

## E10. Wyznaczanie przenikalności elektrycznej

*Celem ćwiczenia jest poznanie zjawiska polaryzacji dielektrycznej oraz doświadczalne wyznaczenie bezwzględnej przenikalności dielektrycznej próżni i względnej przenikalności dielektrycznej wybranych dielektryków.*

**Dielektrykiem** nazywamy materiał nieprzewodzący prądu elektrycznego, czyli izolator. Znamioną cechą dielektryków jest zdolność do **polaryzacji dielektrycznej**. Zjawisko to polega na utworzeniu dipoli elektrycznych (czyli niezrównoważonym przesunięciu względem siebie ładunków dodatnich i ujemnych w atomie lub molekuły) lub zmianie orientacji dipoli już istniejących, na skutek przyłożenia zewnętrznego pola elektrycznego. W wyniku polaryzacji w dielektryku powstaje wewnętrzne pole elektryczne, które częściowo równoważy przyłożone pole zewnętrzne. Miara tego zjawiska jest wielkość fizyczna zwana **przenikalnością elektryczną**. Oznaczamy ją grecką literą  $\epsilon$  (epsilon).

Przenikalność elektryczną dielektryka często określa się poprzez tzw. **względną przenikalność elektryczną**  $\epsilon_r$ . Jest to bezwymiarowa wielkość, która wskazuje ile razy **przenikalność bezwzględna dielektryka**  $\epsilon$  jest większa od **przenikalności bezwzględnej**

**próżni**  $\epsilon_0$ :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

**Przenikalność elektryczna wpływa też na wielkość pojemności elektrycznej kondensatora .**

**Kondensator** – to układ dwóch (lub więcej) płyt lub przewodników (zwanych okładkami kondensatora), zdolnych do gromadzenia ładunków elektrycznych, gdy między nimi występuje **napięcie elektryczne**. Miara tej zdolności kondensatora jest: **pojemność elektryczna**  $C$ , którą definiujemy, jako stosunek ładunku  $Q$  zgromadzonego na jednej z okładek kondensatora do napięcia  $U$  między nimi:

$$C = \frac{Q}{U} . \quad (2) \quad \text{Jednostką jest farad (F), przy czym } 1F = \frac{1C}{1V} .$$

Pojemność elektryczna kondensatora zależy od jego rozmiarów geometrycznych. Dla **kondensatora płaskiego**, jego pojemność jest wprost proporcjonalna do powierzchni  $S$  jego okładek, a odwrotnie proporcjonalna do odległości  $d$  między nimi:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (3).$$

Gdy pomiędzy okładki kondensatora wprowadzimy dielektryk, jego pojemność – na skutek zjawiska polaryzacji dielektrycznej - wzrośnie do wartości:

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (4).$$

Wprowadzenie dielektryka pozwala więc zwiększyć pojemność kondensatora, bez zmiany jego rozmiarów. Zależność (4) pokazuje również, że – korzystając z niej - można w łatwy sposób wyznaczyć **względną przenikalność elektryczną**  $\epsilon_r$  badanego dielektryka, co jest **celem I części niniejszego ćwiczenia**. Wartość  $\epsilon_r$  można bowiem wyliczyć jako stosunek pojemności  $C$  kondensatora z dielektrykiem do pojemności  $C_0$  kondensatora, pomiędzy

okładkami którego, znajduje się próżnia lub powietrze (przenikalność elektryczna powietrza jest, w granicach błędu pomiarowego, równa przenikalności elektrycznej próżni  $\epsilon_0$ ).

W niniejszym ćwiczeniu wartości  $C$  i  $C_0$  mierzymy dla kilku różnych grubości tego samego dielektryka, co pozwala wykreślić zależność  $C$  w funkcji  $C_0$ . Współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej będzie równy *względnej przenikalności elektrycznej*  $\epsilon_r$  badanego dielektryka.

**Celem II części ćwiczenia** jest wyznaczenie *bezwzględnej przenikalności elektrycznej* próżni  $\epsilon_0$  w oparciu o wzór (3). Obliczając powierzchnię okładek kondensatora ( $S$ ), mierząc odległość między nimi ( $d$ ) oraz – odpowiadającą jej - pojemność kondensatora  $C_0$  można wyznaczyć szukaną wartość  $\epsilon_0$ .

W ćwiczeniu pojemność  $C_0$  odczytujemy dla kilku różnych odległości  $d$ , a następnie wykreślamy zależność  $C_0$  od odwrotności  $d$ , tzn.  $C_0 = f(1/d)$ . Współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej, równy  $\epsilon_0 \cdot S$ , pozwala łatwo obliczyć *przenikalność elektryczną*  $\epsilon_0$ .

#### Literatura uzupełniająca

1. Cz. Bobrowski, Fizyka- krótki kurs, Rozdz. 7.6

#### Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(<https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/>) (zakładka: Symulacje zjawisk fizycznych).

## E10. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział
		grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

### Wykonanie ćwiczenia

**Przyrządy i materiały:** kondensator z przesuwaną okładką, miernik pojemności elektrycznej, zestawy płytek różnych dielektryków, suwmiarka.

#### Część I. Wyznaczanie względnej przenikalności elektrycznej dielektryka

1. Pomiędzy okładki kondensatora wkładamy jedną płytkę pierwszego wybranego dielektryka (np. drewna, szkła lub gumy) i dokręcamy - za pomocą śruby - ruchomą okładkę kondensatora.
2. Włączamy miernik pojemności, ustawiając zakres wartości na 200 pF. Na mierniku odczytujemy wartość pojemności  $C$  [pF].
3. Wyjmujemy płytkę z kondensatora, nie przesuwając jego okładek i ponownie mierzymy pojemność elektryczną  $C_0$ . Wyniki wpisujemy do tabeli.
4. Odkręcamy ruchomą okładkę kondensatora i wkładamy dwie płytki tego samego dielektryka. Przykręcamy ruchomą okładkę kondensatora i wykonujemy pomiary pojemności, analogiczne jak w p. 2 i 3.
5. Sukcesywnie dokładamy kolejne płytki, zwiększając stopniowo grubość warstwy dielektryka, a jednocześnie odległość między okładkami kondensatora.
6. Dla każdej kolejnej grubości dielektryka wykonujemy pomiary jak w p. 2 i 3.
7. Doświadczenie wykonujemy również dla kilku innych dielektryków. Wyniki pomiarów wpisujemy do oddzielnych tabel.

**Tabela 1** Nazwa dielektryka:.....

$\epsilon_r = \dots\dots\dots$   $\Delta\epsilon_r = \dots\dots\dots$  zestawienie ( $\epsilon_r \pm \Delta\epsilon_r$ ) = .....

	1 płytka	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
<b>C</b> <b>[pF]</b>							
<b>C<sub>0</sub></b> <b>[pF]</b>							

**Tabela 2** Nazwa dielektryka:.....

$\epsilon_r = \dots\dots\dots$   $\Delta\epsilon_r = \dots\dots\dots$  zestawienie ( $\epsilon_r \pm \Delta\epsilon_r$ ) = .....

	1 płytka	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
<b>C</b> <b>[pF]</b>							
<b>C<sub>0</sub></b> <b>[pF]</b>							

Tabela 3

Nazwa dielektryka:.....

$\varepsilon_r = \dots\dots\dots$	$\Delta\varepsilon_r = \dots\dots\dots$		zestawienie ( $\varepsilon_r \pm \Delta\varepsilon_r$ ) = .....				
	1 płytki	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
<b>C</b> [pF]							
<b>C<sub>o</sub></b> [pF]							

**Opracowanie wyników**

1. Na papierze milimetrowym wykonujemy – dla każdego badanego dielektryka - wykres zależności  $C = f(C_o)$ , który ilustruje liniową zależność:  $C = \varepsilon_r C_o$ .
2. Obliczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej, który jest równy przenikalności elektrycznej  $\varepsilon_r$  badanego dielektryka. W tym celu można skorzystać z odpowiedniego programu komputerowego do liczenia regresji liniowej. Wyliczy on współczynnik kierunkowy (*współczynnik nachylenia*) prostej i bezwzględny błąd pomiarowy (inaczej *niepewność*) tej wielkości  $\Delta\varepsilon_r$ .
3. Zestawiamy otrzymane - dla poszczególnych dielektryków - wartości  $\varepsilon_r$  z odpowiednimi wielkościami błędów bezwzględnych  $\Delta\varepsilon_r$ .

**Część II. Wyznaczanie bezwzględnej przenikalności elektrycznej próżni**

1. Suwmiarką mierzymy średnicę okładek kondensatora ( $2r$ ) i obliczamy ich powierzchnię ( $S = \pi r^2$ ).
2. Ustawiamy pierwszą odległość między okładkami kondensatora  $d_1$  [m] i na mierniku odczytujemy, odpowiadającą jej, wartość pojemności  $C_{o1}$  [pF]. Obie wartości wpisujemy do tabeli 4.
3. Analogiczne pomiary  $C_{oi}$  przeprowadzamy dla czterech innych odległości okładek kondensatora  $d_i$ . Otrzymane wartości wpisujemy do tabeli.

Tabela 4

$2r = \dots\dots\dots$ [m]		$r = \dots\dots\dots$ [m]		$S = \dots\dots\dots$ [m <sup>2</sup> ]
$\Delta r = \dots\dots\dots$ [m]		$\Delta S = (2\Delta r/r)S = \dots\dots\dots$ [m <sup>2</sup> ]		
$d_i$ [m]	$1/d_i$ [1/m]	$C_{oi}$ [pF]	Z wykresu	Bezwzględna przenikalność elektryczna próżni
1/		1/	$K =$	$\varepsilon_o$ [pF/m] =
2/		2/	$\Delta K =$	$\Delta\varepsilon_o$ [pF/m] =
3/		3/	Zestawienie ( $K \pm \Delta K$ ) =	Zestawienie ( $\varepsilon_o \pm \Delta\varepsilon_o$ ) [pF/m] =
4/		4/		
5/		5/		

**Opracowanie wyników**

1. Na papierze milimetrowym wykreślamy zależność:  $C_o = f(1/d)$ , a następnie wyliczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej  $K$  i błąd (niepewność) jego pomiaru  $\Delta K$  (patrz: część I - Opracowanie wyników, p.2)
2. Obliczamy  $\varepsilon_o$  dzieląc wartość  $K$  przez powierzchnię okładek  $S$  (gdyż:  $K = \varepsilon_o \cdot S$ ).
3. Na końcu zestawiamy otrzymaną wartość  $\varepsilon_o$  z błędem bezwzględnym tej wielkości, który obliczamy metodą logarytmiczną ze wzoru:

$$\Delta\varepsilon_o = \varepsilon_o \left\{ \left| \frac{\Delta K}{K} \right| + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| \right\}.$$