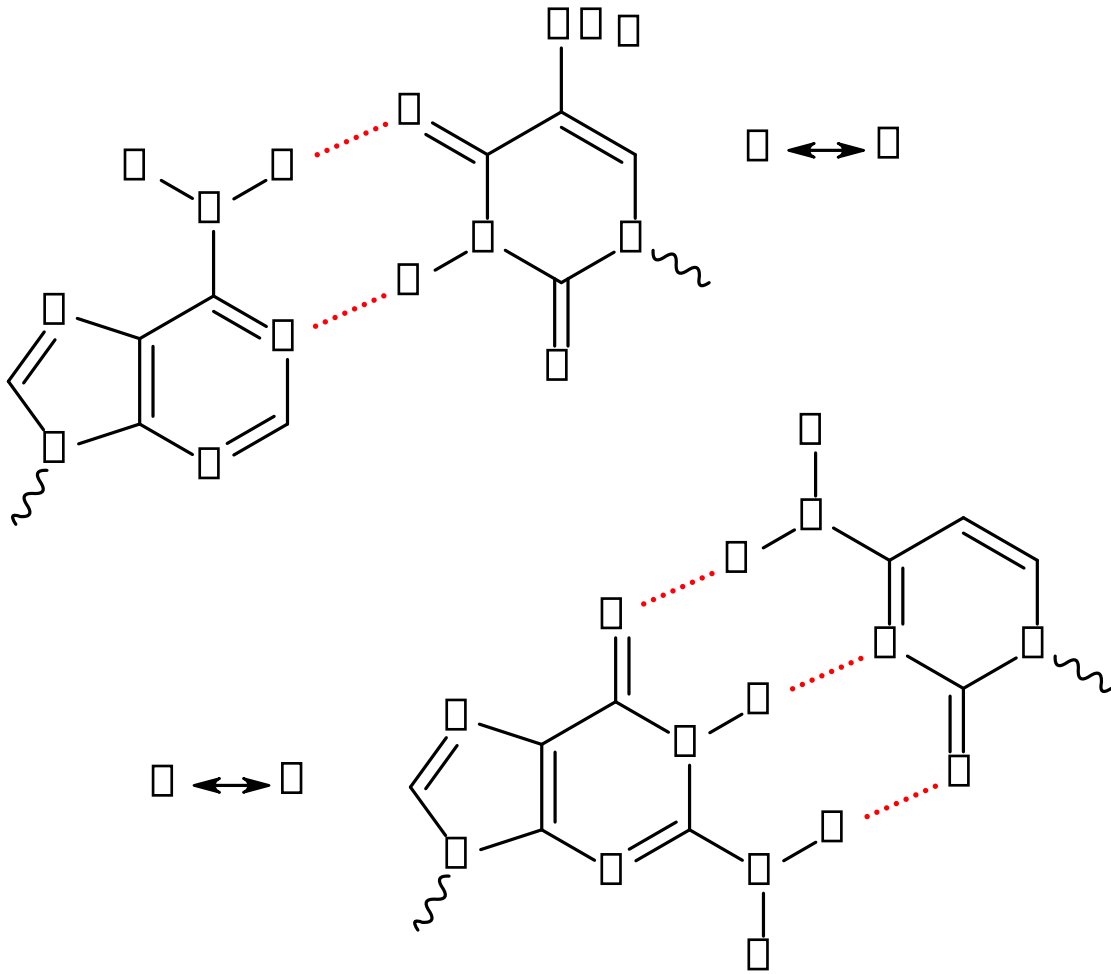
■ مثال ٥: تحديد عدد الروابط الهيدروجينية التي تربط بين أزواج قواعد الجوانين والساييتوزين

توضّح البنية الآتية ازدواج القواعد في الحمض النووي الريبسي المنقوص الأكسجين بين جزيئي الجوانين والساييتوزين. ما عدد الروابط الهيدروجينية التي يمكن أن تتشكّل بين جزيئي الجوانين والساييتوزين؟



الحل

يُعد الحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين (DNA) جزيئاً ضخماً يتكوّن من سلسلتين عديديّ النيوكليوتيدات. وتتكوّن كل سلسلة عديدة النيوكليوتيدات من عمود فقري من السكر والفوسفات وأزواج قواعد نيتروجينية مختلفة. تحتوي أزواج القواعد النيتروجينية المختلفة على ذرات هيدروجين مشحونة بشحنة موجبة جزئية وذرات أخرى عالية السالبة الكهربائية تُنتج عنها أزواج الإلكترونات الحرة. زوج قاعدة الأدينين يكوّن رابطتين هيدروجينيتين مع زوج قاعدة الثايمين المكمل له، ويكوّن زوج قاعدة الجوانين 3 روابط هيدروجينية مع زوج قاعدة السايٲٲوزين المكمل له. يوضّح الشكلان الآتيان كيفية تكوين رابطتين هيدروجينيتين و3 روابط هيدروجينية بين أزواج قواعد الحمض النووي الريبى المنقوص الأكسجين المتكاملة. يوضّح الجزء الأول من الشكل كيفية تكوين رابطتين هيدروجينيتين بين أزواج القواعد التكميلية الأدينين (A) والثايمين (T)، والجزء الثاني يوضّح كيفية تكوين 3 روابط هيدروجينية بين أزواج القواعد التكميلية الجوانين (G) والسايٲٲوزين (C). تُمثّل الروابط الهيدروجينية بخطوط متقطعة باللون الأحمر.



يطلب منا هذا السؤال تحديد عدد الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد المتكاملة الجوانين والسايكوزين وليس عدد الروابط بين أزواج القواعد المتكاملة الأدينين والثايمين. يوضح الشكل أنه يوجد 3 روابط هيدروجينية بين زوجي قاعدتي الجوانين والسايكوزين، ونستنتج من ذلك أن 3 هي الإجابة الصحيحة على هذا السؤال.

■ النقاط الرئيسية

- ▶ الروابط الهيدروجينية تداخلات ثنائية القطب موجودة بين ذرات الهيدروجين المترابطة تساهميًا وأزواج الإلكترونات الحرة في العناصر العالية السالبة الكهربائية، مثل الفلور.
- ▶ الروابط الهيدروجينية أقوى من تداخلات الانتشار والتداخلات بين الجزيئية الثنائية القطب المعتادة.
- ▶ ترتفع درجة غليان المواد ودرجة انصهارها نسبيًا عندما تتكوّن هذه المواد من جزيئات تستطيع تكوين روابط هيدروجينية.
- ▶ تمنح الروابط الهيدروجينية أشكالًا ثلاثية الأبعاد مميزة للمركبات عديدة الببتيد، وهو ما يجعلها مناسبة جدًا لأداء وظائف بيولوجية محدّدة.
- ▶ يوجد 3 روابط هيدروجينية بين أزواج القواعد التكميلية السايكوزين والجوانين ورباطتان هيدروجينيتان بين أزواج القواعد التكميلية الأدينين والثايمين.