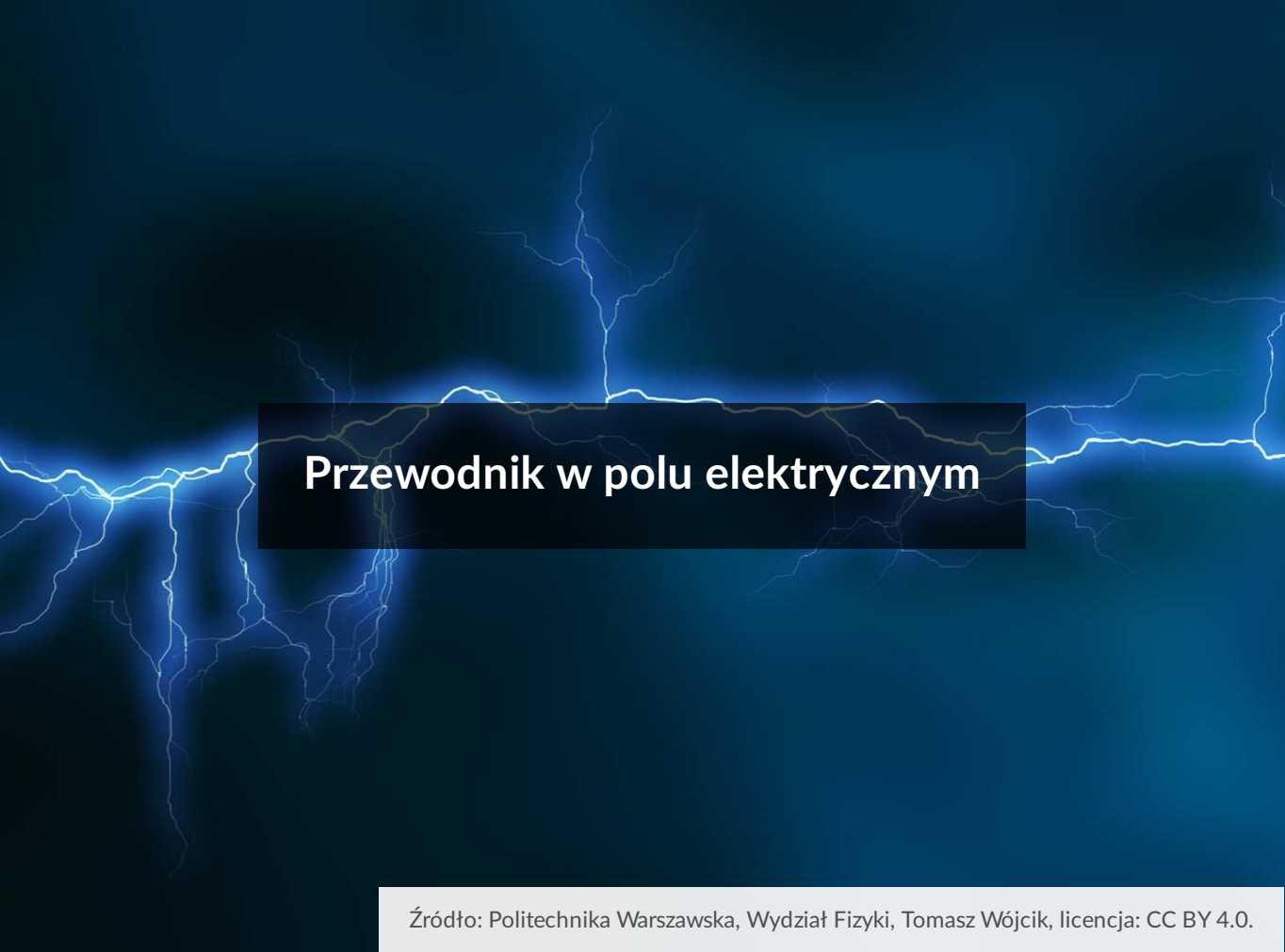




Przewodnik w polu elektrycznym

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

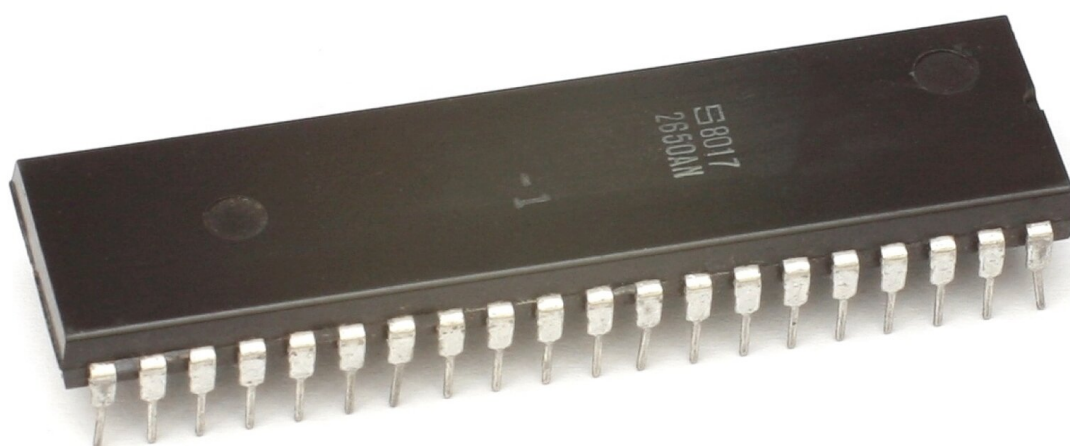


Przewodnik w polu elektrycznym

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

Czy to nie ciekawe?

Przewodniki są niezbędne dla funkcjonowania naszej cywilizacji. I czy są to złote druciki o średnicy 0,02 mm w mikroprocesorze (Rys. a.), czy liczące dziesiątki kilometrów miedziane przewody o średnicy 5 cm, łączy je wspólna cecha: chmura swobodnych elektronów w ich wnętrzu, gotowa przesyłać zarówno energię, jak i informację.



Rys. a. Mikroprocesor Signetics 2650

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KL_Signetics_2650AN.jpg [dostęp 22.06.2022], domena publiczna.

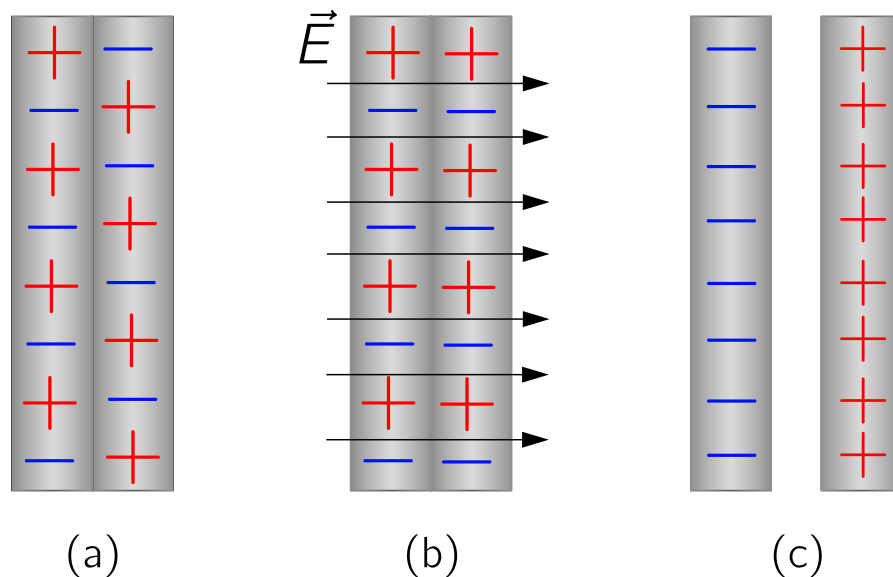
Twoje cele

- dowiesz się, jakie własności mikroskopowe pozwalają przewodnikom przewodzić prąd,
- poznasz zjawisko indukcji elektrostatycznej,
- dowiesz się o własnościach pola elektrycznego wewnątrz i na powierzchni przewodnika,
- przeanalizujesz wpływ pola elektrycznego na przewodnik obserwując eksperyment fizyczny.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Przewodnik to rodzaj materiału, w którym elektrony walencyjne (czyli elektrony z ostatniej powłoki atomu) są swobodne. O takich elektronach mówimy, że tworzą gaz elektronowy. Mogą poruszać się w całej objętości przewodnika i przewodzić prąd elektryczny.



Rys. 1. Doświadczenie z przewodzącymi płytkami w polu elektrycznym

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

Wyobraźmy sobie proste doświadczenie. Mamy dwie przewodzące płytki, np. miedziane dyski (Rys. 1a.). Następnie stykamy je ze sobą, tak by tworzyły jeden przewodnik i umieszczamy w zewnętrznym polu elektrycznym, prostopadłe do linii pola (Rys. 1b.). Płytki na początku doświadczenia są elektrycznie obojętne, tzn. jest w nich tyle samo ładunków dodatnich, co ujemnych. Jednak działająca na ładunki siła elektrostatyczna $\vec{F} = q\vec{E}$ spowoduje ich rozsunięcie (Rys. 1b.), przez co każda z płytek – po oddzieleniu jak na Rys. 1c. – nie będzie już elektrycznie obojętna. Mówimy w takiej sytuacji, że w przewodnikach został **wyindukowany** ładunek elektryczny. Oznacza to, że żaden ładunek nie został dostarczony ani zabrany, jedyne co się zmieniło, to jego rozkład przestrzenny. Zjawisko to nazywamy **indukcją elektrostatyczną**.

Skupmy się teraz na pojedynczym naładowanym przewodniku. Ponieważ ładunki wewnątrz przewodnika mogą się swobodnie poruszać, a jednocześnie, będąc tego samego znaku, odpychają się od siebie, to rozłożą się wszystkie na powierzchni przewodnika. Taki rozkład będzie energetycznie optymalny, ponieważ zapewni największe odległości pomiędzy ładunkami.

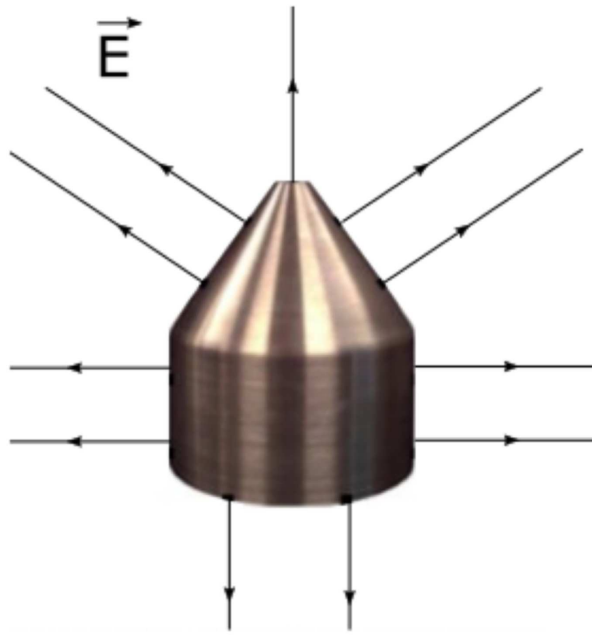
To zachowanie ładunków prowadzi do kolejnej ważnej własności przewodników, a dotyczy pola elektrycznego wewnątrz przewodnika. Otóż pole elektryczne wewnątrz przewodnika jest zerowe; wytłumaczyć to można wykorzystując [prawo Gaussa dla pola elektrycznego](#). Cecha ta jest kluczowa dla działania [klatki Faradaya](#) (Rys. 2.).



Rys. 2. Demonstracja klatki Faradaya na ochotnikach w Palais de la Découverte w Paryżu

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cage_de_Faraday.jpg [dostęp 22.06.2022], licencja: CC BY-SA 3.0.

Istnienie swobodnych ładunków wewnątrz przewodnika skutkuje jeszcze jedną własnością pola elektrycznego, tym razem na powierzchni przewodnika. Wypadkowa siła działająca na każdy ładunek jest prostopadła (normalna) do powierzchni. To oznacza, że w stanie równowagi wektor natężenia pola elektrycznego jest prostopadły do powierzchni przewodnika (Rys. 3.). Gdyby tak nie było, tzn. gdyby istniała jakakolwiek składowa natężenia pola elektrycznego styczna do powierzchni przewodnika, na ładunki działałaby siła przesuwająca je po powierzchni. Nie oznacza to jednak, że wartość pola jest na powierzchni stała.



Rys. 3. Kierunek linii pola elektrycznego na powierzchni dodatnio naładowanego przewodnika

Z prostopadłości pola elektrycznego do powierzchni przewodnika wynika kolejna jego własność. Ponieważ siła działająca na ładunek na powierzchni przewodnika jest do powierzchni prostopadła, przesunięcie ładunku po powierzchni nie wiąże się z wykonaniem żadnej pracy. Oznacza to, że potencjał elektryczny na powierzchni całego przewodnika jest stały. O takiej powierzchni mówimy, że jest **ekwipotencjalna**. Innymi słowy, gdybyśmy chcieli przenieść ładunek z pewnego punktu poza przewodnikiem na powierzchnię przewodnika, wykonamy zawsze tę samą pracę, bez względu na to, w które miejsce przewodnika ładunek został przeniesiony.

Słowniczek

Powierzchnia ekwipotencjalna

(ang. *equipotential surface*) – powierzchnia, na której jest stała wartość potencjału elektrycznego (np. powierzchnia przewodnika).

Prawo Gaussa dla pola elektrycznego

(ang. *Gauss' flux law*) – równanie wiążące ze sobą pole elektryczne oraz jego źródło. Mówi ono, że strumień Φ_E natężenia pola elektrycznego $\vec{E}$ przez dowolną powierzchnię zamkniętą S jest równy sumarycznemu ładunkowi q wewnątrz tej powierzchni podzielonemu przez stałą elektrostatyczną ϵ_0

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Jest to jedno z czterech tzw. równań Maxwella, czyli podstawowych równań opisujących elektromagnetyzm.

Klatka Faradaya

(ang. *Faraday cage*) – komora wykonana z przewodnika, chroniąca wnętrze przed zewnętrznym polem elektrycznym.

Film edukacyjny

Przewodnik w polu elektrycznym

Obejrzyj film i przekonaj się, jak w praktyce wygląda elektryzowanie przez indukcję.

Polecenie 1

Z jakiej zasady wynika fakt, że ładunki na prętach różnią się tylko znakiem?

Polecenie 2

Czy możemy określić znak ładunku wyłącznie na podstawie wychylenia wskazówki elektroskopu, bez żadnych dodatkowych pomocy?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zjawisko, w którym następuje przesunięcie elektronów w przewodniku w wyniku działania pola elektrycznego, nazywamy:

- ☐ indukcją elektrostatyczną
- ☐ indukcją magnetyczną
- ☐ indukcją elektromagnetyczną

Ćwiczenie 2



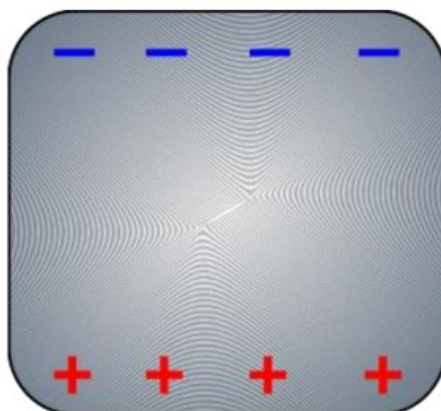
Które z określeń opisujących przewodnik w stanie równowagi jest fałszywe?

- ☐ pole elektryczne jest zawsze zerowe wewnątrz przewodnika
- ☐ pole elektryczne jest zawsze stałe na powierzchni przewodnika
- ☐ pole elektryczne jest zawsze prostopadłe do powierzchni przewodnika
- ☐ potencjał elektryczny jest zawsze stały na powierzchni przewodnika

Ćwiczenie 3



W przewodniku został wyindukowany ładunek, jak na rysunku. W jakim kierunku działa zewnętrzne pole elektryczne, które doprowadziło do wyindukowania ładunku?



☐ ←

☐ →

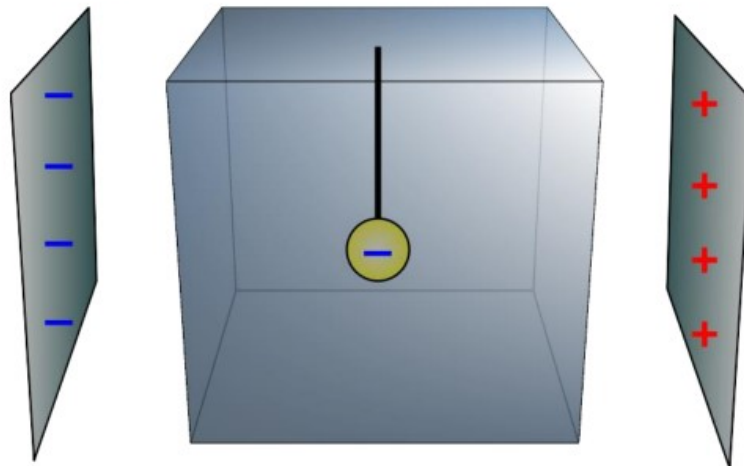
☐ ↑

☐ ↓

Ćwiczenie 4



W skrzynce wykonanej z przewodzącej blachy umieszczono naładowaną ujemnie kulkę, zawieszoną na nieprzewodzącej nici przymocowanej do górnej ścianki skrzynki. Następnie skrzynkę umieszczono pomiędzy dwiema przeciwnie naładowanymi płytami. W którą stronę wychyli się naładowana kulka?



☐ w lewo

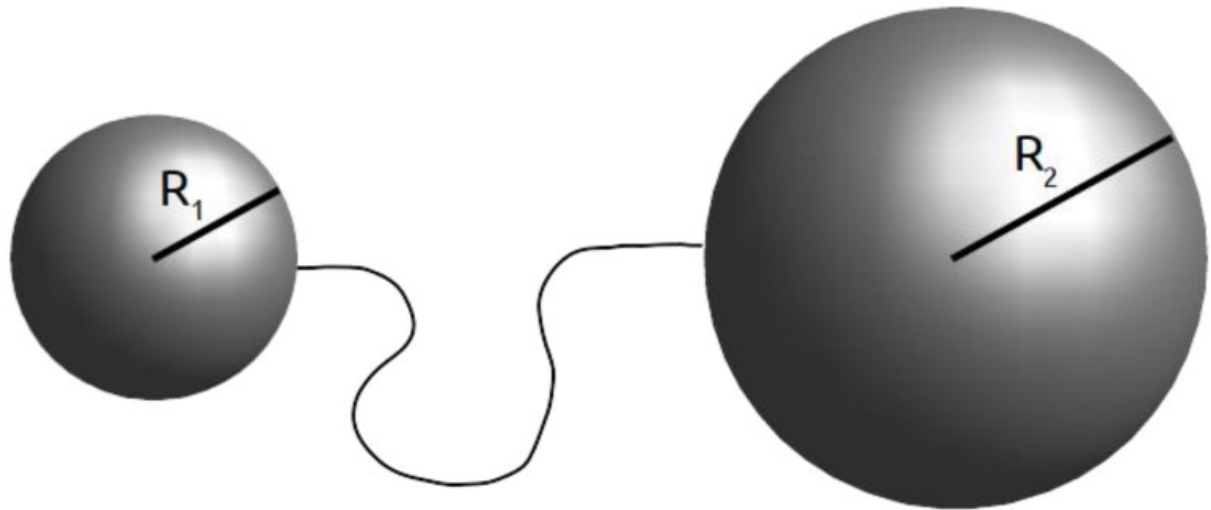
☐ w prawo

☐ nie wychyli się

Ćwiczenie 5



Dwie przewodzące kule o promieniach R_1 i R_2 naładowane są ładunkiem. Kule znajdują się w dużej odległości od siebie, lecz na moment połączono je nieskończenie cienkim przewodem. Wiedząc, że natężenie pola elektrycznego na powierzchni naładowanej kuli wynosi $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$, natomiast potencjał na powierzchni równy jest $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$, wskaż prawdziwą relację.



☐ $Q_1 \cdot R_1 = Q_2 \cdot R_2$

☐ $Q_1 \cdot R_1^2 = Q_2 \cdot R_2^2$

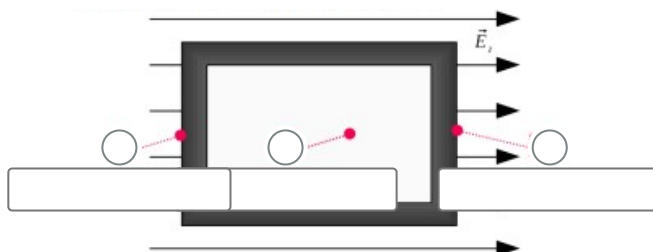
☐ $Q_1 \cdot R_2 = Q_2 \cdot R_1$

☐ $Q_1 \cdot R_2^2 = Q_2 \cdot R_1^2$

Ćwiczenie 6



Rysunek przedstawia przekrój zamkniętej komory, której ściany są wykonane z przewodnika. Komora umieszczona jest w zewnętrznym polu elektrycznym $\vec{E}_z$. Uzupełnij oznaczenia na rysunku: $q > 0$, $q < 0$, $E = 0$.

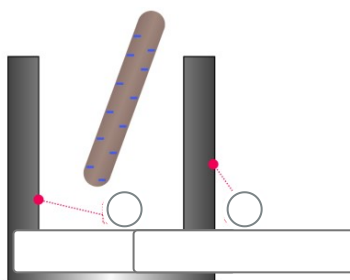


Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 7



Rysunek przedstawia przekrój metalowego obojętnego elektrycznie naczynia (np. blaszanej puszki). Do środka naczynia zbliżono (bez dotykania) naładowaną ujemnie łaskę ebonitową. Oznacz na rysunku, czy ładunek na elementach powierzchni będzie dodatni, ujemny, czy zerowy.

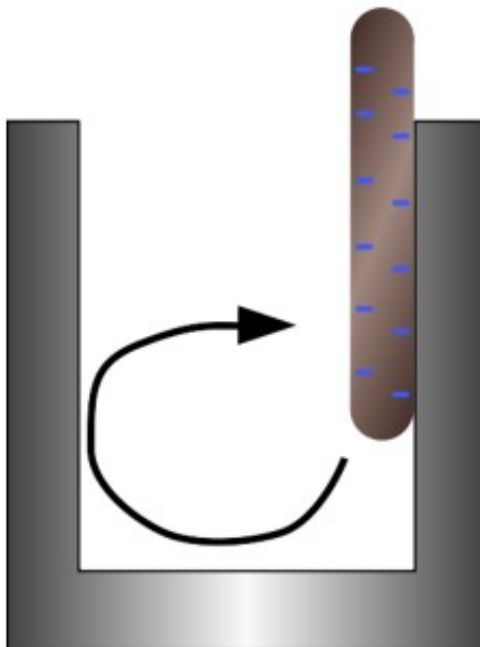


Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 8

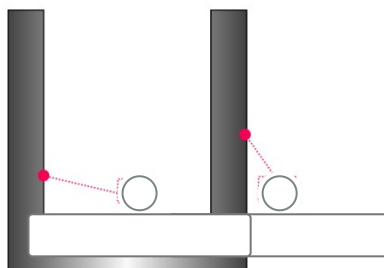


Naczynie z poprzedniego zadania tym razem wewnątrz dotykano naładowaną ujemnie pałeczką. Jaki tym razem będzie ładunek na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej?



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

Przeciągnij właściwe odpowiedzi:



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

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Gradowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Przewodnik w polu elektrycznym
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i 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 podstawowy

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;

10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość.

VI. Elektrostatyka. Uczeń:

4) opisuje jakościowo rozkład ładunków w przewodnikach i znikanie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika (klatka Faradaya).

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;

11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość.

VII. Elektrostatyka. Uczeń:

6) opisuje jakościowo rozkład ładunków w przewodnikach, zerowe natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika (klatka Faradaya), duże natężenie pola wokół ostrzy na powierzchni przewodnika.

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. wskazuje, jak powiązane są ze sobą poszczególne własności przewodników, 2. opisuje, jaki wpływ na własności przewodników ma ich mikroskopowa budowa oraz jakie są ich konsekwencje, 3. wyciąga wnioski na temat zaproponowanych problemów korzystając z podstawowej wiedzy dotyczącej przewodników, 4. analizuje omawiane zjawiska przy okazji pokazu eksperymentu fizycznego.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	wykład informacyjny, eksperyment
Formy zajęć:	praca w parach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	elektroskop, pałeczka ebonitowa, wełniana tkanina, pusta metalowa puszka po napoju
Materiały pomocnicze:	–
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoczyna dyskusję z uczniami na temat własności elektrycznych materiałów, zwracając uwagę na istnienie przewodników i izolatorów elektrycznych. Uczniowie odpowiadają, które materiały z zaproponowanych przez nauczyciela (np. miedź, aluminium, guma, beton, plastik) są przewodnikami.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel demonstruje elektryzowanie elektroskopu przez indukcję i przez kontakt, zwracając uwagę na zasadę działania elektroskopu. Następnie uczniowie, przy pomocy nauczyciela, demonstrują elektryzowanie przez indukcję pustej puszki po napoju, tocząc ją po stole z wykorzystaniem naładowanej pałeczki ebonitowej.

Nauczyciel informuje uczniów o pewnych własnościach mikroskopowych, które mają wpływ na to, jak w polu elektrycznym zachowują się poszczególne materiały. Uczniowie przypominają sobie podstawowe informacje na temat budowy atomu i zwracają uwagę na istnienie w przewodnikach metalicznych swobodnych elektronów.

Następnie nauczyciel prowadzi narrację, w której każda kolejna omawiana własność przewodnika wynika z własności poprzedniej, by uczeń widział spójny, logiczny ciąg, co ułatwia przyswojenie wiedzy.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w parach rozwiązują zadania 1-6. Zadania 3-6 mogą też zostać wykorzystane do wspólnego z nauczycielem omówienia wszystkich poznanych własności.

Praca domowa:

Uczniowie, w ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości, rozwiązują zadania 7-8 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Film może być wykorzystany wtedy, gdy nauczyciel nie ma odpowiednio wyposażonej pracowni, by wykonać eksperyment na lekcji. Film może również pełnić rolę instruktażową.