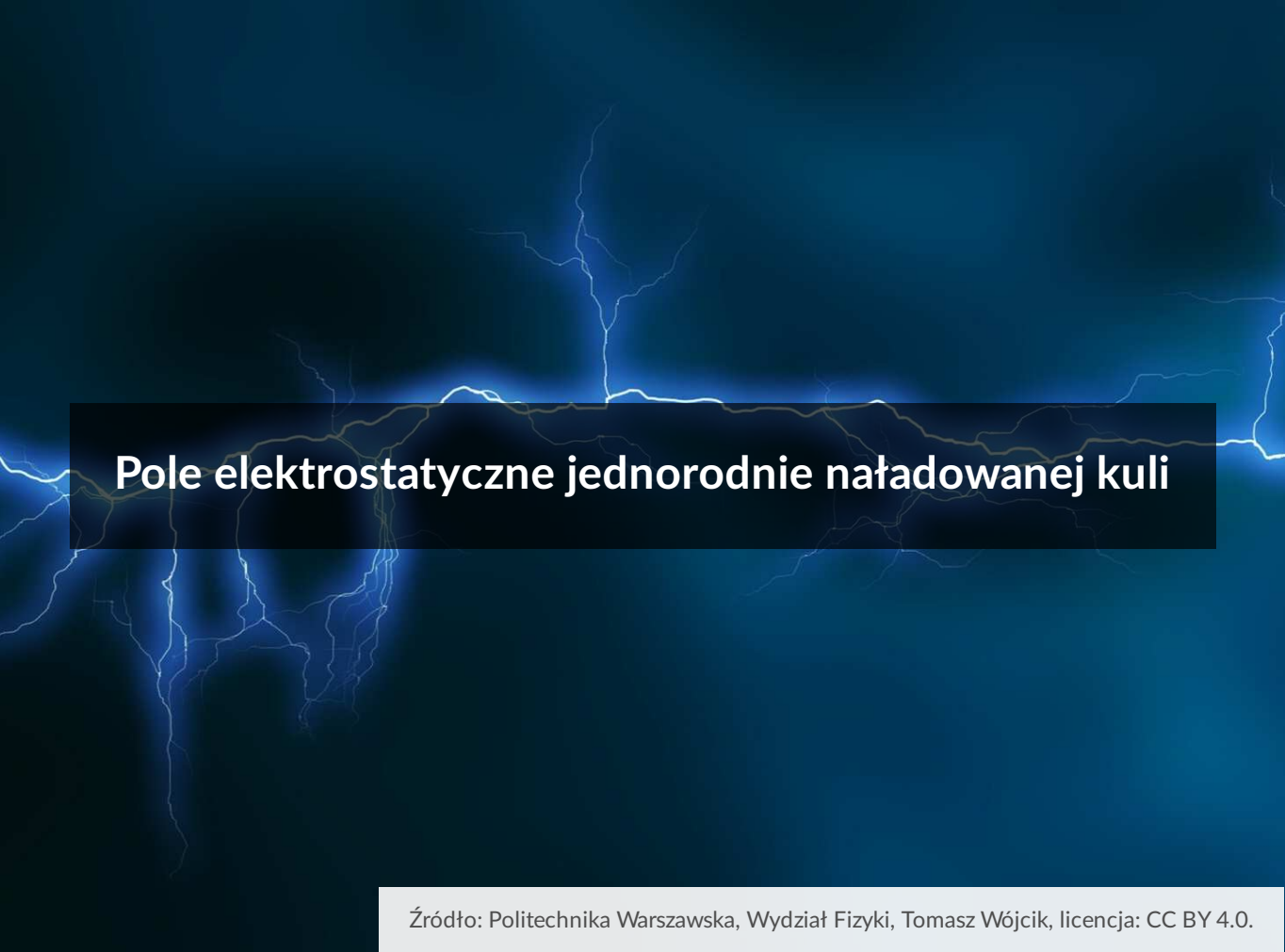




Pole elektrostatyczne jednorodnie naładowanej kuli

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



Pole elektrostatyczne jednorodnie naładowanej kuli

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

Czy to nie ciekawe?

Pole elektrostatyczne jest wytwarzane przez ładunki elektryczne w spoczynku. Ładunki mogą być rozmieszczone w przestrzeni w rozmaity sposób, w zależności od własności fizycznych układu. Na przykład w przewodnikach tzw. ładunki swobodne rozmieszczone są na powierzchni. W innych materiałach możliwy jest również rozkład objętościowy ładunku elektrycznego. Jako przykład możemy przytoczyć elektrolit, czyli przewodnik jonowy, w którym koncentracja jonów jednego rodzaju (np. kationów) jest wyższa od koncentracji jonów drugiego rodzaju (np. anionów).

Twoje cele

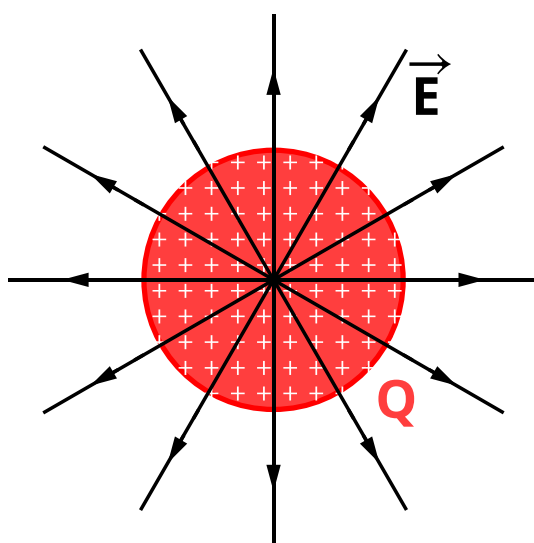
Pracując z tym e-materiałem:

- poznasz prawo Gaussa, umożliwiające wyznaczenie natężenia pola elektrycznego,
- nauczysz się wyznaczać natężenie pola elektrycznego od symetrycznego układu ładunków,
- dowiesz się, co łączy, a co dzieli naładowaną kulę z ładunkiem punktowym,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

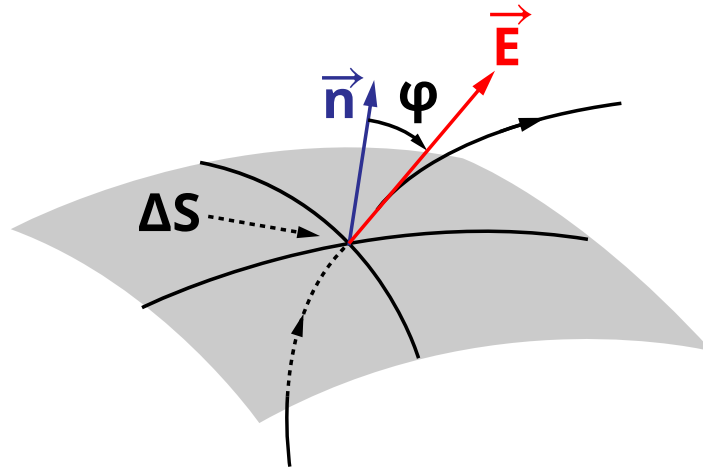
Pole elektrostatyczne wytworzone przez naładowaną kulę jest polem centralnym. Oznacza to, że wartość natężenia pola zależy wyłącznie od wartości ładunku i odległości od centrum źródła pola, w tym przypadku środka kuli. Symetrię takiego pola nazywamy sferyczną, [powierzchnie ekwipotencjalne](#) w tym układzie są właśnie sferami. Linie pola centralnego są półprostymi o wspólnym początku w centrum pola, a więc ich gęstość maleje wraz z odległością od centrum.



Rys. 1. Naładowana kula wraz z liniami pola elektrycznego.

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

By wyznaczyć natężenie pola, musimy posłużyć się pojęciem strumienia pola elektrycznego. Jest to skalarna wielkość opisująca, jak pole elektryczne „przepływa” (przenika) przez pewną powierzchnię, podobnie jak strumień wody oznacza przepływ pewnej ilości wody przez powierzchnię w jednostce czasu.



Rys. 2. Pole elektryczne przenikające element powierzchni.

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

Strumień pola zależy od natężenia pola, od powierzchni, przez którą pole przepływa, oraz od kąta, pod jakim powierzchnia jest przenikana przez linie pola. Ograniczając się do niewielkiego elementu powierzchni ΔS możemy zapisać wartość strumienia pola elektrycznego $\Delta\Phi$ jako

$$\Delta\Phi = \vec{E} \cdot \vec{n}\Delta S = E\Delta S \cos \varphi ,$$

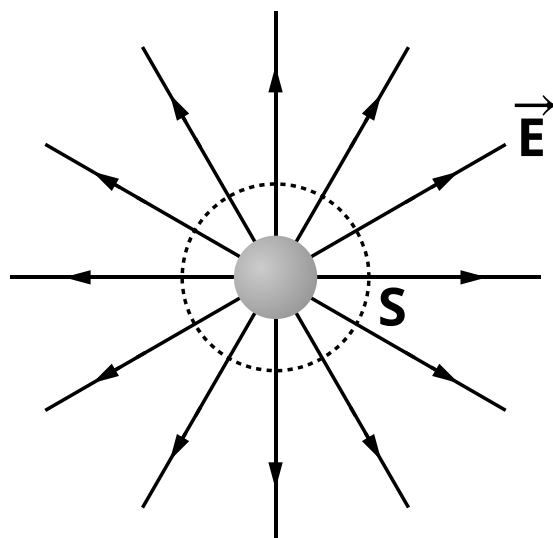
gdzie wektor $\vec{n}$ jest prostopadły (normalny) do elementu powierzchni ΔS , przy czym jego długość wynosi 1.

Strumień pola możemy zinterpretować jako liczbę linii pola, które przecinają powierzchnię.

Korzystając z wielkości strumienia pola elektrycznego, możemy posłużyć się prawem Gaussa dla pola elektrycznego. Prawo to mówi, że całkowity strumień pola elektrycznego przenikającego dowolną zamkniętą powierzchnię równy jest sumie ładunków otoczonych tą powierzchnią, podzielonych przez stałą elektryczną ϵ_0

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0}.$$

Zatem możemy otoczyć naładowaną kulę zamkniętą powierzchnią, a następnie obliczyć strumień pola przez tę powierzchnię, by wyznaczyć natężenie pola elektrycznego.



Rys. 3. Powierzchnia otaczająca ładunek zgromadzony w kuli umożliwia wyznaczenie gęstości linii pola elektrycznego.

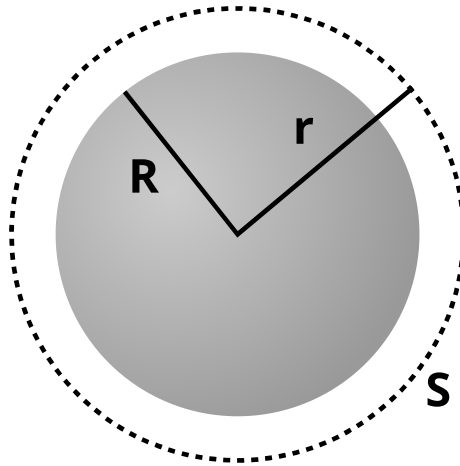
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jeśli za powierzchnię obierzemy sferę, pole elektryczne będzie ją przenikać prostopadle. Co więcej, wartość natężenia pola dla każdego elementu sfery będzie taka sama, ze względu na stałą odległość od źródła. Prawo Gaussa przybierze więc postać

$$4\pi r^2 E = \frac{q}{\epsilon_0}.$$

Pole elektrostatyczne na zewnątrz kuli

Wykorzystajmy prawo Gaussa do wyznaczenia pola na zewnątrz kuli. W tym celu otaczamy całą kulę sferyczną powierzchnią o promieniu r .



Rys. 4. Powierzchnia otaczająca całą kulę umożliwia wyznaczenie gęstości linii pola elektrycznego na zewnątrz kuli.

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

Ponieważ wewnątrz sfery znajduje się cały ładunek, prawo Gaussa przyjmie postać

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}.$$

Po przekształceniu otrzymujemy wartość natężenia w odległości r od środka kuli:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

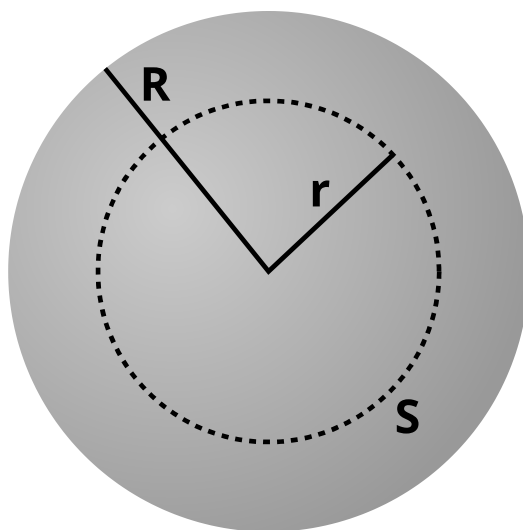
Zależność ta jest więc identyczna, jak dla ładunku punktowego. Oznacza to, że naładowaną kulę na zewnątrz postrzegamy tak, jakby cały jej ładunek był skupiony w jej środku. Również potencjał na powierzchni naładowanej kuli jest równy potencjałowi od ładunku punktowego w odległości równej promieniowi kuli:

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

Pole elektrostatyczne wewnątrz kuli

Korzystając z tego samego prawa, możemy również wyznaczyć natężenie pola elektrycznego w środku naładowanej kuli. Tym razem sferą otoczmy tylko pewną część

kuli.



Rys. 5. Powierzchnia otaczająca fragment kuli umożliwia wyznaczenie gęstości linii pola elektrycznego wewnątrz kuli.

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

By zastosować prawo Gaussa, musimy wyznaczyć wartość ładunku q w części objętości otoczonej sferą. Jeśli założymy, że ładunek jest rozłożony jednorodnie w całej objętości kuli, stosunek ładunku otoczonego do całości będzie równy stosunkowi objętości, w jakich ładunki są rozłożone.

$$\frac{q}{Q} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3}.$$

Zależność ta wynika z faktu, że gęstość objętościowa ładunku (czyli stosunek ładunku do objętości, w której jest rozłożony) jest taka sama w całej kuli.

Po uproszczeniu otrzymujemy

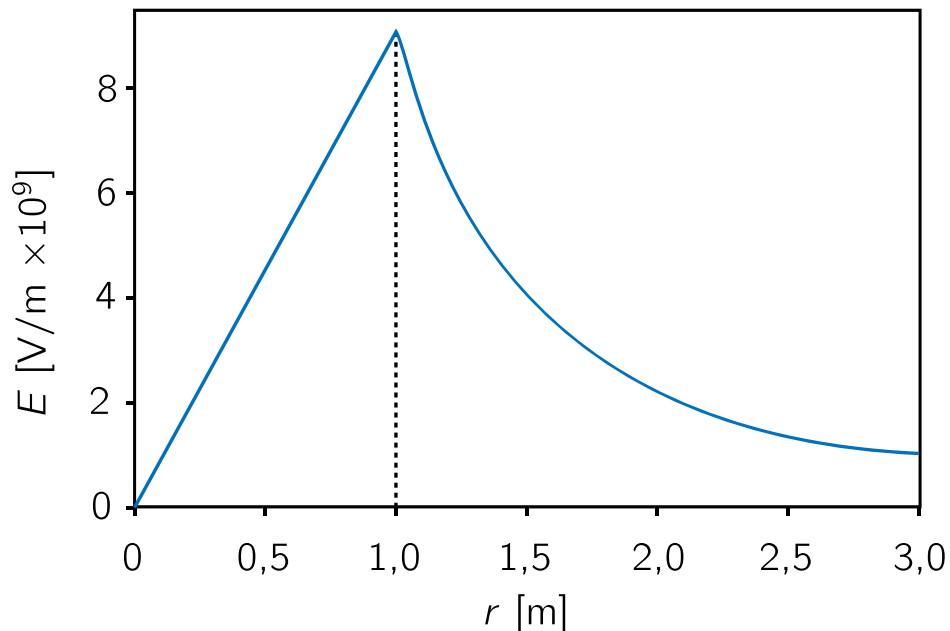
$$q = Q \frac{r^3}{R^3}.$$

Podstawiamy otrzymaną zależność do prawa Gaussa. Otrzymamy

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0} \frac{r^3}{R^3}.$$

Mamy zatem ostateczną postać wartości natężenia pola elektrycznego wewnątrz jednorodnie naładowanej kuli w funkcji odległości od jej środka:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^3} \cdot r.$$



Rys. 6. Wykres natężenia pola elektrycznego w zależności od odległości od środka naładowanej kuli (przykład dla wartości $R = 1$ m i $Q = 1$ C).

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

Słowniczek

powierzchnia ekwipotencjalna

(*ang.: equipotential surface*) powierzchnia, na której potencjał elektryczny ma stałą wartość. Wektor natężenia pola elektrycznego jest prostopadły do powierzchni ekwipotencjalnej. Przykładem powierzchni ekwipotencjalnej jest powierzchnia naładowanego przewodnika.

Animacja

Pole elektrostatyczne jednorodnie naładowanej kuli

Obejrzyj animację, jak wyznacza się natężenie pola elektrycznego na podstawie gęstości linii pola.

Polecenie 1

Co by się zmieniło w rozważanym układzie, gdyby cały ładunek był rozłożony wyłącznie na powierzchni kuli?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Dwie kule o różnych promieniach, R i r , zostały naładowane jednorodnie ładunkiem o takiej samej gęstości objętościowej. Jaki ładunek jest zgromadzony w kuli o promieniu r , jeżeli ładunek zgromadzony w kuli o promieniu R wynosi Q ?

☐ $q = Q \frac{r^3}{R^3}$

☐ $q = Q \frac{r}{R}$

☐ $q = Q \frac{r^2}{R^2}$

Ćwiczenie 2



Miarą czego jest gęstość linii pola elektrycznego?

☐ natężenia pola elektrycznego

☐ potencjału elektrycznego

☐ ładunku

Ćwiczenie 3



Pole elektryczne wewnątrz naładowanej objętościowo kuli:

- ☐ jest jednorodne.
- ☐ zależy od odległości od powierzchni kuli.
- ☐ jest zerowe.

Ćwiczenie 4



Natężenie pola elektrycznego od naładowanej kuli równe jest natężeniu pola od punktowego ładunku:

- ☐ tylko na zewnątrz kuli.
- ☐ w całej przestrzeni.

Ćwiczenie 5



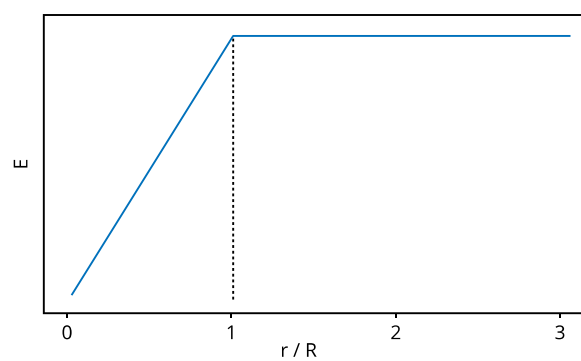
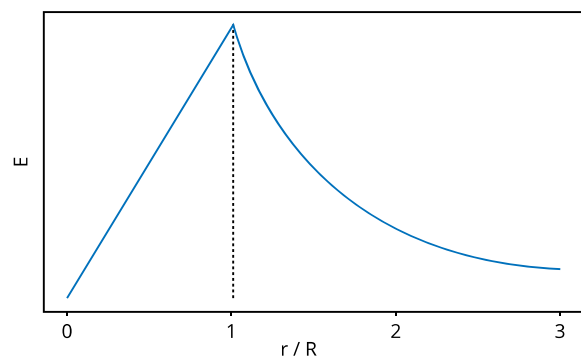
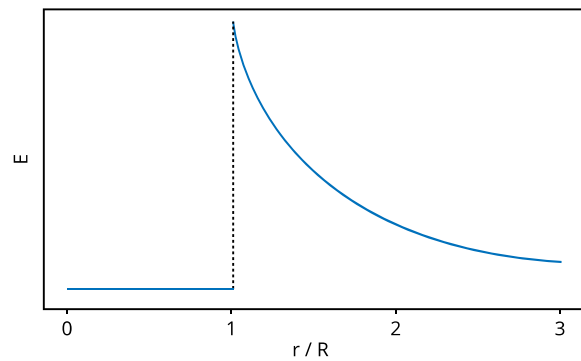
Dwie kule o tym samym promieniu R są naładowane ładunkiem o tej samej wartości Q . Pierwsza kula jest naładowana jednorodnie w całej objętości, druga kula naładowana jest tylko na powierzchni. Ile wynosi napięcie elektryczne pomiędzy powierzchniami kul? Wynik podaj z dokładnością od jednej cyfry znaczącej.

Napięcie wynosi :

Ćwiczenie 6



Który wykres opisuje zależność natężenia pola elektrycznego E naładowanej kuli o promieniu R w zależności od odległości od jej środka r ?



Ćwiczenie 7



Czy możliwe jest naładowanie objętościowe kuli wykonanej z przewodnika?

TAK ☐

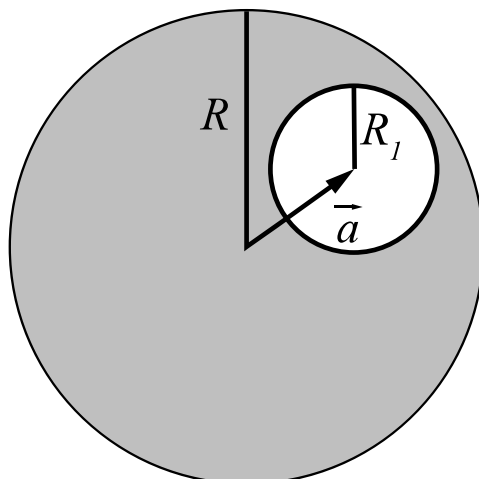
\

NIE ☐

Ćwiczenie 8



Kula o promieniu R naładowana jest jednorodnie. Wewnątrz kuli znajduje się kuliste wydrążenie, którego środek przesunięty jest względem środka kuli o wektor $\vec{a}$. Jakie jest natężenie pola elektrycznego wewnątrz wydrążenia?



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

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Gradowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Pole elektrostatyczne jednorodnie naładowanej kuli
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 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; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 5) opisuje pole na zewnątrz sferycznie symetrycznego układu ładunków.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: - wymienia własności pola elektrostatycznego, - opisuje pole wewnątrz i na zewnątrz symetrycznego układu ładunków, - stosuje w praktyce interpretację gęstości linii pola elektrostatycznego, - podaje prawo Gaussa dla pola elektrostatycznego.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	wykład informacyjny, eksperyment
Formy zajęć:	praca w parach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	maszyna elektrostatyczna, zestawy elektrod, spodek z olejem i kaszką manną
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie, czym jest pole wektorowe oraz na czym polega źródłowość pola elektrostatycznego.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel przeprowadza eksperyment prezentujący linie pola centralnego, w którym dwie elektrody – zewnętrzna kolistą i wewnętrzną punktową – zanurzone w zawieszynie np. kaszy w oleju, są ładowane elektrycznie za pomocą maszyny elektrostatycznej. Uczniowie przypominają związek między natężeniem pola elektrostatycznego a gęstością linii pola. Nauczyciel, posługując się np. analogią do przepływu nieściśliwej cieczy, omawia pojęcie strumienia i prawa Gaussa. Korzystając z prawa Gaussa, nauczyciel wyprowadza postać natężenia pola elektrycznego na zewnątrz i wewnątrz kuli. Uczniowie rysują wykres natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości od środka kuli. Uczniowie dyskutują otrzymany wynik obliczeń, porównując postać natężenia pola dla naładowanej jednorodnie kuli z podobnymi układami, takimi jak kula naładowana powierzchniowo i ładunek punktowy.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie w parach rozwiązują zadania 1-4. Nauczyciel sprawdza je i ocenia pracę uczniów (wystawia oceny).	
Praca domowa:	

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania 5-8 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przez uczniów jako praca domowa przed lekcją i być wprowadzeniem do tematu.