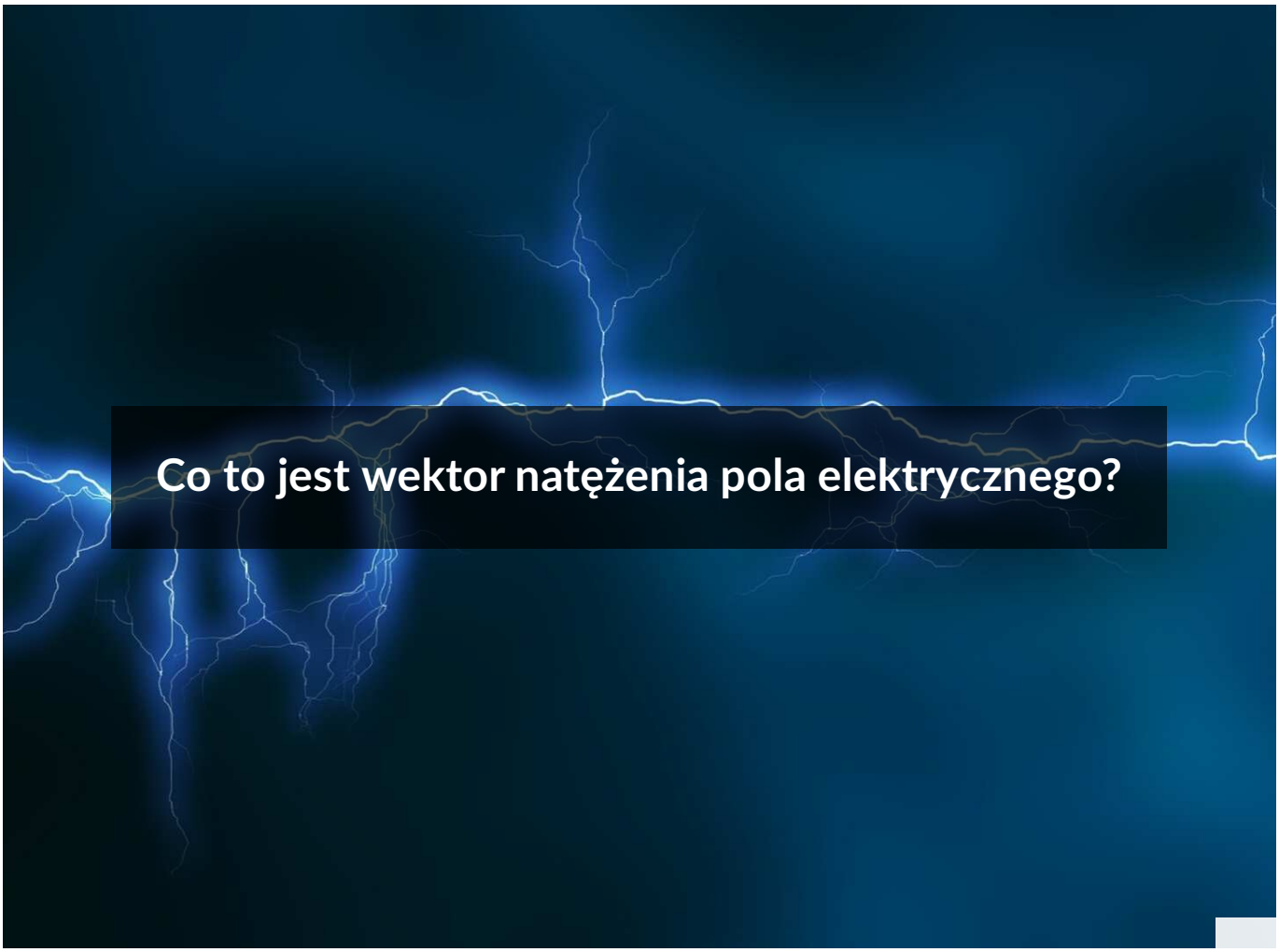
Co to jest wektor natężenia pola elektrycznego?

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



Czy to nie ciekawe ?

Najprościej mówiąc, pole elektryczne to przestrzeń, w której występują oddziaływania elektryczne. Jest to jednak definicja mało precyzyjna. Aby dokładnie określić, czym jest pole elektryczne, fizycy wprowadzają wielkość wektorową: natężenie pola elektrycznego.

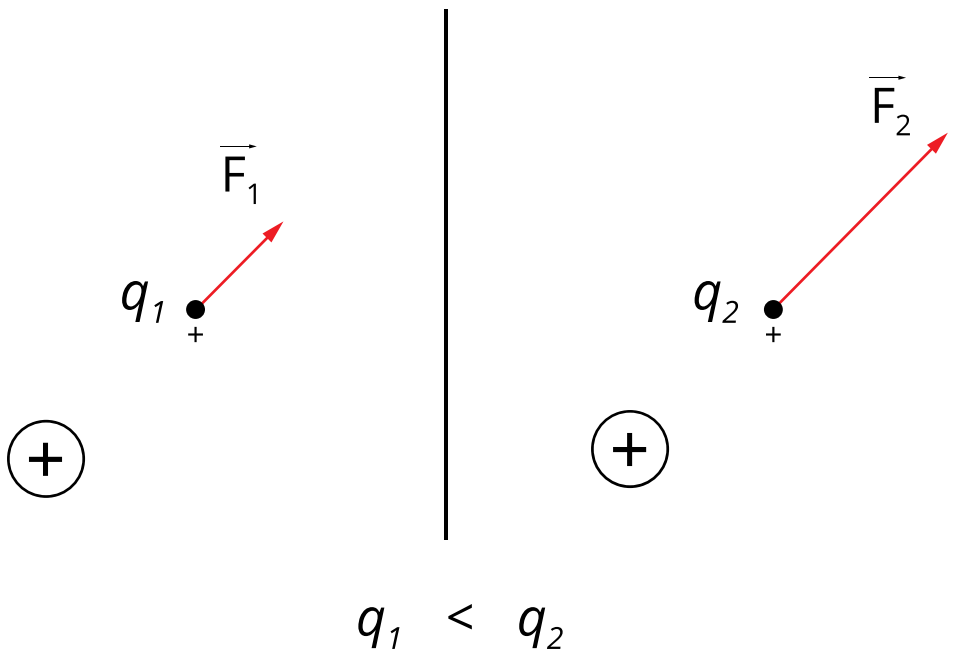
> **Twoje cele**
>
> - dowiesz się, co to jest wektor natężenia pola elektrycznego,
> - poznasz precyzyjną definicję pola elektrycznego,
> - dowiesz się, z jakimi wartościami natężenia pola elektrycznego mamy do czynienia w przyrodzie,
> - zastosujesz pojęcie natężenia pola elektrycznego do obliczenia siły, jaka działa na ładunek punktowy umieszczony w polu elektrycznym.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Aby zrozumieć, czym jest natężenie pola elektrycznego, dobrze jest rozważyć, co dzieje się z ładunkiem punktowym umieszczonym w polu elektrycznym. Gdy w danym punkcie pola elektrycznego umieścimy dodatni ładunek próbny o pewnej wartości q, będzie na niego działać siła o określonej wartości, kierunku i zwrocie. Na ładunek o większej wartości będzie działać siła o tym samy kierunku i zwrocie, ale o większej wartości – wartość ta (oznaczmy ją F) jest wprost proporcjonalna do wartości ładunku:

$$F \sim q$$

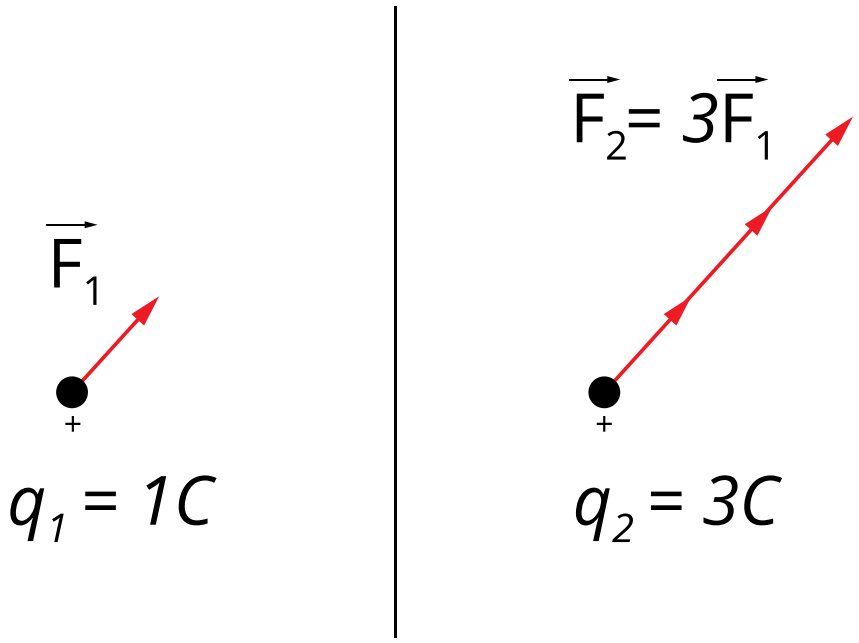


Rys. 1. Siła, która działa na ładunek umieszczony w polu elektrycznym, jest wprost proporcjonalna do wartości tego ładunku.

Ma zatem sens zdefiniowanie wielkości

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

która nie zależy od wartości ładunku próbnego. Nazywamy ją wartością **natężenia pola elektrycznego**. Mówi nam ona, jaka byłaby wartość siły działającej na umieszczony w danym punkcie pola ładunek jednostkowy.



Rys. 2. W danym punkcie pola na trzykrotnie większy ładunek, działa trzykrotnie większa siła.

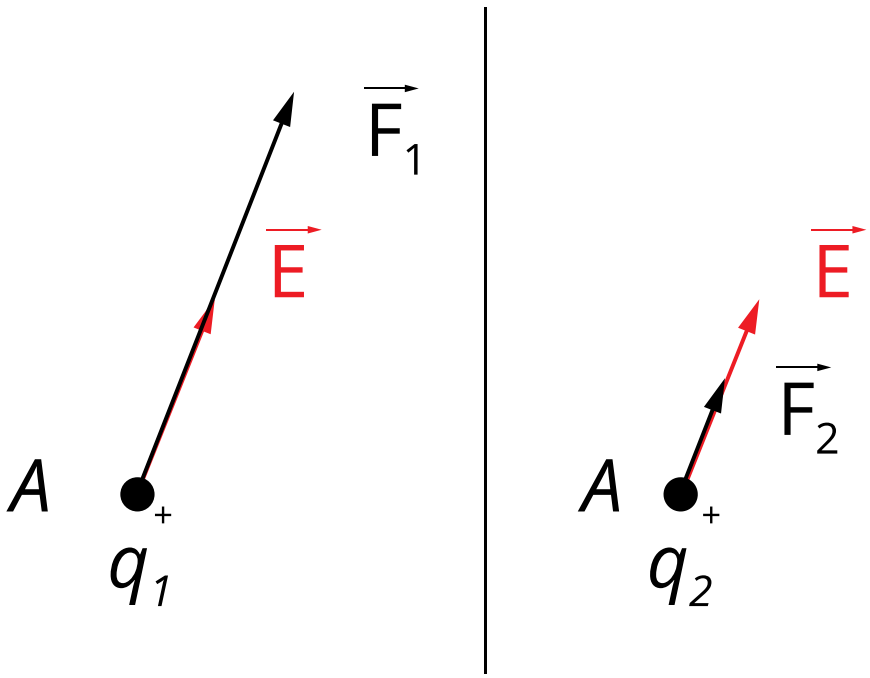
Powiedzieliśmy o **wartości** natężenia pola elektrycznego, ale możemy też określić jego kierunek i zwrot. Będzie to po prostu kierunek i zwrot siły działającej na ładunek próbny, który na mocy umowy jest dodatni. Można więc zapisać definicję natężenia pola elektrycznego za pomocą równości wektorów:

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

gdzie $\vec{F}$ to siła, która działa na ładunek próbny q.

Jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb:

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$$

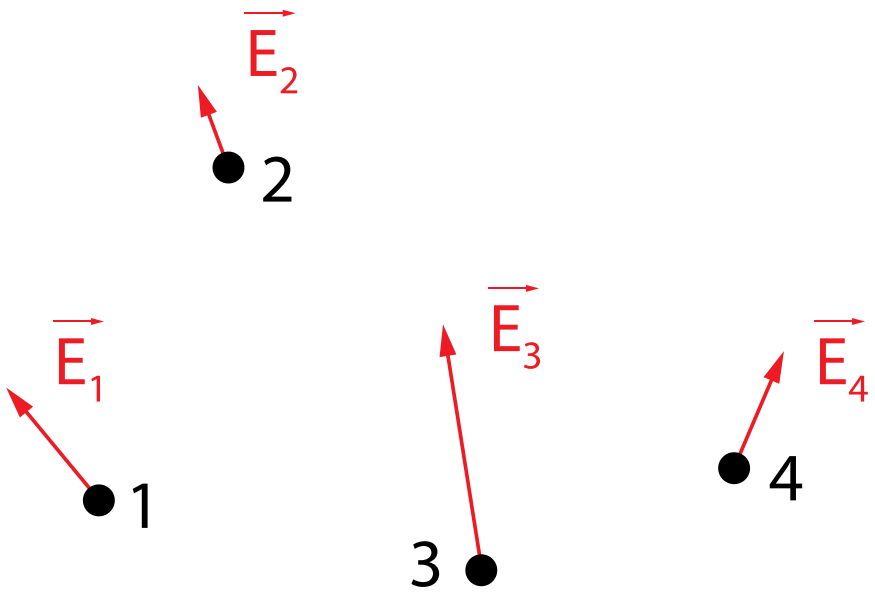


Rys. 3. Natężenie pola elektrycznego w punkcie A ma ten sam kierunek i zwrot, co siła działająca na ładunek dodatni umieszczony w tym punkcie. Podczas, gdy wartość siły zależy od wartości ładunku, wartość natężenia jest wielkością charakteryzującą pole w danym punkcie, niezależną od wartości ładunku.

Zauważmy, że **siła działająca na ładunek próbny w polu elektrycznym zależy od położenia tego ładunku. W takim razie także natężenie pola elektrycznego zależy od położenia.** Jeżeli położenie określimy przez wektor $\vec{r} = (x, y, z)$, to

$$\vec{E}\left(\vec{r}\right) = \frac{\vec{F}\left(\vec{r}\right)}{q}$$

Każdemu punktowi przestrzeni wokół źródła pola elektrycznego jest jednoznacznie przyporządkowany wektor natężenia pola elektrycznego, dany powyższym wzorem. W matematyce jednoznaczne przyporządkowanie elementom (punktom) jakiegoś zbioru określonych wartości nazywamy funkcją. Możemy więc traktować pole elektryczne jako funkcję, której dziedziną jest zbiór wszystkich punktów przestrzeni, a wartościami wektory $\vec{E}$ w poszczególnych punktach (funkcję tego rodzaju nazywa się polem wektorowym). W ten sposób podaliśmy ścisłą definicję pola elektrycznego.

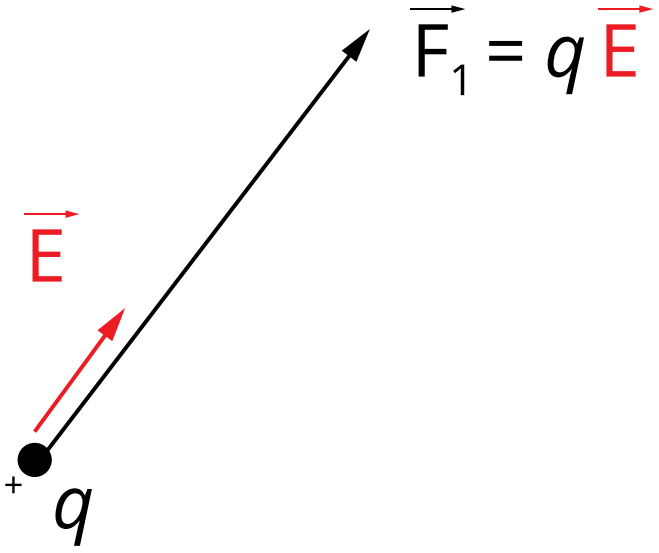


Rys. 4. Natężenie pola elektrycznego zależy od położenia. Nie możemy mówić (poza wyjątkiem, jakim jest pole jednorodne) o jednym wektorze natężenia pola - każdemu punktowi przestrzeni jest przyporządkowany osobny wektor.

Jeżeli znamy natężenie pola w jakimś punkcie (mogliśmy je zmierzyć np. umieszczając w nim znany ładunek próbny i mierząc siłę, jaka nań działa), możemy przewidzieć, jaka siła będzie działać na umieszczony w tym punkcie **dowolny** ładunek:

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

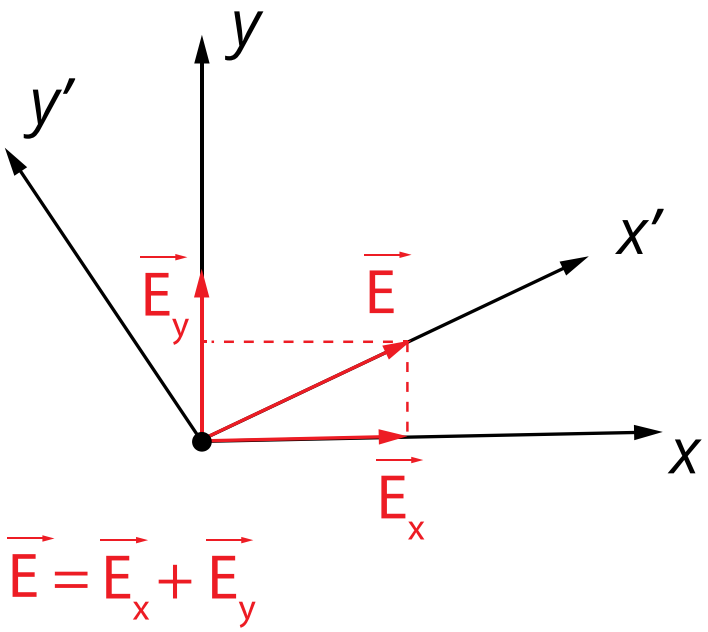
Definiując natężenie pola powiedzieliśmy, że ładunek próbny jest ładunkiem dodatnim. Wzór zapisany powyżej można jednak stosować również, gdy badany ładunek ma wartość ujemną. Kierunek i zwrot natężenia pola mówią nam, w którą stronę byłaby zwrócona siła elektrostatyczna, działająca na ładunek dodatni. Siła działająca na ładunek ujemny powinna mieć przeciwny zwrot. Gdy podstawimy ujemną wartość ładunku q, minus przy wartości sprawi, że zwrot obliczonej siły będzie przeciwny do zwrotu natężenia pola elektrycznego, tak, jakbyśmy tego oczekiwali.



Rys. 5. Znajomość natężenia pola elektrycznego w danym punkcie przestrzeni pozwala obliczyć, jaka siła będzie działać na umieszczony w tym punkcie ładunek o znanej wartości.

Pamiętajmy, że natężenie pola elektrycznego jest wielkością wektorową, tak jak siła. Aby je określić, nie wystarczy podać wartości. Należy też zaznaczyć, w którą stronę jest ono skierowane. Zdanie „natężenie pola elektrycznego wynosi 5 N/C" należy interpretować tak, że wartość natężenia to 5 N/C, natomiast kierunku i zwrotu należy się domyślić.

Jako wielkość wektorową, natężenie pola elektrycznego można rozłożyć na składowe, przyjmując układ współrzędnych. Na poniższym rysunku pokazano ten sam wektor natężenia pola elektrycznego rozłożony na składowe w dwóch różnych układach odniesienia – nazwijmy je U i U′. W układzie U współrzędne położenia to x oraz y; w układzie U′ – x' oraz y'.



Rys. 6. W układzie U wektor $\vec{E}$ zapiszemy jako [Ex,Ey], podczas gdy w układzie U' jego współrzędne to [E,0]. Zauważ, że gdy wektor $\vec{E}$ jest równoległy do jednej z osi układu, odpowiednia współrzędna jest równa jego wartości (z dokładnością co do znaku), druga zaś równa zero.

Słowniczek

ładunek punktowy

(*ang.: point charge*) – punkt materialny obdarzony ładunkiem elektrycznym. Teoretycznie ładunek punktowy ma nieskończenie małe rozmiary. Jako ładunki punktowe możemy traktować ciała naładowane, których rozmiary są bardzo małe w porównaniu z ich odległością do innych ciał.

Grafika interaktywna

Co to jest wektor natężenia pola elektrycznego?

Zapoznaj się z grafiką interaktywną, żeby dowiedzieć się, z jakimi wartościami natężenia pola elektrycznego mamy do czynienia w przyrodzie.

Polecenie 1

Uporządkuj elementy według rosnącej wartości natężenia pola elektrycznego.

- Natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodu w domowej instalacji elektrycznej
- Natężenie pola elektrycznego w pobliżu naelektryzowanego długopisu
- Natężenie pola elektrycznego w atomie wodoru, w odległości $5{,}29 \cdot 10^{-11}$ m od jądra
- Natężenie pola elektrycznego w pobliżu naładowanego bębna kserokopiarki
- Natężenie pola elektrycznego w pobliżu powierzchni jądra atomowego uranu
- Natężenie pola elektrycznego, przy którym następuje wyładowanie elektryczne w powietrzu

Polecenie 2

Dlaczego, pomimo że wartości natężenia pola elektrycznego w atomie wodoru i w pobliżu jądra atomowego uranu są tak duże, nie widać ich efektu w świecie makroskopowym?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Informacja do zadań 3, 4 oraz 7:

Wartość natężenia pola elektrycznego wokół pojedynczego ładunku punktowego o wartości Q zależy jedynie od odległości r między badanym punktem a tym ładunkiem i jest dana wzorem:

$$E = \frac{\mathrm{kQ}}{r^2}$$

gdzie k to stała elektrostatyczna (por. z prawem Coulomba).

Ćwiczenie 1

W pewnym punkcie przestrzeni na ładunek o wartości q działa siła elektrostatyczna $\vec{F}$. Oblicz wartość natężenia pola elektrycznego w tym punkcie dla podanych wartości q oraz F. Zwróć uwagę na jednostki!

$q = 0,4\mu\mathrm{C}, F = 4\mathrm{N}$, E = [ ] $\cdot 10^6 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$

$q = 2,5\mathrm{mC}, F = 10\mathrm{N}$, E = [ ] $\cdot 10^3 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$

$q = 1,7\mu\mathrm{C}, F = 3,4\mathrm{N}$, E = [ ] $\cdot 10^6 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$

Ćwiczenie 2

Na ładunek punktowy, umieszczony w pewnym polu elektrycznym, działa siła elektrostatyczna $\overrightarrow{F}$. Poniżej podano wartość ładunku q oraz współrzędne wektora siły $\overrightarrow{F}$ w pewnym układzie odniesienia. Uzupełnij wartości współrzędnych wektora natężenia pola elektrycznego $\overrightarrow{E}$ w punkcie, w którym umieszczony jest ładunek. Zwróć uwagę na znak ładunku.

$$q = 1C, \ \ \overrightarrow{F} = [4N, \ 2N], \ \overrightarrow{E} = \ \left[X\frac{N}{C}, \ Y\frac{N}{C}\right]$$

X= , Y=

$$q = -1C, \ \ \overrightarrow{F} = [-1N, \ -4N], \ \overrightarrow{E} = \ \left[X\frac{N}{C}, \ Y\frac{N}{C}\right]$$

X= , Y=

Ćwiczenie 3

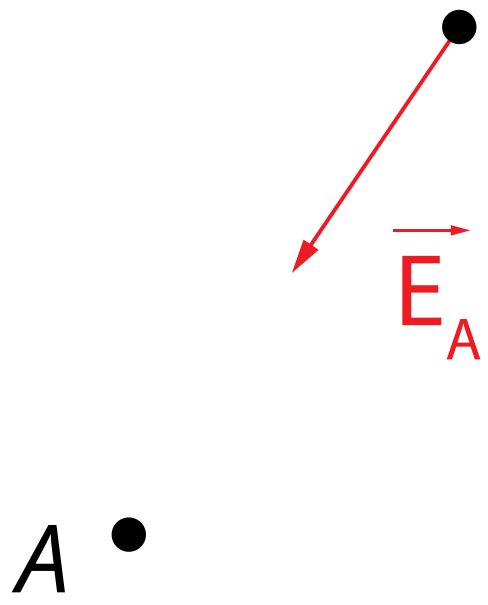
Pewien ładunek punktowy wytwarza w odległości 10 cm od siebie pole o natężeniu $0,4\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. Określ, jaka będzie wartość natężenia tego pola w odległości 20 cm od źródła. Uzupełnij odpowiedź.

Odp.: Natężenie badanego pola w odległości 20 cm od źródła będzie miało wartość

$\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$.

Ćwiczenie 4

Ładunek punktowy A ma wartość Q_A i wytwarza w odległości 10 cm od siebie pole o natężeniu $E_A = 0,07\,\frac{N}{C}$. Rysunek przedstawia kierunek i zwrot natężenia tego pola:

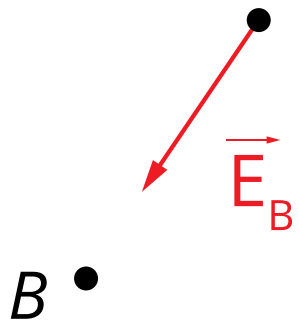


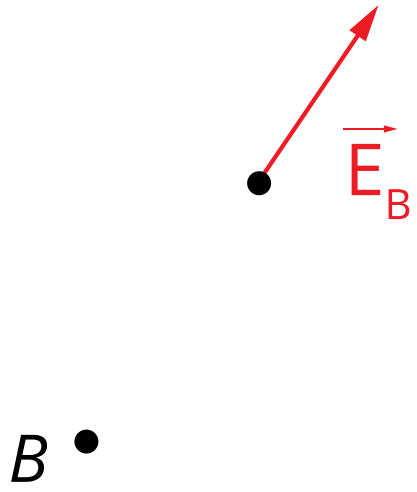
Ładunek punktowy B ma wartość $Q_B = -2Q_A$.

A) Określ, jaka będzie wartość natężenia pola elektrycznego wytwarzanego przez ładunek B w odległości 10 cm od tego ładunku. Uzupełnij odpowiedź.

Odp.: Natężenie pola elektrycznego w odległości 10 cm od ładunku B będzie miało wartość _____ $\frac{N}{C}$.

B) Wskaż ten z rysunków, na którym prawidłowo zaznaczono kierunek i zwrot natężenia pola $\vec{E}_B$ wytwarzanego przez ładunek B w pewnym punkcie.





Ćwiczenie 5

W pewnym punkcie natężenie pola elektrycznego ma wartość $7 \cdot 10^6 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$. Oblicz wartość siły, jaka będzie działała na umieszczony w tym punkcie ładunek o wartości q:

$q = 7\mu\mathrm{C}$; $F =$ _____ N

$q = 3\mu\mathrm{C}$; $F =$ _____ N

$q = 0,2\mu\mathrm{C}$; $F =$ _____ N

$q = 100\mu\mathrm{C}$; $F =$ _____ N

$$\vec{E} = \left[120 \cdot 10^6 \frac{N}{C},\ 10 \cdot 10^6 \frac{N}{C},\ 30 \cdot 10^6 \frac{N}{C}\right]$$

Ćwiczenie 6

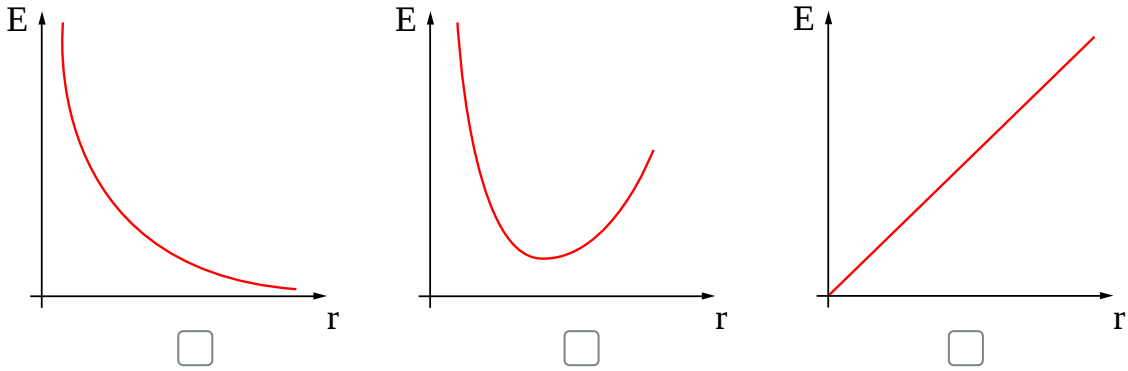
Wektor natężenia pewnego pola elektrycznego nie zależy od położenia i jest dany wzorem (w pewnym układzie współrzędnych): $\overrightarrow{E} = \left[120 \cdot 10^6 \frac{N}{C},\ 10 \cdot 10^6 \frac{N}{C},\ 30 \cdot 10^6 \frac{N}{C}\right]$. Podaj współrzędne wektora siły, która działa na ładunek *q*, jeżeli:

$q = 2\mu C,\ \overrightarrow{F} =$ [ ] N, [ ] N, [ ] N]

$q = -1\mu C,\ \overrightarrow{F} =$ [ ] N, [ ] N, [ ] N]

Ćwiczenie 7

Jeden z wykresów przedstawia zależność wartości natężenia pola elektrycznego wokół ładunku punktowego od odległości od tego ładunku. Zaznacz, który to wykres.



Ćwiczenie 8

Jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb ($\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}}$), co wynika z definicji. Jednakże, można też spotkać inną jednostkę natężenia pola: wolt na metr. Wolt to jednostka potencjału elektrostatycznego, równoznaczna dżulowi na kulomb ($\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}$). Korzystając z tej informacji, wykaż, że wolt na metr oraz niuton na kulomb są różnymi sposobami zapisania tej samej jednostki.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jan Kamiński
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Czym jest pole elektryczne?**
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. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe). VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; interpretuje zagęszczenie linii pola jako miarę natężenia pola; rozróżnia pole centralne i pole jednorodne.
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. opisze, co nazywamy polem elektrycznym; 2. zdefiniuje wektor natężenia pola elektrycznego; 3. poda precyzyjną definicję pola elektrycznego; 4. zastosuje pojęcie natężenia pola elektrycznego do obliczenia siły, jaka działa na ładunek punktowy umieszczony w polu elektrycznym.
Strategie nauczania	Inquiry-Based Science Education
Metody nauczania	pokazywanie grafiki interaktywnej, burza mózgów, wspólne omawianie hipotez, argumentowanie
Formy zajęć:	dyskusja na forum klasy, rozwiązywanie przykładów (w parach)
Środki dydaktyczne:	tablica multimedialna
Materiały pomocnicze:	-

PRZEBIEG LEKCJI

Faza wprowadzająca:

Nauczyciel rysuje na tablicy ładunek punktowy (podpisuje go wartością Q) i pyta uczniów, co się stanie z małym ładunkiem dodatnim q, który umieścimy w pobliżu. W toku dyskusji uczniowie dochodzą do wniosku, że na ładunek będzie działać siła, zgodnie z prawem Coulomba. Nauczyciel zwraca uwagę, że ładunek Q wytwarza wokół siebie pole elektryczne i to pole oddziałuje na ładunki w pobliżu. Nauczyciel zapisuje na tablicy wzór $F = k\frac{\mathrm{Qq}}{r^2}$. Następnie pyta, co się stanie z ładunkami dodatnimi $q' = 2q$ oraz $q'' = 0{,}5q$ umieszczonymi w tej samej odległości r od ładunku źródłowego Q. Wspólnie z uczniami dochodzi do konkluzji, że będą na nie działać siły odpowiednio $F\prime = k\frac{Q\cdot 2q}{r^2} = 2F$ oraz $F\prime\prime = k\frac{Q\cdot 0{,}5q}{r^2} = 0,5F$. Analizując trzy właśnie „obliczone” siły uczniowie z nauczycielem dochodzą do wniosku, że siła działająca na ładunek w polu elektrycznym ma wartość wprost proporcjonalną do tego ładunku.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel pyta (zapisując na tablicy niedokończone równania), jakie będą wartości ilorazów: $\frac{F}{q}$, $\frac{F\prime}{q\prime}$ oraz $\frac{F\prime\prime}{q\prime\prime}$ (Jeżeli któryś z uczniów już na tym etapie zauważy, że te ilorazy muszą być takie same, skoro mamy proporcjonalność wprost – to dobrze; mimo to nauczyciel przeprowadza wywód do końca, żeby przekonać „niedowiarków"). Zapisana zostaje (trzykrotnie) wartość ilorazu: $k\frac{Q}{r^2}$. Nauczyciel zwraca uwagę, że na te same ładunki umieszczone w innym miejscu pola będzie działać inna siła, ale iloraz $\frac{\mathrm{F}}{q}$ będzie niezależny od wartości ładunku. Np. w odległości r_1 od ładunku Q wynosi on $k\frac{Q}{r_1^2}$, tak samo dla ładunku q, q' oraz q''.

Nauczyciel nazywa ten iloraz wartością natężenia pola elektrycznego oraz wprowadza definicję:

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

Następnie objaśnia uczniom, że można wprowadzić wielkość wektorową:

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

Uczniowie mają sami określić (nauczyciel pyta o to), jaki kierunek i zwrot ma taki wektor oraz jaka jest jednostka natężenia pola elektrycznego. Następnie nauczyciel pokazuje, że $\vec{F} = q\vec{E}$. Uczniowie rozwiązują w parach dwa przykłady:

Przykład 1:

Porównanie dwóch pól, pochodzących od ładunków punktowych dodatnich o wartościach 1 μC i 2 μC. Obliczenie, jaka jest wartość natężenia pola w odległości 15 cm od tych ładunków i jaka siła zadziała tam na ładunek +2 μC oraz −3μC.

Przykład 2:

Porównanie pola pochodzącego od ładunku punktowego dodatniego +3 μC i ujemnego −3 μC. Obliczenie, jaka jest wartość natężenia pola w odległości 15 cm od tych ładunków i jaka siła zadziała tam na ładunek +2 μC oraz −3μC.

Faza podsumowująca:

W fazie podsumowującej uczniowie są zaznajamiani z przykładami pól elektrycznych występujących w przyrodzie. Nauczyciel posługuje się przy tym grafiką interaktywną, aby omówić różne pola; w szczególności porównuje ich natężenia i naprowadza uczniów na spostrzeżenie, że pola o największych natężeniach występują na poziomie atomowym i jądrowym. Przeprowadza z uczniami krótką dyskusję na ten temat, opierając się o dwa zagadnienia: 1. Dlaczego omawiane pola w atomie i w pobliżu jądra atomowego są tak duże (uczniowie powinni zwrócić uwagę na małe odległości, które w połączeniu z zależnością $\frac{1}{r^2}$ dają duże wartości natężenia, mimo relatywnie niewielkich ładunków. 2. Dlaczego, mimo że występujące natężenia pola są tak wielkie, nie widać ich efektu w świecie makroskopowym (uczniowie powinni zwrócić uwagę na występowanie równej liczby ładunków ujemnych i dodatnich w atomie i wynikającą z tego elektryczną obojętność materii).	
Praca domowa:	
Jako pracę domową uczniowie mają za zadanie rozwiązać cztery wybrane zadania z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Grafikę interaktywną, poza przedstawioną propozycją, można wykorzystać jako materiał, z którym uczniowie zapoznają się po lekcji w celu utrwalenia materiału (pytania zasugerowane w fazie podsumowującej niniejszego konspektu uczniowie opracowują wtedy samodzielnie).