

## Bazı Elektrostatik Soruları Hakkında Düşünceler

### 1. Giriş

Elektrostatik elektrodinamiğin bir küçük kısmıdır, mekaniğin statik bölümünün tüm mekaniğin bir kısmı olmasına benzer. Yeryüzündeki inşaatların hepsi (evler, köprüler, yollar, barajlar...) mekaniğin statik meselelerine dayanıyorlar. İnşaatta depremlerin, sellerin ve rüzgarların dağıtıcı etkilerini göz önüne almak gerekir. Bunlar dinamik kuvvetlerdir ve statik kuvvetlerle birlikte göz önüne alınmalıdırlar. Statik elektrik yükleri indüksiyon yolu ile çevrede yükler oluştururlar. Bütün bu yüklerin dağılımları elektrostatikte öğrenilir ve bu cisimler hareket ettikçe elektromanyetik kuvvetler ortaya çıkarlar ve bu nedenle dinamik süreçlerinde göz önüne alınmaları gerekir. Elektrostatik durum diğer süreçlerde de bozulabilir, örneğin yıldırım olaylarında ve elektrik sığalarının delinmesi zamanı. Böyle durumlarda da elektrostatik problemleri elektrodinamiğe dönmüş oluyor.

Doğal olarak bizim bütün eğitimimizde olduğu gibi orta eğitimde de elektrostatik problemleri çok basit ve kısıtlı şekilde (örneğin Rus okullarındaki eğitime kıyasla) anlatılıyor. Buna rağmen bu anlatımlarda ve örnek mesele çözümlerinde bile bir sürü yanlışlıklar oluyor. Bunları görmeye ve çok zaman da görmemeye alıştık. Bir yere kadar da gerçek durumu kabul ettik. Ne de olsa bizim ülkemizde, dünyada büyük çokluk da olan başkaları gibi, bilimin ve teknolojinin gelişmesine katkıda bulunmak fikrinde olmaya gerek duyulmuyor.

Elektrodinamiğe veya elektromanyetiğe ilk adım olan elektrostatikte çok basit bir meseleye bakalım. Soru, metal kovalar (U şeklinde kaplar) falan gibi adlandırılıyor. Bu konulara bağlı olanları yazarlar ve anlatanların mutlaka aşağıdakileri bilmeleri gerekir.

### 2. İletken İçinde Potansiyel Farkı. Elektrik Yüklerinin Oluşturduğu Enerji

Elektrik alanı ya da kütleçekim (daha doğrusu gravitasyon, evrensel çekim veya enerji çekim) alanının potansiyelinin iki boyutlu uzaydaki dağılımı homojen ise bu yüzey üzerinde  $\text{grad } \phi = E = 0$  olur. Elektrik alanı durumunda boşlukta yerleşen bu iki boyutlu uzayın şeklinin önemi yoktur, ama gravitasyon alanı düzlem veya küre yüzeyi şeklinde olmalıdır. (Adeta tüm kitaplarda böyle bir açıklamaya rastlarız. Alan şiddeti birim yüke veya kütleye etki eden kuvvettir. Gerçekte ise ne elektrik alan şiddetinin, ne de gravitasyon kuvvetinin oluşturduğu ivmenin birimi kuvvetin birimi ile aynı değildirler. Bu niceliklerin sadece büyüklükleri birim yüküne veya kütlelerine etki yapan kuvvete eşitlerdir. Örneğin şöyle demek gerekir; dünyanın oluşturduğu serbest düşme ivmesinin büyüklüğü, dünyanın birim kütleye etkilediği kuvvetin büyüklüğüne eşittir.) Bu uzay kozmolojide araştırılan evrene eşdeğer değildir. Orada uzayın özellikleri kütlelerin ve alanların uzaydaki dağılımına bağlıdır. Biz ise uzayı önceden düz olarak kabul ettik ve sonradan içine kütle yerleştirdik. Uzayın herhangi bir kısmında kütlelerin ya da yükün dağılımı küresel

simetri şeklinde verilmişse o zaman kütleli veya elektrik yükünün homojenlikten bağımsız olarak, farklı yarıçapları olan eşit potansiyelli yüzeylerden bahsedebiliriz. Yani eşit potansiyelli (ekvi potansiyelli) yüzeylerden.

Herhangi bir metal atomunun (büyük kütleli atomun) serbest olduğu (seyrek gaz şeklinde) durumda, onun en üst enerji seviyesinde yerleşen elektronlar diğer elementlerle kıyaslandığında daha kolay olarak atomdan ayrılabilirler. En iyi iletken olan metallerde, örneğin Gümüş ( $_{47}\text{Ag}^{108}$ ), Bakır ( $_{29}\text{Cu}^{64}$ ), Altın ( $_{79}\text{Au}^{197}$ ) ve Alüminyum ( $_{13}\text{Al}^{27}$ ) ilk iki elektronu serbest atomdan koparmak için gerekli olan enerjiler sırası ile şöyledirler: 7.57 ve 21.5 eV, 7.72 ve 20.3 eV, 9.22 ve 20.0 eV, 5.99 ve 18.8 eV. Bu elementlerden saf olarak (yani temiz Gümüş, temiz Bakır...) oluşmuş metal parçalarının elektrik özdirençleri  $1.59 \cdot 10^{-8} - 2.82 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  aralığındadır. Ama bu kimyasal elementlerin atomları serbest durumdaysa (bu atomlar seyrek gaz oluşturmuşlarsa) bunların ilk elektronunu (ikincisini değil) koparmak için gereken enerji bütün diğer elementlerinkinden daha az değildir. Örneğin Sezyum ( $_{55}\text{Cs}^{133}$ ), Rubidyum ( $_{37}\text{Rb}^{85}$ ), Kalsiyum ( $_{19}\text{K}^{39}$ ) ve Lityum ( $_{3}\text{Li}^7$ ) gaz durumunda ilk elektronlarını daha kolay kayıp ediyorlar (bir kere iyonlaşırlar). Bu elementlerin ilk iki elektronunu koparmak için gereken enerjiler sırası ile şöyledirler: 3.89 ve 25.1 eV, 4.18 ve 27.5 eV, 4.34 ve 31.8 eV, 5.39 ve 75.6 eV.

Her hangi bir metal atomunun (büyük kütleli atomun) serbest olduğu halde, onun en üst enerji seviyesinde yerleşen elektronlar diğer elementlerle kıyaslandığında daha kolay olarak atomdan ayrılabilirler. En iyi iletken olan metallere, örneğin Gümüş ( $_{47}\text{Ag}^{108}$ ), Bakır ( $_{29}\text{Cu}^{64}$ ), Altın ( $_{79}\text{Au}^{197}$ ) ve Alüminyum ( $_{13}\text{Al}^{27}$ ) ilk iki elektronu serbest atomdan koparmak için gerekli olan enerjiler sırası ile şöyledirler: 7.57 ve 21.5, 7.72 ve 20.3, 9.22 ve 20.0, 5.99 ve 18.8 eV. Bu elementlerden saf olarak oluşmuş metal parçalarının öz elektrik dirençleri  $1.59 \cdot 10^{-8} - 2.82 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  aralığındadır. Ama atomları serbest olan durumda bunlardan da kolay olarak ilk elektronunu (ikincisini değil) kaybeden elementler vardır. Örneğin Sezyum ( $_{55}\text{Cs}^{133}$ ), Rubidyum ( $_{37}\text{Rb}^{85}$ ), Potasyum ( $_{19}\text{K}^{39}$ ) ve Lityum ( $_{3}\text{Li}^7$ ) elementlerin ilk 2 elektronunu koparmak için gereken enerjiler sırası ile şöyledirler: 3.89 ve 25.1, 4.18 ve 27.5, 4.34 ve 31.8, 5.39 ve 75.6 eV.

Gördüğümüz gibi bu kimyasal elementlerin son (çekirdekten en uzakta dolaşan) elektronlarının koparılması az enerji ile halledilirse de, onların ikinci üst düzeydeki elektronlarının atomların çekirdekleri ile bağlantı enerjileri Ag, Cs, Au ve Al den daha fazladır. Sezyum, Potasyum ve Lityum elementlerinden oluşmuş metal parçalarının öz dirençleri ise  $7.4 \cdot 10^{-8} - 21 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  arasındadır. Saf Rubidyum parçası için de bu değerler arası geçerli olmalı. Buradan görüyoruz ki, iletkenlik sadece serbest elementin iyonlaşma enerjisine bağlı değildir onların oluşturdukları kristal yapıya da bağlıdır. Hatırlayalım ki, iletkenlerin elektrik özdirençleri yarıiletkenlerinkinden ortalama olarak  $10^8$  ve yalıtkanlarinkinden  $10^{20}$  defa azdır. Ama serbest durumda olan bütün kimyasal elementlerin iyonlaşma enerjilerinin farkı 10 katını aşmıyor. Elementler arasında bir kere iyonlaşmak için enerjini en fazla Helyum ( $_{2}\text{He}^4$ ) gerektirir.

Bilindiği gibi kimyasal elementler onlardan ayrı ayrı (kristal ve diğer yapılarda oluşan etkileşmelerden bağımsız olarak) oluşan malzemelerin kimyasal özelliklerini belirliyorlar. Malzemelerin fiziksel özelliklerini ise sadece onları oluşturan saf atomların özellikleri belirlemez. En basit durumda; yalnızca aynı bir tür

elementten oluşan malzemelerin fiziksel özellikleri bile farklı olabilir. Örneğin yalnızca Karbon elementinden ( ${}^{12}\text{C}$ ) grafit ve elmas. Grafit yumuşak, siyah ve elektrik özdirenci yarı iletkenlere yakın ( $3.9 \cdot 10^3 \Omega \text{ m}$ ) bir malzemedir. Oysa Elmas şeffaf, çok sert bir yalıtkandır. Aynı veya farklı atomlar çok farklı yapılar oluşturabilirler. Bunların içindeki oluşmuş elektrik alanlarının şiddetine bağlı olarak çok farklı sayıda elektronlar atomlardan koparak malzemenin içinde farklı yoğunlukta elektron gazı (malzemenin içinde serbest hareket edebilen) oluşturur. Malzeme içinde oluşmuş elektrik alan şiddeti ve bu alanın dağılımı, malzemenin iletkenliği için, onun içindeki serbest elektron yoğunluğu gibi önemlidir.

Bazen kitaplar da şöyle ifadelerle karşılaşırız; valans elektronları cismin hacminin tümünde serbestçe dolaşabilirler. Birincisi, bazı cisimlerin içinde serbest elektron sayısı, cismin içindeki kimyasal elementlerin valans elektronlarının toplamından çok çok azdır (yok denecek kadar). Daha ötesi, metaller için bile böyle ifadeler tam doğru değil. Yukarıda serbest durumdaki (seyrek gaz) elementin ikinci ve üçüncü elektronların atomdan ne kadar zor koptuğunu gördük. Kimyada her zaman yalnız valans elektronlardan konuşuyoruz, ama fizikte farklı etkiler sonucu atomun herhangi bir elektronu kopabilir. Bu da, örneğin, parçacıkların çarpışma enerjilerine, malzeme üzerine yönelmiş elektromanyetik dalgasının frekansına, uygulanan elektrik alanının şiddetine bağlıdır. En yaygın metal olan demir ( ${}^{56}\text{Fe}$ ) bazı kimyasal tepkimelerde 2 bazılarında ise 3 valanslı olarak kendini gösterir. Demirin serbest olan atomundan birinci, ikinci ve üçüncü valans elektronları koparmak için gerekli enerjinin değerleri sırası ile şöyledirler: 7.87, 16.2 ve 30.6 eV. Ama kiloelektronvoltlarla (KeV) ölçülen X-ışınması ile demir atomunun en derinlerinde yerleşen elektronunu da koparmak mümkün olur.

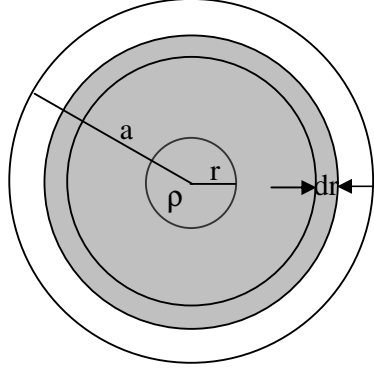
Atomlardan bazılarının valans elektronlarından biri kopsa bile bu onun elektrik akımında iştirak edeceğini tam olarak göstermez. (Bu konu malzemelerin elektrik özellikleri anlatılanca açıklanacak.) Serbest elektronlardan hangi enerji bandında yer aldıklarına bağlı olarak, onların elektrik akımında iştirak etmesi, dıştan uygulanan elektrik alan şiddetine, malzemenin hangi sıcaklığa kadar ısındığına ve malzeme üzerine yöneltilmiş elektromanyetik dalgaının (diğer ışınma tipleri de olabilir) frekansına ve şiddetine bağlıdır.

İletkenlerin (metallerin) yüzeylerinin şekli nasıl olursa olsun onun tüm noktalarında potansiyel dağılımı homojendir. Elektriklenmesi yapılan metal parçasının hangi kısmına ve ne kadar elektrik yükü verilirse verilsin (yüklerin homojenliyi bozulması dahil) sonuçta onun hacminin tümü eşit potansiyelli duruma gelir. Böylelikle serbest elektronlar, iletken cisimlerin şekli nasıl olursa olsun onun içindeki ve yüzeyindeki alan şiddetinin gradiyenti sıfır değerine ulaşana kadar, yani potansiyel  $\phi$  'ye eşdeğer olana kadar hareket edeceklerdir. Sonuçta yükler kararlı duruma ulaşırlar ve elektrik alan şiddetinin, cismin her noktasında yüzeye dokunan bileşeni sıfır değeri alır.

Metalin içinde elektrik yüküne etki yapan kuvvetler toplamının sıfıra eşit olmasına rağmen, neden elektrik yükü metalin içinde değil onun yüzeyinde toplanmaktadır? Fizikte her zaman etkisini gösteren prensiplerden birisi de cismin toplam enerjisinin minimum değere ulaşmak istemesidir. Elektrik yükleri serbest dolaşabildiklerinden (metalin içinde  $E = 0$ ,  $\phi = \text{sabit}$  olduğundan) yüklerin birbiri ile etkileşme enerjisi minimum değerine ulaşabilir. Şimdi bu elektriksel etkileşme

enerjisinin, yüklerin metalin yüzeyinde toplanması durumunda minimum (imkan kadar daha küçük) olduğunu gösterelim.

Önce yüklerin (artı işaretli yüklerle sayıca dengede olmayan yani, görece fazla olan elektronların) bir küre içinde homojen olarak dağıldığını varsayıp, bu durumdaki etkileşme enerjisinin değerini bulalım. Biliyoruz ki, potansiyel enerjinin tanımına uygun olarak bu etkileşme enerjisi yükleri sonsuzdan kısım kısım küreye toplamak için yapılan işin toplamına eşittir. Düşünelim ki kürenin yarıçapı  $a$  dır ve biz onun merkezinden yüzeyine doğru homojen olarak yüklüyoruz.



Önce kürenin  $r$  yarıçapı merkez bölgesinin,  $\rho$  yük yoğunluğunda yüklendiğini kabul edelim. Bu kısımdaki toplam yük,

$$Q_r = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1)$$

Şimdi bu yükün üzerine  $dr$  kalınlığındaki hacmi yükle tamamlamak için sonsuzdan elektrik yükü getirelim. Bu yükün miktarı

$$dQ = \rho 4\pi r^2 dr \quad (2)$$

olacaktır. Bu yükü sonsuzdan getirmek için yapılan iş  $Q_r$  ve  $dQ$  yükleri aralarındaki potansiyel enerjiye eşit olur. Bu yüklerin yerleştikleri bölgeler arasında ki mesafe  $r$  olduğundan ( $Q_r$  yükünün tamamının tam merkez de yerleştiğini düşünebiliriz) ve metalin içinde yalıtkanlık (dielektrik) sabiti boşluktaki gibi  $\epsilon_0$  'a eşit olduğundan

$$dU = \frac{Q_r dQ}{4\pi \epsilon_0 r} = \frac{4\pi \rho^2 r^4 dr}{3\epsilon_0} \quad (3)$$

Şimdi (3) ifadesini  $r = 0$  'dan kürenin yarıçapı  $a$  'ya kadar entegrallersek küreyi homojen olarak  $\rho$  elektrik yükü ile yüklemek için gerekli olan işi bulmuş oluruz. Başka deyişle küredeki ek olarak getirilmiş yüklerin tümünün birbiri ile etkileşme enerjisini.

$$U = \frac{4\pi\rho^2}{3\epsilon_0} \int_0^a r^4 dr = \frac{4\pi\rho^2 a^5}{15\epsilon_0} \quad (4)$$

Küredeki toplam yük

$$Q = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho$$

Olduğundan etkileşme enerjisinin bu yük ile verilen ifadesini şöyle yazabiliriz

$$U = \frac{3}{5} \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \quad (5)$$

Şimdi bir kondansatörün yüklenmesi için gerekli olan enerjiyi hesaplayalım. Kondansatörü  $Q$  yükü ile yüklemek onun bir levhasından  $Q$  kadar elektrik yükünü diğer levhasına taşımak demektir. Çünkü levhaların alanları aynı olduğundan onlar aynı miktarda, yalnız işaretli zıt olan yük taşırlar. Bu iş yapılırsa kondansatörün levhaları arasında potansiyel farkı

$$u = \frac{Q}{C} \quad (6)$$

olacaktır. Burada  $C$ - kondansatörün sığasıdır. Yapılacak işi hesaplamak için küreyi yüklerken uyguladığımız yöntemi kullanalım. Eğer kondansatörün yükü  $Q$  ise onun yükünü  $dQ$  kadar arttırmak için gerekli olan enerji (iş)

$$dU = u dQ \quad (7)$$

ya da

$$dU = \frac{QdQ}{C} \quad (8)$$

(Metali elektrik alan içine yerleştirirsek onun atomları yalıtkanın atom veya molekülleri gibi polarize olur ve metalin içinde elektrik alanı oluşur. Öte yandan metallerde çok sayıda serbest elektronlar vardır ve bunlar metalin içinde oluşan alanın etkisi altında hareket ederek bu elektrik alanı etkisiz hale getirirler. Bu nedenle de metalin içinde polarize olmaya neden olan elektrik alanı ve polarize olayı aradan kalkıyor. Bu süreç nedeniyle, sonuçta metallerin dielektrik sabiti her zaman boşluğunkine eşit olur.)

Kondansatörün sığası sabit olduğundan (8) ifadesinin integralini  $Q = 0$  dan  $Q$ 'ya kadar integrallemek gerekir. Sonuçta

$$U = \frac{Q^2}{2C} \quad (9)$$

olduğunu buluruz. Bu enerjiyi (6) ifadesini kullanarak şöyle de yazabiliriz

$$U = \frac{1}{2}CU^2 \quad (10)$$

Şimdi elektrik yükünü taşıyan cismin içi boş ve yarıçapı  $a$  'ya eşit olan bir küre şeklinde olduğunu düşünelim. Böyle kondansatörün sığası uluslararası sistemde (SI)

$$C=4\pi\epsilon_0 a \quad (11)$$

olduğundan, içi boş küre üzerindeki yüklerin birbirleri ile etkileşme enerjisini bulmak için (11) ifadesini (9) ifadesine koyarak buluruz

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \quad (12)$$

Önce biz elektrik yükünü kondansatörün bir levhasından diğerine taşıyorduk, şimdi ise sonsuzdan kürenin yüzeyine taşımış olduk. Bu iki işlem arasında hiçbir fark yoktur. Önemli olan yükün, potansiyel farkı  $u$  olan herhangi iki nokta arasında taşınmasıdır. Çünkü yapılan iş yalnız yükün büyüklüğüne ve yüklerin taşındığı noktalar arasındaki potansiyel farkına bağlıdır.

(12) ifadesini (5) ifadesi ile karşılaştırsak aynı miktarda  $Q$  yükün kürenin yüzeyinde toplandığı zaman onun toplam etkileşme enerjisinin, yükün kürenin hacminin tümünde homojen olarak dağılımı durumunkinden  $\frac{6}{5}$  defa daha az olduğunu görüyoruz. Böylelikle elektrik yükünün metal cismin yüzeyinde toplanmasının nedeni, toplam etkileşme enerjinin minimum değere ulaşabilmesidir.

Metalin içinde, onun herhangi bir kısmında, hareket edebilen yükler (elektronlar) birikebilseydi, bu hacmi bir kapalı yüzeyle kaplardık ve Gauss teoremini kullanırdık. Kapalı yüzeyin içinde elektrik yükü olduğundan bu yüke eşit olan sayıda yüzeyden elektrik alanı şiddetinin kuvvet çizgileri çıkacaktı

$$\oint \vec{E} ds = q$$

Bu hacimdeki elektronlar birbirlerini ittiklerinden hareket ederek toplam yükün etkileşme enerjisinin değerinin minimum durumuna ulaşmasını sağlar. Sonuçta yüklerin tümü metalin yüzeyinde öyle bir dağılıma sahip olurlar ki, bu durumda metalin tüm noktalarında elektrik potansiyeli eşit olsun. Tabi ki metal parçasını hızlı bir mekaniksel hareketle bu durumdan çıkarabiliriz. Fakat çok kısa bir süre içinde, hareketi durdurulmuş metalin içinde fazlalıkta olan elektronlar, yüzeydeki ilk dağılımlarına yeniden ulaşırlar.

Metal parçası artı yüklenmiş olursa, yani elektronlarının bir kısmı ondan alınmışsa, metalin yüzeyinde elektron eksikliğinin dağılımı öyle olacaktır ki, bu

durumda metalin tüm noktalarında elektrik potansiyeli aynı olsun. Yüzeyde artı yüklerin fazla olması nedeni ile içteki elektronları yüzeye doğru çeken kuvvetler meydana gelecektir. Ama elektronlar bu kuvvetlerin etkisi ile yüzeye doğru harekete geçtikleri zaman arkalarında artı yüklerin fazlalığı ortaya çıkacaktır. Böylelikle artı yükler metalin hacminde açığa çıkmış olurdu. Elektrik yüklerinin böyle dağılmış olması, onların birbirleri ile etkileşme enerjisini arttırmış olur. Sonuçta elektron eksikliği olan bölgeler metallerin yüzeyinde dağılmış olacaktır.

Böylelikle iletkenlerin içinde ve yüzeyinde potansiyel farkı oluşamaz. Potansiyel farkı olmayan yerde elektrik alan şiddetinin değeri de sifıra eşit olur. Ama elektrik yükleri metalin sivri kısımlarında daha büyük yoğunlukta olur. Bu yukarıda tartışılanlar tam homojen cisimler (muntazam dizilimli) için tam olarak doğrudur. Bazı kristaller asimetrik yapıya sahipler. Böyle olan durumda iletkenin ve diğer asimetrik yapısı olan malzemelerin (kristallerin) içinde potansiyel çukurları oluşmuş olur. Böyle asimetri kimyasal anlamda temiz veya homojen olmayan veya içinde çatlaklar olan malzemelerde oluşur. Doğal olarak böyle malzemelerin içinde potansiyel farkları, sıfırdan farklı olan elektrik alanlar ve homojen olmayan elektrik yük dağılımı oluşabilir. Tüm bu durumlarda da cismin toplam iç enerjisi mutlak şekilde sifıra eşit olur. Bu da doğada her zaman geçerli olan prensiptir. Yukarıda tartıştığımız örneklerde biz yalnız elektrik alanını göz önüne aldık ve tüm diğer etkileşme enerjilerini gözardı ettik. Dış etkiler iletkenlerde asimetri yapılar oluştukça da bu anlattıklarımız yaklaşık olarak geçerli olurlar. Unutmayalım ki, elektrik yüklerine bağlı olan kuvvetler ve enerjiler çok büyüktürler.

### 3. Yükler, etkileşmeler, yüklü parçacıkların toplam enerjisi.

Bilindiği gibi Evrende yalnızca dört temel etkileşme vardır:

1. Etkileşme katsayısı 1 kabul edilmiş çekirdek, güçlü veya baryon etkileşmesi. Baryon etkileşmesinin alan parçacıkları pionlardır ( $\pi^0$ ,  $\pi^+$  ve antiparçacık olan  $\pi^-$ ). Bunların durgunluk enerjileri 135 - 140 MeV ve yaşama zamanları  $<2.6 \cdot 10^{-8}$  s`dir. Etkileşme yarıçapı ise  $10^{-12}$  cm mertebesindedir.

2. Etkileşme katsayısı  $1/137$  (ince yapı sabiti) olan elektromanyetik etkileşmesi. Bu etkileşmenin alan parçacığı, fotondur ( $\gamma$ ). Doğal olarak fotonun antiparçacığı, yani antifoton da vardır, ama onu fotondan ayırmak imkanı yoktur. Çünkü fotonun (graviton gibi) ne lepton, ne elektrik, ne de baryon yükü vardır. Foton ile anti foton kendi eksenleri çevresinde dönme yönleri ile farklı oldukları düşünülmektedir. Elektromanyetik etkileşmesinin etkileşme yarıçapı sonsuz kadar büyüktür.

3. Etkileşme katsayısı  $10^{-12} - 10^{-14}$  (belirsizlik etkileşmenin zayıf olmasına, başka bir deyişle, etkileşme enerjisinin çok az olmasına bağlıdır) kabul edilmiş zayıf veya lepton etkileşmesi. Bu etkileşmenin alan parçacığı W ve Z bozonlar sayılırlar. Bu parçacıkların durgunluk enerjilerinin çok büyük ( $>10^5$  MeV) ve yaşam sürelerinin  $10^{-24}$  s`den daha az olması kabul edilir. Etkileşme yarıçapı  $10^{-16}$  cm mertebesindedir.

4. Etkileşme katsayısı  $10^{-36} - 10^{-40}$  olan gravitasyon (enerji veya genel çekim, yani şimdilerde de Türkiye`de yanlış olarak kütleçekim denilen) etkileşmesi. Bu

etkileşmenin alan parçacığı gravitondur. Gravitonların yaşama süreleri ve gravitasyon etkileşmesinin yarıçapı da sonsuzdur. Tüm parçacıkların enerjileri olduğundan, gravitasyon etkileşmesi yaparlar.

Baryon etkileşmesi yapan en hafif parçacıklar protonlar ve nötronlardır. Bunlar bir arada atom çekirdeği(nesne) oluşturabilirler. Baryon etkileşmesinin doyma özelliği vardır, yani parçacıklar yalnız en yakın komşularıyla etkileşebilirler, daha uzaktakilerle değil. Eğer bu doyma olayı olmasaydı ve protonlar birbirlerini itmeseydiler, atom çekirdeği daha fazla baryon içerebilirdi. Baryon etkileşmesi, etkileşme yarıçapı ( $10^{-12}$  cm) kadar uzaklıklarda kendisini çekim gibi ve daha küçük mesafelerde itme gibi gösteriyor. Bu nedenle de baryonlar bir araya getirip sıkıştırılırsa, onların toplam enerjileri minimum değere yaklaşmıyor ve hızla artmağa başlıyor.

Aynı işaretli elektrik yükü taşıyan parçacıkları birbirine yaklaştırdıkça onların etkileşme enerjisi artıyor ve her zaman artı işaretli oluyor. (Örneğin + veya - işaretli elektrik yükü taşıyan cismin elektrik enerjisi artıdır. Ama cismin çevresi yalıtkan olduğundan yükler cismi terk ederek uzaklaşamazlar.) Onlar biri diğerini ittikleri için, bu parçacıkların sayı yoğunluğu arttıkça (cisimlerin taşıdığı yükler fazlaştıkça), dış kuvvetlerin itici kuvvete karşı iş görmekleri gerekir. Bu yapılan iş sonucu da parçacıkların toplam enerjisi artmış oluyor. Dış etki olmasa aynı elektrik yükü taşıyan (+ veya - fark etmez) parçacıklar serbest hareket edebilseler, birbirini sonsuzluğa iterler. Bu durumda onların enerjilerinin minimum değeri sıfıra ulaşır. Ama genelde kararlı bir dengede olan cismin (nesnenin, örneğin yıldızın) toplam enerjisinin eksi işaretli olması gerekir, yani sıfırın altında. (Gök cisimlerinin denge durumu için gravitasyon enerji önemlidir.) Toplam enerjinin bu eksi değeri ne kadar küçük olsa (mutlak değerce büyük) denge bir o kadar dayanaklı olur.

Atomlarda elektronlar artı yük taşıyan çekirdeğin alanında normalde minimum enerjileri olmasını sağlayan temel enerji seviyelerde bulunurlar. Minimum en düşük değer anlamına gelmiyor. Sadece minimum değer en yakın çevresinde daha düşük enerji seviyesi yoktur. Atomu ve moleküllerin içinde bağlı olarak bulunan elektronların her birinin toplam (kinetik artı potansiyel) enerjileri eksidir. Ama bu elektronların buldukları enerji seviyelerin enerjileri çok farklılar. Çünkü elektronlar Fermi istatistiğine bağlı parçacıklardır ve aynı enerji seviyesinde iki elektrondan fazlasının bulunmasına imkan yoktur.

Zayıf etkileşmenin etkileşme yarıçapı çok düşük ve katsayısı küçük olduğundan onlar atom çekirdeğinden küçük ölçüde bile nesne oluşturamıyorlar. Zayıf etkileşme iştirak eden, ama elektrik ve baryon yükleri olmayan parçacıklar (nötrinolar) gravitasyon etkileşmesi ile bile ayrıca bir nesne oluşturamıyorlar. Evrenin ilk dakikalarında bile böyle nesnelere oluşsaydı bile (böyle bir imkan yoktur) kütleleri güneş kütesinden büyük halde de git gel kuvvetleri onları dağıtırdı. Ama bunlar kara delikler oluştursaydılar ömürleri Evrenin yaşı mertebesinde olabilirdi.

Gravitasyon etkileşmesinin yarıçapı sonsuz büyük, parçacıkların ve alanların hepsi için çekim şeklinde olduğu için parçacıklar bir arada oldukça büyük kütleli gök cisimleri oluştururlar. Ama doğada yaklaşık 100 temel parçacık türü (aynı sayıda da anti parçacık) olmasına rağmen normal madde yalnız proton, nötron ve elektron içeriyor. Neden Evrende parçacık sayısı çok, ama anti parçacık yok derece daha az olduğu kesin şekilde bilinmiyor. Ama bu parçacıkların yıldızlarda ve gezegenlerde

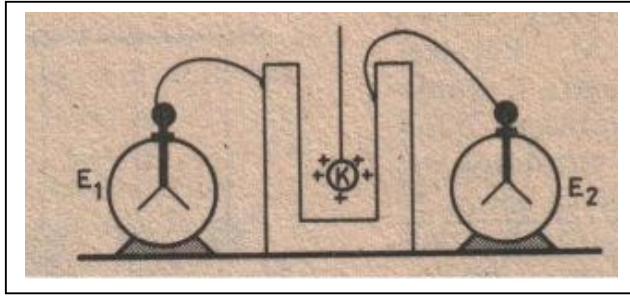


bulunmaması onların serbest durumda ve nötron dışında diğer baryonların atom çekirdeği içinde bile çok az yaşamalarına (saniyenin milyonda birinden bile az) bağlıdır. Böyle parçacıkların bir kısmı kara deliklerin ve nötron yıldızların içinde çok uzun zaman yaşayabiliyorlar. Nötron yıldızları gerçekte baryon yıldızlarıdır. Neytron yıldızları ad olarak tarihi bir yanlışlıktan kaynaklanıyor.

#### 4. Yanlış çözümleri gösteren örnekler

Aşağıda elektroskoplarla bağlı olan ve içlerine elektrik yükü koyulan kapların, ya tam olarak küre şeklinde olmadıkları ya da yanlış olarak U şeklinde oldukları görünmektedir.

1. Tümay Yayınları Mart 1988, İlkelerle Fizik Testleri 2.



“Şekildeki özdeş elektroskoplardan  $E_1$  iletken tel ile metal silindirin dışına,  $E_2$  de içine bağlanmıştır. (+) yüklü K küresi silindirin içine sarkıtılınca ikisinin de yaprakları açılıyor. İletken K küresi silindirin dibine

değdirilirse elektroskop yapraklarının durumu ne olur?”

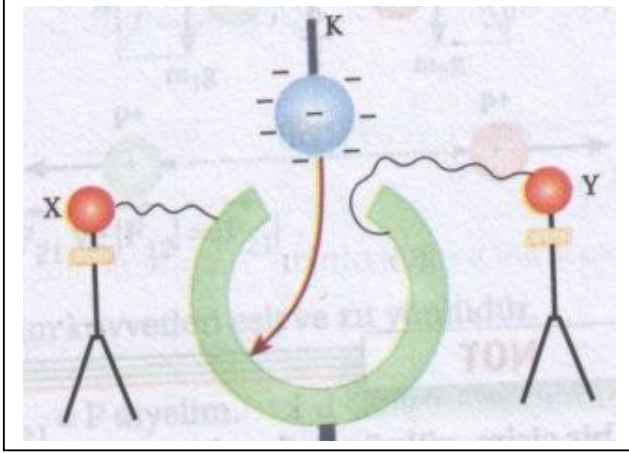
- A) Olduğu gibi kalırlar.
- B)  $E_1$  aynı kalır,  $E_2$  kapanır.
- C)  $E_1$  kapanır,  $E_2$  aynı kalır.
- D) İkisi de kapanır.
- E) İkisi de biraz daha açılır.

Cevap: B

Bu cevap doğrudur, ama tam olarak değil. Kürenin U kabının içine henüz dokunmadığı durumda elektroskoplardan elektronlar kabın içine akarlar ve ikisi de artı işaretli yüklenirler. Ama  $E_1$  elektroskopu metal silindirin dışı ile birleşmiş olduğundan  $E_2$  den daha fazla elektron kaybeder ve artı yükü  $E_2$  den daha fazla yüklenmiş olur. (Bu fark cisimlerin elektrik sığalarına, U kabının derinliğine ve  $E_2$  elektroskopunun U kabının içinde ne kadar derinlikte temasta olduğuna bağlıdır). Kürenin kabın içine dokunduğu halde ise metal kabın içindeki elektronlar küreye geçerler. Burada malzemelerin hepsi metaldir, yani iyi iletkenidir. Ayrıca, elektrik yükü her zaman korunur ve burada yalnız elektronlar hareket etmektedir. Sonuçta kabın içi ve oraya bağlı olan sağdaki elektroskop ( $E_2$ ) yaklaşık nötr (elektroskopların duyarlılığına ve az önce izah edilen, bağlantı yeri ve derinliğine de bağlıdır), ama kabın dış kısmı ve soldaki elektroskop ( $E_1$ ) artı yüklü olarak kalacaktır. Kitaptaki çözüm her zaman küresel şekilde ve deliği yüzeye göre çok küçük olan durum için

geçerlidir. Şekildeki halde ise U kabının içinin yukarı kısmı ve E<sub>2</sub> elektroskopunun yükleri tam olarak sıfıra eşit olmaz. Bu yükün görünebilmesi ise elektroskopun duyarlılığına bağlıdır.

2. Formül Yayınları, 11. Sınıf, Arif Kaner.



“Yüksüz X, Y elektroskopları, yüksüz L iletken küresine iletken tellerle şekildeki gibi bağlıdır. Negatif yüklü K küresi L küresinin içine dokundurduğunda X, Y elektroskoplarının yaprak işaretleri için ne söylenir?”

	X	Y
A)	Negatif	Yüksüz
B)	Negatif	Pozitif
C)	Pozitif	Pozitif
D)	Negatif	Negatif
E)	Pozitif	Negatif

Çözüm: Dokunan cisimlerin potansiyelleri eşitlenir. L küresi negatifle yüklenerek negatif potansiyele sahip olur. X, Y elektroskopları da negatif potansiyele sahip olacaklarından negatifle yüklenir. Doğru cevap D şıkkıdır. “

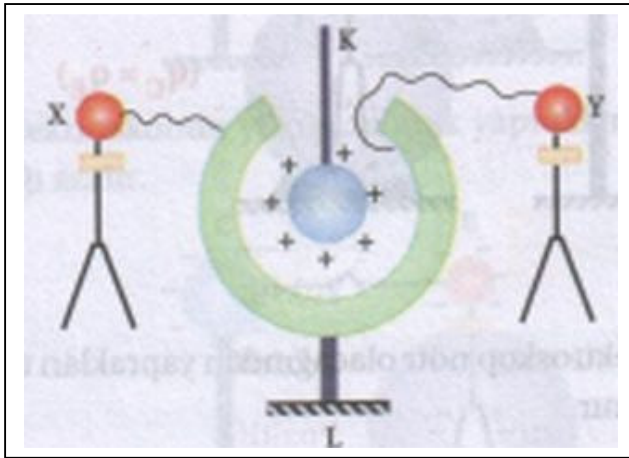
Çözüm doğru şekilde verilmemiştir ve yaklaşık olarak A olmalıdır. Çözümdeki birinci cümle doğrudur. İkinci cümlenin fiziksel anlamı yoktur. Unutmamak gerekir ki potansiyel, doğasından bakımsız olarak, bir koordinat sistemi rolünü oynayan niceliktir. Bu nedenle de fizikte potansiyel farkı önemli niceliktir, potansiyel değil. Diğer yandan burada önemli olan diğer bilgiler de unutulmuştur. Elektroskoplar ölçü cihazlarıdır ve bu nedenle onların elektrik sığaları çok küçüktür. Diğer iki cismin ise sığaları daha fazladır. Homojen ve dielektrik (yalıtkan madde) içermeyen küresel cisimlerin içlerinin dolu veya boş olmasından bağımsız olarak elektrik sığaları dış yarıçapları (boyutları) ile doğru orantılıdır.

Elektrik yükü alan cismin deliği çok küçük olsaydı, enerjinin minimum değere ulaşması prensibine göre (bölüm ikide anlatılan) eksi yükler hepsi kürenin dışına çıkmış olurdu ve içi tamamen nötr olurdu. Bu durumda X elektroskopu negatif yüklenmiş olurdu, ama Y yüksüz kalırdı. Yani cevap A gerçekleşirdi. Ama küresel cisim tam olarak kapalı değil. Bu durumda onun ağız kısmında az da olsa (ağızının çapının cismin dış çapına oranı ne kadar azsa bir o kadar az) yük olur. Eğer Y elektroskopu çok duyarlı ise ve delik büyük ise bu elektroskop da azca negatif yük

gösterir. Eğer Y elektroskopunun bağlantı teli kovanın içinde en altına bağlanmış olsa idi onun yükü hiç olmazdı.

### 3. Formül Yayınları, 11. Sınıf, Arif Kaner.

Yüksüz X, Y elektroskopları, yüksüz L iletken küresine iletken tellerle şekildeki gibi bağlıdır.



Pozitif yüklü K küresi L küresine dokundurulmadan içine sarkıtılıyor. Bu durumda X, Y elektroskoplarının yapraklarının işareti için ne söylenebilir?"

	X	Y
A)	Pozitif	Pozitif
B)	Pozitif	Negatif
C)	Pozitif	Yüksüz
D)	Negatif	Negatif
E)	Negatif	Pozitif

Çözüm: Pozitif yüklü K küresi başta yüksüz olan L küresinin içine dışarıdan elektron çeker. X ve Y elektroskopları elektron vereceğinden pozitifle yüklenir. Doğru cevap A şıkkıdır."

Yanlış çözüm. Doğru cevap B olacak, çünkü kabın içinde eksi yükler vardır. İlk anda telin bir ucu negatif diğeri ise pozitif olmasından akım oluşur ve sonuçta potansiyel farkı aradan kalkar ve Y elektroskopu negatif yüklenir.

Lise öğrencileri ve Öğretmenleri için yazılan kitaplarda gerçekleri iyi şekilde yansıtmayan anlatımlar ve çözümler verilmektedir. İyi eğitimde doğru olmayan bilgileri ezberlettirmezler ve bilimin derinlikleri yönünde ipuçları verirler. Ne yazık ki bizim eğitimimiz bilimsel düşüncene kısıtlamağa doğru yönelmiştir.

Akdeniz Üniversitesinden emekli Prof. Dr. Oktay Hüseyin

Volkan Kor, Fizik Öğretmeni (volkan-kor@hotmail.com)