



DANGER

HAZARDOUS VOLTAGE INSIDE. DO NOT OPEN.
GEFÄHRliche SPANNUNG. ABDECKUNG NICHT ÖFFNEN.
TENSION DANGEREUSE À L'INTÉRIEUR. NE PAS OUVRIr.
VOLTAGE PELIGROSO EN EL INTERIOR. NO ABRA.
TENSIONE PERICOLOSA ALL'INTERNO. NON APRIRE.
FARLIG ELEKTRISK SPÆENDING INDENI, LUK IKKE OP.
HIERBINNEN GENAARLIJK VOLTAGE. NIET OPENMAKEN.
SISÄPUOLELLA VAARALLINEN JÄNNITE. ÄLÄ AVAA.
FARLIG SPENNING. MÅ IKKE ÅPNES.
NÃO ABRA. VOLTAGEM PERIGOSA NO INTERIOR.
FARLIG SPÄNNING INNUTI. ÖPPNAS EJ.
DİKKAT: YÜKSEK VOLTAJ!! AÇMADAN ÖNCE FİŞİ PİRİZDEN ÇIKARTINIZ.

101-7931

SİZCE NEDEN?

Böyle uyarıcı etiketler çok sayıda elektronik aletlerde vardır. Bu aletlerin içinde neler vardır ki bunları son derece tehlikeli hale sokmaktadır? Aletin kasasını açmadan önce onun fişini prizden çıkartmak, neden sizin emniyette olmanızı sağlar? (George Semple)

b ö l ü m

Sığa ve Dielektrikler

26

Bölüm İçeriği

- | | |
|---|--|
| 26.1 Sığa'nın Tanımı | 26.5 Dielektrikli Kondansatörler |
| 26.2 Sığa'nın Hesaplanması | 26.6 (Seçmeli) Bir Elektrik Alanındaki Elektrik Dipol |
| 26.3 Kondansatörlerin Bağlanması | 26.7 (Seçmeli) Dielektriklerin Atomik Düzeyde Tanıtımı |
| 26.4 Yüklü Kondansatörde Depolanan Enerji | |

Bu bölümde, yük depolayan bir aygıt olan *kondansatörlerin* özelliklerini inceleyeceğiz. Kondansatörler çeşitli elektrik devrelerinde yaygın olarak kullanılır. Örneğin, radyo alıcılarının frekans ayarında, güç kaynaklarında filtre olarak, otomobil ateşleme sistemindeki kıvılcımları yok etmede ve elektronik flaş ünitelerinde enerji depolayan bir aygıt olarak kullanılır.

Bir kondansatör, esas olarak iki iletken arasına konulan bir yalıtkandan ibarettir. Göreceğiz ki böyle bir kondansatörün sığası, geometrisine ve yüklü iletkenleri ayıran *dielektrik* denilen maddeye bağlıdır.

26.1 SİĞA'NIN TANIMI

13.5

Şekil 26.1 de görüldüğü gibi, iki iletkenin eşit büyüklükte fakat zıt işaretli yük taşıdığını varsayalım. İki iletkenin böyle birleşimine **kondansatör** denir. Her bir iletkeni de plaka (levha) denir. İletkenler arasında yükler yüzünden ΔV kadar potansiyel farkı meydana gelir. Potansiyel farkının birimi volt'tur ve çoğunlukla da potansiyel farkına **voltaj** denir. Bir devre elemanı boyunca veya uzakta iki nokta arasındaki potansiyel farkını anlatırken bu terimi kullanacağız.

Verilen bir voltajda, bir *kondansatörün* plakaları üzerinde ne kadarlık bir yük bulunduğunu hangi nicelik belirler? Başka bir deyişle, belirli bir ΔV potansiyelinde yük depolamak için aletin sığa'sı ne olmalıdır? Deneyler gösteriyor ki, bir kondansatör¹ üzerindeki Q yükünün miktarı, iletkenler arasındaki potansiyel farkıyla doğru orantılıdır, yani $Q \propto \Delta V$ dir. Orantı sabiti, iletkenlerin şekline ve birbirlerinden olan uzaklığa bağlıdır.² Eğer sığayı aşağıdaki şekilde tanımlarsak, bu bağıntıyı $Q = C \Delta V$ şeklinde yazabiliriz:

Sığa tanımı

Bir *kondansatörün* C sığası, iletkenlerden biri üzerindeki yükün büyüklüğünün, bunlar arasındaki potansiyel farkının büyüklüğüne oran olarak tanımlanır:

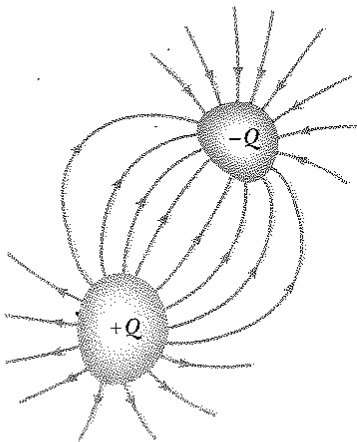
$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (26.1)$$

Tanıma göre, *sığanın her zaman pozitif bir nicelik olacağına* dikkat ediniz. Dahası, Eşitlik 26.1 ile verilen ΔV potansiyel farkı her zaman bir pozitif nicelik. Biriken yük arttıkça potansiyel farkı da artacağından, verilen bir kondansatör için Q/V oranı sabittir. Bu nedenle, bir kondansatörün sığası, onun depoladığı yük miktarı ve elektriksel potansiyel enerjisinin bir ölçüsüdür.

Eşitlik 26.1 den kolayca görülür ki, SI birimlerinde sığa volt başına Coulomb'dur. Sığanın SI birimindeki adı Michael Faraday'ın onuruna (F) yani **farad**'dır. Yani

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$$

dur. Farad çok büyük bir sığa birimidir. Pratikte pek çok aygıtın sığası, mikrofard (10^{-6}) ile pikofard (10^{-12} F) arasında değerler alır. Üreticiler, kondansatörlerin üzerine sığalarını mikrofard (mF) ve pikofard (pF) veya mikrofard (mmF) olarak yazarlar.



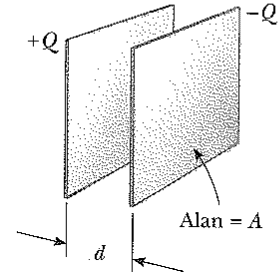
Şekil 26.1 Bir Kondansatör, iki iletkenin ibaret olup, eşit fakat zıt işaretli yükler taşır.

¹ Her ne kadar kondansatörün toplam yükü sıfırda, (çünkü iletkenin biri üzerinde fazladan pozitif yük bulunuyorsa, diğeri üzerinde de fazladan o miktarda negatif yük bulunacaktır). İletkenlerden birinin üzerindeki yükün büyüklüğü, genellikle pratikte "kondansatörün yükü" olarak kullanılır.

² Q ve ΔV arasındaki orantılık, Coulomb yasası veya deneysel yollardan ispatlanabilir.



Çeşitli yerlerde kullanılan kondansatörlerden bir koleksiyon (Henry Leap ve Jim Lehman)



Şekil 26.2 Paralel plakalı bir kondansatör, herbirinin alanı A olan ve birbirlerinden d uzaklığı ile ayrılan iki paralel plakadan oluşur. Kondansatör yüklendiği zaman plakalar eşit miktarda yükler taşır. Bir plaka pozitif yük taşıırken diğeri negatif yük taşır.

Şekil 26.2'de görüldüğü gibi, bir çift paralel plakadan oluşan bir kondansatörü inceleyelim. Her bir plaka, potansiyel farkı kaynağı gibi rol oynayan (Şekil 26.2'de gösterilmeyen) bir üretcin (pilin) her bir kutbuna bağlanmış olsun. Başlangıçta kondansatör yüksük ise, üretece bağlantı yapıldığında elektrik alan bağlantı telleri üzerinden kurulur. Önce üretcin negatif kutbuna bağlanmış olan plakaya bakalım. Bu plakanın hemen dışında oluşturulan elektrik alan tel içindeki elektronlar üzerine bir kuvvet uygular, bu kuvvet, elektronların plaka üzerine doğru hareketine sebep olur. Bu hareket, plaka, tel ve üreteç kutbunun aynı elektriksel potansiyele gelinceye kadar devam eder. Bu denge durumu bir defa kurulduğunda, artık batarya (üreteç) kutbu ile plaka arasında potansiyel farkı bulunmaz ve bu yüzden de tel içinde elektrik alanı olamaz ve elektronların hareketi durur. Böylece plaka negatif yüklenmiş olur. Kondansatörün diğer plakasında da benzer bir olay oluşur. Burada, plakadan tele doğru hareket eden elektronlar, plakayı pozitif olarak yüklerler. Bu son durumda, kondansatörün plakaları arasında potansiyel farkı, bataryanın kutupları arasındaki kadardır.

4 pF lık bir kondansatörümüz olsun. Bu değer, iki iletken arasındaki her bir voltluk potansiyel farkı için kondansatörde 4 pC luk yük depo edilebileceğini gösterir. Kondansatörün 9 V'luk bir bataryaya bağlandığını düşünürsek, kondansatörün uçlarından biri -36 pC, diğeri de +36 pC luk net yükü yükleyecektir.

26.2 SİĞA'NIN HESAPLANMASI

Bir çift zıt işaretli yüklerle yüklenmiş iletkenin sığasını aşağıdaki şekilde hesaplayabiliriz: Yükün büyüklüğünü Q farzederek, önceki bölümde anlatılan teknik kullanarak potansiyel farkını hesaplarız. Sonra sığa, $C = Q/V$ ifadesinden kolayca hesaplanır. Kondansatörün geometrisi basitse beklendiği gibi hesaplamak çok daha kolay olur.

Yarıçapı R ve üzerindeki yükü Q olan yalıtılmış bir iletken kürenin sığasını hesaplayalım. İkinci iletkeni, aynı merkezli sonsuz yarıçaplı içi boş bir küre olarak alalım.) R yarıçaplı kürenin elektriksel potansiyeli basitçe $k_e Q/R$ olduğundan (sonsuzda $V = 0$) bu kürenin sığası

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{k_e Q/R} = \frac{R}{k_e} = 4\pi\epsilon_0 R \quad (26.2)$$

olur. Bu ifade yalıtılmış, yüklü bir kürenin sığasının, küre üzerindeki yük ve potansiyel farkının her ikisinden bağımsız, yalnızca kürenin yarıçapı ile oran-

Ev Deneyi

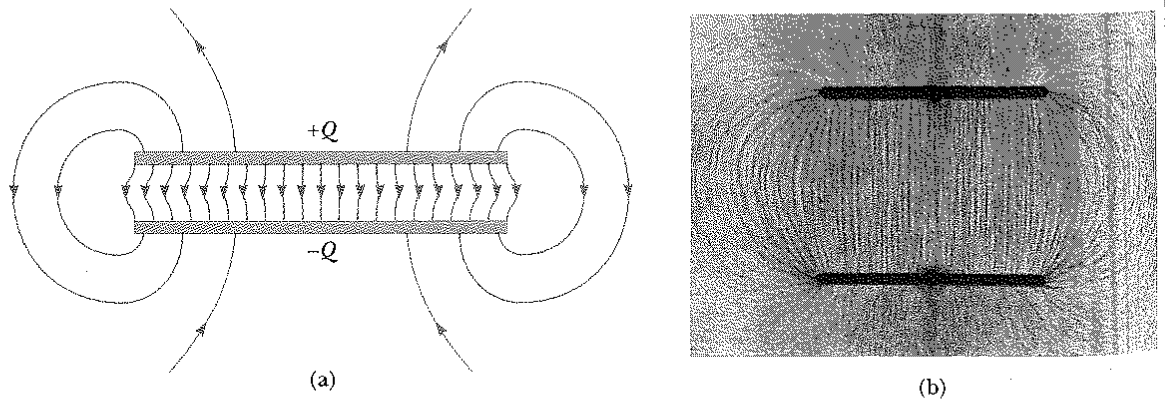
Bazı çoraplarınızı yuvarlayarak top yapın ve onları bir ayakkabı kutusuna tıkm. Kutu içine kaç tane çorabın sığdığı neyi belirtir? Çorapların zorlukla itilmesi, bir kondansatördeki ΔV ile ilişkilidir. Kutunun boyutları "çorap kapasitesini" nasıl etkiler?

tılı olduğunu gösterir. Bir çift iletkeniden oluşan kondansatörün sağısı iletkenlerin geometrisine bağlıdır. Bunu, herkesçe çok iyi bilinen üç geometrik şekil üzerinde gösterelim. Bunlar, iki paralel plaka, iki aynı eksenli silindir ve iki aynı merkezli küre olsun. Bütün bu örneklerde yüklü iletkenlerin birbirlerinden vakkum (boşluk)la ayrıldığını varsayalım. İletkenler arasındaki dielektrik maddenin etkisi kesim 26.5 de incelenecektir.

Paralel Plakalı Kondansatörler

Eşit A yüzey alanlarına sahip iki paralel metal plaka, Şekil 26.2 deki gib d uzaklığı ile birbirlerinden ayrılırlar. Plakalardan birinin yükü $+Q$, ötekini yükü $-Q$ dür. Sistemin yük depolamasında, bu iletkenlerin geometrisinin sığayı nasıl etkilediğini inceleyelim. Bu arada aynı işaretli yüklerin birbirini ittiğini de hatırlayalım. Kondansatör, bir batarya tarafından yüklenirken, elektronlar pozitif plakadan çıkıp, negatif plakaya doğru akar. Kondansatörün plakaları büyüse, toplanan yükler plaka yüzeyinin her tarafına kendi kendine dağılır ve plaka alanı arttığında, verilen potansiyel farkında plaka üzerindeki miktarı da artar. Buradan sığanın, plaka alanı A ile orantılı olmasını bekleriz.

Şimdi plakalar arasındaki bölgeyi ele alalım. Eğer bataryanın kutupları arasındaki potansiyel farkı sabitse, plakalar arasındaki elektrik alan d aralığı arttıkça artmak zorundadır. Şimdi plakaları birbirlerine yaklaştırdığımızı düşünelim ve bu yer değiştirmeye cevap verecek şekilde yük düzeninde bir değişme olmadan önceki durumu inceleyelim. Yükler hareket etmemiş olduğundan, plakalar arasındaki elektrik alan aynı değerde kalmıştır, fakat plakalar arasında daha dar bir alanı kapsamıştır. Böylece, plakalar arasındaki potansiyel farkının büyüklüğü $\Delta V = Ed$ (Eşitlik 25.6) şimdi küçülmüştür. Bataryayı kondansatöre bağlayan bağlantı telleri boyunca ortaya çıkan potansiyel farkı, şimdi bataryanın kutupları arasındaki voltaj ile bu yeni kondansatörün voltajı arasındaki fark kadardır. Bu potansiyel farkı tellerde bir elektrik alan oluşur ve bu alan da plakalar üzerinde daha fazla yük birikimine yol açarak, plakalar arasındaki potansiyel farkını artırır. Plakalar arasındaki potansiyel farkı tekrar batarya ile denk olduğunda, teller boyunca potansiyel farkı azalarak sıfır olur ve yük hareketi durur. Böylece, plakalar hareket ettirilerek birbirlerine yaklaştırıldığında kondansatör üzerindeki yükün artmasına sebep olunur. Eğer d açıklığı artarsa yük azalır. Sonuç olarak, aletin sığasının d ile ters orantılı olarak değişmesini bekleriz.



Şekil 26.3 (a) Paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasındaki elektrik alan, merkeze yakın yerlerde düzgün, fakat plakaların kenarlarına yakın bölgelerde düzgün değildir. (b) Zıt yüklü iki iletken paralel plakanın elektrik alan deseni. Bir yağ yüzeyi üzerinde küçük iplik parçacıkları elektrik alan tarafından sıraya dizilir. (b) Harold M. Waage, Princeton Üniversitesi izniyle).

Şimdi bu fiziksel tartışmayı matematiksel olarak doğrulayabiliriz. Her plaka üzerinde birim alan başına yük $\sigma = Q/A$ dır. Plakalar birbirlerine çok yakın ise, (uzunluk ve genişliklerine kıyasla) plakalar arasında düzgün bir elektrik alan bulunduğunu ve buranın dışında her yerde elektrik alanın sıfır olduğunu varsayalım. Örnek 24.8 in son paragrafına göre plakalar arasındaki elektrik alan,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

ifadesi ile verilir. Plakalar arasındaki elektrik alan düzgün ve plakalar arasındaki potansiyel farkı Ed ye eşit olduğundan (bakınız Eşitlik 25.6);

$$\Delta V = Ed = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

elde edilir. Bunu Eşitlik 26.1 de yerine koyarsak, kondansatörün sığasını,

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Qd/\epsilon_0 A}$$

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

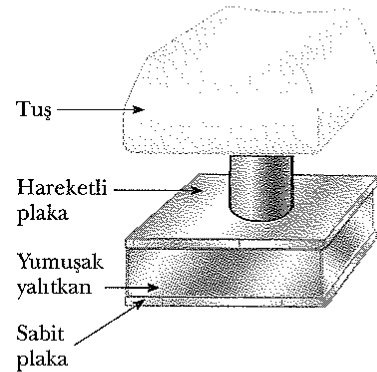
(26.3)

olarak elde ederiz. Yani, **bir paralel plakalı kondansatörün sığası, plakanın birinin yüzey alanı ile doğru orantılı, levhalar arasındaki uzaklıkla ters orantılıdır.** Bu beklediğimiz bir sonuçtur.

Paralel plakalı kondansatörün elektrik alan çizgileri dikkatle incelendiğinde (Şekil 26.3a) plakalar arasındaki merkezî bölgede düzgün bir elektrik alan bulunduğu görülür. Fakat plakaların kenarlarında elektrik alan düzgün değildir. Şekil 26.3b'deki fotoğraf, paralel plakalı kondansatörün elektrik alan deseninin fotoğrafıdır. Kenarlarında düzgün olmayan elektrik alan çizgilerinin bulunduğu dikkat ediniz. Bu tür kenar etkiler, plakaların uzunluğuna kıyasla plakalar arasındaki uzaklığın çok küçük olması halinde ihmal edilir.

Sınama Sorusu 26.1

Bir çok bilgisayar klavyelerinin düğmeleri Şekil 26.4 de görüldüğü gibi kondansatörlerden yapılmıştır. Harf tuşuna aşağı doğru bastırıldığında zaman sabit plaka arasındaki yumuşak yalıtkan sıkıştırılmış olur. Tuşa basıldığında zaman, sığa (a) artar mı? (b) azalır mı? veya (c) tesbit edemeyeceğimiz bir yolla değişir mi? Çünkü ΔV deki değişmeye neden olabilecek çok karışık elektrik devreleri klavye tuşlarına bağlanmıştır.



Şekil 26.4 Bir bilgisayar klavye tuşu

ÖRNEK 26.1 Paralel Plakalı Kondansatör

$A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ yüzeye sahip bir paralel plakalı kondansatörün plakaları arasındaki uzaklık $d = 1 \text{ mm}$ dir. Bu kondansatörün sığasını bulunuz.

Çözüm Eşitlik 26.3 den,

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = (8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2) \left(\frac{2,00 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{1,00 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)$$

$$= 1,77 \times 10^{-12} \text{ F} = 1,77 \text{ pF}$$

olarak buluruz.

Aıştırma Bu kondansatörün plaka aralığı 3 mm ye çıkarılırsa sığasını bulunuz.

Cevap 0,59 pF.

Silindirik ve Küresel Kondansatörler

İlke olarak, sığanın tanımından, herhangi bir geometrik şekile sahip iletkenin sığasını bulabiliriz. Aşağıdaki örnekler, tanımı kullanarak, silindirik ve küre gibi belli geometrilere sahip kondansatörlerin sığalarının hesaplanışını göstermektedir.

ÖRNEK 26.2 Silindirik Kondansatör

Dolu bir silindirik iletkenin yarıçapı a ve yükü $+Q$ dur. Aynı eksenli, daha büyük ve ihmal edilebilecek kalınlıkta silindirik bir kabuğun yarıçapı $b > a$ ve yükü $-Q$ dur (Şekil 26.5a). ℓ uzunluklu bu silindirik kondansatörün sığasını bulunuz.

Çözüm Bu düzeneğe fiziksel düşünüşü uygulamak oldukça zordur. Buna rağmen, paralel plakalı kondansatörlerde sığanın plaka yüzeyinin alanı ile orantılı olması ve depolanan yükün geniş bir yayılma alanına sahip olması gibi, silindirin uzunluğu ℓ ile, orantılı olduğunu beklemek akla uygundur. a ve b ile karşılaştırıldığında ℓ çok büyük ise, kenar etkileri ihmal edebiliriz. Bu durumda elektrik alan, silindirlerin eksenine diktir ve iki silindir arasındaki bölgede hapsedilmiştir. (Şekil 26.5b). İlk olarak iki silindir arasındaki potansiyel farkını hesaplamalıyız. Bu da,

$$V_b - V_a = - \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

genel ifadesi ile verilir. Burada \mathbf{E} , $a < r < b$ bölgesindeki elektrik alanıdır. Bölüm 24 de Gauss yasasını kullanarak gösterdik ki, silindirin birim uzunluğu başına yükünü λ olarak aldığımızda, silindirin elektrik alanı $E_r = 2k\lambda/r$ dir (Eşitlik 24.7). Gauss yasasına göre, dıştaki silindirin içteki elektrik alana hiç bir katkısı bulunmadığından aynı sonuç burada da kullanılır. Bu sonucu kullanarak ve Şekil 26.5b de \mathbf{E} 'nin r boyunca olduğuna dikkat ederek

$$V_b - V_a = - \int_a^b E_r dr = -2k\lambda \int_a^b \frac{dr}{r} = -2k\lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

buluruz. Bunu Eşitlik 26.1 de yerine koyar ve $\lambda = Q/\ell$ gerçeğini kullanarak

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{\frac{2k_e Q}{\ell} \ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{\ell}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (26.4)$$

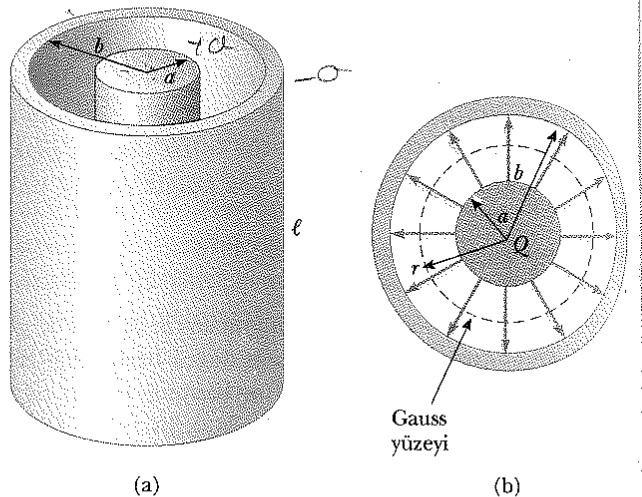
elde ederiz. ΔV potansiyel farkının büyüklüğü $\Delta V = |V_b - V_a|$

$= 2k_e \lambda \ln(b/a)$ ile verilir ve pozitif bir niceliktir. Bulunan bu değer, beklenildiği gibi sığanın silindirin uzunluğu ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Eşitlik 26.4'e göre, bir koaksiyel kabloun birim uzunluğundaki sığanın

$$\frac{C}{\ell} = \frac{1}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (26.5)$$

şeklinde olacağını görüyoruz. Bir yalıtkan ile birbirlerinden ayrılmış a ve b yarıçaplı, aynı eksenli silindirik iletkenlerin oluşturduğu koaksiyel kablo buna tipik bir örnektir. Böyle bir kablo içteki ve dıştaki iletkenlerde zıt yönde bir akım taşıyabilir. Böyle bir geometri, özellikle bir elektriksel sinyali harici dalgalanmalardan (parazitlerden) korumak için yararlıdır.

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$



Şekil 26.5 (a) Bir silindirik kondansatör, a yarıçaplı ve ℓ uzunluklu silindirik bir iletkenin çevresine aynı eksen ve uzunlukta b yarıçaplı bir silindirik kabuğun geçirilmesiyle oluşur. (b) Silindirik kondansatörün kesit görünümü. Kesitteki kesikli mavi çizgi r yarıçaplı ve ℓ uzunluklu silindirik Gauss yüzeyini temsil eder.

ÖRNEK 26.3 Küresel Kondansatör

Küresel bir kondansatör, $-Q$ yüklü b yarıçaplı küresel bir iletken ile aynı merkezli daha küçük a yarıçaplı $+Q$ yüklü bir küre ile oluşturuluyor (Şekil 26.6). Bu kondansatörün sığasını bulunuz.

Çözüm Bölüm 24 de gösterildiği gibi, küresel simetrik bir yük dağılımının dışındaki elektrik alan ışınsal doğrultuda ve $k_e Q/r^2$ ifadesi ile verilir. Bu durumda bu ifade küreler arasındaki ($a < r < b$) elektrik alanına uygulanabilir.

Gauss yasasına göre yalnızca içteki küre bu alana katkıda bulunacaktır. O halde küreler arasındaki potansiyel farkı

$$V_b - V_a = - \int_a^b E_r dr = -k_e Q \int_a^b \frac{dr}{r^2} = k_e Q \left[\frac{1}{r} \right]_a^b$$

$$= k_e Q \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)$$

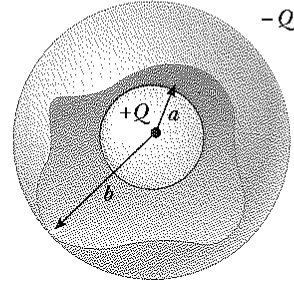
ile verilir. Potansiyel farkının büyüklüğü ise

$$\Delta V = |V_b - V_a| = k_e Q \frac{(b - a)}{ab}$$

olur. Bu ΔV değerini Eşitlik 26.1'de yerine koyarsak

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{ab}{k_e(b - a)} \quad (26.6)$$

buluruz.



Şekil 26.6 Bir küresel kondansatör, yarıçapı a olan kürenin etrafına aynı merkezli b yarıçaplı bir küresel kabuk geçirilmesi ile elde edilir. İçteki küre pozitif yüklenmişse, küreler arasındaki elektrik alan, yarıçap doğrultusunda içeriden dışarı doğrudur.

Alıştırma Dıştaki kürenin b yarıçapı sonsuza yaklaşırken sığanın da $a/k_e = 4\pi\epsilon_0 a$ değerine yaklaşacağını gösteriniz.

Sınama Sorusu 26.2

Örnek 26.3 deki küresel kondansatörün dışındaki bölgede elektrik alanın büyüklüğü ne kadardır?

26.3 KONDANSATÖRLERİN BAĞLANMASI

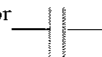
Bir elektrik devresinde iki veya daha fazla kondansatör çoğunlukla birbirlerine bağlanırlar. Belirli bir şekilde bağlanmış kondansatörlerin eşdeğer sığası, bu kesimde anlatılan yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Kondansatör ve bataryaların devre sembelleri ve renk kodları Şekil 26.7 de gösterilmiştir. Kondansatörün simgesi, en yaygın geometriye sahip olan bir çift plakayı yansıtır. Bataryalarda pozitif kutup yüksek potansiyeldedir ve batarya simgesinde uzun, dikey çizgi ile gösterilir.

Paralel Bağlama

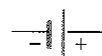
İki kondansatörün Şekil 26.8a daki gibi birleştirilmesi, *kondansatörlerin paralel bağlanması* olarak bilinir. Şekil 26.8b, paralel bağlı kondansatörlerin devre şemasını göstermektedir. Kondansatörlerin sol taraftaki plakası iletken bir telle bataryanın pozitif kutbuna bağlanır ve böylece plakalar bataryanın pozitif kutbu ile aynı potansiyelde olur. Aynı şekilde, sağ taraftaki plakalar bataryanın negatif kutbuna bağlanır ve bu plakalar da bataryanın negatif kutbu ile aynı potansiyelde olur. Böylece paralel bağlı her bir kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı hepsinde aynıdır ve bağlantının tümüne uygulanan potansiyel farkı eşittir.

Şekil 26.8'de gösterilen devrede bağlantının uçlarına uygulanan voltaj, bataryanın kutupları arasındaki voltajdır. Bu durum diğer devre elemanları ile

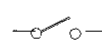
Kondansatör
simgesi



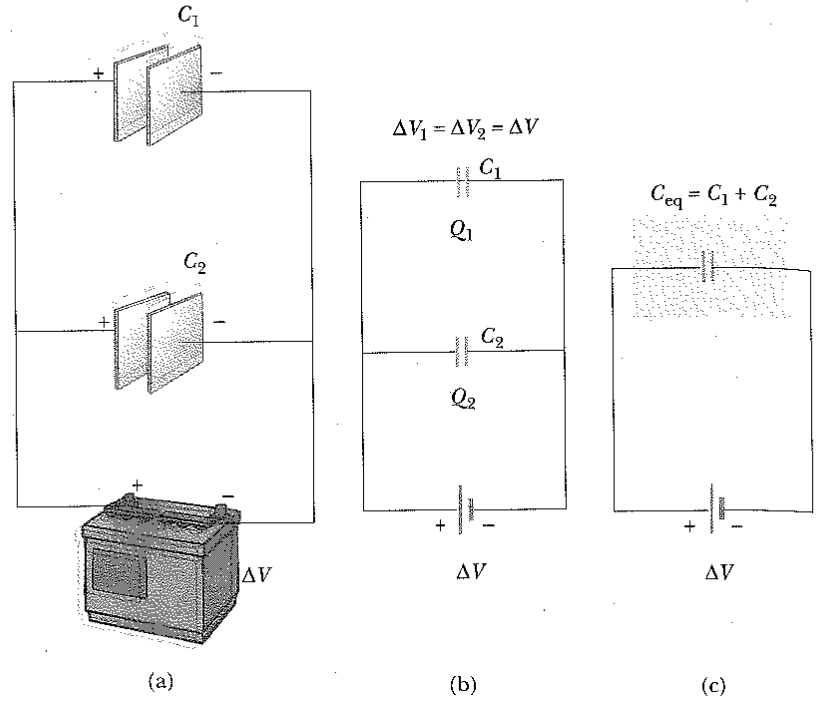
Batarya
simgesi



Anahtar
simgesi



Şekil 26.7 Batarya, kondansatör ve anahtarın devre sembelleri. Kondansatörün mavi, bataryanın kırmızı renkte olduğuna dikkat ediniz.



Şekil 26.8 (a) Paralel bağlı iki kondansatör (b) Paralel bağlama için devre diyagramı, (c) Her bir kondansatörün uçlarındaki potansiyel farkı aynıdır ve eşdeğer sığa $C_{eq} = C_1 + C_2$ dir.

devredeki paralel bağlanmada oluşur ve benzer durumdaki tüm devrenin incelenmesi ile de bağlantı boyunca potansiyel farkı belirlenir.

Şekil 26.8'de gösterilen devrede kondansatör ilk defa devreye bağlandığında, elektronlar batarya üzerinden sol plakadan sağ plakaya doğru akarlar ve sol plakayı pozitif, sağ plakayı da negatif yüklü hale getirirler. Bu yük transferinin enerji kaynağı, batarya içinde depolanan kimyasal enerjidir. Bağlama gerçekleştiğinde, bu enerji elektriksel potansiyel enerjiye dönüşür. Yük akışı batarya voltajı kondansatör voltajına eşit olduğu zaman durur. Yük akışı durduğu zaman, kondansatörler maksimum yüke ulaşır. Bu iki kondansatörün maksimum yüklerine Q_1 ve Q_2 diyelim. O zaman her iki kondansatörde depolanan toplam Q yük,

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (26.7)$$

olur. Yani, **paralel bağlı kondansatörlerde toplam yük, her bir kondansatörün üzerindeki yüklerin toplamına eşittir.** Kondansatörlerin uçları arasındaki potansiyel farkı aynı olduğundan, her birinin taşıdığı yük,

$$Q_1 = C_1 \Delta V \quad Q_2 = C_2 \Delta V$$

olur.

Bu iki kondansatörün yerine bir tane C_{eq} eşdeğer sığaya sahip, Şekil 26.8c'de gösterildiği gibi bir kondansatör konduğunu düşünelim. Bu eşdeğer kondansatör, devrede iki kondansatörün gösterdiği etkinin aynısını göstermek zorundadır. Yani bataryaya bağlandığında, Q kadar yük depolamak zorundadır. Şekil 26.8c'te görüldüğü gibi, eşdeğer kondansatör bataryanın kutuplarına

doğrudan bağlandığından eşdeğer kondansatörün uçları arasındaki voltaj da ΔV 'dir. O halde eşdeğer kondansatör için

$$Q = C_{es} \Delta V$$

$$C_{es} = \frac{Q}{\Delta V}$$

olur. Yüklerle ilgili bu üç denklemi Eşitlik 26.7 de yerine yazarsak,

$$C_{es} \Delta V = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$$

veya,

$$C_{es} = C_1 + C_2 \quad (\text{Paralel bağlama})$$

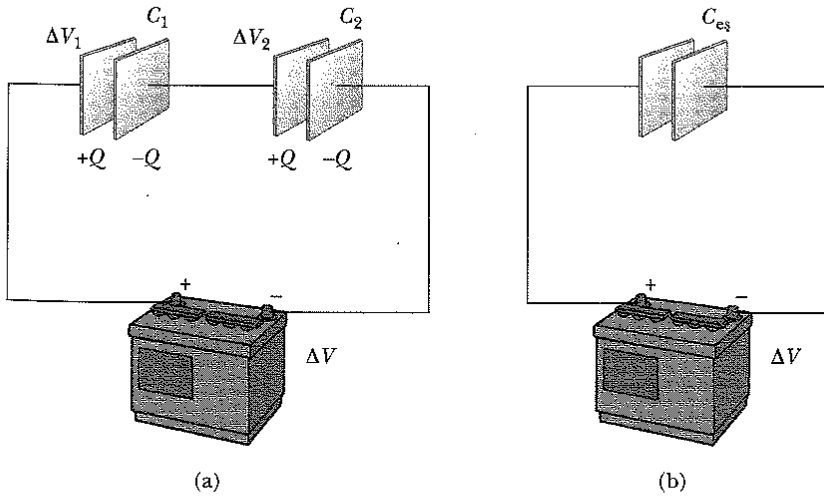
buluruz. Bu işlemi üç veya daha fazla paralel bağlı kondansatörlere genişletirsek, eşdeğer sığayı

$$C_{es} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (\text{Paralel bağlama}) \quad (26.8)$$

olarak buluruz. O halde, **paralel bağlı kondansatörlerin eşdeğer sığası, her bir kondansatörün sığasından daha büyük olur.** Bu anlamlıdır, çünkü iletken tellerle birleştirmekle, aslında tüm kondansatör plakalarının yüzey alanlarını birleştirmiş oluruz.

Seri Bağlama

Şekil 26.9 da gösterildiği gibi, iki kondansatörün bağlanışına kondansatörlerin *seri bağlanması* denir. Soldaki 1inci kondansatörün sol plakası ve sağdaki 2inci kondansatörün sağ plakası bataryanın kutuplarına bağlanmıştır. Diğer iki plaka sadece birbirlerine bağlıdır, dolayısıyla bunlar yalıtılmış bir iletken oluştururlar, yani başlangıçta yüksüzdürler ve hep net yükleri sıfır olarak kalacaktır. Bu bağlanmayı biraz ayrıntılı inceleyelim. Önce yüksüz kondansatörlerle işe başlayalım ve devreye bir batarya bağlandıktan hemen sonra ne olacağını izleyelim. Batarya bağlandığında elektronlar, batarya üzerinden geçerek,



$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

6.8c Şekil 26.9 (a) Seri bağlanmış iki kondansatör. Her bir kondansatör üzerindeki yük aynıdır. (b) Kondansatörler tek bir eşdeğer kondansatörle yer değiştirmiştir. Eşdeğer sığa aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır:

soldaki C_1 plakasından sağdaki C_2 plakasına nakledilirler. Sağdaki C_2 plakası üzerine negatif yükler toplandıkça, C_2 nin sol plakası üzerindeki eşit miktarda negatif yükler, geride pozitif artık yükler bırakarak orayı terke zorlanır. Soldaki C_2 plakasını terk eden negatif yükler, iletken teller üzerinden akarak C_1 'in sağ plakası üzerinde toplanır. Bunun sonucunda, sağdaki bütün plakalar $-Q$ yükü kazanırken, soldaki tüm plakalar $+Q$ yüke sahip olurlar. **O halde seri bağlamada, kondansatörlerin üzerindeki yükler aynıdır.**

Şekil 26.9a ya göre bataryanın uçları arasındaki ΔV potansiyel farkı, iki kondansatör arasında paylaşılır:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 \quad (26.9)$$

Burada ΔV_1 ve ΔV_2 , C_1 ve C_2 kondansatörlerinin uçlarındaki potansiyel farkıdır. Genel olarak, **seri bağlı herhangi bir sayıdaki kondansatörlerin uçları arasındaki potansiyel farkı, bireysel kondansatörlerin uçları arasındaki potansiyel farklarının toplamına eşittir.**

Eşdeğer kondansatörün, seri bağlananlarla aynı görevi yaptığını varsayalım. Yüklene tamamlandıktan sonra, eşdeğer kondansatörün sağ plakası üzerinde $-Q$, sol plakası üzerinde $+Q$ yükleri bulunmalıdır. Şekil 26.9b deki devreye sığanın tanımı uygulandığında

$$\Delta V = \frac{Q}{C_{es}}$$

bulunur.

$Q = C\Delta V$ ifadesi her bir kondansatöre uygulanabileceğinden, Şekil 26.9a da gösterilen her bir kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı,

$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

olur. Bu ifadeleri Eşitlik 26.9'da yerine yazıp ve $\Delta V = Q/C_{es}$ olduğuna dikkat edersek

$$\frac{Q}{C_{es}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

bulunur. Q 'leri kısaltarak,

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \left(\begin{array}{c} \text{seri} \\ \text{bağlama} \end{array} \right)$$

bağıntısına varırız. Bu analiz, üç veya daha fazla seri bağlı kondansatöre uygulanırsa, eşdeğer sığa için

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad \left(\begin{array}{c} \text{seri} \\ \text{bağlama} \end{array} \right) \quad (26.10)$$

buluruz. Bu da, **seri bağlı kondansatörlerin eşdeğer sığasının, her bir kondansatörlerin sığasından çok daha küçük olduğunu gösterir.**

ÖRNEK 26.4 Eşdeğer Sığa

Şekil 26.10a'da görülen kondansatörlerin a ve b noktaları arasındaki eşdeğer sığasını bulunuz. Bütün birimler μF 'dir.

Çözüm Eşitlik 26.8 ve 26.10'u kullanarak verilen bileşimi adım adım şekilde gösterilene indirgeyebiliriz. $1\mu F$ ve $3\mu F$ lık kondansatörler paralel bağlı olduğundan, $C_{es} = C_1$

$+C_2$ 'dir ve eşdeğer sığa $4\mu F$ olur. Aynı şekilde $2\mu F$ ve $6\mu F$ lık kondansatörler de paraleldir ve eşdeğer sığası $8\mu F$ 'dir. Şekil 26.10b'de üstteki kolda seri bağlı iki tane $4\mu F$ lık kondansatör bulunmaktadır. Bunlar için,

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{4,0\mu F} + \frac{1}{4,0\mu F} = \frac{1}{2,0\mu F}$$

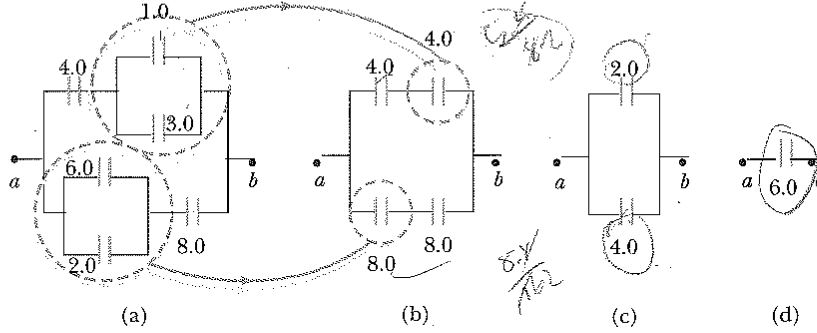
$$C_{es} = \frac{1}{1/2,0\mu F} = 2,0\mu F$$

olur. Aynı şekilde, 26.10b'de alttaki kolda iki tane $8\mu F$ 'lık

kondansatör seri bağlıdır. Bunlar $4\mu F$ 'lık eşdeğer sığa oluşturur. Son olarak, $2\mu F$ ve $4\mu F$ 'lık kondansatörler Şekil 26.10c de paralel bağlıdır ve bunların eşdeğer sığası $6\mu F$ 'dır. Buradan, devrenin toplam eşdeğer sığası $6\mu F$ olarak bulunur.

Alıştırma $3\mu F$, $6\mu F$ ve $12\mu F$ sığalara sahip üç kondansatör veriliyor. Bunlar (a) Paralel (b) seri bağlı iseler eşdeğer sığayı bulunuz.

Cevap (a) $21\mu F$, (b) $1,71\mu F$.



Şekil 26.10 Kondansatörlerin eşdeğer bağlanmasını bulmak için, (a) daki çeşitli karışık bağlamalar (b), (c) ve (d) de gösterildiği gibi, metin içinde verilen seri ve paralel bağlama kuralları ile adım adım indirgenir.

26.4 YÜKLÜ KONDANSATÖRDE DEPOLANAN ENERJİ

Hemen hemen tüm elektronik cihazlarla uğraşan bir çok kimse bir kondansatörün enerji depolayabildiğini görmüştür. Yüklü bir kondansatörün plakaları bir iletkenle, örneğin bir telle, birbirlerine temas ettirilirse, her iki plaka yük-süz hale gelinceye kadar yükler bir plakadan ötekine aktarılırlar. Bu elektrik-sel boşalma bazen görünür bir kıvılcım olarak gözlenir. Yüklü bir kondansatörün zıt işaretli plakalarına istemeden dokunacak olsanız, parmaklarınız, boşalacağı bir yol gibi davranacak ve bir elektrik şokuna maruz kalacaktınız. Şokun derecesini, sığaya ve kondansatöre uygulanan voltaja bağlı olarak hissedecektiniz. Böyle bir şok, yüksek voltaj varsa öldürücü olabilir. Örneğin televizyonların güç kaynakları oldukça tehlikelidir. Çünkü yükler kondansatörlerde depolanmış halde bulunduğundan, anahatları kapalı ve hatta fişten çıkarılmış bile olsa televizyonun arka kapağını açmak ve içindeki parçalara dokunmak güvenli değildir.

Başlangıçta yüksüz olan paralel plakalı bir kondansatörü ele alalım; başlangıçta levhaları arasındaki potansiyel farkı sıfır olsun. Şimdi kondansatörün bir bataryanın uçlarına bağlandığını düşünelim ve maksimum Q yüküne ulaşsın. Kondansatörün yavaşça dolduğunu (yüklendiğini) varsayacağız. O durumda problem bir elektrostatik sistem gibi incelenebilir. Kondansatör bataryaya bağlandığında, negatif kutuplu olan plakanın dışındaki teldeki elektronlar plakaya doğru hareket ederek plakayı negatif olarak yüklerler. Pozitif kutba bağlı plakadaki elektronlar, plakayı terkedip tel içinden geçip gittiğinden plaka pozitif olarak yüklenir. Böylece, yükler tel içinde çok kısa bir uzaklık kat ederler.

Kondansatörlerin enerjisini hesaplamada farklı bir sürecin oluştuğunu farzedebiliriz. Bu süreç gerçekten oluşmasa da aynı doğru sonucu verir. Böyle

Ev Deneyi

İşte, batarya değiştirme esnasında programları veya yazdığınız değerleri korumak için sizin hesap makinasının bir kondansatöre sahip olduğunu anlamamanın yolu: Hesap makinasının pillerini çıkartın ve tekrar hızlı bir şekilde yerlerine takın. Hesap makinasının pilleri çıkartılıp takıldıktan sonra hafızaya kadedtiğiniz numara hâlâ saklı durmakta mıdır? (Bunu denemeden önce, hesap makinasının hafızasında olan herhangi bir önemli numara veya programı bir yere yazmanız tavsiye olunur?)

Yüklü kondansatörde depolanan enerji

bir yaklaşım yapabiliriz, çünkü en son durumdaki enerji, gerçek yük transferi sürecine bağlı değildir. Negatif kutba bağlı plaka üzerinde çok küçük miktardaki bir pozitif yüke ulaşp yakalayalım ve bu pozitif yükü plaka üzerinden ayıracak bir kuvvet uygulayarak pozitif kutba bağlı plakaya götürdüğümüzü kabul edelim. Böylece, yükü bir plakadan diğer plakaya götürmek için yük üzerine bir iş yapmış oluruz. İlk olarak, bir levhadan diğer levhaya çok küçük miktardaki dq yükünü götürmede işe ihtiyaç yoktur.³ Bununla beraber bir defa bu yük nakledildiğinde, plakalar arasında küçük bir potansiyel farkı var olmuştur. Onun için, bu potansiyel farkında ek bir yükün bir yerden diğer yere hareketinde iş yapılması zorunludur. Daha çok yük bir plakadan diğer plakaya götürüldükçe, potansiyel farkı da arttıkça artar ve daha çok işe ihtiyaç duyulur.

Yüklenme sürecinin herhangi bir anında kondansatör üzerindeki yükün q olduğunu varsayalım. Aynı anda kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı $\Delta V = q/C$ dir. Kesim 25.2 den biliyoruz ki, bir dq yükünü $-q$ yüklü plakadan $+q$ yüklü plakaya (daha yüksek potansiyelli) nakletmek için gerekli iş,

$$dW = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$

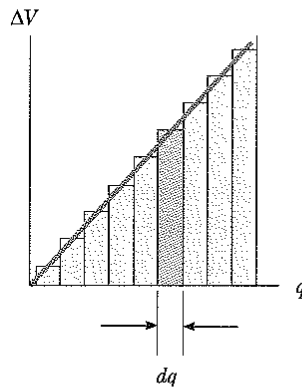
ile verilir. Böylece, Şekil 26.11 de gösterilen kondansatörü $q = 0$ dan herhangi bir $q = Q$ yüküne kadar doldurmak için gereken toplam iş

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$$

olur. Kondansatörün yüklenmesinde yapılan bu iş, kondansatörde depolanan potansiyel enerji (U) olarak alınabilir. Yüklü bir kondansatörde depolanan elektrostatik enerjisi aşağıdaki biçimlerde

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 \quad (26.11)$$

yazabiliriz. Bu sonuç, kondansatörlerin geometrisine bakılmaksızın herhangi bir kondansatöre uygulanabilir. Bu ifadeye göre sığa ve potansiyel enerji arttıkça potansiyel farkı da artar. Pratikte, depolanabilen maksimum enerjinin



Şekil 26.11 Bir kondansatörde, potansiyel farkının yüküne göre değişiminin grafiği, eğimi $1/C$ olan bir doğrudur. Mavi küçük gölgeli dikdörtgen alan, kondansatör plakaları arasındaki ΔV potansiyel farkı boyunca dq yükünü hareket ettirmek için gereken işi gösterir. Kondansatöre son Q yükünü yüklemek için gerekli toplam $W = \frac{1}{2} Q \Delta V$ işi, doğrusal çizginin altındaki üçgenin alanına eşittir. ($1V = 1J/C$ olduğunu unutmayın.)

³ Yükleme durumunda, kondansatör üzerindeki yük değişimi için küçük q harfini kullanınız. Tamamen yüklendikten sonraki durumu ayırmak için, kondansatör üzerindeki toplam yükü büyük Q harfi ile gösteriniz.

(ya da yükün) bir sınırı vardır. Çünkü, ΔV yeterince büyük değerlerine ulaşınca kondansatörün plakaları arasında eninde sonunda bir elektrik boşalması oluşur. Bundan dolayı, genellikle kondansatörlerin üzerine maksimum çalışma voltajı yazılır.

Sinama Sorusu 26.3

Bir batarya ve üç kondansatöre sahipsiniz. Mümkün olan en fazla enerjinin kondansatörlerde depolanması için, bir devrede batarya ve kondansatörleri nasıl bağlamalısınız?

Bir kondansatörde depolanan enerji, elektrik alanda depalanmış gibi düşünülebilir, buradaki elektrik alan, kondansatör yüklenirken plakalar arasında oluşan alandır. Bu anlatım akla uygundur; çünkü elektrik alan kondansatör üzerindeki yüklerle orantılıdır. Bir paralel plakalı kondansatörde potansiyel farkı elektrik alana $V = Ed$ bağıntısı ile bağlıdır. Dahası kondansatörün sığası $C = \epsilon_0 A/d$ ile verilir (Eş. 26.3). Bu ifadeler Eşitlik 26.11'de yerine konduğunda

$$U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} (E^2 d^2) = \frac{1}{2} (\epsilon_0 A d) E^2 \quad (26.12)$$

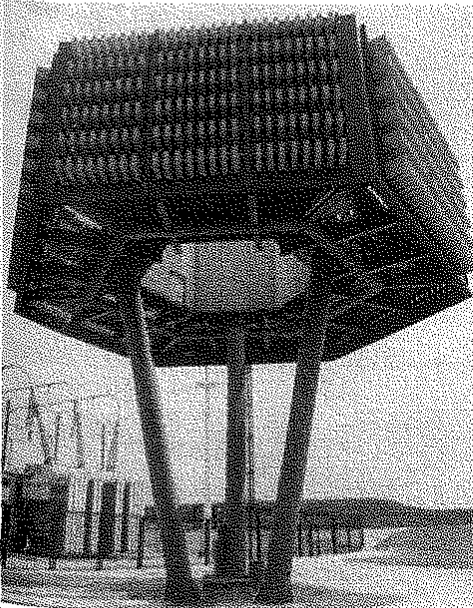
Paralel plakalı kondansatörde depolanan enerji

elde edilir. Bir kondansatörün plakası arasındaki V hacmi (Voltaj değil. Hacim) Ad , elektrik alan tarafından doldurulduğunda, *birim hacimdeki enerji* $u_E = U/V = U/Ad$ olur ve buna *enerji yoğunluğu* denir:

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (26.13)$$

Elektrik alanda enerji yoğunluğu

Eşitlik 26.13 paralel plakalı kondansatörler için türetilmesine karşın, her türden kondansatör için geçerlidir. Yani, **herhangi bir elektrostatik alandaki enerji yoğunluğu, verilen bir noktadaki elektrik alan şiddetinin karesi ile orantılıdır.**



Chicago'nun dışında kurulmuş Fermi-Lab'da parçacıkların hızlandırılması için elektrik enerjisini depolamada kullanılan kondansatör yığını. Elektrik enerjisi dağıtımını yapan firma, aletlerin çalışmasında kullanılan oldukça büyük bir patlama enerjisini sağlayamadığından, bu kondansatörler yavaşça doldurulmakta ve hızlandırıcı içinde aniden enerji "boşalımı" oluşturmaktadır. Bu durum, bir binanın tepesinde yangından korunmak için kurulan su deposuna benzetilebilir. Bilindiği gibi, çok kısa zamanda çok fazla suya gerek duyulduğunda kullanılmak üzere, depoda su bulundurulur (FermiLab Visual Media Services).

ÖRNEK 26.5 İki Yüklü Kondansatörün Yeniden Bağlanması

C_1 ve C_2 (Burada $C_1 > C_2$) gibi iki kondansatör aynı ΔV_i potansiyel farkında fakat zıt işaretli yükleniyorlar. Yüklü kondansatörler bataryadan ayrılarak, bunların plakaları Şekil 26.12a'da gösterildiği gibi birbirlerine bağlanıyor. Sonra S_1 ve S_2 anahtarları Şekil 26.12b deki gibi kapatılıyor. (a) Anahtarlar kapatıldıktan sonra a ve b noktaları arasındaki ΔV_s son potansiyel farkını bulunuz.

Çözüm Kondansatörlerin sol plakaları yalıtılmış bir sistem gibidir, çünkü iletkenlerle sağ plakalara bağlı değildirler. Anahtar kapatılmadan önce, kondansatörlerin sol plakalarının üzerindeki yükler,

$$Q_{1i} = C_1 \Delta V_i \quad \text{ve} \quad Q_{2i} = -C_2 \Delta V_i$$

dir. Q_{2i} için negatif işaret kullanmak gerekir. Çünkü C_2 sıgılı kondansatörün sol plakası üzerindeki yük negatiftir. Sistemdeki toplam Q yükü,

$$(1) \quad Q = Q_{1i} + Q_{2i} = (C_1 - C_2) \Delta V_i$$

dir. Anahtarlar kapatıldıktan sonra sistemdeki toplam yük aynı kaldığından

$$(2) \quad Q = Q_{1s} + Q_{2s}$$

olur. Tüm sistem ΔV_s potansiyeline gelinceye kadar yükler yeniden düzenlenir. Böylece, C_1 in potansiyel farkı, C_2 nin potansiyel farkına eşit olur. Bu şartın sağlanması için kapatıldıktan sonra kondansatörlerin üzerindeki yükler

$$Q_{1s} = C_1 \Delta V_s \quad \text{ve} \quad Q_{2s} = C_2 \Delta V_s$$

olur. Birinci denklemi ikinci denkleme böldüğümüzde,

$$(3) \quad \frac{Q_{1s}}{Q_{2s}} = \frac{C_1 \Delta V_s}{C_2 \Delta V_s} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$Q_{1s} = \frac{C_1}{C_2} Q_{2s}$$

bulunur. (2) ve (3) eşitlikleri birleştirildiğinde,

$$Q = Q_{1s} + Q_{2s} = \frac{C_1}{C_2} Q_{2s} + Q_{2s} = Q_{2s} \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)$$

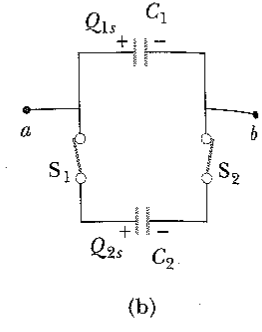
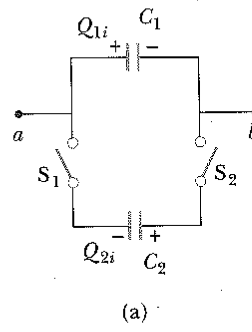
$$Q_{2s} = Q \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)$$

bulunur. (3) Eşitliğini kullanarak Q cinsinden Q_{1s} yükünü,

$$Q_{1s} = \frac{C_1}{C_2} Q_{2s} = \frac{C_1}{C_2} Q \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) = Q \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)$$

olarak buluruz. Son olarak, her bir kondansatörün uçları arasındaki voltajı 26.1 Eşitliğini kullanarak

$$\Delta V_{1s} = \frac{Q_{1s}}{C_1} = \frac{Q \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)}{C_1} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$



Şekil 26.12

$$\Delta V_{2s} = \frac{Q_{2s}}{C_2} = \frac{Q \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)}{C_2} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

olarak buluruz. Daha önce de $\Delta V_{1s} = \Delta V_{2s} = \Delta V_s$ olduğuna dikkat ediniz. ΔV_s yi C_1 , C_2 ve ΔV_i cinsinden yazmak için Denklem (1) deki Q nün değeri yerine konursa

$$\Delta V_s = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right) \Delta V_i$$

elde edilir.

(b) Anahtarlar kapatılmadan önce ve kapandıktan sonra kondansatörlerde depolanan toplam enerjiyi bulunuz.

Çözüm Anahtarlar kapatılmadan önce kondansatörlerde depolanan toplam enerji,

$$U_i = \frac{1}{2} C_1 (\Delta V_i)^2 + \frac{1}{2} C_2 (\Delta V_i)^2 = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) (\Delta V_i)^2$$

dir. Anahtar kapatıldıktan sonra kondansatörlerde depolanan toplam enerji,

$$U_s = \frac{1}{2} C_1 (\Delta V_s)^2 + \frac{1}{2} C_2 (\Delta V_s)^2 = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) (\Delta V_s)^2$$

$$= \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \left(\frac{Q}{C_1 + C_2} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_1 + C_2}$$

dir. (1) Eşitliği kullanılırsa toplam enerji

$$U_s = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{2} \frac{(C_1 - C_2)^2 (\Delta V_i)^2}{(C_1 + C_2)}$$

olur. Buna göre depolanan son enerjinin ilk enerjiye oranı şöyle olur:

$$\frac{U_s}{U_i} = \frac{\frac{1}{2} \frac{(C_1 - C_2)^2 (\Delta V_i)^2}{(C_1 + C_2)}}{\frac{1}{2} (C_1 + C_2) (\Delta V_i)^2} = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right)^2$$

Bu oran birden küçük olduğundan, son enerjinin ilk enerjiden daha az olduğunu gösterir. İlk bakışta enerji korunum yasasının ihlâl edilmiş olduğunu düşünebilirsiniz, fa-

kat öyle olmaz; "Kaybolan" enerji Bölüm 34 de görüleceği gibi elektromanyetik dalgalar biçiminde yayılır.

Sinama Sorusu 26.4

Paralel plakalı bir kondansatörü bir bataryada yükledikten sonra bataryadan ayırın ve plakaların uçlarına bağlı olan tellerin birbirlerine değmesini önleyin. Plakalar birbirinden çekilerek ayrıldığı zaman, aşağıdaki nicelikler artar mı, azalar mı, aynı mı kalır? (a) Cısığası; (b) Q yükü; (c) Plakalar arasındaki E ; (d) ΔV potansiyel farkı; (e) Kondansatörde depolanan enerji.

Sinama Sorusu 26.5

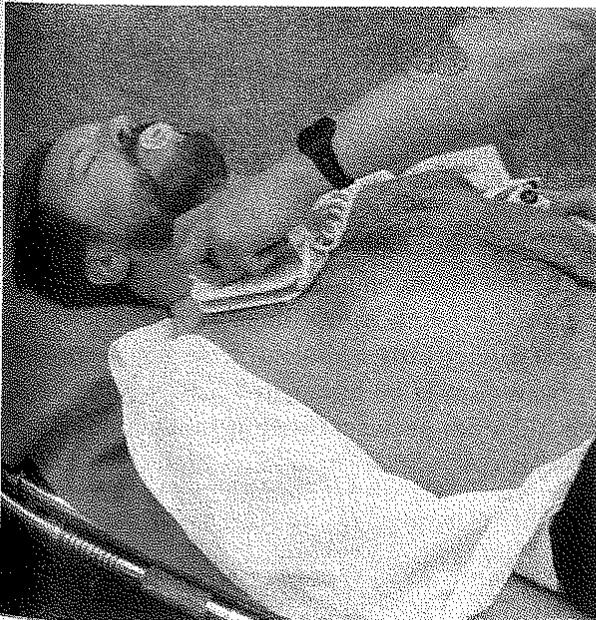
Bu defa Sinama Sorusu 26.4'ü, bataryalar birbirlerinden ayrılırken, kondansatörün bataryaya bağlı olduğunu varsayarak cevaplandırın.

Kondansatörlerin önemli rol oynadığı aletlerden biri de (Şekil 26, 13 deki) defibrillatör (elektroşok) cihazıdır. Elektroşok cihazı tam olarak yüklendiğinde, büyük bir kondansatörün elektrik alan içinde 360J kadar bir enerji depolanır. Bu aygıt tüm bu enerjiyi hastanın vücuduna yaklaşık 2ms de verir. (Bu değer, yaklaşık 60W lık lambanın çıkış gücünün kabaca 3 000 katına eşdeğerdir.). Ani elektrik şoku, çoğunlukla kalp krizine eşlik eden kalpteki kasılmayı (gelişi güzel büzülmeyi) durdurur ve düzenli bir kalp atış ritmini sağlar.

Bir fotoğraf makinası flaş ünitesi de kondansatör kullanılır, bunlarda depolanan toplam enerji miktarı, elektroşok cihazında depolanan enerjiden çok daha azdır. Fotoğraf makinasının flaş ünitesindeki kondansatör yüklendikten sonra, makinanın düğmesine basıldığında kameranin mercek kapağı hareket ettirilerek depolanmış enerjinin özel ışık lambasına gönderilmesi sağlanır, böylece fotoğrafı çekilecek cisim kısa bir süre kuvvetlice aydınlatılır.

web

Defibrillatör (elektroşok)lar hakkında daha fazla bilgi için www.physiocontrol.com sitesine giriniz.



Şekil 26.13 Hastanede veya acil serviste, belki bir hastanın elektroşok cihazı ile yeniden hayata döndürüldüğünü görmüşsünüzdür. Elektroşok plakaları hastanın göğsüne konulur ve elektrik şoku göğüs boşluğu boyunca gönderilir. Bu tekniğin amacı kalbin normal ritmini yeniden elde etmektir. (Adam Hart-Davis/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc. izniyle)

26.5 DİELEKTRİKLİ KONDANSATÖRLER

Dielektrik, lastik, cam veya mumlu kağıt gibi iletken olmayan maddelerdir. Bir dielektrik madde kondansatörün plakaları arasına konulduğunda kondansatörün sığası artar. Dielektrik, plakalar arasındaki boşluğu tamamen doldurursa, kondansatörün sığası boyutsuz κ çarpanı kadar artar. Bu κ çarpanına dielektrik sabiti denir. Dielektrik sabiti bir maddenin doğal özelliğidir ve maddeden maddeye göre değişir. Bu kesimde, sığadaki değişimi elektriksel parametreler cinsinden örneğin; elektrik yükü, elektrik alan ve potansiyel farkına bağlı olarak inceleyeceğiz. Bu değişimlerin mikroskopik temelini Kesim 26.7 de tartışacağız.

Bir kondansatördeki dielektriğin etkisini göstermek için aşağıdaki deney yapılabilir. Bir dielektrik yokken paralel plakalı kondansatörün yükü Q_0 , sığası C_0 olsun. Kondansatörün uçlarındaki potansiyel farkı $\Delta V_0 = Q_0 / C_0$ olur. Bu durum Şekil 26.14a da gösterilmiştir. Potansiyel farkı, Bölüm 28 de ayrıntılı olarak inceleyeceğimiz *voltmetre* ile ölçülür. Şekilde hiçbir bataryanın bulunmadığına ve Kesim 28.5 de öğreneceğimiz ideal voltmetrenin içinden yük akışının olmadığına dikkat ediniz. O halde yük akışını sağlayacak ve kondansatör üzerindeki yükü değiştirecek bir yol yoktur. Şimdi Şekil 26.14b'deki gibi plakalar arasına bir dielektrik konulursa, voltmetreden okunan ΔV değeri κ çarpanı kadar *azalır*. Dielektrikli ve dielektriksiz kondansatördeki voltajlar κ çarpanına

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{\kappa}$$

şeklinde bağlı olur. $\Delta V < \Delta V_0$ olduğundan, $\kappa > 1$ olacaktır.

Kondansatörün üzerindeki Q yükü *değişmemiş* olduğundan, sığanın değerinin

$$C = \frac{Q_0}{\Delta V} = \frac{Q_0}{\Delta V_0 / \kappa} = \kappa \frac{Q_0}{\Delta V_0}$$

$$C = \kappa C_0$$

(26.14)

Dielektrikle dolu bir kondansatörün sığası boş olanından κ çarpanı kadar büyüktür.

şeklinde değişmesi gerektiği sonucuna varırız.

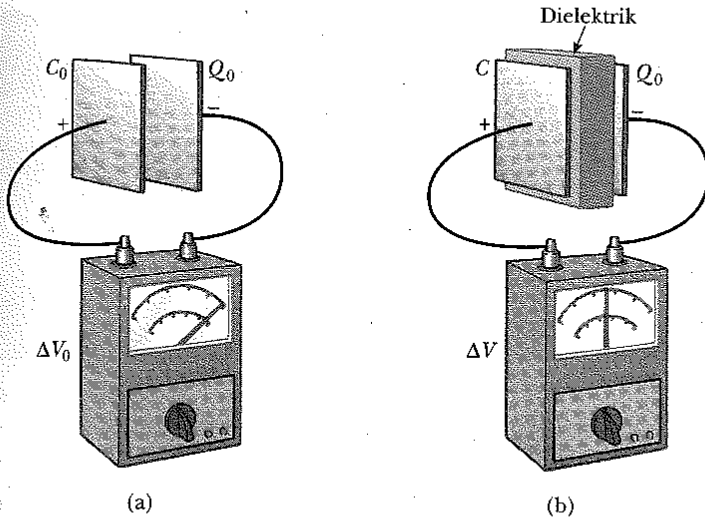
Burada C_0 dielektrik yokken sığanın değeridir. Plakalar arasındaki bölge tam olarak dielektrikle dolduğu zaman, sığa κ çarpanı kadar *artar*.⁴ Paralel plakalı kondansatörün $C_0 = \epsilon_0 A / d$ sığası (Eşitlik 26.3), kondansatör, bir dielektrikle doldurulduğunda

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (26.15)$$

olarak ifade edilebilir.

Eşitlik 26.3 ve 26.15 de görüldüğü gibi, plakalar arasındaki d uzaklığı azaldıkça sığa çok büyük değerler alabilir. Pratikte d 'nin alacağı en düşük değer, plakalar arasındaki dielektrik ortama doğru olabilecek elektrik boşalması nedeniyle sınırlıdır. Verilen bir d uzaklığı için boşalma olmaksızın kondansatöre uygulanabilecek maksimum voltaj, **dielektriğin dielektrik sertliğine** (maksimum elektrik alan şiddetine) bağlı olur; ki bu hava için 3×10^7 V/m dir. Ortamdaki alan şiddeti dielektrik şiddetini geçerse, ortamın yalıtkanlık özelliği bozulup iletken olmaya başlar. Bir çok yalıtkan maddenin dielektrik sabiti κ

⁴ Bir batarya yardımıyla potansiyel farkı sabit tutularak dielektriğin içine sokulduğu bir deney yapılırsa, yük $Q = \kappa Q_0$ değerine kadar artar. İlave yük batarya tarafından sağlanır ve sığa yine κ çarpanı kadar artar.



Şekil 26.14 Yüklü bir kondansatörün plakaları arasına bir dielektrik; (a) yerleştirmeden önce, (b) yerleştirildikten sonraki durum. Plakalar üzerindeki yük değişmeden kahr fakat potansiyel farkı ΔV_0 iken, azalarak $\Delta V = \Delta V_0/\kappa$ olur. Böylece, sığa artarak C_0 iken κC_0 olur.

bir den büyük ve dielektrik şiddetide havanınkinden büyük olduğu Tablo 26.1 de görülmektedir. Buna göre dielektrik aşağıdaki avantajları sağlar.

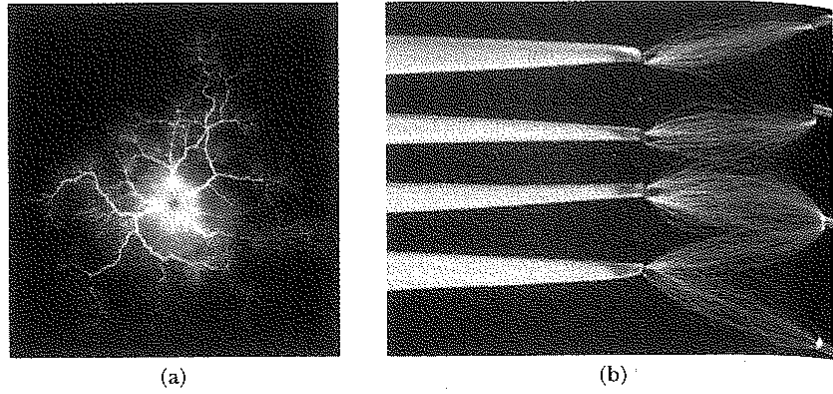
- Dielektrik, kondansatörün sığasını artırır.
- Dielektrik, kondansatörün maksimum çalışma voltajını artırır.
- Dielektrik, iletken plakalar arasında mekanik bir destek sağlayabilir.

Bu da, plakaların birbirlerine dokunmadan yaklaşmasını sağlar ve böylece d azalır, C artar.

TABLO 26.1 Oda Sıcaklığında Çeşitlik Madde-lerin Dielektrik Sabiti ve Dielektrik Şiddeti

Madde	Dielektrik Sabiti κ	Dielektrik Sertlik* (V/m)
Hava (kuru)	1,00059	3×10^6
Bakalit	4,9	24×10^6
Eritilmiş kuartz	3,78	8×10^6
Neoprene lastik	6,7	12×10^6
Naylon	3,4	14×10^6
Kağıt	3,7	16×10^6
Polystyrene	2,56	24×10^6
Porselen	6	12×10^6
Polyvinyl klorür	3,4	40×10^6
Pyrex Cam	5,6	14×10^6
Silikon yağı	2,5	15×10^6
Stronsium titanate	233	8×10^6
Teflon	2,1	60×10^6
Boşluk	1,00000	—
Su	80	—

* Dielektrik şiddet (sertlik), elektriksel bozulma olmadan dielektrikte bulunabilecek maksimum elektrik alanı eşittir. Bu değerlerin madde içindeki kusur ve kirliliklere sıkıca bağlı olduğuna dikkat ediniz.

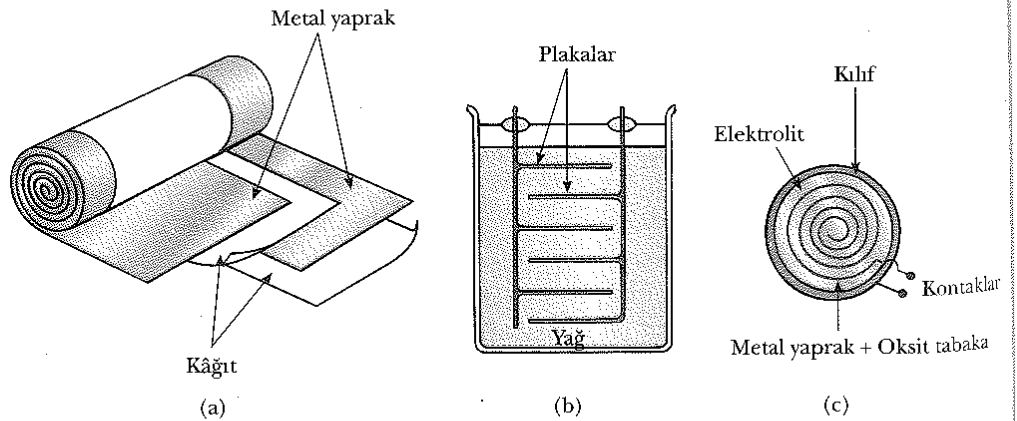


(a) Kirlan fotoğrafı, yüksek enerjili bir elektrik alanına çelik bir topun düşürülmesi ile elde edilir. Kirlan fotoğrafı elektrootoğraf olarak bilinir. (b) Çatal ve dört elektrot arasında durgun yük boşalmasından oluşan kıvılcımlar. Bu resim, her bir boşalma bir kıvılcıma karşılık geldiği için çok sayıda kıvılcımla elde edildi. Çatalın alt dışından sağdaki iki elektrotta boşalma olduğuna dikkat ediniz. Her kıvılcım ışığı, yol üzerindeki gaz atomlarının uyarılmasıyla meydana gelir (a, Henry Dakin/ Fen Fotoğraf Kütüphanesi; b, Adam Hart-Davis/ Fen Fotoğraf Kütüphanesi)

Kondansatör Tipleri

Ticarî kondansatörler çoğunlukla metal yaprak kullanarak yapılır. Dielektrik madde görevini yapraklar arasına konan parafin emdirilmiş kağıt tabakalar veya Mylar gibi plastik dielektrik maddeler yapar. Ardışık sarılan metal yaprak ve dielektrik tabakalar silindirik şeklinde yuvarlanıp, kıvrılarak küçük bir paket haline (Şekil 26.15a) getirilir. Yüksek-voltaj kondansatörleri genellikle çok sayıda, iç içe geçmiş silikon yağ içinde birbirlerine temas etmeyen plakalardan oluşur (Şekil 26.15b). Küçük kondansatörler çoğunlukla seramik maddelerden yapılır. Değişken kondansatörler, (10 - 500 pF arasında) genellikle, hava ortamında birbiri içine geçmiş ve birbirlerine değmeyen, biri sabit diğeri hareketli bir seri paralel levhalardan oluşur. Hava, dielektrik madde görevini yapar.

Elektrolit kondansatörler çoğunlukla düşük voltajda büyük miktarda yük depolamada kullanılır. Bu aygıt, Şekil 26.15c'de görüldüğü gibi bir *elektrolit* eriyikle kontak yapan metal yapraktan oluşur. Elektrolit, içinde bulunan iyonların hareketi nedeniyle elektriği ileten bir çözeltidir. Elektrolit ve metal yaprak arasına voltaj uygulandığında, metal yaprak üzerinde çok ince bir metal oksit (yalıtkan) tabaka oluşur ve bu oksit tabaka bir dielektrik görevi yapar. Dielekt-



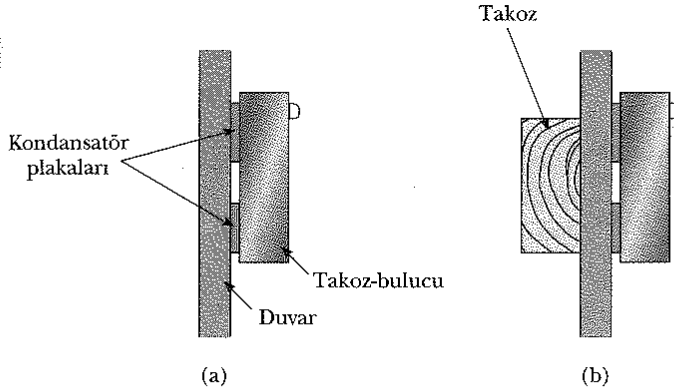
Şekil 26.15 Üç çeşit ticari kondansatör modeli. (a) Plakaları bir yağlı kağıt ile birbirlerinden ayrılıp sonra silindirik şeklinde kıvrılarak oluşturulan tüp şeklinli kondansatör. (b) Yalıtkan yağ ile birbirlerinden ayrılan tarak şeklinde birçok plakadan oluşan yüksek-voltaj kondansatörü. (c) Bir elektrolitik kondansatör.

rik tabaka çok ince ve plakalar arasındaki uzaklık çok küçük olduğundan elektrolit kondansatörlerde çok büyük sığa değerleri elde edilebilir.

Elektrolitik kondansatörler, diğer bir çok kondansatörlerde olduğu gibi, geri dönüşlü (tersinir) değildir ve üzerlerinde artı ve eksi işaretli açıkça kutuplarını gösterir. Bir devrede elektrolitik kondansatör kullanıldığında polariteye (aygıt üzerindeki artı ve eksi işaretler) özenle uyulmalıdır. Uygulanan voltajın polaritesi olması, gerekenin tersi yapılmışsa oksit yalıtkan tabaka kolayca kaybolur ve kondansatör, yükü depolamak yerine elektriği iletir.

Sinama Sorusu 26.6

Duvara bir resim asmayı denemişseniz, içine vida veya çivinizi çakacağınız odundan bir takozun yerini belirlemedeki güçlülüğü bilirsiniz. Marangozun "takoz-bulucu" aleti, aslında Şekil 26.16 da gösterildiği gibi, plakaları yüzüze değil yan yana yerleştirilen bir kondansatördür. Alet, takozun üstünde dolaştırıldığında, sığa artar mı, azalır mı?



Şekil 26.16 Bir takoz bulucusu. (a) Kondansatörün plakaları arasındaki madde duvar kaplaması (sıva) ve havadır. (b) Kondansatör, duvardaki takoz üzerinde hareket ettirildiği zaman, plakalar arasındaki madde duvar kaplaması ve odun olmaktadır. Dielektrik sabitindeki bir değişme, aletin işaret lambasının yanmasına neden olur.

ÖRNEK 26.6 Kağıtla Doldurulmuş Kondansatör

Bir paralel plakalı kondansatörün plakalarının boyutları $2 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ dir. Plakalar birbirlerinden 1 mm kalınlıklı bir kağıt ile ayrılmıştır. (a) Sığasını bulunuz.

Çözüm Kağıt için $\kappa = 3,7$ olduğundan (Tablo 26.1)

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d} = 3,7 (8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2) \left(\frac{6,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{1,0 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)$$

$$= 20 \times 10^{-12} \text{ F} = 20 \text{ pF}$$

(b) Kondansatör üzerinde toplanan maksimum yük ne kadardır?

Çözüm Tablo 26.1 den kâğıdın dielektrik şiddeti $16 \times 10^6 \text{ V/m}$ dur. Kâğıdın kalınlığı 1 mm olduğundan, elektrik alan bozulmadan önce uygulanacak maksimum voltaj

$$\Delta V_{\text{maks}} = E_{\text{maks}} d = (16 \times 10^6 \text{ V/m}) (1,0 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$= 16 \times 10^3 \text{ V}$$

dır. Buradan maksimum yük

$$Q_{\text{maks}} = C \Delta V_{\text{maks}} = (20 \times 10^{-12} \text{ F}) (16 \times 10^3 \text{ V}) = 0,32 \mu\text{C}$$

Alıştırma Kondansatörde biriktirebilecek maksimum enerji nedir?

Cevap $2,6 \times 10^{-3} \text{ J}$

ÖRNEK 26.7 Önce ve Sonra Depolanan Enerji

Bir paralel plakalı kondansatör, Şekil 26.17a'daki gibi, bir batarya ile Q_0 yüküne kadar yükleniyor. Sonra batarya kondansatörden ayrılarak, plakalar arasında dielektrik sabiti κ olan kalın bir dilim Şekil 26.17b'deki gibi yerleştiriliyor. Dielektrik konulmadan önce ve konulduktan sonra kondansatörde biriken enerjiyi bulunuz.

Çözüm Dielektrik yokken kondansatörde depolanan enerji, (Bakınız Eşitlik 26.11)

$$U_0 = \frac{Q_0^2}{2C_0}$$

olarak yazılabilir. Batarya ayrılıp plakalar arasında dielektrik yerleştirildikten sonra, kondansatör üzerindeki yük aynı kalır. Böylece dielektrik varken depolanan enerji,

$$U = \frac{Q_0^2}{2C}$$

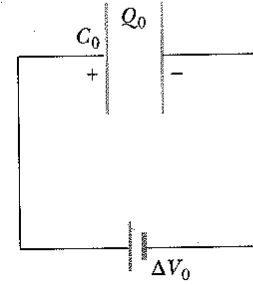
olur. Fakat dielektrik varken kondansatörün sığası $C = \kappa C_0$ olduğundan, depolanan enerji

$$U = \frac{Q_0^2}{2\kappa C_0} = \frac{U_0}{\kappa}$$

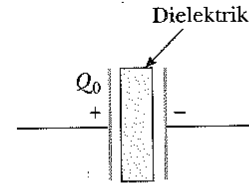
olur. $\kappa > 1$ olduğundan, son enerji ilk enerjiden $1/\kappa$ çarpını kadar daha az olduğunu görüyoruz. Kayıp enerji, dielektrik kondansatör içine yerleştirilirken, aygıtta doğru çekileceğine dikkat edersek açıklanabilir (aşağıdaki tartışmaya ve Şekil 26.18'e bakınız). Dış etken, dilimin ivmelenmesi için negatif iş yapmalıdır. Bu iş basitçe $U - U_0$ farkıdır. (Başka söyleyişle, sistem tarafından dış etken üzerinde yapılan pozitif iş $U_0 - U$ ile verilir)

Alıştırma Farzedelim ki dielektrik yokken sığa $8,50 \text{ pF}$ ve bu kondansatör $12,0 \text{ V}$ 'luk potansiyel farkında yüklenmiştir. Kondansatör bataryadan ayrılıp levhaları arasında Polystyrene ($\kappa = 2,56$) dilimi yerleştirilirse $U - U_0$ enerji farkı ne olur?

Cevap 373 pJ



(a)



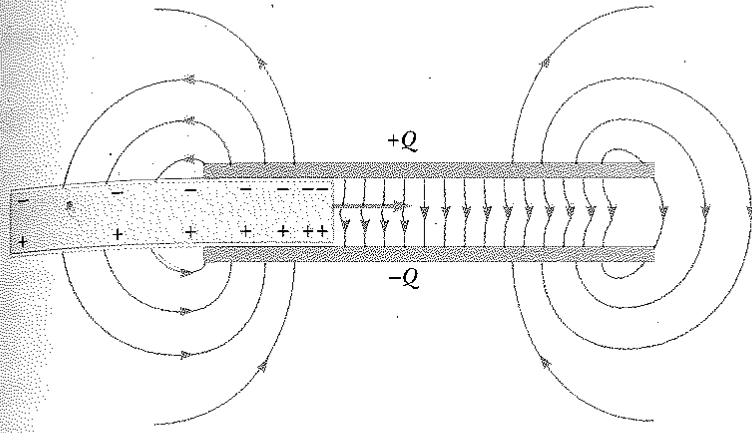
(b)

Şekil 26.17

Bataryaya bağlı olmayan kondansatörün plakaları arasında dielektrik konulduğunda enerjisinin azaldığı görülmektedir. Bunun anlamı, kondansatörün içine dielektrik yerleştirildiğinde dış kuvvetler tarafından dielektrik üzerine negatif bir iş yapılmasıdır. Bunun tersi ise, kuvvetin dielektrik üzerine etki ederek onu kondansatörün içine çekmesini ima eder. Bu kuvvet, Şekil 26.18'de gösterildiği gibi, kondansatörün kenarlarına yakın uçlarda düzgün olmayan elektrik alanın doğasından kaynaklanır. Dielektrik yüzey üzerinde indüklenen yükler, üzerine etkiyen bu *saçak alanın* yatay bileşeni, kondansatörün içine doğru yönelen net bir yatay kuvvet oluşturur.

Sinama Sorusu 26.7

Bir bataryaya bağlı halde iken, tam olarak yüklenmiş paralel levhali bir kondansatörün plakaları arasındaki bir dielektrik maddeyi kaydırıyorsunuz. Aşağıdaki nicelikler artar mı, azalır mı, aynı mı kalır? (a) C ; (b) Q ; (c) plakalar arasındaki E ; (d) ΔV ; (e) kondansatörde depo edilen enerji



Şekil 26.18 * Paralel levhali kondansatörün kenarlarına yakın yerlerdeki düzgün olmayan elektrik alan, dielektriğin kondansatör içine çekilmesine neden olur. Alanın, Dielektrik üzerinde geliş güzel dağılım indüklenmiş yüzey yüklerine etkiğine dikkat ediniz.

Seçmeli Kesim

26.6 BİR ELEKTRİK ALANDAKİ ELEKTRİK DİPOLÜ

Bir kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde konulduğunda sığası üzerinde oluşan etkileri tartıştık. Bu etkilerin mikroskopik temelini de Kesim 26.7 de tanıtacağız. Fakat bunu yapmadan önce, Kesim 23.4'te (bakınız Örnek 23.6) başlattığımız elektrik dipol hakkındaki tartışmayı burada genişletmeye ihtiyaç vardır. Elektrik dipol, Şekil 26.19 da görüldüğü gibi birbirinden $2a$ uzaklığı ile ayrılmış eşit büyüklükte, zıt işaretli iki yükten oluşur. Bu düzenin **elektrik dipol momentini**, $-q$ dan $+q$ ya doğru yükleri birleştiren bir çizgi boyunca ve $2aq$ büyüklüğüne sahip bir \mathbf{p} vektörü olarak tanımlarız. Yani \mathbf{p} nin büyüklüğü:

$$p \equiv 2aq \quad (26.16)$$

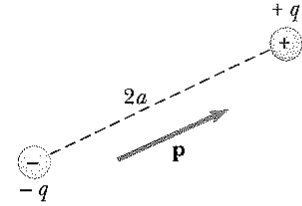
Şimdi, varsayalım ki bir elektrik dipol, Şekil 26.20 deki gibi düzgün bir \mathbf{E} elektrik alan içine konulsun. Kesim 23.4 de anlatıldığı gibi, \mathbf{E} yi dipolün kendi alanından ayrı, dipole uygulanan bir dış alan olarak alalım. \mathbf{E} alanı, başka yük dağılımları tarafından oluşturulmaktadır ve bu alanın içine dipolü yerleştiriyoruz. Dipol momenti, elektrik alan ile θ açısı yapsın.

Bu iki yük üzerine etki eden kuvvet Şekil 26.20 de gösterildiği gibi, eşit büyüklükte (her birinin büyüklüğü $F = qE$), zıt doğrultulardadır. Buna göre dipol üzerindeki net kuvvet *sıfır* olur. Fakat, bu iki kuvvet dipol üzerinde net bir döndürme momenti (tork) oluşturur ve bunun neticesinde dipol, eksenini elektrik alana paralel olacak şekilde döndürmek ister. Pozitif yük üzerindeki kuvvetin, Şekil 26.20 deki O dan geçen eksene göre torku $Fa \sin \theta$ ile verilir. Buradaki $a \sin \theta$, O ya göre F nin moment koludur. Bu kuvvet, dipolü saat yönünde döndürmek ister. Negatif yük üzerindeki tork da $Fa \sin \theta$ 'dır ve yine buradaki kuvvet dipolü saat yönünde dönmeye zorlar. O halde O ya göre net tork

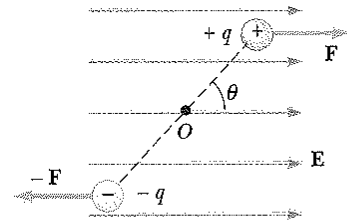
$$\tau = 2Fa \sin \theta$$

olur. $F = qE$ ve $p = 2aq$ olduğundan τ yu

$$\tau = 2aqE \sin \theta = pE \sin \theta \quad (26.17)$$



Şekil 26.19 Bir elektrik dipol $2a$ uzunluğu ile birbirlerinden ayrılmış iki eşit ve zıt yüklerden meydana gelmiştir. \mathbf{p} elektrik dipol moment vektörünün yönü $-q$ dan $+q$ ya doğrudur.



Şekil 26.20 Düzgün bir dış elektrik alan içindeki elektrik dipol. Dipol moment \mathbf{p} elektrik alanla θ açısı yapmakta ve dipol bir dönme momentine sahip olmaktadır.

Dış bir elektrik alanındaki elektrik dipolüne etkiyen tork

olarak ifade edebiliriz. Torku (dönme momenti) \mathbf{P} ve \mathbf{E} vektörlerinin vektörel çarpımı olarak ifade etmek daha uygundur:

$$\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \quad (26.18)$$

Bir elektrik dipol sisteminin potansiyel enerjisini, dış alana göre yöneliminin fonksiyonu olarak belirleyebiliriz. Bunu yapmak için, bir dış etken tarafından elektrik alan içindeki dipolü verilen bir açı boyunca döndürmek için bir iş yapmak gerektiğini bilmek zorundasınız. O zaman yapılan iş, sistemde potansiyel enerji olarak depo edilir; yani dipol ve dış alanda. Dipolü bir $d\theta$ açısı kadar döndürmek için gerekli olan dW işi $dW = \tau d\theta$ ile verilir (Eşitlik 10.22). $\tau = pE \sin \theta$ ve iş, U potansiyel enerjisine dönüştüğünden, dipolün θ_i dan θ_s kadar dönmesi halinde potansiyel enerjideki değişme,

$$\begin{aligned} U_s - U_i &= \int_{\theta_i}^{\theta_s} \tau d\theta = \int_{\theta_i}^{\theta_s} pE \sin \theta d\theta = pE \int_{\theta_i}^{\theta_s} \sin \theta d\theta \\ &= pE \left[-\cos \theta \right]_{\theta_i}^{\theta_s} = pE (\cos \theta_i - \cos \theta_s) \end{aligned}$$

olur. $\cos \theta_i$ içeren terim sabit ve dipolün başlangıç yönelimine bağlıdır. $\theta_i = 90^\circ$ almak uygun olur, böylelikle $\cos \theta_i = \cos 90^\circ = 0$ olur. Dahası, $\theta_i = 90^\circ$ da $U_i = 0$ potansiyel enerji referansımız olarak alınabilir. Böylece $U = U_s$ ifadesi

$$U = -pE \cos \theta \quad (26.19)$$

şeklinde yazılabilir. Bu, \mathbf{p} ve \mathbf{E} vektörlerinin skaler çarpımı şeklinde de yazılabilir:

Bir elektrik alanındaki dipolün potansiyel enerjisi

$$U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E} \quad (26.20)$$

Eşitlik 26.19 daki kavramın daha iyi anlaşılması için, yerin çekim alanındaki bir cismin potansiyel enerjisi $U = mgh$ (bakınız Bölüm 8) ifadesi ile, bu ifadeyi karşılaştıralım. Yerçekimi alanının enerji ifadesi, alan içindeki cisme ait m kütlesi gibi bir değişken içermektedir. Yerçekimi ifadesinde, yerçekimi alanının g büyüklüğü bulunmaktadır. Benzer olarak, Eşitlik 26.19 ifadesinde de E elektrik alan büyüklüğü bulunur. O halde, potansiyel enerji ifadelerinde görülen bu iki katkı benzerlik göstermektedir. Bununla beraber son katkı iki bakımdan biraz farklıdır. Yerçekimi enerjisi ifadesinde potansiyel enerji cismin hangi h yüksekliğine kaldırılacağına bağlıdır. Eşitlik 26.19 daki potansiyel enerji ise, dipolün dönüşünü gösteren θ açısına bağlıdır. Her iki halde de sistemde bir değişim olmaktadır. Kütle-çekim halinde, cisimde *ötelenme* anlamında bir değişim gerekmekte, elektriksel durumda ise cismin hareketindeki değişim bir eksen etrafındaki *dönme* hareketi olmaktadır. Bununla beraber, her iki durumda da, cisimler serbest bırakıldığı anda sistem başlangıçtaki eski düzenine dönerken bir değişim meydana gelir; bu değişim, m kütleli bir cisimde yere düşme şeklinde, bir dipolde ise, ileri geri dönerek salınım hareketi sonunda alana paralel doğrultuya gelmesi şeklinde olur. O halde hareket tipleri farklı da olsa, her iki durum için potansiyel enerji ifadeleri benzerdir.

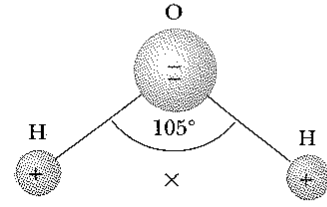
Molekülün pozitif ve negatif yüklerinin “ortalama konumları” arasında bir uzaklık varsa, moleküle *polarize* olmuştur denir. Su molekülünde olduğu gibi, bazı moleküllerde daima böyle durum olabilir. bunlara **kutuplu** (polar) **moleküller** denir. Moleküller kalıcı kutuplama (polarizasyon) sürecine sahip değilse bunlara **kutupsuz** (nonpolar) **moleküller** denir.

Suyun kalıcı polarizasyonu, su molekülünün geometrisini inceleyerek anlaşılabilir. Su molekülü oksijen atomu ile hidrojen atomlarının iki bağı arasında 105° lik açı bulunacak şekilde düzenlenir (Şekil 26.21). Negatif yük merkezi oksijen atomunun yakınındadır; halbuki pozitif yük merkezi, hidrojen atomlarını birleştiren çizgi boyunca tam orta noktada bulunur (Şekil 26.21'deki x noktası). Bu tür moleküllerden oluşan maddelerin dielektrik sabiti de büyük olur; ayrıca sürekli polarize kalırlar. Suyun molekülü ve diğer kutuplu molekülleri dipoller gibi düşünebiliriz. Çünkü pozitif ve negatif yüklerin kütle merkezleri bir noktasal yük gibi davranırlar. Sonuç olarak, dipoller üzerindeki tartışmalarımızı polar moleküllerin davranışına da uygulayabiliriz.

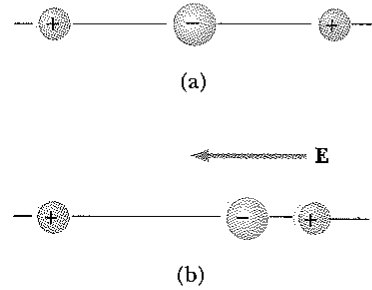
Mikrodalga fırınları, su molekülünün kutuplu davranışı özelliğini kullanırlar. Mikrodalga fırınları çalışırken çok hızlı değişen bir elektrik alan üretirler. Bu da, polar moleküllerin ileri – geri salınım yapmasına ve bu süreçte enerji soğurmasına sebep olur. İtişip kakışan moleküller birbirleriyle çarpışırlar ve elektrik alandan soğurdıkları enerji iç enerjiye dönüşür ve bu enerji yiyeceklerin sıcaklığının artmasına neden olur.

Suyun dipol yapısının kullanıldığı diğer bir yer de sabun ve su ile yıkamadır. Genellikle suyla bir çekiciliği olmayan, yağ ve petrol gibi maddeler kutupsuz moleküllerden yapılmıştır. Deriye bulaşmış bu tip kirleri çıkartmak için yalnız su yeterli değildir. Sabun, *surfactant* denilen uzun moleküller içerir. Uzun moleküllerin bir ucunda belirli bir kutup bulunurken diğer ucunda farklı kutup olabilir. Sabun (Surfactant) molekülünün bir ucu kutupsuz molekülü, diğer ucu da (kutuplu uç) su moleküllerini çeker. Böylece sabun, kirleri ve su moleküllerini bağlayarak bir zincir görevi yapar. Sabunlu su çalkalanıp gittiği zaman, yağ ve petrol kirleride onunla gider.

Simetrik moleküller (Şekil 26.22a), sürekli polarizasyona (kutuplanma) sahip olmayabilirler. Fakat bunlara bir dış elektrik alan tarafından polarizasyon indüklenebilir. Şekil 26.22b de görüldüğü gibi, bir çizgisel molekül x eksenini boyunca bulunuyorsa, negatif x eksenini doğrultusundaki bir dış elektrik alan, bu pozitif yük merkezinin başlangıç konumundan sola doğru, negatif yük merkezinin de sağa doğru kaymasına sebep olur. Bu *indüklenmiş kutuplanma* (polarizasyon), kondansatörlerde dielektrik olarak kullanılan maddelerin çoğunda ağır basan bir etkidir.



Şekil 26.21 Su molekülü (H_2O), geometrisinden kaynaklan sürekli kutuplanmaya sahiptir. Pozitif yük dağılımının merkezi X noktasındadır.



Şekil 26.22 (a) Simetrik bir molekül sürekli bir kutuplanmaya sahip değildir. (b) Bir dış elektrik alan, molekülde kutuplanma yaratır:

ÖRNEK 26.8 H_2O Molekülü

H_2O molekülünün dipol moment $6,3 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$ dir. 10^{21} tane bu tür molekül içeren bir numunenin dipol momentlerinin tümü $2,5 \times 10^5 \text{ N/C}$ luk bir elektrik alan doğrultusundadır. Bu şekilde yönelmiş ($\theta = 0^\circ$) dipolleri döndürerek bütün dipol momentleri elektrik alana dik duruma ($\theta = 90^\circ$) getirmek için ne kadar iş yapmak gerekir?

Çözüm Bir molekülü 90° döndürmek için gerekli iş, 90° ve 0° lik yönelmeler arasındaki potansiyel enerji farkına eşittir. Eşitlik 26.19'u kullanarak,

$$\begin{aligned} W &= U_{90} - U_0 = (-pE \cos 90^\circ) - (-pE \cos 0^\circ) \\ &= pE = (6,3 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}) (2,5 \times 10^5 \text{ N/C}) \\ &= 1,6 \times 10^{-24} \text{ J} \end{aligned}$$

bulunur.

Numunede 10^{21} tane molekül bulunduğundan, gerekli toplam iş

$$W_{\text{toplam}} = (10^{21}) (1,6 \times 10^{-24} \text{ J}) = 1,6 \times 10^{-3} \text{ J}$$

olur.

Seçmeli Kesim

26.7 DİELEKTRİKLERİN ATOMİK DÜZEYDE TANITIMI

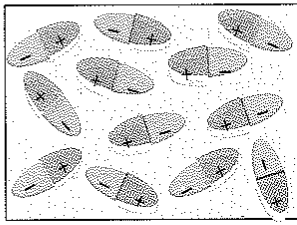
Kesim 26.5 de, bir kondansatörün levhaları arasında κ sabitli bir dielektrik konulduğu zaman, ΔV_0 potansiyel farkının $\Delta V_0/\kappa$ çarpanı kadar azaldığını görüldük. Levhalar arasındaki potansiyel farkı, elektrik alanla d uzaklığının çarpımı olduğundan, elektrik alan da κ çarpanı kadar azalır. Buna göre dielektriksiz ortamda elektrik alan E_0 ise, dielektrikli halde elektrik alan

$$E = \frac{E_0}{\kappa} \quad (26.21)$$

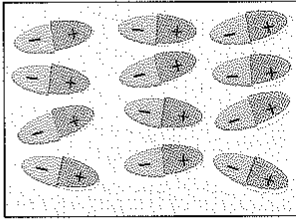
olur.

İlk olarak, bir kondansatörün plakaları arasındaki elektrik alan içine kutuplu moleküllere sahip bir dielektriğin konulduğunu düşünelim. Dipoller (yani, dielektriği oluşturan kutuplu moleküller) Şekil 26.23a da görüldüğü gibi elektrik alan yokken geliş güzel yönelirler. Kondansatör plakalarındaki yüklerin oluşturduğu dış E_0 elektrik alanı uygulandığı zaman, dipoller üzerine etkiyen tork, dipollerin kısmen Şekil 26.23b de görüldüğü gibi alan doğrultusunda sıraya dizilmesine neden olur. Şimdi polarize dielektriği anlatabiliriz. Dipollerin sıraya dizilme derecesi, elektrik alanın büyüklüğüne ve sıcaklığa bağlıdır. Bu sıraya dizilme genellikle, elektrik alan şiddeti arttıkça ve sıcaklık azaldıkça artar. Dielektriğin molekülleri kutupsuzsa, bu durumda plakalar arasındaki dış elektrik alan bir miktar yük ayrışmasına sebep olur ve bunun sonucunda da *indüklenmiş dipol momentleri* oluşur. İndüklenen bu dipol momentleri, dış alan ile aynı doğrultuda sınırlanma eğilimini gösterirler ve dielektrik kutuplanmış olur. O halde, molekülün kutuplu veya kutupsuz olmasına bakılmaksızın, bir dış elektrik alan yardımıyla dielektrikleri polarize edebiliriz.

Bunları aklımızda tutarak, Şekil 26.24'deki gibi kondansatörün plakaları arasında düzgün bir E_0 elektrik alan içindeki bir dielektrik madde dilimini inceleyelim. Moleküllerin pozitif kısmı elektrik alan yönünde negatif kısmı da alana zıt yönlü olacak şekilde yönelir. Böylece, uygulanan elektrik alan dielektriği polarize eder. Burada, dielektrik üzerindeki net etki, Şekil 26.24b de görüldüğü gibi, sağ yüzey üzerinde indüklenmiş σ_{ind} pozitif yüzeysel yük yoğunluğuna eşit miktarda sol yüzey üzerinde indüklenmiş $-\sigma_{\text{ind}}$ negatif yüzeysel yük yoğunluğunun oluşmasıdır. Dielektrik üzerinde indüklenen bu yüzey yükleri, E_0 dış alanına karşı koyan indüklenmiş E_{ind} elektrik alanının oluşmasına

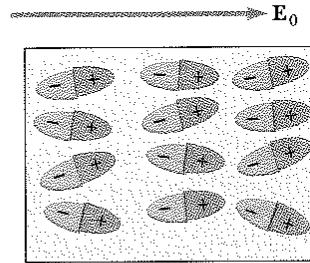


(a)

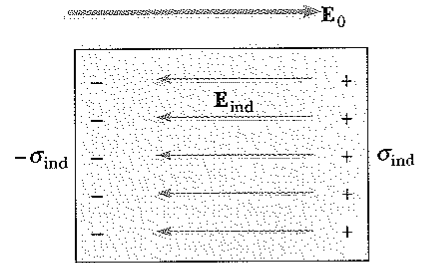


(b)

Şekil 26.23 (a) Daimi dipol momentine sahip olan moleküller, bir dış alan yok iken rastgele yönelirler. (b) Bir dış elektrik alan uygulandığında dipoller, kısmen alanla aynı doğrultuda sıraya dizilirler.



(a)



(b)

Şekil 26.24 (a) Dielektrik polarize olduğunda, dielektrikteki moleküler dipol momentleri E_0 dış alan doğrultusunda sıraya dizilirler. (b) Bu polarizasyon, dielektriğin bir yüzünde negatif yüzeysel yükü öteki yüzünde de eşit miktarda pozitif yüzeysel yükü indüklenmesine sebep olur. Yüklerin bu dağılımı dielektrik içinde elektrik alanın azalmasına yol açar.

sebeplere olurlar. Böylece dielektrik içindeki net E elektrik alanının büyüklüğü

$$E = E_0 - E_{\text{ind}} \quad (26.22)$$

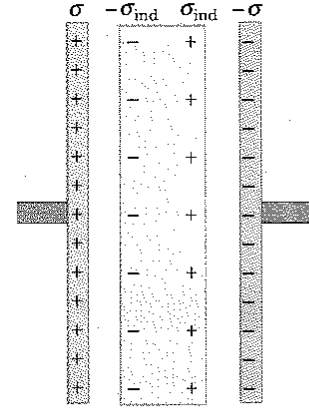
olarak verilir.

Şekil 6.25 te gösterilen paralel plakalı kondansatörlerde, plakalar üzerindeki σ serbest yük yoğunluğu, E_0 elektrik alanına $E_0 = \sigma/\epsilon_0$ ile bağlıdır. Dielektrik içindeki indüklenen elektrik alanı, indüklenmiş σ_{ind} yük yoğunluğuna $E_{\text{ind}} = \sigma_{\text{ind}}/\epsilon_0$ bağıntısı ile bağlı olur. $E = E_0/\kappa = \sigma/\kappa\epsilon_0$ olduğundan bunu Eşitlik 26.22 de yerine koyarsak

$$\frac{\sigma}{\kappa\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{\text{ind}}}{\epsilon_0}$$

$$\sigma_{\text{ind}} = \left(\frac{\kappa - 1}{\kappa} \right) \sigma \quad (26.23)$$

olur. $\kappa > 1$ olduğundan bu ifade, dielektrik üzerinde indüklenen σ_{ind} yük yoğunluğunun kondansatörün plakaları üzerindeki σ serbest yük yoğunluğundan küçük olduğunu gösterir. Örneğin $\kappa = 3$ ise, dielektrik üzerinde indüklenen yük yoğunluğu plakalar üzerindeki serbest yük yoğunluğunun üçte ikisi kadardır. Hiç bir dielektrik yoksa, beklenildiği gibi $\kappa = 1$ ve $\sigma_{\text{ind}} = 0$ olur. Buna karşın, dielektrik yerine bir iletken yerleştirilirse, $E = 0$ olur; o zaman Eşitlik 26.22 den $E_0 = E_{\text{ind}}$ elde edilir ki bu, $\sigma_{\text{ind}} = \sigma$ a karşılık gelir. Yani, iletken üzerinde indüklenen yük, plakalar üzerindeki yük ile eşit büyüklükte ve zıt işaretli olacaktır, dolayısıyla iletkendeki net alan sıfır olacaktır.



Şekil 26.25 Yüklü bir kondansatörün plakaları arasında konan dielektrik üzerindeki indüklenmiş yük. Dielektrik üzerinde indüklenmiş yük yoğunluğunun, plakalar üzerindeki serbest yük yoğunluğundan daha az olduğuna dikkat edin.

ÖRNEK 26.9 Bir Metal Dilimin Etkisi

Bir paralel-plakalı kondansatörün plakaları arasındaki uzaklık d , bir plakasının alanı A dır. Kalınlığı a olan yüksüz bir metal dilim, levhalar arasındaki orta yere konuluyor. (a) Bu aygıtın sıgasını bulunuz.

Çözüm Bu problem, kondansatörün bir plakasının yüklenmesi halinde, metal dilimin kenarları üzerinde eşit ve zıt bir yükün indüklenmesi gerektiğine dikkat ederek çözülebilir Şekil 26.26a. Sonuçta metal dilim üzerindeki net yük sıfır olur, hatta dilimin içindeki alan da sıfırdır. Böylece kondansatör, Şekil 26.26b de görüldüğü gibi herbirinin plakaları arasındaki uzaklık $(d - a)/2$ olan seri bağlı iki kondansatöre eşdeğer olur. İki kondansatörün seri bağlanmasına ait kuralı (Eşitlik 26.10) kullanarak,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{\frac{\epsilon_0 A}{(d-a)/2}} + \frac{1}{\frac{\epsilon_0 A}{(d-a)/2}}$$

olur. Buradan C yi çözdüğümüzde,

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

bulunur. a , d 'ye yaklaştığında C nin sonsuza gideceğine dikkat ediniz. Niçin?

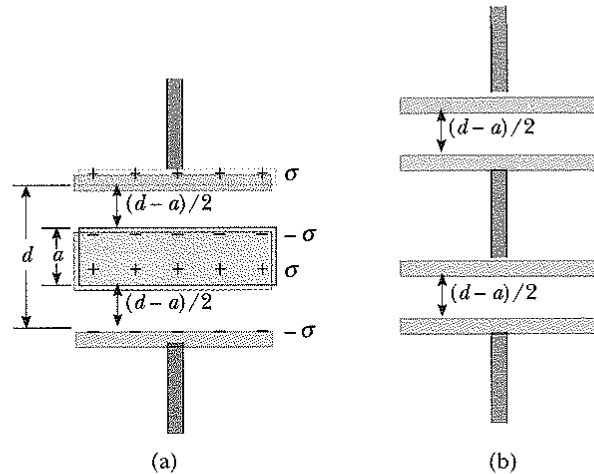
(b) Eğer metalik dilimin kalınlığı ihmal edilebilecek derecede küçükse, kondansatörün sıgasında hiçbir değişikliğin olmadığını gösteriniz.

Çözüm

(a) şıkında bulunan sıga ifadesinde $a \rightarrow 0$ olursa,

$$C = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\epsilon_0 A}{d - a} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

olur. Buda başlangıçtaki sıganın değeridir.



Şekil 26.26 (a) Kalınlığı a olan bir metal dilimle plaka aralığı d olan paralel plakalı kondansatör kısmen doldurmuştur. (b) (a) daki aygıtın eşdeğer devresi, herbirinin plaka aralığı $(d - a)/2$ olan seri bağlı iki kondansatörden ibarettir.

(c) Diliminin konulduğu yerin (a) daki sonuca bir etkisi olmadığını gösteriniz.

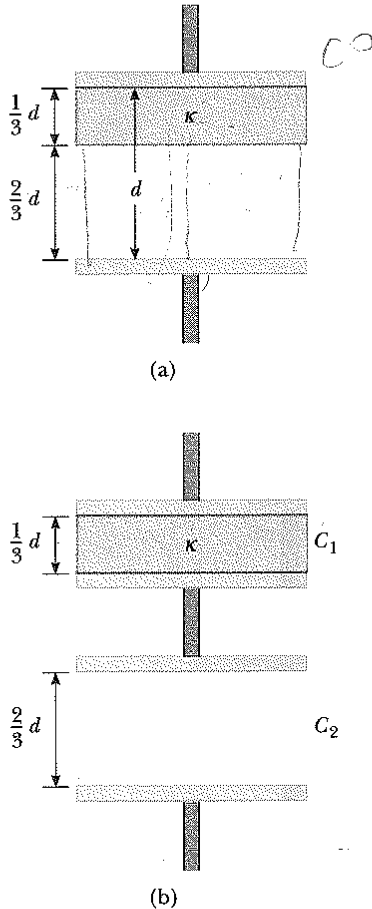
Çözüm Şekil 26.26a daki dilimi yukarı hareket ettirdiğimizde, dilimin üst yüzü ile üstteki plaka yüzeyi arasındaki uzaklığın b olduğunu kabul edelim. Bu durumda, alttaki plaka yüzeyi ile dilimin alt yüzü arasındaki uzaklık $d - b - a$ olur. (a) daki gibi, seri bağlamadaki eşdeğer sığayı,

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{\frac{\epsilon_0 A}{b}} + \frac{1}{\frac{\epsilon_0 A}{d - b - a}} \\ &= \frac{b}{\epsilon_0 A} + \frac{d - b - a}{\epsilon_0 A} = \frac{d - a}{\epsilon_0 A} \\ C &= \frac{\epsilon_0 A}{d - a} \end{aligned}$$

bulunur. Bu (a) şıkında bulunan sonucun aynıdır. Bu değer b den bağımsızdır, o halde dilimin plaklar arasında konulduğu yer fark yaratmıyor.

ÖRNEK 26.10 Kismen Dolu Kondansatör

Dielektrik yokken bir paralel plakalı kondansatörün plakaları arasındaki uzaklık d ve sığası C_0 dir. Dielektrik sabiti κ ve kalınlığı $(1/3)d$ olan bir dielektrik madde dilimi, kondansatörün plakaları arasına (Şekil 26.27a) konulduğunda kondansatörün sığası ne olmuştur?



Şekil 26.27 (a) Plakaları arasındaki uzaklık d olan paralel plakalı kondansatörün $d/3$ kalınlığı bir dielektrikle kısmen doldurulmuştur. (b) Kondansatörün eşdeğer devresi seri bağlı iki kondansatörden oluşur.

Çözüm Örnek 26.9 da, bir kondansatörün plakaları arasına iletken bir dilim konulduğunda sistemin seri bağlı iki kondansatör gibi gözönüne alınacağını bulduk. Bulunan sığa değeri de, dilimin konulduğu yerden bağımsızdır. Üstelik, dilimin kalınlığı sıfıra giderse, sistemin sığası, dilimin bulunmadığı zamanki kondansatörün sığasına eşit olmaktadır. Buradan, bir kondansatörün plakaları arasındaki herhangi bir yere kalınlığı ihmal edilebilecek derecede küçük bir iletken yerleştirildiğinde, kondansatörün sığasının değişmeyeceği sonucunu çıkartılır. O halde Şekil 26.27a da gösterilen dielektriğin alt yüzü boyunca ihmal edilebilecek derecede ince bir metal tabakanın kaplandığını düşünelim. Bu sistemi, Şekil 26.27b de gösterilen seri bağlı iki kondansatör gibi göz önüne alabiliriz. Bunlardan biri dielektrik madde ile dolu, plakaları arasındaki uzaklık $d/3$ ve diğeri, arasında hava bulunan ve plakaları arasındaki uzaklık $2d/3$ olan iki paralel plakalı kondansatöre özdeş olur.

Eşitlik 26.3 ve 26.15 e göre bu iki sığa

$$C_1 = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d/3} \quad \text{ve} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{2d/3}$$

olarak verilir. Seri bağlı bu iki sığa için Eşitlik 26.10 u kullanarak eşdeğer sığayı

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} = \frac{d/3}{\kappa \epsilon_0 A} + \frac{2d/3}{\epsilon_0 A} \\ &= \frac{d}{3\epsilon_0 A} \left(\frac{1}{\kappa} + 2 \right) = \frac{d}{3\epsilon_0 A} \left(\frac{1 + 2\kappa}{\kappa} \right) \\ C &= \left(\frac{3\kappa}{2\kappa + 1} \right) \frac{\epsilon_0 A}{d} \end{aligned}$$

olarak buluruz. Dielektriksiz sığa $C_0 = \epsilon_0 A/d$ olduğundan

$$C = \left(\frac{3\kappa}{2\kappa + 1} \right) C_0$$

olur.

ÖZET

Bir kondansatör zıt işaretli fakat eşit miktarda yükler taşıyan iki iletkenin oluşur. Herhangi bir kondansatörün *C* **sığası**, iletkenlerden biri üzerindeki *Q* yükünün büyüklüğünün iletkenler arasındaki ΔV potansiyel farkına oranıdır:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (26.1)$$

Bu bağıntı, üç değişkenden herhangi ikisinin bilinmesi durumunda kullanılabilir. Bu oran iletkenlerin verilen düzeni için sabittir, çünkü kondansatörün sığasının, potansiyel farkı veya bir dış kaynak üzerindeki yüke bağlı olmadığı ve yalnız iletkenlerin geometrisine bağlı olduğunu hatırlamak önemlidir.

Sığanın *SI* birimi Coulomb başına volt veya **farad** (F) dır ve $1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$ dur.

Çeşitli geometride kondansatörün sığası Tablo 26.2 de özetlenmiştir.

İki veya daha fazla kondansatör *paralel* bağlanırsa, bunların uçları arasındaki potansiyel farkı aynı olmalıdır. Paralel bağlı kondansatörlerin eşdeğer sığası

$$C_{es} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (26.8)$$

olur.

İki veya daha fazla kondansatör *seri* bağlanırsa, her bir kondansatörün üzerindeki yük aynı olur ve seri bağlı kondansatörlerin eşdeğer sığası

$$\frac{1}{C_{es}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (26.10)$$

olarak verilir. Bu iki denklem, çok sayıdaki kondansatör yerine bir tek eşdeğer kondansatörün kullanılması ile birçok elektrik devresinin basitleştirilmesine olanak sağlar.

Bir kondansatörü yüklemek için iş yapmak gerekir. Çünkü, yükleme süreci, düşük potansiyelli bir iletkenin yüksek potansiyelli başka bir iletkeni yük aktarılmasıdır. *Q* yükünü kondansatöre yüklemek için yapılan iş, kondansatörde depolanan *U* elektrostatik potansiyel enerjiye eşittir. Burada,

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q\Delta V = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2 \quad (26.11)$$

dır.

TABLO 26.2 Sığa ve Geometri

Geometri	Sığa	Eşitlik
Yalıtlmış <i>R</i> yarıçaplı küre (ikinci yüklü iletken sonsuzda kabul edilmiştir)	$C = 4\pi\epsilon_0 R$	26.2
<i>A</i> yüzeyli ve <i>d</i> aralıklı paralel plakalı kondansatör	$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$	26.3
İç ve dış yarıçapları <i>a</i> ve <i>b</i> olan ℓ uzunluğunda silindirik kondansatör	$C = \frac{\ell}{2k_e \ln\left(\frac{b}{a}\right)}$	26.4
İç ve dış yarıçapları <i>a</i> ve <i>b</i> olan küresel kondansatör	$C = \frac{ab}{k_e(b-a)}$	26.6

Kondansatörün plakaları arasına dielektrik bir madde konulduğunda, genellikle sığa, **dielektrik sabiti** denen birimsiz bir κ çarpanı kadar artar. Yani,

$$C = \kappa C_0 \quad (26.14)$$

dır. Burada C_0 dielektriğin olmadığı durumdaki sığadır. Sığadaki artış, dielektrik varken elektrik alanın azalmasından ve dolayısıyla plakalar arasındaki potansiyel farkının azalmasından kaynaklanır dielektrik sokulmadan önce yükleyici bataryanın devreden çıkarıldığı farzediliyor. E deki azalmaya, dielektrik madde içinde sıraya dizilen dipollerin oluşturduğu iç elektrik alan sebep olur. Dipollerce oluşturulan bu iç-alan, uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki alana karşı koyar (zıt yönlü) ve net elektrik alanın azalmasına yol açar.

Bir elektrik dipolünün elektrik dipol momenti p nin büyüklüğü

$$p = 2aq \quad (26.16)$$

olarak verilir. Elektrik dipol moment vektörünün yönü negatif yükten pozitif yüke doğrudur.

Düzgün bir E elektrik alanı içindeki elektrik dipolü üzerine etkiyen **tork (döndürme moment)**

$$\tau = p \times E \quad (26.18)$$

ile verilir.

Düzgün bir E elektrik alanındaki elektrik dipolünün **Potansiyel enerjisi**

$$U = -p \cdot E \quad (26.20)$$

dir.

Problem Çözümünde İpuçları

Kondansatör

- Birimleri seçerken dikkatli olunuz. Sığayı farad olarak hesaplarken uzunluğu metre ve ϵ_0 nin değerini SI birimlerinde kullandığınızdan emin olunuz. Birimlerin birbirlerine uygunluğunu kontrol ederken elektrik alan için birimlerin ya N/C veya V/m olarak kullanılabileceğini unutmayınız.
- İki veya daha fazla kondansatör paralel bağlandığı zaman, herbirinin uçları arasındaki potansiyel farkı aynıdır. Her bir kondansatör üzerindeki yük, kondansatörlerin sığaları ile orantılıdır. Böylece, paralel bağlanmada sığaların doğrudan toplamı eşdeğer sığayı verir. Eşdeğer sığa, daima bağlanan her bir kondansatörün sığasından daha büyük olur.
- İki veya daha fazla kondansatör seri bağlandığı zaman yükleri aynı, fakat potansiyel farkları, bireysel kondansatörlerin potansiyellerinin toplamına eşit olur. Sığaların terslerinin toplamı, eşdeğer sığanın tersine eşittir. Bu bağlanmada her zaman eşdeğer sığanın en küçük bireysel sığadan **daha küçük** olacağına dikkat ediniz.
- Dielektrik, plakaları arasında hava bulunan kondansatörün sığasının bir κ (dielektrik sabit) çarpanı kadar artmasına sebep olur.
- Bir bataryaya kondansatörün bağlanması veya bataryadan kondansatörün çıkarılmasına ait problemlerde çok dikkatli olunuz. Kondansatör bataryadan çıkarıldıktan sonra veya bataryaya bağlı iken, kondansatörde bir değişim olup olmadığına dikkat etmek önemlidir. Kondansatör bataryaya bağlı olduğu sürece kondansatörün uçları arasındaki voltaj aynı kalır (ba-

tarya voltajına eşit); ve sığa değişse bile (levhalar arasına dielektrik konularak) yük sığa ile doğru orantılıdır. Öte yandan, kondansatörde herhangi bir değişiklik yapmadan önce, kondansatör bataryadan ayrılmışsa, kondansatör üzerindeki yük aynı kalır. Bu durumda sığa değiştirilirse, $\Delta V = Q/C$ ye göre levhalar arasındaki voltaj sığa ile ters orantılı olarak değişir.

SORULAR


1. Sizden küçük boyutlu ve büyük sığalı bir kondansatör tasarlamanız istenseydi, tasarımınızda hangi etkenler önemli olacaktı?
2. Bir kondansatörün plakaları bir bataryaya bağlıdır. Bağlantı telleri bataryadan ayrılırsa, plakalar üzerindeki yük ne olur? Bağlantı telleri bataryadan ayrılarak birbirlerine bağlanırsa yük ne olur?
3. Farad çok büyük bir sığa birimidir. Plakalar arası uzaklık 1 metre ve arada hava olan, kare şeklinde, 1 farad sığalı kondansatörün bir kenarının uzunluğunu hesaplayınız.
4. Bir çift kondansatör paralel bağlı iken, buna eşdeğer başka bir çift seri bağlanmıştır. Aynı voltaj kaynağına bağlandıktan sonra bu kondansatör çiftinin hangisinin uçlarına dokunmak tehlikeli olur? Açıklayınız.
5. C_1 , C_2 , C_3 , gibi üç farklı kondansatör verilirse, kondansatörlerin kaç çeşit farklı bağlanmasını elde edebilirsiniz.
6. Tek başına bir kondansatör kullanılması yerine, paralel bağlı iki eşdeğer kondansatöre, seri olarak başka bir paralel bağlı eşdeğer kondansatör çifti bağlanırsa nasıl bir avantaj sağlanabilir?
7. Burada geliştirdiğimiz kurallara göre kondansatörleri bağlayarak bir eşdeğer kondansatöre indirmek her zaman mümkün müdür? Cevabınızı açıklayınız.
8. Bir kondansatördeki net yük daima sıfır olduğuna göre kondansatör ne depolar?
9. Paralel plakalı kondansatörün plakaları üzerindeki yükler eşit ve zıt olduğunda plakalar birbirlerini çekerler. Buna göre plaka aralığını arttırmak için pozitif bir iş yapılacaktı. Bu süreçte yapılan dış iş ne olur?
10. Bir ΔV potansiyeli altında bir Q yükünü hareket ettir-



mek için $W = Q\Delta V$ kadar iş yapılması gerekirken, yüklü bir kondansatörde depolanan enerjinin $U = \frac{1}{2} Q \Delta V$ ile verilisinin nedenini açıklayın. Buradaki $\frac{1}{2}$ çarpanı nereden gelir?

11. Bir kondansatörün potansiyel farkı iki kat arttırılırsa, depolanan enerji kaç kat artar?
12. Bir yüksek voltaj kondansatörüne, voltaj uygulanıp kapatıldıktan sonra bile uçlarına dokunmak niçin tehlikelidir? Voltaj kaynağından çıkartıldıktan sonra kondansatöre güvenle dokunmak için ne yapılmalıdır?
13. Paralel plakalı kondansatörün maksimum çalışma voltajını yükseltmek isterseniz, plakalar arası uzaklığı sabit tutarak bunu nasıl yapacağınızı anlatınız.
14. Plakalar arası hava dolu bir kondansatör yüklendikten sonra güç kaynağından ayrılarak bir voltmetreye bağlanıyor. Kondansatörün plakaları arasına bir dielektrik konulduğunda voltajda okunan değerin nasıl ve niçin değiştiğini açıklayınız.
15. Polar molekül anlatımını kullanarak bir dielektriğin kondansatör içindeki elektrik alanı nasıl etkilediğini açıklayınız.
16. Fiziksel boyutu değişmediği halde, dielektriğin bir kondansatörün maksimum çalışma voltajını niçin arttırdığını açıklayınız.
17. Dielektrik sabiti ile dielektrik şiddet arasındaki fark nedir?
18. Su molekülleri niçin sürekli polarizedir? Açıklayınız. Ne tür molekülün sürekli polarizasyonu olmaz?
19. Dielektrikle doldurulmuş bir kondansatör ısıtılırsa, kondansatörün sığası nasıl değişecektir? (Isısal genleşmeyi ihmal ediniz ve dipoldeki yönelmelerin sıcaklığa bağlı olduğunu varsayınız.)

PROBLEMLER

1, 2, 3 = kolay, orta, zorca; \square = Bu problemin tam çözümünü Öğrenci Çözümlü El Kitabı ve Çalışma Kılavuzu'nda bulunabilir

WEB = Çözüm <http://www.saunderscollege.com/physics/> de bulunabilir  = Problemi çizmek için bilgisayar kullanmak faydalı olabilir

bilir  = "Etkileşimli Fizik" paket programında bulunabilir  = Sayısal/sembolik problem çifti

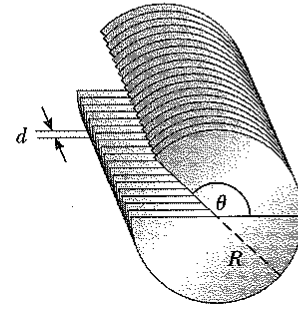
Kesim 26.1 Sığa'nın Tanımı

1. (a) $4,00\mu\text{F}$ kondansatör $12,0\text{ V}$ 'luk bataryaya bağlandığı zaman her bir plakada ne kadarlık yük bulunur? (b) Aynı kondansatör $1,50\text{ V}$ 'luk bataryaya bağlanırsa ne kadar yük depolar?

2. $10,0\text{ V}$ 'luk potansiyel farkına sahip iki iletken $+10,0\mu\text{C}$ ve $-10,0\mu\text{C}$ 'luk net yükler taşımaktadır. (a) Sistemin sığasını bulunuz ve (b) Her birinin üzerindeki yük $+100\mu\text{C}$ ve $-100\mu\text{C}$ değerine çıkartılırsa, bu iki iletken arasındaki potansiyel farkı en olur?

Kesim 22.2 Sığa'nın Hesaplanması

3. 10,00 cm yarıçapında yalıtılmış, yüklü iletken bir kürenin merkezinden 21,0 cm uzaklıkta oluşturduğu elektrik alan $4,90 \times 10^4$ N/C dur. Bu kürenin; (a) Birim yüzeydeki yük yoğunluğu ne kadardır? (b) Sığası nekadardır?
4. (a) Bir damla sıvının sığası 1,00pF ise, bunun yarıçapı nekadardır? (b) Diğer bir damlanın yarıçapı 2,00 mm ise sığası nekadardır? (c) Küçük damlanın potansiyeli 100 volt ise, üzerindeki yük ne kadardır?
5. Çapları 0,40 m ve 1,00 m olan iki küresel iletken, çaplarına kıyasla birbirlerinden çok uzaktır. Küreler iletken bir telle bağlanıyor ve $7,00 \mu\text{C}$ yük veriliyor. Toplam yük, küreler arasında ne şekilde paylaşılır? (teldeki yükü ihmal ediniz.) (b) Referans potansiyeli, $r = \infty$ da $V = 0$ olarak alındığında, küre sisteminin potansiyeli ne olur?
6. Yer ile, yeryüzünden yaklaşık 800 m yukarıdaki bulut tabakası bir kondansatör olarak alınabilir. Bulut tabakasının alanının $1,00\text{km}^2$ alarak sığasını hesaplayınız. Bulut ve yeryüzü arasındaki havanın kuru ve temiz olduğunu varsayınız. Yeryüzü ve bulut arasında düzgün elektrik alan oluşturunaya kadar yüklerin yığıldığını ve bu alan uzayın her tarafında $3,00 \times 10^6$ N/C büyüklüğüne ulaştığında havanın dielektrikliğinin kırıldığını ve yıldırım şerresi (atlaması) yaparak elektriği ilettiğini farzedin. Bu durumda bulut en fazla ne kadar yük taşıyor?
- WEB 7. Aralarında hava bulunan bir kondansatör, iki paralel plakadan oluşmakta, herbirinin alanı $7,60 \text{ cm}^2$ ve plakalar arasındaki açıklık 1,80 mm dir. Bu plakalara 20V potansiyel farkı uygulanırsa; (a) plakalar arasındaki elektrik alanı, (b) yüzeyel yük yoğunluğunu, (c) sığasını ve (d) her bir plakadaki yükü hesaplayınız.
8. 1-megabitlik bilgisayar hafıza chip'i çok sayıda 60 fF'lık kondansatör içerir. Her bir kondansatör plakasının alanı $21 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ dir. Böylece bir kondansatörün plakaları arasındaki uzaklığı belirleyiniz. (Paralel plakalı kabul edin). Karakteristik atomik çap $10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$ dur. Plaka arasındaki uzaklığı nanometre cinsinden veriniz.
9. Bir paralel-plakalı kondansatörün plakalarına 150 V'lık bir potansiyel farkı uygulandığı zaman, plakaların yüzeyce yük yoğunluğu 30 nC/cm^2 lik oluyor. Levhalar arasındaki mesafe nekadardır?
10. Devre ayarında (tuning) kullanılan bir değişken hava ortamı kondansatör, N tane yarım daire plakadan oluşmuştur. Plakaların he birinin yarıçapı R ve birbiri arasındaki uzaklık d dir. Şekil P26.10 da görüldüğü gibi, birinciye eşdeğer olan ikinci plaka serisi, birincinin plakalarının yarı uzaklığına kadar döndürülüyor. İkinci plaka serisi bir tam dönme hareketi yapabiliyor. Maksimum sığa $\theta_0 = 0$ da olduğuna göre, θ dönme açısının fonksiyonu olarak sığayı elde ediniz.
- WEB 11. 50 m uzunluğundaki koaksiyel kablunun içindeki iletkenin çapı 2,58 mm ve üzerindeki yük $8,1 \mu\text{C}$

**Şekil P26.10**

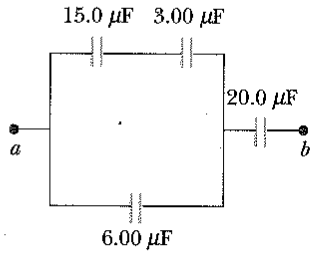
- dur. Bunu saran iletkenin iç çapı 7,27 mm ve üzerindeki yük $-8,1 \mu\text{C}$ dur. (a) Bu kablunun sığası ne kadardır? (b) İki iletken arasındaki potansiyel farkı nedir? İletkenler arasındaki bölgede hava bulunduğunu kabul ediniz.
12. $20,0 \mu\text{F}$ 'lık küresel bir kondansatör, birinin yarıçapı diğerinden iki katı olan iki matematik küreden oluşmuştur. Küreler arasındaki bölge boşluk ise, bu bölgenin hacmini bulunuz.
13. 350 mg kütleli küçük bir cisim 30 nC'lık bir yük taşıyor ve paralel plakalı kondansatörün düşey plakaları arasına bir iplikle bağlanarak sarkıtılıyor. Plakalar arasındaki uzaklık 4 cm dir. İplik, düşeyle 15° lik bir açı yaparsa, levhalar arasındaki potansiyel farkı ne olur?
14. Üzerinde q yükü bulunan düşey, m kütleli küçük bir cismin paralel plakalı kondansatörün plakaları arasındaki açıklığa bir ipliğe bağlı olarak sarkıtılıyor. Plakalar arasındaki uzaklık d dir. İplik düşeyle θ açısı yaparsa, levhalar arasındaki potansiyel farkı ne olur?
15. İçi hava dolu küresel kondansatör, iç kabuğun yarıçapı 7 cm, dış kabuğun yarıçapı 14 cm olacak şekilde yapılmıştır. (a) bu aygıtın sığasını hesaplayınız. (b) Her bir iletken üzerindeki $4 \mu\text{C}$ luk yük, küreler arasında ne kadarlık bir potansiyel farkı meydana getirir?
16. Yerin sığasını hesaplayınız. (İpucu: "Küresel kondansatörün" dış iletkenini, sonsuz uzaklıkta, $V = 0$ olan bir yerde küresel bir iletken kabul ediniz.)

Kesim 26.3 Kondansatörlerin Bağlanması

17. $C_1 = 5,00 \mu\text{F}$ ve $C_2 = 12,0 \mu\text{F}$ sığalı iki kondansatör paralel bağlı iken 9,00 V'lık bataryaya bağlanmıştır. (a) Bu bağlanmada eşdeğer sığa ne kadardır? (b) Herbir kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı, (c) herbir kondansatörün depolandığı yük ne kadardır?
18. Problem 17 deki iki kondansatör şimdi seri bağlandıktan sonra 9,00V'lık bataryanın uçlarına bağlanıyor. (a) Bu bağlanmada eşdeğer sığanın değerini, (b) herbir kondansatörün uçları arasındaki voltajı, (c) herbir kondansatörün üzerindeki yükü bulunuz?

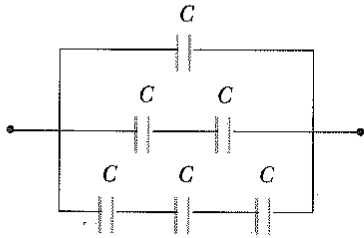
19. İki kondansatör paralel bağlandığı zaman eşdeğer sığaları $9,00 \mu\text{F}$, seri bağlandığı zaman eşdeğer sığa $2 \mu\text{F}$ oluyor. Herbir kondansatörün sığası nedir?
20. İki kondansatör paralel bağlandığı zaman eşdeğer sığa C_p , seri bağlandığı zaman eşdeğer sığası C_s oluyor. Her bir kondansatörün sığası ne kadardır?

21. Dört kondansatör Şekil 26.21 de görüldüğü gibi bağlanmıştır (a) a ve b noktaları arasındaki eşdeğer sığayı bulunuz. (b) $V_{ab} = 15 \text{ V}$ ise, her bir kondansatör üzerindeki yükü bulunuz.



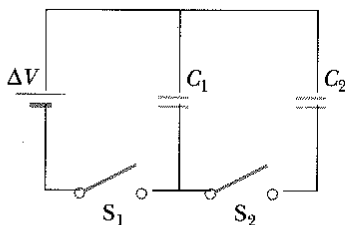
Şekil P26.21

22. Şekil 26.22 de gösterilen kurulumun etkin sığasını hesaplayınız. Kondansatörler özdeş ve aynı C sığasına sahiptir.



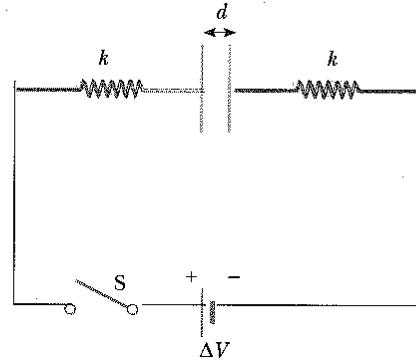
Şekil P26.22

23. Şekil 26.23 te gösterilen devreyi göz önüne alınız. Burada $C_1 = 6 \mu\text{F}$, $C_2 = 3 \mu\text{F}$ ve $\Delta V = 20 \text{ V}$ dur. S_1 anahtarı kapatılarak ilk olarak C_1 kondansatörü yükleniyor. Sonra S_1 anahtarı açılır ve yüklenmiş kondansatör S_2 anahtarı kapatılarak yüksüz kondansatöre bağlanıyor. C_1 kondansatörünün başlangıçta kazandığı yükü ve kondansatörlerin her birindeki son yükü hesaplayınız.



Şekil P26.23

24. Özel olarak planlanıp hazırlanan bir zamanlama devresi, A ve B gibi iki nokta arasında $32,0 \mu\text{F}$ sığaya sahip asansör kapısının kapanmasında bir geçikme yaptıracaktır. (a) Böyle bir devre yapılırken, bu iki nokta arasına $34,8 \mu\text{F}$ lık ucuz kondansatörler bulunarak yerleştirilmiştir. Gereken özelliği karşılaması için bu iki nokta arasına bir tane ilave kondansatör yerleştirilebilir. $34,8 \mu\text{F}$ lık kondansatör seri mi, yoksa paralel mi bağlanmalıdır? Sığası ne olmalıdır? (b) Sonraki devre A ve B arasında $29,8 \mu\text{F}$ kondansatör ile montaj hattını ucuzlatıyor. İstenilen özelliği karşılaması için devreye ne kadarlık ek bir kondansatör seri veya paralel yerleştirilmelidir?
25. Şekil P26.25 deki devrede, iki özdeş paralel metalik plaka, özdeş metalik yayla 100 V 'luk bataryaya bağlanmıştır. Anahtar açık durumda, plakalar yüksüz, aralarındaki açıklık $d = 8,00 \text{ mm}$ ve sığası $2,00 \mu\text{F}$ dir. Anahtar kapatıldığında, plakalar arasındaki uzaklık $0,500$ kat azaltılıyor. (a) Her bir plaka ne kadarlık yük toplar? (b) her bir yayın yay sabiti nedir? (İpucu: Problem 35 deki sonuçları kullanınız.)



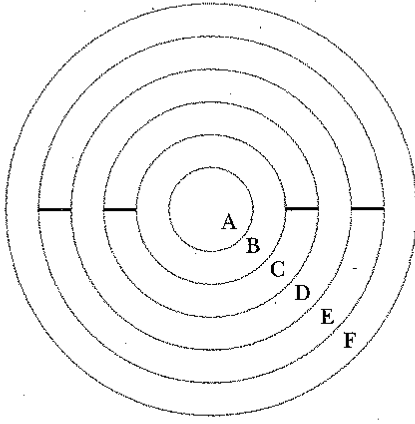
Şekil P26.25

26. Şekil P26.26da, A, B, C, D, E ve F ile işaretlenmiş altı adet aynı merkezli R , $2R$, $3R$, $4R$, $5R$ ve $6R$ yarıçaplı, iletken küreler gösterilmektedir. B ile C ve D ile E iletken tellerle birbirine bağlanmıştır. Bu sistemin eşdeğer sığasını bulunuz.

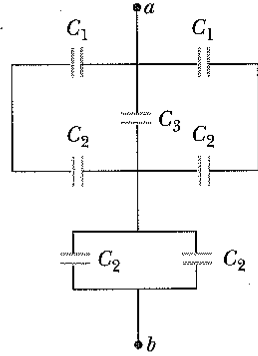
27. Bir grup özdeş kondansatör ilk önce seri, sonra da paralel bağlanmıştır. Paralel bağlı kondansatörlerin sığası, seri bağlı kondansatörlerin sığasından 100 kat daha fazla olmuştur. Grupta kaç tane kondansatör vardır?

28. Şekil 26.31 deki gibi bağlanan bir grup kondansatör için, a ve b noktaları arasındaki eşdeğer sığayı bulunuz. $C_1 = 5 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$ ve $C_3 = 2 \mu\text{F}$ dir.

29. Bir önceki soruda verilen devrede a ve b noktaları arasındaki potansiyel farkı 60 V ise C_3 kondansatörü üzerinde biriken yük ne kadardır?

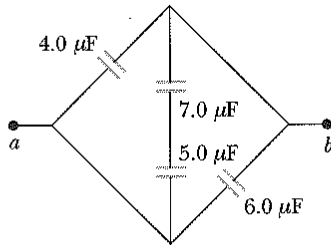


Şekil P26.26



Şekil P26.28 Problemler 28 ve 29

30. Şekil P26.30 de gösterilen kondansatör sisteminde a ve b noktaları arasındaki eşdeğer sığayı bulunuz.



Şekil P26.30

Kesim 26.4 Yüklü Kondansatörde Depolanan Enerji

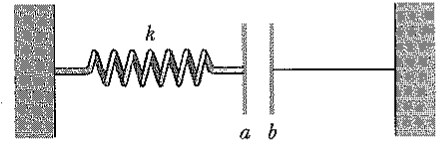
31. (a) $3,00\mu\text{F}$ lık kondansatör $12,0\text{ V}$ luk bataryaya bağlanıyor. Kondansatörde ne kadarlık bir enerji depolanmıştır? (b) Kondansatör, $6,00\text{ V}$ luk bataryaya bağlansa idi ne kadarlık bir enerji depolanırdı?
32. $C_1 = 25\mu\text{F}$ ve $C_2 = 5\mu\text{F}$ lık iki kondansatör paralel bağlanarak 100 V luk güç kaynağında yüklenmiştir.

(a) Devre grafiğini çizin ve bu iki kondansatörde depolanan toplam enerjiyi hesaplayınız. (b) Bu iki kondansatörün seri bağlanması durumunda (a) da ki kadar enerji depolanması için kondansatörün uçları arasında ne kadarlık bir potansiyel farkı gerekir?

33. Paralel plakalı bir kondansatör bir bataryada yükledikten sonra bataryadan ayrılıyor. Plakaları arasındaki boşluk iki katına çıkarılırsa depolanan enerji deki değişme (artma veya azalma) oranı nedir?
34. Belirli bir bölge içinde $E = 3000\text{ V/m}$ lık düzgün bir alan bulunmaktadır. Uzayın ne kadarlık bir hacmi $1,00 \times 10^{-7}\text{ J}$ e eşit bir enerji içerir? Cevapları metre-küp ve litre cinsinden veriniz.

35. Bir paralel plakalı kondansatörün üzerindeki yük Q ve plaka alanı A dır. Her bir plakanın ötekine uyguladığı kuvvetin $F = Q^2/2\epsilon_0 A$ olduğunu gösteriniz. (İpucu: Keyfi bir plaka x aralığı için $C = \epsilon_0 A/x$ alın, sonra, iki yüklü levhayı ayırmak için yapılması gereken $W = \int F dx$ işini bulun?)

36. Hava ortamında, bir paralel plakalı kondansatörün a plakası, kuvvet sabiti k olan bir yaya, b plakası da sabit bir yere bağlıdır. Bunun sükunetteki masada üstten görünüşü Şekil P26.36 gösterilmiştir. Eğer $+Q$ yükü a plakasına ve $-Q$ yükü b plakasına yüklenirse yay ne kadar uzar?



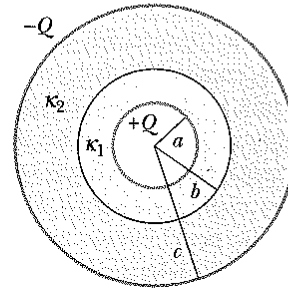
Şekil P26.36

37. Tarama Problemi. Belirli bir fırtına bulutu, yerdeki ağaca göre, $1,00 \times 10^8\text{ V}$ luk potansiyel farkına sahiptir. Şimşek çakışı sırasında, bu potansiyel farkına $50,0\text{ C}$ luk yük nakledilirse ve enerjinin %1,00 ağaç tarafından soğrulursa, başlangıçta $30,0^\circ\text{C}$ da bulunan sudan (ağaçtaki özsu) ne kadarı kaynarak uçar? Suyun özgül ısı $4186\text{ J/kg}^\circ\text{C}$, kaynama noktası 100°C ve buharlaşma ısı $2,26 \times 10^6\text{ J/kg}$ dır.
38. Yarıçapı R ve yükü Q olan iletken bir kürenin çevresi boşluk ise, enerjisinin $U = kQ^2/2R$ olduğunu gösteriniz.

39. Einstein, meşhur $E = mc^2$ bağıntısında külenin enerji ile ilişkili olduğunu söylemiştir. R yarıçaplı bir kürenin yüzeyi üzerinde yüklerin düzgün olarak dağıldığını varsayarak elektronun yarıçapını tahmin ediniz. Ayrıca, elektronun kütle-enerji eşdeğerini, sonsuz ve R arasındaki elektrik alanında (sıfırdan farklı) depolanan toplam enerjiye eşit alınız. (Problem 38 bakınız. Deneyisel olarak, bir elektron bir noktasal parçacık olarak gözükür. Aslında, elektrik alanın sardığı elektronlar bizim burada incelediğimiz klasik elektrodinamik ile değil, kuantum elektrodinamikle anlatılır).

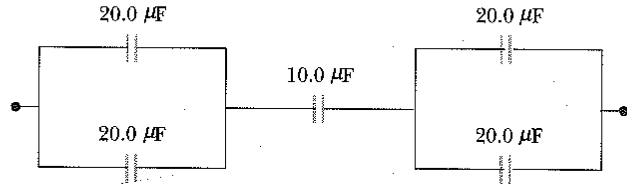
Kesim 26.5 Dielektrikli Kondansatörler

40. Her bir plakanın alanı $5,00\text{cm}^2$ ve plakalar arasında ki açıklık $2,00\text{ mm}$ olan paralel plakalı kondansatörde, bakalit'in bir dielektrik olarak kullanılması durumunda sığasını bulunuz.
41. Yalıtkan kalınlığı $0,04\text{ mm}$ ve levha yüzeyi $1,75\text{ cm}^2$ olan teflon doldurulmuş paralel plakalı kondansatörün (a) sığasını ve (b) uygulanacak maksimum voltajı tayin ediniz (dielektrik özellik için tablo 26.1 e bakınız).
42. (a) her bir plakasının alanı $5,00\text{cm}^2$ olan bir kondansatöre ne kadarlık bir yük verilmeli ki plakalar arasında kıvılcım atlama olmasın? (Plakalar arasında, hava yerine polystrene bulunursa maksimum yük ne olur?)
43. Bir ticari kondansatör Şekil 26.15a da görüldüğü gibi yapılmıştır. Bu özel kondansatör, iki alüminyum tabakanın iki parafinli kağıt tabaka ile ayrılarak bir-biri üzerine konup "yuvarlanması" ile oluşur. Metal yaprak ve kağıt tabakanın eni 7 cm dir. Metal yaprağın kalınlığı $0,004\text{ mm}$, dielektrik sabiti $3,7$ olan kağıt tabakanın kalınlığı $0,025\text{ mm}$ dir. $9,5 \times 10^{-8}\text{ F}$ lık bir kondansatör elde etmek istenirse, tabakaların uzunluğu ne kadar olmalıdır? (paralel-plaka formülünü kullanınız.)
44. Süpermarketler rulo halinde alüminyum ince tabaka (foil), plastik örtü ve yağlı kağıt satmaktadırlar. Bu maddelerle bir kondansatörün nasıl yapılacağını anlatınız. Onun sığasını ve kıvılcım atlama voltajının büyüklük mertebesini sayısal olarak tahmin ediniz.
45. Plakaları arasında hava bulunan bir kondansatör $12,0\text{ V}$ 'luk potansiyel farkına bağlanıyor ve $48,0\text{ }\mu\text{C}$ yük depo ediyor. Sonra da yüklü durumda kaynaktan çıkarılıyor. (a) Kondansatörün sığasını bulunuz. (b) Bir küçük teflon parçası kondansatörün plakaları arasına sokuluyor. Kondansatörün yeni sığasını bulunuz. (c) Yeni kondansatör üzerindeki yükü ve voltajı bulunuz.
46. Aralarında hava olan bir paralel plakalı kondansatörün plaka alanı $25,0\text{cm}^2$ ve plakalar arasındaki açıklık $1,50\text{ mm}$ dir. Plakalar 250 V luk potansiyel farkı da yükleniyor ve kaynaktan çıkarılıyor. Sonra da kondansatör damıtık suyun içine batırılıyor. (a) Su ya batırmadan önce ve sonra plakalar üzerindeki yükü, (b) batırdıktan sonraki sığa ve voltajı, (c) kondansatörün enerjisindeki değişmeyi bulunuz. Sıvının iletkenliğini önemsemeyiniz.
47. İletken bir küresel kabuğun iç yarıçapı a ve dış yarıçapı c dir. Bu iki yüzey arasındaki bölge dielektrik madde ile dolduruluyor. a ile b arasındaki dielektriğin kat sayısı κ_1 ve b ile c arasındaki dielektriğin katsayısı κ_2 dir (Şekil P26.47). Bu sistemin sığasını bulunuz.
48. Çok ince titanyum oksit ($\kappa = 173$) tabakanın alanı 1 cm^2 ve kalınlığı $0,1\text{ mm}$ dir. Bu tabakanın yüzlerine alüminyum buharlaştırılarak bir paralel plakalı kondansatör oluşturuluyor. (a) Sığasını hesaplayınız. (b) Bu kondansatör 12 V luk bir batarya ile yüklediği zaman, her bir plakaya verilen yükün büyüklüğü ne kadardır? (c) (b) deki durum için serbest ve indüklenen yüzeyce yük yoğunlukları ne kadardır? (d) E elektrik alanı ne kadardır?



Şekil P26.47

49. Şekil P26.49 da gösterilen karışık bağlamada her bir kondansatörün kıvılcım atma (bozulma) voltajı $15,0\text{ V}$ dur. Tüm şeklin kıvılcım atma voltajı ne kadardır?



Şekil P26.49

(Seçmeli)

Kesim 26.6 Bir Elektrik Alan İçindeki Elektrik Dipolü

50. Küçük bir katı cisim pozitif ve negatif $3,50\text{ nC}$ yükler taşımaktadır. Bunlardan pozitif yük $(-1,20\text{ mm}, 1,10\text{ mm})$, negatif yük $(1,40\text{ mm}, -1,30\text{ mm})$ noktalarında bulunmaktadır. (a) Bu cismin elektrik dipol momentini bulunuz. Cisim $\mathbf{E} = 7\,800\mathbf{i} - 4\,900\mathbf{j}$ ile verilen bir elektrik alan içine konuluyor. (b) Cisme etki eden torku bulunuz. (c) Bu yönelimdeki cismin potansiyel enerjisini bulunuz. (d) Cismin yönelimi değişirse, maksimum ve minimum potansiyel enerjileri arasındaki farkı bulunuz.
51. Elektrik dipol moment \mathbf{p} olan küçük bir cismin, düzgün olmayan $\mathbf{E} = E(x)\mathbf{i}$ gibi bir elektrik alan içinde bulunmaktadır. Yani, alan x doğrultusunda ve büyüklüğü x koordinatına bağlıdır. Dipol moment ile x doğrultusu arasındaki açı θ olsun. (a) Dipole, elektrik alanın artış yönünde net bir $F = p(dE/dx)\cos\theta$ kuvvetinin uygulanacağını ispatlayınız. (b) Alan, orijinde bulunan bir küresel balon tarafından oluşturulsun. Balonun yarıçapı $15,0\text{ cm}$ ve taşıdığı yük $2,00\text{ }\mu\text{C}$ dir. $(16\text{ cm}, 0, 0)$ noktasındaki dE/dx değerini elde ediniz. Bu noktada bir su damlasının $(6,30\mathbf{i})\text{ nC}$ 'luk indüklenmiş dipol momentine sahip olduğunu varsayarak, üzerine etki eden kuvveti bulunuz.

(Seçmeli)

Kısım 26.7 Dielektriğin Atomik Tanımı

52. Geiger-Muller sayacı denilen radyasyon dedektörü, içi boş, kapalı bir iletken silindir ile bunun eksenini

boyunca uzanan ince bir iletken telden oluşmaktadır. Silindirin iç çapının 2,5 cm ve eksen boyunca uzanan telin çapının da 0,2 mm olduğunu kabul ediniz. Silindir ve eksenindeki tel arasındaki gazın dielektrik şiddeti $1,2 \times 10^6 \text{ V/m}$ ise, gaz içinde elektriksel atlama olmadan önce silindir ve tel arasına uygulanacak olan maksimum voltajı, V_{\max} , hesaplayınız.

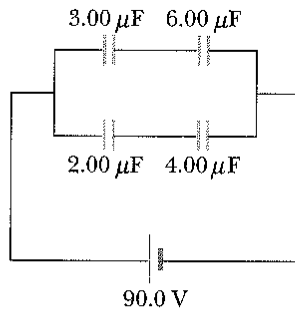
53. Gauss yasasının genel ifadesi, bir yükün, boşlukta ve bir madde içinde elektrik alanı nasıl oluşturacağını gösterir, yani,

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon}$$

dır. Burada $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ maddenin dielektrik geçirgenliğidir. (a) Bir Q yükü, dielektrikle çevrilmiş bir A yüzeyli levhanın bütün yüzeyine dağılmıştır. Levhanın, dışındaki bir noktada oluşturduğu düzgün bir elektrik alanının $E = Q/2A\epsilon$ değerinde olduğunu gösteriniz. (b) Zıt işaretli eşit büyüklükte Q yükleri taşıyan A yüzeyli iki büyük levha, küçük bir d uzaklığı ile ayrılmıştır. Levhaların arasında oluşan düzgün elektrik alanının $E = Q/A\epsilon$ değerinde olduğunu gösteriniz. (c) Negatif plakanın sıfır potansiyelde olduğunu varsayarak, pozitif plakanın potansiyelinin $Qd/A\epsilon$ olduğunu gösteriniz. (d) Bu plaka çiftinin sığasının $A\epsilon/d = \kappa A\epsilon_0/d$ olduğunu gösteriniz.

EK PROBLEMLER

54. Şekil 26.54 te gösterilen kondansatör sistemi için, (a) sistemin eşdeğer sığası, (b) her bir kondansatörün uçlarındaki potansiyeli, (c) her bir kondansatör üzerindeki yükü, (d) sistemde biriken toplam enerjiyi bulunuz.



Şekil P26.54

55. Merkezleri birbirinden D kadar ayrı olan d yarıçaplı, zıt yüklü, uzun ve paralel iki teli göz önüne alınız. Her bir telin yüzeyi üzerinde düzgün yük dağılımı bulunduğunu varsayarak, bu iki tel çiftinin birim uzunluk başına sığasının

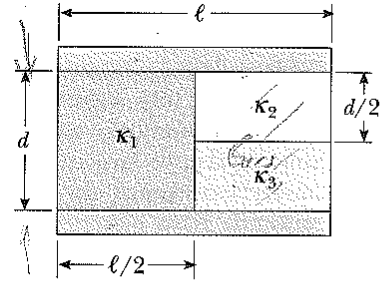
$$\frac{C}{\ell} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \left(\frac{D-d}{d} \right)}$$

olduğunu gösteriniz.

56. 2 nF'lık paralel plakalı kondansatör, başlangıçta $\Delta V = 100 \text{ V}$ luk potansiyel farkında yüklenmiş ve sonra yalıtılmıştır. Plakalar arasındaki dielektrik madde mika ($\kappa = 5$) dır. (a) Mika tabakayı plakalar arasından çıkarmak için ne kadarlık iş gerekir? (b) Mika çıkartıldıktan sonra kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı ne olur?

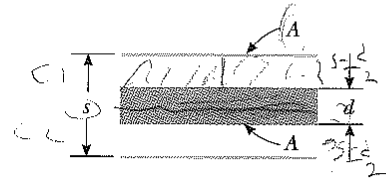
57. Paralel-plakalı bir kondansatör dielektrik sabiti 3 ve dielektrik şiddeti $2 \times 10^8 \text{ V/m}$ olan dielektrik bir madde kullanarak yapılıyor. İstenen sığa $0,25 \mu\text{F}$ dir ve kondansatör 4000 V luk maksimum potansiyel farkına dayanabilmelidir. Kondansatör plakalarının minimum yüzey alanını bulun.

58. Bir paralel-plakalı kondansatör Şekil P26.58 de gösterildiği gibi üç farklı dielektrik madde kullanılarak yapılmıştır. $\ell \gg d$ olduğunu kabul ederek; (a) Plaka yüzeyi A , ve d , κ_1 , κ_2 , κ_3 , terimleri cinsinden bu aygıtın sığası için bir ifade bulunuz. (b) $A = 1 \text{ cm}^2$, $d = 2 \text{ mm}$, $\kappa_1 = 4,9$, $\kappa_2 = 5,6$ ve $\kappa_3 = 2,1$ alarak kondansatörün sığasını hesaplayın.



Şekil P26.58

59. A alanlı ve d kalınlıklı iletken bir dilim Şekil P26.59 da görüldüğü gibi, A alanlı s aralıklı paralel-plakalı kondansatörün levhaları arasına yerleştiriliyor. Sistemin sığasının değeri ne kadardır?



Şekil P26.59

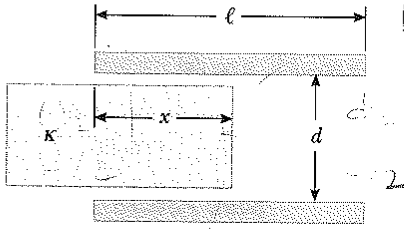
60. (a) Yarıçapları a ve b olan iki kürenin merkezleri arasındaki uzaklık d dir. a ve b ye göre d çok büyük ise, bu sistemin sığasının,

$$C = \frac{4\pi \epsilon_0}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{2}{d}}$$

olduğunu gösteriniz. (İpucu: Küreler arasındaki uzaklık çok büyük farzedildiğinden, bir küre üzerindeki yükün, diğer küre üzerindeki yük dağılımını bozmadığı kabul edilir. Böylece, her bir kürenin potansiyeli $V = k_e Q/r$ ve küredeki toplam potansiyel de, her bir kürede oluşan potansiyellerin toplamıdır) (b) d sonsuza giderse, yukarıdaki sonuç, seri haldeki iki yalıtılmış küre ifadesine indirgeneceğini gösteriniz.

61. Hava ortamında paralel plakalı bir kondansatör bir bataryanın uçlarına bağlandığında q_0 yükünü (herbir plaka) kazanıyor. Batarya bağlı iken, plakalar arasına açıklığı tamamen dolduran bir dielektrik dilimi konuluyor. Bu durumda her bir plaka üzerinde ek bir q yükü depolanır. Bu dilimin dielektrik katsayısı nedir?

62. Bir kondansatör kenar uzunluğu ℓ ve plaka aralığı d olan iki kare plakadan yapılmıştır. Şekil P26.62 deki gibi Dielektrik sabiti κ olan bir madde kondansatör içine bir x uzaklığında yerleştirilmiştir. (a) Aygıtın eşdeğer sığasını bulunuz. (b) Potansiyel farkı ΔV ise, kondansatörde depolanan enerjiyi bulunuz. (c) ΔV potansiyel farkının sabit olduğunu varsayarak, dielektrik üzerine etki eden kuvvetin yön ve büyüklüğünü bulunuz. Sürtünme ve kenar etkilerini ihmal edin. (d) $\ell = 5$ cm, $\Delta V = 2000$ V, $d = 2$ mm ve camın (dielektrik sabiti $\kappa = 4,50$) kullanarak kuvvet için sayısal bir değer elde ediniz. (İpucu: Sistemi paralel bağlı iki kondansatör olarak düşününüz.)



Şekil P26.62 Problem 62 ve 63

63. Bir kondansatör, Şekil P26.63 deki gibi, ℓ uzunluklu d açıklıklı iki kare plakadan yapılmıştır. d, ℓ den çok küçük olduğu fazediliyor. Plakalar $-Q$ ve $+Q$ yüklerini taşımaktadır. Eni ℓ , boyu ℓ ve kalınlığı d den çok az küçük olan bir metal blok, bu kondansatör içine x uzaklığı kadar sokuluyor. Bloğun sokulması sırasında plakalar üzerindeki yükler değişmektedir. Durgun durumda, metal, içine sızmak isteyen elektrik alanını önler. Buna göre metal, dielektrik katsayısı $\kappa \rightarrow \infty$ olan, kusursuz bir dielektrik gibi düşünülür. (a) Depolanan enerjiyi x in fonksiyonu olarak bulunuz. (b) Metal blok üzerine etki eden kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü bulunuz. (c) Bloğun ilerleyen ve yüzünün alanı esasen ℓd ye eşittir. Blok üzerine etkiyen kuvvetin bu yüzey üzerine etki ettiğini düşünerek, yüzey üzerindeki zoru (birim yüzeydeki kuvveti) bulunuz. (d) Karşılaştırma yapmak için, kondansatör plakaları arasındaki elektrik alanındaki enerji yoğunluğunu Q_0, ℓ, d ve ϵ terimleri ile ifade ediniz.

64. Bir otomobilin enerji kaynağı göz önüne alındığında, kaynağın birim kütledeki enerjisi önemli bir parametre olur. Aşağıdaki verileri kullanarak, Benzin, Kurşun-asit bataryası ve kondansatörün birim kütle başına enerjilerini (J/Kg) olarak karşılaştırınız. Bölüm 27 de tanımlanacak olan A amper, SI sistemindeki elektrik akımı birimidir. $1A = 1C/S$

Benzin: 126 000 Btu/gal; yoğunluk = 670 kg/m^3

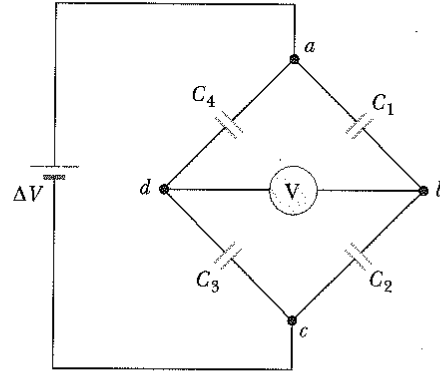
Kurşun-asit Batarya: 12 V, 100 A. saat; kütle = 16kg

Kondansatör: Tam yüklü durumda potansiyel farkı 12V; sığası = 0,1 F; kütlesi 0,1 Kg.

65. Sığası bilinmeyen yalıtılmış bir kondansatör 100 V luk potansiyel farkında yüklenmiştir. Yüklü kondansatör daha sonra, $10 \mu F$ lık yüksüz bir kondansatörle paralel bağlandığında sistemin uçları arasındaki voltaj 30 V oluyor. Bilinmeyen sığayı hesaplayınız.

66. Belirli bir elektronik devre, 1,2 pF sığa ve kesilme potansiyeli 1000 V olan bir kondansatör gerektiriyor. Elimizde her biri $6 \mu F$ lık, 200 V kesilme potansiyeline sahip kondansatörler varsa, istenen bu devreyi nasıl oluşturunuz?

67. Şekil P26.67 de sisteme bir ΔV potansiyeli uygulanıyor. C_1 kondansatörü öyle ayarlanıyor ki b ve d noktaları arasındaki elektrostatik voltmetre sıfır okuyabilsin. Bu "denge" $C_1 = 4 \mu F$ iken oluşuyor. $C_3 = 9 \mu F$ ve $C_4 = 12 \mu F$ ise, C_2 nin değerini hesaplayın.



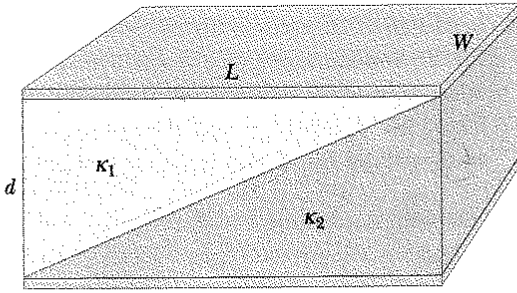
Şekil P26.67

68. Paralel bağlı bir grup kondansatörü önce yükleyip sonra bir anahtar düzeni ile birbirlerinden ve yükleyici kaynaktan ayırdıktan sonra yeniden seri bağlayarak büyük potansiyel farkları elde etmek mümkündür. Böylece, yüklü kondansatör grubu seri bağlı durumda boşalır. 800 V yükleyici kaynak ve herbiri 500 μF lık on tane kondansatör kullanarak, bu şekilde ne kadarlık maksimum potansiyel farkı elde edilebilir?

69. Plaka açıklığı d olan paralel-plakalı bir kondansatör ΔV_0 potansiyel farkında yükleniyor. Kondansatörün

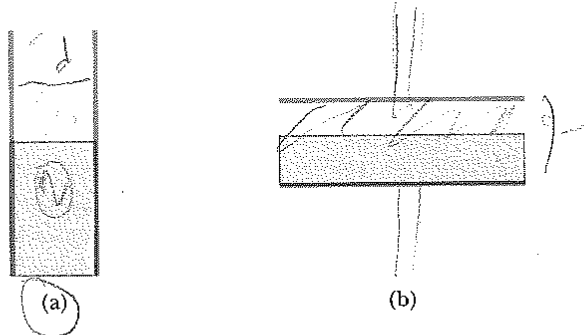
plakalarına batarya bağlı iken, plakalar arasına dielektrik sabiti κ ve kalınlığı d olan bir dielektrik dilim yerleştiriliyor. (a) Dielektrik varken kondansatörde depolanan enerjinin, dielektrik yokken depolanan enerjiye oranının $U/U_0 = \kappa$ olduğunu gösteriniz. Depolanan enerjideki bu artışın fiziksel açıklamasını yapın. (b) Kondansatör üzerindeki yük ne olmuştur? (Bu durum, kondansatöre dielektrik konulmadan önce kondansatörün bataryadan ayrılması durumuna ait Örnek 26.7'ye benzemediğine dikkat ediniz.)

70. A yüzeyli ve plakalar arasındaki açıklık d olan paralel plakalı bir kondansatörün plakalar arasındaki bölge, Şekil P26.70'deki gibi, iki dielektrik madde ile doldurulmuştur. $d \ll L$ ve $d \ll W$ olduğunu kabul ediniz. (a) Sığayı bulun ve (b) $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$ olduğunda sonucunuzun kondansatörünüzün tek bir dielektrik içerdiğiindeki $C = \kappa \epsilon_0 A/d$ ile aynı olacağını gösteriniz.



Şekil P26.70

71. Paralel plakalı dikey bir kondansatör, plakalarının yarısına kadar dielektrik katsayısı 2,00 olan bir dielektrik madde ile dolduruluyor (Şekil P26.71a). Bu kondansatör yatay duruma getirildiği zaman (Şekil P26.71b), dikey durumdaki sığasına eşit sığaya sahip olması için, aynı dielektrik madde ne oranda doldurulmalıdır?



Şekil P26.71

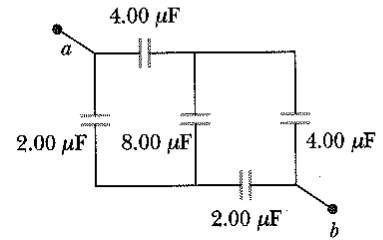
72. $C_1 = 6 \mu\text{F}$ ve $C_2 = 2 \mu\text{F}$ lık kondansatörler 250 V luk bataryaya paralel bağlanarak yükleniyor. Sonra kon-

dansatörler birbirlerinden ve bataryadan ayrılıyor. Daha sonra, kondansatörlerden birinin pozitif plakası ötekini negatif plakasına bağlanıyor. Her bir kondansatör üzerindeki son yükü hesaplayınız.

73. Bir koaksiyel kablounun içindeki iletkeninin yarıçapı 0,8 mm, dışındaki iletkenin iç yarıçapı 3,0 mm dir. İletkenler arasına dielektrik sabiti 2,3 ve dielektrik şiddeti $18 \times 10^6 \text{ V/m}$ olan polietilen dolduruluyor. Bu kablounun dayanabileceği maksimum potansiyel farkı ne kadardır?

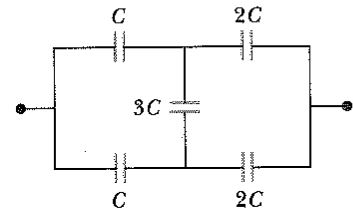
74. Büyük bir fabrikada üretilmek üzere en uygun koaksiyel kablo tasarımı yapmanız isteniyor. b yarıçaplı dış iletkenin maksimum potansiyel yeteneğine erişebilmesi için içteki iletkenin yarıçapının $a = b/e$ ile verileceğini gösteriniz. Burada e doğal logaritmanın tabanıdır.

75. Şekil P26.75 de a ve b noktaları arasındaki eşdeğer sığayı hesaplayınız. Bunun seri ya da paralel bağlanma olmadığına dikkat ediniz. (İpucu: a ve b noktaları arasındaki potansiyel farkının ΔV olduğunu varsayın. Birbirlerine bağlı kondansatör plakaları için yük korunumunu kullanın, a ve b ye gidilen çeşitli yollar için sığa ve yükler yardımı ile ΔV_{ab} nin ifadelerini yazınız.)



Şekil P26.75

76. Şekil 26.76 da gösterilen bağlanmaya ait etkin sığayı bulun. (İpucu: Şeklin simetrisinden yararlanın)



Şekil P26.76

SINAMA SORULARININ CEVAPLARI

- 26.1 (a) Artar, çünkü plaka açıklığı azalır. Sığa, yalnızca bir kondansatörün nasıl yapıldığına bağlıdır, dış devreye bağlı değildir.
- 26.2 Sıfırdır. Kondansatör ile aynı merkezli, yüzey dışında küresel gauss yüzeyi oluşturulduğunda yüzeyin içindeki net yük sıfırdır. Bu düzene Gauss yasası uygulandığında, kondansatörün dışındaki bir noktada $E = 0$ olarak buluruz.
- 26.3 Verilen bir voltajda kondansatörde depolanan enerji $U = C(\Delta V)^2/2$, C ile orantılıdır. Eşdeğer sığanın (dolayısı ile enerjinin) maksimum olması istendiğinden, bunu yapmak için üç kondansatör paralel bağlanmalıdır, ani sığalar toplanmalıdır.
- 26.4 (a) C azalır (Eşitlik 26.3). (b) Q aynı kalır, çünkü yükün gideceği bir yer yoktur. (c) E sabit kalır (Eşitlik 24.8 ve onu takip eden paragraflara bakınız). (d) ΔV artar, çünkü $\Delta V = Q/C$ de Q sabittir (b şıkkı): ve C azalır (a şıkkı). (e) Kondansatörde depolanan enerji Q ve ΔV 'nin her ikisiyle de orantılıdır (Eşitlik 26.11) o halde artar. İki plakayı ayırdığımızda, ek enerji yapılan işten kaynaklanır.
- 26.5 (a) C azalır (Eşitlik 26.3). (b) Q azalır. Batarya devamlı sabit ΔV potansiyel farkı sağlar. O halde $C = Q/\Delta V$ azalacaksa, yük kondansatörden dışarı akmaktadır. (c) E azalır, çünkü plaka üzerindeki yük yoğunluğu azalır. (d) Batarya varken ΔV sabit kalır. (e) Kondansatörde depolanan enerji azalır (Eşitlik 26.11).
- 26.6 Artar. Tahtanın (ve buna benzer diğer bütün yalıtkanların) dielektrik sabiti 1 den büyüktür, buna göre sığa artar (Eşitlik 26.14). Bu artışı hisseden takoz bulucunun özel hassas devresi, cihazın lambasını yakarak işaret vermesine neden olur.
- 26.7 (a) C artar (Eşitlik 26.14). (b) Q artar, çünkü batarya sabit ΔV sağlar. $C = (Q/\Delta V)$ artarsa, Q de artmak zorundadır. (c) Plakalar arasında E sabit kalır, çünkü $\Delta V = Ed$ dir ve ne ΔV ne de Q değişir. Plakalar üzerindeki yüklerin oluşturduğu elektrik alan aratr, çünkü çok sayıda yük plakalar üzerine akar. Dielektrik üzerinde indüklenen plakaların üzerindeki yükün yüzey yükleri bir artışının sebep olduğu alandaki artışa karşı koyar ve ters yönlüdür. (d) Batarya sabit bir ΔV sağlar. (e) Kondansatörde depolanan enerji artar (Eşitlik 26.11). Tıpkı bir kütleyi kaldırarak onun yer çekimi potansiyel enerjisini arttırmak için pozitif bir iş yapmanız gibi, kondansatörün içine de dielektrik maddeyi sokmanız gerekecektir.