

Elektrik Yüklü Kaptan Yük Kaybına Bağlı İncelikler.

Bu yazıdan önce lise düzeyinde eğitim veren kurumlarda elektrostatik konusu içerisinde karşılaşılan, ama farklı yayınlarda farklı çözülen hatta farklı sonuçlar veren bazı soru tiplerini tartışmıştık ve detaylı açıklamalar yapmıştık. Bu tartışmaları içeren yazılarımız okumakta olduğunuz yazının ilerleyen satırlarında bulabileceğiniz bağlantılardan incelenebilir. Bu yazıda ise o yazılarda bahsi geçen problemlerin çözümüne daha detaylı bir bakış, soru çözümlerinde faydası olacak yaklaşım ve ayrıntılı irdeleme için ayrıntılar bulacaksınız.

Yukarıda açıkladığımız hususların paralelinde, problem çözümünde gerekecek elektrik alanın enerjisi, minimum enerji prensibi, yüzey biçimleri ve yapısının yük akışlarına (akım) etkisi gibi konuları açıklamak için böylesi kapları örnekleyerek açıklamaya çalışalım. Eksi (ya da artı) işaretli elektrik yüklü içi boş ve yüzeyinde küçük delik olan bir kapalı metal kap yerden ve diğer cisimlerden yalıtılmış durumda duruyor olsun. Bu kaba onun deliğinden uç kısımları açık, yalıtılmış bir teli deliğin kenarlarına dokunmadan geçirmiş olalım. Teli açık uçunun biri kabın içine ve diğeri yere dokundurulmuş (topraklama) halde tutulsa ne olurdu? Kabın içine yerle birleşmiş farklı malzemelerle dokunsak ne olurdu? Kabın içine elimizde tuttuğumuz telle dokunsak ne olurdu? Sorularına cevap vererek açıklamaya çalışalım.

Küçük deliği olan içi boş metal kabın elektrik yükünün işaretinden bağımsız olarak onun iç ve dış yüzeyinin her bir noktasında potansiyel aynı olur (bunu elektrometre ile tespit ederiz). Ama bu kabın iç ve dış yüzeyinin muhtelif çok küçük bölgelerini ayrı ayrı, teker teker elektroskopla incelersek, kabın iç yüzeyinde elektroskopun yapraklarının hiç açılmadığını görürüz (eğer elektroskop çok duyarlı ise ve kabın yükü büyükse, deliğe yakın kısımlar hariç). Kabın yüzeyinin sivri yerlerinde elektroskopun yapraklarının çok, eğrilik yarıçapı büyük (yüzeyin eğriliğinin az olduğu) yerlerde ise daha az açıldığını görürüz. (Biliyoruz ki yaprakların çok açılması elektroskopun fazla yük aldığını gösterir. Bu da elektroskopun yükü ve genelde potansiyeli büyük olan bir bölge ile temasta olduğunu gösterir.) Doğal olarak bu göstergeler kabın boyutlarına ve elektrik yükünün büyüklüğüne de bağlıdır.

Hatırlatalım ki, yüzeyde elektrik potansiyelin aynı olması, yükün de eşit yoğunlukta dağılması anlamına gelmez. Bunun elektrometrenin ve elektroskopun göstergeleri ile tespit edilmesi gerekir ve bizde bunları hatırlattık. Yükün kabın dış yüzeyinde eşit şekilde dağılması için onun küre şeklinde ve yüzeyindeki deliğin çok küçük olması gerekir. Doğal olarak bu yük dağılımı deliğin yakın çevresinde küresel simetrisinin kalkması, yüzeyin kapalı olmaması ve orada keskin kenarların oluşması nedeniyle bozulacaktır. Ayrıca kabın yakın çevresinde yerleşen başka cisimler, havanın iyonlaşma derecesi ve havadaki yüklerin dağılımı da kabın yüzeyindeki yük yoğunluğunun dağılımını etkileyecektir.

Dağlık bir yerde yağmur sularının dökülebileceği derin bir çukurun olduğunu düşünelim. Bu çukurun yaklaşık 10 m ötesinde bir uçurumun olduğunu da kabul edelim. Bu durumda çukurun ve uçurumun dip kısımları arasında belirli bir yükseklik farkı olduğundan, çukurdaki suyun uçurumun dibine göre potansiyel enerjisi olacaktır. Çukurun içine dökülen yağmur sularının uçurumun tabanına ulaşmasının temposu birçok parametrelere bağlıdır: 1. Çukurun dibinde ve daha alt katmanlarda çatlakların olmasına. 2. Çukurun dibindeki çamurun suyun kaçışını engellemesine. 3. Çukura toplanan suyun, onun dibine ve yanlarına yaptığı basıncın büyüklüğüne. 4. Suyun dibi ile uçurumun tabanının yükseklik seviyesine (potansiyel farkına). 5. Diğer daha az etkisi olan şartlara. Görüyoruz ki aynı potansiyel farkına rağmen suyun çukurdan akması veya akamaması, akıyorsa suyun akışının şiddeti birçok şartlara bağlıdır. Elektrik akımı ile suyun (yaş veya ıslatan sıvının) akımında pek çok benzerlikler bulabiliriz. Elektrostatikte de hidrostatikle benzerlikler çoktur. Bu nedenle de yukarıdaki cevap bekleyen sorularımızın cevapları verilmiş şartlara bağlıdır. Unutmamak

gerekir ki, ister genel çekim (doğrusu gravitasyon, kütle çekim genelde yanlış terimdir) ister elektrik potansiyeli olsun, fiziksel nicelikten daha ziyade bir koordinat sistemi rolünü taşırlar. Koordinat sistemi rolü taşır derken, belli bir referans noktasına göre hesaplanan, ölçülen değerlerden bahsediyoruz. Bunu açıklayalım.

Doğada dört tür etkileşme (güçlü, elektromagnetik, zayıf ve gravitasyon) olduğu bilinmektedir. Bunlara dayanan süreçler ve olaylar eylemsiz koordinat dönüşümleri zamanı değişiklik göstermezler. Yani aynı koşullarda yapılan deneylerin sonuçları aynı olur ve bu olayları ve süreçleri de anlatan kanunların ifadeleri aynı şekilde kalırlar. Eylemsiz koordinat sistemlerinin dönüşümleri zamanı kuvvet, ivme, sıcaklık, ısısal enerji ve birçok fiziksel nicelikler değişmez kalır. Eylemsiz koordinat sistemlerinin dönüşümleri bir koordinat sisteminin diğerine göre kaydırılmasını ve dönmesini içerir diye bilinir. (Unutmayalım ki bu koordinat sistemlerinin ivmeleri sıfırdır.) Böyle dönüşümler zamanı iki nokta arasındaki fark dikkate alınır. Vektörün boyutu değişmez, potansiyellerin kendileri değil, onların farkları önemlidir, potansiyel enerjileri değil, onların farkları değişmez (invariant) olarak kalırlar. Kuvvet veya ivmeden bahsedince hangi eylemsiz (veya hareketsiz) koordinatta diye sormayız. Ama söz potansiyelden açıldığı zaman hangi noktalar arasında (koordinat sisteminin başı, yani referans nerededir), hangi noktaya göre diye sorarız. Böyle durumlarda herhangi bir noktanın veya cismin potansiyeli sıfır olarak (koordinat başlangıcı olarak) kabul edilebilir.

İki iletken arasında yük akışından bahsederken bu iletkenleri birbirine bağlayan ortamların da (tel, elektrolit ve plazma) o iletkenlerle etkileşiminden söz etmeliyiz. Fotoelektrik olaydan biliyoruz ki, elektronun farklı malzemelerinden çıkış işi elektronvoltlarla (eV) ölçülür ve çıkış için gereken enerjiler bir kaç defa farklılık gösterirler. Çünkü malzemelerin içindeki elektrik alanları ve elektronların potansiyel çukurundan çıkmaları için farklı büyüklükte enerjilerinin olması gerekir. Sözelimi sıcaklık yaklaşık 10 milyon derece ise bu ortamdaki fotonların çoğunun enerjileri bir kiloelektronvolt (keV) olur ve sıcaklık 10 bin derece ise, fotonların enerjileri yaklaşık 1 eV olur. Bu bize çıkış işinin büyük olduğunu gösteriyor. Ama iki metalden biri diğerine dokunursa elektron bir metalden çıkarak ikincisinin içine çok daha kolay geçebilir. Ama bu geçiş metallerin türlerine ve özellikle oksitlenme derecesine (ek olarak da içerdikleri diğer elementlere, uygulanan potansiyel farkına) çok bağlıdır.

Şimdi, gereken bilgileri hatırladıktan sonra, yukarıdaki sorulara cevap verelim. Telin açık uçunun biri kabın içinde ve diğeri yere dokundurulmuş halde tutulsa ne olur? Kabın içine yerle birleşmiş farklı malzemelerle dokunsak ne olur?

Telin uçları paslı, toprak kuru, kabın boyutları büyük ve elektrik yükü az olursa elektronlar kaptan toprağa (kap eksi yük taşıyorsa) veya topraktan kaba (kap artı yüklü ise) çok zor geçerler ve kap yükünü çok uzun zaman korur. Şartlar değişmez kalsa bile bu süreç yıllar bile sürebilir. Şayet kabın dış yüzeyinde çok sivri uçlar olsa ve teli sivri uçlara dokundursak (unutmayalım ki, kabın iç ve dış yüzeylerinin her noktasında potansiyel aynıdır) buradaki görece fazla elektriksel alan çıkış işini azaltır ve bu da elektronların daha kolay hareketine yardımcı olur.(Hatırlatalım ki elektrik yükü taşıyan iletken yüzeyin elektrik alan şiddetinin yönü her zaman ve herhangi bir noktada yüzeye diktir. Yüzeye paralel bileşen her zaman sıfırdır.)

Eğer toprak yaş ve tuzlu, tel kap ile aynı iletken malzemedan hazırlanmış, oksitlenme ve yabancı elementler yok ise (yani malzeme saf ise), kabın yükünün kaybı için bir engel kalmaz. Kabın içinin ve dışının yüzeyleri pürüzlü değilse, teli kabın içine veya dışına dokundurmakta pek bir fark da olmaz ve yük çabucak kaybolur. Doğal olarak bunun için kabın kalınlığı boyutlarından çok çok küçük olması lazımdır ki, yüklerin birbirini itme kuvvetinin etkisi engellensin. Yüklerin kaptan tele geçişi özellikle kabın elektrik alanına bağlıdır. Bu alan şiddeti elektronun kaptan tele geçit potansiyelini (geçit işini üstlenebilmesi

için gereken potansiyel farkını) sağlamak için pek yeterli değilse elektrik akımı çok zor olur. Böylece iş kalır elektronların tesadüfen (tünelleme süreci ile geçitlere) geçmelerine.

Eğer kabın içi ve dışında sivri uçlar varsa, onların potansiyellerinin aynı olmasına rağmen tel dıştaki sivrilere dokundurulduğunda elektrik yükünü daha kolay kaybeder. Çünkü buradaki eksi yüklerin elektrik alan şiddeti hem geçit işini azaltır, hem de elektronu daha fazla iter. Bir daha hatırlatalım ki, kabın dışındaki sivri uçtan havaya bile elektronlar kaçabiliyor, ama içteki sivri uçlardan hiç bir zaman. Eğer kabın yükü artı ise ve elektrik alan şiddeti de yeterince büyükse havadaki elektronlar dıştaki sivri uç tarafından çekilirler ve sonuçta kap artı işaretli yükünü kaybetmiş olur.

Kabın biçimi ve onu bağlayan iletken telden bahsettikten sonra bir de tel yerine iletken ortam olarak insan vücudundan bahsedelim. İnsanın elinin derisinin direnci iç organlarınkinden çok büyük ve ayakaltı derisinden ise çok küçüktür. Bazı insanlar çıplak ayakla kuru yerde durup, çıplak parmakla 220 V altında olan tele dokunurlar ama bu durumda bile onlar elektrik geçirmezler. (İnsanı öldürmek için onun içinden geçecek yaklaşık 0.005 Amper yeterlidir. Eğer akımın yolu kalpten geçerse ölüm daha kolay oluyor.) Bazı insanlar ise hemen çarpılırlar. Böyle olduğundan insan parmağı kabın içine (dışına) dokunursa kap elektrik yükünü kaybeder mi sorusu çok belirsiz oluyor.

Yukarıda bir topraklama telini içi ve dışı pürüzsüz ve çok ince olan kapların içlerine veya dışlarına dokundurmanın önemli bir fark yaratmayacağını ve yükünü kaybedeceğini söylemiştik. Acaba böylesi bir kabı Dünya ile bağlamak (topraklama için gereken şartların sağlanması halinde) ile başka bir iletken cismi -mesela bir iletken küreyi-bağlamak arasında fark olur mu? Evet olur. Çünkü Dünyanın elektrik kapasitesi üzerindeki cisimlere göre sonsuz büyük olduğundan, onun potansiyeli her zaman sıfıra eşit kabul edilebilir, elbette ki yerdeki diğer cisimler için bu geçerli değildir.

Yeri gelmişken kabın iç yüzeyine bağlanan telin dışarıdaki bir elektroskopa temiz bir telle bağlandığı halde ne olacağını da açıklayalım. Az önce açıklanan bilgileri kullanırsak, elektroskopun da pürüzsüz ve çok ince bir kabın içine veya dışına temiz bir telle bağlanması halinde, zaman açısı dışında, pek bir fark olmayacağını düşünebiliriz. Ancak unutulmaması gereken bir ayrıntıyı hatırlatalım; ölçü aletleri ideal olarak sisteme etki etmezler, yalnızca ölçüm yaparlar, ideal bir ampermetreyi anımsayın... Eğer kabın iç yüzünden bağlanmış tel elektroskopa bağlandığında elektroskop ideal ölçüm aleti özelliklerine sahip olmasa, kendisi de yük paylaşımına katılır ve kapasitesi nisbetinde yükü paylaşırdı. Oysa aksi belirtilmedikçe elektroskopun ideal olduğunu kabul ederiz.

Çok ince bir kabı fazla yüklemiş olalım, öyle ki onun elektrik alanı çıkış işini kolayca üstlenebilecek büyüklükte olsun. (Doğal olarak kabın kalınlığı onun boyutlarına göre çok küçük olduğunda, elektrik yüklerinin iç yüzeylerde bulunan miktarı nisbeten daha az olacak, elektrik alan enerjisi ve elektrik kuvvetlerinin büyüklükleri pek etkilenmeyecektir.) Sonra onun iç yüzeyini temiz tel yardımıyla, kaba göre çok büyük elektrik kapasitesi olan cisimle birleştirdiğimizde elektrik akımı oluşacaktır. Çünkü enerjinin minimum değere doğru gitme prensibi çok önemlidir ve her zaman geçerlidir. (Burada bahsi geçen elektrik alanının enerjisi konusunda daha detaylı bilgi sahibi olmak için bizim http://www.fizikbilim.com/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=5&Itemid=31 adresindeki “ELEKTROSTATİK ADINA FARKLI BİR MAKALE” başlıklı veya alternatif olarak <http://www.fizikportali.com/2008/08/bazi-elektrostatik-sorulari-hakkinda-dusunceler> makalemizi okumanızı tavsiye ederiz.) Fizik kanunlarının geçerli olması ise genelde şartlara bağlıdır. Herkes bilir ki yağmur suları bir yolunu bulup daha aşağılara akar ve potansiyel enerjisini azaltır. Elektrik yükleri de benzer şekilde bir yerlere kaçarak toplam potansiyel enerjilerini azaltmak eğilimi gösterirler. Öyle ki, onların kaçmamasını sağlamak daha da zordur diyebiliriz.

Şimdi basit bir örnekle elektrik yükü taşıyan bir kürenin diğeri ile birleştirtince elektrik alanının toplam enerjisinin azaldığını gösterelim. Yarıçapı R ve elektrik kapasitesi $C = \frac{1}{R}$ olan kürenin yükü q olsun. Bu küreyi ince bir tel ile uzağında (iki kürenin etkileşme enerjilerini göz ardı edebilmek için) yerleşen ve aynı yarıçapta olan diğeri metal küre ile birleştirelim. İkinci küre işe dahil edilmeden önce birinci kürenin elektrik alanının enerjisi

$$W = \frac{q^2}{2C}$$

dir. Küreler bağlandıktan sonra, zamanla kürelerin her birinin yükü $\frac{q}{2}$ olacaktır. Bu durumda her bir kürenin elektrik alanının enerjisi

$$W' = \frac{q^2}{8C}$$

olduğundan sonuçta iki kürenin birlikteki toplam enerjisi 2 kere azalmış olacaktır.

Son olarak; kabın içine elde tutulmuş telle dokunsak ne olur? Bu sorunun cevabı diğeri ikisinin cevaplarına bağlıdır ve onlara verilen cevapları anlamış olanlar, kendileri her bir ayrı durum halinde açıklanan bilgiler yardımıyla bu soruyu cevaplayabileceklerdir.

Akdeniz Üniversitesinden emekli Prof. Dr. Oktay Hüseyin
Volkan Kor, Fizik Öğretmeni (volkan-kor@hotmail.com)