Massachusetts Teknoloji Enstitüsü - Fizik Bölümü

Fizik 8.02

Dielektrik ve Polarizasyon

22 Şubat 2002.

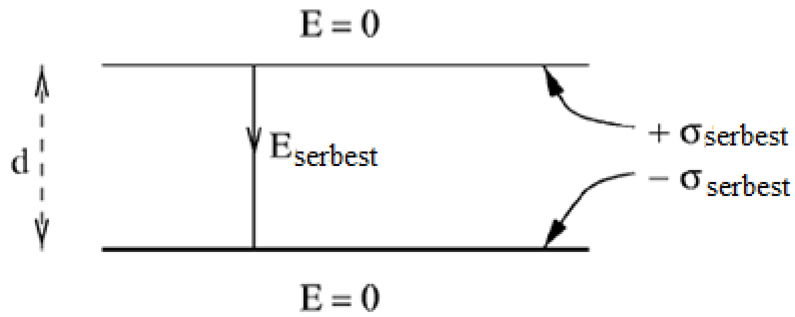
22 Şubat Cuma günkü Ders # 8'den bazı notlar.

Bu notlar kendi başlarına pek faydalı olmazlar onları benim dersimle birlikte kullanmak gerekir.

Daha önce iki kere, dış elektrik alanından dolayı iletken olmayanların (yalıtkanların) polarize olabildiklerini tartıştık. Alan, atom ve moleküllerde dipoller indükler. Alan ne kadar güçlü olursa, polarizasyonun derecesi de o kadar güçlü olur. Bu maddeleri dielektrik[1] olarak isimlendiririz. Alana karşılık yükün ***aktığı*** bütün ideal iletkenleri hariç tutarız. Şimdi tartışacağım şey kafa karışıklığı konusunda kötü tanınır.

Oksuz gösterimler büyüklükleri gösterir.

Bir levha kapasitör (iletken levhalar) alalım. Onu bataryaya (V voltajlı) bağlarız ve bunun sonucunda aynı miktarda fakat zıt işaretli yükle yükleriz. ***Her bir*** levhadaki yükü $Q_{serbest}$ ve meydana gelen yüzey yük yoğunluğunu $\sigma_{serbest}$ (bu, $Q_{serbest}$ bölü bir levhanın yüzey alanıdır) olarak isimlendireceğiz, ve bu yükten dolayı kapasitörün içindeki elektrik alanını, $E_{serbest}$ olarak isimlendirelim. Giancoli sayfa 625'de ''serbest yük'' sözünden bahsettiğine dikkat edin, fakat Q ve σ sembollerini kullanır (''serbest'' indisini kullanmaksızın).

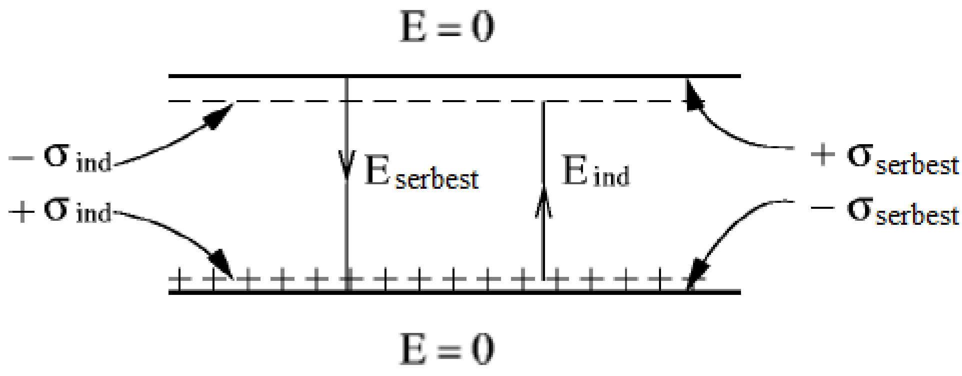


$$E_{serbest} = \frac{\sigma_{serbest}}{\varepsilon_0} \tag{1}$$

Kapasitör yüklendikten sonra, levhalar arasındaki V potansiyel farkını sağlayan bataryayı çıkaralım. Şimdi levhalarda yük " tuzaklanmış'' olur. Şimdi biz levhalar arasına bir dielektrik sokalım. 0, dielektrik üzerinde iki indüklenmiş yük tabakası

[1] Bazı dielektriklerin molekülleri bir dış elektrik alanın bulunmaması durumunda bile kendine has (özgün) bir dipol momente sahip olur. Bir E alanına ''2maruz kaldıkları'' zaman alanla aynı doğrultuyu almaya çalışırlar. Başarının derecesi uygulanan alanın şiddetine bağlıdır. Onlar burada işlenecektir.

oluşturur (derslerde gösterilen slaytlardaki " + – " hatırlayın). Buna indüklenmiş yüzey yük yoğunluğu σ_{ind} deriz; o, elektrik alan etkisiyle dielektriğin polarizasyonunun sonucudur. İndüklenmiş yük, "serbest yük''ün aksine, sıkça "bağlı yük'' olarak adlandırılır.



İndüklenmiş yükler "kendi'' $\vec{E}_{ind}$ elektrik alanını üretirler. Bu alan $\vec{E}_{serbest}$'e karşı koyarlar.

$$E_{ind} = \frac{\sigma_{ind}}{\varepsilon_0} \tag{2}$$

Ve meydana gelen ***net*** alan:

$$\vec{E} = \vec{E}_{serbest} + \vec{E}_{ind} \tag{3}$$

dır. Böylece E'nin büyüklüğü $\vec{E}_{serbest}$'kinden daha küçüktür (elektrik alan daha zayıflar).

$$E = E_{sebest} - E_{ind} \tag{4}$$

"Normal'' şartlar altında, $E_{ind} \propto E_{serbest}$, böylece $E_{ind} = bE_{serbest}$, burada b sabit olup sadece dielelektrik maddesine bağlıdır. Böylece $\vec{E}_{ind}$ = - $b\vec{E}_{serbest}$ olur . *B*unu denklem (3)'te yerine yazarsak, $\vec{E} = (1 - b)\vec{E}_{serbest}$ buluruz. ($1 - b$) sabiti $1/\kappa$ diye adlandırılır (κ dielektrik sabitidir; o sadece levhalar arasına konan maddeye bağlıdır). Böylece,

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_{serbest}}{\kappa} \tag{5}$$

Bu, bir anahtar denklemdir.

Serbest yükün tuzaklandığı deneyimizde (dielektriği sokmadan önce bataryayı çıkarmıştık), dielektrik madde, κ çarpanı kadar alan şiddetini ***düşürdü.*** Levhalar arasındaki V potansiyel farkı, d değişmeden kaldığı için aynı çarpanla azalmalıdır (V,

her zaman levhalar arasındaki d mesafesi ve **levhalar** arasındaki ***toplam*** E alanının ($\vec{E}_{top}$) çarpımına eşittir). *Bununla beraber eğer dielektriği sokarken bataryayı bağlı tutarsam, levhalar arasındaki potansiyel fark değişmeden kalır; böylece E* ***azalmaz****, bu yüzden $Q_{serbest}$ ve böylece, denklem (5)'e uygun olarak, $E_{serbest}$* ***artmalıdır****, o zaman elbette bataryanın beslediği levhalara ilave yük akacaktır.*

Örnek olarak $\kappa \approx 5$ olan (Giancoli sayfa 622'de, Tablo 24.1'e bakınız) camı kullanırsam E alanı ≈ 5 çarpanı kadar azalacaktır. $\kappa \approx 8$ olan su için (bu oldukça büyüktür) E alanı 80 çarpanıyla azaltılacaktır ($-40^0 C$'de buz için, $k \approx 100$'dür).

Boşlukta, tam olarak $\kappa = 1{,}0000000$'dir. Çoğu gaz için κ, 1,000'dan sadece bir "kıl" daha büyüktür. Bu, b çok küçük demektir ve havdaki birçok uygulama için aksi belirtilmedikçe, κ için tamam olarak 1 alacağız.

κ ve b arasındaki yukarıdaki bağıntıdan,

$$E_{ind} = \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) E_{serbest} \tag{6}$$

yazabiliriz. $E_{ind} = \frac{\sigma_{ind}}{\varepsilon_0}$ ve $E_{serbest} = \frac{\sigma_{serbest}}{\varepsilon_0}$ olduğu için (denklem 1 ve 2'ye bakınız.)

$$\sigma_{ind} = b\, \sigma_{serbest} = (\,1 - \frac{1}{k})\sigma_{serbest} \tag{7}$$

yazılabilir. Eğer $\sigma_{serbest}$ ve k bilinirse, **denklem 7 bize indüklenmiş yüzey yük yoğunluğunun büyüklüğü $\boldsymbol{\sigma_{ind}}$'i verir.** İndüklenmiş yükün levhanın yakınında yerde negatif (*pozitif*) olduğunu aklınızda tutun. Burada serbest yük pozitiftir (*negatif*). Aşağıdaki ve yukarıdaki şekillere bakınız. Eğer işaret farklılığını açıklama ihtiyacı duyarsanız, denklem (7)'ye bir eksi işareti ilave edebilirsiniz, fakat bunu tavsiye etmem. Benim bütün denklemlerimde σ_{ind} ve $\sigma_{serbest}$ yükün büyüklüğünü temsil eder; şekillerimin $-\sigma_{ind}$ ve $-\sigma_{serbest}$ göstermesinin sebebi orada ihtiyaç duyulmasındandır.

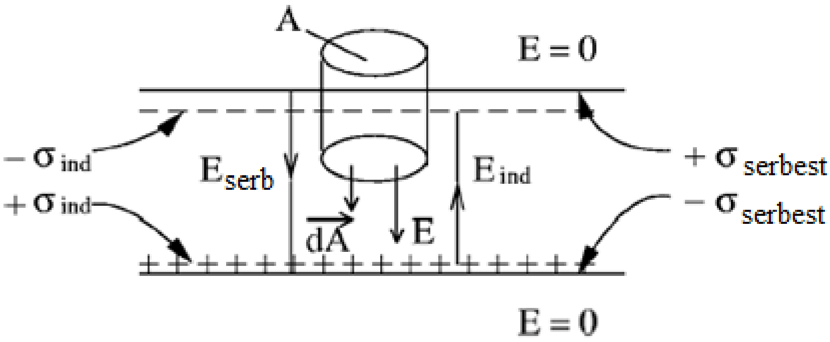
κ ($b \approx 1$)'nın çok yüksek değerleri için $\sigma_{ind} \approx \sigma_{serbest}$ ve her bir levhada *net* yüzey yük yoğunluğunun o zaman ≈ 0 olduğuna ve ***levhalar arasında hemen hemen hiç alan*** olmadığına ***dikkat edilmelidir!***

Gauss Kanunu hala geçerli mi? Elbette! Aşağıdaki hap kutusunu gözleyin; düzgün üst ve alt yüzeyler (her biri A alanlı) levhalara paraleldir.

Kutusunun tüm yüzeyi üzerinden elektrik akısının integrali (**kapalı yüzey integrali**):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum Q_{kapalı} \tag{8}$$

ve $Q_{iç} = A(+\sigma_{serbest} - \sigma_{ind})$. Kutu iletken levhada “serbest” yük ve dielektriğin yüzeyinde “indüklenmiş” yükleri içerir; her ikisi de hesaba katılmalıdır.



Elektrik alanının kapasitörün dışında sıfır ve dielektrikte içinde düzgün olduğu var sayılır. Eğri silindirik yüzeyde, $\vec{E}$ ve $d\vec{A}$ birbirine diktir fakat kutunun alt yüzeyinde (A alanı), $\vec{E}$ ve $d\vec{A}$ aynı yöndedir. Böylece denklem (8)

$$EA = \frac{1}{\varepsilon_0}\,(\sigma_{serbest} - \sigma_{ind})\,A \tag{9}$$

olur. Denklem (7)’yi kullanarak, σ_{ind}’yı yok edebilirim ve

$$E = \frac{\sigma_{serbest}}{k\varepsilon_0} = \frac{E_{serbest}}{k} \tag{10}$$

bulurum.

Bu tamamıyla yukarıda bulduğumuz denklemdir (denklem 5).

Denklem (8)’i değiştirmek konuyu basitleştirir ve sadece **içteki yükü** (hem indüklenmiş hem de serbest yükü içerir), **serbest yük** ile değiştirerek:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{k\varepsilon_0}\sum Q_{kapalı,serbest} \tag{11}$$

elde ederiz. Bu **dielektrikler için Gauss Kanunu**’dur.

(5), (6) ve (11) denklemlerinin indüklenmiş yüzey yük yoğunluğunu σ_{ind}’yı (yani polarizasyon yükünü) açıkça içermediğine dikkat edin; onlar sadece iletken levhadaki yüzey yük yoğunluğu (yani “serbest” yükü) içerirler.

κ, indüklenmiş yükü *otomatik olarak* hesaba katar.

Walter Lewin