Od chromatyny do chromosomu

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Symulacja interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Od chromatyny do chromosomu

Silnie zespiralizowana forma, w jakiej występuje DNA w chromatynie, jest pierwszym poziomem organizacji zapewniającej upakowanie tego kwasu nukleinowego w jądrze komórkowym. Łączna długość cząsteczek DNA w komórce wynosi ok. 2 m.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., Pixabay, licencja: CC BY-SA 3.0.

Bakterie mają najczęściej pojedynczą kolistą cząsteczkę DNA, zwaną chromosomem bakteryjnym lub genoforem, oraz kilkanaście do kilkudziesięciu plazmidów.
W komórkach eukariotycznych występuje od kilku do nawet ponad tysiąca cząsteczek DNA w postaci chromosomów, utworzonych z DNA połączonego z białkami histonowymi. Czy wiesz, że liczba chromosomów może być różna u różnych gatunków? Muszka owocowa (*Drosophila melanogaster*) ma ich tylko 4 pary, człowiek 23 pary, a pies – 39. Najwięcej chromosomów występuje jednak wśród roślin – aż 1260 stwierdzono u nasięźrzału (*Ophioglossum reticulatum*).

Twoje cele

- Przeanalizujesz budowę chromosomów.
- Opiszesz sposób upakowania DNA i jego znaczenie.
- Wskażesz na schemacie elementy budowy chromosomów.

Przeczytaj

Różne stopnie upakowania DNA.
Źródło: Englishsquere.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Całkowita długość DNA w organizmie ludzkim to ponad kilka milionów kilometrów. W jednym jądrze komórkowym człowieka znajdują się aż 2 m DNA, którego średnica wynosi zaledwie 2 nm. Samo jądro komórkowe ma z kolei średnicę sięgającą tylko ok. 8 μm, oczywiste więc, że helisa DNA nie może w nim luźno zalegać. Dlatego nić DNA jest upakowana według określonego wzoru, co ułatwia przechowywanie materiału genetycznego w jądrze, regulację transkrypcji, a także podział DNA podczas mitozy i mejozy.

W jądrze komórkowym, helisa DNA nawinięta jest na osiem zasadowych białek histonowych (oktamer histonowy) tworząc strukturę zwaną nukleosomem. Nukleosomy połączone łącznikowym, niezwiązanym z histonami DNA tworzą nukleofilamenty (włókna nukleosomalne) o średnicy 11 nm. Na tym etapie następuje siedmiokrotne skrócenie DNA.

Spiralizujące nukleofilamenty dają początek solenoidowi o średnicy 30 nm (nazywanemu również włóknem chromatynowym), który skręcając się dalej, tworzy zrąb chromatyny – zwiniętą spiralę o średnicy 300 nm. W tej postaci skrócenie DNA jest już czterdziestokrotne.

Wyróżniamy dwa rodzaje chromatyny: zwartą i nieaktywną genetycznie **heterochromatynę**, która otacza jąderko i zalega pod błoną jądrową (kariolemmą), a także znajdującą się oprócz niej w kariolimfie, słabo skondensowaną, dostępną dla enzymów transkrypcyjnych **euchromatynę**, która jest aktywna genetycznie. Zawiera ona geny odczytywane w trakcie ekspresji informacji genetycznej. Podczas podziału komórkowego chromatyna ulega dalszemu zagęszczaniu i spiralizując, tworzy superhelisę o średnicy 700 nm. Superhelisa z kolei spiralizuje w chromosomy o średnicy 1400 nm.

Chromosomy

Chromosomy to struktury o najwyższym stopniu upakowania DNA, który staje się 10 tysięcy razy krótszy niż w postaci wyjściowej. Chromosomy powstają po to, by podczas kariokinezy rozdział DNA do jąder komórek potomnych był równy.

W cyklu życiowym komórki, przed jej podziałem, zachodzi replikacja DNA. Proces ten jest niezbędny do utrzymania stałej ilości materiału genetycznego w nowo powstających komórkach.

Dzięki poprzedzającej podział komórkowy replikacji tworzą się chromosomy składające się z dwóch identycznych części – chromatyd siostrzanych połączonych centromerem (przewężeniem pierwotnym). Najwyższy stopień kondensacji wykazują chromosomy metafazowe, czyli występujące w metafazie podziału komórkowego. Do centromeru przyłączają się włókna wrzeciona kariokinetycznego. Dzieje się to za sprawą leżących po obu stronach centromeru białkowych płytek – kinetochorów. Włókna wrzeciona umożliwiają przemieszczanie się chromosomów i chromatyd w metafazie i anafazie podziałów komórkowych.

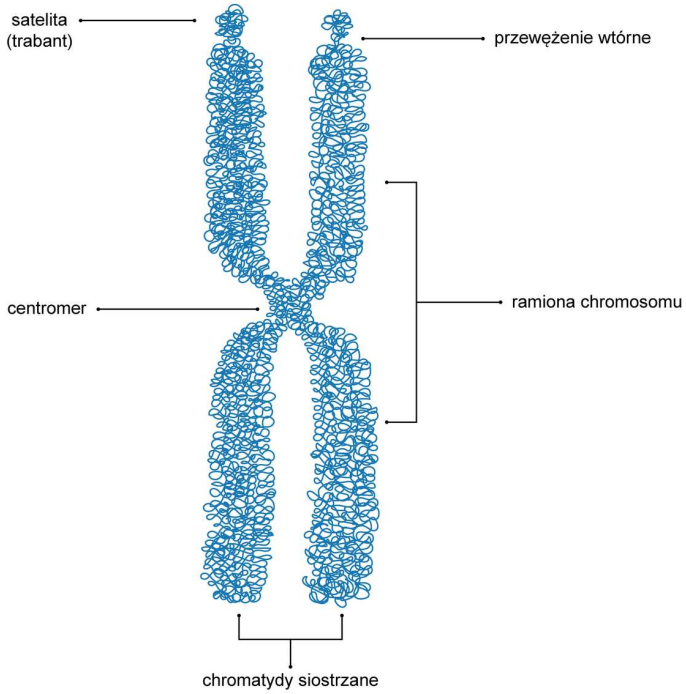
W zależności od lokalizacji centromeru możemy wyróżnić cztery rodzaje chromosomów:

Schemat typów morfologicznych chromosomów metafazowych.
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Struktura chromosomu.
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Niektóre chromosomy mają przewężenie wtórne (organizator jąderka), które oddziela szczytowy fragment ramienia zwany **satelitą**. Końcowe fragmenty chromatyd

stanowią telomery.



Budowa chromosomu metafazowego.

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

Słownik

centromer

(łac. *centrum* – środek, gr. *méros* – część) utrzymuje kontakt pomiędzy chromatydami siostrzanymi, aż do ich rozdzielenia podczas anafazy; w regionie centromeru znajduje się kinetochor (struktura umożliwiająca połączenie chromatydy z mikrotubulami wchodzącymi w skład wrzeciona podziałowego)

chromatyna

(gr. *chrôma* – barwa) podstawowy składnik chromosomów, zbudowany z DNA i białek histonowych; wyróżnia się dwa podstawowe formy chromatyny: heterochromatynę (silnie skondensowana, nie ulega transkrypcji) oraz euchromatynę (o luźniejszej strukturze umożliwiającej transkrypcję); łatwo ulega barwieniu, stąd jej nazwa

chromosom metafazowy

najbardziej skondensowana forma chromosomu, widoczna w metafazie podziału komórkowego

histon

(gr. *histós* – tkanka) białko zasadowe występujące w jądrach komórkowych roślin i zwierząt, w kompleksie z DNA zwanym chromatyną; duża zawartość dodatnio naładowanych grup aminowych histonów neutralizuje oddziaływania ujemnie naładowanych grup fosforanowych DNA; daje to możliwość owinięcia się cząsteczek DNA wokół białek histonowych i upakowania długich nici DNA

nukleosom

podstawowa podjednostka organizacji eukariotycznej chromatyny; tworzy ją odcinek DNA o długości ok. 200 par zasad oplatający ciasno kompleks ośmiu cząsteczek zasadowych białek histonowych (oktamer)

replikacja DNA

proces biosyntezy DNA, w którego wyniku z jednej dwuniciowej cząsteczki DNA powstają dwie dwuniciowe cząsteczki DNA identyczne pod względem sekwencji nukleotydów

solenoid

włókno chromatynowe; trzeci stopień upakowania chromatyny, powstający przez spiralizację nukleofilamentu z utworzeniem skręconego włókna o średnicy 30 nm

telomery

(gr. *télos* – koniec, *méros* – część) końce chromosomów eukariotycznych; zawierają krótkie, wielokrotnie powtarzane sekwencje DNA i charakterystyczne dla telomerów białka; są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania chromosomów w trakcie cyklu komórkowego; pełnią funkcję stabilizującą i zabezpieczającą DNA podczas podziałów komórkowych

transkrypcja

(łac. *transcriptio* – przepisywanie) proces syntezy RNA, podczas którego na matrycy DNA syntetyzowana jest komplementarna nić mRNA

wrzeciono podziałowe

wrzeciono kariokinetyczne; struktura powstająca podczas kariokinezy (mitoza, mejoza), zbudowana z mikrotubul; umożliwia precyzyjny podział materiału genetycznego między komórki potomne

Symulacja interaktywna

Symulacja 1

Klikając w chromosom, przeprowadź symulację, aby uzyskać więcej informacji na temat chromosomów metafazowych.

Zasób interaktywny dostępny pod adresem https://zpe.gov.pl/a/DDVOfGTyy

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

Polecenie 1

Przeanalizuj symulację interaktywną i wyjaśnij, dlaczego DNA w komórce jest ściśle upakowane.

Polecenie 2

Wyjaśnij rolę białek histonowych w upakowaniu DNA.

Polecenie 3

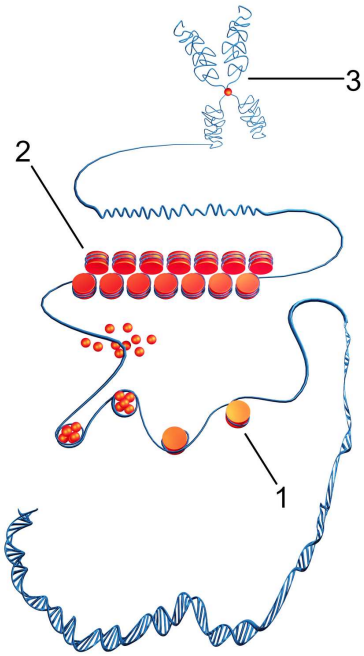
Wyjaśnij, w jakiej postaci występuje DNA jądrowe w komórce, która nie przechodzi podziału komórkowego.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Na zdjęciu numerem 1 oznaczono strukturę zbudowaną z odcinka DNA o długości 140 par zasad powiązanego z ośmioma białkami histonowymi (oktamerem histonowym).



Upakowanie DNA.

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

Spośród poniższych wybierz poprawną nazwę danej struktury.

- solenoid
- chromatyna
- nukleosom
- nukleoid

Ćwiczenie 2

Rozmieszczenie heterochromatyny i euchromatyny w interfazowym jądrze komórkowym człowieka różni się w zależności od tego, z jaką komórką somatyczną mamy do czynienia. Wspólną cechą jest jednak to, że w okolicach porów jądrowych dominują rejony chromatyny upakowanej luźno.

Na podstawie: Sebastian P. Sacharowski i Tomasz J. Sarnowski, *Postępy Biochemii*, 2018.

Zaznacz zdania, które opisują prawdopodobne przyczyny takiego rozlokowania euchromatyny w jądrze komórkowym ludzkiej komórki somatycznej.

- Obecność euchromatyny w okolicach porów jądrowych ułatwia eksport powstających w tych rejonach jądra komórkowego cząsteczek RNA do cytoplazmy.
- Przez pory jądrowe wnikają do jądra komórkowego substancje powodujące dekondensację chromatyny.
- Przez pory jądrowe docierają do euchromatyny z cytoplazmy czynniki transkrypcyjne i enzymy niezbędne do transkrypcji.
- Kontakt z otoczką jądrową jest czynnikiem sprzyjającym kondensacji chromatyny, stąd w okolicach porów jądrowych występuje euchromatyna.

Ćwiczenie 3

Uszereguj stopnie organizacji materiału genetycznego w kolejności od struktury najprostszej do najbardziej złożonej.

- solenoid (włókno chromatynowe)
- nukleosom
- DNA
- nukleofilament (włókno nukleosomowe)
- chromosom metafazowy
- chromatyna interfazowa

Informacja do ćwiczeń 4 i 5

> Kod histonowy to hipoteza poparta coraz to liczniejszymi dowodami. Sugeruje ona, że modyfikacje chemiczne białek histonowych powodują konkretne zmiany w kondensacji chromatyny i co za tym idzie – w ekspresji genów. Najczęściej występujące modyfikacje histonów to: acetylacja, metylacja, fosforylacja, ubikwitynacja czy biotynylacja. Acetylacja polega na przyłączeniu grupy acetylowej do konkretnego białka histonowego przez jedną z acetylotransferaz histonowych. Deacetylację przeprowadzają deacetylazy. Acetylacja histonów wiąże się zawsze z promowaniem transkrypcji, podczas gdy reszta wymienionych modyfikacji chemicznych może transkrypcję aktywować lub dezaktywować. Modyfikacje chemiczne histonów zachodzą z największą intensywnością w czasie różnicowania się komórek macierzystych w funkcjonalne komórki somatyczne, np. komórki nerwowe. Istnieją badania potwierdzające wpływ długotrwałego zażywania narkotyków i alkoholu na zmianę kodu histonowego neuronów.

Na podstawie: H.D Kim i wsp., *Drug Addiction and Histone Code Alterations, Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2017.

Ćwiczenie 4

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy określ prawdziwość poniższych zdań.

	Prawda	Fałsz
Modyfikacje chemiczne białek histonowych wpływają na sekwencję nukleotydów w DNA, a w konsekwencji na strukturę pierwszorzędową kodowanych przez nie białek.	☐	☐
Konsekwencją fosforylacji białek histonowych może być zarówno kondensacja, jak i dekondensacja chromatyny.	☐	☐
W chromosomach histony występują w formie zdeacetylowanej.	☐	☐
Acetylacja histonów prowadzi do aktywacji transkrypcji, ponieważ acetylowane histony pełnią funkcję polimerazy RNA.	☐	☐

Ćwiczenie 5

Na podstawie tekstu i własnej wiedzy z poniższych zdań wybierz to, które poprawnie opisuje ekspresję genów w komórkach macierzystych.

- Podczas różnicowania komórek macierzystych w neurony dochodzi wyłącznie do takich modyfikacji chemicznych, które promują ekspresję genów. Nukleosomy w komórce nerwowej znajdują się więc bliżej siebie niż w przypadku komórek macierzystych.
- Podczas różnicowania komórek macierzystych w neurony dochodzi wyłącznie do takich modyfikacji chemicznych, które promują ekspresję genów. Nukleosomy w komórce nerwowej znajdują się więc dalej od siebie niż w przypadku komórek macierzystych.
- Podczas różnicowania komórek macierzystych w neurony dochodzi do takich modyfikacji chemicznych, które promują i hamują ekspresję różnych genów. Nukleosomy fragmentów DNA ulegających transkrypcji znajdują się w komórce nerwowej bliżej siebie niż te z nawiniętym DNA nieulegającym transkrypcji.
- Podczas różnicowania komórek macierzystych w neurony dochodzi do takich modyfikacji chemicznych, które promują i hamują ekspresję różnych genów. Nukleosomy fragmentów DNA ulegających transkrypcji znajdują się w komórce nerwowej dalej od siebie niż te z nawiniętym DNA nieulegającym transkrypcji.

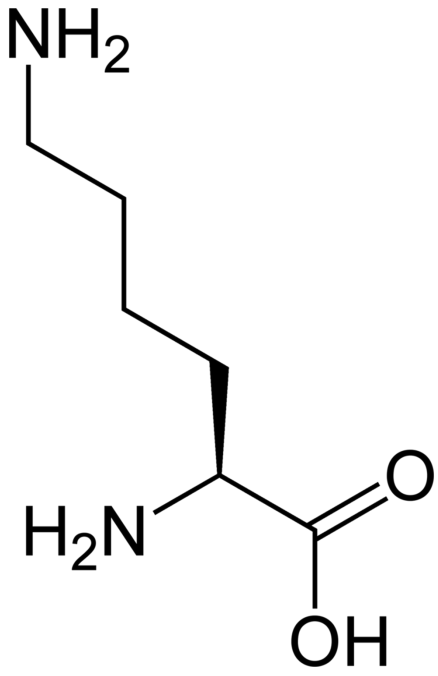
Ćwiczenie 6

Histony to niewielkie białka bogate w lizynę i argininę występujące w jądrach komórkowych organizmów eukariotycznych i u archeonów. W połączeniu z DNA tworzą nukleoproteiny obojętne zarówno pod względem pH jak i ładunku elektrycznego.

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy uzupełnij poniższy tekst właściwymi określeniami.

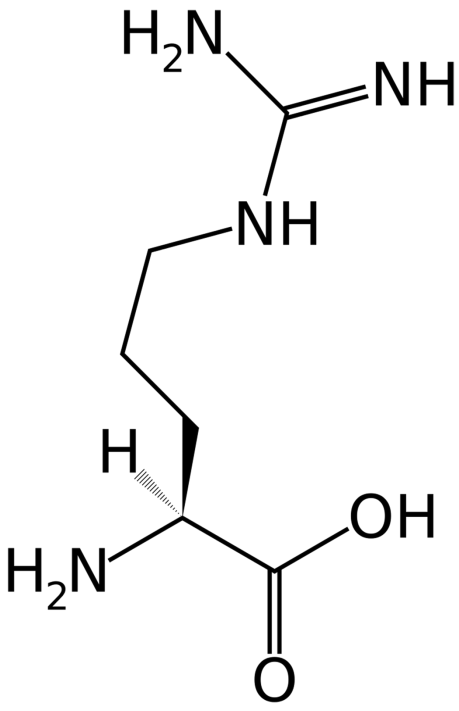
DNA ma ładunek dodatni ujemny. Wynika on z obecności w budowie tego kwasu reszt kwasu ortofosforowego zasad azotowych. Podczas elektroforezy cząsteczki DNA przemieszczają się więc w kierunku elektrody dodatniej ujemnej. Ładunek DNA zostaje zrównoważony dzięki dodatnio ujemnie naładowanym resztom aminokwasów obecnych w białkach histonowych.

Ćwiczenie 7



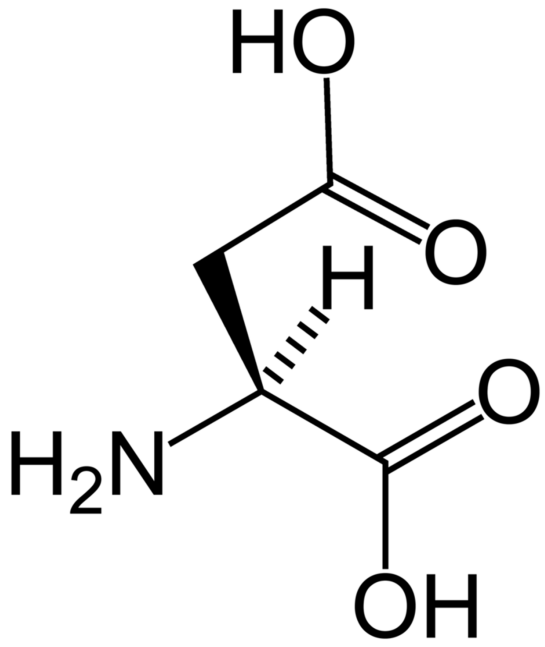
Lizyna.

Źródło: Benjah-bmm27, Wikimedia Commons, domena publiczna.



Arginina.

Źródło: Arrowsmaster, Wikimedia Commons, domena publiczna.



Kwas asparaginowy.

Źródło: Benjah-bmm27, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Powyżej przedstawiono wzory niektórych aminokwasów budujących białka. Są to kolejno: lizyna, arginina oraz kwas asparaginowy. Aminokwasy takie jak kwas glutaminowy czy kwas asparaginowy charakteryzują się niskim punktem izoelektryczny, a ich roztwory – niskim pH. Dzieje się tak z powodu wysokiego stosunku kwasowych grup (-COOH) do grup zasadowych (-NH i $-NH_2$) w cząsteczkach tych aminokwasów.

Na podstawie tekstu do ćwiczenia 6 oraz powyższych informacji wyjaśnij, dlaczego kompleksy histonów z DNA (nukleoproteiny) są obojętne pod względem pH. W odpowiedzi odnieś się zarówno do budowy histonów, jak i charakteru chemicznego DNA.

Ćwiczenie 8

Wszystkie somatyczne komórki ludzkiego organizmu (te, które zawierają jądro komórkowe) mają identyczny zestaw genów. Oznacza to na przykład, że w jądrze neuronu znajdują się geny odpowiedzialne za syntezę insuliny. W danej komórce somatycznej w określonym momencie ulega ekspresji niewielka część wszystkich jej genów. Co więcej, pod wpływem zmiany czynników zewnętrznych komórka somatyczna może rozpocząć produkcję nowego (zmienionego) zestawu białek.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Od chromatyny do chromosomu

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

1) przedstawia organizację materiału genetycznego w jądrze komórkowym;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

1) przedstawia organizację materiału genetycznego w komórce;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

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

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Przeanalizujesz budowę chromosomów.
- Opiszesz sposób upakowania DNA i jego znaczenie.
- Wskażesz na schemacie elementy budowy chromosomów.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- burza mózgów;
- symulacja;
- śniegowa kula;
- gra dydaktyczna.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;

- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj".

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie" cele zajęć. Prosi uczniów lub wybraną osobę o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. Nauczyciel prezentuje uczniom rozwinięte motki włóczki w różnych kolorach i prosi o podanie pomysłów, jak je zmieścić w słoiku w sposób uporządkowany. Następnie wyświetla dane dotyczące długości cząsteczek DNA oraz wielkości jądra komórkowego i wielkości komórek, w których DNA musi się zmieścić, i zadaje pytanie: „W jaki sposób możliwe jest upakowanie DNA w komórce, a dokładnie w jądrze komórkowym?".

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Nauczyciel wyświetla grafikę zamieszczoną w sekcji „Przeczytaj", przedstawiającą różne stopnie upakowania DNA, i wspólnie z uczniami analizuje ją, na podstawie treści przeczytanych w ramach przygotowania do lekcji.
2. **Praca z e-materiałem – kula śniegowa.** Uczniowie zapoznają się z symulacją interaktywną udostępnioną przez nauczyciela. Następnie nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:
   – Jaką rolę odgrywają białka histonowe w upakowaniu DNA?
   – W jakiej postaci występuje DNA jądrowe w niedzielącej się komórce?
   – Jak jest zbudowany chromosom?
   Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy

pracy:
1) Najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi na zadane pytania.
2) Potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi.
3) Kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi.
4) Na koniec uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje.
Zespół, który jest gotowy, zgłasza się i przedstawia rezultaty swojej pracy. Pozostali uczniowie wraz z nauczycielem weryfikują poprawność odpowiedzi.

3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy. Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się", od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się…", „Zrozumiałem/zrozumiałam, że…", „Zaskoczyło mnie…", „Dowiedziałem/dowiedziałam się...".
2. Na koniec zajęć nauczyciel raz jeszcze wyświetla na tablicy interaktywnej lub przy użyciu rzutnika temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie", w tym kontekście podsumowuje pracę uczniów na zajęciach.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia nr 7 i 8 z sekcji „Sprawdź się".

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella", tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.

- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania symulacji interaktywnej:

- Uczniowie mogą przed lekcją zapoznać się z symulacją interaktywną, aby aktywnie uczestniczyć w zajęciach i pogłębić swoją wiedzę.