



T.C.
KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ
2023-2024 BAHAR YARIYILI FİZ120 FİZİK II DERSİ

SIĞA VE KONDANSATÖRLER, DİELEKTRİKLERİN ÖZELLİKLERİ

- Şimdi, elektriğin teknolojik uygulamalarına başlayabiliriz. İlk olarak, yük ve elektrik enerjisi depolamakta kullanılan kondansatör (sığaç, kapasitör) adlı devre elemanını öğreneceğiz. Bugün elektrik teknolojisinde, otomobillerin bujilerinde, radyo ve televizyonlarda, fotoğraf makinesi flaşlarında, nanoteknolojide kondansatörler yaygın olarak kullanılmaktadır.

KONDANSATÖRLER ve DİELEKTRİKLER

- Sığa
- Kondansatörlerin Bağlanması
- Dielektrikler



ÜNİVERSİTESİ
— 2009 —

Bir iletkenin yükü arttıkça potansiyeli de artar.

Tanım: Boşlukta veya yalıtkan bir ortamda, eşit ve zıt $\pm Q$ yükleri taşıyan iki iletkenin oluşan sisteme **kondansatör** denir. ▼

Her tür kondansatör için, depolanan Q yükü uygulanan V potansiyel farkına orantılı olmaktadır:

$$Q = C V$$

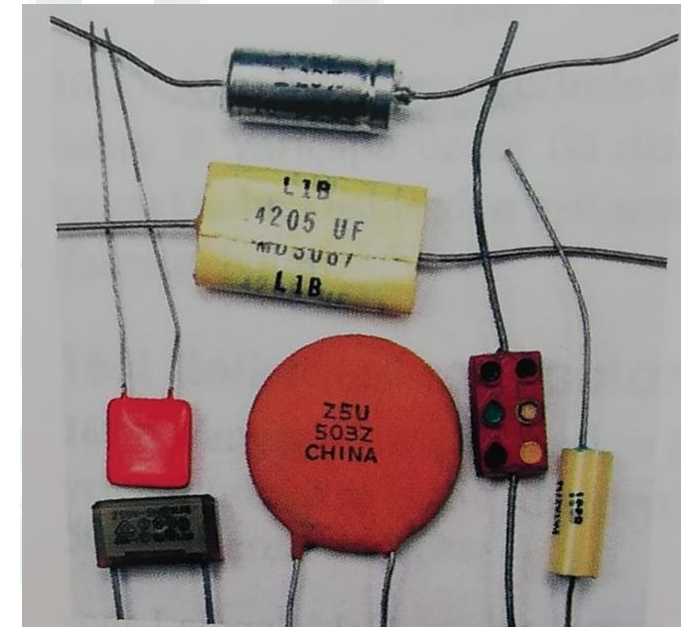
C orantı katsayısına **sığa** adı verilir.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (\text{sığa})$$

▼
Sığa birimi: coulomb/volt (C/V) olup **farad** (F) adı verilmiştir.
Farad birimi çok büyük olduğu için, pratikte askatları kullanılır:

$$1 \text{ nanofarad (nF)} = 10^{-9} \text{ F}$$

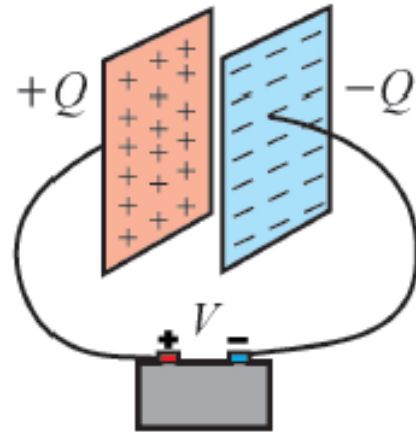
$$1 \text{ pikofarad (pF)} = 10^{-12} \text{ F}$$



Çeşitli kondansatörler

Düzlem Kondansatör

Birbirine paralel iki düzlem iletken levha.



Levhalar potansiyel farkı V olan bataryaya bağlandığında, üzerlerinde eşit ve zıt $\pm Q$ yükleri toplanır. ▼

Levhaların boyutları d mesafesine göre çok büyük ise, sonsuz düzlem formülü kullanılabilir:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \text{sabit} \quad \blacktriangledown$$

Sabit elektrik alanda d mesafesinde potansiyel farkı hesaplanmıştı:

$$V = V_2 - V_1 = E d = \frac{\sigma d}{\epsilon_0} \quad \blacktriangledown$$

Levhanın yüzölçümü A ise: σ yüzey yük yoğunluğu $\sigma = Q/A$.

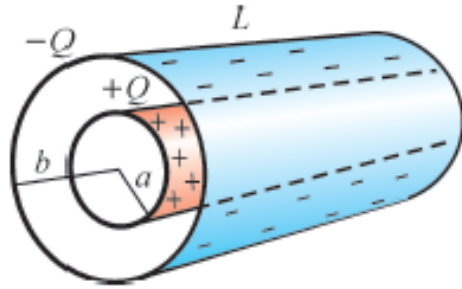
$$V = \frac{(Q/A) d}{\epsilon_0} \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{\epsilon_0 A}{d} V \quad \blacktriangledown$$

Yük, potansiyel farkına orantılı çıktı. Sığa tanımıyla karşılaştırılırsa:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (\text{düzlem kondansatörün sığası})$$

Silindirik Kondansatör

L uzunlukta ve $\pm Q$ yüklü eş-eksenli iki iletken silindir.



Silindirlerin L uzunluğu çok büyük ise, sonsuz silindirin elektrik alan formülü kullanılabilir:

$$E = \frac{2k\lambda}{r} \quad (\text{yük yoğunluğu } \lambda = Q/L) \quad \blacktriangledown$$

Potansiyel farkı elektrik alandan giderek hesaplanır:

$$V = |V_b - V_a| = \int_a^b E dr = 2k\lambda \int_a^b \frac{dr}{r} = 2k\lambda \ln \frac{b}{a}$$

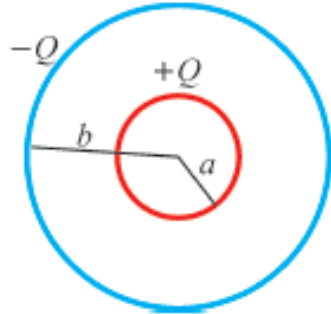
$$V = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L} \ln \frac{b}{a} \quad \rightarrow \quad Q = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)} V \quad \blacktriangledown$$

Yine, yük V ile orantılı. Buradan C sığası bulunur:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)} \quad (\text{silindirik kondansatörün sığası})$$

Küresel Kondansatör

Yarıçapları a ve b , yükleri $\pm Q$ olan eş-merkezli iki iletken küre.



İki küre arasında ($a < r < b$) elektrik alan:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad \blacktriangledown$$

İki küre arasındaki potansiyel farkı hesaplanır:

$$\begin{aligned} V &= |V_b - V_a| = \int_a^b E \, dr = kQ \int_a^b \frac{dr}{r^2} = kQ \left| -\frac{1}{r} \right|_a^b = kQ \left(-\frac{1}{b} + \frac{1}{a} \right) \\ &= \frac{kQ(b-a)}{ab} \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{4\pi\epsilon_0 ab}{b-a} V \quad \blacktriangledown \end{aligned}$$

Yine yük V ile orantılı. Buradan sığa ifadesi bulunur:

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 ab}{b-a} \quad (\text{küresel kondansatörün sığası})$$

Örnek: Bir düzlem kondansatörün 30 cm^2 yüzölçümlü levhaları arasındaki mesafe 4 mm dir. Bu kondansatör 5000 V luk bir voltaja bağlanıyor.

- a) Kondansatörün sığasını bulun.
- b) Levhalarda toplanan yük ne kadar olur?
- c) Levhalar arasındaki elektrik alan ne kadardır?

a) Düzlem kondansatörün sığası için bulunan $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ formülü kullanılır:

$$\bullet C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 30 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-3}} = 6.6 \times 10^{-12} F = 6.6 pF$$

b) Yüğü bulmak için sığa tanımını kullanılır:

$$\bullet Q = CV = 6.6 \times 10^{-12} \times 5000 = 33 \times 10^{-9} = 33 nC$$

c) Levhalar arasında E sabit olduğundan, potansiyelle ilişkisi $V = Ed$ olur:

$$\bullet E = \frac{V}{d} = \frac{5000}{4 \times 10^{-3}} = 1.25 \times 10^6 = V/m$$

Örnek: Bir koaksiyal kabloun içteki iletken silindirinin yarıçapı 2 mm ve dıştakinin yarıçapı 4 mm dir. Bu kablodan, sayısı 1 pF olan bir silindirik kondansatör yapılmak isteniyor. Kablo uzunluğu ne kadar olmalıdır?

- Silindirik kondansatörün sığası için bulunan
- $C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$ formülü kullanılır.
- Buradan L uzunluğu çekilir, sayısal veriler yerine konup uzunluk hesaplanır:
- $$L = \frac{C \ln(b/a)}{2\pi\epsilon_0} = \frac{10^{-12} \times \ln(4/2)}{2 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12}} = 0.012 \text{ m} = 1.2 \text{ cm}$$

Örnek: Sığası $C = 3 \text{ pF}$ olan bir düzlem kondansatör 1000 V luk bir bataryaya bağlanıyor.

- a) Ne kadar yük toplanır?
- b) Kondansatör yüklü olarak devreden çıkarılıyor ve sonra levhalar arası uzaklık iki katına çıkarılıyor. Yeni sığa ve levhalar arasındaki yeni potansiyel farkı ne kadar olur?
- c) Kondansatör bataryaya bağlı olarak, levhalar arası uzaklık iki katına çıkarılıyor. Yeni sığa ve yeni yük ne kadar olur?

a) Sığa formülünden hesaplanır:

$$\bullet Q = CV = 3 \times 10^{-12} \times 1000 = 3 \text{ nC}$$

b) Düzlem kondansatörün sığası d mesafesiyle ters orantılı olduğundan, d iki kat artarsa C iki kat azalır. Bataryaya bağlı iken V aynı kalacağından,

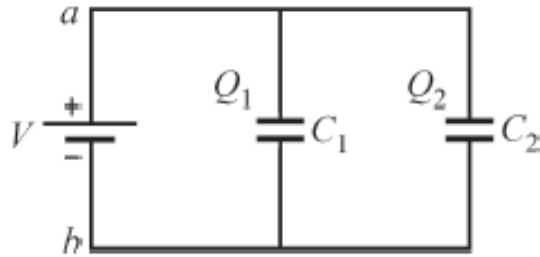
$$\bullet Q' = C'V = \frac{C}{2}V = \frac{Q}{2} = 1.5 \text{ nC}$$

c) Kondansatör devreden Q yüklü olarak çıkarıldığı için, yükü değişmez. Yine C yarıya düştüğü için V potansiyel farkı $Q = CV$ bağlantısından hesaplanır:

$$\bullet V' = \frac{Q}{C'} = \frac{Q}{(C/2)} = 2V = 2 \times 1000 = 2000 \text{ V}$$

KONDANSATÖRLERİN BAĞLANMASI

Paralel Bağlama



Sığaları C_1 ve C_2 olan iki kondansatör, aynı bir V potansiyel farkına bağlı ise **paralel bağlama**. ▼

$Q = CV$ bağıntısıyla yükler hesaplanır:

$$Q_1 = C_1 V$$

$$Q_2 = C_2 V$$

a ve b noktaları arasına öyle bir eşdeğer kondansatör koyalım ki, aynı potansiyel farkı altında aynı toplam yükü toplasın:

$$Q = C_{\text{eş}} V \quad \blacktriangledown$$

Buradaki Q yükü Q_1 ve Q_2 nin toplamı olacağından,

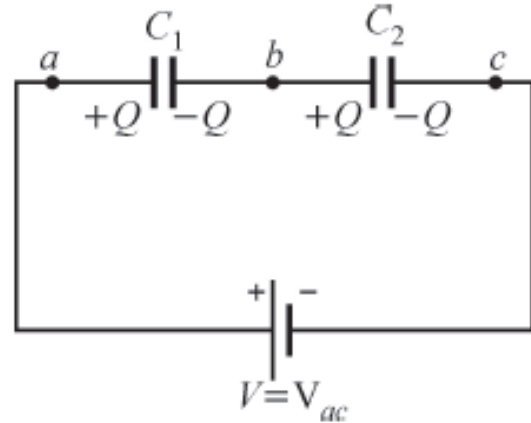
$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$C_{\text{eş}} V = C_1 V + C_2 V \quad \longrightarrow \quad C_{\text{eş}} = C_1 + C_2 \quad \blacktriangledown$$

$$C_{\text{eş}} = C_1 + C_2 + \cdots + C_N \quad (\text{Paralel bağlama})$$

Seri Bağlama

Sıgaları C_1 ve C_2 olan iki kondansatör başka kola ayrılmadan peşpeşe bağlanmışsa, **seri bağlama**.



Kondansatörlerin bataryayı gören dış levhaları $\pm Q$ yüklerini çekerler.
Aradaki levhalar da, karşısındaki yüklü levhanın tesiriyle, $\mp Q$ ile yüklenirler. ▼

a, b, c arasındaki potansiyel farkları için $V = Q/C$ bağıntısı kullanılır:

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad \blacktriangledown$$

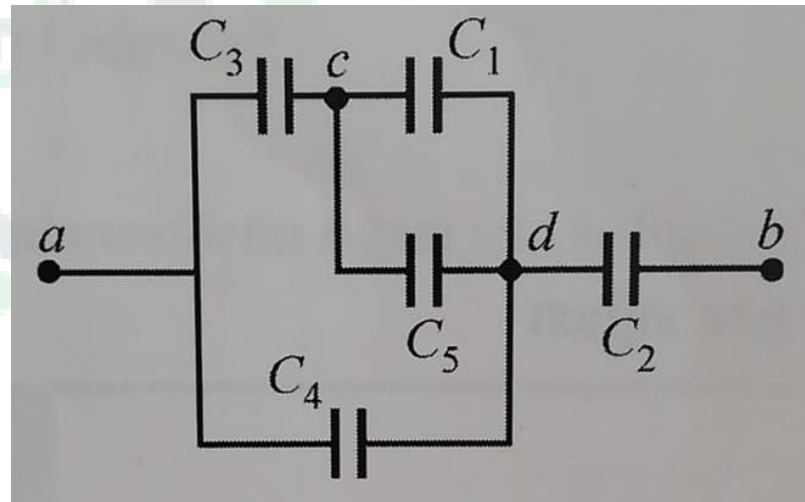
Eşdeğer kondansatör, aynı potansiyel farkı altında aynı yükü toplamalıdır:

$$V_{ac} = \frac{Q}{C_{eş}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad \blacktriangledown$$

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} \quad (\text{Seri bağlama})$$

Örnek: Şekildeki devrede $C_1 = 1$, $C_2 = 2$, $C_3 = 3$, $C_4 = 4$ ve $C_5 = 5 \mu F$ dir.

- ab uçları arasında eşdeğer sığayı hesaplayın.
- ab uçları 12 V luk bir potansiyel farkına bağlanıyor. Eşdeğer sığada toplanan yük ne kadar olur?
- C_4 kondansatörü üzerinde ne kadar yük toplanır?

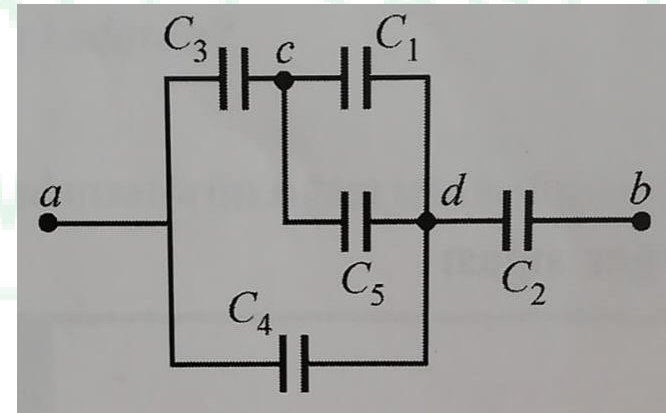


- a) Şekle dikkatle bakılarak, paralel veya seri tanımına uyan elemanlar aranır. c ve d noktaları arasındaki C_1 ve C_5 paralel olurlar. Bunların cd arasındaki eşdeğer sığasını C' ile gösterip hesaplarız:

- $C' = C_1 + C_5 = 1 + 5 = 6 \mu F$

- Şimdi cd arasında bu C' sığası olduğunu düşünürsek, C_3 bununla seri bağlı olur. Bunların eşdeğer sığasını hesaplarız:

- $C'' = \frac{C_3 C'}{C_3 + C'} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \mu F$

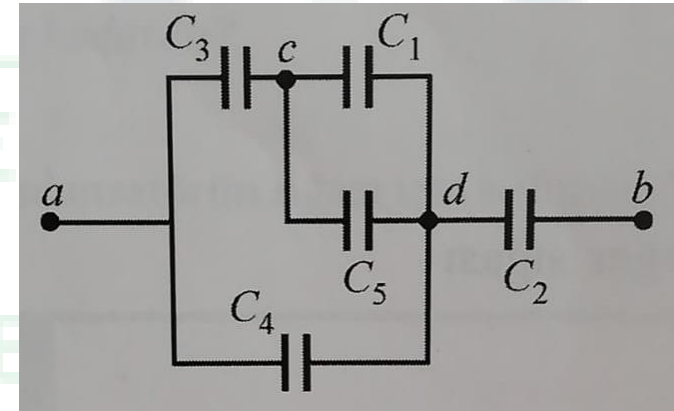


- Daha sonra C_4 bununla paralel bağlı olur. Bunların eşdeğer sığası hesaplanır:

- $C''' = C_4 + C'' = 4 + 2 = 6 \mu F$

- Nihayet C_2 sığası bununla seri bağlı olup, aranan eşdeğer sığa bulunur:

- $C_{eş} = \frac{C_2 C'''}{C_2 + C'''} = \frac{2 \times 6}{2 + 6} = 1.5 \mu F$



- b) Eşdeğer sığa ab uçlarına bağlı olduğundan, potansiyel farkı V_{ab} olur. Buradan Q yükü hesaplanır:

- $Q = C_{eş} V_{ab} = 1.5 \times 12 = 18 \mu F$

- c) Kondansatör devrelerini çözerken, $Q = CV$ bağıntısı yanısıra, şu iki ilke kullanılır:

- 1) Seri bağlı kondansatörlerin yükleri eşittir.

- 2) Paralel bağlı kondansatörlerin voltajları eşittir.

- Bu problemi C_4 üzerindeki potansiyel farkından giderek çözeriz. Önce, C_2 üzerindeki yükün, eşdeğer sığa üzerindeki yüke eşit olduğuna dikkat edelim, çünkü bataryanın bir ucu, başka kola ayrılmadan, doğrudan C_2 kondansatörünü görmektedir. O halde, Q_2 doğrudan yazılır:

- $Q_2 = Q = 18 \mu F$

- Buradan C_2 üzerindeki potansiyel farkını $Q = CV$ bağlantısından hesaplarız:

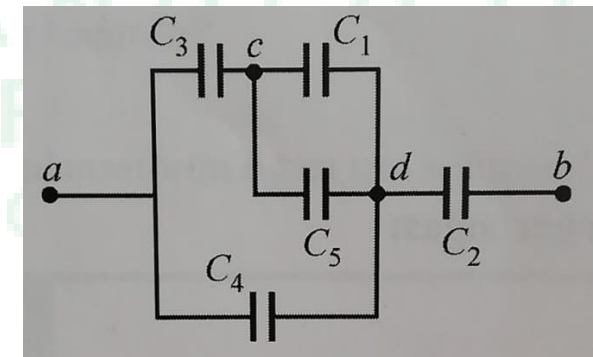
- $V_2 = V_{db} = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ V}$

- Bataryayı gören V_{ab} potansiyel farkı iki parçada yazılır:

- $V_{ab} = V_{ad} + V_{db} \rightarrow 12 = V_{ad} + 9 \Rightarrow V_{ad} = 3 \text{ V}$

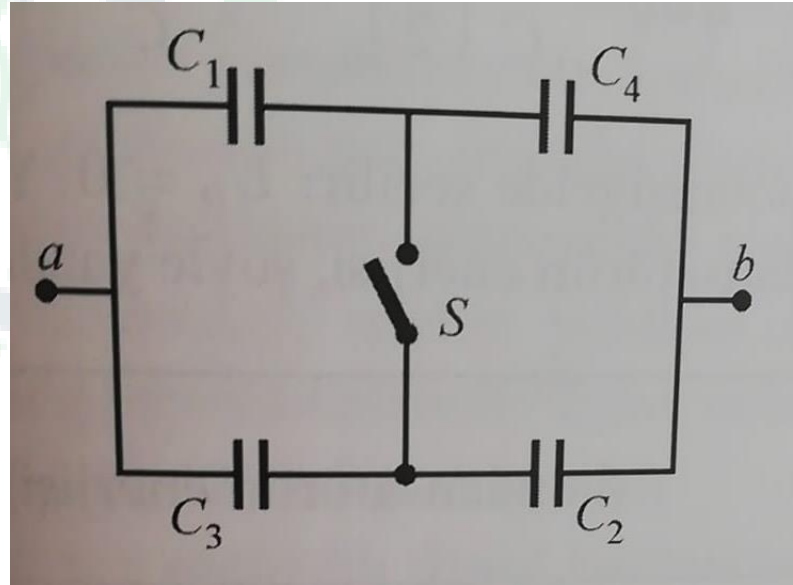
- Bu potansiyel farkı C_4 gördüğü potansiyel farkıdır. Buradan, Q_4 yükü hesaplanır:

- $Q_4 = C_4 V_4 = Q_4 V_{ad} = 4 \times 3 = 12 \mu\text{C}$



Örnek: Şekildeki devrede $C_1 = 1$, $C_2 = 2$, $C_3 = 3$,
 $C_4 = 4 \mu F$ dir.

- a) Bu devre, S anahtarı açık iken, ab uçları 24 V luk bir bataryaya bağlanıyor. Eşdeğer sığayı ve bataryadan çekilen toplam yükü hesaplayın.
- b) Devre yüklü iken bataryadan çıkarılıyor ve sonra S anahtarı kapatılıyor. Eşdeğer sığayı ve her bir koldaki yükü bulun.

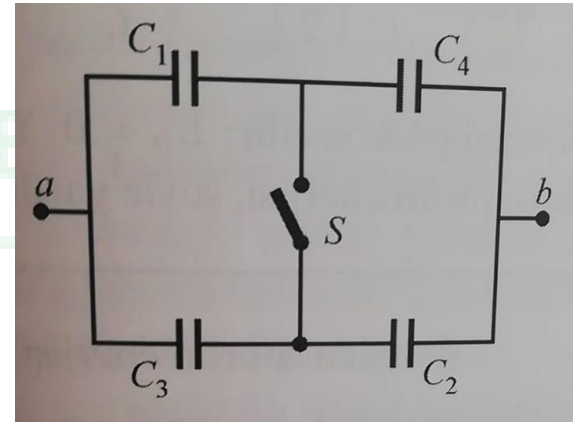


a) S anahtarı açıkken, C_1 , C_4 seri bağlı, yine C_2 , C_3 seri bağlı iki kol oluşturlar. Daha sonra bu iki kol birbirine paralel bağlıdır. Buna göre, eşdeğer sığa hesaplanır:

$$\bullet C_{eş} = \frac{C_1 C_4}{C_1 + C_4} + \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = \frac{1 \times 4}{1 + 4} + \frac{2 \times 3}{2 + 3} = 2 \mu F$$

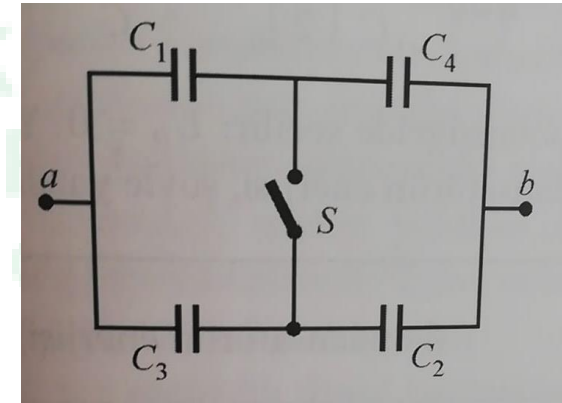
• Sığa tanımından eşdeğer sığanın yükü hesaplanır:

$$\bullet Q = C_{eş} V = 2 \times 24 = 48 \mu C$$

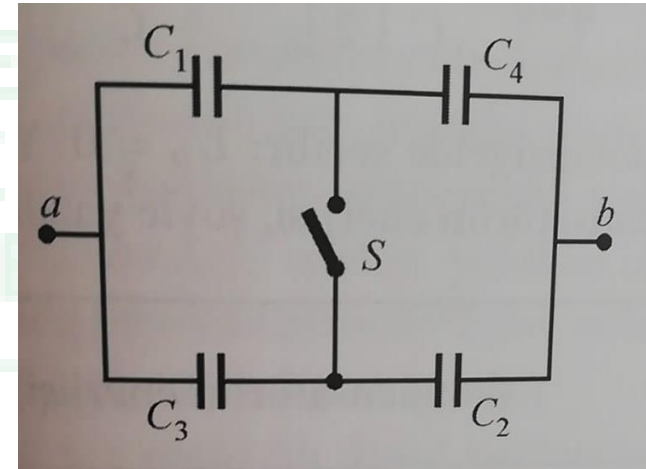


a) S anahtarı kapatıldığında bu kez ab arasında bağlama değişir. Bu kez paralel bağlı C_1 , C_3 ikilisi ile, yine paralel bağlı ikilisi ile, yine paralel bağlı C_2 , C_4 ikilisi birbirine seri bağlı olur. Buna göre, eşdeğer sığa hesaplanır:

- $C_{eş} = \frac{(C_1+C_3)(C_2+C_4)}{(C_1+C_3)+(C_2+C_4)} = \frac{(1+3)(2+4)}{1+2+3+4} = 2.4 \mu F$
- Devre bataryadan yüklü olarak çıkarıldığında, toplam Q yükü sabit kalır. Fakat bu kez iki kola farklı dağılmış olur. C_1 ve C_3 kondansatörleri ortak aS noktalarına bağlı oldukları için, her birinin üzerindeki potansiyel farkı eşit olur:
- $V_{as} = V_{as}$
- $\frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_3}{C_3}$

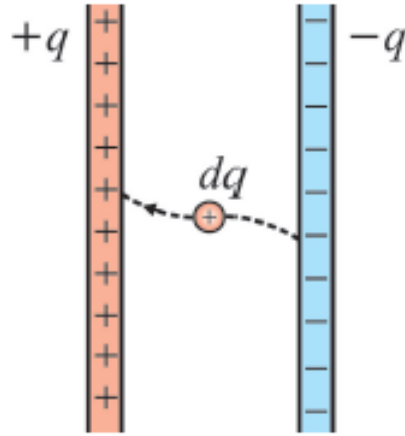


- Ayrıca, Q_1 , Q_3 toplamı, başlangıçtaki yüke eşit olmalıdır:
- $Q_1 + Q_3 = Q = 48 \mu C$
- Bu iki denklem arasından Q_1 , Q_3 hesaplanır:
- $Q_1 = 12 \mu C$, $Q_3 = 36 \mu C$
- C_2 , C_4 üzerindeki yükler de aynı düşünce yöntemiyle Sb potansiyel farkı kullanılarak hesaplanır:
- $Q_2 = 16 \mu C$, $Q_4 = 32 \mu C$



Bir Kondansatörün Enerjisi

Bir kondansatör sıfırdan itibaren Q yüküne getirebilmek için ne kadar iş yapılmışsa, enerjisi o kadar olur. ▼



Yüklemeye işlemini küçük dq yükleriyle yapalım. Herhangi bir aşamada levhalarda birikmiş yük q ise, potansiyel farkı $V = q/C$ olur. İlave bir dq yükü daha taşımak için yapılan iş,

$$dW = dq V = dq \frac{q}{C} \quad \blacktriangledown$$

Yükü son Q değerine getirmek için yapılan iş, integral olur:

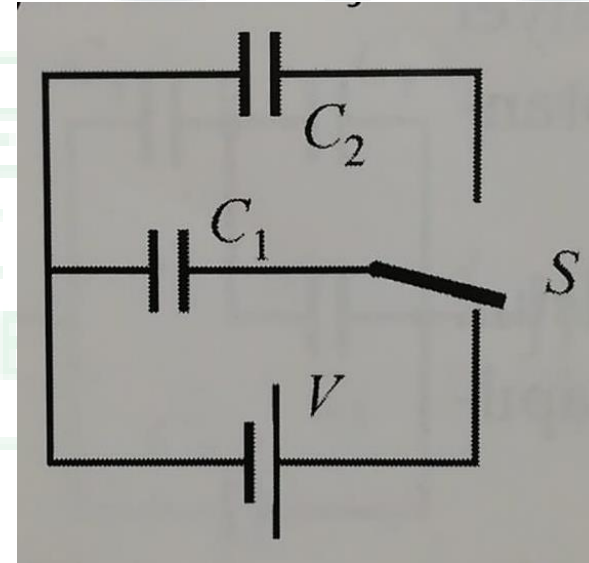
$$W = U_Q - U_0 = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{1}{C} \left[\frac{q^2}{2} \right]_0^Q = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad \blacktriangledown$$

Yüksüz kondansatörün enerjisi sıfır potansiyelde seçilir: $U_0 = 0$. Ayrıca, $Q = CV$ bağıntısı da kullanılırsa:

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV \quad (\text{kondansatörün enerjisi})$$

Örnek: Şekilde sığası $C_1 = 1 \mu F$ olan kondansatör, S anahtarı $V = 12 V$ olan batarya yönünde kapatılarak yükleniyor.

- a) C_1 Kondansatörünün yükü ve enerjisi ne kadar olur?
- b) Daha sonra S anahtarı $C_2 = 2 \mu F$ kondansatörü yönünde kapatılıyor. İki kondansatörün yükleri ve toplam enerjileri ne kadar olur?
- c) Aradaki enerji farkı nasıl açıklanır?

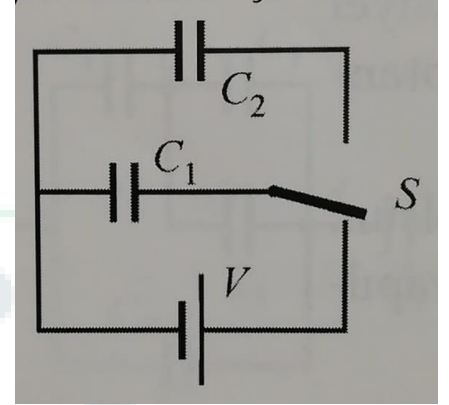


a) S anahtarı batarya yönünde kapatıldığında C_2 göz önüne alınmaz. Yük hesaplanır:

- $Q = C_1 V = 1 \times 12 = 12 \mu C$

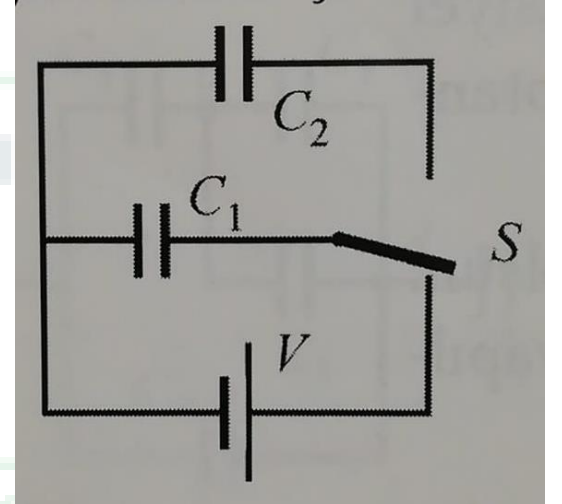
- Enerji $U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} Q V$ formüllerinden herhangi biriyle hesaplanır:

- $U = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} \times 12 \times 10^{-6} \times 12 = 72 \times 10^{-6} J = 72 \mu J$



a) S anahtarı C_2 yönünde kapatıldığında, başlangıçtaki Q yükü C_1 ve C_2 arasında paylaşılır. Bu iki kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farklarının eşit olduğu da göz önüne alınırsa,

- $V_1 = V_2 \rightarrow \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2}$
- $Q_1 + Q_2 = Q = 12 \mu C$
- Bu iki denklem arasından, Q_1, Q_2 hesaplanır:
- $Q_1 = 4 \mu C$ ve $Q_2 = 8 \mu C$
- Enerjiler $U = \frac{1}{2} Q^2 / C$ formülüyle hesaplanıp toplanır:
- $U' = \frac{1}{2} \frac{Q_1^2}{C_1} + \frac{1}{2} \frac{Q_2^2}{C_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{4^2}{1} + \frac{8^2}{2} \right) \times 10^{-12+6} \quad U' = 24 \mu J$



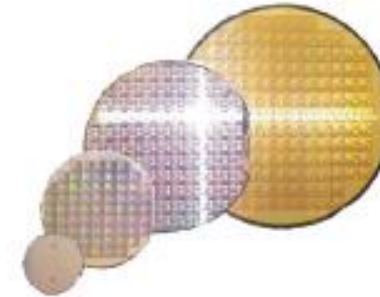
- c) Bu problemde $U' < U$ olup, sistemin enerjisi sanki kendiliğinden azalmış gibi, yani enerji korunumuna aykırı bir durum varmış gibi görünmektedir.
- Bu problem, gerçekte var olmayan ideal bir durumu temsil etmektedir. Genelde, her devrede bağlantı kablolarının belli bir direnci vardır. Bir kondansatör diğerine yük aktardığımda mutlaka kablo dirençlerinde enerji kaybolacaktır. Eğer bu kayıtlar olmasaydı zaten sistem dengeye gelmezdi. Q yükü bir kondansatörden diğerine gidip gelirdi. Sonuç olarak, aradaki enerji farkı devredeki kablolarda ısıya dönüşmüş olur.

DİELEKTRİKLER



Buraya kadarki incelemede, kondansatör levhaları arasında boşluk olduğu varsayıldı.

Teknolojide iletkenler arasında boşluk değil, yalıtkan maddeler kullanılır (kağıt, cam, plastik, yağ ...).



(Koaksiyal kablo, iletim hatlarında fincan, mikrodevrelerde silisyum gofretler) ▼

Yalıtkan maddeler elektrik alan içine konulduğunda, elektrik özelliklerini ortama uyumlu hale getirmeye çalışırlar.

Bu özelliklerini vurgulamak için **dielektrik** olarak da adlandırılırlar.

Deneyssel gözlemlere göre:

- V potansiyel farkı sabit tutulan kondansatörün levhaları arasına dielektrik madde konulduğunda, daha fazla yük toplamaktadır.

O halde, $Q = CV$ bağıntısına göre, **kondansatörün sığası artmaktadır.** ▼

- Q yükü sabit tutulan kondansatörün levhaları arasına dielektrik madde konulduğunda, levhalar arasındaki V potansiyel farkı azalmaktadır.

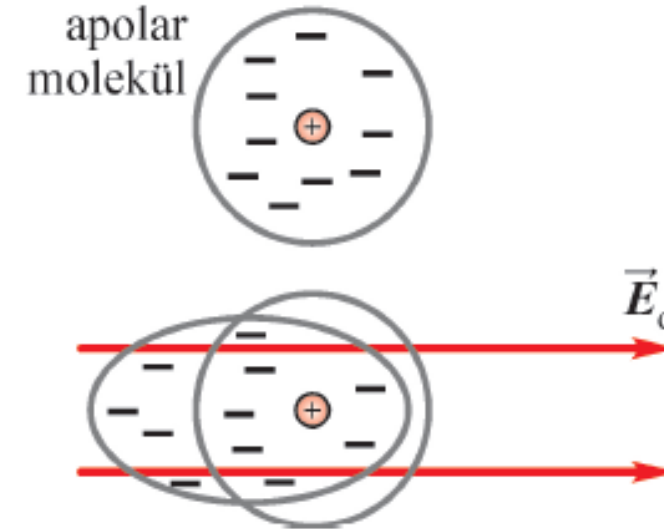
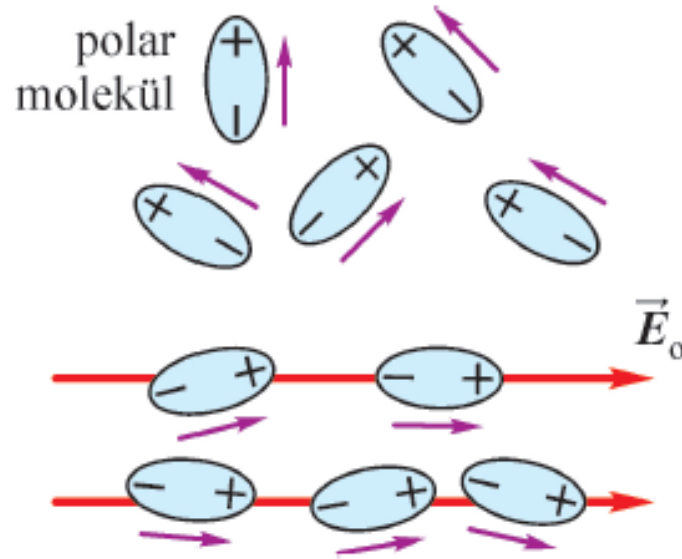
O halde, $V = E d$ bağıntısına göre, **levhalar arasındaki elektrik alan azalmaktadır.** ▼

Dielektrik malzeme, kondansatörün özelliklerini nasıl değiştirebiliyor?

Bunu anlayabilmek için, dielektrik maddelerin atomik yapısına bakmak gerekir.

Maddenin elektrik dipol yapısı

Hatırlatma: Aralarında a uzaklığı bulunan $(\pm q)$ oluşan sisteme **elektrik dipol** denir. $p = qa$ çarpımı **dipol moment**i olur. ▼



Bazı moleküllerin yapısında \pm yükleri üst üste çakışmaz ve elektrik dipol vardır (H_2O , NO_2 ...)

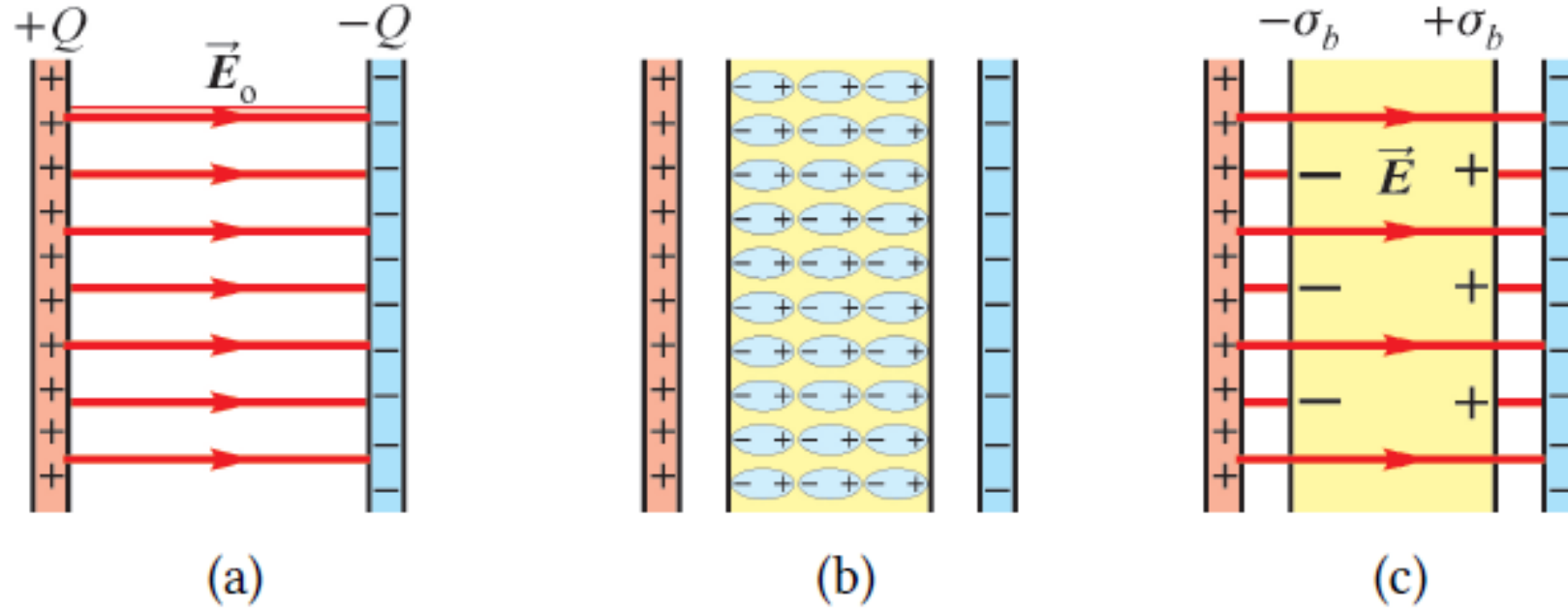
Bunlara **polar molekül** denir. Elektrik alan yokluğunda dahi kalıcı bir dipol momentleri vardır. ▼

Bazı moleküllerin normal halde dipol momentleri yoktur (O_2 , CH_4 ...).

Fakat, bir dış elektrik alan içinde \pm yüklere etkiyen zıt kuvvetlerin etkisiyle, dipol momentleri kazanırlar.

Bunlara **apolar molekül** denir.

Her iki tür madde yüklü kondansatörün levhaları arasına konulduğunda:



Polar moleküller dönerek, apolar moleküller deforme olarak, dipol momentlerini elektrik alan yönünde hizaya getirmeye çalışırlar (Şekil b).

Elektrik alanın ortamdaki etkisini kısmen azaltırlar.

Böylece, levhalara bakan dielektrik yüzeylerde **indüklenmiş yüzey yükleri** ($\pm\sigma_b$) oluşur (Şekil c).

Başlangıçta, levhaların $\pm\sigma$ yüzey yük yoğunluğundan kaynaklanan elektrik alan:

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \blacktriangledown$$

Dielektrik madde konulduğunda, net $\pm(\sigma - \sigma_b)$ yük yoğunluğundan kaynaklanan elektrik alan:

$$E = \frac{\sigma - \sigma_b}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{\sigma_b}{\epsilon_0} \quad \blacktriangledown$$

Eğer dış elektrik alan fazla şiddetli değilse, indüklenen σ_b yüzey yükünün miktarı, ortamda oluşan E elektrik alanıyla orantılı olacaktır:

$$\frac{\sigma_b}{\epsilon_0} = \chi E$$

χ katsayısına dielektrik maddenin **elektrik duygunluğu** denir ($\chi > 0$). \blacktriangledown

$$E = E_0 - \frac{\sigma_b}{\epsilon_0} = E_0 - \chi E \quad \longrightarrow \quad E = \frac{E_0}{\underbrace{1 + \chi}_K}$$

(dielektrik sabiti)

	Dielektrik sabiti K
Boşluk	1
Hava	1.0006
Parafin	2.2
Kağıt	3.7
Cam	5
Porselen	6

Dielektrik sabiti $K > 1$ olur. ▼

$E = E_0/K$ dan giderek, diğer nicelikler çıkarılır:

Boşluktaki potansiyel farkı $V_0 = E_0 d$ ise,

$$V = E d = \frac{E_0}{K} d = \frac{E_0 d}{K} \longrightarrow V = \frac{V_0}{K} \quad \blacktriangledown$$

$C = Q/V$ tanımından dielektrik ortamdaki sığa bulunur:

$$C = K C_0 \quad (\text{Dielektrikli kondansatörün sığası}) \quad \blacktriangledown$$

Tüm bu bağıntılar, dielektrik ortamda ε_0 geçirgenliğinin değişmesi şeklinde ifade edilebilirler:

$$\varepsilon = K \varepsilon_0$$

ε : Ortamın **elektrik geçirgenliği**.

Böylece, ε_0 yerine ε alınarak, tüm formüller geçerli olurlar.

Dielektrik Sertlik

Dielektrik maddeye uygulanan elektrik alan çok büyük olduğunda, **iyonlaşan moleküller** ve **kopan elektronlar**, ortamı iletken hale getirirler ve bir **elektrik boşalması** gözlenir.

Bu yüksek akım ısıya dönüşür ve madde hasar görür.

Dielektrik ortamın iyonize olmadan dayanabileceği maksimum elektrik alan şiddetine **dielektrik sertlik** (E_{\max}) denir. ▼



	dielektrik sertlik E_{\max} (10^6 V/m)
Boşluk	—
Hava	3
Parafin	10
Kağıt	15
Cam	14
Porselen	12

Van de Graff Jeneratörü

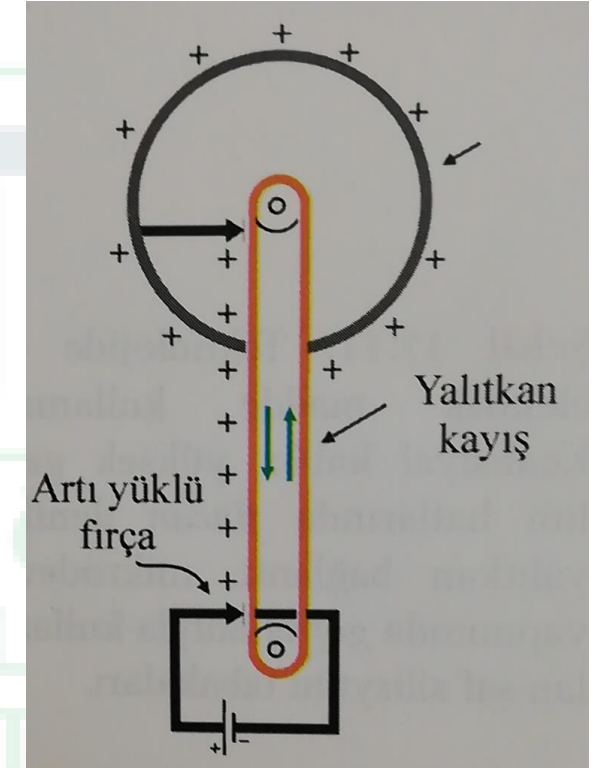
- Bir iletken en fazla kaç volt potansiyele kadar yükseltilebilir? İletkenler ve dielektrikler hakkında buraya kadar öğrendiklerimizle, şimdi bu sorunun cevabını verebiliriz. En basit olarak R yarıçaplı iletken bir küresel kabuğu göz önüne alalım. Bu kürenin potansiyeli ve yüzeyindeki elektrik olan ifadelerini hatırlayalım:

- $V = \frac{kQ}{R}, \quad E = \frac{kQ}{R^2}$

- İlke olarak, Q yükünü artırabildiğimiz ölçüde, iletkenin potansiyeli de sonsuza kadar artacaktır. Fakat, gerçekte bunun bir sınırı vardır. İletkenin potansiyeli ile birlikte, çevresindeki elektrik alan da artar.
- Kürenin içinde bulunduğu havanın dielektrik sertliği $E_{max} = 3 \times 10^6 \frac{V}{m}$ dir, yani bu değerden yüksek elektrik alanda hava molekülleri iyonlaşır ve küre üzerinde topladığımız Q yükü toprağa akar. O halde, kürenin taşıyabileceği maksimum potansiyel şu eşitliği sağlamalıdır:
- $V_{max} = R E_{max}$
- Örnek olarak, $R = 1$ m yarıçaplı küre için basit bir hesap yapılırsa, taşıyabileceği maksimum yük $Q_{max} = \frac{1}{3} mC$ ve bu yükün oluşturduğu maksimum potansiyel $V_{max} = 3$ milyon volt bulunur.

- Şimdi bu küreyi nasıl yükleyeceğimizi düşünelim. Yükleri doğrudan yaklaştırırsak, küre çevresindeki elektrik alan giderek artacağından, karşı koyan kuvvet de artar ve yükleri getirmek giderek zorlaşır. Oysa, iletkenlerin şu özelliği kolaylık sağlar. *Bir iletkenin iç yüzeyine verilen yük, iletkenin dış yüzeyinde toplanır.* Çünkü, iletken içinde elektrik alan sıfır olmak zorundadır.

- Bu ilkeyi kullanarak çalışan **Van de graaff jeneratörünün** basit bir şeması gösterilmiştir. Bu düzenekte yalıtkan bir kayış, alt ucundaki makara döndürülerek hareket eder. Alt makara civarında, bir devrenin artı kutbuna bağlanmış olan sivri metal bir fırça, kayışa çok yakın durmaktadır. Bu fırça çevresindeki havayı iyonlaştırarak artı yüklerin bir kısmını kayışa aktarır. Yukarıdaki makara civarındaki ikinci bir metal fırça iletken küreye bağlanmış olduğundan üzerindeki elektrik alan sıfırdır ve kayıştaki yükleri kolayca toplar, sonra da kürenin dış yüzeyine aktarır.



- Van de Graaff jeneratörü nükleer fizik araştırmalarında yüklü parçacıkları hızlandırmak da ve X-ışını tüplerini çalıştırmakta kullanılır. Ayrıca, fizik laboratuvarlarında ve fuarlarda yüksek voltaj gösterileri yapılır. Ayakkabılarınız yerden yaratılmışsa, metal küreye elinizi değdirdiğinizde, vücudunuzda oluşan yüksek voltaj sebebiyle saç tellerinizin birbirini iterek dikleşirler.

Yıldırım



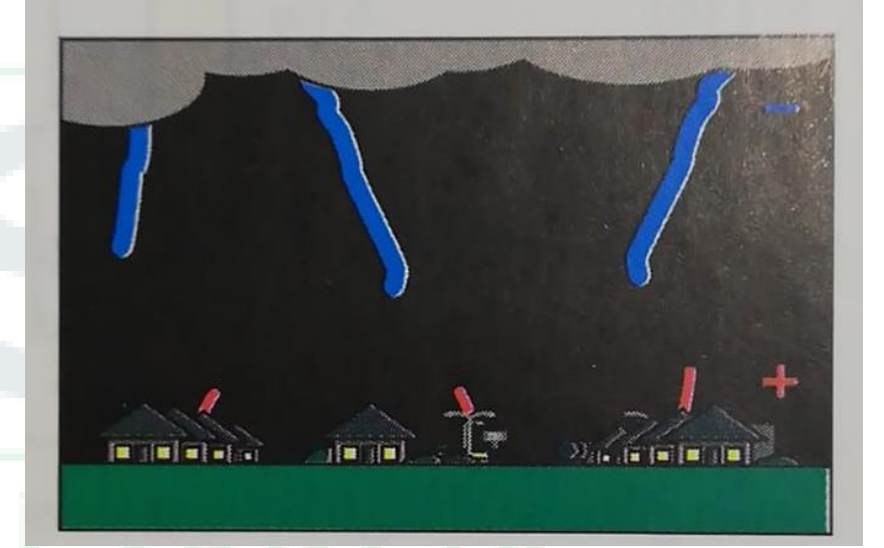
- Fırtınalı havalarda gökyüzünde çıkan bir şimşek ışığı sonrasında büyük bir patlama şeklinde gök gürültüsü sesi duyarız ve bir yerlere yıldırım düştüğünü anlarız. Yıldırım, yukarıda açıkladığımız dielektrik ortamın (havanın) dayanabileceği maksimum elektrik alan değeri aşıldığında iletken hale gelmesi sonucu oluşan elektrik boşalmasıdır.
- Fakat, gökyüzünde bunun nasıl bir mekanizmayla oluştuğu kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca, çeşitli yapıda yıldırımlar olabilmektedir. En çok görülen yıldırım türünün açıklaması şöyledir:

- Yeryüzünde buharlaşan su molekülleri havadan hafif olduğu için yükselmeye başlar. Atmosferin daha soğuk olan yukarı katmanlarına ulaştığında küçük su damlaları halinde yoğunlaşmaya başlar. Buna bulut diyoruz. Bulut içindeki bu mikroskopik su ve buz zerreleri, yükselen diğer su buharı molekülleriyle çarpışarak onların elektronlarını koparır ve iyonlaştırır. Böylece bulutun alt yüzeyinde negatif elektronlar, üst yüzeyinde ise pozitif iyonlar birikir.

- Sonuçta, bulutların negatif alt yüzeyleri ile yeryüzü arasında bir elektrik alan oluşur. Elektrik alan şiddeti arttıkça, aradaki havanın molekülleri yük boşalmasını sağlayabilmek için iletken bir yol kurmaya başlarlar. Nitekim, yıldırım düşmesinden hemen önce, bulutlardan aşağı ve yeryüzündeki çatılardan yukarı, **mızrak ucu** denilen ve iyonlaşmış hava moleküllerinden oluşan zigzaglı saçaklar uzamaya başlar.

- Bu iyonlaşmış hava moleküllerinin oluşturduğu iletken yol tamamlandığında, elektrik boşalması birden gerçekleşir ve çok büyük bir elektron akımı yeryüzüne ulaşır. Akımın ürettiği ısı, çevredeki hava moleküllerinin ısınarak genleşmesine yol açar. Bu genleşme birdenbire olduğundan, patlama etkisi ve şok dalgası yaratır.
- Işığın hızı ses hızından fazla olduğu için, önce şimşek ışığı gözlenir, sonra gök gürültüsü sesi gelir. Sesin havadaki hızı 340 metre/saniye olduğundan, şimşek çaktığı andan itibaren geçen saniyeleri sayarsanız yıldırımın ne kadar uzağa düştüğünü hesaplayabilirsiniz (3 saniyede 1 kilometre).

- Yıldırımın yolunu hazırlayan mızrak uçları genellikle yüksek bina ve ağaçlarda oluşur. Bu yüzden, düz arazide korunumsuz bulunmak veya yüksek bir ağacın altına sığınmak tehlikeli olabilir. Yapılabilecek en doğru şey çömelmektir, fakat iletken yolu çoğaltmamak için, elleri yere değdirmeden çömelmek gerekir.



Yıldırımın yolunu hazırlayan mızrak uçları.

Örnek: Bir düzlem kondansatörün levhaları arasındaki uzaklık 2 mm dir. Levhalar arasında boşluk bulunduğunda sığası $C_0 = 3 \mu F$ dır.

- a) Kondansatör $V_0 = 12 V$ olan bir bataryaya bağlanıyor. Q_0 yükü ve levhaları arasındaki E_0 elektrik alanı ne kadar olur?
- b) Kondansatör yüklü olarak devreden çıkarılıyor ve levhalar arasına, dielektrik sabiti $K=5$ olan cam tabaka konuluyor. Kondansatörün C sığası, Q yükü V potansiyeli ve E elektrik alanı ne kadar olur?
- c) Kondansatör bataryaya bağlıyken, levhalar arasına cam tabaka konuluyor. Kondansatörün C sığası, Q yükü, V potansiyeli ve E elektrik alanı ne kadar olur?

a) Tanımdan Q_0 yükü hesaplanır:

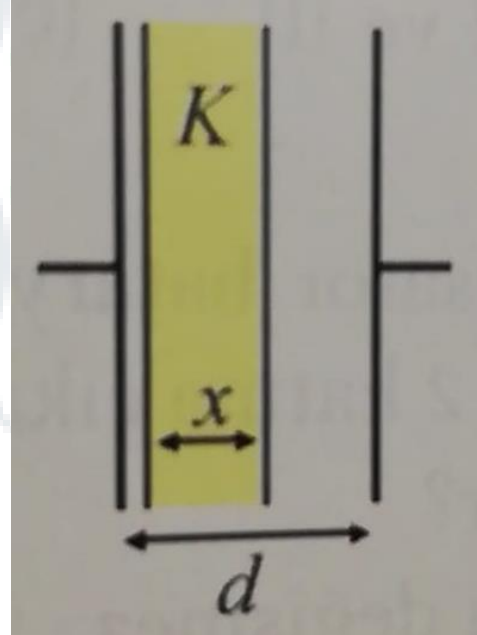
- $Q_0 = C_0 V_0 = 3 \times 12 = 36 \mu C$
- Sabit elektrik alanda potansiyel farkı $V = Ed$ bağıntısından elektrik alan bulunur:
- $E_0 = \frac{V_0}{d} = \frac{12}{0.002} = 6000 \frac{V}{m} = 6 kV/m$

a) Kondansatör bataryadan yüklü olarak çıkarıldığında, daha sonra yükü değişmez:

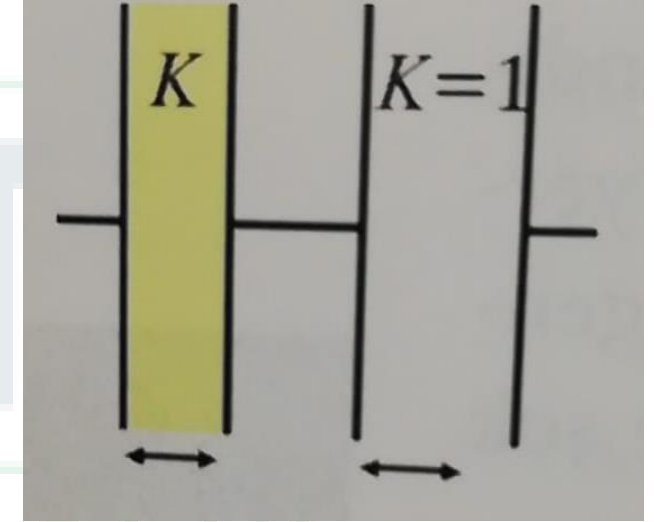
- $Q = Q_0 = 36 \mu C$
- Araya dielektrik konulduğunda, yeni sığayı bulmak için, düzlem kondansatörün sığa formülündeki ϵ_0 çarpanı yerine $K\epsilon_0$ almak yeterlidir:
- $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} = KC_0 = 5 \times 3 = 15 \mu F$
- Bu C sığası ve Q yüküyle V potansiyeli hesaplanır:
- $V = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{KC_0} = \frac{V_0}{K} = \frac{12}{5} = 2.4 V$
- Elektrik alan bu V potansiyel farkıyla hesaplanır:
- $E = \frac{V}{d} = \frac{(V_0/K)}{d} = \frac{E_0}{K} = \frac{6000}{5} = 1.5 kV/m$

- c) Kondansatör bataryaya bağlı tutuluyorsa, daha sonra potansiyel farkı değişmez:
- $V = V_0 = 12 \text{ V}$
- Yine, araya dielektrik konulduğunda sığadaki değişme aynıdır:
- $C = KC_0 = 15 \mu\text{F}$
- Bu sığa ve potansiyel farkı ile, yük hesaplanır:
- $Q = CV = (KC_0)V_0 = 15 \times 12 = 180 \mu\text{C}$
- Elektrik alan da aynı yolla hesaplanır:
- $E = \frac{V}{d} = \frac{V_0}{d} = E_0 = 6 \text{ kV/m}$
- Görüldüğü gibi, aynı bataryaya bağlı kondansatör dielektrik olduğunda daha fazla yük toplamakta, ama levhalar arasındaki elektrik alan aynı kalmaktadır.

Örnek: Şekilde, levhalar arası boşken sığası C_0 olan düzlem kondansatörün, levhaları arasındaki d mesafesinin a kısmını dolduracak şekilde, K sabitli bir dielektrik tabaka konuluyor. Yeni sığa ne olur?



- Düzlem kondansatörün, dielektrik tabaka konulmadan önceki C_0 sığasını yazalım:
- $C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
- Dielektrik konulduğunda, sistemi seri bağlı iki kondansatör gibi, şu şekilde düşünebiliriz:
- Birinci kondansatörün kalınlığı a ve dielektrik sabiti K_1 , ikinci kondansatörün kalınlığı $d-a$ ve dielektrik sabiti $K_2 = 1$ yani arasında boşluk vardır.
- Buna göre, seri bağlı iki kondansatörün eşdeğer sığa formülü yazılır:



- $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{a}{K\varepsilon_0 A} + \frac{d-a}{\varepsilon_0 A}$

- Bu ifadede C_0 oluştururuz:

- $\frac{1}{C} = \frac{d}{\varepsilon_0 A} \left(\frac{a}{Kd} + \frac{d-a}{d} \right) = \frac{1}{C_0} \frac{Kd - (K-1)a}{Kd}$

- Buradan C sığası C_0 ve a, d boyutları cinsinden bulunur:

- $C = \frac{Kd}{Kd - (K-1)a} C_0$

- Bu ifadenin doğruluğunu kontrol etmek için, $a = 0$ limitinde $C = C_0$ verdiğini görebiliriz. Keza, $a = d$ limitinde de, doğru olarak $C = KC_0$ verir.

Örnek: Bir düzlem kondansatörün levhalar arasındaki 4 mm kalınlıktaki boşluk hava ile doludur.

a) Bu kondansatör en fazla kaç voltluk bir potansiyel farkına bağlanabilir?

b) Kondansatör levhaları arasına porselen tabaka konuluyor. Bu kez en fazla kaç voltluk bir potansiyel farkı uygulanabilir? (Dielektrik sertlikler: Hava:

$$E_{max} = 3 \times 10^6 \frac{V}{m}, \text{ porselen: } 12 \times 10^6 \text{ V/m}$$

a) Havanın bir elektrik sertliği $3 \times 10^6 \frac{V}{m}$ demek, elektrik alan şiddeti bu değeri geçerse havanın dielektrik özelliğini kaybedip iletken hale gelmesi demektir. O halde, düzlem kondansatörün levhaları arasındaki maksimum potansiyel farkı, bu E_{max} değeri ile hesaplanır:

- $V = E_{max}d = 3 \times 10^6 \times 0.004 = 12\,000\,V = 12\,kV$

b) Benzer düşünce yöntemi porselen için izlenir:

- $V = E_{max}d = 12 \times 10^6 \times 0.004 = 48\,000\,V = 48\,kV$

Örnek: Dielektrik sabiti 30 ve dielektrik sertliği $15 \times 10^6 \text{ V/m}$ olan bir malzemedен öyle bir düzlem kondansatör yapılmak isteniyor ki sığası 1 nF olsun ve en fazla 30 kV potansiyel farkına bağlanabilsin. Bu kondansatörün levhalarının yüzölçümü ve aralarındaki mesafe ne kadar olmalıdır?

- Kondansatörün dayanacağı potansiyel farkının levhalar arasında oluşturacağı elektrik alan en fazla dielektrik sertliğe eşit olmalıdır:

- $V = E_{max}d$

- Buradan d mesafesi hesaplanır:

- $d = \frac{V}{E_{max}} = \frac{30\,000}{15 \times 10^6} = 0.002\,m = 2\,mm$

- K dielektrik katsayılı düzlem kondansatörün sığa formülü yazılır:

- $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$

- Bu ifadeden A yüzölçümü hesaplanır:

- $A = \frac{Cd}{K\epsilon_0} = \frac{10^{-9} \times 0.002}{30 \times 8.85 \times 10^{-12}} = 0.0075\,m^2 = 75\,cm^2$

TEŞEKKÜR EDERİM

KOCAELİ SAĞLIK
VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ
— 2009 —