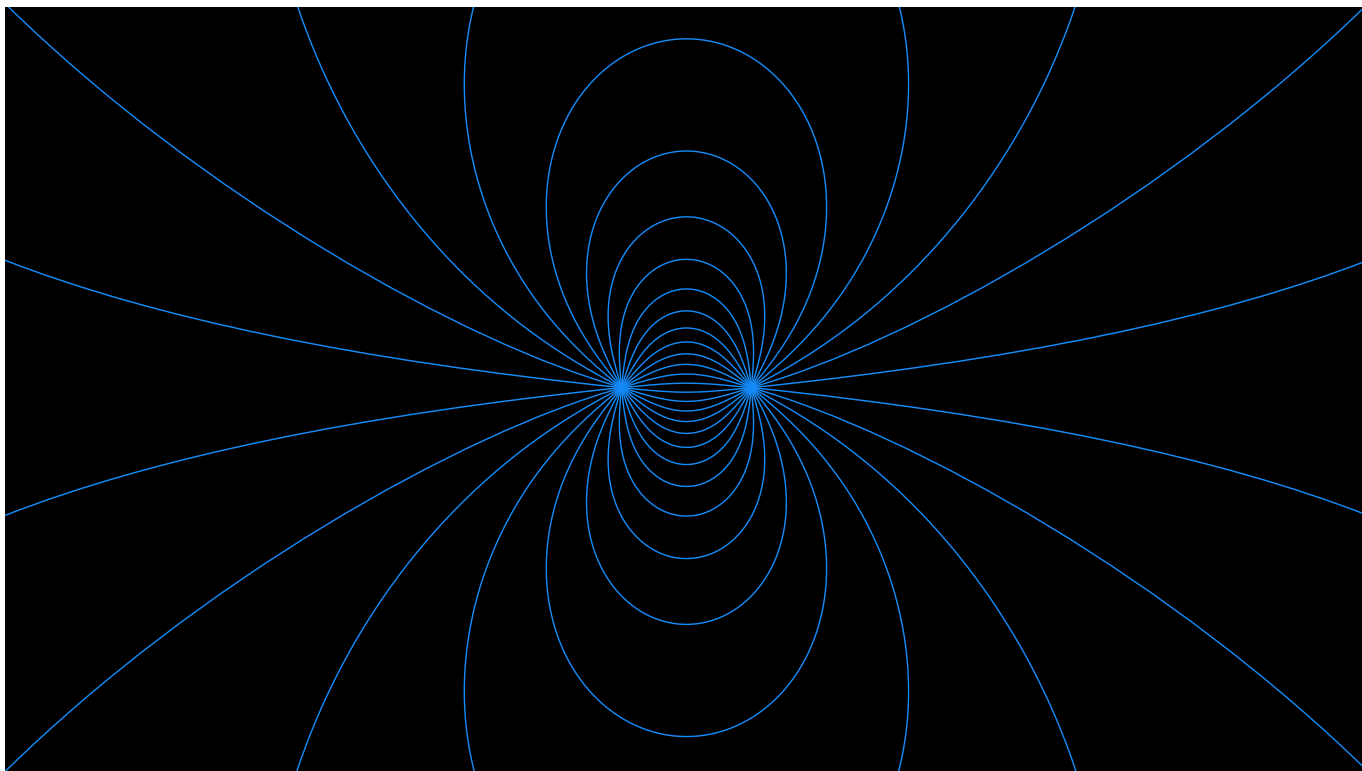
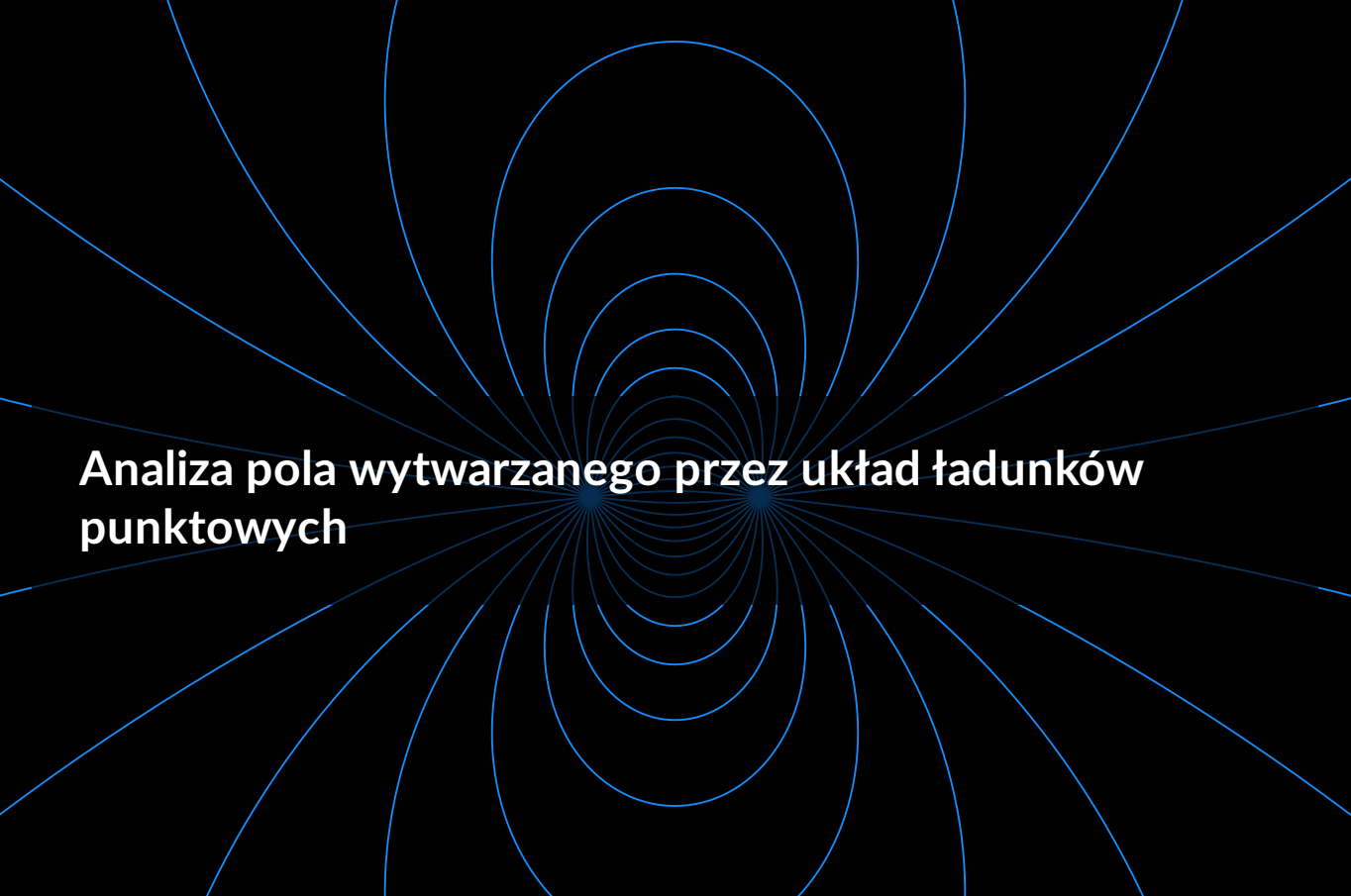




Analiza pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



The diagram shows two point charges, represented by blue dots, with concentric blue circles around each representing equipotential lines. The lines from the two charges intersect to form the electric field lines, which are shown as a series of nested, elongated loops between the charges and as radial lines extending outwards. The background is black, and the lines are a light blue color.

Analiza pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Czy to nie ciekawe?

Opis pola elektrostatycznego jest stosunkowo prosty, gdy mamy do czynienia z jednym ładunkiem źródłowym. Co się jednak dzieje, gdy źródeł jest więcej? Jak zmienia się sytuacja, gdy jednoimiennie ładunki zastąpimy różnoimiennymi? I czy da się to opisać w prosty sposób? O tym w niniejszym materiale.

Twoje cele

Po zapoznaniu się z treścią materiału:

- dowiesz się, jak wygląda natężenie pola w przypadku kilku ładunków elektrycznych,
- zastosujesz zasadę superpozycji pól dla pola elektrostatycznego,
- przeanalizujesz opisy pól wytwarzanych przez układy ładunków punktowych,
- zastosujesz w praktyce zasadę superpozycji pól.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Pole fizyczne definiuje się jako przestrzeń, dla której możemy określić w każdym punkcie określoną wielkość fizyczną. Wielkością charakteryzującą pole oddziaływań, pozwalającą na porównanie różnych jego punktów (a także i źródeł), jest natężenie pola.

Jeśli w takiej przestrzeni umieścimy ładunki elektryczne, na które zacznie działać siła powodująca ich ruch, to wówczas mamy do czynienia z **polem elektrostatycznym**, a pojawiającą się siłę nazywamy siłą elektrostatyczną $\vec{F}_e$. Stosunek tej siły do ładunku próbnego q , to właśnie wspomniane wcześniej natężenie pola elektrostatycznego $\vec{E}$:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

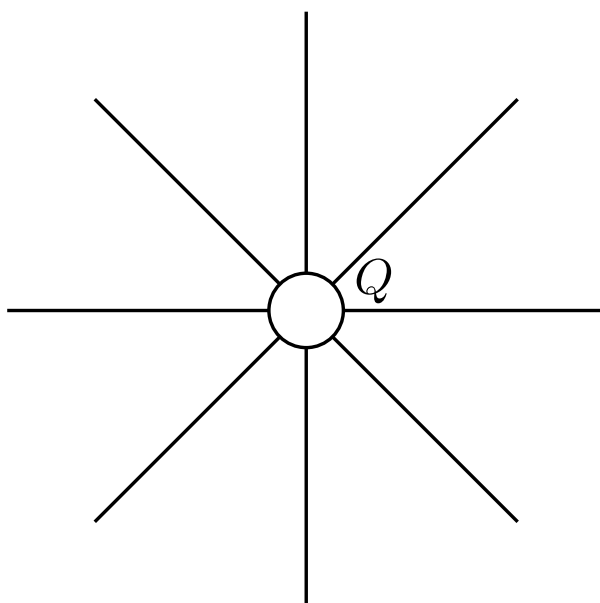
gdzie:

$\vec{E}$ – natężenie pola elektrostatycznego [N/C],

$\vec{F}_e$ – siła oddziaływania elektrostatycznego [N],

q – ładunek próbny [C].

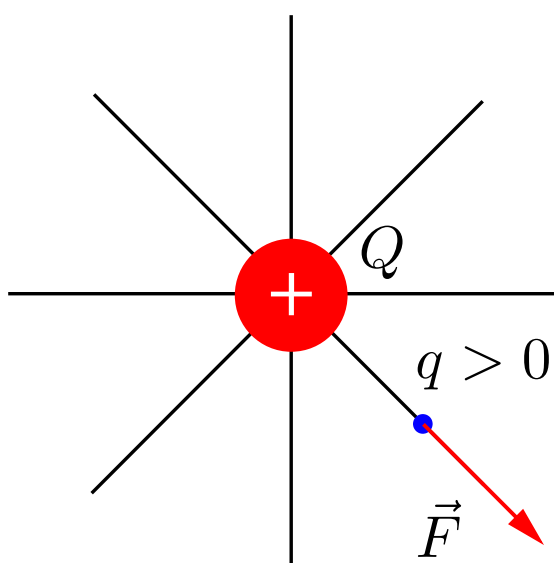
Jeśli źródłem pola elektrostatycznego jest ładunek punktowy, to wywołane przez taki ładunek pole nazywamy polem centralnym i obrazujemy za pomocą promieniście rozchodzących się linii pola (Rys. 1.).



Rys. 1. Rozkład linii pola wokół ładunku centralnego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

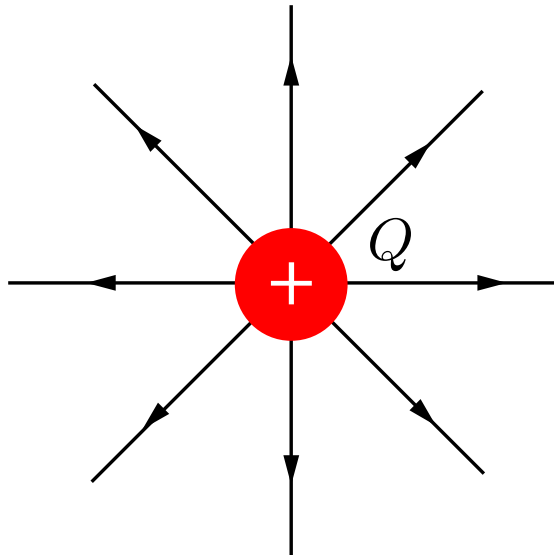
Kolejnym krokiem jest określenie zwrotu tych linii. Wyznacza się go umieszczając w pobliżu ładunku centralnego próbny ładunek dodatni i obserwując jego zachowanie.



Rys. 1a. Ładunek dodatni q jest odpychany siłą $\vec{F}$ od centrum pola.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

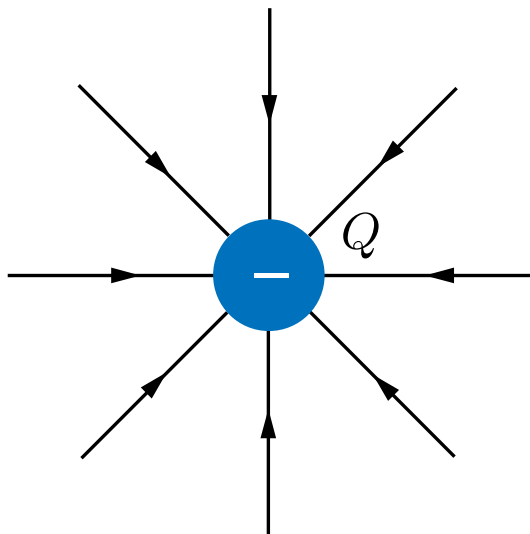
Jeśli ładunek centralny jest dodatni, to ładunek próbny zostanie odepchnięty od niego (Rys. 1a.) – zwrot linii pola jest więc skierowany od źródła (Rys. 2.).



Rys. 2. Rozkład linii pola wokół ładunku centralnego dodatniego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Jeśli jednak ładunek centralny jest ujemny, to ładunek próbny zostanie przyciągnięty – zwrot linii pola będzie więc skierowany do źródła (Rys. 3.).

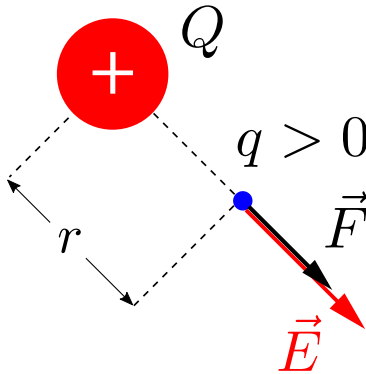


Rys. 3. Rozkład linii pola wokół ładunku centralnego ujemnego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Wektor natężenia pola ma kierunek i zwrot siły działającej na ładunek próbny, czyli zgodny ze zwrotem linii pola, a wartość natężenia pola w poszczególnych jego punktach można obliczyć ze wzoru:

$$E = \frac{F}{q}$$



Rys. 3a. Na ładunek próbny q umieszczony w odległości r od źródła pola Q działa siła $\vec{F}$, której wartość obliczamy z prawa Coulomba. Wektor natężenia pola $\vec{E}$ ma kierunek i zwrot zgodny z $\vec{F}$.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Siła oddziaływania pomiędzy źródłem Q i ładunkiem próbnym q jest opisana prawem Coulomba. Wartość natężenia pola w odległości r od źródła wyraża się wtedy wzorem:

$$E = \frac{k \frac{Qq}{r^2}}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$

Zauważymy, że natężenie pola elektrostatycznego zależy od ładunku centralnego i maleje z kwadratem odległości od środka tego ładunku.

Sytuacja komplikuje się jednak, gdy źródeł jest więcej – wówczas wielkości charakteryzujące te pola dodają się zgodnie z **zasadą superpozycji**.

Natężenie pola pochodzące od kilku źródeł jest sumą wektorową natężeń wytworzonych przez każde ze źródeł osobno.

W przypadku dwóch źródeł wytwarzających w danym punkcie pola o natężeniach $\vec{E}_1$ i $\vec{E}_2$ wypadkowe natężenie pola w tym punkcie:

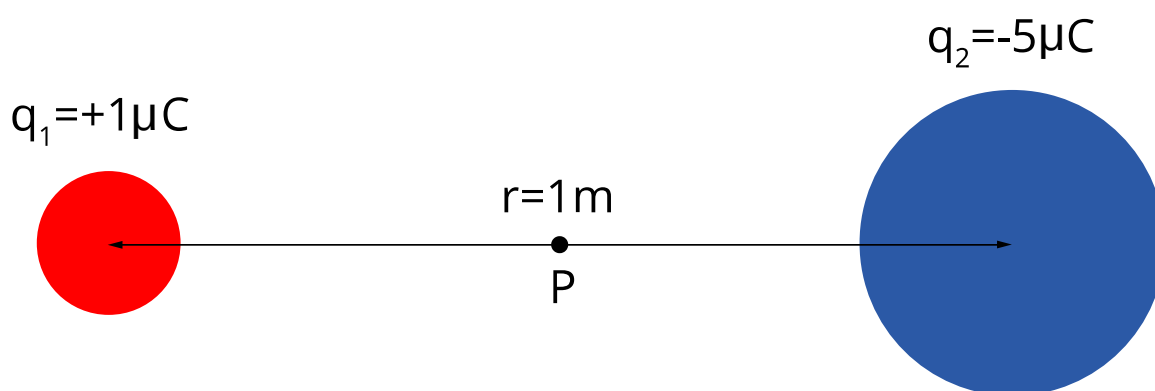
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

W przypadku N źródeł:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N$$

Rozważmy następujący przykład:

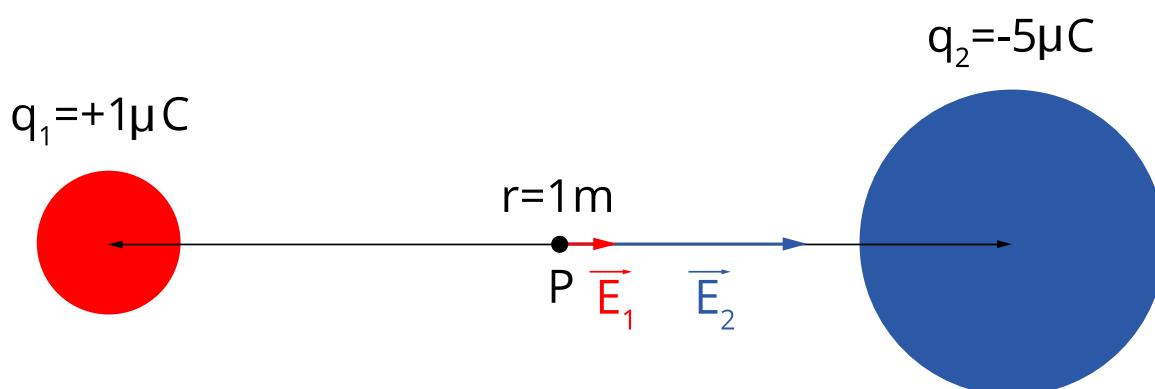
Umieścimy dwa ładunki o wartościach $1\ \mu\text{C}$ i $-5\ \mu\text{C}$ w odległości 1 metra (Rys. 4.), a następnie obliczymy natężenie pola elektrostatycznego w punkcie P - w połowie odległości pomiędzy ich środkami.



Rys. 4. Dwa ładunki różnoimienne: $1\ \mu\text{C}$ i $-5\ \mu\text{C}$ w odległości 1m.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

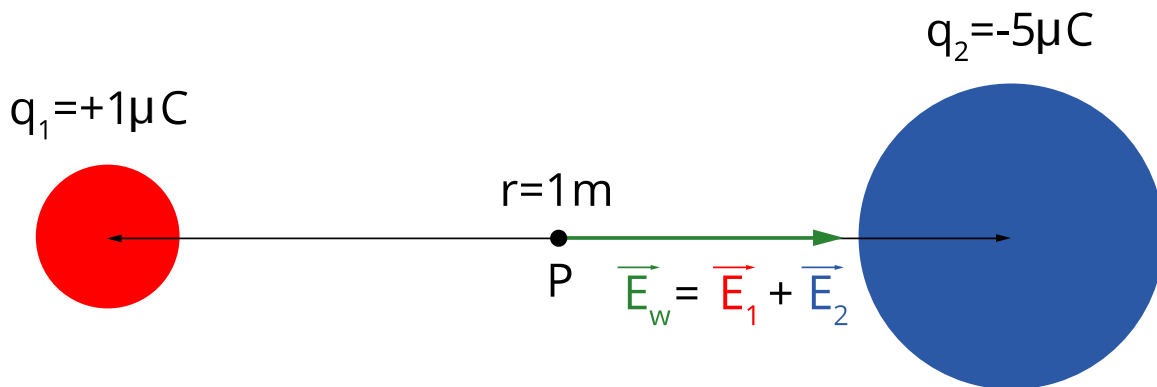
Możemy wykreślić wektory natężeń pola elektrostatycznego pochodzące od tych ładunków (Rys. 5.).



Rys. 5. Wektory natężeń pola elektrostatycznego $\vec{E}_1$ i $\vec{E}_2$ mają zgodne zwroty.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Dodając wektory do siebie otrzymujemy wypadkowy wektor natężenia pola elektrostatycznego $\vec{E}_w = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.



Rys. 6. Wypadkowy wektor natężenia pola elektrostatycznego $\vec{E}_w$.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Możemy zapisać, że:

$$x = \frac{1}{2}r = 0,5\text{ m}$$

$$E_1 = k \frac{q_1}{x^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(0,5\text{ m})^2} \approx 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = k \frac{q_2}{x^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(0,5\text{ m})^2} \approx 18 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Zatem wartość wypadkowego natężenia pola elektrostatycznego jest równa:

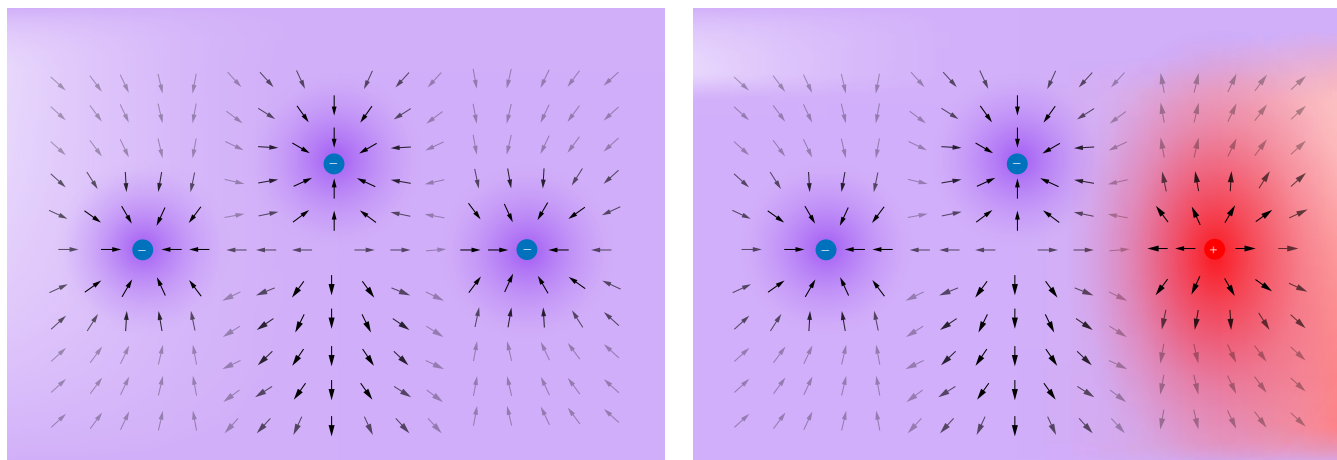
$$E_1 + E_2 = 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} + 18 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 21,6 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

A jak będzie wyglądała sytuacja w przypadku większej liczby ładunków źródłowych?

Przyjrzyjmy się najpierw symulacjom przedstawiającym pole elektryczne wytwarzane przez układ trzech oraz czterech punktowych ładunków elektrycznych o tej samej wartości bezwzględnej przedstawionych za pomocą czerwonych i niebieskich kulek (niebieski umownie reprezentuje „-”, zaś czerwony – „+”). Czarne strzałki oznaczają zwrot linii pola elektrycznego.

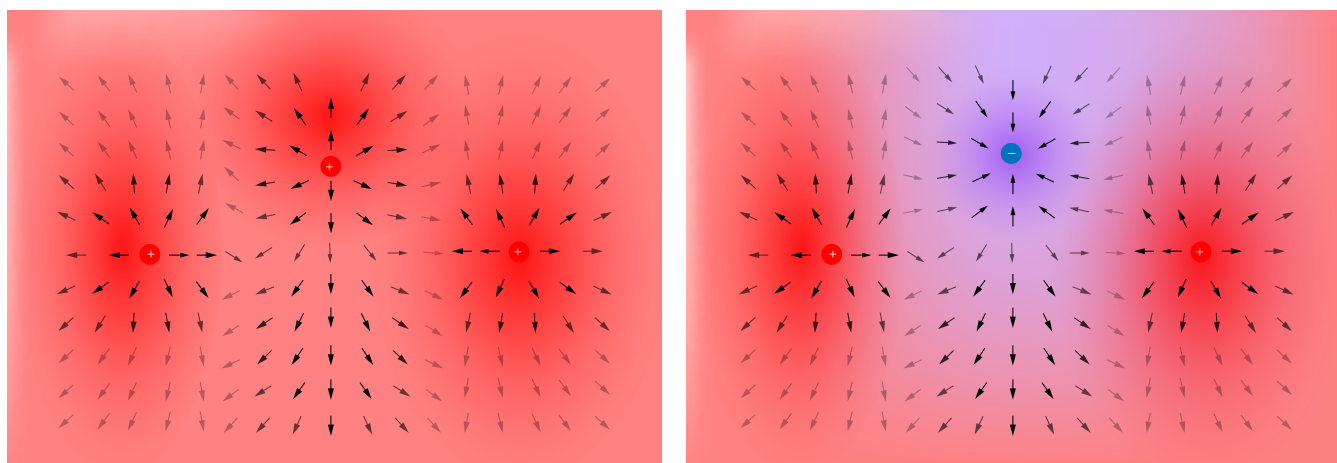
Symulacje zostały wykonane z użyciem apletu „Ładunki i pola elektryczne”, dostępnego na stronie: <https://www.edukator.pl/site/applet/?id=288>.

Dla trzech ładunków:



Rys. 7. Układ trzech ładunków jednoimiennych ujemnych oraz dwóch ujemnych i dodatniego.

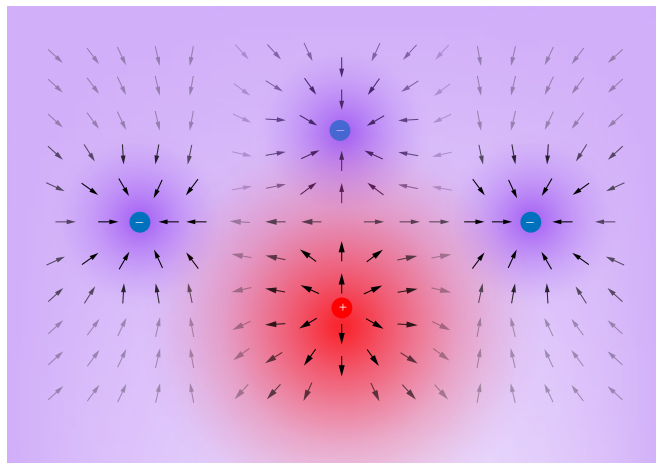
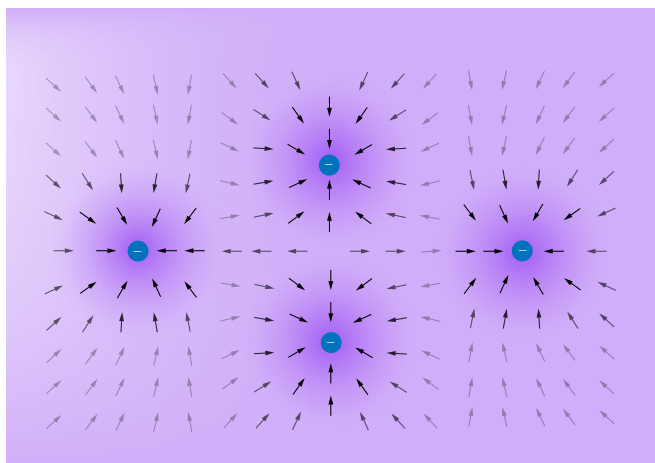
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.



Rys. 8. Układ trzech ładunków jednoimiennych dodatnich oraz dwóch dodatnich i ujemnego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

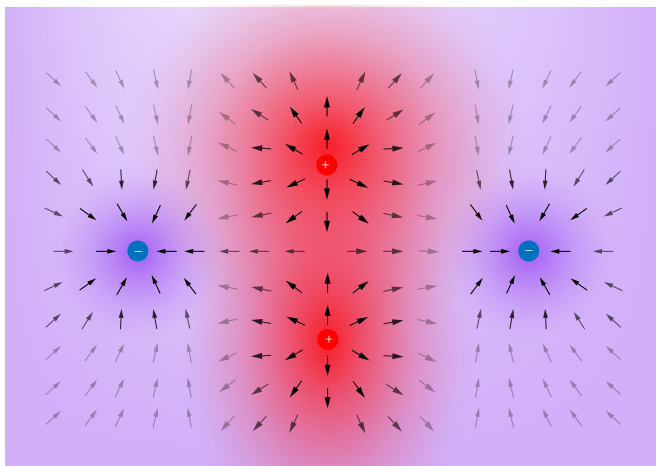
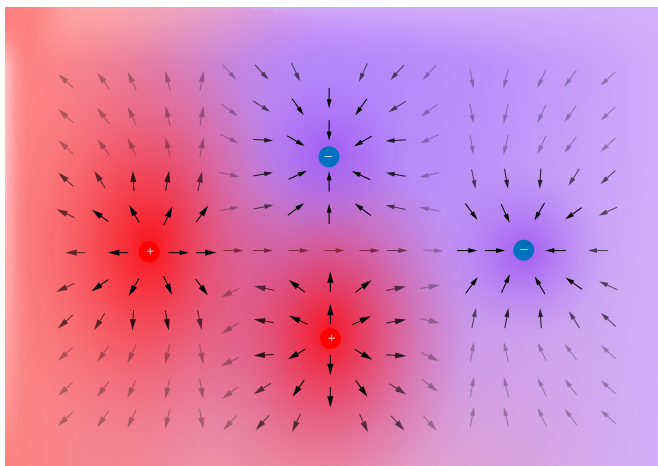
Dla czterech ładunków:



Rys. 9. Układ czterech ładunków jednoimiennych ujemnych oraz trzech ujemnych i dodatniego.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

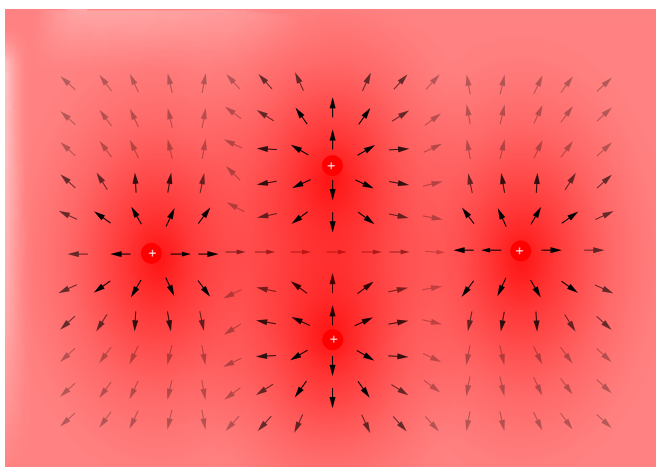
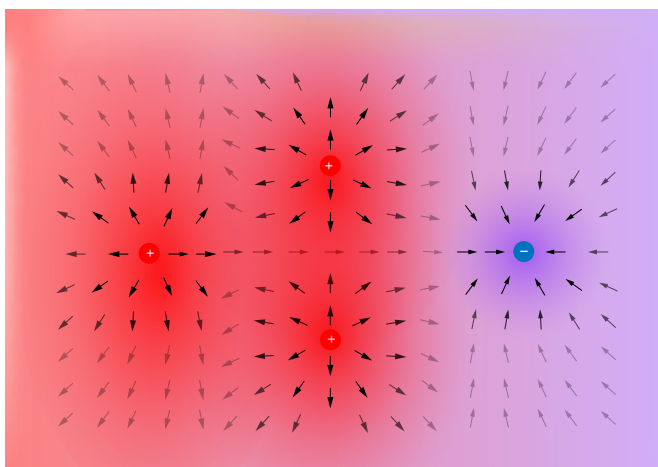
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.



Rys. 10. Układ czterech ładunków różnoimiennych w różnych konfiguracjach.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.



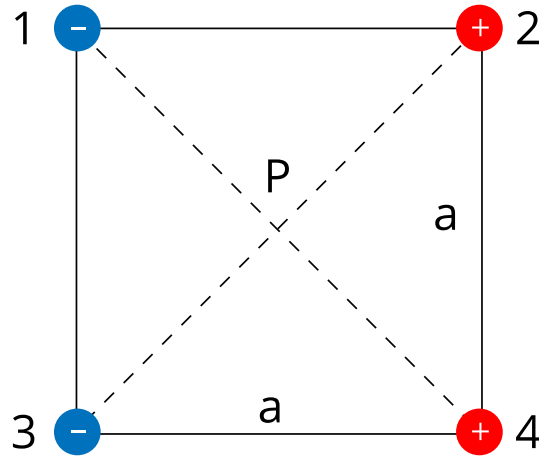
Rys. 11. Układ trzech ładunków dodatnich i ujemnego oraz czterech jednoimiennych dodatnich.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Widzimy, jak prezentują się linie pola elektrostatycznego. Rozpatrzmy teraz jedną z tych sytuacji.

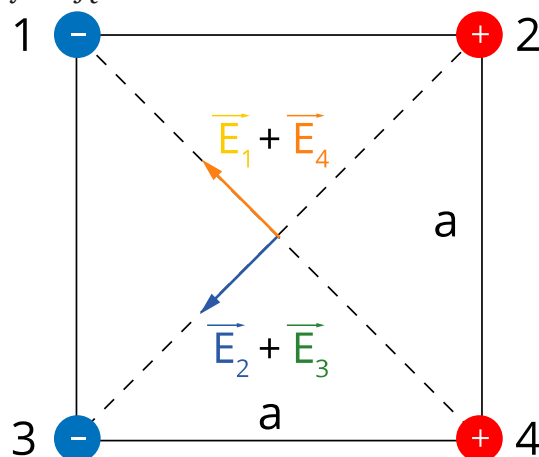
W wierzchołkach kwadratu o boku $a = 2$ m umieścimy cztery ładunki elektryczne: dwa dodatnie i dwa ujemne o jednakowych wartościach $q = 0,05 \mu\text{C}$. Następnie, wyznaczmy wypadkowe natężenie pola elektrycznego w punkcie P leżącym w środku tego kwadratu.



Rys. 12. Układ czterech ładunków różnoimiennych w wierzchołkach kwadratu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Narysujmy najpierw wektory natężenia pola pochodzące od poszczególnych ładunków, a następnie dodajmy wektory mające ten sam kierunek i zwrot.



Rys. 13. Rozkład wektorów natężenie pola pochodzącego od poszczególnych ładunków.

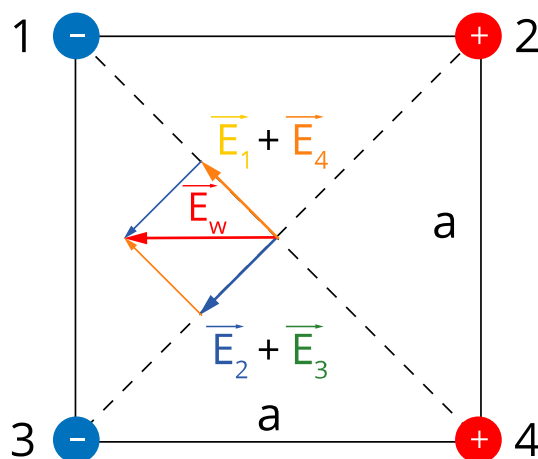
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Przekątna kwadratu ma długość $a\sqrt{2}$, czyli odległość punktu P od ładunku to $\frac{a\sqrt{2}}{2}$.

Korzystając z prawa Coulomba możemy więc zapisać, że:

$$E_1 + E_4 = 2 \cdot k \cdot \frac{q}{\left(\frac{a\sqrt{2}}{2}\right)^2} = 4k \frac{q}{a^2}$$

$$E_2 + E_3 = E_1 + E_4 = 4k \frac{q}{a^2}$$



Rys. 14. Natężenie wypadkowe dla układu czterech ładunków różnoimiennych.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Natężenie wypadkowe jest więc przekątną w powstałym kwadracie. Jego wartość wynosi więc:

$$E_w = (E_1 + E_4) \cdot \sqrt{2} = 4\sqrt{2}k \frac{q}{a^2}$$

$$E_w = 4\sqrt{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-6} C}{(2m)^2} \approx 636 \frac{N}{C}$$

Słowniczek

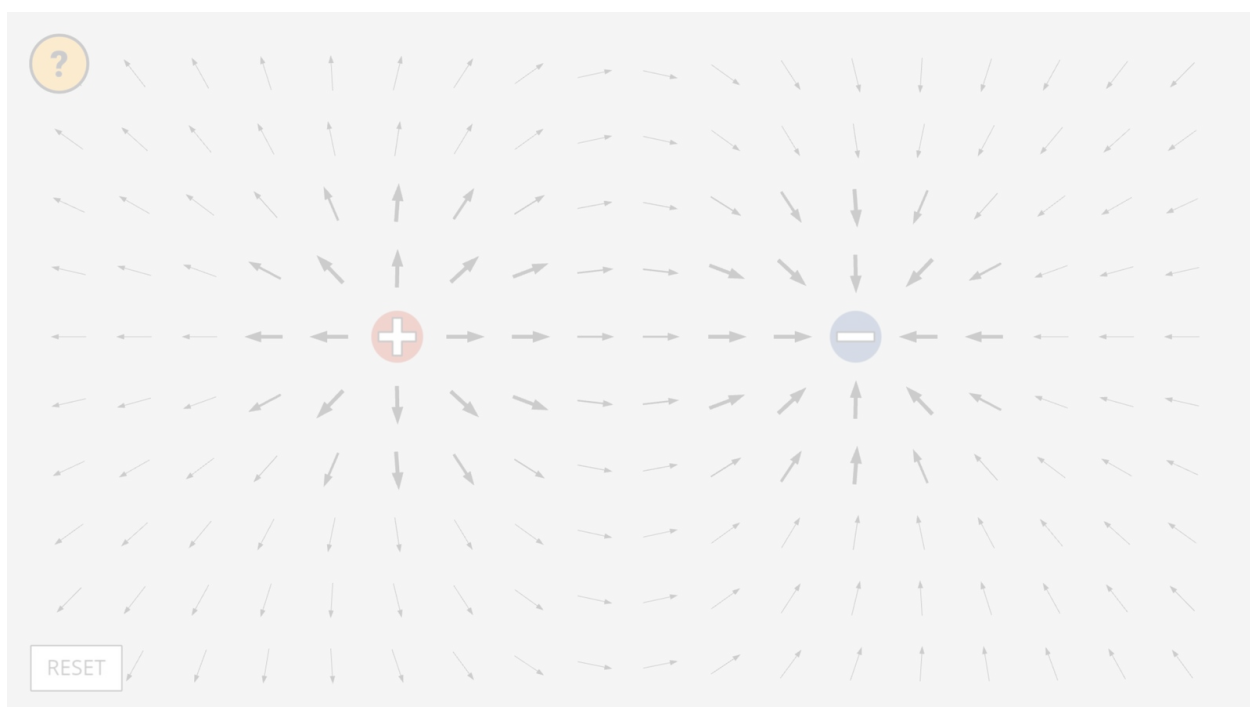
superpozycja

(ang.: *superposition*) nakładanie się na siebie wielkości pochodzących z różnych źródeł.

Symulacja interaktywna

Analiza pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych

Symulacja przedstawia pole wytworzone przez układ ładunków punktowych. Możesz zmieniać znak i położenie każdego ładunku oraz liczbę ładunków wytwarzających pole. Zapoznaj się z symulacją i wykonaj polecenie.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DNrlwVtVx>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Polecenie 1

Jaką wartość będzie miało natężenie pola elektrostatycznego w środku sześciokąta foremnego, w którego wierzchołkach znajdują się takie same, co do wartości i znaku, ładunki elektryczne?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



OBIEKT MULTIMEDIALNY

KLIKNIJ, ABY OTWORZYĆ NA PEŁNYM EKRANIE

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 2



W pewnym punkcie przestrzeni natężenie pola elektrycznego ma wartość $E = 1000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$.
W polu tym umieszczono ładunek punktowy $q = 9 \cdot 10^{-8} \text{ C}$. Oznacza to, że ładunek centralny
ma wartość:

☐ $\frac{1}{9} \cdot 10^{12} \text{ C}$

☐ $0,9 \cdot 10^{-11} \text{ C}$

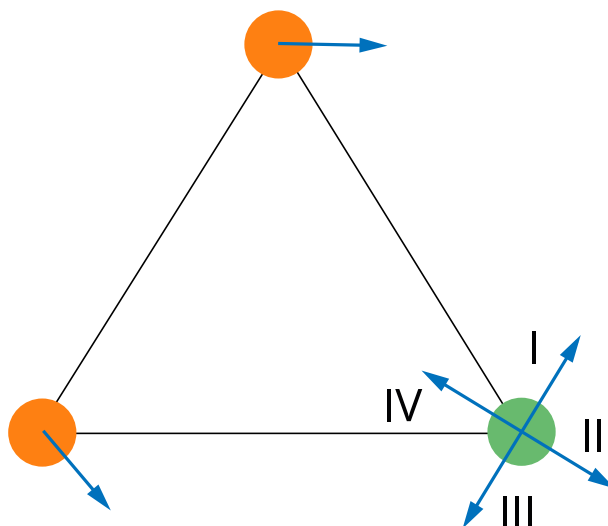
☐ nie można wyznaczyć jego wartości na podstawie tego zestawu danych

☐ $9 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

Ćwiczenie 3



Trzy punkowe ładunki o jednakowej wartości bezwzględnej umieszczono w wierzchołkach trójkąta równobocznego tak, jak na rysunku. Następnie narysowano siły wypadkowe działające na każdy z tych ładunków. Która strzałka poprawnie przedstawia siłę działającą na ładunek znajdujący się w prawym, dolnym rogu?



☐ IV

☐ III

☐ I

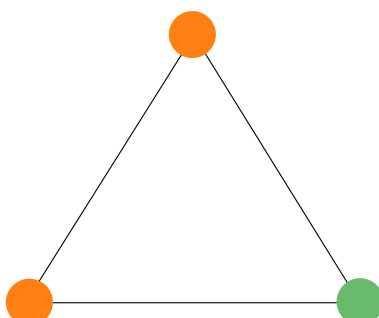
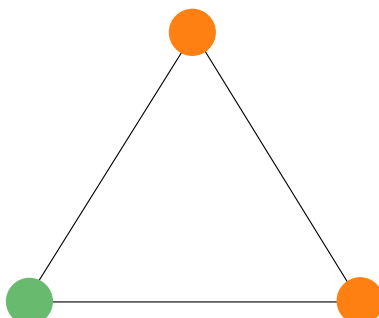
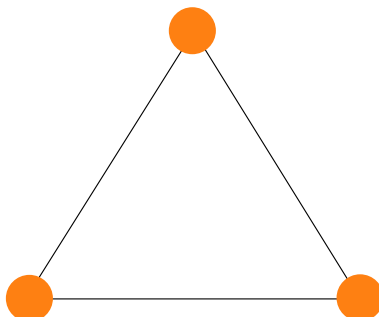
☐ II

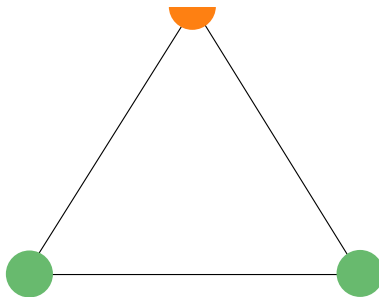
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 4



Ładunki o takich samych wartościach bezwzględnych umieszczono w wierzchołkach trójkąta równobocznego. W którym przypadku siła działająca na ładunek znajdujący się w górnym wierzchołku będzie miała kierunek równoległy do dolnego boku i zwrot w prawo, jeśli wiadomo, że te same kolory oznaczają ładunki jednoimienne.





Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 5



Ładunki q i $2q$ znajdują się w odległości $d = 1$ m od siebie. W jakiej odległości x (mierząc od ładunku dodatniego), natężenie pola elektrostatycznego będzie wynosiło 0? Wynik podaj w centymetrach w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

$x \approx$ cm.

Ćwiczenie 6



Wyznacz wypadkowe natężenie pola elektrycznego w punkcie P pochodzące od dwóch ładunków: $5 \mu\text{C}$ i $-5 \mu\text{C}$ tworzących dipol elektryczny, jeśli wiadomo, że leżą one w odległości 2 m od siebie. Wiadomo, że punkt P leży na symetralnej odcinka łączącego oba ładunki w odległości 1 m od środka tego odcinka. Wynik zapisz w $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$ w postaci liczby całkowitej.

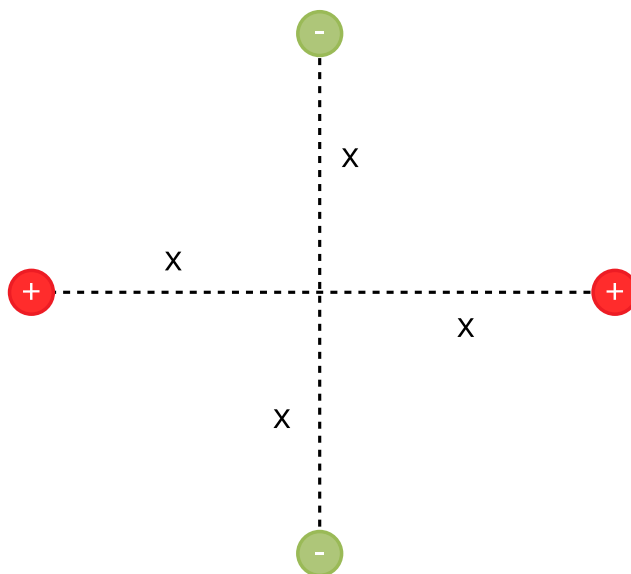
Stała $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$.

$E_w \approx$ $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$.

Ćwiczenie 7



Wyznacz natężenie pola elektrostatycznego w środku układu przedstawionego na poniższym rysunku, jeśli wiadomo, że wszystkie ładunki znajdują się w takiej samej odległości $x = 2,5$ m od środka oraz ich wartości są identyczne i wynoszą $q = 5$ C. Wynik podaj w $\frac{N}{C}$ w zaokrągleniu do liczb całkowitych.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

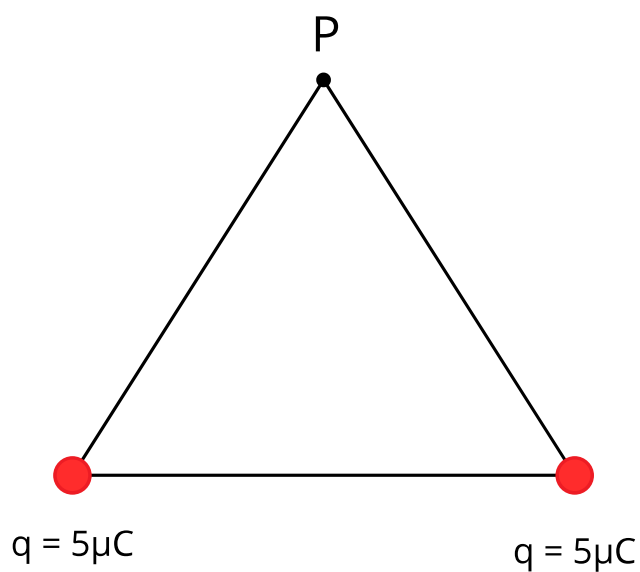
Odpowiedź: $\frac{N}{C}$.

Ćwiczenie 8



W dwóch wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku $a = 2$ m umieszczono punktowe ładunki elektryczne $q = 5\mu\text{C}$. Oblicz natężenie pola elektrycznego w punkcie P leżącym w trzecim wierzchołku tego trójkąta. Wynik podaj w $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$ w zaokrągleniu do liczb całkowitych.

Przyjmij, że $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$$E_w = \boxed{} \frac{\text{kN}}{\text{C}}.$$

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Ewelina Kędzierska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Analiza pola wytworzonego przez układ ładunków punktowych
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne: I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 4) analizuje natężenie pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych i oblicza jego wartość.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. opisuje rozkład pola w przypadku ładunków elektrycznych; 2. wyjaśnia, czym jest zasada superpozycji natężeń pola elektrostatycznego; 3. analizuje opisy pól wytwarzanych przez układy ładunków punktowych; 4. stosuje w praktyce zasadę superpozycji pól.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, podsumowująca rozmowa kierowana
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	tablica multimedialna/rzutnik
Materiały pomocnicze:	przybory geometryczne
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem. Nauczyciel rozpoznaje wiedzę wyjściową uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązuje do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. Uczniowie przedstawiają posiadane informacje na temat: • cech wektorów i działań wykonywanych na nich, • oddziaływania elektrostatycznego.	
Faza realizacyjna:	

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:
 - nauczyciel tłumaczy uczniom, jak wygląda centralne pole elektrostatyczne wytwarzające się wokół ładunku punktowego,
 - uczniowie zadają pytania dotyczące kwestii problemowych lub niezrozumiałych,
 - uczniowie, pod kierunkiem nauczyciela, rysują w zeszytach pole wytwarzające się między dwoma ładunkami punktowymi dodatnimi,
 - nauczyciel sprawdza poprawność wykonania przez uczniów zadania
 - jeśli któryś uczeń narysował poprawny rysunek, nauczyciel prosi go o wykonanie tego rysunku na tablicy; jeśli nie – sam wykonuje rysunek,
 - uczniowie, pod kierunkiem nauczyciela, rysują w zeszytach pole wytwarzające się między dwoma ładunkami punktowymi ujemnymi,
 - nauczyciel sprawdza poprawność wykonania przez uczniów zadania
 - jeśli któryś uczeń narysował poprawny rysunek, nauczyciel prosi go o wykonanie tego rysunku na tablicy; jeśli nie – sam wykonuje rysunek,
 - nauczyciel wybiera jednego ucznia, który wykona na tablicy kolejny przykład,
 - uczeń, z pomocą nauczyciela wykonuje na tablicy przykład zawierający przypadek dwuwymiarowy – ułożenie ładunków w wierzchołkach kwadratu o zadanej długości boku,
 - nauczyciel kontroluje pracę uczniów, koryguje ewentualne błędy i wyjaśnia kwestie problematyczne,
 - pozostali uczniowie przyglądają się rozwiązaniu i zadają pytania dotyczące kwestii niejasnych,
 - nauczyciel przedstawia uczniom kolejny przykład – tym razem ładunki ułożone są w wierzchołkach trójkąta równobocznego oraz daje im chwilę na samodzielne podejście do problemu,
 - uczniowie próbują samodzielnie wykonać otrzymane zadanie,
 - nauczyciel wybiera następnego ucznia do rozwiązania podanego przykładu,
 - uczeń, z pomocą nauczyciela wykonuje na tablicy przykład,
 - nauczyciel kontroluje pracę ucznia, koryguje ewentualne błędy i wyjaśnia kwestie problematyczne,
 - pozostali uczniowie przyglądają się rozwiązaniu, sprawdzają postępy dokonane w czasie samodzielnej pracy i zadają pytania dotyczące kwestii niejasnych.
- Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów:
 - uczniowie na podstawie informacji uzyskanych od nauczyciela rozwiązują samodzielnie zadania: 2, 3 i 5,
 - uczniowie rozwiązują na tablicy zadania problemowe,
 - nauczyciel sprawdza postępy uczniów i komentuje uzyskane przez nich wyniki, poprawiając ewentualne błędy.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel przeprowadza z uczniami rozmowę, podczas której przypominają i podsumowują własnymi słowami zrealizowane w trakcie lekcji zagadnienia. Dodatkowo nauczyciel powinien sprowokować uczniów do wskazania trudności napotkanych w czasie pracy.

Praca domowa:

Uczniowie powinni:

1. napisać „receptę” opisującą kroki pozwalające na wykonanie zadań rachunkowych z wykorzystaniem zasady superpozycji dla pola elektrostatycznego,
2. wykonać trzy wybrane przez nauczyciela zadania rachunkowe spośród dołączonych do e-materiału.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium:**

Symulacja interaktywna może zostać wykorzystana w trakcie lekcji lub do samodzielnej pracy uczniów po lekcji.