



## Prawo niezależnego dziedziczenia cech

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Prawo niezależnego dziedziczenia cech

Gregor Mendel prowadził badania na grochu zwyczajnym (*Pisum sativum*).  
Źródło: Unsplash, domena publiczna.

Pierwsze badania prowadzące do odkrycia podstawowych reguł dziedziczności zawdzięczamy czeskiemu przyrodnikowi i filozofowi Gregorowi Johannowi Mendlowi (1822–1884). Ten zakonnik z Brna w przyklasztornym ogrodzie prowadził doświadczenia nad mieszańcami roślin, głównie grochu zwyczajnego. Poznane reguły dziedziczności sformułował w postaci praw nazywanych dziś prawami Mendla. Badania Mendla nie zostały docenione przez współczesnych mu przyrodników, a powrócono do nich dopiero na początku XX w. Stąd w brzmieniu sformułowanych przez niego praw pojawiają się terminy samemu Mendlowi jeszcze nieznanym, np. gen, allel.

### Twoje cele

- Przedstawisz II prawo Mendla.
- Wyjaśnisz, na czym polega losowość i niezależność dziedziczenia cech.
- Wskażesz konsekwencje badań Mendla dla świata nauki.

# Przeczytaj

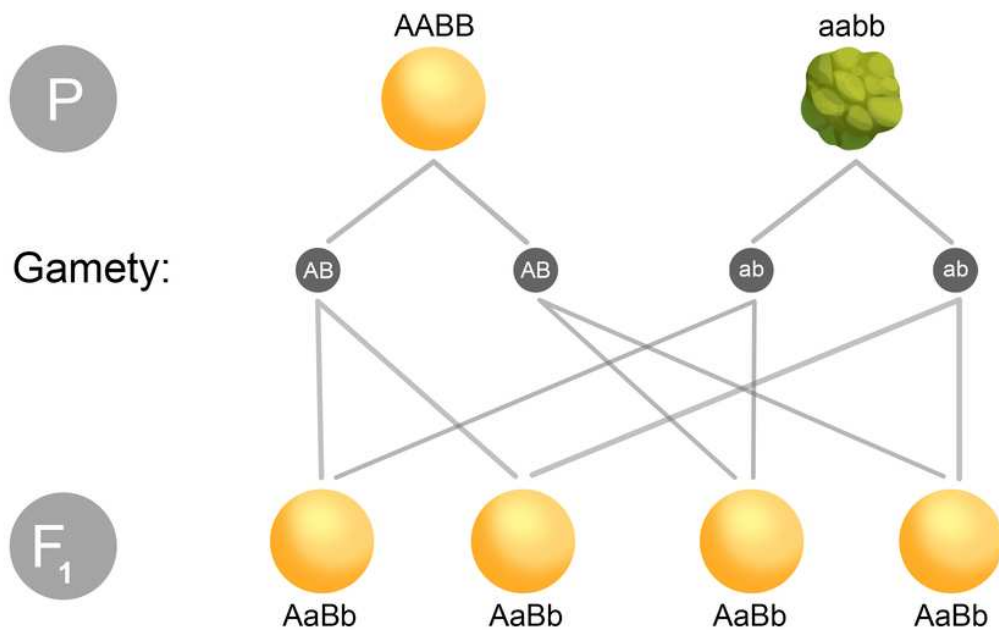
---

Gregor Mendel zajmował się hodowlą roślin, a jego wieloletnie obserwacje zapoczątkowały rozwój jednej z dziedzin biologii – genetyki. Przyrodnik ten krzyżował ze sobą różne odmiany grochu zwyczajnego (*Pisum sativum*) i obserwował, jakie cechy pokolenia rodzicielskiego pojawiają się u roślin potomnych. Na podstawie tych obserwacji zostały sformułowane tzw. reguły dziedziczenia cech (genów): [pierwsze prawo Mendla](#) – inaczej prawo czystości gamet lub prawo segregacji dziedziczenia pojedynczych cech – oraz drugie prawo Mendla – prawo niezależnej segregacji cech ([alleli](#)).



Kwiaty grochu zwyczajnego (*Pisum sativum*).  
Źródło: Rasbak, wikipedia.org, licencja: CC BY-SA 3.0.

Badania Gregora Mendla dotyczyły nie tylko sposobu dziedziczenia pojedynczych cech. Krzyżował on ze sobą także odmiany grochu zwyczajnego różniące się dwiema cechami – barwą nasion oraz rodzajem ich powierzchni. Taki rodzaj krzyżówki nazywamy krzyżówką dwugenową. Dla celów badawczych Mendel wyhodował linie czyste (homozygotyczne pod względem obu cech). Po skrzyżowaniu tych czystych odmian okazów rodzicielskich (P) – homozygoty dominującej AABB o nasionach żółtych i gładkich z homozygotą recesywną aabb o nasionach zielonych pomarszczonych – otrzymał jednolite fenotypowo pokolenie pierwsze (F1) o nasionach żółtych i gładkich. Osobniki te były [podwójnymi heterozygotami](#) AaBb.



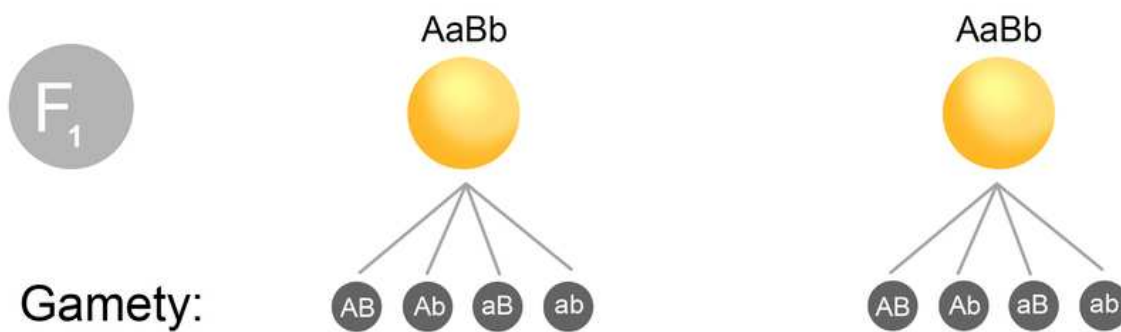
Po skrzyżowaniu dwóch czystych odmian rodzicielskich (podwójna homozygota dominująca z podwójną homozygotą recesywną) w pokoleniu  $F_1$  otrzymano 100% podwójnych heterozygot.

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

## Stosunek fenotypów

W przypadku gdy dwie pary genów warunkujących dwie cechy leżą w różnych chromosomach, podwójna heterozygota wytwarza cztery rodzaje gamet. Allele obu par genów rozchodzą się do gamet na zasadzie losowej niezależnie od siebie. Zgodnie z prawem czystości gamet w jednej gamecie może znajdować się tylko jeden allel z danej pary genów. Podwójna heterozygota  $AaBb$  wytwarza zatem w równej liczbie gamety:  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$ ,  $ab$ .

<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
-----------	-----------	-----------	-----------



Każda podwójna heterozygota wytwarza cztery rodzaje gamet.

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

















Połączenie takich gamet powoduje powstanie aż dziewięciu różnych genotypów: **AABB, AABb, AAbb, aaBB, aaBb, aabb, AaBB, AaBb, Aabb**. Należy pamiętać, że liczba genotypów nie jest równa liczbie fenotypów. W eksperymencie opartym o obserwację sposobu dziedziczenia dwóch cech nasion Mendel otrzymał w wyniku krzyżowania osobników z pokolenia F<sub>1</sub> cztery różne fenotypy w pokoleniu F<sub>2</sub>.



Cztery fenotypy nasion uzyskane w pokoleniu F<sub>2</sub>.

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

Krzyżując ze sobą osobniki z pokolenia pierwszego (F<sub>1</sub>), czyli podwójne heterozygoty (AaBb), w pokoleniu drugim (F<sub>2</sub>) Mendel otrzymał rośliny wytwarzające różnorodne nasiona: gładkie żółte, gładkie zielone, pomarszczone żółte oraz pomarszczone zielone.

	<b>AB</b>	<b>Ab</b>	<b>aB</b>	<b>ab</b>
<b>AB</b>	AABB 	AABb 	AaBB 	AaBb 
<b>Ab</b>	AABb 	AAbb 	AaBb 	Aabb 
<b>aB</b>	AaBB 	AaBb 	aaBB 	aaBb 
<b>ab</b>	AaBb 	Aabb 	aaBb 	aabb 

Krzyżówka genetyczna ukazująca fenotypy i genotypy uzyskane w pokoleniu F<sub>2</sub>.

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

Najliczniejszą grupę stanowiły rośliny wydające nasiona żółte i gładkie. Znacznie mniej liczne (a przy tym równe pod względem liczby osobników) były grupy roślin o nasionach żółtych i pomarszczonych oraz o nasionach zielonych i gładkich. Najmniej osobników liczyła grupa o nasionach zielonych i pomarszczonych.

Otrzymany stosunek fenotypowy to 9:3:3:1:

- nasiona żółte i gładkie – 9;
- nasiona zielone i gładkie – 3;
- nasiona żółte i pomarszczone – 3;
- nasiona zielone i pomarszczone – 1.

Jeśli rozpatrzemy stosunek fenotypowy każdej cechy oddzielnie, zauważymy, że rozkład fenotypów jest taki sam, jaki otrzymujemy w krzyżówkach jednogenowych przy pełnej dominacji jednego z genów, a więc 3:1. Nasion żółtych mamy 12, a nasion zielonych 4 (12:4 = 3:1). Podobnie nasion gładkich mamy 12, a nasion pomarszczonych 4 (12:4 = 3:1). Oznacza to, że cechy te dziedziczą się niezależnie, ponieważ allele genów leżących w różnych chromosomach warunkujących różne cechy przechodzą do gamet

niezależnie od siebie, tzn. dziedziczą się na zasadzie losowej segregacji. Przedstawiona reguła nosi nazwę **II prawa Mendla**.

## II prawo Mendla a geny sprzężone

### Ważne!

II prawo Mendla odnosi się do cech warunkowanych przez geny leżące na różnych chromosomach. Jeśli dwa geny (lub więcej genów) leżą w tym samym chromosomie, to nazywane są genami sprzężonymi i dziedziczą się razem.

Jednak zdarzają się wyjątki w dziedziczeniu alleli genów sprzężonych. W wyniku [crossing-over](#) zachodzącego podczas mejozy (np. przy tworzeniu gamet u zwierząt i zarodników u roślin) powstają [rekombinanty](#) – organizmy z innymi kombinacjami alleli genów sprzężonych niż organizmy rodzicielskie. Im dalej od siebie są położone geny na chromosomie, tym częściej między nimi zachodzi crossing-over.

## Słownik

### allele

różne formy tego samego genu, zajmujące to samo miejsce w chromosomach, ale wywołujące odmienne wykształcenie się tej samej cechy

### crossing-over

proces polegający na wzajemnej wymianie odpowiadających sobie odcinków chromatyd chromosomów homologicznych. Rezultatem crossing-over jest przetasowanie genów pochodzenia matczynego i ojcowskiego, prowadzące do powstania nowych, przypadkowych kombinacji alleli w ramach jednego chromosomu. Crossing-over zachodzi w profazie I mejozy

### gameta

komórka rozrodcza męska lub żeńska o zredukowanej do połowy liczbie chromosomów w stosunku do innych komórek ciała

### **heterozygota**

organizm diploidalny (lub komórka diploidalna), w którego chromosomach znajdują się różne allele danego genu, np. Aa

### **homozygota**

organizm diploidalny (lub komórka diploidalna) w którego chromosomach znajdują się takie same allele danego genu, np. AA – homozygota dominująca, aa – homozygota recesywna

### **podwójna heterozygota**

organizm diploidalny (komórka diploidalna) mający dwa różne allele w obu parach różnych genów warunkujących różne cechy, np. AaBb

### **prawo czystości gamet (I prawo Mendla)**

allele poszczególnych genów wykluczają się wzajemnie w gametach – do każdej gamety przechodzi tylko jeden allel danej pary genów

### **rekombinanty**

osobniki o innym układzie alleli niż u osobnika rodzicielskiego

# Film samouczek

---

## Polecenie 1

# Wystąpił błąd

## Prawo niezależnego dziedziczenia cech

Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RzRrmaKEtxwy7](#)

Prawo niezależnego dziedziczenia cech.

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

Film nawiązujący do treści materiału - dotyczy prawa niezależnego dziedziczenia cech badanego przez Grzegorza Mendla.

---

## Polecenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



## Tekst do ćwiczeń 7 i 8

Mukowiscydoza to jedna z najczęstszych chorób genetycznych występujących ludzi. Szacuje się, że jej częstość wynosi 1 na 2500 żywych urodzeń. Główną jej przyczyną jest mutacja genu CFTR na chromosomie 7, który koduje błonowe kanały chlorkowe. Choroba ta jest dziedziczona w sposób autosomalny recesywny. Innym, znacznie rzadszym schorzeniem również dziedziczonym w ten sposób jest tzw. skóra pergaminowa. Gen biorący udział w jego powstawaniu znajduje się na chromosomie 9, a jego najważniejszym skutkiem jest nieodwracalne uszkodzenie DNA komórek skóry pod wpływem działania promieni UV.

## Ćwiczenie 7



Państwo Kowalscy chcieli zacząć starania o potomstwo. Obydwoje postanowili poddać się badaniom genetycznym z powodu występowania u ich krewnych obu chorób genetycznych opisanych w powyższym tekście. W badaniach okazało się, że kobieta jest nosicielką mutacji charakterystycznej dla mukowiscydozy, natomiast mężczyzna jest nosicielem mutacji zarówno dla mukowiscydozy, jak i dla skóry pergaminowej.

## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** biologia

**Temat: Prawo niezależnego dziedziczenia cech**

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

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VII. Genetyka klasyczna.

1. Dziedziczenie cech. Uczeń:

1) przedstawia znaczenie badań Mendla w odkryciu podstawowych praw dziedziczenia cech;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIV. Genetyka klasyczna.

1. Dziedziczenie cech. Uczeń:

2) przedstawia znaczenie badań Mendla w odkryciu podstawowych praw dziedziczenia cech;

**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):**

- Przedstawisz II prawo Mendla.
- Wyjaśnisz, na czym polega losowość i niezależność dziedziczenia cech.

- Wskażesz konsekwencje badań Mendla dla świata nauki.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

### **Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- 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.

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Prawo niezależnego dziedziczenia cech”. Prosi uczestników zajęć o zapoznanie się z multimedium w sekcji „Film samouczek”, tak aby podczas lekcji mogli w niej aktywnie uczestniczyć i rozwiązywać zadania.

### **Przebieg lekcji**

#### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy lub za pomocą rzutnika zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel, przy użyciu dostępnego w panelu użytkownika raportu, weryfikuje przygotowanie uczniów do lekcji: sprawdza, którzy uczestnicy zajęć zapoznali się z udostępnionym e-materiałem. Nauczyciel poleca uczniom, aby zgłaszali swoje propozycje pytań do wspomnianego tematu. Jedna osoba może zapisywać je na tablicy. Gdy uczniowie wyczerpią swoje

pomysły, a pozostały jeszcze jakieś ważne kwestie do poruszenia, nauczyciel uzupełnia informacje.

### **Faza realizacyjna:**

- 1. Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na pytania zapisane na tablicy we wstępnej fazie lekcji. 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.
- 2. Praca z multimediami („Film samouczek”).** Nauczyciel prosi wybranego ucznia, aby przeczytał polecenie nr 2. Poleca uczniom, aby podzielili się na grupy i opracowali w nich odpowiedzi. Po ustalonym wcześniej czasie przedstawiciel wskazanej (lub zgłaszającej się na ochotnika) grupy prezentuje propozycję odpowiedzi, a pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia ją lub koryguje.
- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel przechodzi do sekcji „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują indywidualnie ćwiczenia interaktywne nr 7 i 8, a następnie porównują swoje odpowiedzi z kolegą lub koleżanką.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy. Każda z nich losuje po trzy zagadnienia (zob. materiały pomocnicze). Grę zaczyna grupa A. Pozostałe grupy zadają pytania, próbując odgadnąć, jakie zagadnienie wylosowała grupa A. Grupa A może odpowiadać na te pytania „tak” lub „nie”. Grupa, która odgadnie wylosowane zagadnienie, otrzymuje 1 pkt. Następnie pytania kierowane są kolejno do pozostałych grup. Wygrywa ta grupa, która zdobędzie najwięcej punktów.
2. Chętni uczniowie podsumowują wiedzę zdobytą na zajęciach.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 6 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.

Załącznik 1. Zagadnienia do losowania

Plik o rozmiarze 171.87 KB w języku polskim

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu samouczka:**

Film samouczek można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.