Constante dieléctrica de diferentes materiales

Física	Electricidad y Magnetismo	Circuitos Simples, Resistores, Capacitores	
ciencia aplicada	Ingeniería	Ciencias de los Materiales	Propiedades térmicas y eléctricas
			ciencia aplicada
Ingeniería	Ingeniería eléctrica	Propiedades de los componentes eléctricos	ciencia aplicada
Ingeniería	Energías renovables	Principios básicos	ciencia aplicada
Ingeniería	Fotónica	Principios básicos	

Nivel de dificultad	Tamaño del grupo	Tiempo de preparación	Tiempo de ejecución
duro	2	10 minutos	20 minutos

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Información general

Aplicación

Fig.1: Montaje experimental

Conocer la constante dieléctrica de diferentes materiales es muy importante para entender el comportamiento de los campos eléctricos en la materia, lo que tiene muchas aplicaciones en todos los lugares donde se utilizan campos eléctricos.

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Información adicional (1/2)

PHYWE excellence in science

Conocimiento previo

Los conocimientos previos necesarios para este experimento se encuentran en la sección de teoría.

Principio

La constante eléctrica ϵ_0 se determina midiendo la carga de un condensador de placa al que se aplica una tensión. La constante dieléctrica ϵ_0 se determina de la misma manera, con plástico o vidrio llenando el espacio entre las placas.

Información adicional (2/2)

PHYWE excellence in science

Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar la constante dieléctrica en diferentes materiales.

Tareas

1. La relación entre la carga Q y la tensión U debe medirse con un condensador de placa.
2. La constante eléctrica ϵ_0 debe determinarse a partir de la relación medida en el punto 1.
3. La carga de un condensador de placas debe medirse en función de la inversa de la distancia entre las placas, bajo tensión constante.
4. La relación entre la carga Q y la tensión U debe medirse mediante un condensador de placas, entre cuyas placas se introducen diferentes medios dieléctricos sólidos.

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (1/12)

PHYWE excellence in science

Los procesos electrostáticos en el vacío (y con un buen grado de aproximación en el aire) se describen mediante la siguiente forma integral de las ecuaciones de Maxwell:

$\iint \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ (1)

$\iint \vec{E} d\vec{S} = 0$ (2)

donde $\vec{E}$ es la intensidad del campo eléctrico, Q la carga encerrada por la superficie cerrada A, ϵ_0 la constante eléctrica y S una trayectoria cerrada.

Si se aplica una tensión U entre dos placas de un condensador, un campo eléctrico $\vec{E}$ prevalecerá entre las placas, que se define por:

$U_c = \int_1^2 \vec{E} d\vec{r}$

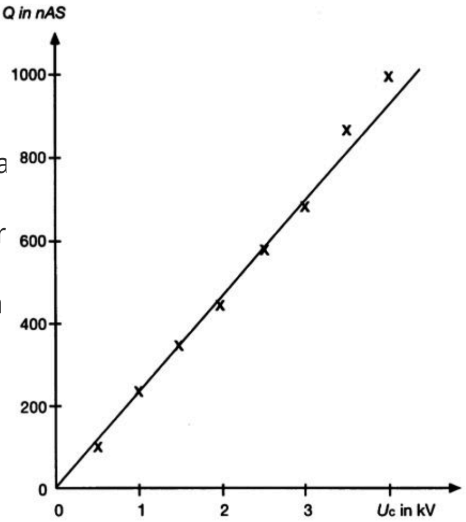
Teoría (2/12)

PHYWE excellence in science

Debido al campo eléctrico, las cargas electrostáticas de signo contrario son atraídas hacia las superficies del condensador. Como las fuentes de tensión no generan cargas, sino que sólo pueden separarlas, los valores absolutos de las cargas electrostáticas opuestas por inducción deben ser iguales. Suponiendo que las líneas de campo del campo eléctrico sean siempre perpendiculares a las superficies del condensador de la superficie A, debido a la simetría, lo que se puede comprobar experimentalmente para pequeñas distancias d entre las placas del condensador, se obtiene de la ecuación (1)

$C = \varepsilon \cdot C_{\text{vac}}$ (3)

Fig. 2: Carga electrostática Q de un condensador de placa en función de la tensión aplicada U_c (d = 0,2 cm).



PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (3/12)

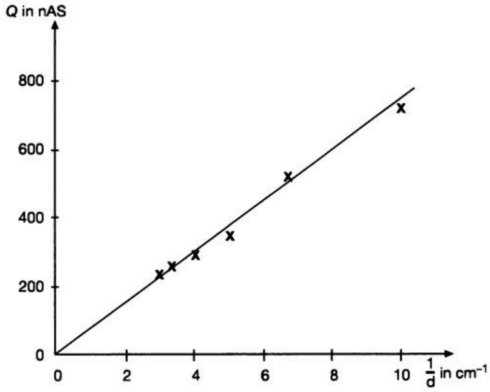


Fig 3: Carga electrostática Q de un condensador de placas en función de la distancia inversa entre las placas del condensador 1/d (U_c = 1,5 kV).

El volumen indicado en la figura 7, que sólo encierra una placa del condensador, se ha tomado como volumen de integración. Como la superficie dentro del condensador puede desplazarse sin cambiar el flujo, el campo del condensador es homogéneo. Tanto el flujo como el campo eléctrico $\vec{E}$ fuera del condensador son cero, porque para volúmenes arbitrarios que encierran ambas placas del condensador, la carga total encerrada es cero.

La carga Q del condensador es, pues, proporcional a la tensión; la constante de proporcionalidad C se denomina capacidad del condensador.

$Q = CU_c = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U_C$(4)

Teoría (4/12)

La relación lineal entre la carga Q y la tensión U aplicada al condensador, que no cambia, se representa en la figura 2. La ecuación (4) muestra además que la capacidad C del condensador es inversamente proporcional a la distancia d entre las placas:

$Q = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U_C$ (5)

Para una tensión constante, la distancia inversa entre las placas, y por tanto la capacidad, son una medida de la cantidad de carga que puede soportar un condensador (véase la figura 5). Si se miden inversamente U, Q, d y A, estos datos de medición permiten calcular la constante eléctrica ϵ_0:

$\varepsilon_0 = \frac{d}{A} \cdot \frac{Q}{U_c}$ (6)

En este ejemplo de medición, se obtiene ϵ_0 = 8.8·10^{-12} As/(Vm), en comparación con el valor exacto de ϵ_0 = 8.8·5420^{-12} As/(Vm)

Teoría (5/12)

PHYWE excellence in science

Las ecuaciones (4), (5) y (6) sólo son válidas de forma aproximada, debido a la suposición de que las líneas de campo son paralelas. Con distancias demasiado grandes, la aproximación del campo homogéneo ya no funciona suficientemente, lo que a su vez produce sistemáticamente una constante eléctrica demasiado grande a partir de la ecuación (6). Por ello, el valor de la constante eléctrica debe determinarse para una distancia pequeña y constante entre las placas (véase la figura 2).

Las cosas cambian cuando se inserta material aislante (dieléctrico) entre las placas. Los dieléctricos no tienen portadores de carga libres, como los metales, pero sí tienen núcleos positivos y electrones negativos.

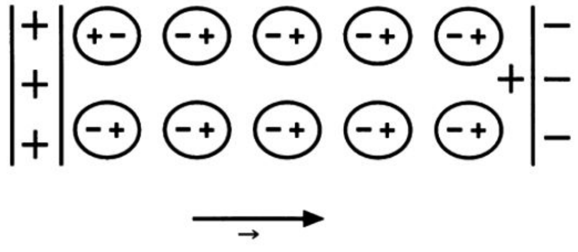


Fig. 4: Generación de cargas libres en un dieléctrico mediante la polarización de las moléculas en el campo eléctrico de un condensador de placas.

Teoría (6/12)

PHYWE excellence in science

Éstas pueden disponerse a lo largo de las líneas de un campo eléctrico. Las moléculas anteriormente no polares se comportan así como dipolos localmente estacionarios. Como puede verse en la fig. 4, los efectos de los dipolos simples se anulan macroscópicamente dentro del dieléctrico. Sin embargo, en las superficies no hay compañeros con cargas opuestas, por lo que éstas tienen una carga estacionaria, llamada carga libre.

Las cargas libres a su vez debilitan el campo eléctrico $\vec{E}$ de las cargas reales Q , que están en las placas del condensador, dentro del dieléctrico.

El debilitamiento del campo eléctrico $\vec{E}$ dentro del dieléctrico se expresa mediante la constante dieléctrica específica adimensional del material ϵ (ϵ = 1 en el vacío):

$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon}$(7)

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (7/12)

donde $\vec{E}_0$ es el campo eléctrico generado sólo por las cargas reales Q. Así, el campo opuesto generado por las cargas libres debe ser

$\vec{E}_f = \vec{E}_0 - \vec{E} = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}\vec{E}_0$(8)

Despreciando las cargas dentro del volumen del dieléctrico macroscópico, sólo las cargas superficiales libres ($\pm Q_f$) generan efectivamente el campo opuesto:

$E_f = \frac{Q_f}{A\varepsilon_0} = \frac{Q_f \cdot d}{V\varepsilon_0} = \frac{p}{V\varepsilon_0}$(9)

donde p es el momento dipolar total de las cargas superficiales. En el caso general de un dieléctrico no homogéneo, la ecuación (9) se convierte en:

Teoría (8/12)

$\vec{E}_f = \frac{1}{\varepsilon_0}\int \frac{d\vec{P}}{dV} = \frac{1}{\varepsilon_0}\vec{P}$(10)

donde $\vec{P}$ -momento dipolar total por unidad de volumen- se denomina polarización dieléctrica.

Si adicionalmente un $\vec{D}$ (desplazamiento dieléctrico) se define:

$\vec{D} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E}$(11)

cuyas líneas de campo sólo comienzan o terminan en cargas reales (directamente medibles), las tres magnitudes eléctricas, intensidad de campo $\vec{E}$, desplazamiento dieléctrico $\vec{D}$ y la polarización dieléctrica $\vec{P}$ se relacionan entre sí mediante la siguiente ecuación:

$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E}$

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (9/12)

PHYWE excellence in science

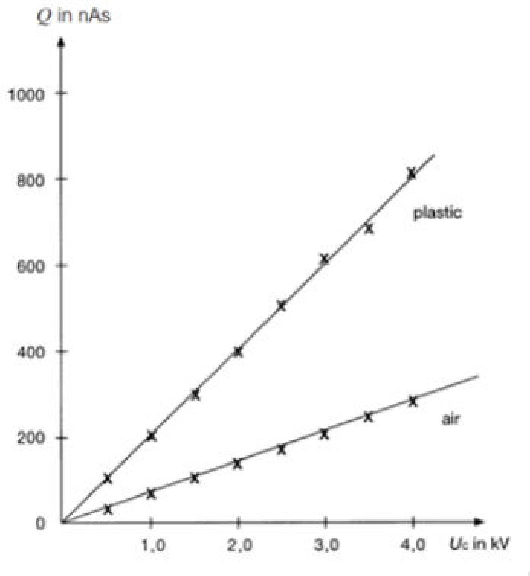


Figura 5: Carga electrostática Q de un condensador de placa en función de la tensión aplicada $U_c$con y sin dieléctrico (plástico) entre las placas (d = 0,98 cm)

Teoría (10/12)

PHYWE excellence in science

Si la carga real Q permanece en el condensador, mientras que un dieléctrico se inserta entre las placas, según la definición (3), la tensión U_c entre las placas se reduce en comparación con la tensión U_{vac} en el vacío (o, en una buena aproximación, en el aire) por la constante dieléctrica:

$U_C = \frac{U_{\text{vac}}}{\varepsilon}$(12)

Del mismo modo, se obtiene de la definición de capacitancia (4):

$C = \varepsilon \cdot C_{vac}$(13)

La forma general de la ecuación (4) es la siguiente

$Q = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U_c$ (14)

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Teoría (11/12)

En la figura 5, la carga Q del condensador se representa en función de la tensión de placa aplicada U_c para comparar la situación con y sin placa de plástico entre las placas del condensador, permaneciendo todas las demás condiciones inalteradas: así, para la misma tensión, la cantidad de carga del condensador aumenta significativamente por el dieléctrico, en este ejemplo por un factor de 2,9.

Si las cargas obtenidas con y sin plástico (ecuaciones [4] y [14]) se dividen entre sí:

$\frac{Q_{\text{plastic}}}{Q_{\text{vacuum}}} = \varepsilon$(15)

el valor numérico obtenido es la constante dieléctrica del plástico.

Teoría (12/12)

Para las placas de vidrio, un valor de ε = 9,1 se obtiene de forma similar.

Para tener en cuenta la influencia descrita de las cargas libres, la ecuación de Maxwell (1) se completa generalmente con la constante dieléctrica (en el caso de la mayoría de los países, la mayoría de los países se encuentran en la misma situación). del dieléctrico que llena el volumen correspondiente:

$\iint_A \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E} d\vec{A} = \iint \vec{D} d\vec{A} = Q$ (16)

Así, la ecuación (14) se convierte en la ecuación (4).

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	PHYWE Fuente de alimentación de alto voltaje, 10kV DC: 0... ± 10 kV, 2 mA	13673-93	1
2	AMPLIFICAD.D.MEDICION UNIVERSAL	13626-93	1
3	CONDENSADOR DE PLACAS, D 260MM	06220-00	1
4	PLACA DE CONDENSADOR 283X283 MM	06233-02	1
5	Placa de vidrio (dieléctrica), 300 x 300 mm	06233-03	1
6	Multímetro digital, 3 1/2-visualizado de caracteres	07122-00	1
7	CABLE DE CONEX., 30 kV, 500 mm	07366-00	1
8	CABLE DE CONEX. 100 mm, VERDE-AMA.	07359-15	1
9	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	1
10	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	1
11	CABLE DE CONEX., 32 A, 1000 mm, AMARILLO	07363-02	1
12	RESISTENCIA DE 10 M-OHMIOS	07160-00	1
13	CONDENSADOR, 220NF/250V, G1	39105-19	1
14	CABLE BLINDADO BNC, LONG. 750 mm	07542-11	1
15	ADAPTADOR,TOMA BNC-ENCHUFE DE 4MM	07542-20	1
16	CONECTOR EN T BNC,TOMA-TOMA-ENCH.	07542-21	1
17	ADAPTADOR,CLAVIJA BNC/HEMBRIL.4MM	07542-26	1

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Montaje y ejecución

Montaje

El montaje experimental se muestra en la fig. 1 y el diagrama de cableado correspondiente en la fig. 6. La placa del condensador altamente aislada está conectada al conector superior de la fuente de alimentación de alta tensión sobre las resistencias de protección de 10 MΩ. Tanto el conector central de la fuente de alimentación de alta tensión como la placa del condensador opuesta están conectados a tierra sobre el condensador de 220 nF.

La medición correcta de la tensión inicial debe asegurarse mediante el correspondiente ajuste del interruptor de palanca del aparato. La carga de inducción electrostática en el condensador de placa puede medirse sobre la tensión en el condensador de 220 nF, según la ecuación (4). El amplificador de medida se ajusta a una resistencia de entrada alta, a un factor de amplificación 1 y a una constante de tiempo 0.

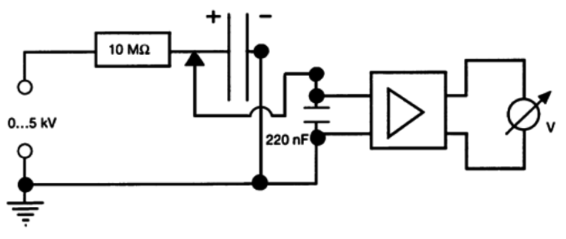


Fig. 6: Diagrama de cableado

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Ejecución (1/2)

En un primer paso, el condensador de placa se carga con la fuente de alimentación de alta tensión. En un segundo paso (¡con la fuente de alimentación de alta tensión desconectada!) se mide la carga del condensador de placa.

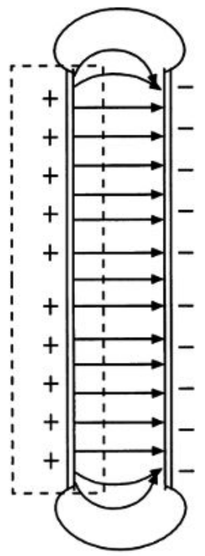
Para empezar, se determina la superficie de las placas del condensador mediante su radio. El experimento se realiza en dos partes:

- En la primera parte, se varía la distancia entre las placas del condensador de placas bajo una tensión constante, y se mide la carga en las placas del condensador. A continuación se verifica la relación lineal entre la carga y la tensión de las placas del condensador. Los datos de las mediciones permiten determinar la constante eléctrica ϵ_0. Asegúrate de no estar cerca del condensador durante las mediciones, ya que de lo contrario el campo eléctrico del condensador podría distorsionarse.

Ejecución (2/2)

- En la segunda parte, se examina la dependencia de la carga de inducción electrostática con respecto a la tensión, con y sin placa de plástico (¡sin cámara de aire!), en el espacio entre las placas, con la misma distancia entre ellas. La relación entre las cargas de inducción electrostática permite determinar la constante dieléctrica ϵ_0 de plástico. La constante dieléctrica de la placa de vidrio se determina de la misma manera.

Fig. 7: Campo eléctrico de un condensador de placas con una distancia pequeña entre las placas, en comparación con el diámetro de las mismas. Las líneas de puntos indican el volumen de integración.



PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

PHYWE excellence in science

Evaluación

Resultados (1/2)

PHYWE excellence in science

Medición de la constante eléctrica:

A = 0.0531 m^2 U_c = 1.5 kV C = 218 nF

U [V]	3.3	2.4	1.6	1.35	1.2	1.1
d [cm]	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
$1/d$ [cm^{-1}]	10.0	6.7	5.0	4.0	3.3	2.9
Q [nAs]	719	523	350	294	262	240
ε_0 [pAs/Vm]	9.00	9.85	8.75	9.25	9.85	10.50

A = 0.0531 m^2 d = 0.2 cm C = 218 nF

U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	1.1	1.6	2.05	2.65	3.15	4.0	4.6
Q [nAs]	109	240	348	447	578	687	872	1003
ε_0 [pAs/Vm]	8.2	9.0	8,7	8.4	8.7	8.6	9.4	9.5

PHYWE excellence in science
Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen
Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107
info@phywe.de
www.phywe.de

Resultados (2/2)

PHYWE excellence in science

Measurement of dielectric constant

Plastic: $A = 0.0531\ \mathrm{m}^2$ $d = 0.98\ \mathrm{cm}$ $C = 218\ \mathrm{nF}$

U_c [kV]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
U [V]	0.5	0.92	1.35	1.8	2.3	2.8	3.1	3.7
Q [nAs]	109	201	294	392	501	610	676	807
$Q \frac{d}{A\varepsilon_0} \frac{1}{U_c}$	4.6	4.2	4.1	4.1	4.2	4.3	4.0	4.2
U_{vac} [V]	0.16	0.32	0.51	0.62	0.78	0.95	1.12	1.3
Q_{vac}[nAs]	35	70	111	135	170	207	244	283
Q/Q_{vac}	3.1	2.9	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

Glass: $d = 0.17\ \mathrm{cm}$ $\bar{U} = 5.8\ \mathrm{V}$ $Q = 1.264\ \mu\mathrm{As}$ $U_c = 500\ \mathrm{V}$

$\varepsilon_{glass} = 9.1$

PHYWE excellence in science

Robert-Bosch-Breite 10
37079 Göttingen

Tel.: 0551 604 - 0
Fax: 0551 604 - 107

info@phywe.de
www.phywe.de