



Co to jest wektor natężenia pola elektrycznego?

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



Co to jest wektor natężenia pola elektrycznego?

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.

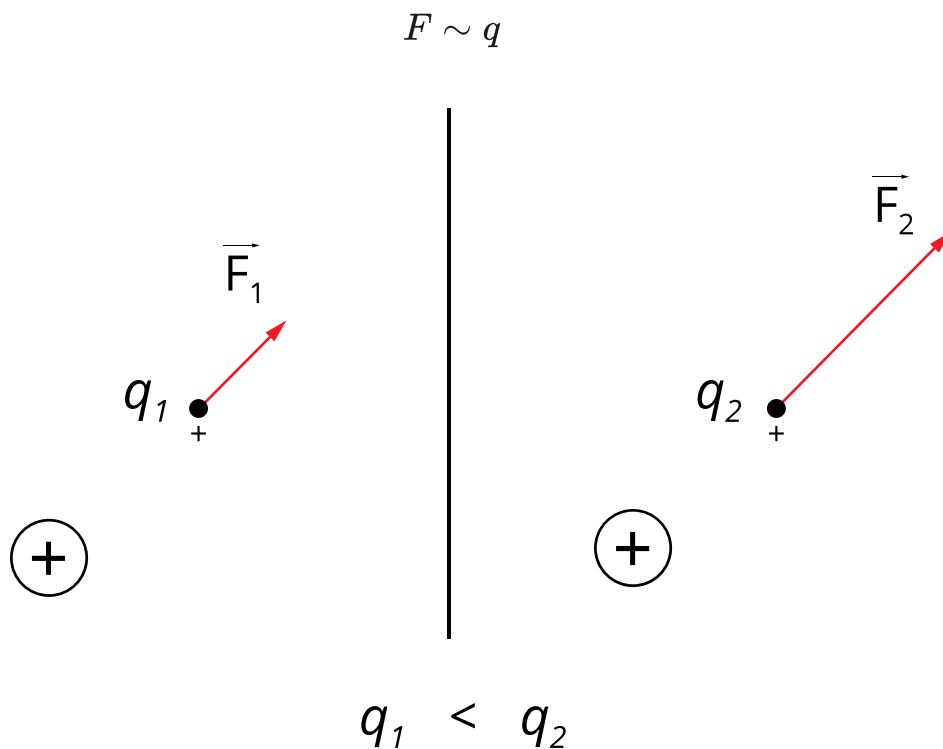
Twoje cele

- 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 samym kierunku i zwrocie, ale o większej wartości – wartość ta (oznaczymy ją F) jest wprost proporcjonalna do wartości ładunku:

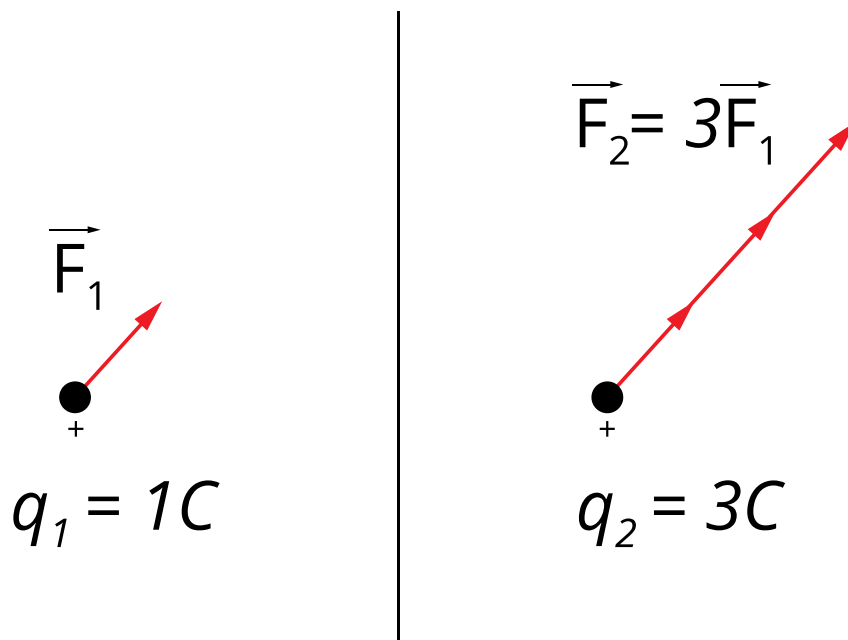


Rys. 1. Siła, która działa na ładunek umieszczony w polu elektrycznym, jest wprost proporcjonalna do wartości tego ładunku.

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.

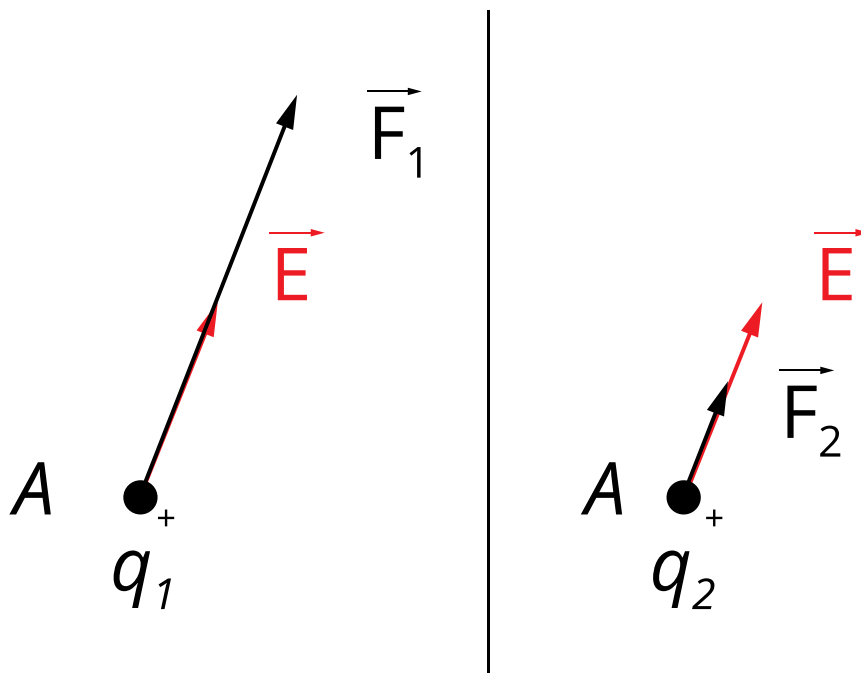
Powiedzieliśmy o **wartości** natężenia pola elektrycznego, ale możemy też określić jego kierunek i zwrot. Będzie to po prostu kierunek i zwrot siły działającej na ładunek próbny, który na mocy umowy jest dodatni. Można więc zapisać definicję natężenia pola elektrycznego za pomocą równości wektorów:

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

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

Jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb:

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



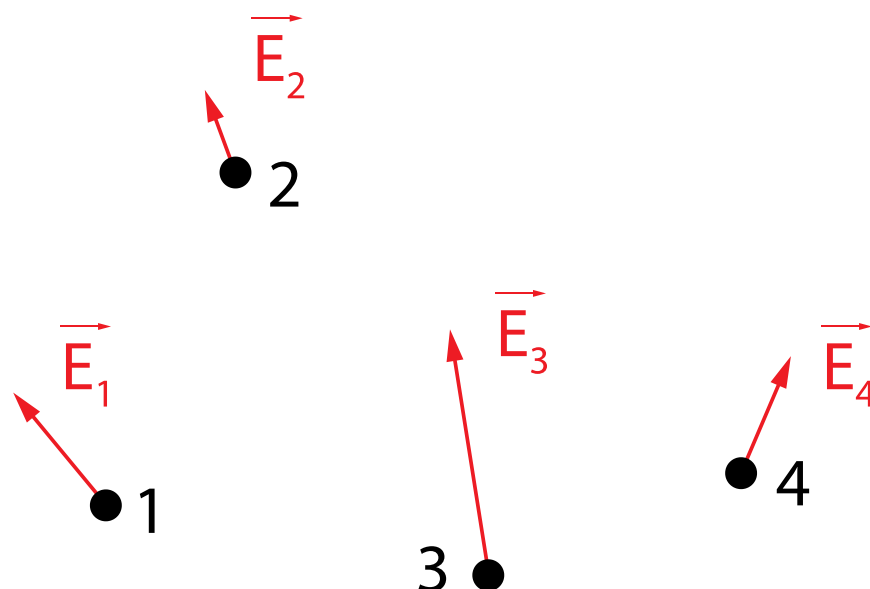
Rys. 3. Natężenie pola elektrycznego w punkcie A ma ten sam kierunek i zwrot, co siła działająca na ładunek dodatni umieszczony w tym punkcie. Podczas, gdy wartość siły zależy od wartości ładunku, wartość natężenia jest wielkością charakteryzującą pole w danym punkcie, niezależną od wartości ładunku.

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

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

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.

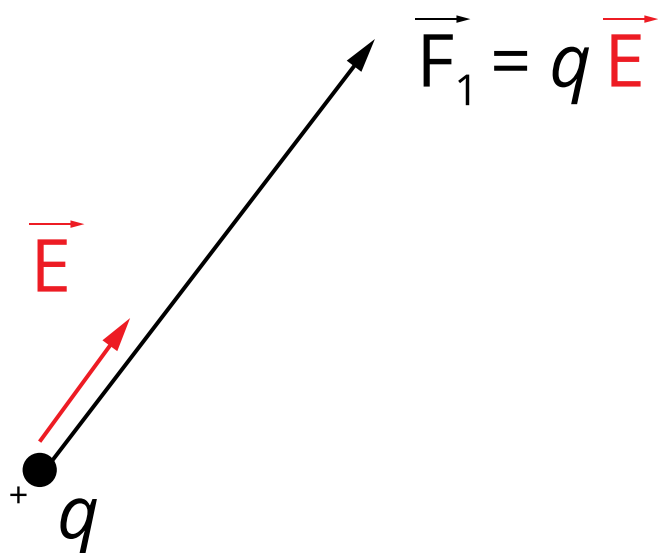


Rys. 4. Natężenie pola elektrycznego zależy od położenia. Nie możemy mówić (poza wyjątkiem, jakim jest pole jednorodne) o jednym wektorze natężenia pola - każdemu punktowi przestrzeni jest przyporządkowany osobny wektor.

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:

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

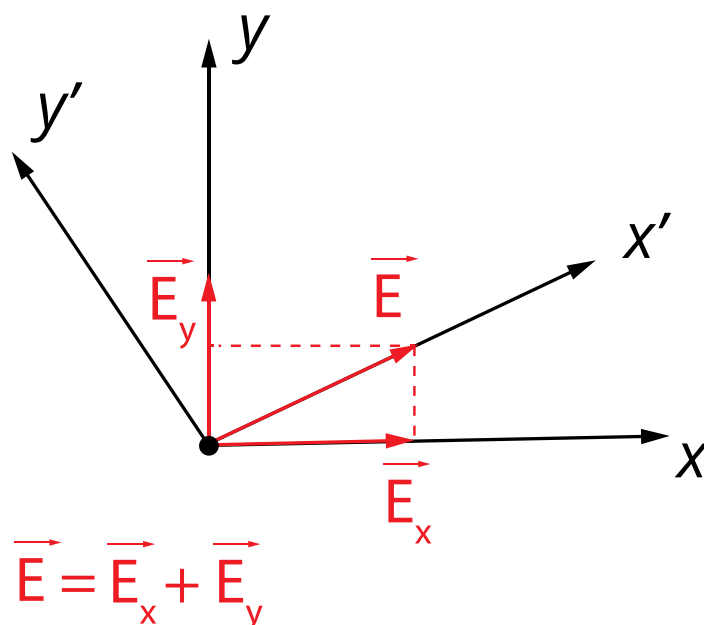
Definiując natężenie pola powiedzieliśmy, że ładunek próbny jest ładunkiem dodatnim. Wzór zapisany powyżej można jednak stosować również, gdy badany ładunek ma wartość ujemną. Kierunek i zwrot natężenia pola mówią nam, w którą stronę byłaby zwrócona siła elektrostatyczna, działająca na ładunek dodatni. 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 $[E_x, E_y]$, 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

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:

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

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

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



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 $Q_B = -2Q_A$.

Ćwiczenie 5



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

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Jednostką natężenia pola elektrycznego jest niuton na kulomb ($\frac{\text{N}}{\text{C}}$), co wynika z definicji. Jednakże, można też spotkać inną jednostkę natężenia pola: wolt na metr. Wolt to jednostka potencjału elektrostatycznego, równoznaczna dżulowi na kulomb ($\frac{\text{J}}{\text{C}}$). 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	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;</p> <p>5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe).</p> <p>VII. Elektrostatyka. Uczeń:</p> <p>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.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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:	
<p>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 $F = k \frac{Qq}{r^2}$. 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 $F_I = k \frac{Q \cdot 2q}{r^2} = 2F$ oraz $F_{II} = k \frac{Q \cdot 0,5q}{r^2} = 0,5F$. 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.</p>	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel pyta (zapisując na tablicy niedokończone równania), jakie będą wartości ilorazów: $\frac{F}{q}$, $\frac{F'}{q'}$ oraz $\frac{F''}{q''}$ (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 $\frac{F}{q}$ 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 $1 \mu\text{C}$ i $2 \mu\text{C}$. Obliczenie, jaka jest wartość natężenia pola w odległości 15 cm od tych ładunków i jaka siła zadziała tam na ładunek $+2 \mu\text{C}$ oraz $-3 \mu\text{C}$.

Przykład 2:

Porównanie pola pochodzącego od ładunku punktowego dodatniego $+3 \mu\text{C}$ i ujemnego $-3 \mu\text{C}$. Obliczenie, jaka jest wartość natężenia pola w odległości 15 cm od tych ładunków i jaka siła zadziała tam na ładunek $+2 \mu\text{C}$ oraz $-3 \mu\text{C}$.

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).