# Jak zbudowane są kryształy molekularne?


- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja 3D
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

# Jak zbudowane są kryształy molekularne?

DNA jest jednym z przykładów kryształów molekularnych.
Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Kryształy molekularne, jak wskazuje nazwa, składają się z molekuł, czyli cząsteczek. Czy wiesz, jak są ze sobą powiązane? Czy mamy tutaj do czynienia z wiązaniem kowalencyjnym, czy oddziaływaniem jonowym? A może i z jednym, i z drugim? A może to tylko słabe siły van der Waalsa? Jakie właściwości fizyczne mają kryształy molekularne? Czy są twarde, czy miękkie? Przewodzą prąd elektryczny czy wręcz przeciwnie? Czym różnią się kryształy molekularne od kryształów jonowych, a czym od kowalencyjnych? Wszystkie odpowiedzi na te nurtujące pytania poznasz w tym materiale.

**Twoje cele**

- Opiszesz budowę kryształów molekularnych.
- Wymienisz oddziaływania, jakie występują w kryształach molekularnych.
- Porównasz budowę kryształów molekularnych z kryształami jonowymi oraz kowalencyjnymi.

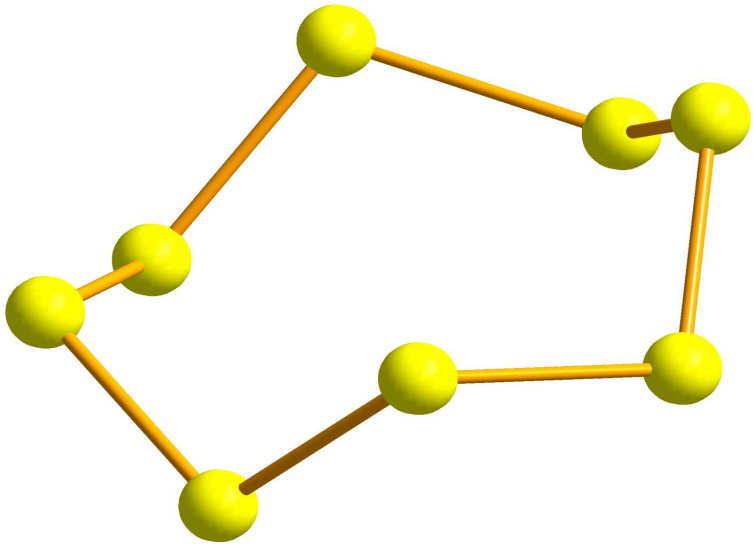
# Przeczytaj

## Czym są kryształy molekularne?

**Kryształy molekularne** tworzą osobne zbiory cząsteczek. Co to właściwie oznacza? W kryształach molekularnych zbiory cząsteczek są połączone słabymi oddziaływaniami. Siłami „sklejającymi” cząsteczki w krysztale mogą być siły m.in.:

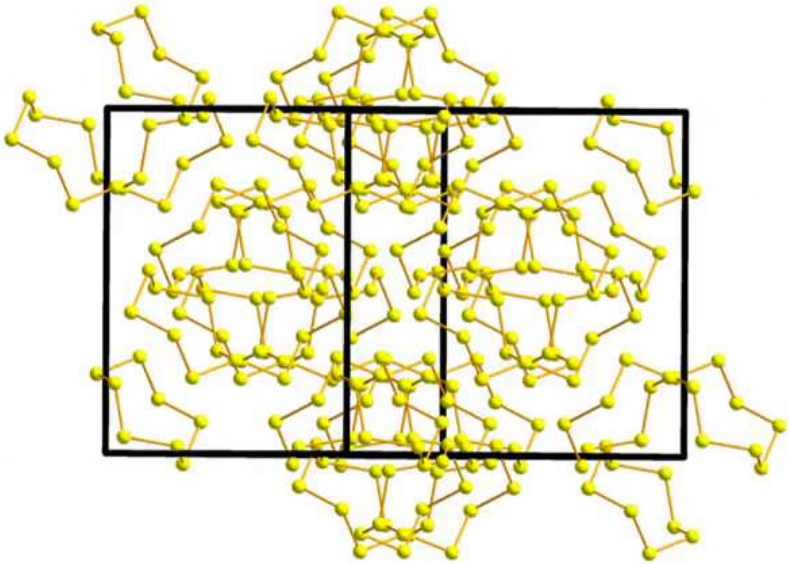
- siły Van der Waalsa;
- wiązania wodorowe.

Przykładem kryształu molekularnego może być siarka. Siarka w temperaturze pokojowej tworzy pierścienie, w których znajduje się osiem atomów siarki ($S_8$). Pierścienie siarki oddziałują ze sobą dzięki siłom Van der Waalsa. Struktury siarki przedstawiono w galerii poniżej.



Model struktury ośmioatomowej cząsteczki siarki

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/R1QUSvhljzEnM

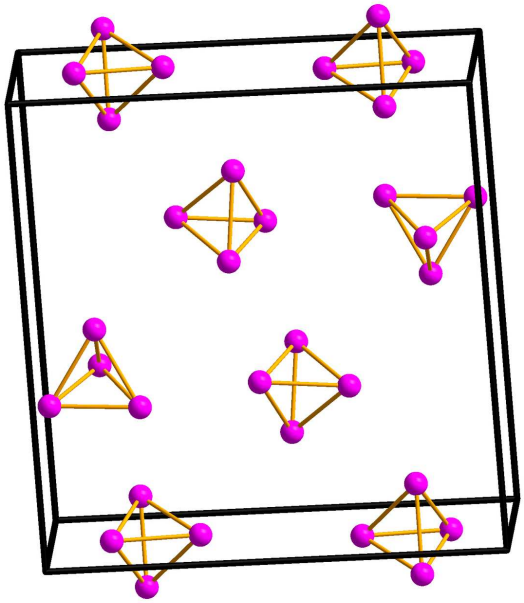
Komórka elementarna kryształu siarki

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału.

---

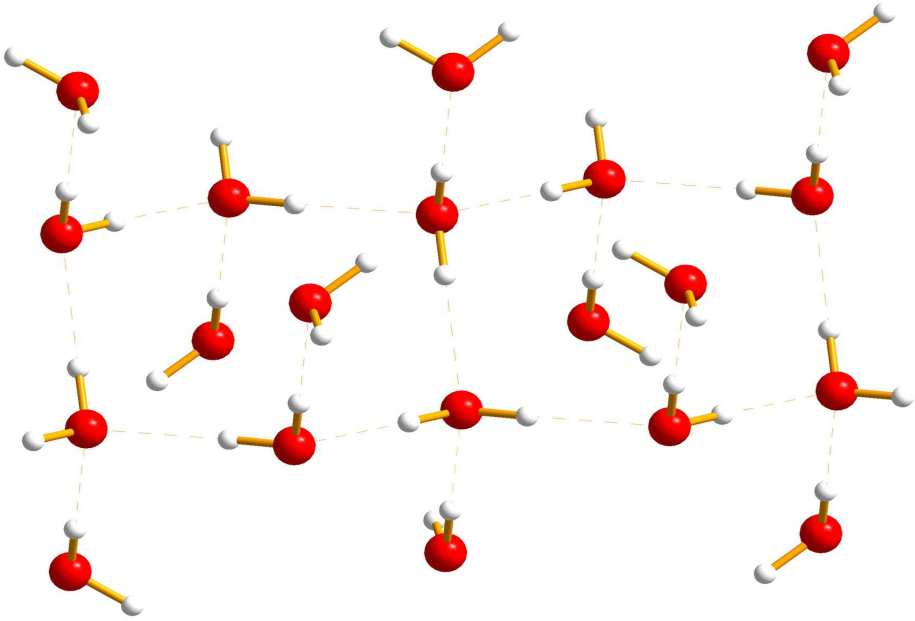
Jak widać, w komórce elementarnej poszczególne pierścienie siarki nie są ze sobą połączone. Tworzą osobne cząsteczki, dlatego siarkę powinno się zapisywać jako cząsteczkę $S_8$. Gdyby siarka tworzyła kryształy kowalencyjne, pierścienie te musiałyby być połączone wiązaniem – tak, jak ma to chociażby miejsce w krysztale diamentu, gdzie wszystkie atomy węgla są ze sobą połączone. Takie same połączenia, jak w krysztale siarki, występują m.in. w fosforze białym $P_4$, w którym fosfor tworzy tetraedryczne cząsteczki $P_4$.



Komórka elementarna fosforu białego

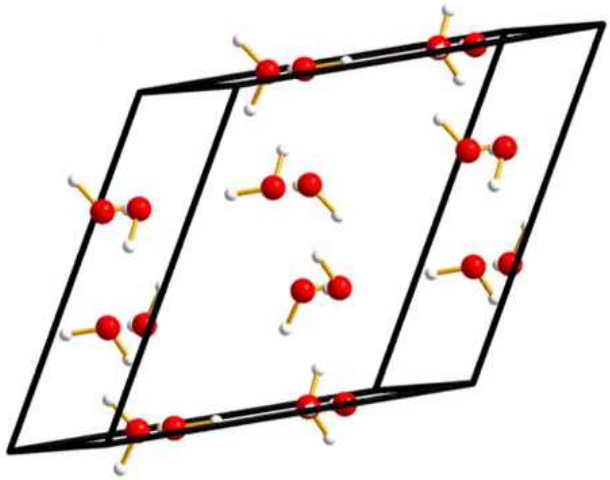
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Przykładem najprostszego kryształu molekularnego, w którym występują wiązania wodorowe, jest cząsteczka lodu, co możesz zobaczyć na poniższych modelach.



Sieć wiązań wodorowych (przerywana linia) w lodzie

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



Film dostępny pod adresem /preview/resource/RFFCazPLOQiZG

Komórka elementarna lodu

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału

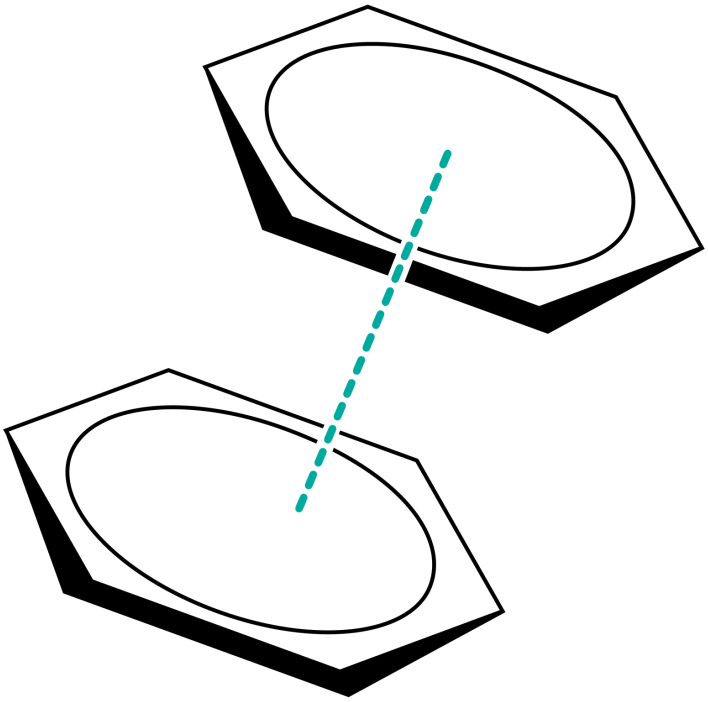
W strukturze krystalicznej cząsteczki wody tworzą sieć wiązań wodorowych. Cząsteczka wody jest donorem i akceptorem dwóch wiązań wodorowych. Można zauważyć, że struktura lodu nie jest gęsto upakowana, a odległości między cząsteczkami są dość duże. Dzięki temu woda, przechodząc w stan stały (lód), zwiększa swoją objętość, a podczas topnienia ją zmniejsza.

## Jakie oddziaływania występują w kryształach molekularnych?

Struktury krystaliczne związków organicznych są bardziej skomplikowane w interpretacji. W większości z nich występuje kilka oddziaływań międzycząsteczkowych. Oprócz oddziaływań dyspersyjnych, wiązań wodorowych, możemy wyróżnić takie oddziaływania, jak:

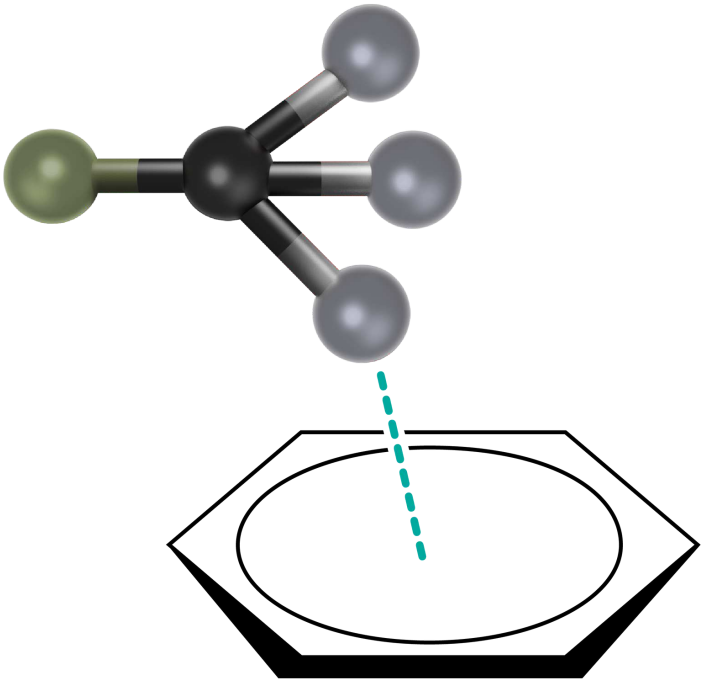
- oddziaływanie π-π

Oddziaływanie π-π (czyt. pi-pi), zwane stakingiem, między pierścieniami aromatycznymi.



C-H-π

C-H-π (czyt. ce ha pi) między grupą C-H a pierścieniem aromatycznym.



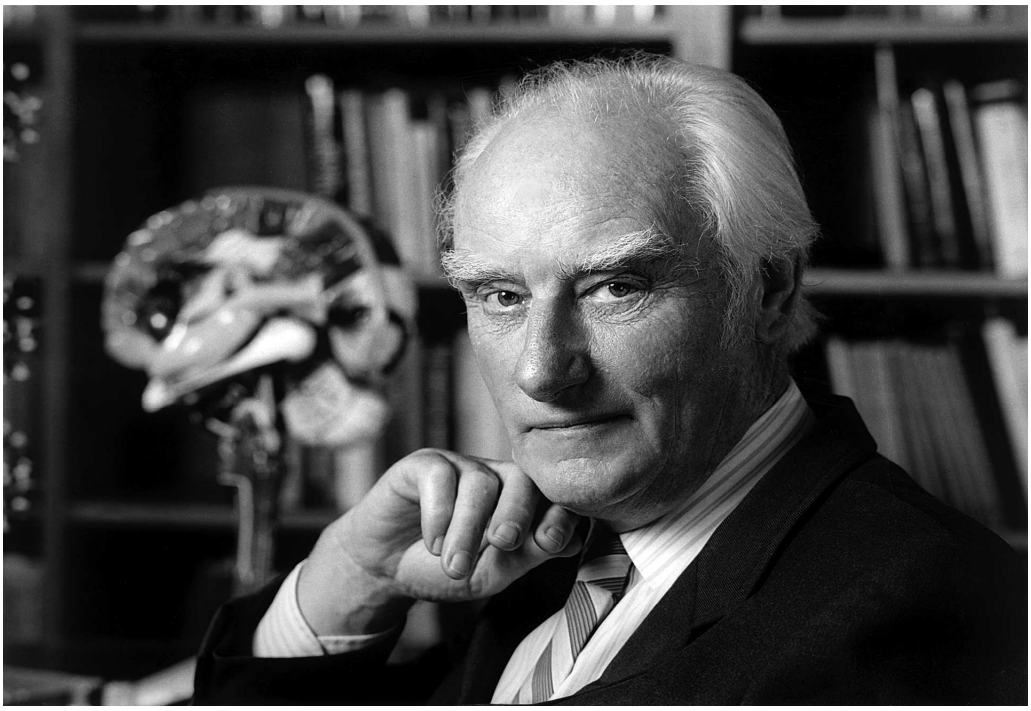
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## DNA jako kryształ molekularny

Jednym z ważniejszych osiągnięć nauki w XX w. było rozwiązanie struktury krystalicznej DNA – kryształu molekularnego. Na niżej zamieszczonych zdjęciach zostali ukazani naukowcy, którzy przyczynili się do odkrycia struktury krystalicznej DNA, za co otrzymali Nagrodę Nobla w 1962 r. Warto również wspomnieć o współudziale Rosalindy Franklin w tym odkryciu, autorki rentgenogramu sodowej soli DNA.

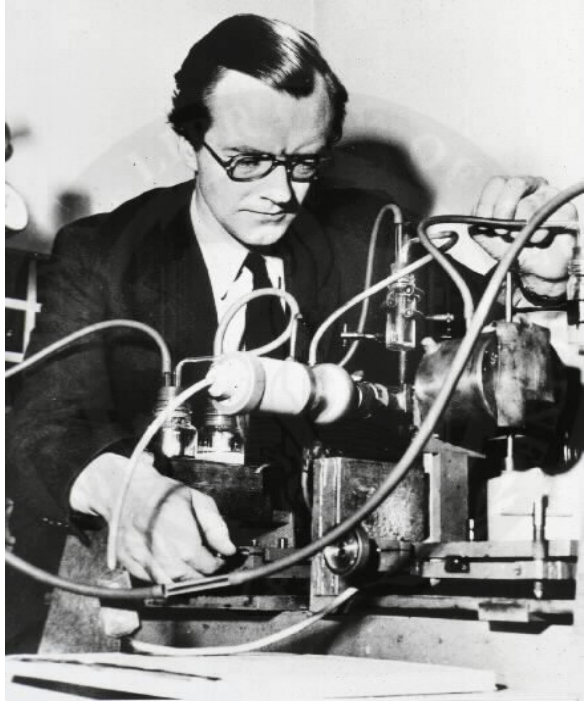
James Watson

Źródło: dostępny w internecie: wikipedia.org, domena publiczna.



Francis Crick

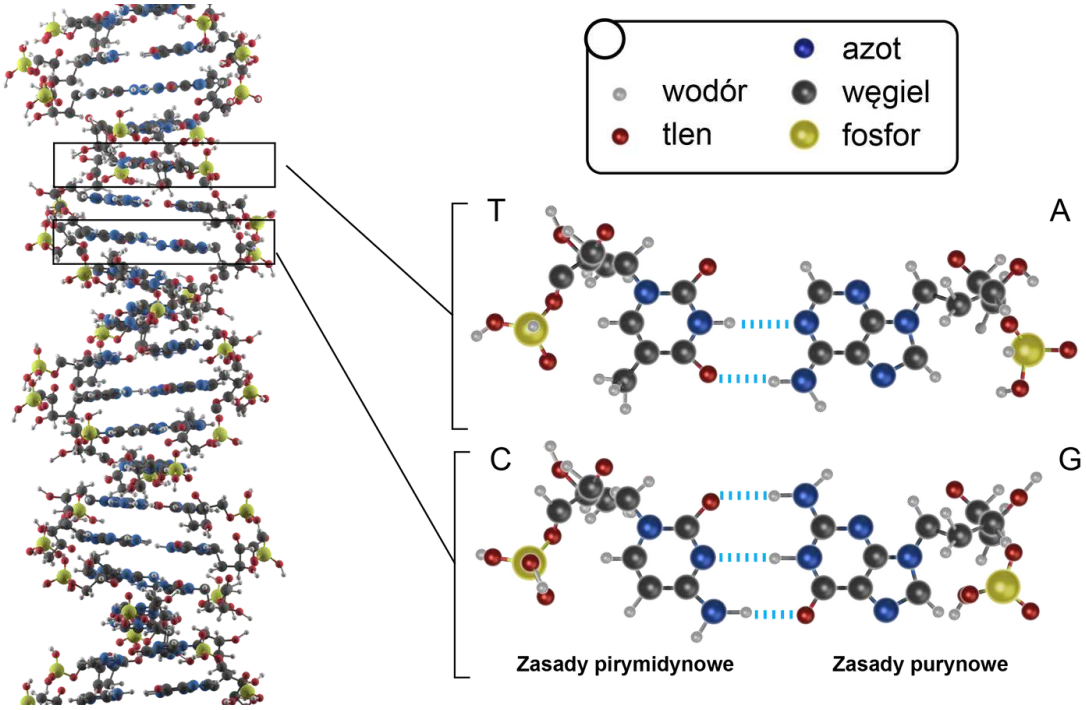
Źródło: Marc Lieberman, licencja: CC BY-SA 2.5.



Maurice Wilkins

Źródło: dostępny w internecie: wikipedia.org, domena publiczna.

DNA – kwas deoksyrybonukleinowy – jest wielkocząsteczkowym związkiem organicznym i pełni rolę nośnika informacji genetycznej. W strukturze DNA możemy m.in. wyróżnić oddziaływania wodorowe – między zasadami azotowymi – czy oddziaływania stakingowe między sąsiednimi nukleotydami DNA, które dodatkowo stabilizują strukturę.

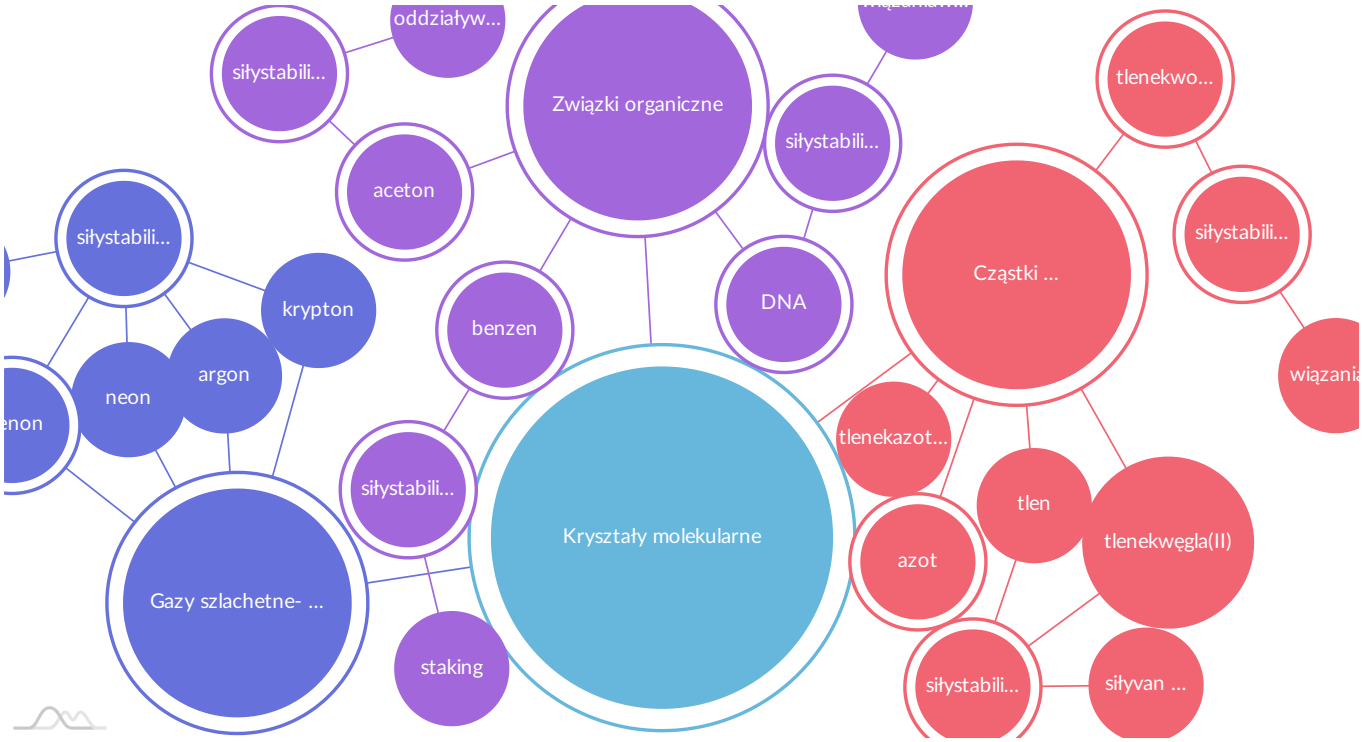



Helisa DNA jest zbudowana z dwóch nici DNA. Na rysunku zostały ukazane elementy, które są częścią budowy DNA.

Źródło: GroMar Sp. z o.o. (na podstawie wikipedia.org), licencja: CC BY-SA 3.0.

## Inne przykłady

Innymi przykładami substancji, które tworzą kryształy molekularne, są gazy szlachetne: Ne (neon), Ar (argon), cząsteczki dwuatomowe, takie jak $H_2$ (wodór), CO (tlenek węgla(II)), $N_2$ (azot). Jednak najliczniejszą grupą związków, tworzącą kryształy molekularne, są związki organiczne.




Mapa pojęć pt. „Kryształy molekularne”.
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Z racji tego, że kryształy molekularne są zbudowane z odrębnych cząsteczek, struktury krystaliczne związków stabilizowane są przez słabsze oddziaływania międzycząsteczkowe. Kryształy molekularne charakteryzuje niska temperatura topnienia. Są to kryształy kruche, które nie przewodzą prądu elektrycznego.

# Słownik

**siły Van der Waalsa**

słabe oddziaływania międzycząsteczkowe, związane z kwantową naturą powłok elektronowych, elektrycznie obojętnych atomów lub cząsteczek oraz z ruchem elektronów w cząsteczce

**wiązania wodorowe**

rodzaj oddziaływania elektrostatycznego pomiędzy atomem wodoru a atomem pierwiastka elektroujemnego o wolnych parach elektronowych; to oddziaływanie może być międzycząsteczkowe lub wewnątrzcząsteczkowe

**DNA**

kwas deoksyrybonukleinowy; wielkocząsteczkowy biopolimer obecny we wszystkich komórkach organizmów, w których jest nośnikiem informacji genetycznej

**oddziaływanie dipolowe**

(gr. *di-* „dwa razy", gr. *pólos* „biegun") ten typ oddziaływania występuje między dwoma cząsteczkami, które w jednym fragmencie cząsteczki posiadają nadmiar elektronów, dlatego występuje na nich częściowy ładunek ujemny, a w drugim fragmencie występuje deficyt elektronów, co prowadzi do powstania w tym miejscu częściowego ładunku dodatniego

**gazy szlachetne**

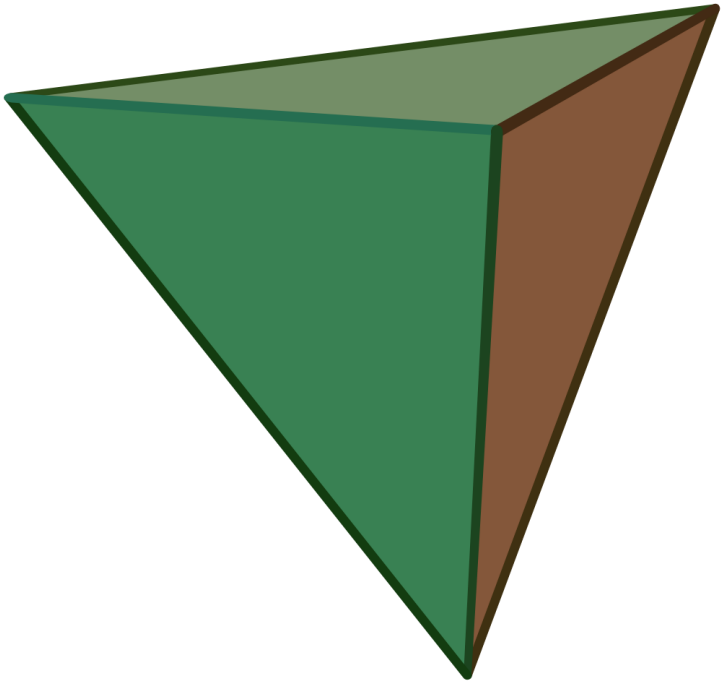
helowce; pierwiastki chemiczne, które tworzą 18 grupę układu okresowego: hel (He), neon (Ne), argon (Ar), krypton (Kr), ksenon (Xe) i radon (Rn)

**komórka elementarna**

równoległościan, który stanowi podstawowy, powtarzający się okresowo w przestrzeni element sieci przestrzennej; kształt i rozmiary komórki elementarnej określają stałe sieciowe: długości krawędzi: $a$, $b$, $c$, i kąty: $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ między nimi

**tetraedr**

(gr. *tetrakys* „czterokrotnie") czworościan foremny



Źródło: Kjell André, dostępny w internecie: pl.wikipedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

**oddziaływanie stakingowe**

oddziaływanie $\pi - \pi$, słabe oddziaływanie chmury elektronowej między pierścieniami aromatycznymi
**aromatyczność**

(łac. *arōma*, *-ātis* „przyprawa") związki wykazują aromatyczność, kiedy są płaskie – powstają w wyniku sprzężenia się wiązań podwójnych; najprostszym związkiem organicznym jest benzen
**nukleotyd**

estry nukleozydów i kwasu ortofosforowego(V); w nukleozydach reszta hydroksylowa (—OH) części cukrowej jest połączona z cząsteczką kwasu ortofosforowego(V) wiązaniem estrowym; stanowią składniki kwasów nukleinowych (DNA i RNA), niezbędne są też w metabolizmie i przekazywaniu sygnałów w komórce

## Bibliografia


Bernal J. D., Fowler R. H., *A Theory of Water and Ionic Solution, with Particular Reference to Hydrogen and Hydroxyl Ions*, „*The Journal of Chemical Physics*" 1933, 1, p. 515.

Bielański A., *Podstawy chemii nieorganicznej,* Warszawa 2007.

Borchardt-Ott W., *Crystallography an intoduction*, *Third Edition*, New York 2011.

*Encyklopedia PWN*

Rettig S. J., Trotter J., *Refinement of the structure of orthorhombic sulfur, α-S8, „Acta Crystallographica"* 1987, pp. 2260-2262.

Simon A., Borrmann H., Craubner H., *Phosphorus and Sulfur and the Related Elements*, *Crystal structure of ordered white phosphorus (β-P)*1987, 30, p. 507-510.

Wyckoff R. W., Crystal G., *Structures 1, Second Edition*, New York 1963, 1, p. 7-83.

Van Meerssche M., Feneau-Dupont J., *Krystalografia i chemia strukturalna* Warszawa 1984.

# Animacja 3D

**Polecenie 1**

Jakie rodzaje oddziaływań występują w kryształach molekularnych? Zapoznaj się z poniższymi modelami 3D i udziel odpowiedzi na poniższe pytania.

| | |
|---|---|
| | Model 3D pt. „Model cząsteczki azotu”<br>Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0. |
| 2 | Model 3D pt. „Model podwójnej nici DNA”<br>Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0. |
| 3 | Model 3D pt. „Model cząsteczki wody”<br>Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0. |

**Ćwiczenie 1**

Wymień, jakie rodzaje oddziaływań występują w kryształach molekularnych?

**Ćwiczenie 2**

Przelicz odległość pomiędzy nukleotydami w nici DNA z $\text{Å}$ na $\text{nm}$. Jaki to wynik?

- $33\ \text{nm}$
- $0{,}33\ \text{nm}$
- $0{,}00033\ \text{nm}$
- $0{,}0033\ \text{nm}$

**Ćwiczenie 3**

Ile wiązań wodorowych występuje pomiędzy cytozyną a guaniną?

- ◯ Między cytozyną a guaniną nie ma wiązań wodorowych.
- ◯ $2$
- ◯ $3$
- ◯ $1$

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

## Ćwiczenie 1

Zaznacz, która z wymienionych poniżej substancji tworzy kryształy molekularne?

- cyrkon
- azot
- żelazo
- diament

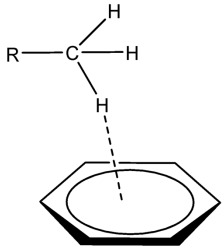
## Ćwiczenie 2

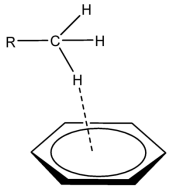
Oceń poprawność poniższych zdań.

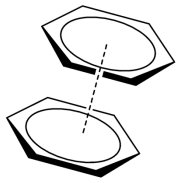
| Zdanie | Prawda | Fałsz |
|---|---|---|
| W kryształach molekularnych występują tylko oddziaływania jonowe. | | |
| W kryształach molekularnych atomy są połączone wiązaniami kowalencyjnymi, tworząc gigantyczną cząsteczkę. | | |
| W kryształach molekularnych substancje tworzą mniejsze zbiory, które oddziałują ze sobą słabymi oddziaływaniami. | | |

## Ćwiczenie 3

Przyporządkuj oddziaływania.



oddziaływanie $\pi - \pi$

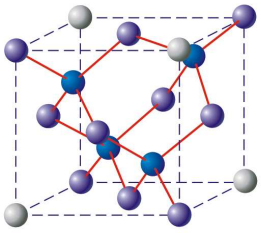
$\mathrm{C} - \mathrm{H} - \pi$

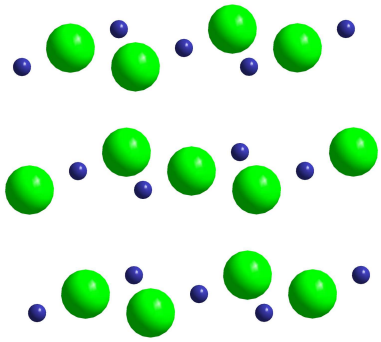
Wiązanie wodorowe

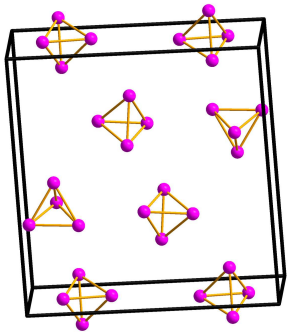
Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 4

Z poniższych struktur wybierz strukturę kryształu molekularnego.







Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 5

Zaznacz, z czym mamy do czynienia w strukturze krystalicznej lodu?

- Z wiązaniem atomowym.
- Z oddziaływaniem $\pi - \pi$.
- Z wiązaniem wodorowym.
- Z wiązaniem halogenowym.

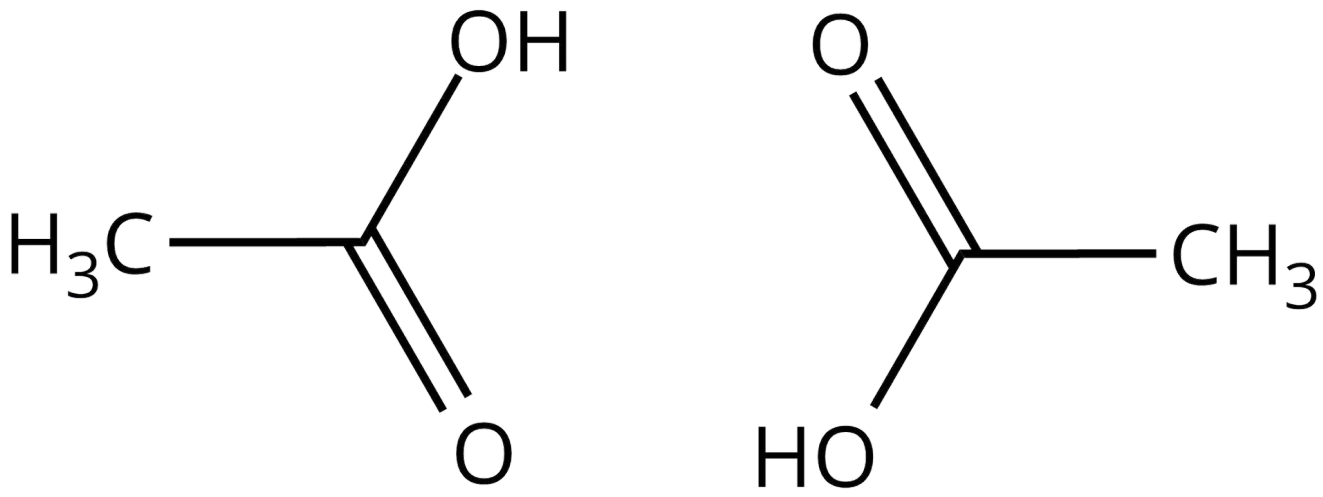
## Ćwiczenie 6

Wybierz stwierdzenia, które opisują kryształ molekularny.

- [ ] występują tylko wiązania kowalencyjne
- [ ] zbudowane z atomów
- [ ] występują słabe oddziaływania między cząsteczkami
- [ ] nie przewodzą prądu elektrycznego
- [ ] przewodzą prąd elektryczny
- [ ] wysoka temperatura topnienia
- [ ] niska temperatura topnienia
- [ ] kryształy miękkie
- [ ] zbudowane z cząsteczek
- [ ] kryształy twarde
- [ ] zbudowane z jonów

## Ćwiczenie 7

Przeanalizuj budowę cząsteczki kwasu octowego (kwasu etanowego). Zaproponuj, jaki typ oddziaływań może występować między tymi cząsteczkami.




Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

- oddziaływanie elektrostatyczne
- oddziaływania stakingowe
- wiązanie wodorowe
- wiązanie kowalencyjne

## Ćwiczenie 8

Opisz, dzięki jakiej właściwości fizycznej możesz rozróżnić kryształy molekularne od kryształów jonowych?

# Dla nauczyciela

**Scenariusz zajęć**

**Autor:** Robert Wróbel, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Jak zbudowane są kryształy molekularne?

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego - kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

**Podstawa programowa:**

Poziom podstawowy i rozszerzony

Wymagania ogólne

II. Rozumowanie i zastosowanie nabytej wiedzy do rozwiązywania problemów. Uczeń:

4) wskazuje na związek między właściwościami substancji a ich budową chemiczną.

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

**Cele operacyjne:**

**Uczeń:**

- opisuje budowę kryształów molekularnych;
- wymienia oddziaływania, jakie występują w kryształach molekularnych;
- porównuje budowę kryształów molekularnych z kryształami jonowymi i kowalencyjnymi.

**Strategie nauczania:**

- asocjacyjna.

**Metody i techniki nauczania:**

- burza mózgów;
- dyskusja dydaktyczna;
- analiza tekstu źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika okienko informacyjne;
- technika zdań podsumowujących.

**Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca zbiorowa.

**Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami i dostępem do Internetu;
- rzutnik multimedialny;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica.

**Przebieg zajęć**

**Faza wstępna:**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje pytania zawarte we wprowadzeniu do e-materiału, np.: czy i jak powiązane są ze sobą cząsteczki w krysztale molekularnym? Jakie właściwości fizyczne mają kryształy molekularne?
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele, które uczniowie zapisują w portfolio.
3. Rozpoznanie wiedzy wstępnej uczniów. Burza mózgów wokół pojęcia kryształy molekularne.

**Faza realizacyjna:**

1. Uczniowie analizują tekst w dostępnych źródłach informacji, w tym e-materiał - kryształy molekularne, zwracając uwagę na ich budowę, przykłady, właściwości.
2. Nauczyciel inicjuje dyskusję zadając przykładowe pytania: czym są kryształy molekularne? Jak są połączone zbiory cząsteczek w kryształach molekularnych? Jakie substancje tworzą kryształy molekularne? Co to jest komórka elementarna? W jakich substancjach zbiory cząsteczek połączone są za pomocą sil van der Waalsa? Jakie substancje tworzą kryształy molekularne, gdzie występują wiązania wodorowe? Nauczyciel wspiera uczniów i ewentualnie wyjaśnia niezrozumiałe kwestie.
3. Uczniowie w parach analizują animację 3D w medium bazowym.
4. Okienko informacyjne - forma indywidualnej twórczej notatki. Kartkę papieru w zeszycie uczniowie dzielą na cztery części (poziom, pion lub po przekątnej).

W pierwsze okienko uczniowie wpisują hasło, które ich interesuje. W drugim okienku podają definicję danego terminu (z różnych źródeł). W trzecie okienko wpisują metaforyczne znaczenie wyrazu, żart językowy, rebus itp. Ostanie może mieć formę scenki komiksowej, dialogu, karykatury z zastosowaniem interesującego uczniów terminu.

5. Uczniowie sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia zawarte w e-materiale – Sprawdź się.

**Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów, wykorzystując pytania z e-materiału, np. polecenia do multimedium. Pyta:

- Z czego zbudowane są kryształy molekularne?
- Jakie właściwości fizyczne mają kryształy molekularne?
- Czym się różnią kryształy molekularne od kryształów jonowych czy kowalencyjnych?

2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:

- Przypomniałem sobie, że...
- Co było dla mnie łatwe...
- Czego się dziś nauczyłem/łam...
- Co sprawiało mi trudności...

**Praca domowa:**

Nauczyciel prosi, aby uczniowie postarali się znaleźć w dostępnych źródłach informacji inne przykłady związków, tworzących kryształy molekularne.

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:**

Model 3D struktury krystalicznej kryształów molekularnych może być wykorzystana jako pomoc podczas przygotowywania się przez uczniów do lekcji, czy też do porównywania z innymi modelami kryształów.

**Materiały pomocnicze:**

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Z czego zbudowane są kryształy molekularne?
- Jakie właściwości fizyczne mają kryształy molekularne?
- Czym się różnią kryształy molekularne od kryształów jonowych czy kowalencyjnych?