



**dr inż. Magdalena Budnarowska**



[m.budnarowska@we.umg.edu.pl](mailto:m.budnarowska@we.umg.edu.pl)

Teams: Magdalena Budnarowska

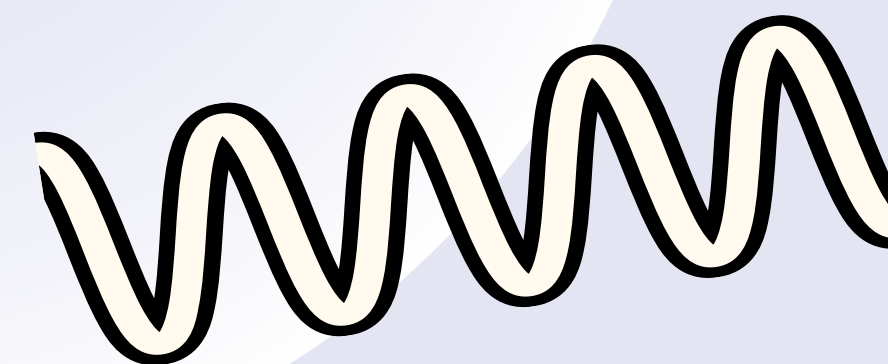
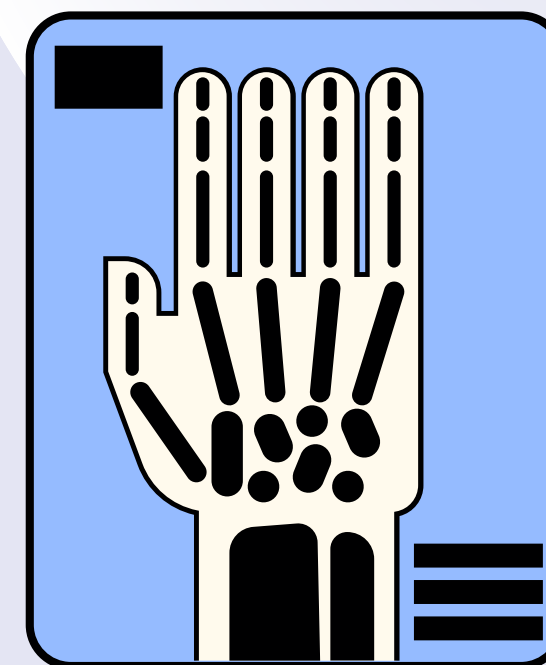
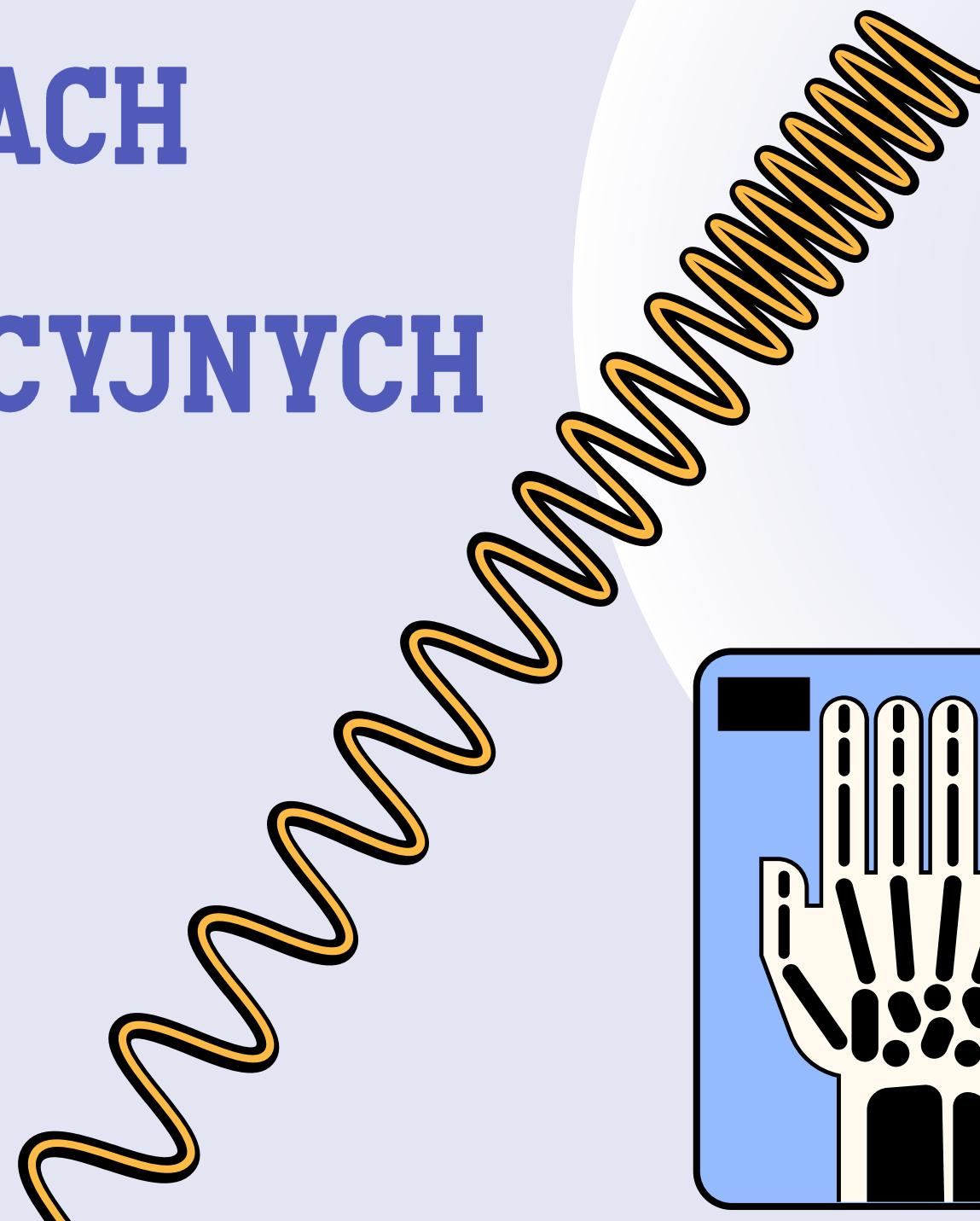
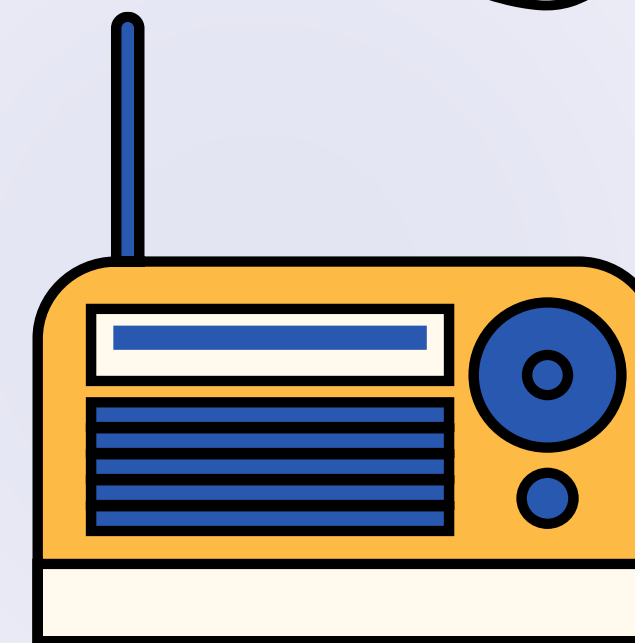
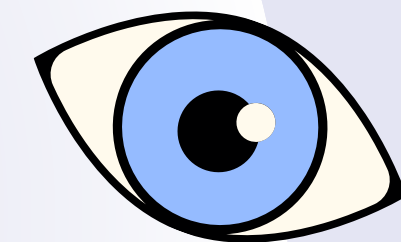
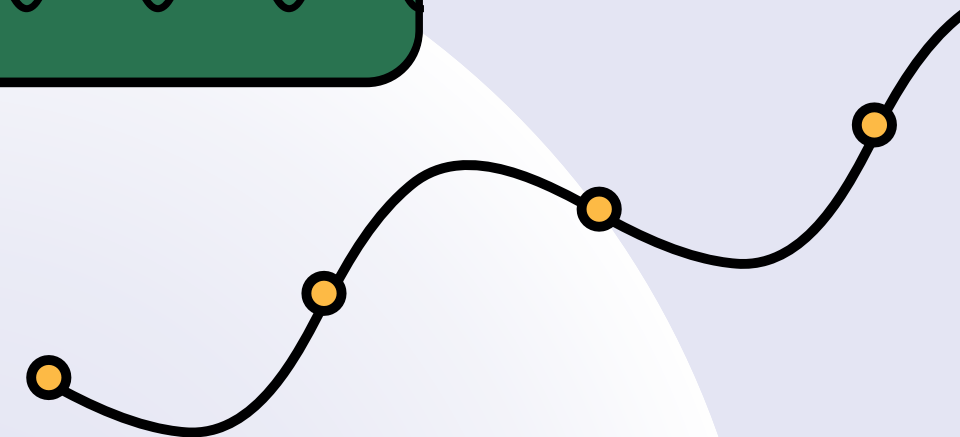
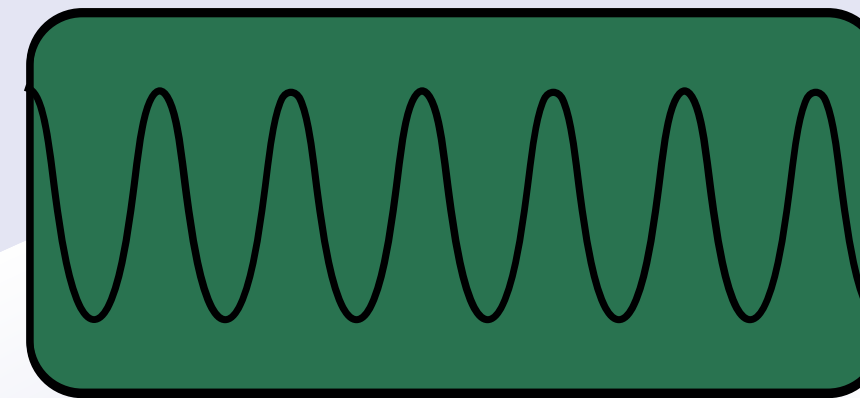
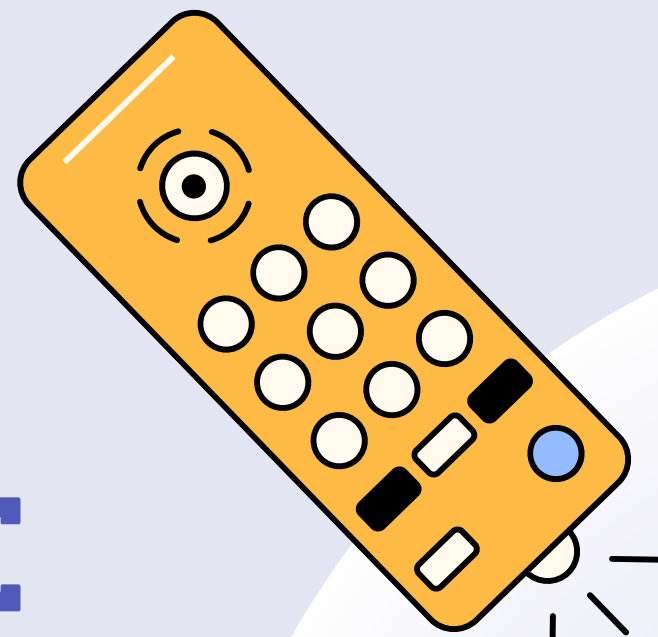
Discord: magdalenabudnarowska

**Ochrona elektroniki  
przed atakami  
elektromagnetycznymi**

**Skuteczność  
ekranowania wnętrza  
metalowych obudów  
z otworami**

**Metamateriały  
jako absorbery  
promieniowania EM**

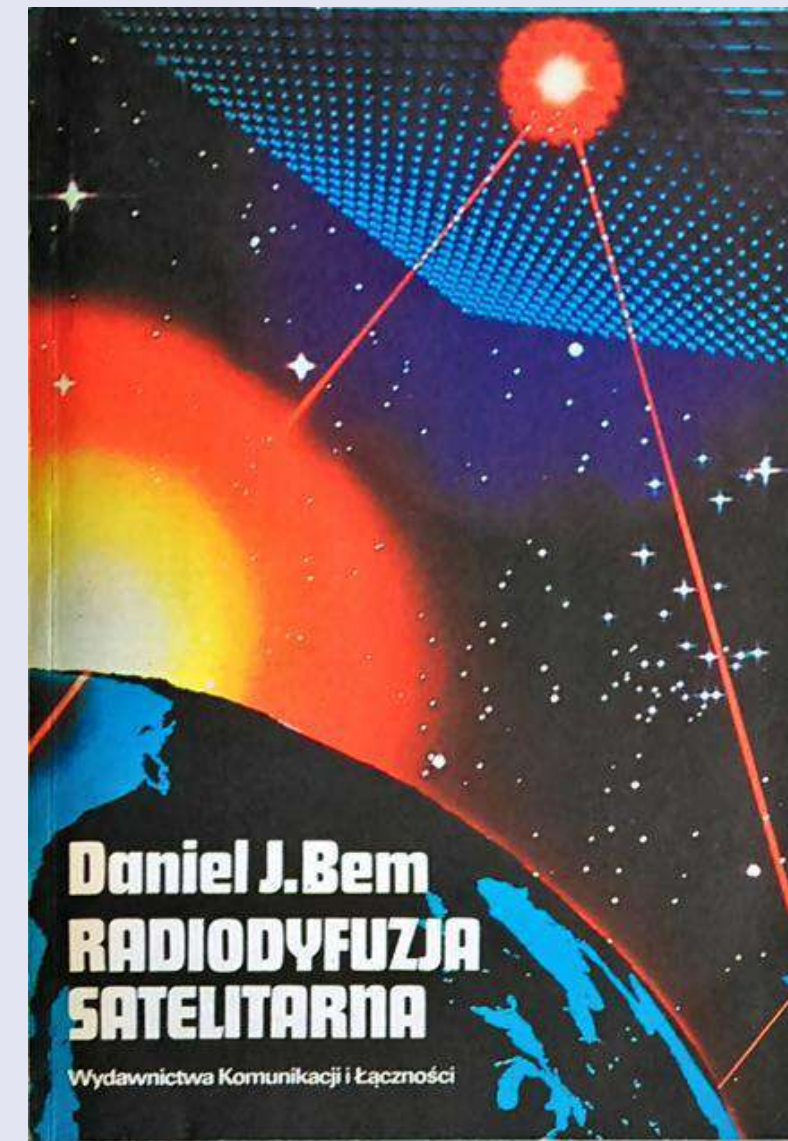
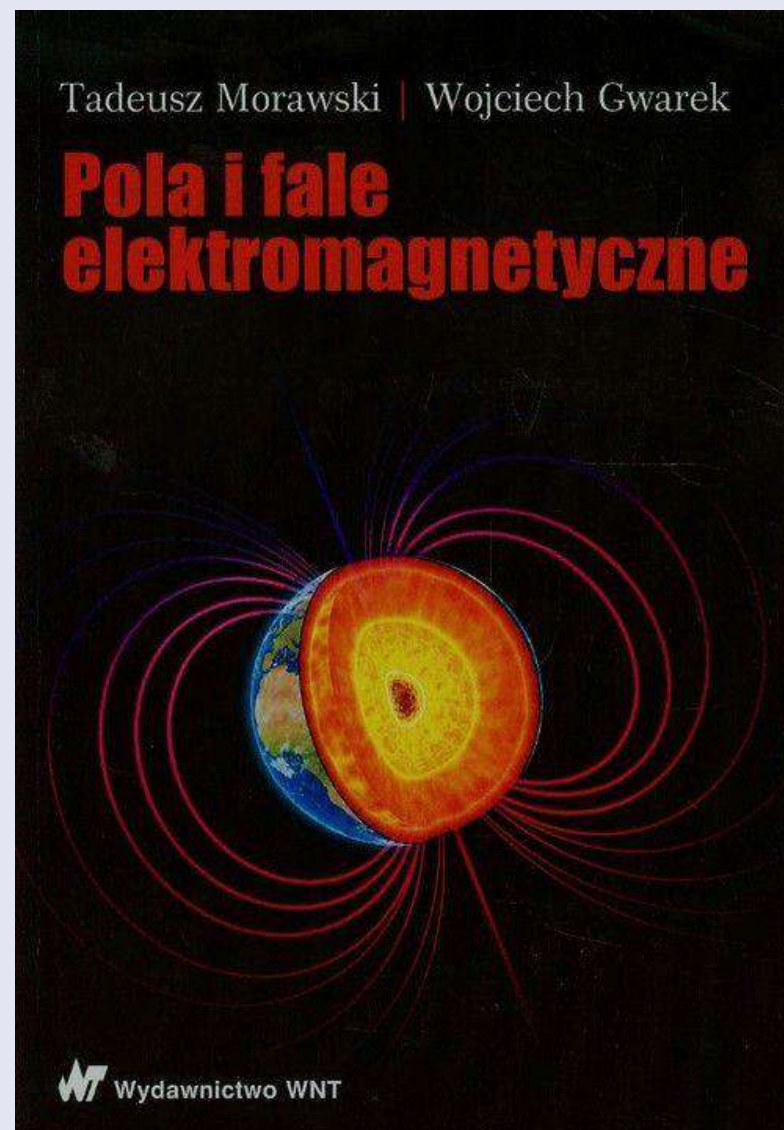
# UKŁADY MIKROFALOWE W SYSTEMACH RADIOKOMUNIKACYJNYCH

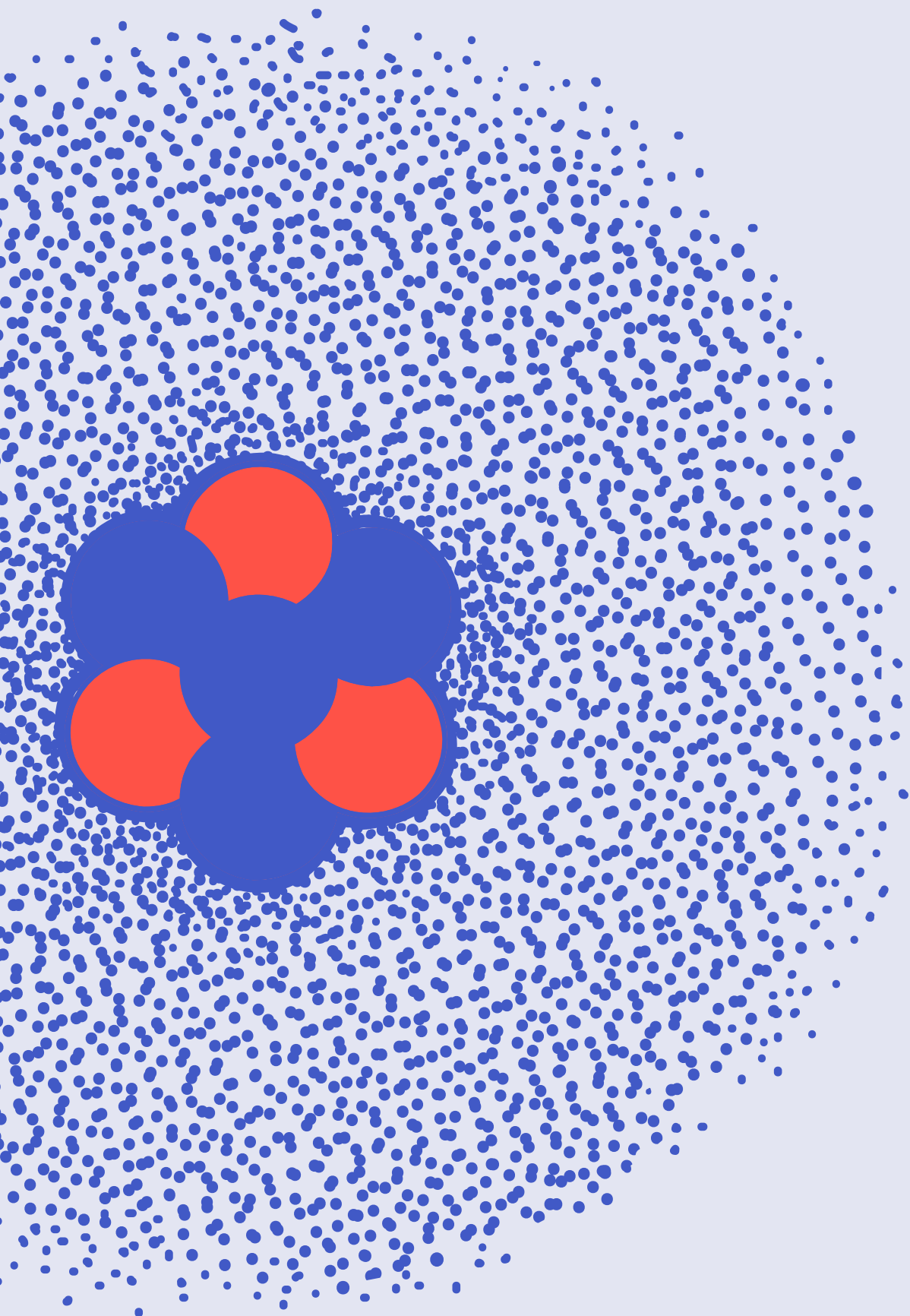


## Literatura do przedmiotu UMwSR

1. J. A. Dobrowolski, Technika wielkich częstotliwości, Oficyna Wyd. P. W. , Warszawa 2001
2. T. Morawski, W. Gwarek, Pola i fale elektromagnetyczne, WNT, Warszawa 1998
3. R. Litwin, M. Suski, Technika mikrofalowa, WNT Warszawa 1972
4. W. Czarczyński, Podstawy techniki mikrofalowej, Wyd. P. Wrocław 2003
5. J. Thuery, Microwaves, Industrial, Scientific and Medical Applications, Artech House Boston 1992
6. D. J. Bem, Radiodyfuzja satelitarna, WKiŁ, Warszawa 1990
7. J. Chramiec, Liniowe Elementy i Układy Mikrofalowe, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia, 2010.

**Pozycje 1-4 zawierają ogólne wiadomości z zakresu UmwSR**





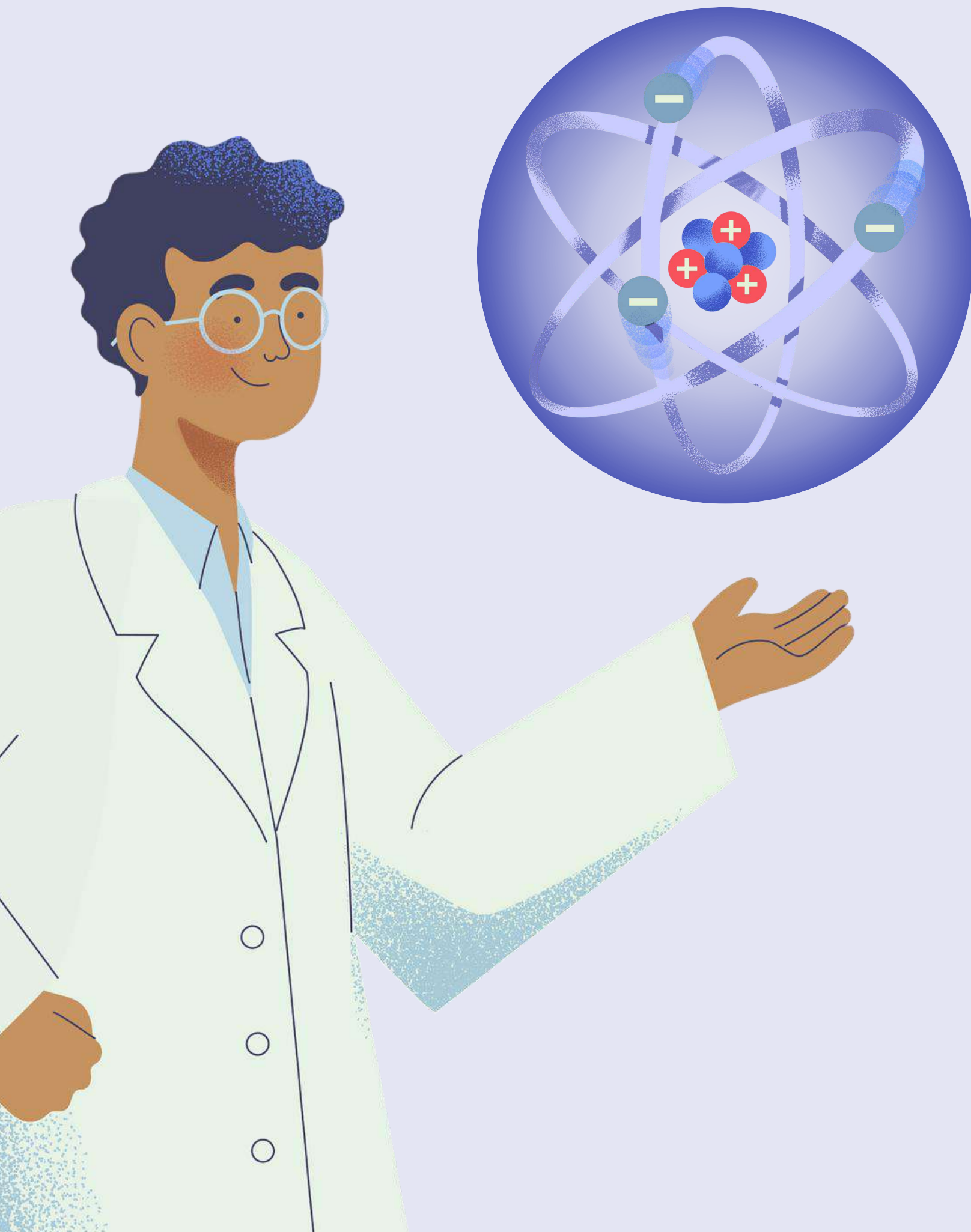
# PLAN PRZEDMIOTU

- 01** Zasady zaliczenia przedmiotu.
- 02** Wstęp do techniki mikrofalowej w radiokomunikacji.
- 03** Linie transmisyjne w technice mikrofalowej.
- 04** Pasywne elementy mikrofalowe.
- 05** Anteny mikrofalowe. Szyki anten.
- 06** Integracja anten z torami RF.
- 07** Wykres Smitha i dopasowanie linii transmisyjnych.
- 08** Egzamin.

# 01 Zasady zaliczenia przedmiotu

## Egzamin:

- Termin 0:** Egzamin ustny z puli 60 pytań podzielonych na 3 poziomy trudności. Każdy student losuje 3 pytania (po jednym pytaniu z każdego poziomu trudności).  
Pula pytań jest znana (dostępna od 10 marca na: [mbudnarowska.com.pl](http://mbudnarowska.com.pl))
- Termin 1:** Egzamin pisemny z całego materiału obejmującego wykład (brak puli pytań)
- Termin 2 (poprawkowy):** Egzamin pisemny z całego materiału obejmującego wykład

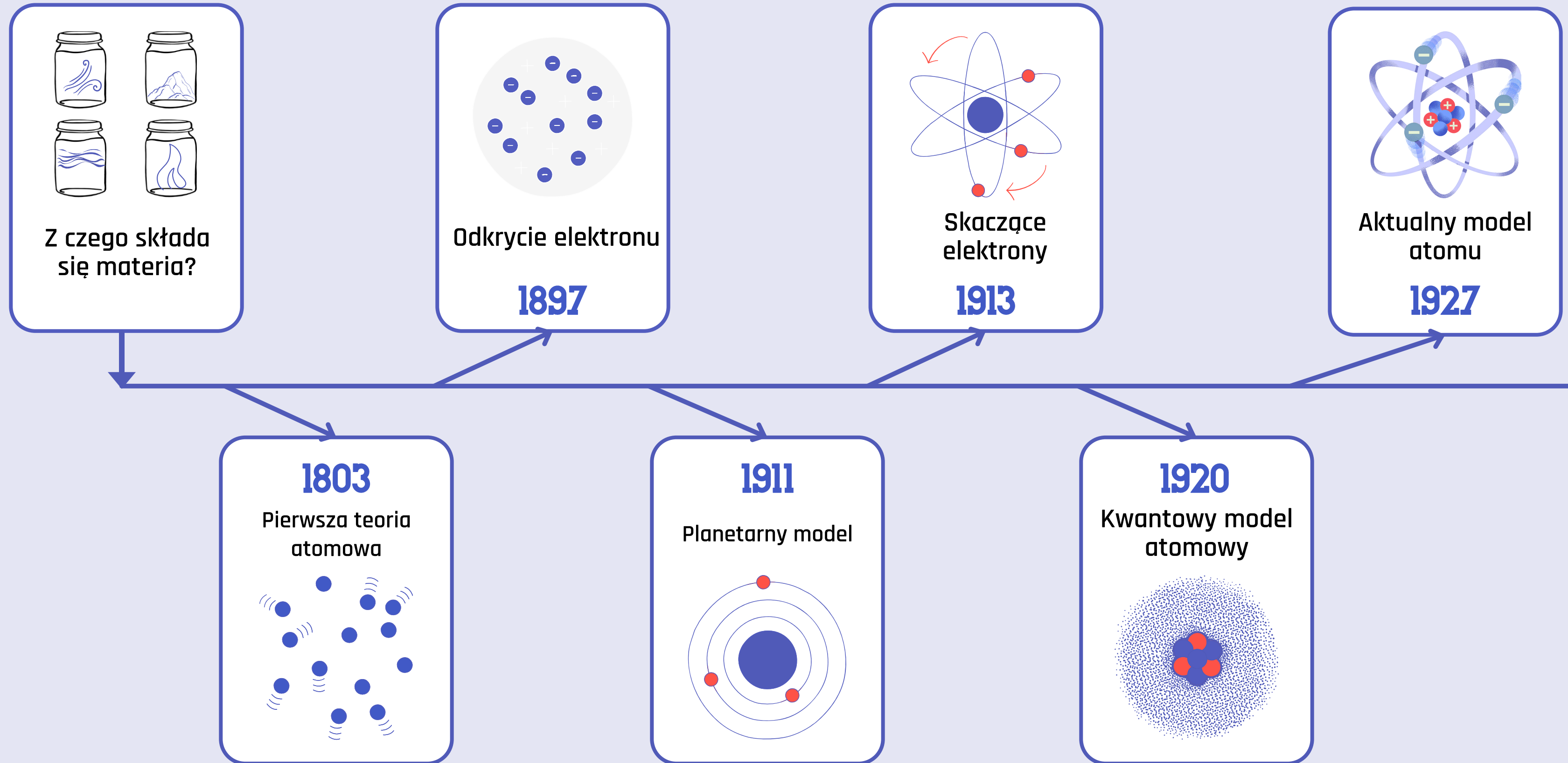


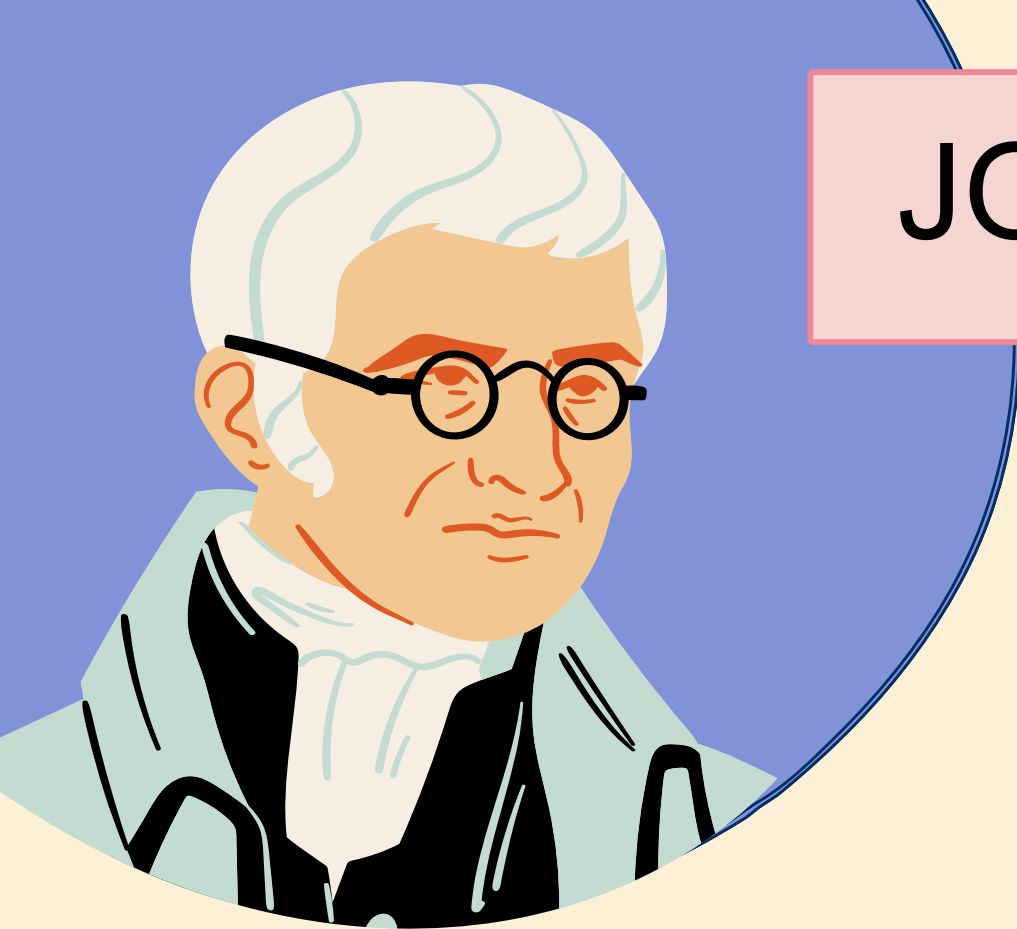
# WSTĘP

Odkrycie i zrozumienie struktury atomu zrewolucjonizowało nasze rozumienie materii.

W całej historii naukowcy badali i udoskonalali model atomowy, umożliwiając nam zrozumienie, w jaki sposób elementy atomu wpływają na zachowanie i właściwości otaczającej nas materii.

# MODELE ATOMU





# JOHN DALTON

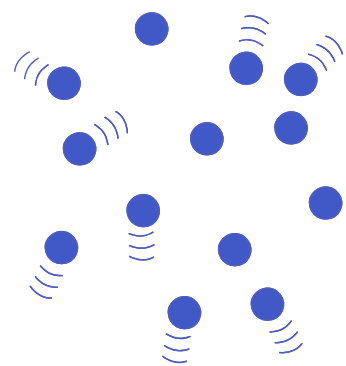
1766 - 1844

- Przejście od idei filozoficznych do teorii naukowej
- Pierwszy model atomowy oparty na dowodach eksperymentalnych i obserwacjach ilościowych
- Utorował drogę do rozwoju współczesnych teorii atomowych

- Zgodnie z tą teorią atomy są małymi kulkami, których nie można złamać i wszystkie są wykonane z tego samego materiału.
- Teoria ta pomogła wyjaśnić, w jaki sposób różne chemikalia mieszają się ze sobą i co je wyróżnia.

**1803**

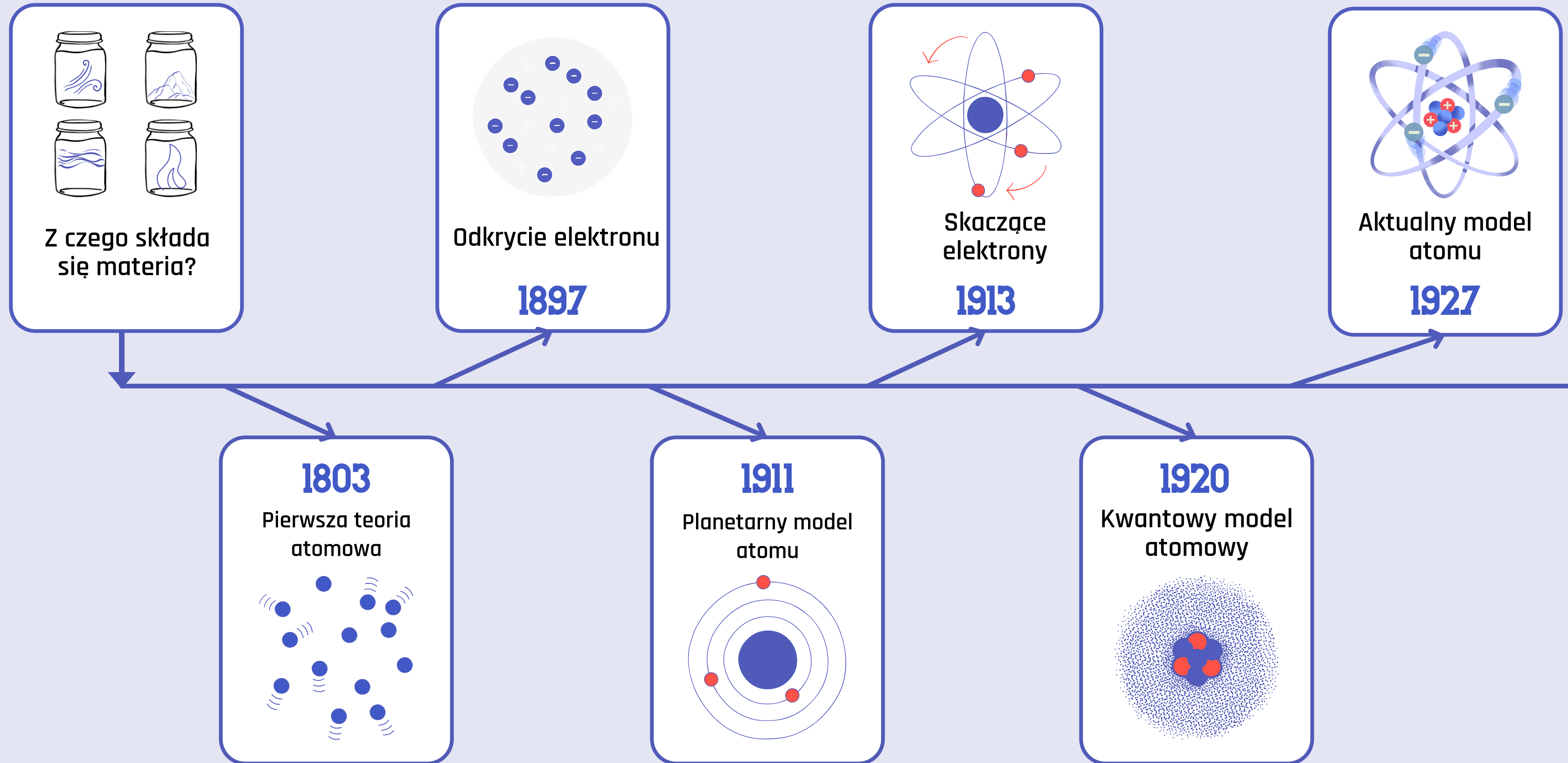
Pierwsza teoria atomowa

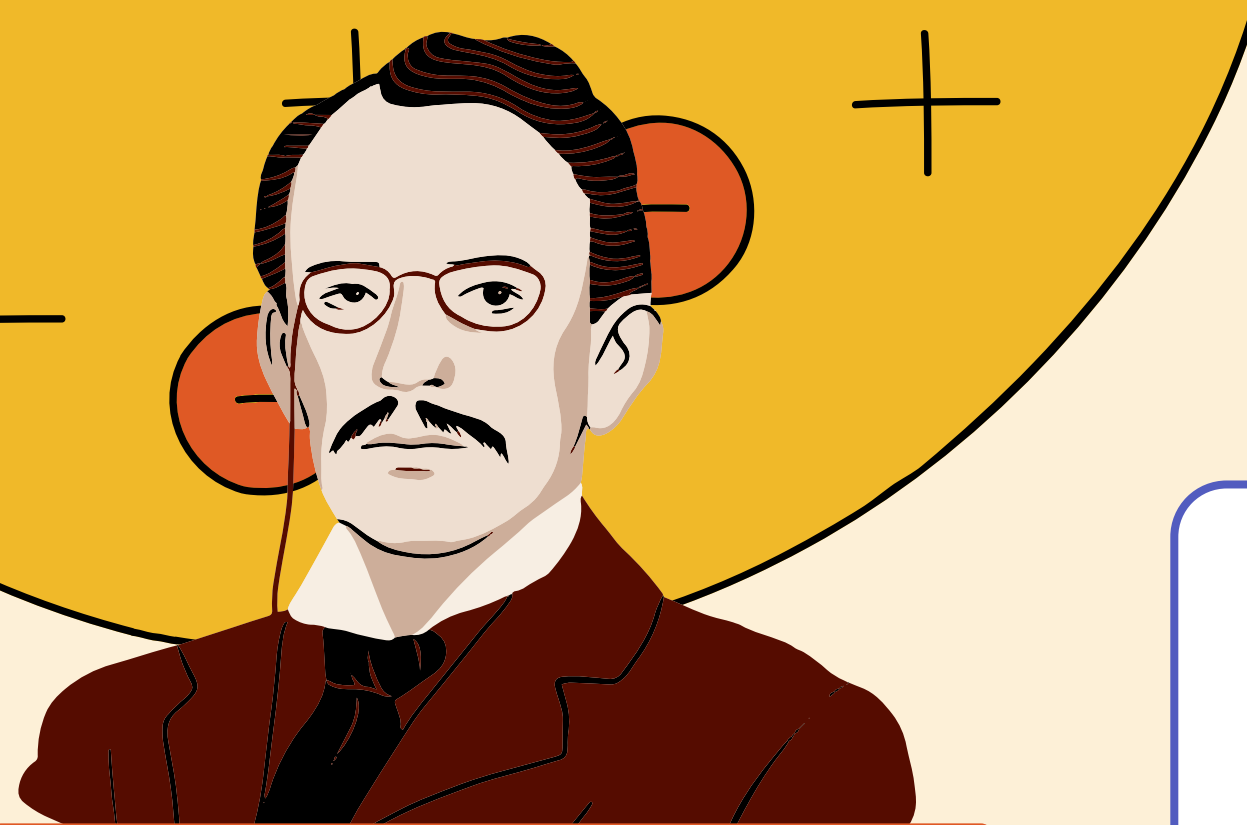


**OGRANICZENIE**

- Nie mógł wyjaśnić różnic w masie atomowej w pierwiastku (izotopach)
- Nie uwzględniono obecności cząstek subatomowych, takich jak protony, neutrony i elektrony
- Nie można wyjaśnić zachowania atomów w reakcjach chemicznych

# MODELE ATOMU





**J.J. THOMSON**

1856 - 1940



Odkrycie elektronu

**1897**

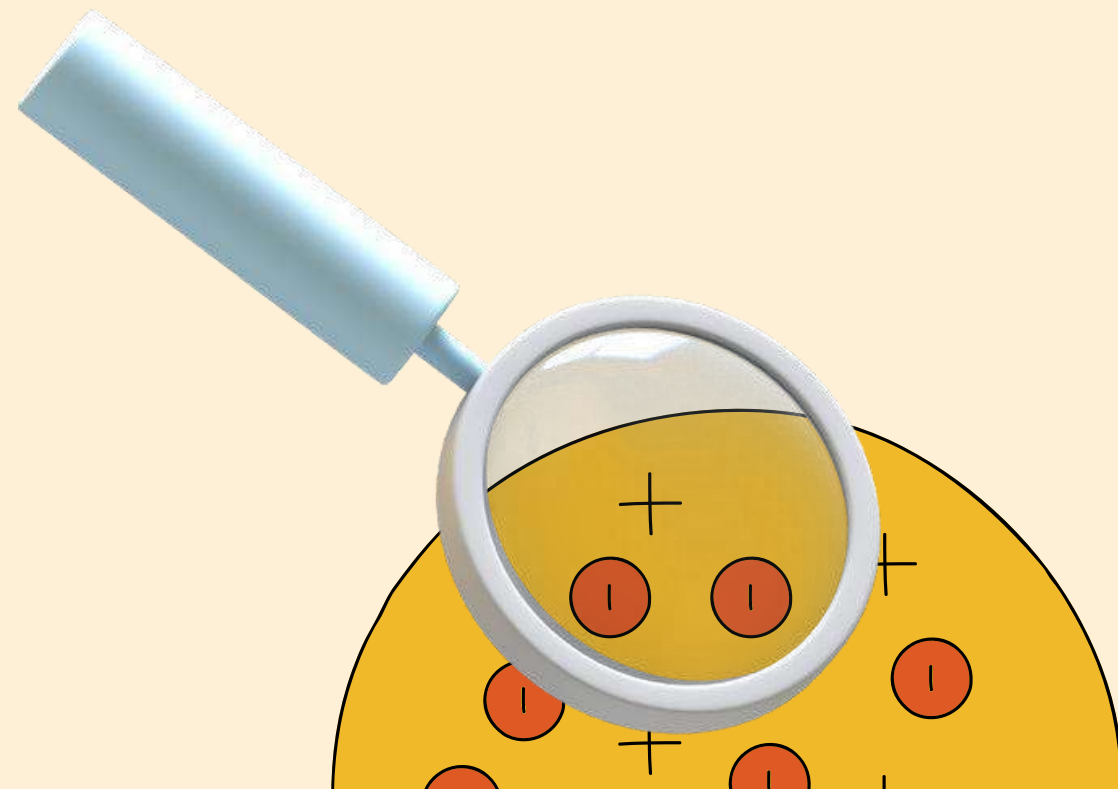
- Angielski fizyk znany z pracy nad naturą elektronów
- Zaproponował model puddingu śliwkowego pod koniec XIX wieku

- Odkryte elektrony jako odrębne cząstki
- Przesunięcie zrozumienia z niepodzielnego atomu na cząstki subatomowe
- Utorował drogę do dalszej eksploracji struktury atomowej

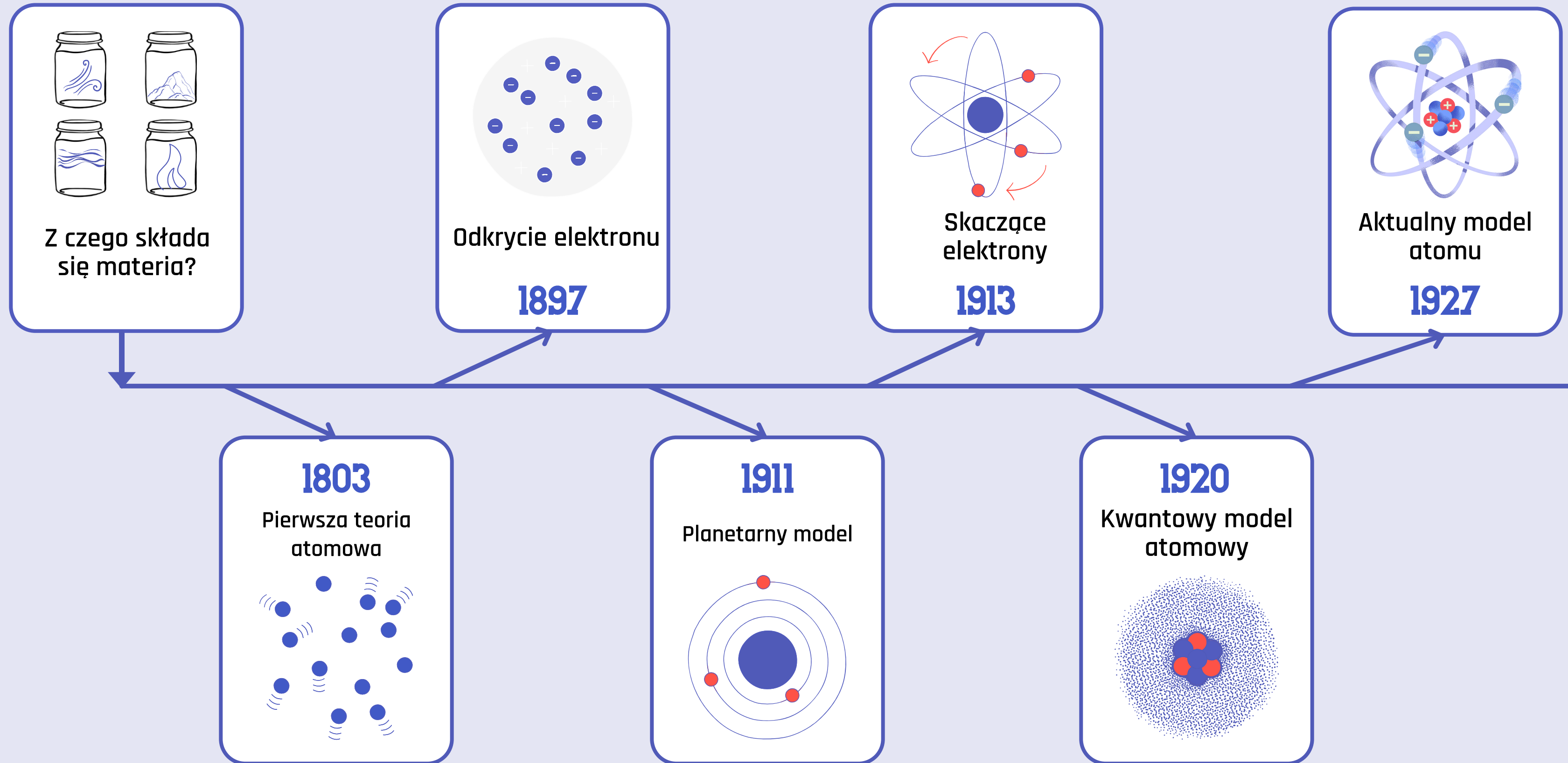
Zgodnie z tą teorią atomy są jak budyń śliwkowy, z niewielkimi ładunkami dodatnimi rozrzuconymi po chmurze elektronów ujemnych. Teoria ta pomogła wyjaśnić, dlaczego atomy mają ogólnie ładunek neutralny i dlaczego emitują światło, gdy zderzają się ze sobą.

**OGRANICZENIE**

- Nie udało się przewidzieć rozmieszczenia i rozmieszczenia elektronów
- Brak wyjaśnienia budowy jądra atomowego i jego ładunku dodatniego



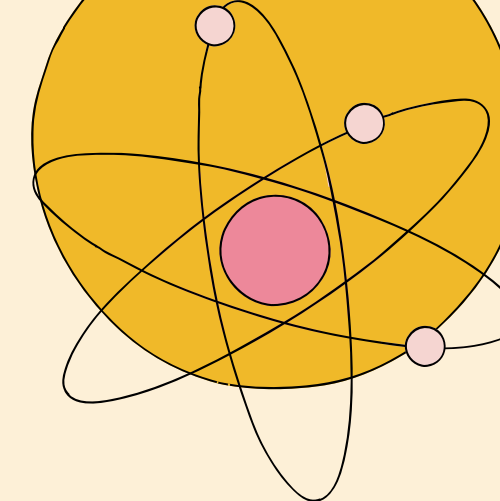
# MODELE ATOMU





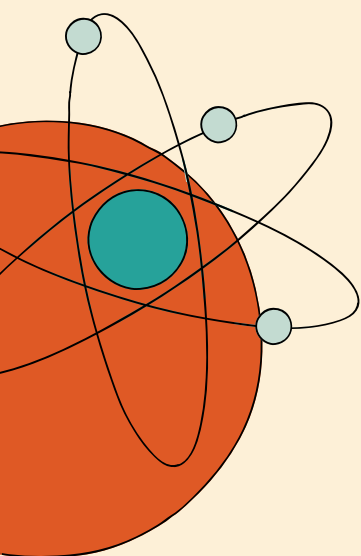
# ERNEST RUTHERFORD

1871 - 1937



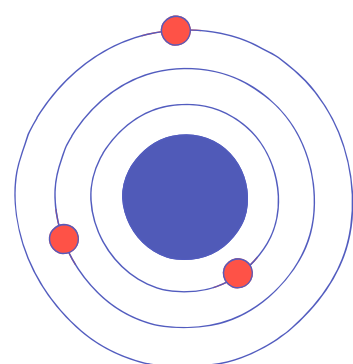
- Pierwszy model proponujący istnienie centralnego, masywnego jądra atomowego
- Wyjaśnił zachowanie dodatnio naładowanych cząstek alfa w doświadczeniu ze złotą folią
- Położył podwaliny pod zrozumienie struktury atomu oraz zjawiska promieniotwórczości

Zgodnie z tą teorią atom składa się z dodatnio naładowanego jądra zawierającego większość masy atomu, wokół którego krążą elektrony podobnie jak planety wokół Słońca. Wyjaśnia ona, dlaczego cząstki mogą przechodzić przez atomy lub się od nich odbijać, i stanowi podstawę współczesnego rozumienia struktury atomu.



**1911**

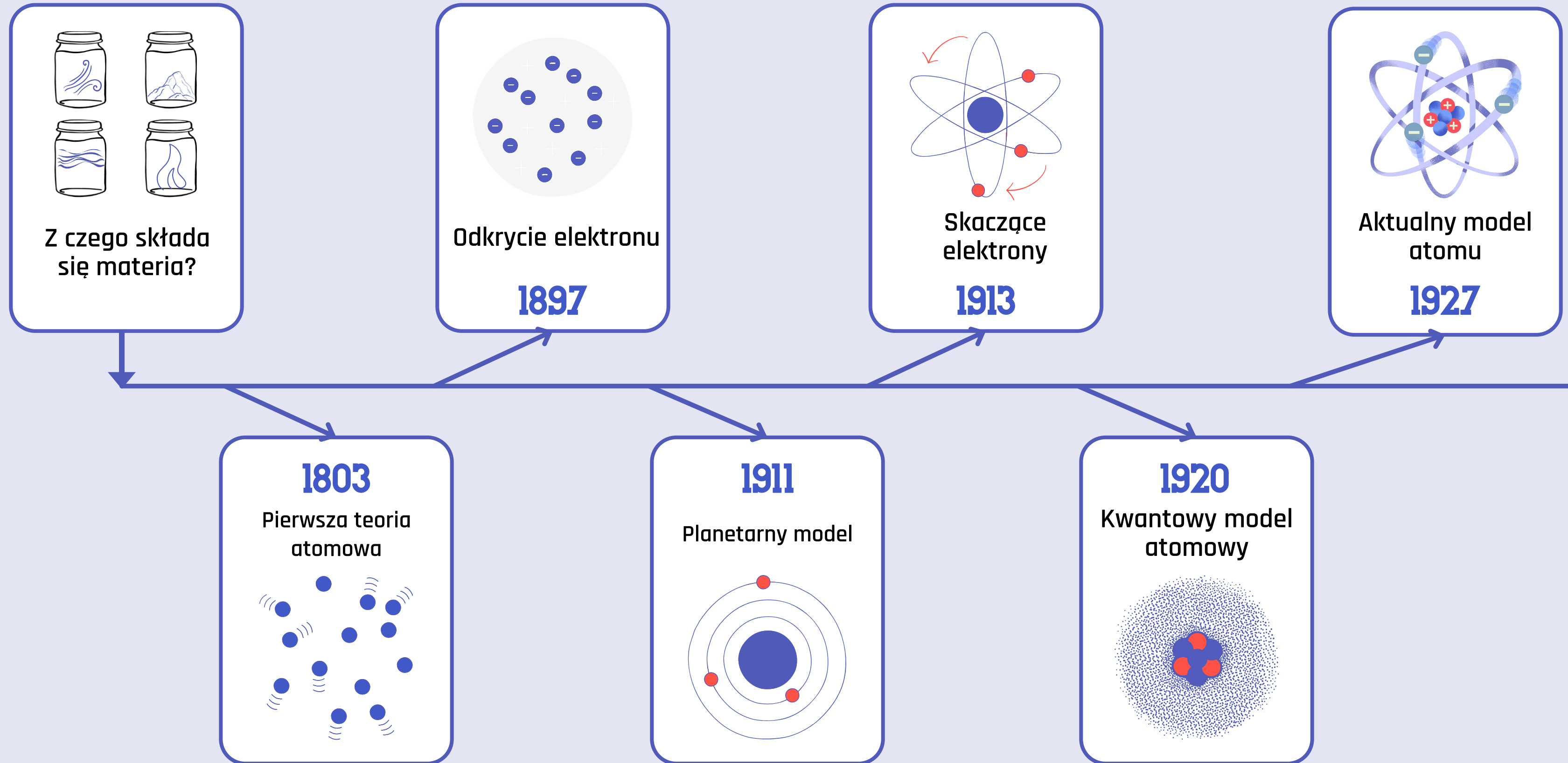
Planetary model atomu

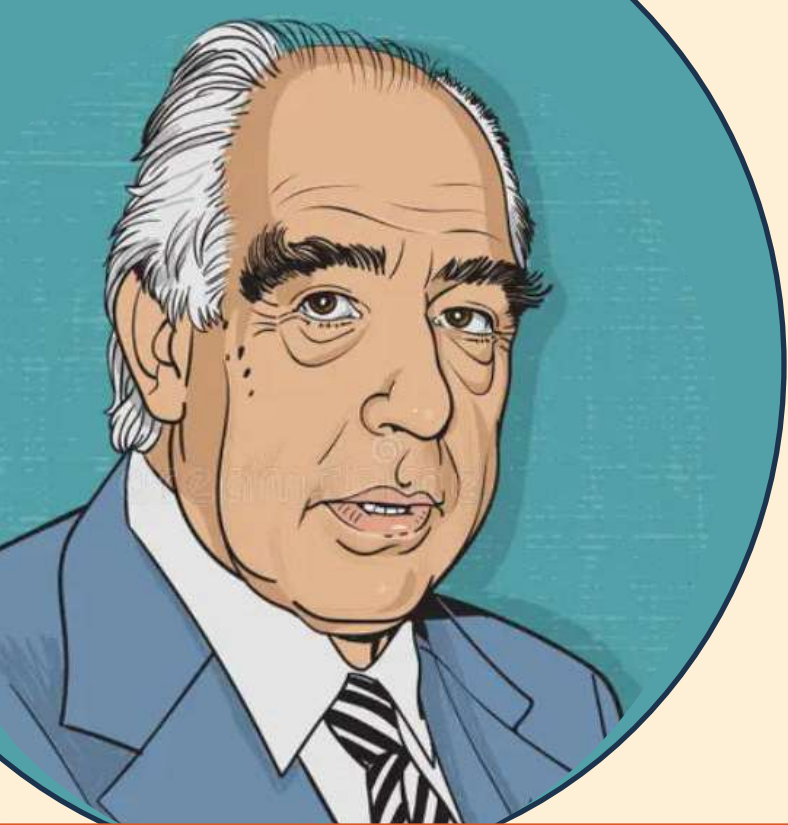


**OGRANICZENIE**

- Nie wyjaśniał stabilności jądra atomowego wobec odpychania elektrostatycznego.
- Nie zawierał szczegółów dotyczących orbit elektronowych i poziomów energii.
- Nie uwzględniał zasad mechaniki kwantowej.

# MODELE ATOMU





N. Bohr

1885 - 1962



- Duński fizyk znany z pionierskich badań nad strukturą atomu
- Zaproponował model planetarny atomu na początku XX wieku

- Precyzyjnie wyjaśnił widma atomowe
- Wprowadził pojęcie skwantowanych poziomów energii
- Połączył fizykę klasyczną z rozwijającą się mechaniką kwantową

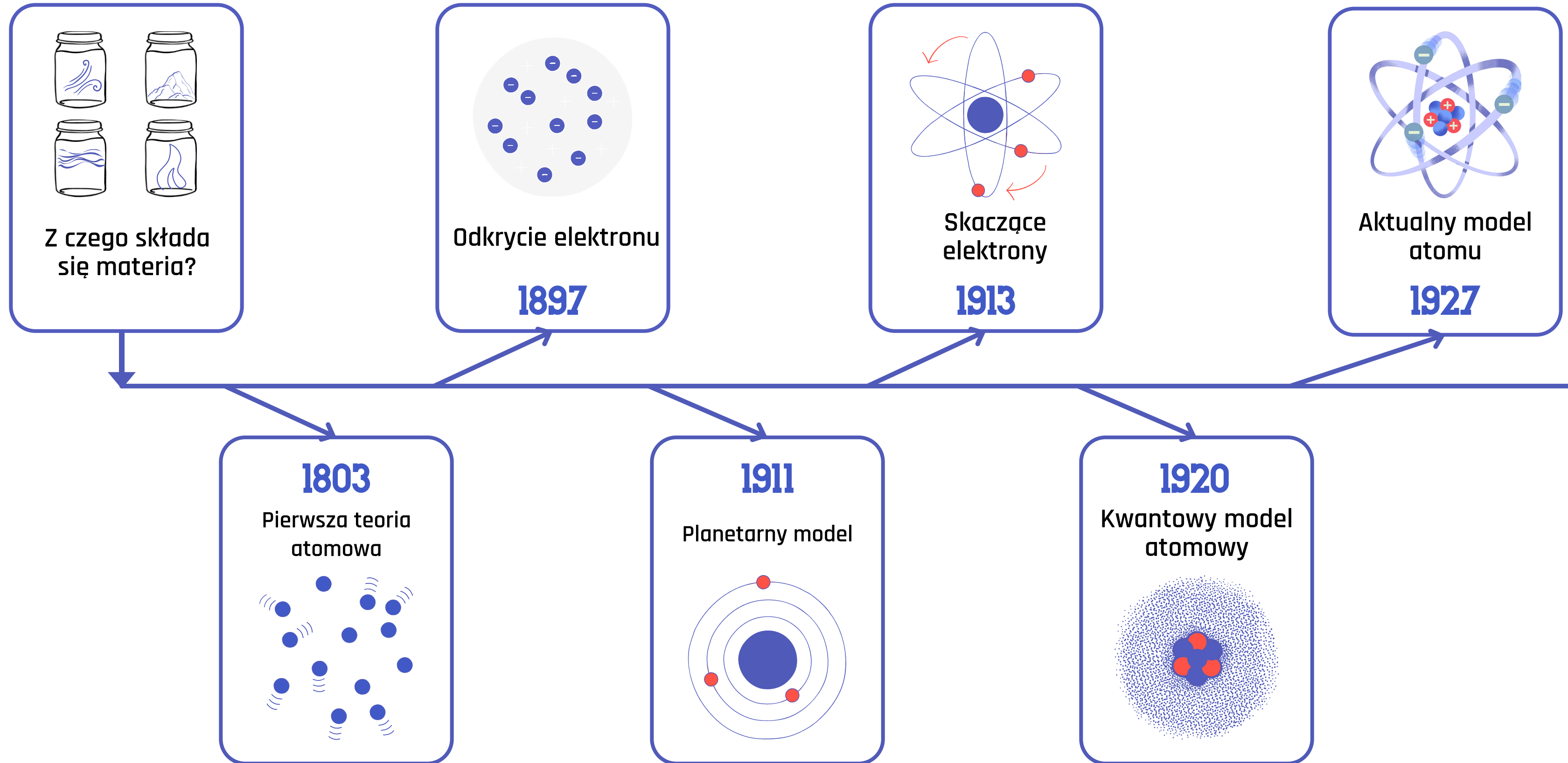
Zgodnie z tą teorią elektrony krążą wokół jądra atomu po określonych poziomach energetycznych (powłokach). Teoria ta pomogła wyjaśnić, dlaczego atomy emitują światło oraz dlaczego pochłaniają tylko określone barwy światła. Wyjaśniła również stabilność atomów i to, dlaczego nie ulegają one rozpadowi.

**OGRANICZENIE**

- Ograniczał się do wyjaśnienia budowy atomu wodoru
- Nie potrafił wyjaśnić zachowania atomów wieloelektronowych
- Nie uwzględniał falowej natury elektronów



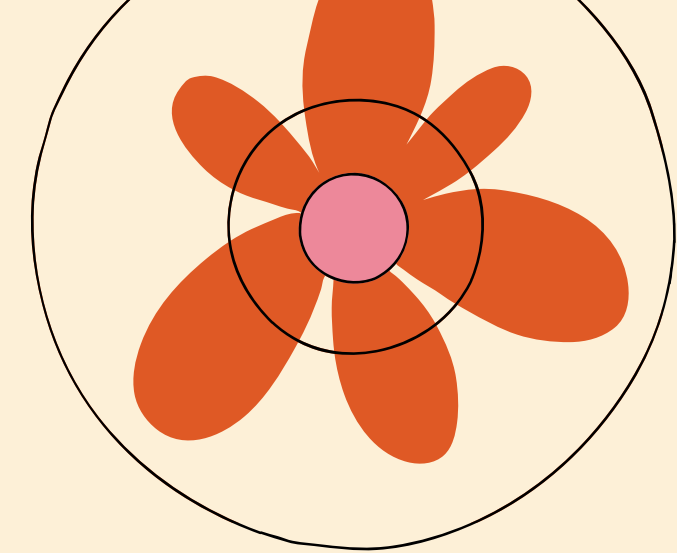
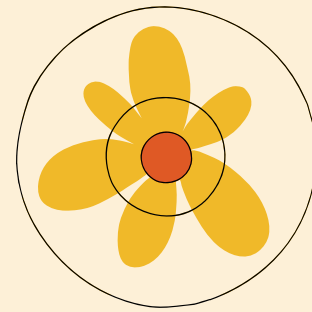
# MODELE ATOMU





# ERWIN SCHRÖDINGER

1887 - 1961

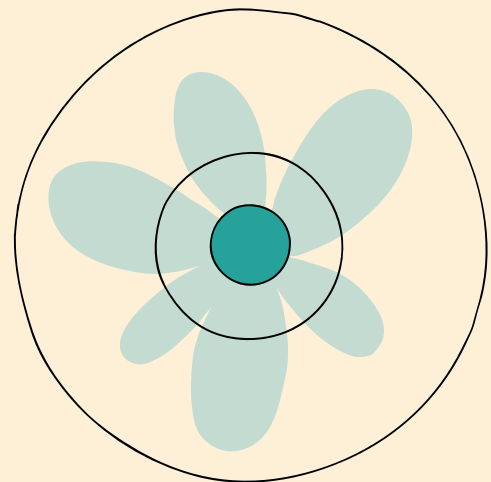
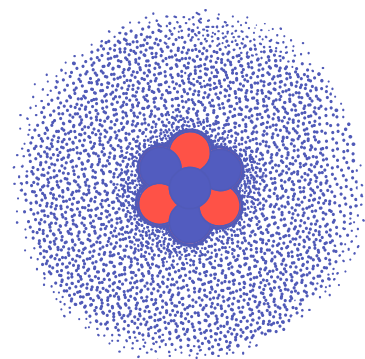


- Pierwszy model proponujący istnienie centralnego, masywnego jądra atomowego
- Wyjaśnił zachowanie dodatnio naładowanych cząstek alfa w doświadczeniu ze złotą folią
- Położył podwaliny pod zrozumienie struktury atomu oraz zjawiska promieniotwórczości

Zgodnie z tą teorią atom składa się z dodatnio naładowanego jądra zawierającego większość masy atomu, wokół którego krążą elektrony podobnie jak planety wokół Słońca. Wyjaśnia ona, dlaczego cząstki mogą przechodzić przez atomy lub się od nich odbijać, i stanowi podstawę współczesnego rozumienia struktury atomu.

1920

Kwantowy model atomowy



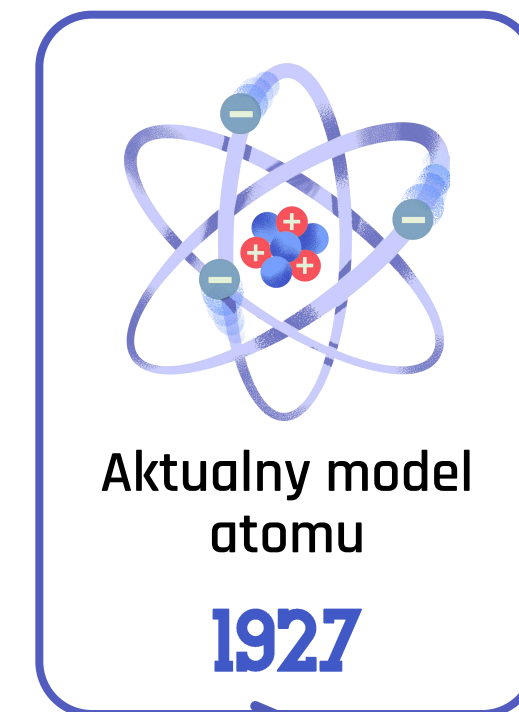
**OGRANICZENIE**

- Nie wyjaśniał stabilności jądra atomowego wobec odpychania elektrostatycznego.
- Nie zawierał szczegółów dotyczących orbit elektronowych i poziomów energii.
- Nie uwzględniał zasad mechaniki kwantowej.

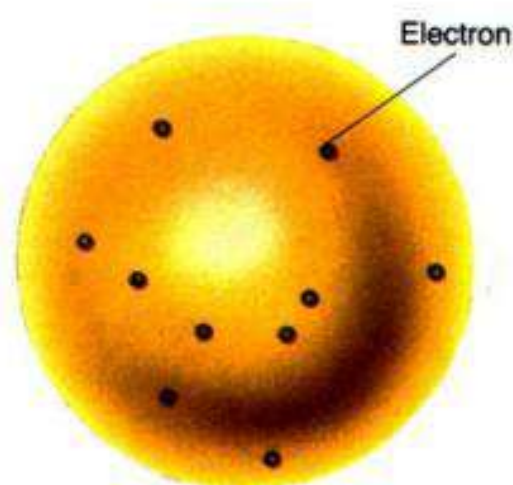
Zgodnie z tą teorią elektrony istnieją jako prawdopodobny wzór falowy wokół jądra, a nie na określonej orbicie.

Model wyjaśnia, dlaczego elektrony działają jak cząstki i fale, i jest podstawą naszego zrozumienia struktury atomowej.

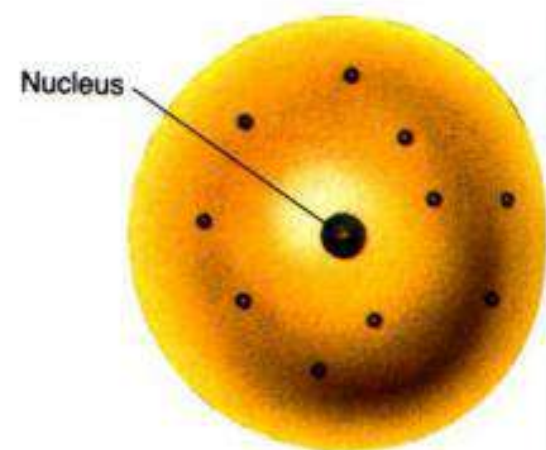
Jest szeroko stosowany we współczesnej fizyce.



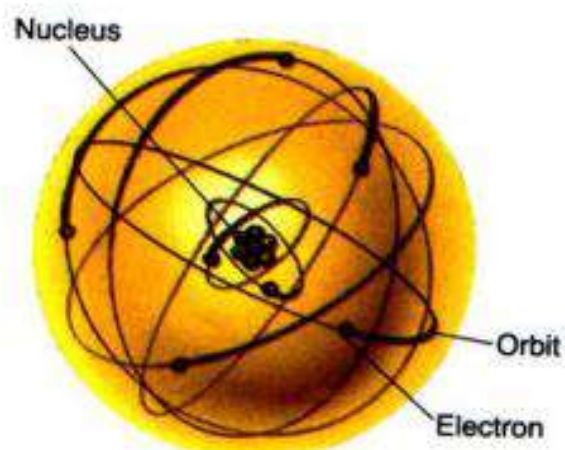
## Model kwantowy



a Thomson model

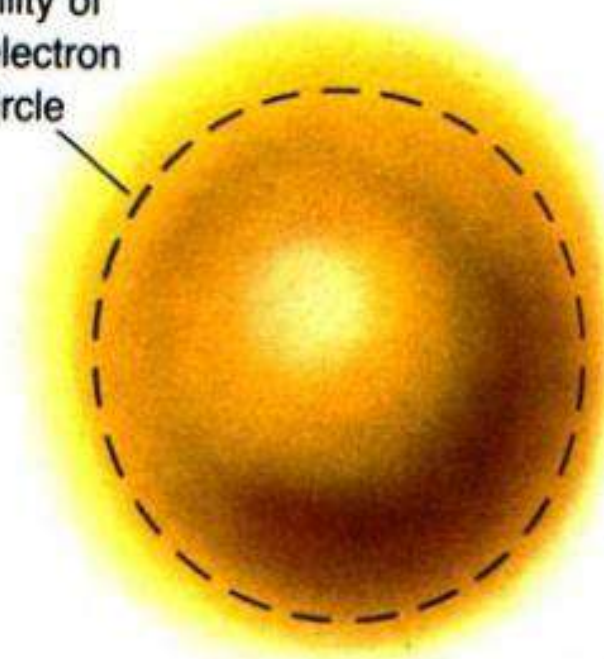


b Rutherford model



c Bohr model

90% probability of finding the electron inside this circle



d Quantum mechanical model

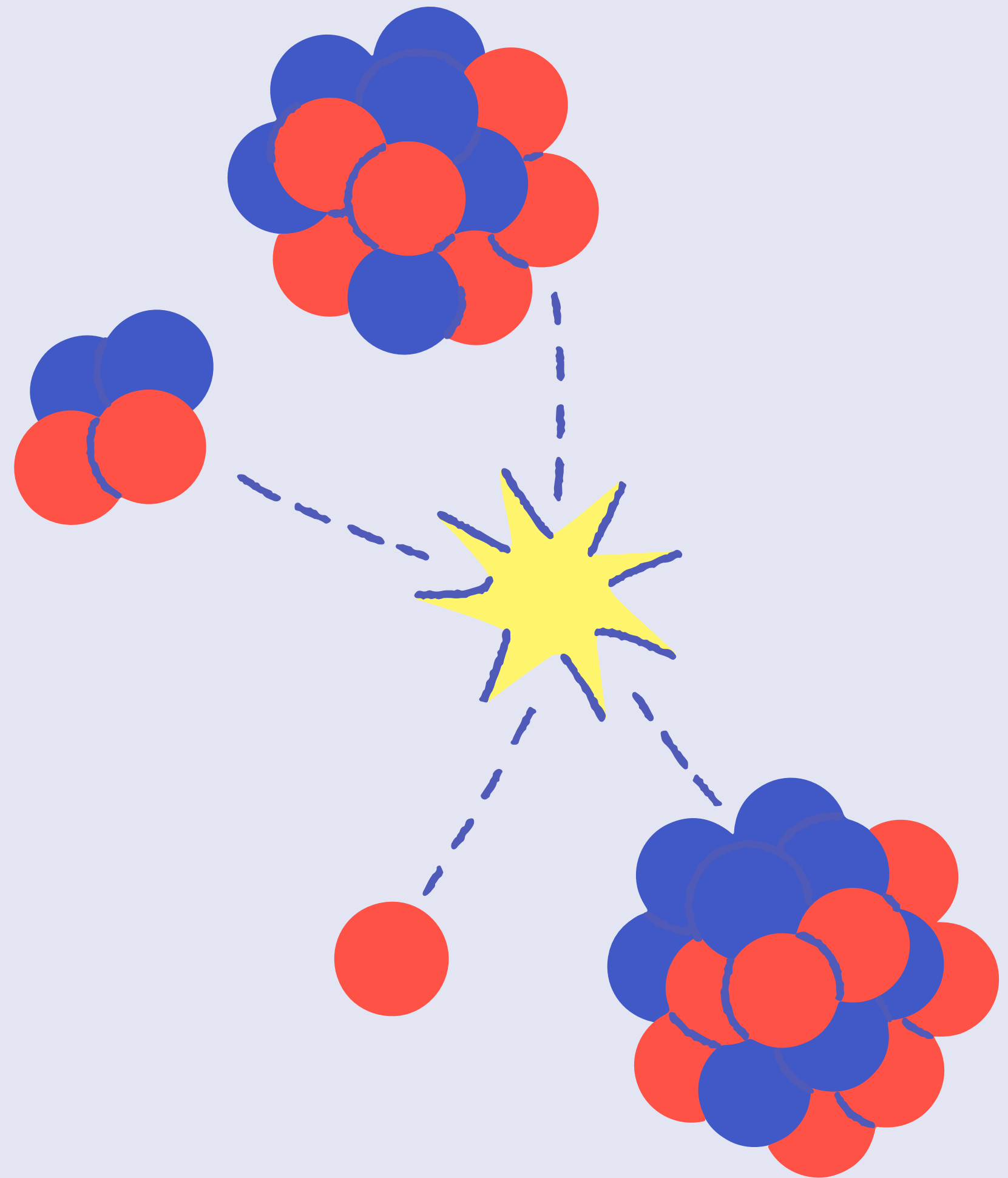
**OGRANICZENIE**

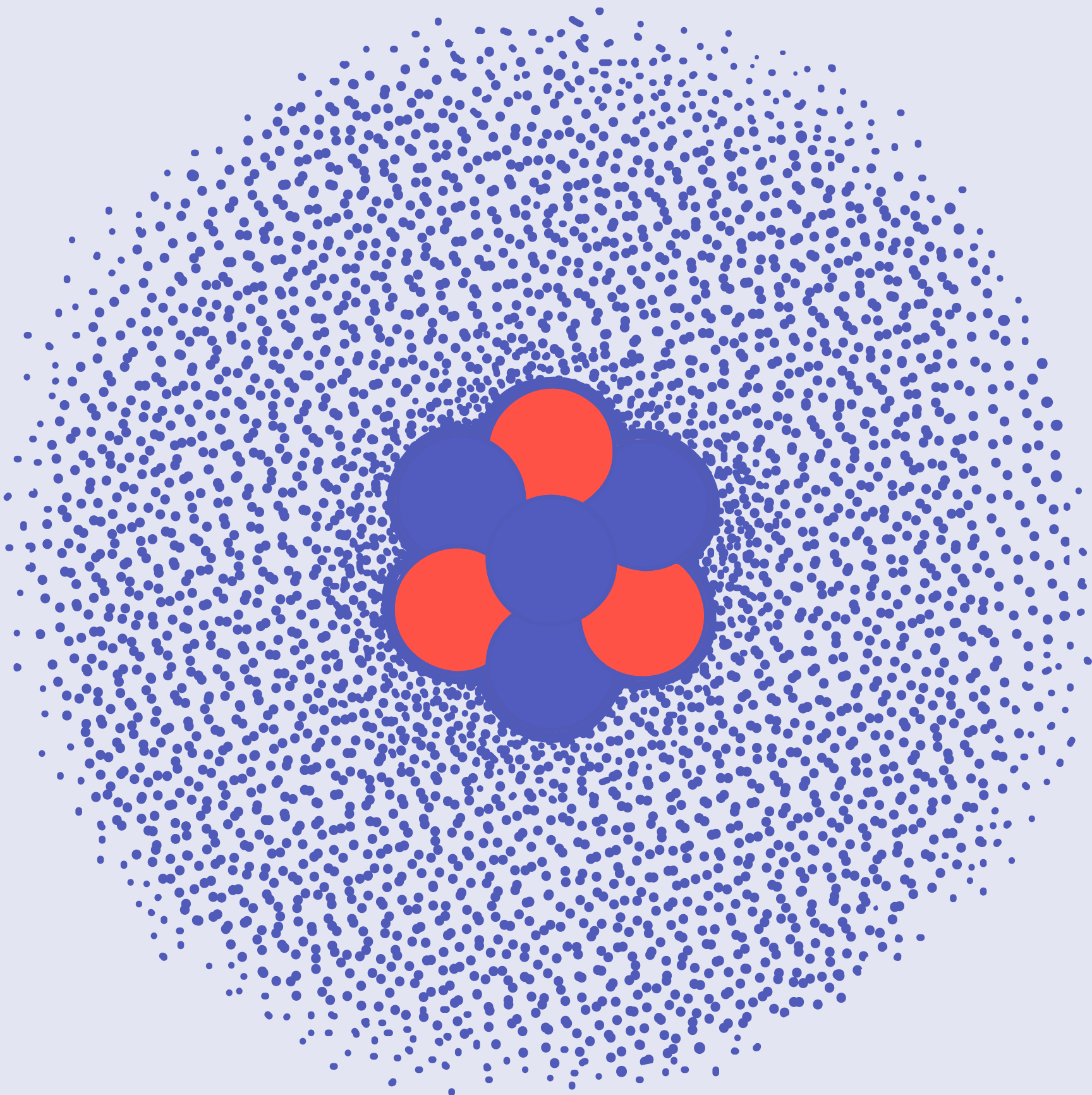
- Złożoność matematyczna modelu
- Wymaga zaawansowanej matematyki do obliczenia prawdopodobieństwa występowania elektronów
- Nie zapewnia prostej wizualnej reprezentacji struktury atomowej

# WAŻNE

**Rola struktury atomowej w reakcjach chemicznych i procesach fizycznych napędza innowacje w różnych dyscyplinach naukowych.**

**Struktura atomu kształtuje zachowanie materii, stanowiąc podstawę obecnej chemii, fizyki i technologii.**





# CZYM JEST ATOM?

Atom jest podstawową jednostką materii. Składa się z centralnego jądra zawierającego dodatnio naładowane protony i neutralne neutrony, otoczonego chmurą ujemnie naładowanych **elektronów**.

**Interakcja między tymi cząsteczkami określa właściwości i zachowanie materii.**

# ELEKTRON I PROTON – SKŁADAJĄ SIĘ NA ELEKTRYCZNIE OBOJĘTNY ATOM

Atomy są elektrycznie obojętne (taka sama liczba elektronów, co protonów)

## ELEKTRON

JEST cząstką elementarną  
(punktową, bez struktury)

## PROTON

składa się z kwarków i gluonów  
(ma strukturę, nie jest elementarny,  
punktowy)

## ELEKTRYCZNOŚĆ JEST INTERAKCJĄ ŁADUNKÓW ELEKTRYCZNYCH

Ładunki elektryczne są podstawową właściwością **protonów** i **elektronów**, które składają się na każdy atom.

Ładunki **dodatnie** i **ujemne** to dwa rodzaje ładunków elektrycznych.

**Protony** mają ładunek **dodatni**, podczas gdy **elektrony** przenoszą ładunek **ujemny**.

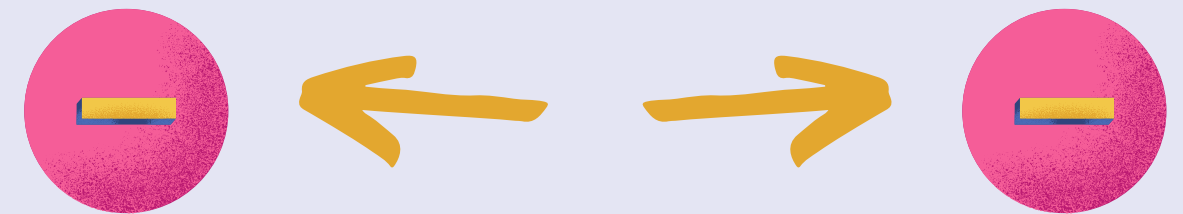
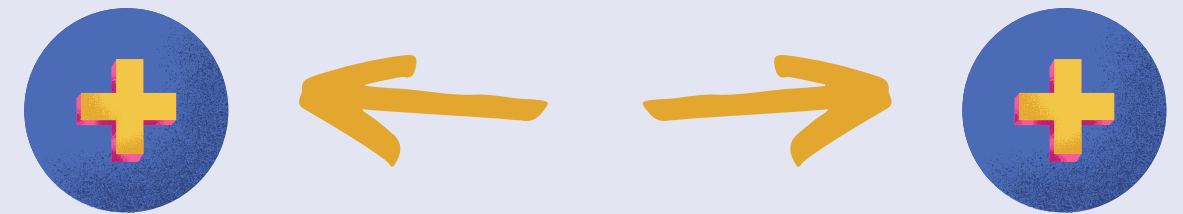


# ŁADUNKI ELEKTRYCZNE

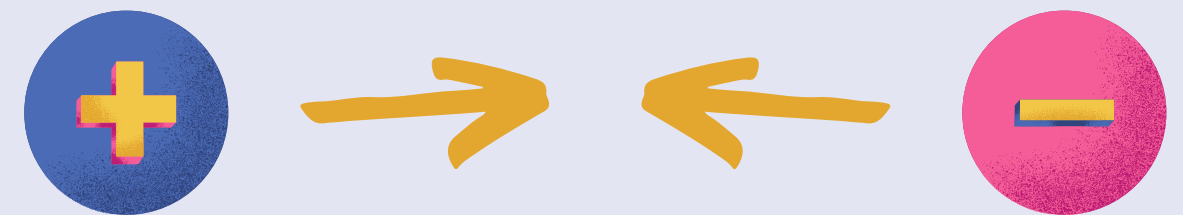
Wielkość ładunków i odległość między nimi to kluczowe czynniki wpływające na siłę oddziaływania elektrycznego między naładowanymi obiektami

Siła elektryczna to przyciąganie lub odpychanie między naładowanymi obiektami.

TAKIE SAME ŁADUNKI SIĘ ODPYCHAJĄ



PRZECIWNIE ŁADUNKI SIĘ PRZYCIĄGAJĄ



# ELEKTROSTATYKA

## GROMADZENIE SIĘ ŁADUNKÓW ELEKTRYCZNYCH NA OBIEKCIE

Kiedy pocierasz balon o swoje włosy, elektrony z atomów tworzących twoje włosy przenoszą się na balon, co powoduje, że twoje włosy stają się naładowane dodatnio z powodu utraty elektronów.

Balon staje się naładowany ujemnie z powodu przyjęcia elektronów.

Gdy trzymasz balon kilka centymetrów od głowy, twoje włosy unoszą się z powodu przyciągania między dwoma przeciwnymi ładunkami.





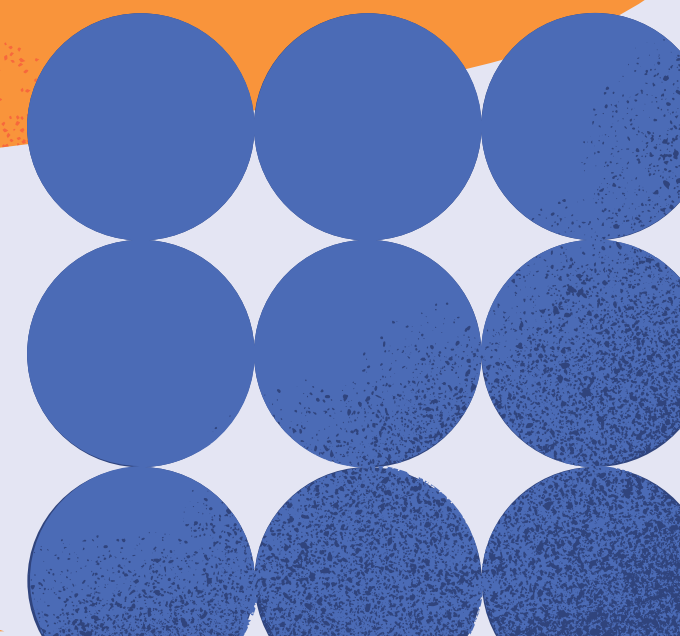
Nagromadzone ładunki na obiekcie ostatecznie opuszczają go. Ten nagły i krótki przepływ elektronów nazywa się:

## WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE

Czy kiedykolwiek otrzymałeś „kopniaka”, dotykając metalowej klamki po chodzeniu po dywanie? To przykład wyładowania elektrycznego na małą skalę.



**SPRAWDŹ SIĘ!**



# EKSPERYMENT ELEKTROSTATYCZNY: EBONIT, WEŁNA I PRZENOSZENIE ŁADUNKU

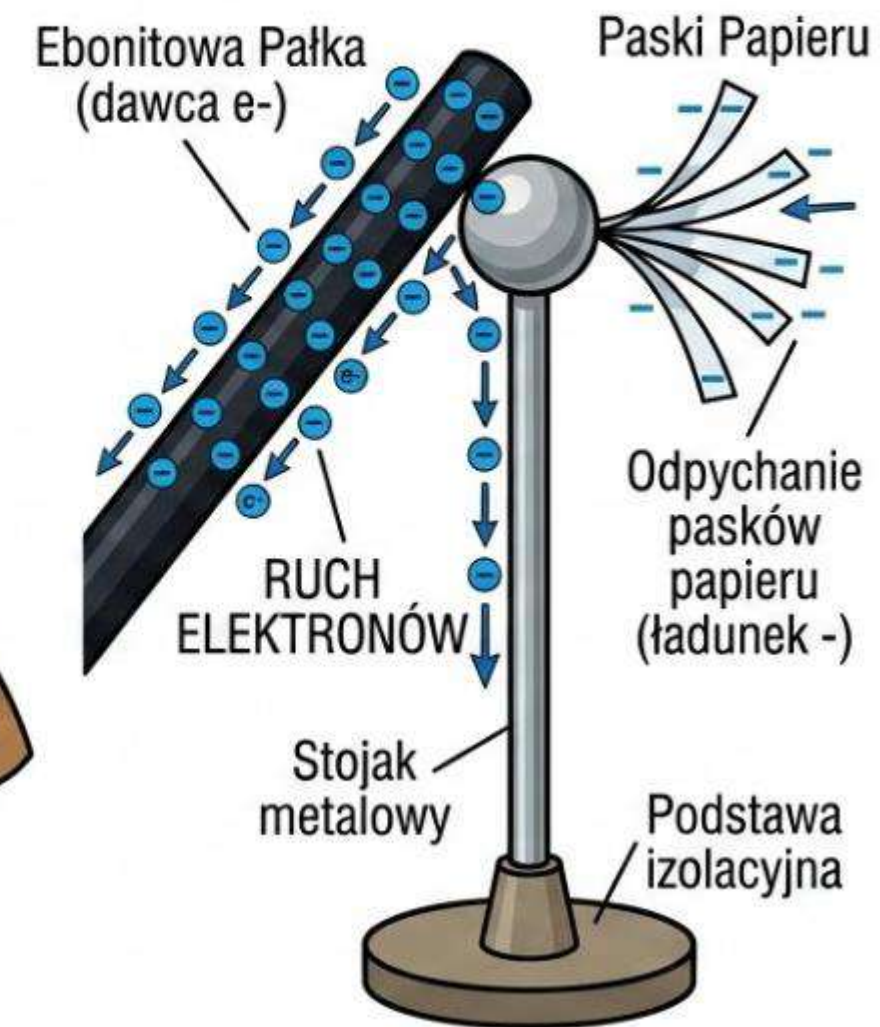
## ① POCIERANIE (ELEKTRYZOWANIE)



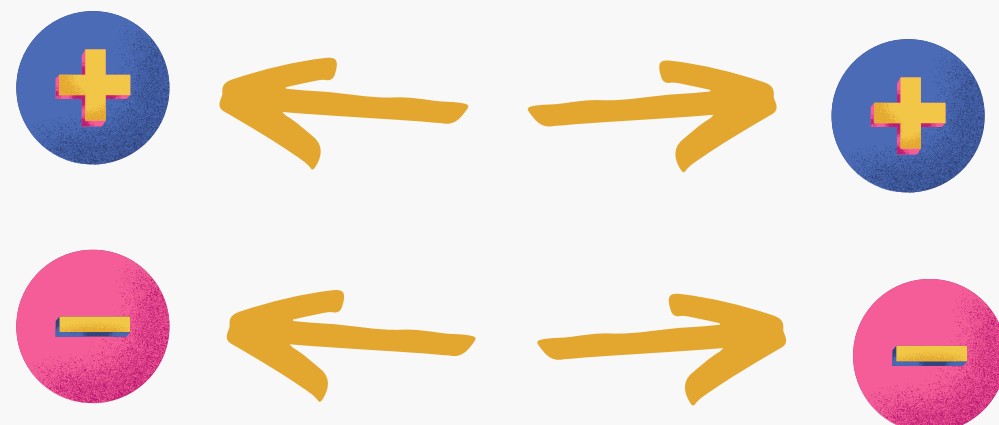
## ② NAŁADOWANA PAŁKA



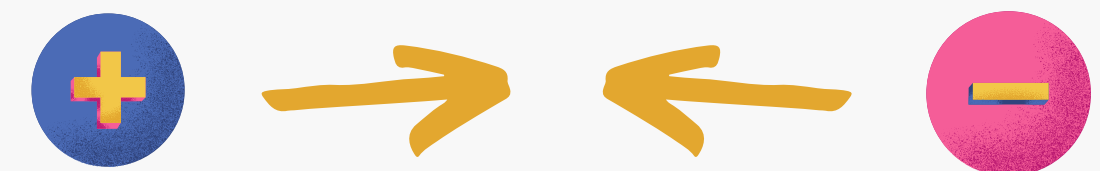
## ③ PRZENOSZENIE ELEKTRONÓW NA STOJAK

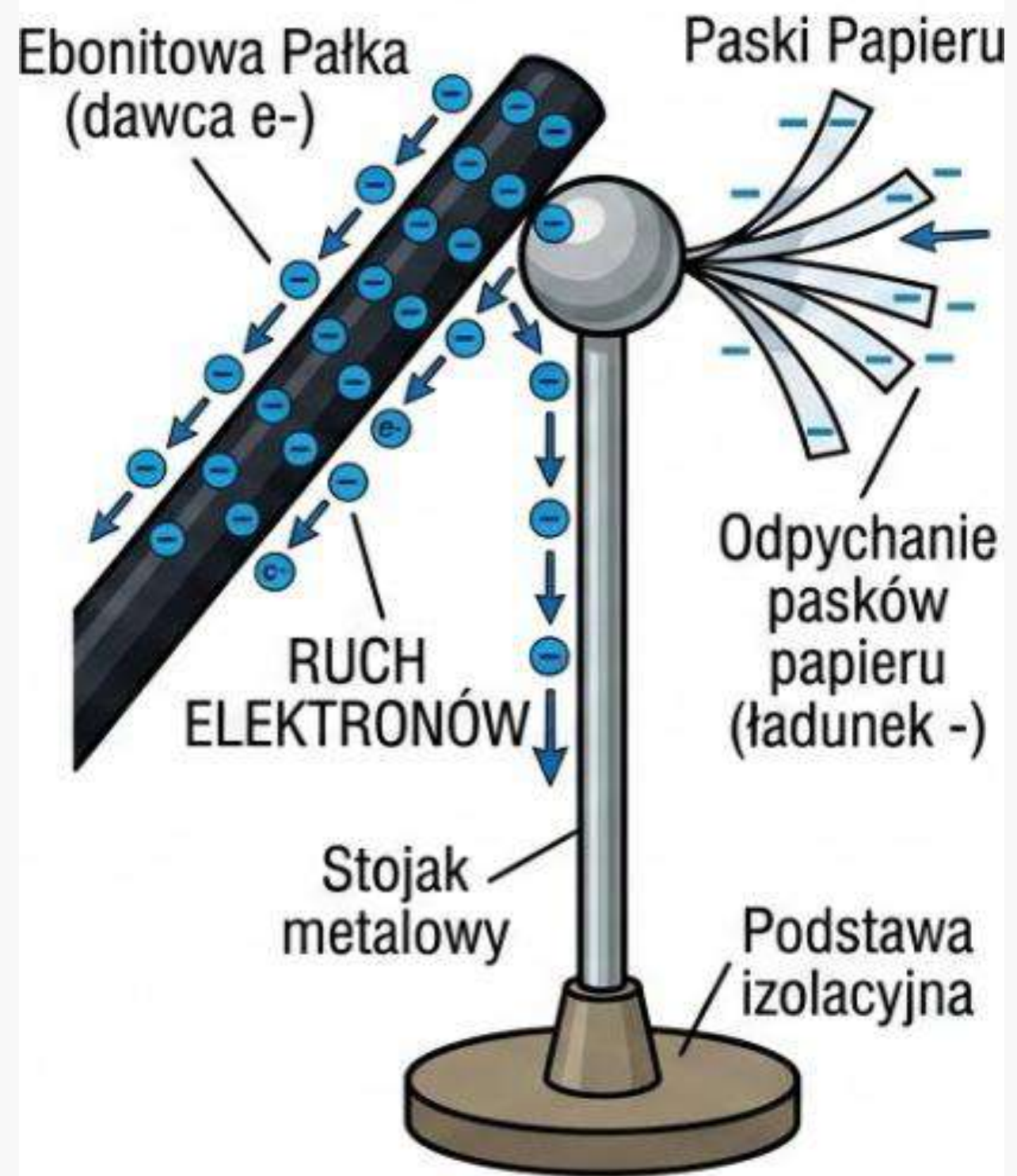


TAKIE SAME ŁADUNKI SIĘ ODPYCHAJĄ



PRZECIWNIE ŁADUNKI SIĘ PRZYCIĄGAJĄ





Podczas pocierania elektrony przemieściły się ze szmatki na pałeczkę, przez co pałeczka naelektryzowała się **ujemnie**.

Tym samym szmatka oddała elektrony, przez co naładowowała się **dodatnio** (posiada niedobór elektronów).



# CO Z TYMI ELEKTRONAMI?

Elektron – elementarny nośnik ładunku elektrycznego  $Q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  [C]

Jeżeli ilość energii dostarczonej do atomu jest dostatecznie duża, to elektrony mogą pokonać siły wiążące je z jądrem i stać się elektronami swobodnymi

## ORBITY

Regiony trójwymiarowe, w których elektrony **najprawdopodobniej** znajdują się w atomie.

## ELEKTRON

Ujemnie naładowana subatomowa cząsteczka krążąca wokół jądra.

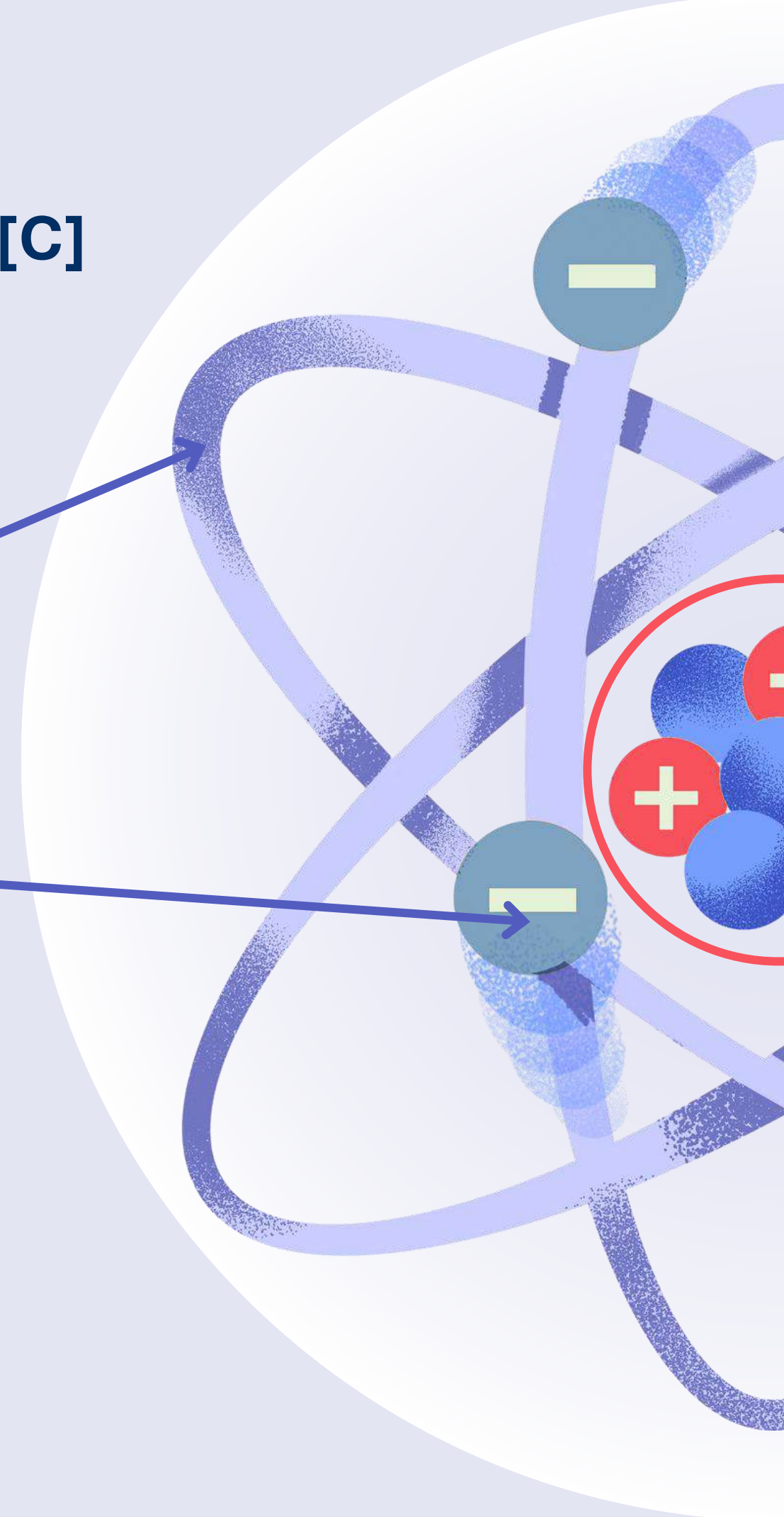
## CIEKAWOSTKA

Liczba elektronów swobodnych w jednostce objętości metalu wynosi:

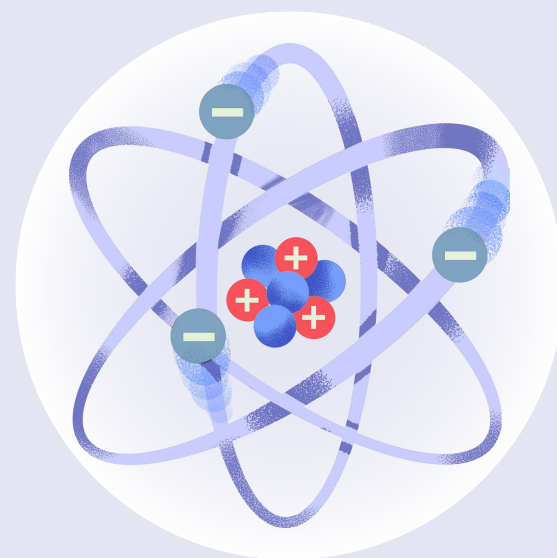
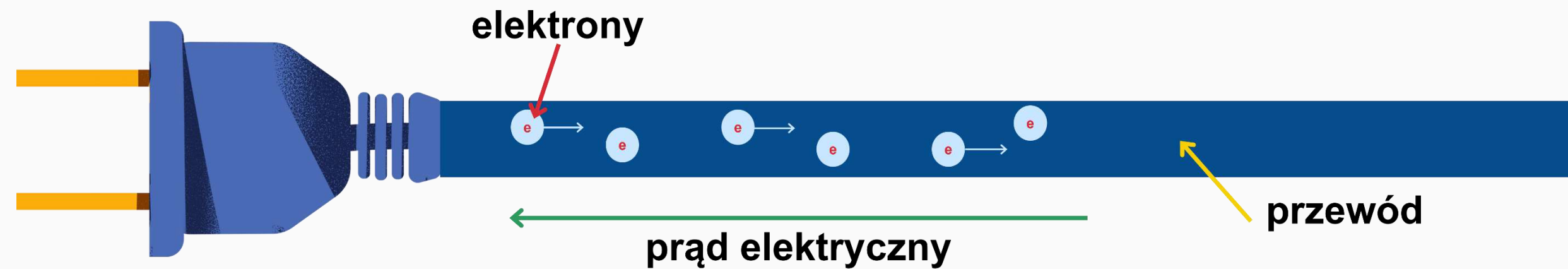
Cez (Cs):  $0,9 \cdot 10^{22} / \text{cm}^3$

Beryl (Be):  $24,7 \cdot 10^{22} / \text{cm}^3$

$7 \cdot 10^{18}$  szacunkowa liczba ziarenek piasku na świecie



# PRĄD

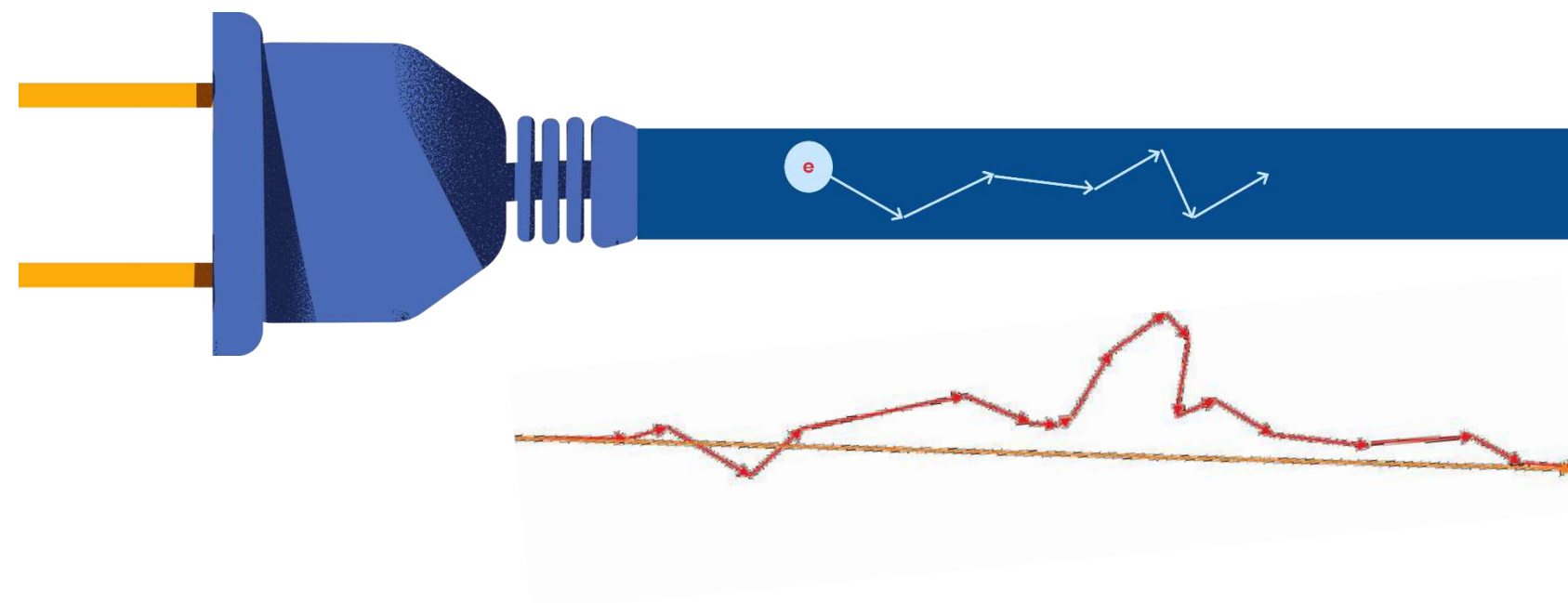
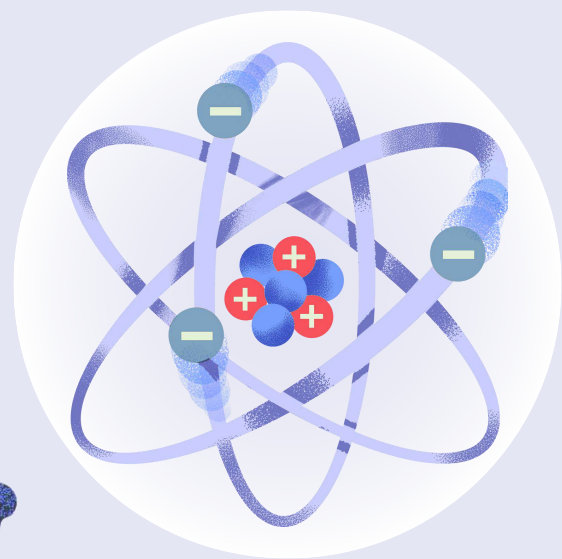


Po podłączeniu urządzenia elektronicznego do zasilania ujemnie naładowane cząstki zwane elektronami, które są już obecne w przewodach, zaczynają poruszać się w tym samym kierunku sieci.

Ten przepływ elektronów nazywamy prądem elektrycznym.

Prąd jest ruchem ładunków wywołanym poprzez działanie pola elektrycznego

# PRAŁ



Wolne elektrony poruszają się zygzakowatą ścieżką, zderzając się ze sobą i ze stałymi atomami w materiale, tworząc opór.

Ta rezystancja powoduje, że przewód i wszelkie podłączone urządzenia, takie jak ładowarka telefonu, nagrzewają się.

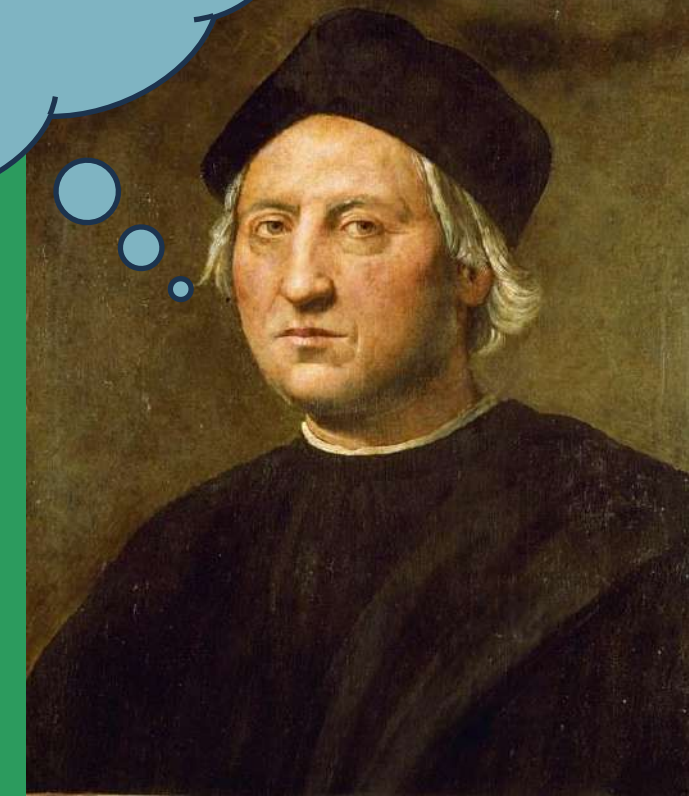
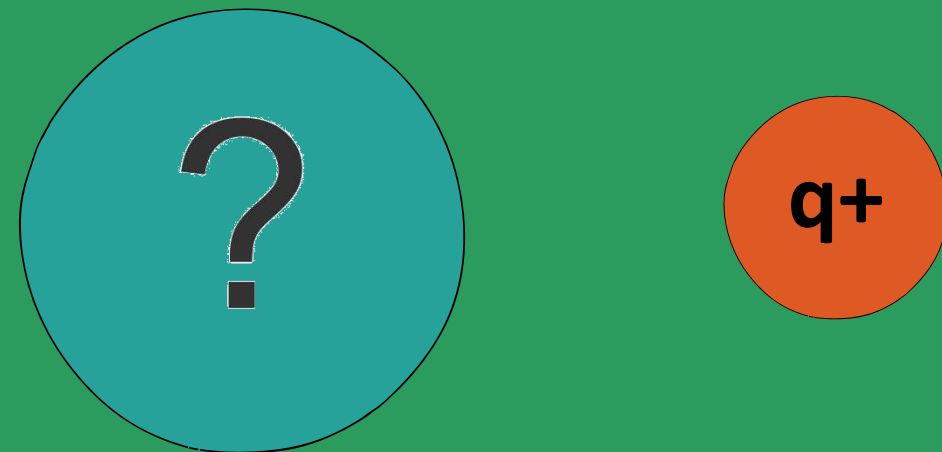
# ELEKTRON W POLU ELEKTRYCZNYM I MAGNETYCZNYM

## Na ładunek próbny (dodatni) działa siła (Coulomba)

#definicja #natężenie pola elektrycznego

Natężenie pola elektrycznego definiuje się jako siłę działającą na ładunek próbny  $q$  (umieszczony w danym punkcie przestrzeni) podzieloną przez ten ładunek.

Pole elektryczne opisywane jest poprzez **wektor natężenia pola  $E$** .

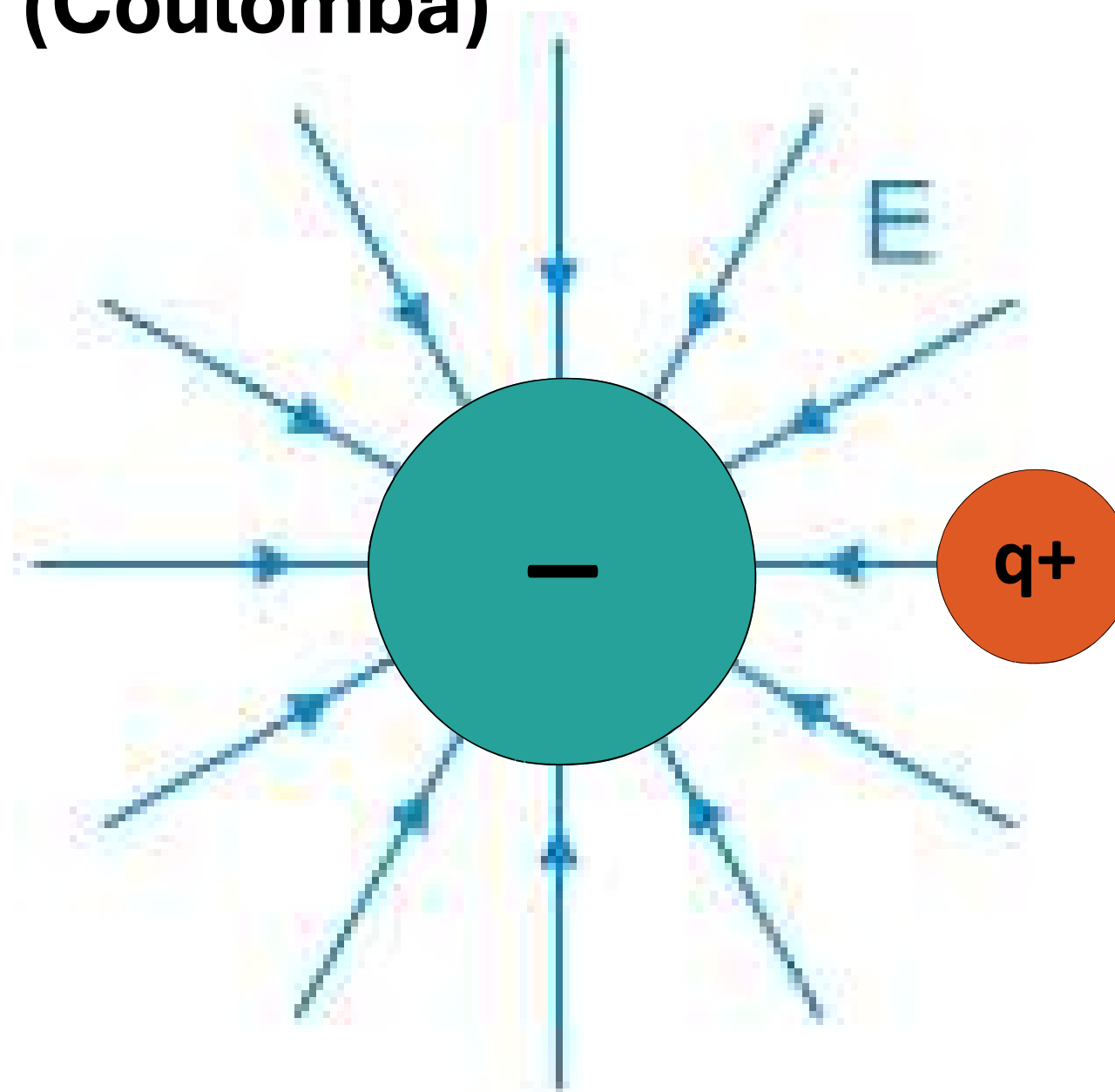
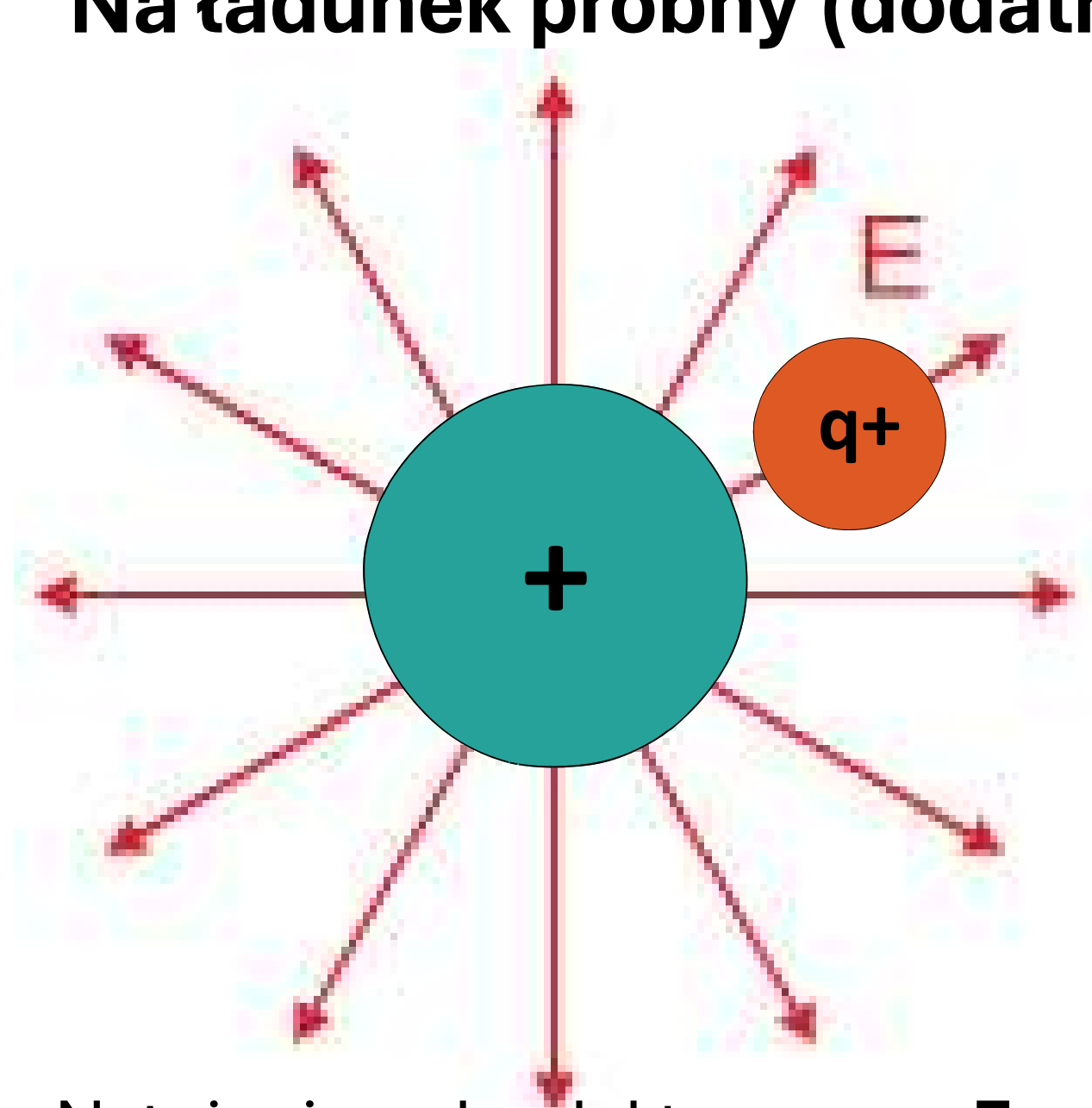


Natężenie pola elektrycznego  $E$  w dowolnym punkcie przestrzeni określa się umieszczając w tym punkcie ładunek próbny (ładunek jednostkowy) i mierząc wypadkową siłę elektryczną  $F$  działającą na ten ładunek.

Przyjęto, że ładunek próbny jest dodatni więc kierunek wektora  $E$  jest taki sam jak kierunek siły działającej na ładunek dodatni.

# ELEKTRON W POLU ELEKTRYCZNYM

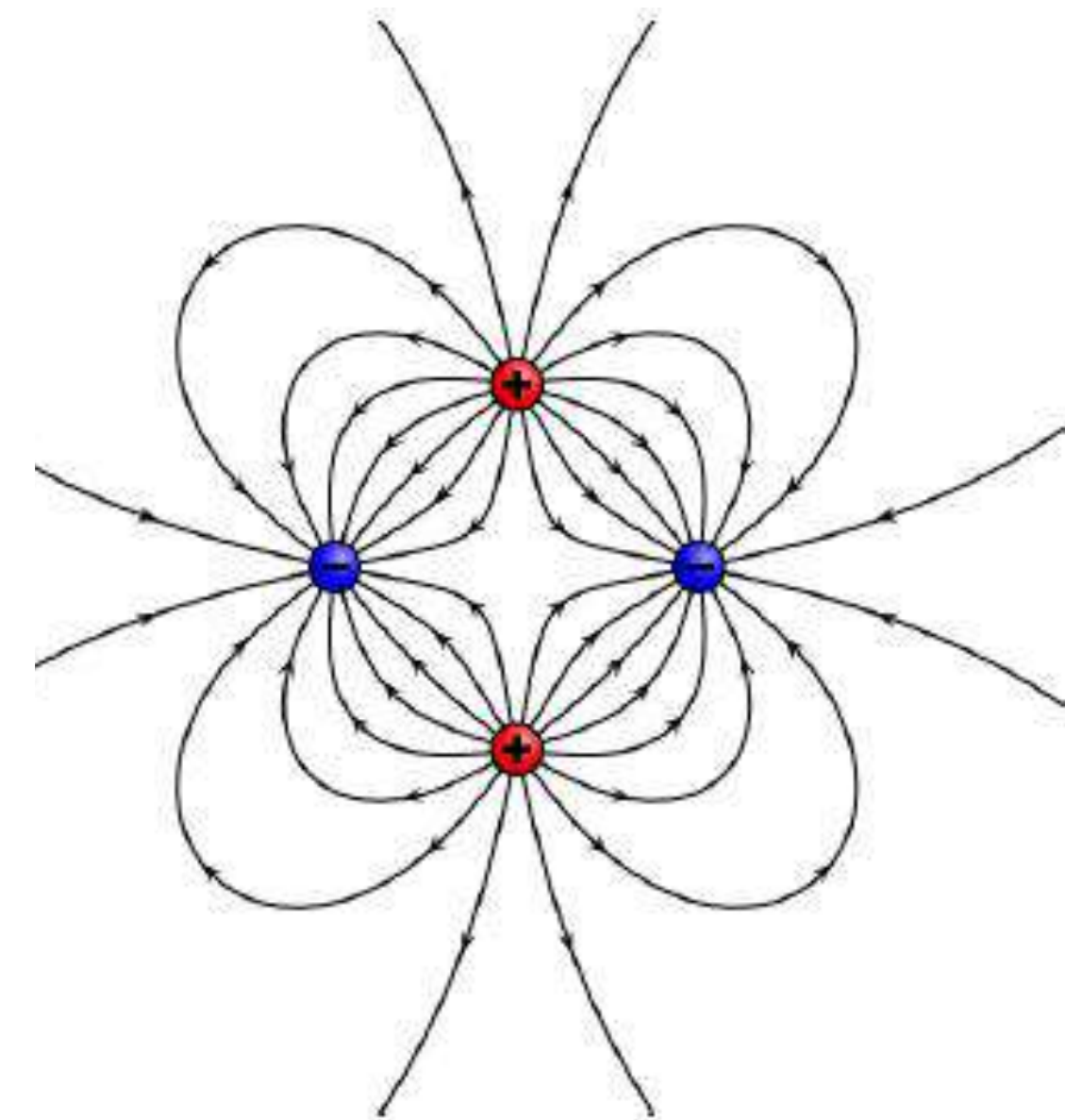
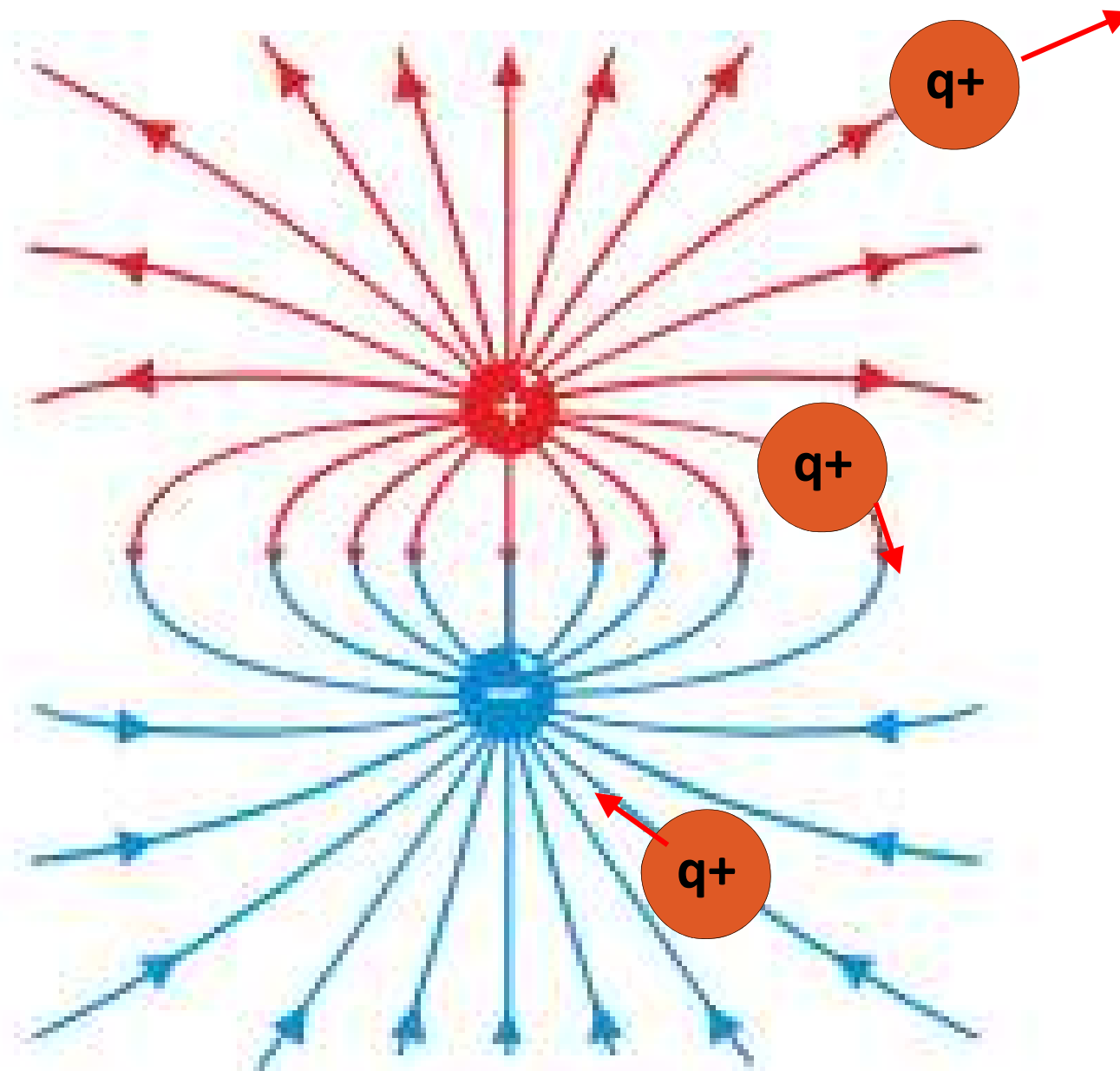
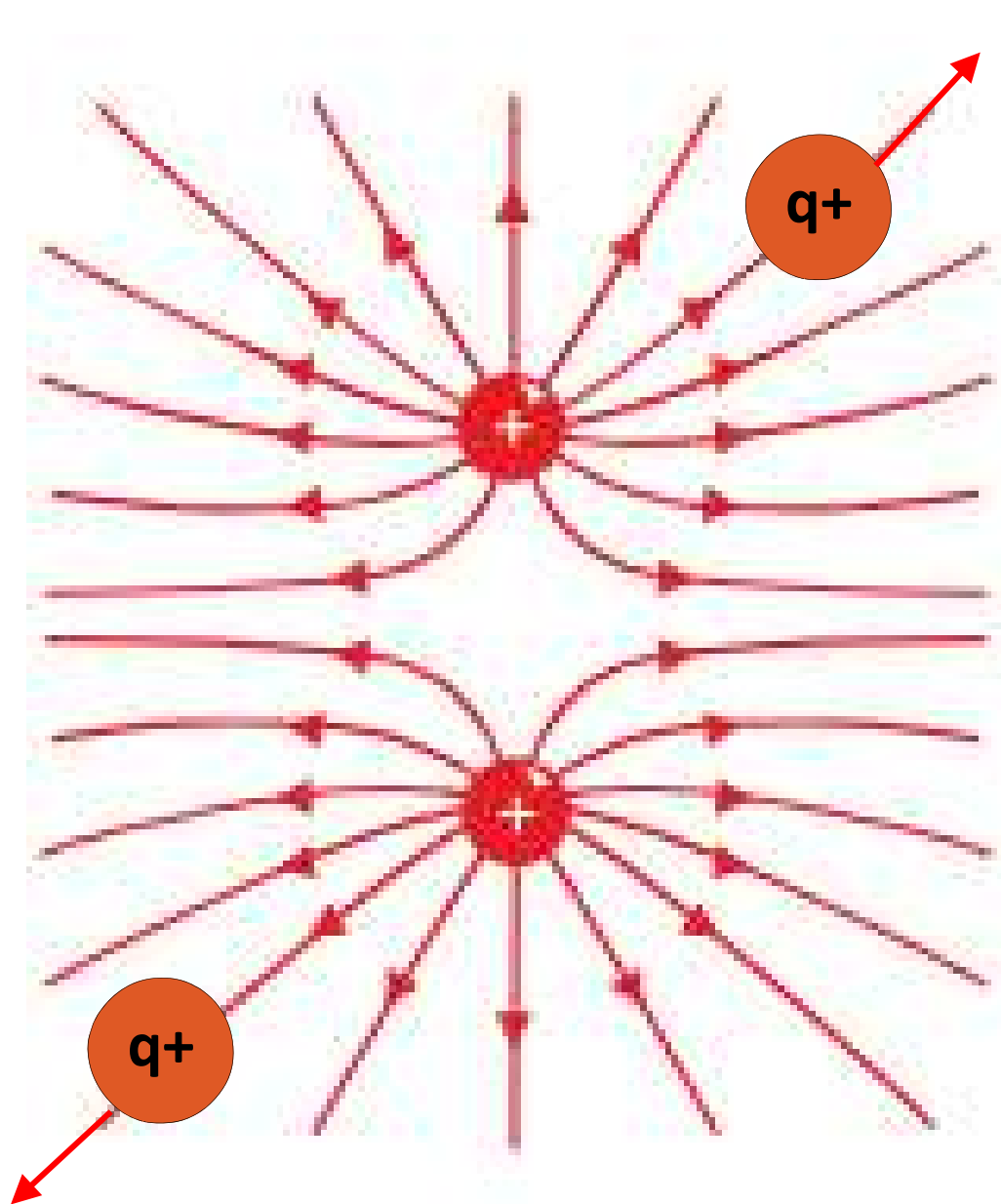
Na ładunek próbny (dodatni) działa siła (Coulomba)



Natężenie pola elektrycznego  $\mathbf{E}$  w dowolnym punkcie przestrzeni określa się umieszczając w tym punkcie ładunek próbny (ładunek jednostkowy) i mierząc wypadkową siłę elektryczną  $\mathbf{F}$  działającą na ten ładunek.

Przyjęto, że ładunek próbny jest dodatni więc kierunek wektora  $\mathbf{E}$  jest taki sam jak kierunek siły działającej na ładunek dodatni.

# ELEKTRON W POLU ELEKTRYCZNYM



Linie pola dla trzech przykładowych układów ładunków: jednoimiennych i dwuimiennych

# POLE ELEKTRYCZNE

Jeżeli pole elektryczne jest wytworzone przez ładunek punktowy  $Q$  to zgodnie z prawem Coulomba siła działająca na ładunek próbny  $q$  umieszczony w odległości  $r$  od tego ładunku wynosi:

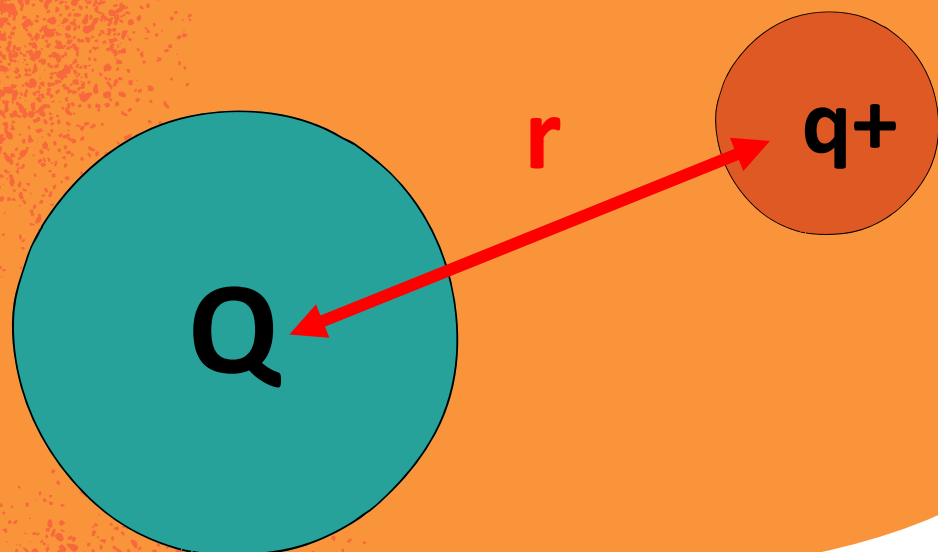
$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

Zwrot wektora  $\mathbf{E}$  jest taki jak siły  $\mathbf{F}$  więc zgodnie z definicją:

$$\mathbf{E} = \frac{1}{q} \mathbf{F} = \frac{1}{q} \left( k \frac{Qq}{r^2} \hat{r} \right) = k \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

gdzie  $\hat{r}$  jest wersorem, czyli wektorem jednostkowym zgodnym z kierunkiem siły pomiędzy ładunkami  $q$  i  $Q$ .

stała  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ . Współczynnik  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$



# POLE ELEKTRYCZNE

Jeżeli pole elektryczne jest wytworzone przez ładunek punktowy  $Q$  to zgodnie z prawem Coulomba siła działająca na ładunek próbny  $q$  umieszczony w odległości  $r$  od tego ładunku wynosi:

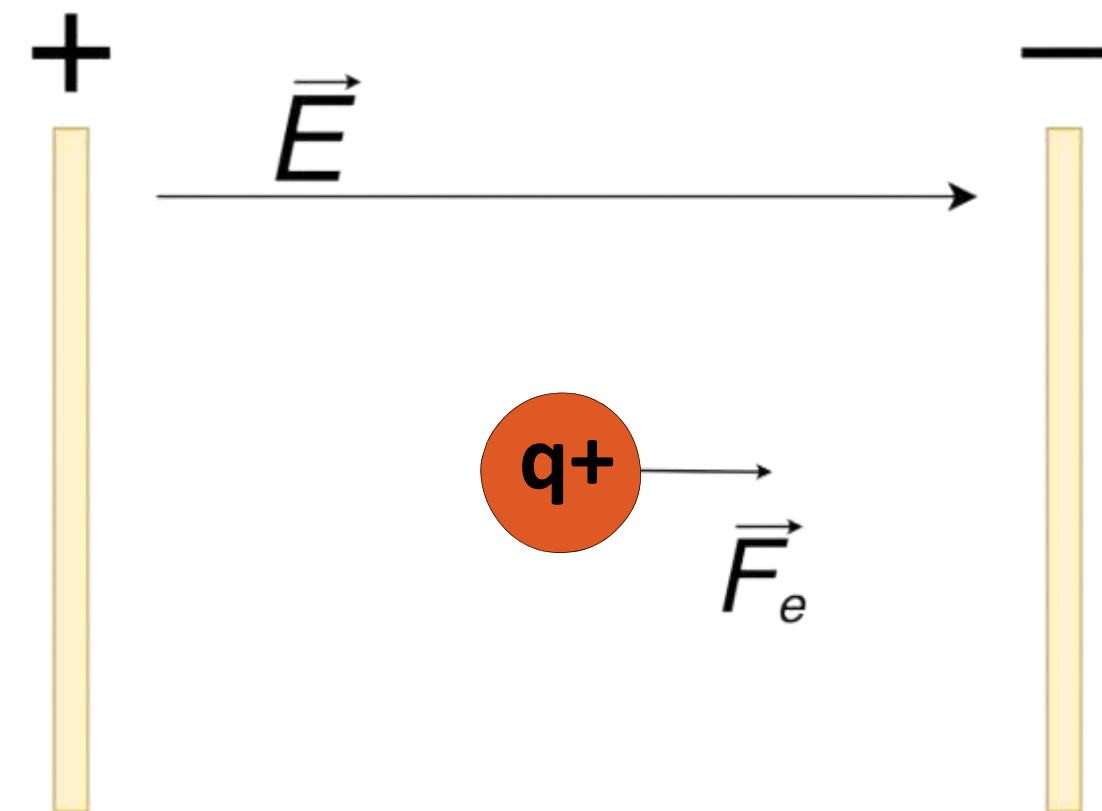
$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

Zwrot wektora  $\mathbf{E}$  jest taki jak siły  $\mathbf{F}$  więc zgodnie z definicją:

$$\mathbf{E} = \frac{1}{q} \mathbf{F} = \frac{1}{q} \left( k \frac{Qq}{r^2} \hat{r} \right) = k \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

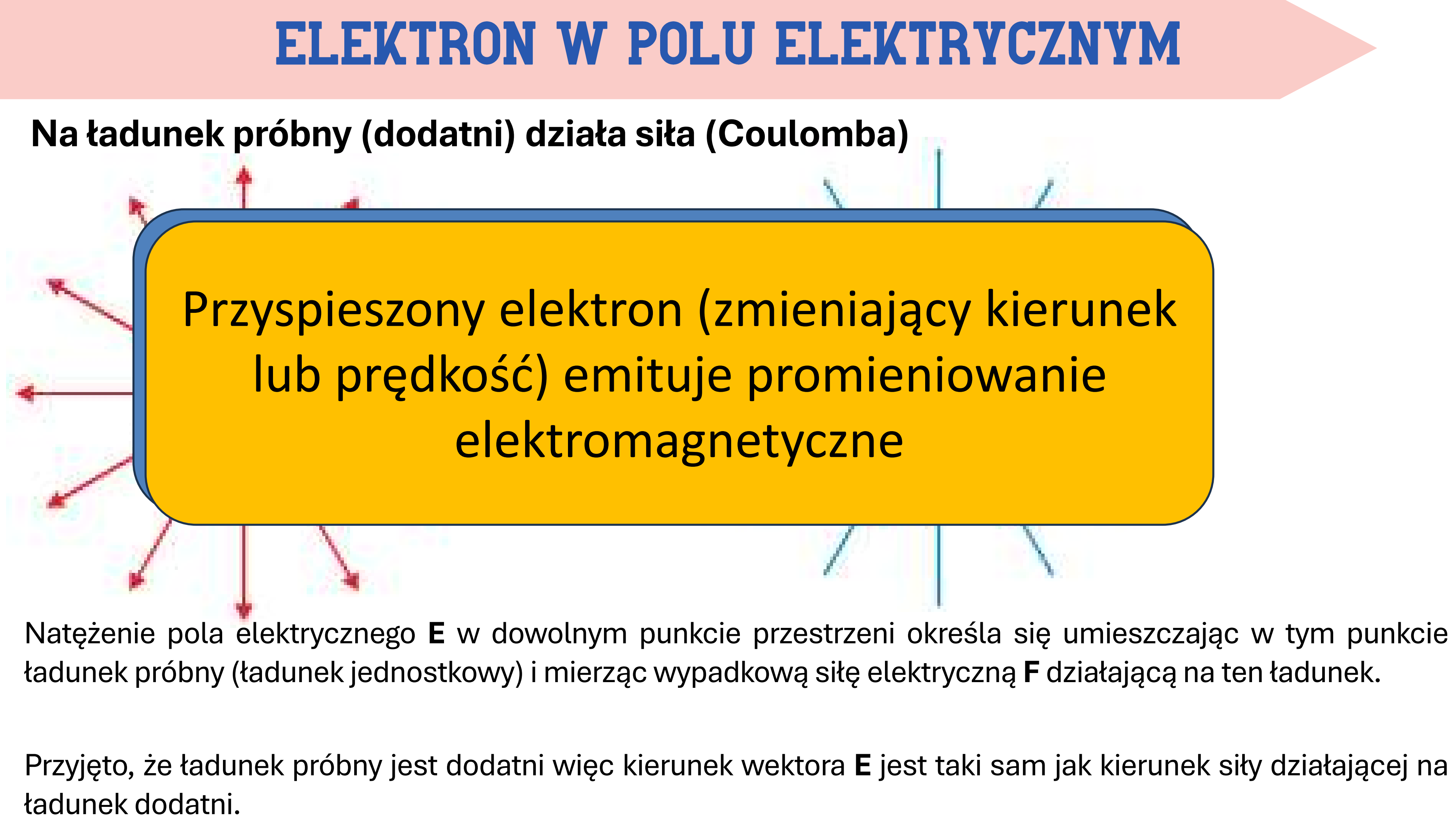
gdzie  $\hat{r}$  jest wersorem, czyli wektorem jednostkowym zgodnym z kierunkiem siły pomiędzy ładunkami  $q$  i  $Q$ .

stała  $k = 1/4\pi\epsilon_0$ . Współczynnik  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$



# ELEKTRON W POLU ELEKTRYCZNYM

Na ładunek próbny (dodatni) działa siła (Coulomba)



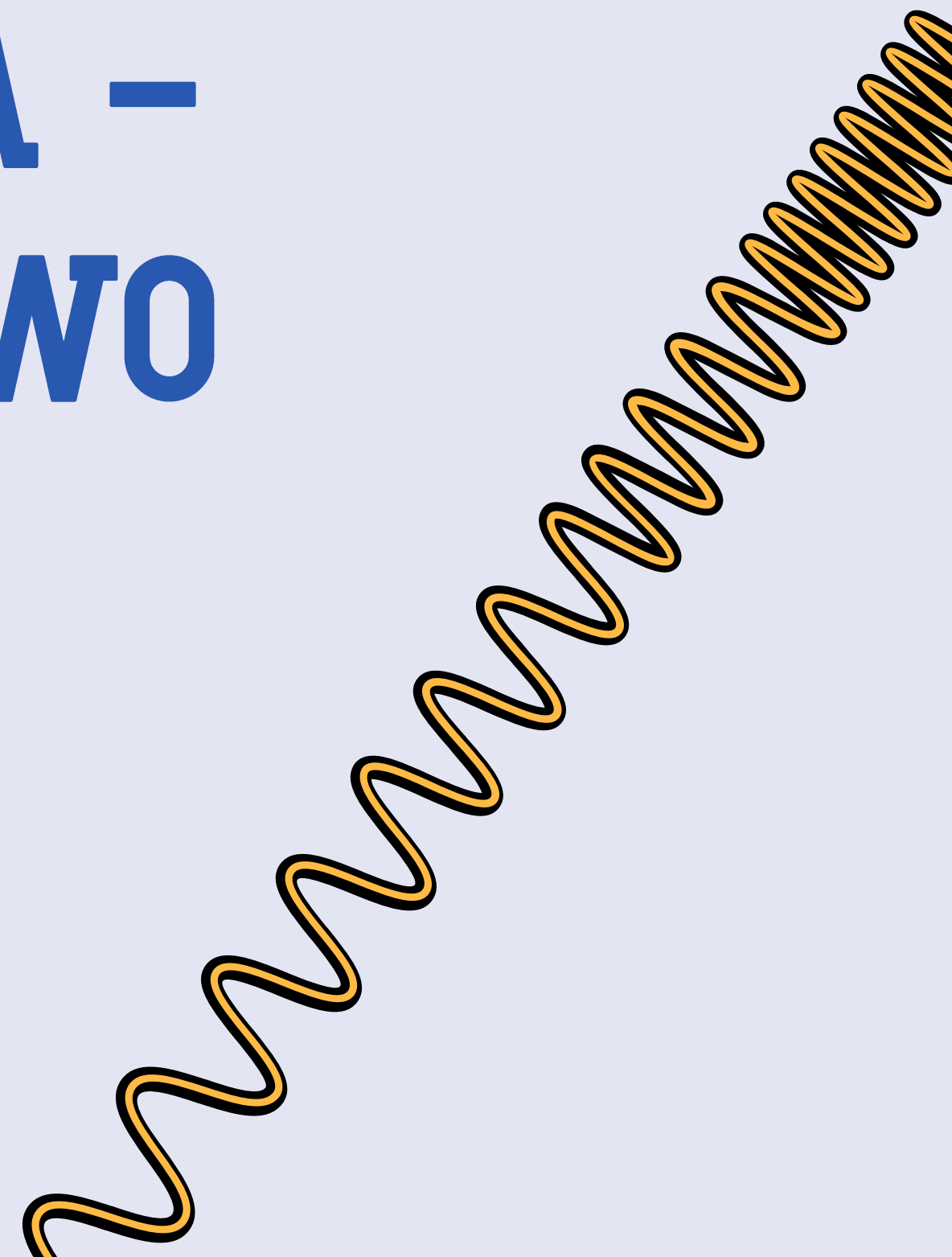
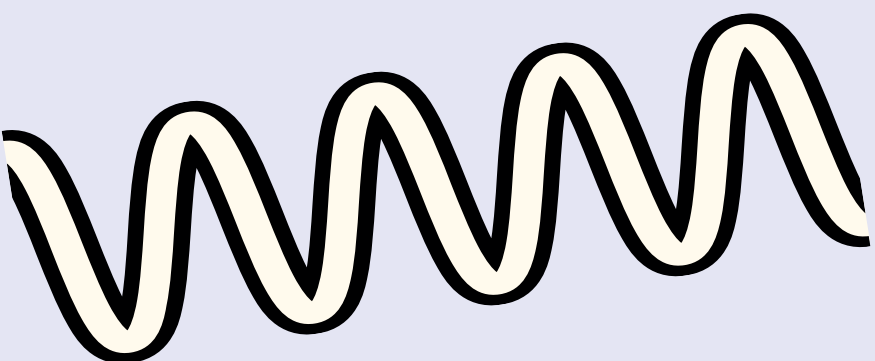
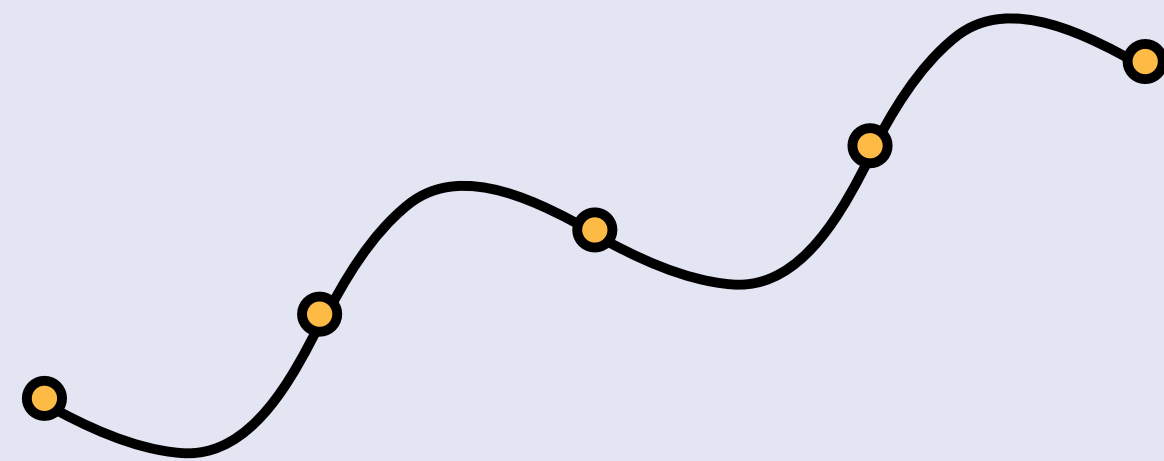
Przyspieszony elektron (zmieniający kierunek lub prędkość) emituje promieniowanie elektromagnetyczne

Natężenie pola elektrycznego  $\mathbf{E}$  w dowolnym punkcie przestrzeni określa się umieszczając w tym punkcie ładunek próbny (ładunek jednostkowy) i mierząc wypadkową siłę elektryczną  $\mathbf{F}$  działającą na ten ładunek.

Przyjęto, że ładunek próbny jest dodatni więc kierunek wektora  $\mathbf{E}$  jest taki sam jak kierunek siły działającej na ładunek dodatni.

**FALA**

**ELEKTROMAGNETYCZNA –  
NATURALNE NASTĘPSTWO  
RUCHU ŁADUNKÓW**



# PRZENOSZENIE INFORMACJI

Jeżeli pole elektryczne jest wytworzone przez ładunek punktowy  $Q$  to zgodnie z prawem Coulomba siła działająca na ładunek próbny  $q$  umieszczony w odległości  $r$  od tego ładunku wynosi:

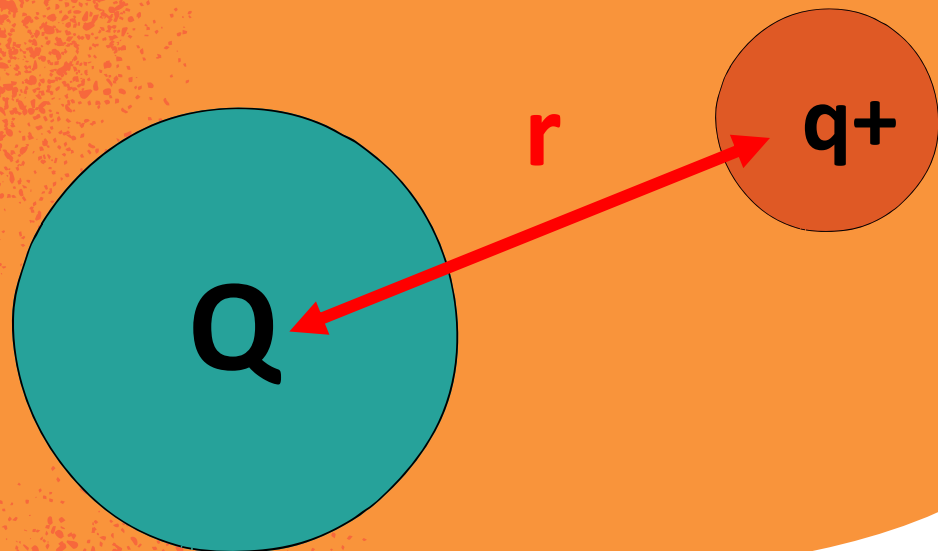
$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

ALE... Jeżeli zacznę poruszać ładunkiem  $q+$  to skąd  $Q$  wie, że coś się zmieniło?

W jaki sposób informacja o ruchu ładunku  $q$  dotarła do jego partnera  $Q$ ?

Poruszając  $q$  wytworzyliśmy zaburzenie. Zaburzenie to rozchodzi się w przestrzeni jako:

**FALA ELEKTROMAGNETYCZNA**



# ODKRYCIE FALI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Maxwell odkrył falę elektromagnetyczną w 1864 roku. Nie dożył jednak eksperymentalnego potwierdzenia swojej teorii. Dokonał tego Heinrich Hertz w roku 1887.

## EKSPERYMENT HERTZA

Podczas zapalania gazu często używamy piezoelektrycznego iskrownika. Jeśli wytworzymy w nim iskrę, to w pobliskim włączonym radioodbiorniku usłyszymy zakłócenie w postaci trzasku.

To znak, że właśnie odebraliśmy falę elektromagnetyczną wytworzoną w momencie pojawienia się iskry elektrycznej.

Iskry, jako poruszające się ładunki wytwarzają pole elektryczne i pole magnetyczne, czyli falę elektromagnetyczną.

