



Czy rodzaj dielektryka wpływa na pojemność kondensatora?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium WL-I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

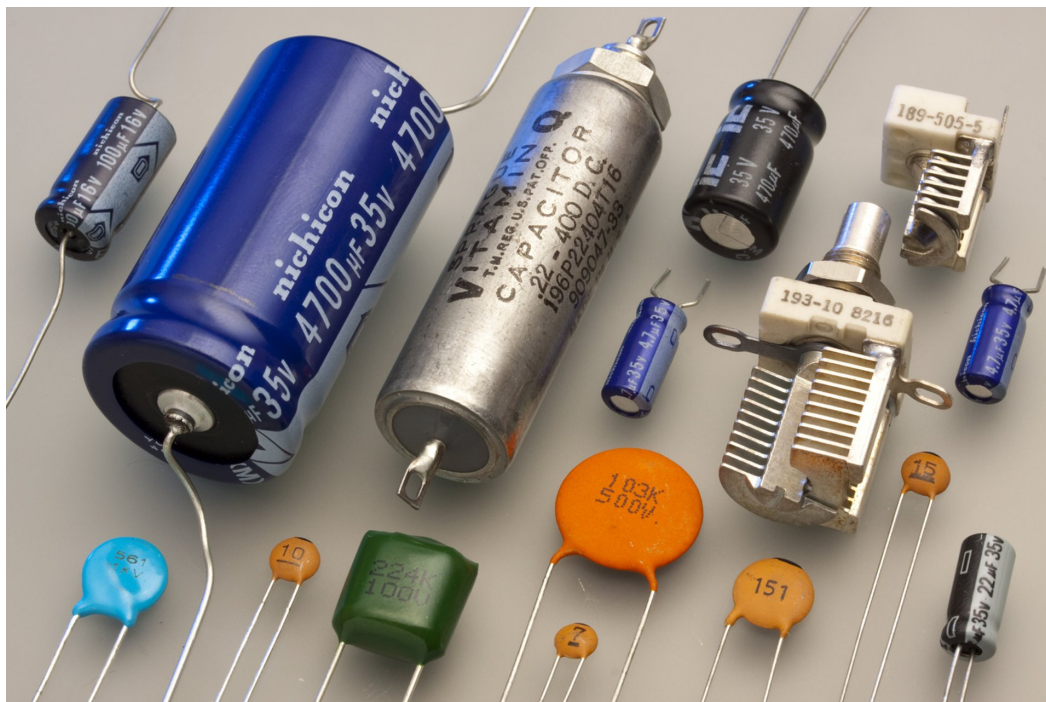


Czy rodzaj dielektryka wpływa na pojemność kondensatora?

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/glass-insulators-insulator-3843176/> [dostęp 3.08.2022].

Czy to nie ciekawe?

Kondensatory płaskie, zarówno próżniowe, jak i powietrzne, czyli takie między okładkami których jest próżnia lub powietrze, mają zwykle niewielką pojemność. Możemy ją zwiększyć manipulując rozmiarem kondensatora, np. powiększając powierzchnie okładek lub zmniejszając odległość między nimi. Obydwa rozwiązania nie są jednak zbyt efektywne, bo na przykład zbyt duże rozmiary ograniczają możliwości stosowania kondensatora w praktyce, natomiast zmniejszenie odległości między okładkami może prowadzić do przebicia.



Rys. a. W kondensatorach stosujemy różne typy dielektryków.

Źródło: Eric Schrader, dostępny w internecie: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capacitors_\(7189597135\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capacitors_(7189597135).jpg) [dostęp 3.08.2022], licencja: CC BY-SA 2.0.

Jest jeszcze inny sposób na zwiększenie pojemności kondensatora: między jego okładkami można umieścić materiał o właściwościach dielektrycznych. Dzięki temu, w zależności od użytego dielektryka, pojemność kondensatora można zwiększyć od kilku do kilkudziesięciu razy.

Twoje cele

Dzięki lekturze tego materiału:

- przypomnisz sobie, czym jest kondensator płaski,
- opisziesz, w jaki sposób obecność dielektryka między okładkami kondensatora wpływa na jego pojemność,
- zdefiniujesz względną przenikalność elektryczną dielektryka,
- przeprowadzisz wirtualny eksperyment, w którym zbadasz, w jaki sposób różne rodzaje dielektryków wpływają na pojemność kondensatora,
- w ramach Wirtualnego Laboratorium wykonasz pomiary względnej przenikalności elektrycznej dla kilku rodzajów dielektryków,
- wyznaczysz niepewności standardowe zmierzonych wartości stałych dielektrycznych,
- porównasz zmierzone przez siebie wartości względnych przenikalności elektrycznych z ich tablicowymi wartościami.

Przeczytaj

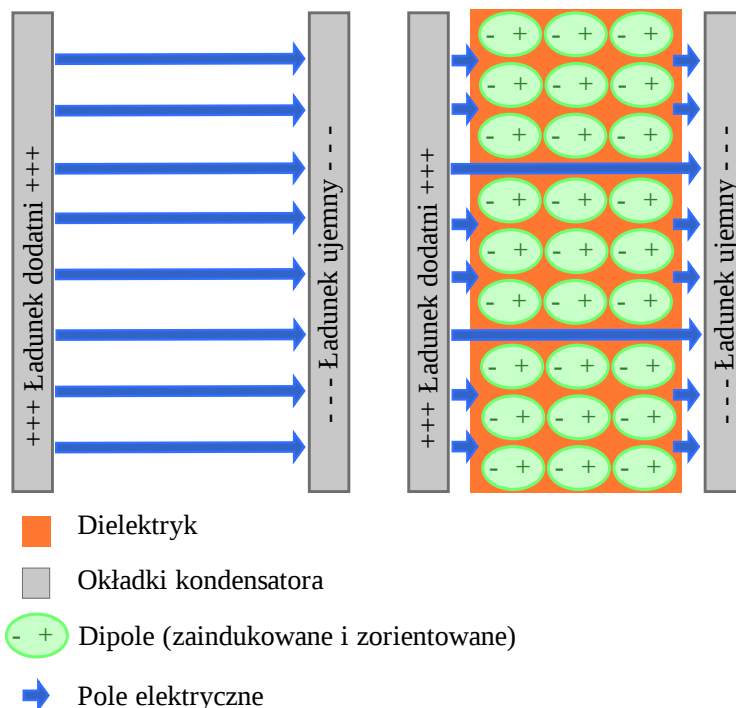
Warto przeczytać

Dielektryki to materiały, które nie przewodzą prądu elektrycznego (zob. materiał pt. *Co to jest dielektryk?*). W zewnętrznym polu elektrycznym o natężeniu $\vec{E}_0$, cząsteczki dielektryka ulegają polaryzacji (zob. materiał pt. *Jak dielektryki zachowują się w zewnętrznym polu elektrycznym?*). Polaryzacja ta powoduje powstanie w dielektryku wewnętrznego pola elektrycznego $\vec{E}_p$. Pole to jest skierowane przeciwnie do pola zewnętrznego. Sprawia to, że natężenie wypadkowego pola elektrycznego wewnątrz dielektryka:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p, \quad (1)$$

ma mniejszą wartość niż pole zewnętrzne (Rys. 1.):

$$E = E_0 - E_p. \quad (2)$$



Rys. 1. Linie pola elektrycznego wewnątrz płaskiego kondensatora próżniowego (po lewej) i kondensatora z dielektrykiem między okładkami (po prawej). Z powodu polaryzacji, wewnątrz dielektryka wypełniającego kondensator, gęstość linii pola elektrycznego, a w konsekwencji również jego natężenie, jest mniejsze niż w kondensatorze próżniowym.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Stosunek E_0 do E zależy od własności dielektryka i nosi nazwę względnej **przenikalności elektrycznej**:

$$\frac{E_0}{E} = \varepsilon_r.$$

(3)

Zauważ, że stała ε_r jest bezwymiarowa (nie ma określonych jednostek), a jej wartość spełnia warunek:

$$\varepsilon_r \geq 1,$$

(4)

przy czym $\varepsilon_r = 1$ charakteryzuje próżnię.

Zauważ też, że jeśli natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka maleje ε_r razy, to również różnica potencjałów (czyli napięcie U) wewnątrz dielektryka musi zmaleć ε_r razy:

$$\frac{U_0}{U} = \varepsilon_r.$$

(5)

Co więc się stanie, jeśli przestrzeń między okładkami kondensatora wypełnimy dielektrykiem? Spowoduje to zmniejszenie wartości różnicy potencjałów U przy zachowaniu niezmiennego ładunku na okładkach. Zastanówmy się więc, jak wpłynie to na pojemność tego kondensatora.

Pojemność kondensatora próżniowego, czyli takiego między okładkami którego panuje próżnia, wyznaczamy z wzoru:

$$C_0 = \frac{Q}{U_0}.$$

(6)

Po wprowadzeniu dielektryka pojemność będzie więc wynosiła:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_0/\varepsilon_r} = \varepsilon_r \frac{Q}{U_0} = \varepsilon_r C_0.$$

(7)

Oznacza to, że po umieszczeniu między okładkami kondensatora dielektryka, jego pojemność wzrośnie ε_r razy:

$$C = \varepsilon_r C_0.$$

(8)

W tabeli 1. podano przykładowe wartości względnej przenikalności elektrycznej wybranych dielektryków w temperaturze pokojowej.

Tabela 1. Wartości względnej przenikalności elektrycznej dla różnych materiałów.

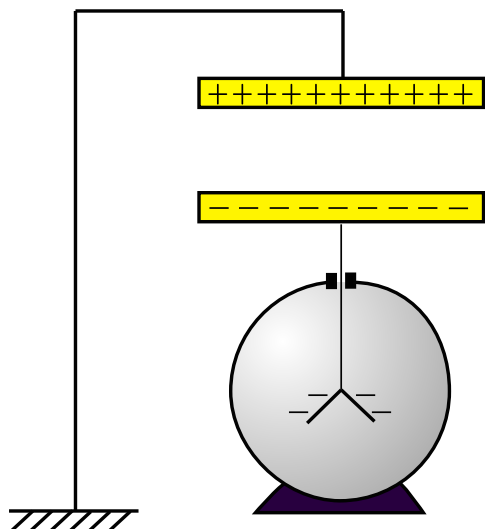
Materiał	Względna przenikalność elektryczna
próżnia	1,0000
powietrze	1,0005
teflon	2,1
polietylen	2,3
papier	3,5
szkło	4,5
porcelana	6,5
woda	78

W jaki sposób mierzymy wartość względnej przenikalności elektrycznej?

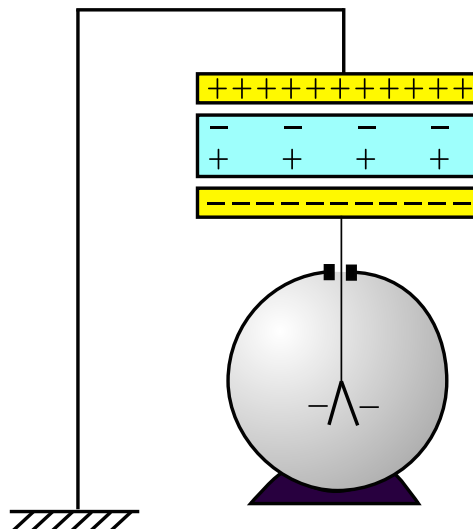
Wartości tej nie mierzymy bezpośrednio, lecz ją wyznaczamy. Jednym ze sposobów wyznaczenia tej wielkości, który możecie wykorzystać np. na lekcji fizyki, jest pomiar różnicy potencjałów między okładkami kondensatora płaskiego. Potrzebne do tego będą: płyta dielektryczna (np. kawałek szyby lub plastiku), kondensator demonstracyjny (lub dwie metalowe płyty, które możemy ustawić równolegle do siebie), [elektroskop](#) i [maszyna elektrostatyczna](#).

Okładki kondensatora (lub płyty metalowe) rozsuwamy tak, by dielektryk mógł wypełnić przestrzeń między nimi (około 1-2 cm). Za pomocą maszyny elektrostatycznej ładujemy jedną z okładek kondensatora. Drugą okładkę możemy przymocować do statywu lub po prostu trzymać ją w ręku - jeśli będzie ona uziemiona, to wyindukuje się na niej taki sam ładunek, jak na pierwszej. Odczytujemy wskazanie elektroskopu (Rys. 2.). Następnie między okładki wsuwamy dielektryk i ponownie odczytujemy wskazanie elektroskopu.

a)



b)



Rys. 2. Badanie, przy pomocy elektroskopu, napięcia między okładkami kondensatora płaskiego: a) powietrznego, b) z dielektrykiem między okładkami. Gdy między okładki kondensatora wsuniemy dielektryk napięcie między okładkami zmniejszy się, co spowoduje opadnięcie listków elektroskopu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Elektroskop mierzy napięcie między okładkami kondensatora. Podstawiając otrzymane wyniki do wzoru (5) wyznaczmy względną przenikalność elektryczną materiału. Zauważ, że nie ma tu znaczenia, w jakich jednostkach dokonujemy pomiaru napięcia - parametr ϵ_r jest bezwymiarowy.

Słowniczek

dielektryk

(ang.: *dielectric*) (inaczej izolator elektryczny) to materiał, którym bardzo słabo przewodzi prąd elektryczny. Może to być rezultatem niskiej koncentracji ładunków swobodnych, niskiej ich ruchliwości, lub obu tych czynników równocześnie

dipol elektryczny

(ang. *electric dipole*) – układ dwóch różnoimiennych ładunków elektrycznych o takiej samej wartości ładunku.

elektroskop

(ang.: *electroscope*) to przyrząd służący do pomiaru napięcia. W najprostszej wersji składa się z metalowego pręta, na którego końcu znajdują się listki z cienkiej, przewodzącej prąd folii. Po zetknięciu pręta z ciałem naelektryzowanym (dodatnio lub ujemnie) listki elektroskopu odpychają się od siebie.

maszyna elektrostatyczna

(ang.: *electrostatic generator*) to urządzenie służące do wytwarzania i gromadzenia ładunków elektrycznych (na jednej elektrodzie dodatnich, a na drugiej ujemnych).

przenikalność elektryczna

(ang.: *electric permittivity*) charakteryzuje każdy ośrodek, w którym może istnieć pole elektrostatyczne, czyli próżnię i ośrodki materialne. Oznacza się ją grecką literą ε (epsilon) i przedstawia się jako iloczyn przenikalności elektrycznej próżni ε_0 i przenikalności względnej ośrodka ε_r :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r,$$

przy czym przenikalność elektryczna próżni ma wartość

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

zaś przenikalność względna ośrodka jest stałą bezwymiarową o wartości nie mniejszej od jedności:

$$\varepsilon_r \geq 1,$$

gdzie przyjmuje się, że dla próżni $\varepsilon_r = 1$. Im względna przenikalność elektryczna danego ośrodka jest większa, tym mniejsze, w porównaniu z próżnią, będzie natężenie pola elektrycznego, wywołanego w tym ośrodku przez ładunki elektryczne. Przykładowe wartości stałej ε_r wynoszą: dla powietrza $\varepsilon_r = 1,0005$, dla papieru $\varepsilon_r = 3,5$, dla szkła $\varepsilon_r = 4,5$, a dla wody $\varepsilon_r = 78$.

Wirtualne laboratorium WL-I

Wirtualne Laboratorium Fizyki

Przeprowadź dwuczęściowe doświadczenie, którego celem jest zbadanie, w jaki sposób obecność dielektryka między okładkami kondensatora wpływa na pojemność kondensatora.

Doświadczenie 1

Ujęcie jakościowe

Problem badawczy

Celem pierwszej części eksperymentu jest wykazanie, że materia ma wpływ na pojemność kondensatora.

Hipoteza

Obecność materii pomiędzy okładkami kondensatora zwiększa jego pojemność.

Co będzie potrzebne

Zapoznaj się z punktem „Wypożyczenie laboratorium” instrukcji zawartej w Wirtualnym Laboratorium. Zwróć szczególną uwagę na określenia „zasilacz **wysokonapięciowy**” oraz „woltomierz **wysokonapięciowy**”.

Ćwiczenie 1

Wskaż właściwy związek logiczny pomiędzy użyciem wysokonapięciowego zasilacza a wysokonapięciowego woltomierza

- ☐ Bezpośrednią konsekwencją umotywowanej decyzji o użyciu wysokonapięciowego zasilacza jest użycie wysokonapięciowego woltomierza.
- ☐ Bezpośrednią konsekwencją umotywowanej decyzji o użyciu wysokonapięciowego woltomierza jest użycie wysokonapięciowego zasilacza.
- ☐ Umotywowana decyzja o użyciu każdego z tych sprzętów zapada niezależnie od decyzji o użyciu tego drugiego.
- ☐ W tym eksperymencie konieczne jest użycie wysokonapięciowego zasilacza; woltomierz może być dowolny.
- ☐ W tym eksperymencie konieczne jest użycie wysokonapięciowego woltomierza; zasilacz może być dowolny.

Ćwiczenie 2

Uzasadnij właściwy związek logiczny wskazany w poprzednim ćwiczeniu.

Ćwiczenie 3

Ze względu na używane napięcie elektryczne w tym eksperymencie konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności! Sprawdź, czy dobrze rozumiesz ten aspekt swojej pracy.

Rozstrzygnij, w konwencji testu prawda {P} / fałsz {F}, czy poszczególne napisy i oznakowania na woltomierzu i zasilaczu odnoszą się bezpośrednio do wskazania zagrożenia dla zdrowia i życia eksperymentatora.

Woltomierz; napisy:

Volts P ☐ / F ☐

DC P ☐ / F ☐

ON P ☐ / F ☐

OFF P ☐ / F ☐

Zasilacz; napisy:

Danger P ☐ / F ☐

High Voltage P ☐ / F ☐

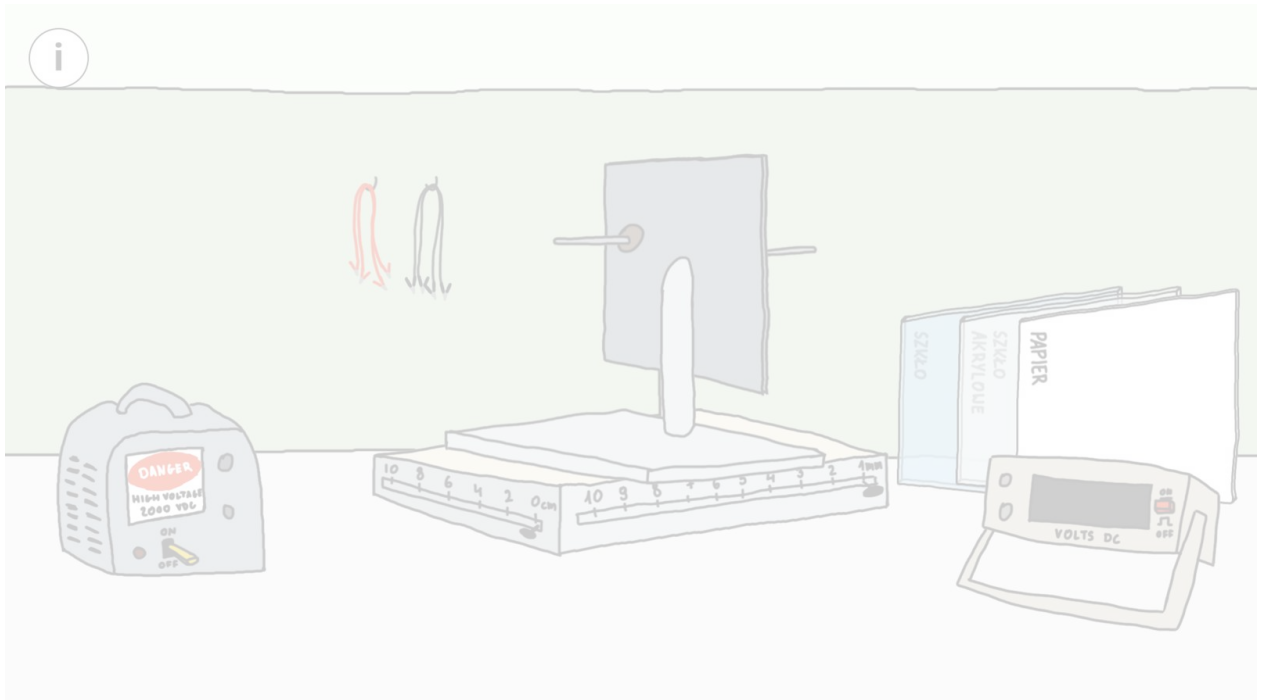
2000 V P ☐ / F ☐

DC P ☐ / F ☐

ON P ☐ / F ☐

OFF P ☐ / F ☐

Zapoznaj się z całą instrukcją do Wirtualnego Laboratorium i przeprowadź pomiary pozwalające rozstrzygnąć postawiony problem badawczy.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DyvVNcjUI>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Podsumowanie

Polecenie 1

Uzupełnij notatkę, by stanowiła ona zwięzły opis oraz syntetyczne podsumowanie obserwacji poczynionych podczas doświadczenia w Wirtualnym Laboratorium.

Po naładowaniu kondensatora, odłączeniu go od źródła i podłączeniu do woltomierza, mamy pewność, że wsunięcie dielektryka nie spowoduje zmiany . Wsuwając dielektryk stwierdzamy, że wskazania woltomierza i osiągają wartość .

W warunkach prowadzonej obserwacji pojemność elektryczna kondensatora jest proporcjonalna do napięcia panującego między jego okładkami. Stwierdzamy więc, że wsuwanie dielektryka pomiędzy okładki kondensatora powoduje jego pojemności w tym większym stopniu, im część okładek zawiera pomiędzy sobą dielektryk.

Takie zachowanie stwierdzono w przypadku badanych dielektryków.

Upoważnia to do zapisania : w wyniku poczynionych obserwacji hipoteza badawcza .

Dodatkowo stwierdzono, że wsuwanie różnych dielektryków powoduje zmniejszenie napięcia na okładkach kondensatora. Różnice pomiędzy właściwościami różnych materiałów dielektrycznych można więc ująć . Będzie to przedmiotem kolejnego doświadczenia, zawierającego .

rosną

jakościowo

pomiary

wszystkich

większa

została obalona

została potwierdzona

powyżej początkowej wartości 2000V

wprost

maleją

stopniowo

wniosku

skokowo

spadek

ładunku zgromadzonego na okładkach kondensatora

niejednakowe

rozumowanie teoretyczne

zero

nową obserwację

dowodu

jednakowe

mniejsza

między zero a początkową wartością 2000 V

założenia

części

napięcia między okładkami kondensatora

tezy

wzrost

pozostała nierozstrzygnięta

odwrotnie

ilościowo

Doświadczenie 2

Ujęcie ilościowe

Celem drugiej części eksperymentu jest wykazanie, że wpływ materii na pojemność kondensatora można przedstawić ilościowo za pomocą względnej przenikalności elektrycznej ε_r dielektryka.

Problem badawczy

Wyznaczenie wartości względnej przenikalności elektrycznej trzech dielektryków.

Hipoteza

Różne dielektryki cechują przenikalności elektryczne o różnych wartościach.

Co będzie potrzebne

1. Wykorzystaj to samo wyposażenie co w pierwszym doświadczeniu „Ujęcie jakościowe”.
2. Rozważ przygotowanie arkusza kalkulacyjnego, zgodnie z planem tabelki omówionym w poleceniu 3., do którego wpiszesz wyniki pomiarów.

Polecenie 2

Uzupełnij tekst, by stworzyć plan opracowywania wyników pomiarów i przygotować służącą temu tabelkę.

Wynikiem pomiaru w tym eksperymencie jest przenikalność elektryczna ε_r trzech materiałów. Jest to wielkość mierzona , a wielkościami mierzonymi są, kolejno, oraz . Podstawą do obliczenia niepewności ε_r , oznaczanej , są niepewności wielkości zmierzonych bezpośrednio, gdyż każda z nich jest mierzona . Niepewności te oznaczamy za pomocą symbolu , gdzie X oznacza mierzoną wielkość.

$u(\varepsilon_r)$ tylko jednokrotnie ładunek Q na kondensatorze z dielektrykiem ΔX
 bezpośrednio granicznej bezwzględna
 napięcie U_0 na kondensatorze próżniowym względna wielokrotnie
 standardowe pośrednio $\Delta\varepsilon_r$ napięcie U na kondensatorze z dielektrykiem
 $u(X)$ standardowej graniczne

Podsumowanie

Polecenie 3

Wyznacz wartości względnych przenikalności elektrycznych ε_r dielektryków wykorzystanych w wirtualnym laboratorium. Oszacuj niepewności standardowe $u(\varepsilon_r)$ wykonanych pomiarów. Obliczenia wykonaj za pomocą kalkulatora bądź w przygotowanym arkuszu kalkulacyjnym.

Przygotuj tabelę z wynikami. Na jej podstawie rozstrzygnij prawdziwość postawionej hipotezy.

Dla zainteresowanych

Alternatywne wyposażenie, alternatywne pomiary

Polecenie 4

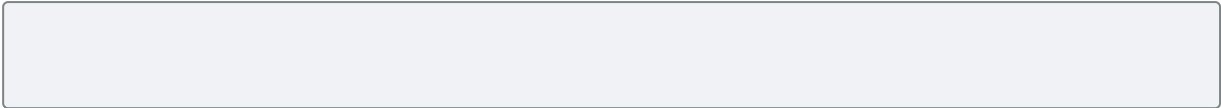
Zastanów się nad problemem upływu ładunku z kondensatora po jego naładowaniu, odłączeniu od zasilacza i podłączeniu do woltomierza.

W Laboratorium Wirtualnym nie przewidziano występowania tego efektu.

Świadczy o tym fakt, że po połączeniu kondensatora z woltomierzem, wskazania tego ostatniego nie maleją z upływem czasu. W rzeczywistości wskazania takiego woltomierza malałyby w tempie zależnym od pojemności kondensatora oraz od właściwości elektrycznych innych elementów wyposażenia.

Odniesь się w krótkiej, 2-3 zdaniowej wypowiedzi do każdego z poniższych punktów.

1. Opór wewnętrzny woltomierza nie jest nieskończony.
2. Materiał wypełniający przestrzeń między okładkami kondensatora jest izolatorem, ale nie idealnym.
Na marginesie: czy wypełnienie przestrzeni pomiędzy okładkami metalem wpłynęłoby na pojemność kondensatora?
3. Czy izolacja przewodów, którą dotykasz ręką jest idealna?
4. Jakie zalecenia należy sformułować dla postępowania eksperymentalnego w związku z tymi stwierdzeniami?
5. Jak można zapobiec skutkom tego efektu wykorzystując nie woltomierz, lecz przyrząd do pomiaru łącznej ilości ładunku elektrycznego, który przepływa w określonym czasie przez zadany przekrój obwodu?
Zapoznaj się ogólną zasadą działania takiego przyrządu, znanego pod różnymi nazwami: galwanometr balistyczny, kulombometr, kulombomierz i inne.
Wykorzystaj analogię: kulombomierz jest tym dla amperomierza, czym w samochodzie miernik przebytej drogi dla prędkościomierza.
6. Zaprojektuj pomiar przenikalności elektrycznej z wykorzystaniem kulombomierza.
 - a) Zaproponuj schemat obwodu zawierającego zasilacz, kondensator i kulombomierz.
 - b) Opisz postępowanie eksperymentalne.
 - c) Jakie wielkości byłyby mierzone bezpośrednio?
 - d) Podaj związek łączący przenikalność elektryczną materiału z tymi wielkościami.



Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz zdania fałszywe:

☐

Po umieszczeniu dielektryka między okładkami kondensatora napięcie na jego okładkach rośnie.

☐

Po umieszczeniu dielektryka między okładkami kondensatora jego pojemność maleje.

☐

Po umieszczeniu dielektryka między okładkami kondensatora ładunek na kondensatorze nie ulega zmianie.

☐

Po umieszczeniu dielektryka między okładkami kondensatora jego pojemność rośnie.

Ćwiczenie 2



Między okładkami kondensatora umieszczono dielektryk o względnej przenikalności elektrycznej równej 2. W związku z tym pojemność kondensatora:

☐

Zmalała czterokrotnie.

☐

Zmalała dwukrotnie.

☐

Wzrosła dwukrotnie.

☐

Pozostała bez zmian.

☐

Wzrosła czterokrotnie.

Ćwiczenie 3



Połącz w pary wielkość fizyczną z odpowiadającą jej jednostką:

różnica potencjałów

farad (F)

względna przenikalność elektryczna

farad na metr ($F \cdot m^{-1}$)

przenikalność elektryczna próżni

wolt (V)

ładunek elektryczny (Q)

wielkość bezwymiarowa

pojemność elektryczna

kulomb (C)

Ćwiczenie 4

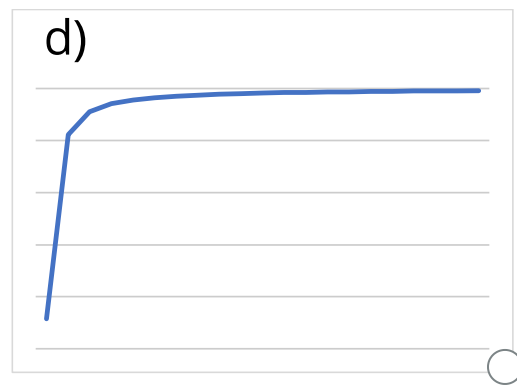
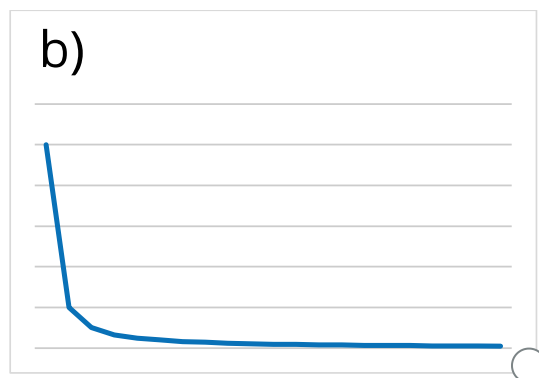
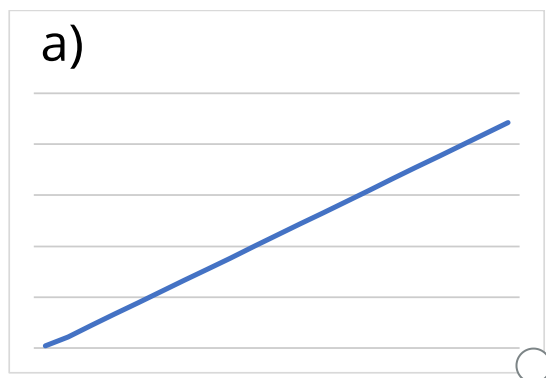


Na każdej z okładek kondensatora zgromadzono ładunek o wartości 1 nC, w wyniku czego na kondensatorze pojawiła się różnica potencjałów o wartości 2V. Następnie między okładkami kondensatora umieszczono dielektryk. Teraz pojemność kondensatora wynosi 2,25 nF. Jaka jest wartość względnej przenikalności elektrycznej dielektryka? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Wartość względnej przenikalności elektrycznej ϵ_r wynosi .



Który z wykresów poniżej przedstawia zależność pojemności kondensatora wypełnionego dielektrykiem od wartości przenikalności elektrycznej tego dielektryka?

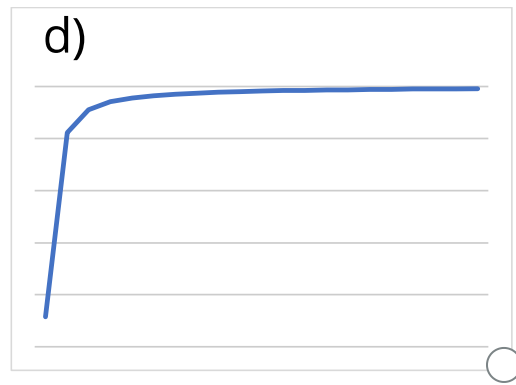
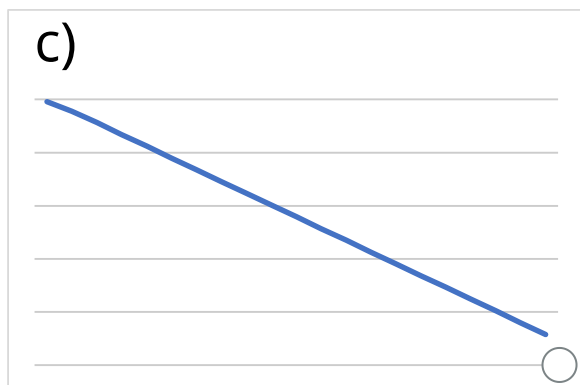
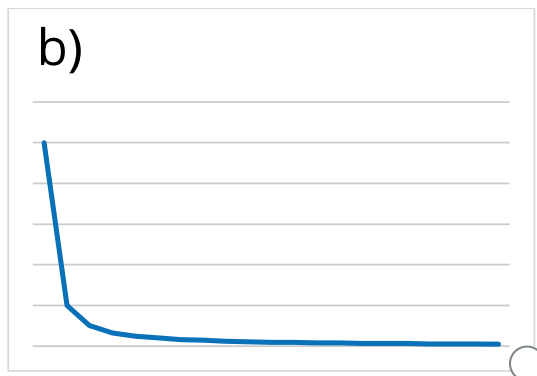
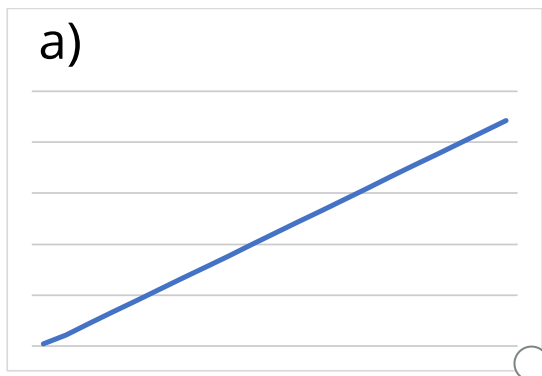


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 6



Który z wykresów poniżej przedstawia zależność napięcia między okładkami kondensatora wypełnionego dielektrykiem od wartości przenikalności elektrycznej tego dielektryka?



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 7



Na okładkach kondensatora powietrznego zgromadzono ładunek 10 nC przy napięciu między okładkami wynoszącym 5 V. Który z poniższych dielektryków należy umieścić między okładkami, aby pojemność była jak najbliższa 10 nF?

☐ Silikon $\epsilon_r = 11,5$.

☐ Metanol $\epsilon_r = 30$.

☐ Szkło $\epsilon_r = 4,5$.

☐ Teflon $\epsilon_r = 2,1$.

Ćwiczenie 8



Podczas pokazu na zajęciach z fizyki na kondensator demonstracyjny z przestrzenią między okładkami wypełnioną dielektrykiem wprowadzono ładunek. Następnie usunięto dielektryk, a kondensator umieszczono w pompie próżniowej, z której usunięto powietrze. Jak zmieniło się napięcie między okładkami, jeśli wiadomo, że względna przenikalność elektryczna dielektryka wynosiła $\epsilon_r = 50$.

☐ Napięcie między okładkami zmalało 50 razy.

☐ Napięcie między okładkami wzrosło o 50.

☐ Napięcie między okładkami zmalało o 50.

☐ Napięcie między okładkami wzrosło 50 razy.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Martyna Jakubowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Czy rodzaj dielektryka wpływa na pojemność kondensatora?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
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: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 12) opisuje polaryzację dielektryków w polu zewnętrznym i ich wpływ na pojemność kondensatora; oblicza pojemność kondensatora, uwzględniając stałą dielektryczną.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia 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. wyjaśnia, czym jest kondensator płaski, 2. wyjaśnia, w jaki sposób obecność dielektryka między okładkami kondensatora wpływa na jego pojemność, 3. definiuje względną przenikalność elektryczną dielektryka, 4. przeprowadza wirtualny eksperyment, w którym bada, w jaki sposób różne rodzaje dielektryków wpływają na pojemność kondensatora, 5. w ramach Wirtualnego Laboratorium wykonuje pomiary względnej przenikalności elektrycznej ϵ_r dla kilku rodzajów dielektryków, 6. wyznacza niepewności standardowe $u(\epsilon_r)$ zmierzonych wartości ϵ_r, 7. porównuje zmierzone przez siebie wartości ϵ_r z ich tablicowymi wartościami.
Strategie nauczania	IBSE; strategia eksperymentalno-obserwacyjna
Metody nauczania	praca eksperymentalna uczniów
Formy zajęć:	wirtualne laboratorium, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	kilka komputerów (laptopów) dla uczniów i jeden, podłączony do rzutnika, komputer dla nauczyciela
Materiały pomocnicze	materiały pt.: <i>Co to jest dielektryk?, Jak dielektryki zachowują się w zewnętrznym polu elektrycznym?, Jak stała dielektryczna wpływa na natężenie pola w kondensatorze i jego pojemność?</i>
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Na poprzedniej lekcji nauczyciel zapowiedział, że tematem kolejnej będzie: *Wykonanie, w ramach Wirtualnego Laboratorium pomiarów, mających na celu sprawdzenie, czy rodzaj dielektryka wpływa na pojemność kondensatora płaskiego* i poprosił uczniów o przypomnienie sobie wiadomości o kondensatorach, a w szczególności o budowie i własnościach kondensatora płaskiego.

Na początku lekcji nauczyciel prosi uczniów o zapisanie na tablicy wzorów na pojemność kondensatorów (mowa o wzorze ogólnym $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{Q}{U}$ i wzorze na pojemność kondensatora płaskiego $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}$). Uczniowie omawiają poszczególne zmienne występujące w tych wzorach i dyskutują, w jaki sposób zmiana tych zmiennych (ich zmniejszanie lub zwiększanie) przekłada się na zmianę pojemności kondensatora i zmianę napięcia między jego okładkami. Nauczyciel zwraca uwagę uczniów na względną przenikalność elektryczną ośrodka (tzn. dielektryka) między okładkami kondensatora, wyjaśniając, że parametr ten daje największe możliwości w zakresie zmian pojemności kondensatora.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel uruchamia Wirtualne Laboratorium na komputerze podpiętym do rzutnika i całej klasie tłumaczy, w jaki sposób korzysta się z umieszczonych w nim przyrządów pomiarowych, w jaki sposób można podpiąć przewody do zasilacza i jak zmierzyć napięcie na okładkach kondensatora. Następnie dzieli uczniów na kilka grup, zadając każdej z grup do wykonania inny pomiar. Na przykład:

- grupa nr 1. bada, w jaki sposób wskazania woltomierza zmieniają się, gdy płyta wykonana ze szkła stopniowo wypełnia coraz większą przestrzeń między okładkami kondensatora,
- grupa nr 2. bada, w jaki sposób wskazania woltomierza zmieniają się, gdy płyta wykonana ze szkła, która na początku wypełniała całą przestrzeń między okładkami kondensatora, jest spomiędzy okładek stopniowo wysuwana,
- pozostałe grupy mogą badać inne dielektryki (tekturę i plexiglas).

Gdy wszystkie grupy zakończą badania, wnioski i obserwacje są omawiane na forum klasy. Uczniowie dyskutują, czy i w jaki sposób wykonane pomiary są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi.

Następnie nauczyciel prosi uczniów, by pracując w tych samych grupach i z tymi samymi dielektrykami, co poprzednio, wykonali pierwszą część Polecenia 2 – tzn. wyznaczyli wartość względnej przenikalności elektrycznej badanego dielektryka.

Faza podsumowująca:

Po zakończeniu pomiarów i obliczeń uczniowie na forum klasy raportują uzyskane wyniki. Nauczyciel prosi uczniów o wyszukanie w Internecie (lub w innych dostępnych źródłach) tablicowych wartości tych wielkości. Uczniowie oceniają poprawność wykonanych pomiarów. Nauczyciel sugeruje im, że ocena poprawności byłaby bardziej miarodajna, gdyby zostały wyznaczone niepewności pomiarowe.

Praca domowa:

Nauczyciel prosi uczniów o wyznaczenie niepewności standardowych $u(\varepsilon_r)$ zmierzonych wartości ε_r .

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedia**

Multimedia może być wykorzystane zgodnie z opisem przedstawiony w tym scenariuszu lub jako materiał pomocniczy w innych materiałach, które są tematycznie powiązane z pojęciami: kondensator, kondensator płaski, dielektryk.