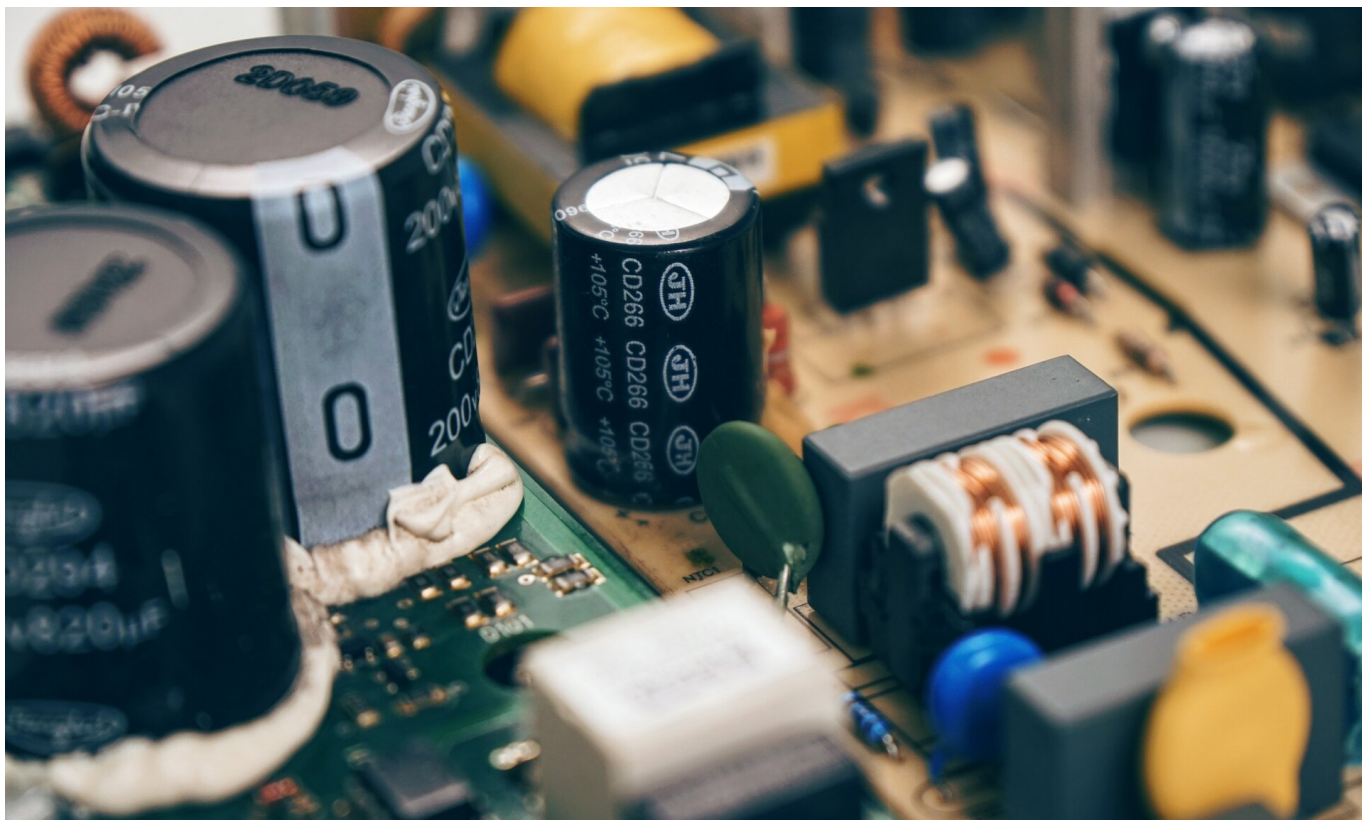




Pojemność elektryczna przewodnika

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



Pojemność elektryczna przewodnika

Czy to nie ciekawe?

Zapewne znane Ci jest pojęcie pojemności. Nieraz spotykamy się z nim, gdy jest mowa o objętości naczynia. Potrafisz powiedzieć, czym jest pojemność akwarium? A może potrafisz wytłumaczyć, czym jest pojemność dysku w Twoim komputerze czy pamięci w telefonie? A czy wiesz, czym jest pojemność elektryczna i jak ją wyznaczyć? Czy wiesz, jak duża jest pojemność elektryczna kuli ziemskiej?



Fot. a. Wyładowanie atmosferyczne (Praga, 2009). Przy odpowiednio dużej różnicy potencjałów między naładowanymi obiektami (tu: chmura-grunt) następuje przekroczenie tzw. napięcia przebicia dla izolatora (tu: powietrza) i wyrównanie ładunków.

Twoje cele

- dowiesz się, czym jest pojemność elektryczna i jaka jest jej jednostka,
- przeanalizujesz wzór na pojemność elektryczną,
- dowiesz się, czym jest mikrofarad, nanofarad oraz pikofarad.
- przeanalizujesz sposób wyznaczania pojemności kuli ziemskiej,

Przeczytaj

Warto przeczytać

W tym materiale omówimy pojęcie **pojemności elektrycznej przewodnika**.

Przewodnik elektryczny to taki materiał, w którym występuje znaczna ilość elektronów, dzięki czemu przez materiał ten może płynąć prąd elektryczny. Na takim przewodniku możemy zgromadzić ładunek elektryczny. Gdy początkowo uziemiony przewodnik naładujemy ładunkiem q , to jego **potencjał elektryczny** zmieni się o ΔV . Przez ΔV rozumiemy różnicę potencjałów między przewodnikiem, a punktem umieszczonym w nieskończoności, dla którego przyjmujemy potencjał równy 0.

Pojemność elektryczna jest wielkością fizyczną charakteryzującą właściwości elektryczne przewodnika. Oznaczamy ją literą C . Miarą tej wielkości jest stosunek zgromadzonego na przewodniku ładunku q do **potencjału przewodnika** ΔV , jaki ten ładunek wytworzy:

$$C = \frac{q}{\Delta V}.$$

Pojemność elektryczna dotyczy tylko materiałów określanych jako przewodniki.

Jednostką pojemności w **układzie SI** jest **farad**. Pojemność jednego farada oznacza, że gdy w przewodniku umieścimy ładunek o wartości jednego kulomba to potencjał wzrośnie o jeden wolt,

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}.$$

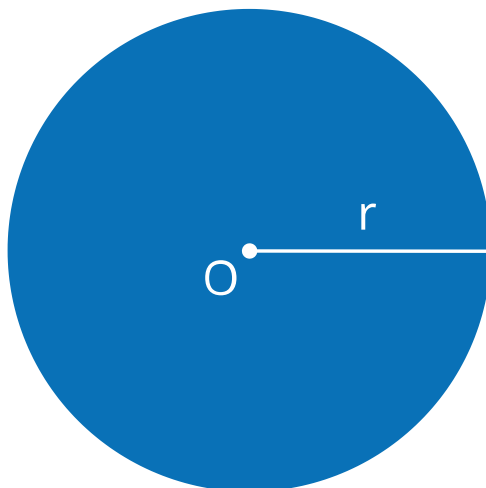
Widzimy więc, że pojemność przewodnika mówi nam o tym, jak dużą różnicę potencjału uzyskamy przy wprowadzeniu na przewodnik ładunku o określonej wartości. Jeśli przewodnik ma dużą pojemność elektryczną, to wprowadzenie określonej porcji ładunku spowoduje powstanie niewielkiej różnicy potencjału, natomiast jeśli tę samą porcję ładunku wprowadzimy na przewodnik o mniejszej pojemności, to uzyskamy większy potencjał.

Farad jest olbrzymią jednostką. Dlatego częściej używamy jego podwielokrotności: mikrofarad ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$), nanofarad ($1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$) oraz pikofarad ($1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$).

Wróćmy jeszcze do potocznego znaczenia słowa „pojemność”. W życiu codziennym używamy go często. Pojemność baku mówi nam, jak dużo paliwa może on pomieścić, pojemność dysku informuje, jak dużo danych możemy na nim zapisać itp. Analogicznie może się wydawać, że pojemność elektryczna mówi, jak wiele ładunku możemy „zmieścić” na przewodniku. Nie jest to jednak zgodne z podaną wyżej definicją.

Pojemność elektryczna jest cechą każdego przewodnika. Zależy ona od kształtu i rozmiaru przewodnika oraz od jego otoczenia.

Rozpatrzmy przykład przewodzącej kuli o promieniu r (Rys. 1.). Wprowadzamy na nią ładunek q i umieszczamy ładunek próbny Q tuż przy zewnętrznej powierzchni kuli. Możemy uznać, dla potrzeb wyprowadzenia, że znajduje się on w odległości $R \approx r$ od jej środka.



Rys.1. Przewodząca kula o promieniu r

Jeśli przyjąć, że potencjał zanika do zera, gdy odległość od kuli dąży do nieskończoności, możemy napisać

$$\Delta V = \frac{E_p}{Q} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R} \cdot \frac{1}{Q} \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r},$$

w którym wykorzystaliśmy przybliżenie $R \approx r$. Stała wielkość ϵ_0 to **przenikalność elektryczna** próżni. Wynosi ona $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$, zaś ϵ_r to tzw. względna przenikalność ośrodka (liczona względem próżni, zatem dla próżni $\epsilon_r = 1$). Dla powietrza jej wartość to ok. 1,00054. W sumie więc, mamy w dobrym przybliżeniu:

$$\Delta V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

zatem pojemność elektryczna kuli wynosi

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{4\pi\epsilon_0 r}{1} \cdot q = 4\pi\epsilon_0 r.$$

Słowniczek

kondensator

(ang.: *capacitor*) - to układ dwóch przewodników (tzw. okładek kondensatora) o dowolnych kształtach i rozmiarach, które ładuje się równymi ładunkami o przeciwnych znakach. Wzór na pojemność kondensatora jest taki sam, jak wzór na pojemność pojedynczego przewodnika:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}.$$

Jedyną różnicą jest to, że różnica potencjałów w mianowniku tego wyrażenia jest liczona między okładkami kondensatora, a nie jak w przypadku pojedynczego przewodnika między tym przewodnikiem, a punktem nieskończenie od niego oddalonym, w którym przyjmuje się wartość potencjału równą zero.

Wzór na pojemność kondensatora kulistego o promieniach okładek $r_a > r_b$ ma postać:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{r_a r_b}{r_a - r_b}.$$

Możesz go wyprowadzić samodzielnie. We wzorze (1) wystarczy jedynie podstawić różnicę potencjałów: $\Delta V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right)$.

Układ SI

(ang.: *the SI system*) – Międzynarodowy Układ Jednostek Miar. Skrót SI pochodzi od francuskiej nazwy: *Système international d'unités*. Układ ten został zatwierdzony w 1960 przez Generalną Konferencję Miar. Zawiera 7 jednostek podstawowych (metr – długość, kilogram – masa, sekunda – czas, amper – prąd elektryczny, kelwin – temperatura, kandela – światłość, mol – liczność materii). W oparciu o te jednostki definiuje się jednostki pochodne. Układ SI oficjalnie obowiązuje we wszystkich krajach z wyjątkiem Stanów Zjednoczonych, Liberii i Mjanmy.

potencjał elektryczny

(ang.: *electric potential*), ozn. V . Wielkość skalarna, z pomocą której można opisywać pole elektrostatyczne. Różnica potencjału związana jest z energią potencjalną ładunku w takim polu i równa jest pracy, którą wykonuje pole np. przyspieszając ładunek.

Np. potencjał przewodzącej kuli o promieniu r naładowanej ładunkiem q obliczamy ze wzoru

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

co oznacza, że przeniesienie ładunku Q z nieskończoności do punktu oddległego o $R > r$ od środka kuli wymaga wykonania pracy równej

$$QV = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

Jednostką potencjału jest wolt (V), stąd częste jest oznaczanie potencjału przez U albo ϕ zamiast V .

Dla zainteresowanych

„Brak jednej potęgi r w mianowniku” w porównaniu do wyrażenia opisującego natężenie pola elektrostatycznego nie jest przypadkiem. Natężenie jest wektorem utworzonym z „kierunkowych zmian” potencjału na niewielkich odległościach (ściśle

- jest jego *gradientem* ze znakiem minus). Analogiczny związek łączy siłę i energię potencjalną (w szczególności siłę kulombowską i energię potencjalną ładunku w polu elektrostatycznym).

przenikalność elektryczna

(ang.: *electric permittivity*), ozn. ε - charakteryzuje każdy ośrodek, w którym może istnieć pole elektrostatyczne, czyli próżnię i ośrodki materialne. Dla dowolnego ośrodka materialnego iloraz jego przenikalności przez przenikalność próżni, definiuje tzw przenikalność względną materiału (oznaczaną ε_r), i mówi, *ile razy słabsze jest pole elektrostatyczne wytwarzane przez dany układ ładunków w tym ośrodku w porównaniu do pola wytwarzanego przez ten sam układ ładunków w próżni*. Wynika z tego, że spośród wszystkich ośrodków najmniejszą przenikalność elektryczną ma próżnia, dla której:

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}.$$

Film samouczek

Pojemność elektryczna przewodnika

Czy wiesz, że nasza planeta - Ziemia może być również traktowana jako kulisty przewodnik o promieniu $R = 6370 \text{ km}$?

Obejrzyj film samouczek, z którego dowiesz się, jak policzyć pojemność elektryczną Ziemi. Po obejrzeniu filmu rozwiąż umieszczone poniżej polecenia, z których dowiesz się kilku ciekawostek, bezpośrednio nawiązujących do tego filmu.

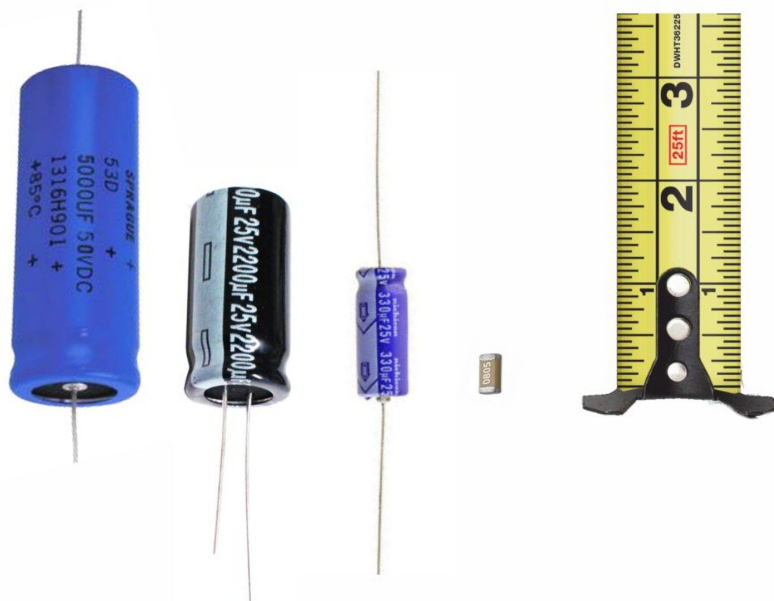
Polecenie 1

Pomówmy o ... kondensatorach. Na pewno zetknęliście się z tym pojęciem, choć na lekcjach fizyki mogło się ono jeszcze nie pojawić. Bądźcie jednak cierpliwi - ta chwila jest bliska!

Czy kondensatory łączą się z tematem tego materiału? Zdecydowanie tak!

Trzeba Wam wiedzieć, że praktyczne znaczenie pojedynczych przewodników jest niewielkie. Duże znaczenie mają za to układy dwóch przewodników zwane kondensatorami.

Porównaj rozmiar i pojemność Ziemi z rozmiarami i pojemnościami używanych obecnie w układach elektronicznych, typowych kondensatorów - liczby mogą Cię zaskoczyć.



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

Polecenie 2

Na filmie samouczku pokazaliśmy, że pojemność Ziemi traktowanej jak pojedynczy przewodnik jest niewielka, bo wynosi ok. $7,1 \cdot 10^{-4}$ F. Ziemię można również potraktować jak kondensator kulisty, w którym rolę drugiej okładki pełni jonosfera, czyli naładowana warstwa atmosfery, położona ok. 70 km nad powierzchnią Ziemi. Wiedząc, że różnica potencjałów między Ziemią i jonosferą wynosi ok. $3,50 \cdot 10^5$ V, wyznacz pojemność kondensatora Ziemia-jonosfera i wartość ładunku na jego okładkach. Skorzystaj ze wzorów na pojemność kondensatora kulistego, które zostały podane w podpowiedzi.

Odpowiedź:

Wyniki obliczeń podaj w notacji wykładniczej.

1. Pojemność układu ziemia-jonosfera wynosi: $\cdot 10^{\text{$ F.
2. Ładunek zgromadzony na powierzchni Ziemi jest równy: $\cdot 10^{\text{$
 C.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

We wszystkich zadaniach tej części przyjmij, że przez ΔV rozumiemy różnicę potencjału przewodnika i punktu w nieskończoności, dla którego przyjmujemy potencjał równy 0.

Ćwiczenie 1



Pojemność pojedynczego przewodnika jest zdefiniowana jako iloraz dwóch wielkości. Z podanych komponentów utwórz prawidłowy wzór definiujący tę wielkość. Masz do dyspozycji: Q - ładunek na powierzchni przewodnika, S - pole powierzchni przewodnika, I - natężenie prądu, ΔV - potencjał na powierzchni przewodnika, d - gęstość nośników ładunku w przewodniku.

Definicja pojemności: $C = \frac{\quad}{\quad}$.

ΔV I Q d S

Ćwiczenie 2



Zaznacz, które zdania są prawdziwe:

- ☐ Dla danego przewodnika w konkretnym otoczeniu pojemność jest stała.
- ☐ Pojemność zależy od ładunku wprowadzonego na przewodnik.
- ☐ Pojemność zależy od potencjału wytworzonego przez zgromadzony ładunek.
- ☐ Potencjał zależy od wprowadzonego ładunku na przewodnik.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij poniższe zdania:

Jednostką pojemności jest . Symbolicznie oznacza się ją dużą literą . Jest ona równa ilorazowi . Pojemność jest ogromną pojemnością, dlatego w praktyce często używa się podwielokrotności tej jednostki z przedrostkami typu mikro (), nano () lub piko (F).

$1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$	J	$1 \text{ pF} = 10^{-12}$	F	$1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$	1 C	1 J	1 C / 1 W
$1 \text{ nG} = 10^{-9} \text{ G}$	$1 \mu\text{G} = 10^{-6} \text{ G}$	1 C/1 V	faraday	farad	gauss	friday	
$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$	dżul	$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$	1 V/ 1C	C	1 F	1 J/1 V	
$1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$	$1 \text{ pG} = 10^{-12} \text{ G}$	kulomb					

Ćwiczenie 4



Metalowa kula ma pojemność elektryczną 0,1 nF. Ile wynosi promień tej kuli? Odpowiedź zaokrąglij do jednej cyfry znaczącej.

Odpowiedź: m.

Ćwiczenie 5



Na elektroskop wprowadzono ładunek $2 \mu\text{C}$. Różnica potencjałów elektroskopu po i przed naładowaniem wynosi 100 V. Wyznacz pojemność elektryczną tego elektroskopu.

Odpowiedź: nF.

Ćwiczenie 6



Metalowa kula ma pojemność 10 nF. Mamy drugą kulę, także metalową, ale jej promień jest 2 razy mniejszy niż pierwszej kuli. Oblicz pojemność elektryczną drugiej kuli.

Odpowiedź: nF.

Ćwiczenie 7



Metalowa kula ma pojemność 10 nF. Mamy drugą metalową kulę, której promień jest o  metrów mniejszy niż pierwszej. Wskaż najlepsze przybliżenie pojemności drugiej kuli.

☐ 9,9 nF

☐ 8,9 nF

☐ 10,1 nF

☐ 11,1 nF

Ćwiczenie 8



Na przewodzącą kulę o promieniu $R = 1\text{m}$ wprowadzono ładunek $q = 100\text{nC}$. Potencjał kuli wzrósł o $\Delta V = 900\text{V}$. Kulę tę łączymy cienkim metalowym przewodem z drugą, taką samą kulą, identycznie naładowaną.

Jaka będzie pojemność układu tych dwóch kul? Wynik zapisz w notacji wykładniczej. Mantysę z przedziału $<1,10)$ podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: $\cdot 10$ F.

Ćwiczenie 9



Mamy układ dwóch przewodzących kul o promieniach r_1 oraz r_2 . Kule te łączymy cienkim metalowym przewodem o długości dużo większej niż większy z tych promieni i rozsuwamy na maksymalną możliwą odległość. Wyznacz wartości ładunków zgromadzonych na tych kulach oraz wyprowadź wyrażenie opisujące pojemność układu tych dwóch kul.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Martyna Jakubowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Pojemność elektryczna przewodnika
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, rozszerzenie zapisów podstawy programowej dla zakresu rozszerzonego
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi; przelicza wielokrotności i podwielokrotności; 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych; VII. Elektrostatyka. Uczeń: 11) posługuje się pojęciem pojemności kondensatora i jej jednostką; posługuje się zależnością pojemności kondensatora płaskiego od jego wymiarów; oblicza energię zmagazynowaną w kondensatorze;

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia 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: 1. wyjaśnia, czym jest pojemność elektryczna, 2. analizuje wzór opisujący pojemność elektryczną, 3. objaśnia, czym jest farad, 4. analizuje sposób wyznaczania pojemności kuli ziemskiej, 5. na przykładzie pojemności kuli ziemskiej pokazuje, jak dużą pojemnością jest 1 farad.
Strategie i metody nauczania:	blended-learning - nauczanie hybrydowe
Formy zajęć:	Film samouczek, praca w grupach.
Środki dydaktyczne:	Komputer dla każdego ucznia, kalkulator, długopis
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoznaje wiedzę uczniów poprzez zadanie pytań: - czym jest ładunek elektryczny? - czym jest potencjał elektryczny? - czym jest przewodnik? itp . Jeśli uczniowie nie znają odpowiedzi, nauczyciel pomaga im usystematyzować wcześniejszą wiedzę z elektrostatyki. Przeczytanie i omówienie Wprowadzenia.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie samodzielnie czytają tekst niniejszego materiału.

Nauczyciel sprawdza, czy uczniowie mają jakieś pytania związane z tekstem. Uczniowie wspólnie zastanawiają się nad pytaniami, które się pojawiły. Nauczyciel naprowadza uczniów na właściwe odpowiedzi. Jeśli znajdzie taką potrzebę, uczniowie wracają to wybranego fragmentu tekstu.

Uczniowie oglądają film samouczek, w którym, na przykładzie Ziemi, pokazane jest, w jaki sposób można wyznaczyć pojemność przewodnika kulistego. Po filmie nauczyciel sprawdza, czy uczniowie mają jakieś pytania związane z filmem. Uczniowie wspólnie próbują odpowiedzieć na pytania, które się pojawiły. Nauczyciel zwraca uwagę uczniów na to, że chociaż rozmiary Ziemi są ogromne, to jej pojemność jest niewielka w porównaniu do pojemności urządzeń zwanych kondensatorami (zob. Polecenia 1. umieszczone pod filmem). W zależności od zaangażowania uczniów, nauczyciel może wyjaśnić, czym są kondensatory i może, razem z uczniami, rozwiązać Polecenie 2.

Uczniowie wykorzystując zdobytą wiedzę rozwiązują zadania.

Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Uczniowie dzielą się na 4 grupy i omawiają rozwiązania zadań, wspólnie zastanawiając się nad zadaniami, które sprawiają im trudność. Każda z grup omawia 2 lub 3 zadania „na forum klasy”.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel sprawdza, które zadania sprawiły uczniom kłopot i dlaczego.

Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

Nauczyciel wcześniej przygotowuje pulę zadań podobnych do tych z zestawu zadań, o zróżnicowanym stopniu trudności. Po przeanalizowaniu wyników testu i uwag uczniów na temat najtrudniejszych zadań, nauczyciel wybiera trzy zadania analogiczne do tych, które uczniowie wskazali jako trudne.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Film samouczek może być wykorzystany jako wprowadzenie do lekcji poświęconej kondensatorom.