



MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanın:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002* (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü: MIT Açık Ders Malzemeleri). <http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu malzemelerin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı olarak gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

## Transkript – Ders 4 Elektrostatik Potansiyel ve Elektrik Enerjisi

Gene bazı yeni kavramlardan söz edeceğiz bugün.

İlk kavram, **elektrostatik potansiyel enerjidir**.

Onu  $U$  ile göstereceğiz ve ayrıca bağımsız olarak **elektriksel potansiyelden** bahsedeceğiz.

O, çok farklıdır; onun için  $V$  simgesini kullanacağız.

Varsayalım ki, burada  $q_1$  yüküm var; bu yük artıdır ve burada gene artı  $q_2$  yüküm var, bunlar birbirlerinden  $R$  kadar uzaklıktadır.

Ve burası  $P$  noktası.

Bu yükleri buralara, bu mesafeye getirmek için iş yapmak zorunda olduğum çok açıktır, çünkü onlar birbirini iterler.

Bir yaydaki itme gibi. Yayı bırakırsanız, enerjiyi geri alırsınız.

Eğer onlar küçük bir iple bağlanmış olsalardı, ip gerilecekti; makası alıp ipi kestiğinizde, onlar tekrar ayrı yerlere uçarlardı.

Böylece, orada iş yaptım, işte elektrostatik potansiyel enerji dediğimiz şey budur.

Şimdi, biraz ayrıntılı olarak ne kadar iş yapmak zorunda olduğumu hesaplayalım.

Peki, ilk olarak  $q_1$ 'i buraya koyalım; eğer uzay boşsa,  $q_1$ 'i buraya yerleştirmek hiç iş yapmayı gerektirmez.

Ama Őimdi, ok uzaktan geleceđim; “ok uzađı” daima sonsuz olarak dűŐunűrűz; kuŐkusuz bu biraz abartılıdır. Őimdi ben bu  $q_2$  yűkűnű sonsuzdan Őu P noktasına getiriyorum.

Ve ben, Walter Lewin, iŐ yapmak zorundayım.

İtmek, itmek ve itmek zorundayım ve daha yakına getirmek iin daha ve daha gűlű itmeliyim ve sonunda bu P noktasına ulaŐırdım.

Burada olduđumu varsayalım ve bu aralık kűk  $r$  olsun. Bu noktaya ulaŐtım.

Bu durumda űzerime etkiyen kuvvet, elektrik kuvveti, dıŐarıya dođrudur.

Ve bu yűzden bu kuvvetin űstesinden gelmeliyim ve benim kuvvetim, F-Walter Lewin, bu yűndedir.

Pozitif iŐ yaptıđımı gűrebilirsiniz; űnkű hareketimin yűnű, kuvvetin yűnűyle aynıdır.

Pozitif iŐ yapardım. Bu yaptığım iŐ, hesaplanabilir.

Sonsuzdan bu P noktasına kadar olan yol boyunca Walter Lewin'in yaptığı iŐ, sonsuzdan R yarıapına kadar integral, Walter Lewin'in kuvveti skaler arpım dr dir.

Ama tabi ki bu iŐ, R'den sonsuza giderken elektrik kuvveti nokta dr almakla yapılan işle tamamen aynıdır.

űnkű kuvvet, elektrik kuvveti ve Walter Lewin'in kuvveti aynı bűyűklűkte, fakat zıt yűndedirler ve bu yűzden integral sınırlarını sonsuzdan R'ye almak yerine R'den sonsuza almak aynı Őeydir. Bu aynı Őeydir.

Bu integrali hesaplayalım, űnkű olduđca kolaydır.

Elektrik kuvvetini, Coulomb yasasından biliyoruz; o itiyor, kuvvet ve dr Őimdi aynı yűndedir; bu yűzden onlar arasındaki teta aısı sıfırdır, tetanın kosinűsű 1 dir, dolayısıyla bűtűn bu vektűrleri unutabiliriz ve bunu Őűyle yazarız:  $q_1q_2$  bűlű dűrt pi epsilon 0 ..

...Şimdi, aŐađıda, burada bir  $r$  karem var.

Ve Őimdi bűyűk R'den sonsuza kadar, dr bűlű  $r$  kare integralim var.

Bu integral eksi bir bűlű  $r$ 'dir.

Onu R ve sonsuz arasında deđerlendirmeliyim

Ve bunu yaptıđım zaman artı bir bűlű bűyűk R elde ederim.

Öyle değil mi, dr bölü r karenin integrali, eminim, bunu hepiniz yapabilirsiniz, eksi bir bölü r'dir.

Onu R ve sonsuz arasında değerlendiririm ve böylece artı bir bölü R elde ederim.

Ve böylece U, bu yükü bu noktaya getirmek için yapmam gereken iş şimdi, U eşittir  $q_1$  çarpı  $q_2$  bölü dört pi epsilon sıfır R olur.

Ve elbetteki bu skalerdir; bu iştir ve birimi joule'dür.

Eğer  $q_1$  ve  $q_2$  ikisi birlikte pozitif ya da negatif iseler, pozitif iş yaparım; eksi çarpı eksi artı olduğunu biliyorsunuz. Çünkü o zaman onlar birbirlerini iterler.

Eğer biri pozitif diğeri negatif olursa, negatif iş yaparım; onun işarete duyarlı olarak ortaya çıktığını görürsünüz, eksi çarpı artı eksidir.

Böylece negatif iş yaparım. İkisi aynı işaretli değilse...

Tüm bu yolu, sonsuzdan bir doğru çizgi boyunca gelmeyip eğri bir yolla gelerek sonunda bu noktaya, P noktasına ulaşırsam; yapmam gereken iş miktarının tamamen aynı olacağına kendinizi ikna etmenizi istiyorum.

8.01 dersindeki yerçekimiyle olan paralelliği görürsünüz.

Yer çekimi korunumlu bir kuvvettir ve korunumlu kuvvetlerle uğraştığımızda, bir noktadan başka bir noktaya giderken yapılması gereken iş yoldan bağımsızdır.

Bu korunumlu kuvvetin tanımıdır. Elektrik kuvvetleri de korunumludur.

Ve böylece, bu noktaya doğru bir çizgi boyunca mı, yoksa iyice eğri-büğrü bir yol boyunca mı geldiğimin hiç önemi yoktur. Bu, aynı miktarda bir iştir.

Şimdi, eğer bir yükler topluluğumuz varsa, yani artı ve eksi yüklerimiz; bir artı, bir eksi, bir artı, eksi, artı, artı..., bu durumda, şimdi ben Walter Lewin'in onları bir araya getirmek için yapması gereken işin miktarını hesaplayabilirsiniz.

Sonsuzdan buraya birini getirin, sonra başka birini, başka birini ve bütün işleri toplayın, bazı işler pozitif, bazı işler negatif olabilir.

Sonunda, bu yükleri bir araya getirmek için yapmanız gereken toplam iş miktarına ulaşırsınız.

Büyük U nun anlamı işte budur.

Şimdi elektrik potansiyeline dönelim.

Bunun için, burada artı büyük Q dediğim bir yükü başlayayım. Buraya yerleştirilmiş.

Ve bundan R kadar uzakta bir P konumuna artı q sınıma yükünü yerleştireyim

Şimdilik onu pozitif alalım, sonra onu negatife değiştirebilirsiniz.

Elektriksel potansiyel enerjiyi zaten biliyoruz; biraz önce,  $q$  çarpı  $Q$  bölü dört pi epsilon sıfır R olduğunu hesapladık.

Bulduğumuzun tamamen aynısı.

Elektrik potansiyel..., elektrostatik potansiyel enerji, bu yükü buraya getirmek için yapmak zorunda olduğum iştir.

Şimdi elektriksel potansiyeli anlatacağım.

### **Elektriksel potansiyel.**

Ve bu, sonsuzdan bu noktaya giderken yapmak zorunda olduğum, birim yük başına iştir.

Bu yüzden  $q$  artık işin içine girmedi.

O, sonsuzdan P konumuna giderken birim yük başına yapılan iştir.

Ve bu, birim yük başına yapılan iş ise, küçük  $q$ 'nun yok olacağı açıktır.

Böylece şimdi, P konumundaki  $V$ 'yi yazarız.

Potansiyel, P konumundaki elektriksel potansiyel, şimdi sadece  $Q$  bölü dört pi epsilon sıfır  $R$ 'dir.

Küçük  $q$  yok oldu. O da bir skalerdir.

Bunun birimi joule'dü. Burada birim, joule bölü Coulomb'dur.

Bir yüke böldüm. O, birim yük başına iştir. Buna kimse Coulomb başına joule demez.

Buna Volt diyoruz, bu konuda araştırmalar yapan büyük Volta'ya izafeten ona bu isim verildi.

Bu yüzden bu birime volt deriz. Coulomb başına joule ile aynıdır.

Eğer basit bir duruma, buradaki gibi sadece bir tek yüke sahipsek, o zaman herhangi bir yerde, bu yükten istediğiniz herhangi bir uzaklıkta, potansiyel budur.

R artarsa, yani daha çok uzaklaşırsanız, potansiyel daha düşük olacaktır.

Bu Q pozitifse, potansiyel uzayda her yerde, tek bir yük için, pozitiftir.

Ve Q negatifse, uzayda her yerde potansiyel negatiftir.

Elektrostatik potansiyel negatif olabilir.

Yük negatifse, sonsuzdan getirilen birim yük başına yapılan iş negatif olacaktır.

Sonsuz uzakta olduğumda, bu R sonsuz büyüklükte olduğunda, potansiyel sıfırdır.

Sıfırımızı böyle tanımlarız.

Böylece, pozitif yük yakınında pozitif potansiyellere sahip olursunuz, negatif yük yakınında negatif potansiyellere; ve eğer çok çok uzaktaysanız, o zaman potansiyel sıfırdır.

Şimdi bizim Van de Graaff'a dönelim. O, R yarıçaplı içi boş bir küredir. Yaklaşık 30 santimetre.

Ve buraya artı on mikrocoulomb koyacağım. Bu yük, kendini düzgün bir şekilde dağıtacaktır. Gelecek sefer bunu ayrıntılı olarak tartışacağız. Çünkü o bir iletkendir.

Zaten geçen derste, kürenin içerisindeki elektriksel alanın sıfır olduğunu tartışmıştık.

Dıştaki elektrik alan sıfır değildir, fakat tüm yüklerin burada, bu noktada olduğunu düşünebiliriz; elektrik alanın dışardaki değerini bilmeyi istediğimiz sürece, artı on mikrocoulombun hepsi buradadır.

Onun bir küre olduğu gerçeğini unutabilirsiniz.

Ve şimdi, uzayda herhangi bir noktada elektrik potansiyelin ne olduğunu bilmek istiyorum.

Buradaki değeri nedir ve buradaki nedir, şimdi merkezden r mesafesinde olan P noktasındaki potansiyeli bilmek istiyorum.

Ve merkezden **bu** küçük r uzaklığında **da**

İlk olarak buradaki potansiyeli bulalım.

P noktasındaki potansiyel, R den sonsuza kadar integral, elektrik kuvveti bölü q sinama yüküm skaler çarpım dr 'dir.

Ama bu elektrik alanıdır; bakın, bu kuvvet çarpı mesafe iştir, ama o, birim yük başına iştir, böylece benim test yükümü çıkarırım.

Ve böylece bu, E nokta  $d\ell$  – af edersiniz  $dr$ 'nin  $r$ 'den sonsuza kadar integralidir.

Bu çok kolay bir integraldir. Çünkü E'nin ne olduğunu biliyoruz.

Birkaç kez karşılaştığımız elektrik alan.

Coulomb yasasını izleyerek bu integral hemen hesaplanır ve Q bölü dört pi epsilon sıfır  $r$  bulunur; bu hiç de sürpriz değildir, çünkü biz zaten onu noktasal bir yük için elde etmiştik.

Böylece eğer küçük  $r$  büyük  $R$  den daha büyükse durum budur. Kesinlikle bizim önceden elde ettiğimiz şey.

Bazı sayılar verebiliriz.

Eğer  $r$  eşit  $R$  alırsanız, ki  $R$  eşit 0.3 metredir ve buraya 10 mikroculomb koyarsanız ve bu 30 santimetre, o zaman üç yüz bin volt bulursunuz.

Böylece üç çarpı on üzeri beş Volt elde edersiniz.

Eğer  $r$  eşit 60 santimetre alırsanız, yani mesafeyi iki katına çıkarırsanız, potansiyel iki kat azalır, orada bir bölü  $R$  var, böylece bu yüzelli kilovolt olacaktır.

Üç metreye giderseniz, o zaman on kat azalır ve otuz kilovolt olur.

Eğer sonsuza giderseniz, orası tüm pratik amaçlar için bu binanın girişi, örneğin Giriş'teki Lobi 7 olabilir, orada tüm pratik amaçlar için potansiyel sıfırdır.

$r$  çok büyük olduğundan hiç potansiyel kalmaz.

Eğer ben Walter Lewin, cebimde bir  $q$  yüküyle, sonsuzdan Van de Graaff'ın bu yüzeyine yürürsem, bu noktaya ulaşıncaya kadar iş yaparım. Potansiyel ile yükü çarpırım, o size tekrar işi verir, çünkü potansiyel birim yük başına işti ve böylece yaptığım iş, cebimdeki yük çarpı potansiyel, bu durumda Van de Graaff'ın potansiyelidir.

Üç yüz bin volt olan bu yüzeye yol boyunca gidersem...

Güçlü bir adam olsaydım, o zaman cebime 1 coulomb koyardım.

Bu çok fazla yüküdür. O zaman üç yüz bin joullük iş yapmış olurum.

Lobi 7'den Van de Graaff'a bir coulomb taşıyarak...

Bu, “The Empire State” Binası’na tırmanmak için yapmam gereken işle yaklaşık olarak aynıdır.

Ünlü mgh, kütle çarpı g çarpı tırmanmak zorunda olduğum yükseklik.

Böylece elektriksel potansiyelin mesafeyle nasıl değiştiğini biliyorum.

O, bir bölü r bağıntısıdır.

Şimdi, Van de Graaff’a ulaştım, ben yüzeydeyim, sınama yüküyleyim ve şimdi içeriye giriyorum. Ve içeri girdiğimde, artık kuvvet hissetmem. İçeride elektrik alan yoktur.

Bu yüzden içerde hareket ederken kuvvete maruz kalmam. Bu iş yapmadığım anlamına gelir. Böylece bu, potansiyelin sabit kalması anlamına gelir.

Ve burada bir elektrik alanının olmaması, elektriksel potansiyelin her yerde tamamen aynı olduğunu, kürenin yüzeyinde içeridekinin aynı olduğunu ima eder.

Çünkü bir sınama yüküyle dolaşırken artık iş yapmak gerekmez.

Bu özel durum için, elektrik potansiyelin r’ye göre bir grafiğini çizebilirim; burası Van de Graaff’ın yarıçapı; potansiyel bu noktaya kadar sabit olacak ve sonra burada bir bölü r ile azalacaktır.

Ve seçtiğimiz sayılar için, burada maksimumda potansiyel, üç yüz bin volt olacaktır.

Aynen haritaya baktığınız zaman, orada eşit rakımlar olarak isimlendirdiğimiz dağların eş yükselti eğrilerini görürsünüz. Burada da eşpotansiyel yüzeylerimiz var.

Bir noktasal yükünüz olsaydı ya da Van de Graaff’ınız olsaydı, bunlar eş merkezli küreler olacaktı.

Yük pozitif olduğunda, dışarda ne kadar uzağa giderseniz, potansiyel o kadar düşük olacaktır. Onlar hoş küresel yüzeyler olurlar.

Şimdi, birden fazla yükümüzün olduğunu varsayalım, örneğin artı  $Q_1$  yükü ve eksi  $Q_2$  yükümüz olsun. Ve şimdi size P noktasındaki potansiyelin ne olduğu sorulsun.

Peki, şimdi P noktasındaki elektrik potansiyeli,  $V_P$ ,  $Q_1$  yükü orada tek başına olsaydı, ölçmüş olduğunuz potansiyel olurdu.

Ve  $Q_2$  yükü orada tek başına olsaydı, görmüş olduğunuz potansiyeli eklemek zorunda kalırdınız.

Sadece birinin birim yük başına işi ile diğerinin birim yük başına işini ekleme.



Ve eğer bu negatifse, o zaman bu nicelik negatiftir ve bu pozitiftir.

Böylece, pozitif ve negatif yük dizilimine sahip olduğunuzda, potansiyelin işareti doğal olarak uzayda bulunduğunuz yere bağlıdır; artı yüke yakınsanız potansiyel elbette pozitiftir, çünkü bir bölü r büyüktür.

Eğer negatif yüke çok yakınsanız, bu kez bu yükün bir bölü r'si baskın olacak ve böylece negatif potansiyel elde edeceksiniz.

Ve böylece pozitif potansiyel yüzeyleriniz var; negatif eş potansiyel yüzeyleriniz var ve sıfır potansiyele sahip yüzeyler var.

Ve bunları gözünüzün önüne getirmek her zaman çok kolay değildir.

Fakat size göstermek istediğim şey, Maxwell'in bu eşpotansiyelleri kavramak için kendi yaptığı bir çalışmasıdır.

Ve işte burada Maxwell'in yayınının bir yansıması var.

İki yük görüyorsunuz, artı dört ve artı bir olduğunu varsayalım — eksi dört ve eksi bir de olabilir, ama hepsini artı varsayalım.

Ve yeşil çizgileri görüyor musunuz? onlar daha önce gördüğümüz alan çizgileridir.

Şimdi, yeşil alan çizgilerini dikkate almayın.

Kırmızı çizgiler eş potansiyellerdir.

Ve onları düşey eksen etrafında döndürmelisiniz; çünkü elbette onlar üç boyutlu yüzeylerdir.

Kırmızı renkli tüm eşpotansiyel yüzeyleri çizmedim, çünkü o zaman burada aşırı derecede sıkışmış oluyorlar.

Ama onların çoğunu kırmızıyla göstermeye çalıştım.

Bu yük pozitif ve şu yük de pozitif olduğu için, uzayda her yerde, nerede olursanız olun, potansiyel pozitif olmak zorundadır. Negatif olduğu bir tek nokta bile yoktur.

Artı dört ve artı birden çok uzaklaşırsanız, o zaman eş potansiyel yüzeylerin küre olmasını beklersiniz; çünkü neredeyse artı beş yüküne bakıyormuşsunuz gibidir.

Böylece çok uzaklara gittiğinizde, tamamen küresel şekiller elde etmeniz sizi şaşırtmamalıdır.

Artı dört yüküne çok yaklaştığınızda, onlar mükemmel kürelerdir; artı bir yüküne yaklaştığınızda, onlar gene mükemmel kürelerdir.

Fakat arada bir yerde, ne artı dörde ne de artı bire yakın olmadığınız bir yerde, onlar bu çok komik şekillere sahiptirler. Onlar bana biraz balon şeklini hatırlatıyor.

Bunun gibi bir balon... Görüyorsunuz.

Burada bir yüzey var ki, çok alışılmamış bir eş-potansiyel yüzey, burada, elektrik alanın sıfır olduğu bir nokta var.

Bu, bir tür bükük kaz boynu gibidir, şunun gibi bir şey... Böylece burada bir noktası olan bir yüzeyiniz var ve tam olarak bu nokta, elektrik alanın sıfır olduğu noktadır.

Bu, potansiyelin sıfır olduğu anlamına gelmez, tabii ki değil, potansiyel burada pozitiftir.

Eğer Lobi 7'den artı bir yükü gelerseniz, ki bu noktaya kadar yürümek durumundasınız, pozitif iş yaparsınız.

Hem artı birden, hem de artı dördten kaynaklanan iki itici kuvvetin üstesinden gelmek zorundasınız.

Ama sonuçta, bu noktaya ulaştığınız zaman, rahatlarsınız; çünkü bu noktada üzerinizde hiçbir kuvvet yoktur.

Bu da elektrik alanının sıfır olduğu anlamına gelir. Sizin hiç iş yapmadığınız anlamını taşımaz.

Bu yüzden potansiyellerle elektrik alanları asla karıştırılmamalıdır.

Dikkatinizi yeşil çizgilere çekmek istiyorum, alan çizgilerine; onlar her yerde eşpotansiyellere diktirler.

Bir sonraki dersimde buna geri döneceğim.

Bu bir rastlantı değildir. Bu her zaman olan bir durumdur.

Şimdi, Maxwell size biraz daha karmaşık şeyler gösterecek.

Burada o bizim için, eşpotansiyel yüzeyleri, kırmızı olan yüzeyleri, hesaplamış.

Üç boyutlu yapmak için, gene düşey eksen etrafında döndermeniz gerekiyor.

Şimdi, eksi bir ve artı dört yükümüz var.

Ve böylece her ne zaman yüzey kırmızı olursa, potansiyel pozitif demektir ve her ne zaman mavi ile çizdiyseniz, potansiyel negatiftir.

İlk olarak, eğer hem eksi bir hem de artı dörtten çok uzakta olduğunuzda, etkin olarak artı üç yüküne baktığınızı düşünebilirsiniz.

Ve böylece, çok uzaklara giderseniz, potansiyelin her yerde pozitif olduğundan eminsinizdir ve yüzeylerin gene küresel olmasını beklersiniz.

Buradan bakarsanız, eksi bir ve artı dörtten oldukça uzaktasınız demektir ve bu, gerçekten de zaten bir küre şeklindedir.

Böylece, artı dört ve eksi bir yüklerinin, uzakta bir artı üç gibi davrandığı açıktır.

Eğer artı dörde çok yakınsanız, artı dört etrafında güzel bir küre elde edersiniz, pozitif potansiyelli. Eksi bire yakınsanız mavi yüzeyler gene hemen hemen birer küredir; ancak şimdi onların tümü negatiftir. Çünkü şimdi eksi bire çok yakınsınız. Yani negatif potansiyelle...

Burada şimdi sıfır potansiyelle sahip bir yüzey bulunmaktadır. Bulunmak zorundadır; çünkü eksi bire yakın negatif potansiyelde isen, çok uzaktaki pozitif potansiyelle giderken, sıfır olan bir yüzeyden geçmek durumundasın.

Ve burada bir yüzey var, ben hala onu maviyle gösteriyorum. Gerçekten bu yüzey üzerinde her yerde potansiyel sıfırdır.

Orada elektrik alan sıfır mıdır? Kesinlikle hayır. Elektrik alanı potansiyelle karıştırılmamalıdır.

Bunun anlamı, cebinize bir sınaama yükü koyup sonsuzdan gelir ve bu yüzeye yürürseniz, bu yüzeye ulaşana kadar sıfır iş yaparsınız demektir.

Bunun anlamı budur. Bu potansiyel sıfırdır.

Burada, daha önceki derslerimde tartıştığımız, elektrik alanın sıfır olduğu bir nokta var. Orada potansiyel sıfır değildir.

Potansiyel burada kesinlikle pozitiftir. Çünkü burası sıfır yüzeyi idi.

Burası zaten pozitif bir yüzey ve bu pozitif bir yüzeydir. Böylece potansiyel pozitiftir.

Ancak, bu noktaya ulaşırsanız, orada yükünüze bir kuvvet etkimez.

Böylece bu, elektrik alanın sıfır olduğu anlamına gelir.

Ve bu yüzeyleri hesaplamak elbette o kadar kolay değildir. Maxwell yüz on yıl önce bunu yapabilmişti. Ve bu günlerde biz bunu bilgisayarlarla çok daha kolay yapabiliyoruz.

Farklı değerlere sahip eşpotansiyel yüzeyler asla kesişmezler.

Artı beş volt yüzeyi asla artı üç ya da eksi bir ile kesişmez. Onun niçin böyle olduğunu düşünün. Bu, enerji korunumunun tam bir ihlali olacağından dolayıdır.

Farklı değerlerde eş potansiyel yüzeyler asla kesişmez. Tamam.

Evet, çeşitli yük dizilimlerini gördünüz, eş potansiyel yüzeylerin çok karışık şekilleri vardır ve her zaman kolay bir şekilde hesaplanamayabilirler.

Şimdi “elektrik potansiyellerini niçin anlattık?” sorusuna gelelim; kimin ihtiyacı var onlara? Ve eşpotansiyel yüzeylere kim ihtiyaç duyar?

Şurası doğru değil mi? Eğer uzayın her yerinde elektrik alan vektörlerini bilirsek; bu, yüklerin nasıl hareket edeceğini, onların kazanacakları ivmenin ne olduğunu, kinetik enerjilerinin nasıl değişeceğini eksiksiz olarak belirleyebiliriz demek değil midir?.

Evet öyledir; uzayda her yerdeki elektrik alanı kesin olarak bilinirse, yanıt evettir.

O zaman bu alan içinde bir yük ile oluşan her şeyi tahmin edebilirsiniz.

Ancak, elektrik alanların inanılmaz derecede karışık olduğu örnekler vardır. Bu durumda bir noktadan diğerine gittiğiniz zaman, kinetik enerjideki değişimin, şimdi tartışacağımız gibi, gerçekten sadece potansiyeldeki değişime bağlı olması nedeniyle, eş potansiyellerle çalışmak çok daha kolay olur.

Böylece, bazen sadece kinetik enerjideki değişimle ilgilenirseniz, yörüngenin ayrıntılarıyla ilgilenmeyi gerekli görmüyorsanız, o zaman eş potansiyellerin çok kullanışlı hale geldiğini biraz sonra göreceksiniz.

Elektrostatik potansiyel enerji  $U$  ile elektrik potansiyeli  $V$ 'yi asla karıştırmayın.

Bu joule birimine sahiptir. Bunun birimi ise, volt dediğimiz joule bölü coulomb'tur.

Eğer bir yükler topluluğunuz, artılar ve eksiler, varsa,  $U$ 'nun sadece bir tek değeri olabilir.

O da tam olarak, bütün bu çılgın yüklerin hepsini buldukları yerlere koymak için yapmam gereken iştir.

Ama, buradaki elektrik potansiyel, oradakinden, oradakinden, orada, orada, oradakinden farklıdır.

Bir artı yüke çok yakınsanız, potansiyelin pozitif olduğundan emin olabilirsiniz.

Bir negatif yüke yakınsanız, potansiyelin negatif olduğundan eminsinizdir.

Ama  $U$ 'nun sadece bir tek değeri vardır. O, sadece tek bir değerdir.

Her ikisi de skalerdir, ama... Birini diğeriyle karıştırmayın.

Bir yerçekimi alanında madde, tebeşir gibi bir madde, yüksek potansiyelden düşük potansiyeye gitmek ister.

Eğer onu sıfır hızla oraya bırakırsam, yüksek potansiyelden düşük potansiyeye gider.

Benzer şekilde, pozitif yükler de yüksek bir elektrik potansiyelden düşük bir elektrik potansiyeye gideceklerdir.

Negatif yükler ise, düşük bir elektrik potansiyelinden yüksek bir elektrik potansiyeline gideceklerdir. Kuşkusuz bu, elektriğe özgüdür.

Farz edin ki, uzayda bir A konumu ve bir başka B konumu var ve ben oradaki potansiyelleri belirliyorum. Böylece burada bir A noktam var, potansiyeli  $V_A$  ve burada B noktasına sahibim potansiyeli  $V_B$ .

Tanıma göre,  $V_A$  potansiyeli daha önce de tartıştığımız gibi -- bu arada bunlar istediğiniz herhangi bir rastgele R mesafesinde iseler, A'nın potansiyeli, A'dan sonsuza kadar E nokta dr' nin integrali olarak tanımlanır

Bu, A'nın potansiyelinin tanımıdır.

Burada birim yük başına kuvvet olan bir E var. Böylece o, iş değildir.

Eğer kuvvet çarpı dr olsaydı iş olacaktı; ama o, birim yük başına kuvvet yani E'dir.

Böylece, B'nin potansiyeli, tanımlamak gerekirse, B'den sonsuza kadar E nokta dr'nin integralidir.

Ve bu yüzden A ve B noktası arasında potansiyel farkı  $V_A$  eksi  $V_B$ , A'dan B'ye E nokta dr'nin integraline eşittir. Ve bu işin içinde uzun süredir bulunduktan sonra hala sebebini anlamış değilim, kitaplar her zaman size tersini söyleyeceklerdir, onlar  $V_A$  ve  $V_B$ 'yi tersine çevirirler, bu yüzden size  $V_B$  eksi  $V_A$ 'yı verirler.

Ve daha sonra integralin önüne eksi işareti koymamız gerektiğini söylerler; bu aynı şeydir.

Böylece kitaplar onu her zaman size bu şekilde verir. Ama bunlar, tam olarak aynıdır.

Bunu anladığınızı umuyorum. Burada iki denklemim var; bunlar aynıdır diyorum.

$V_A$  eksi  $V_B$ , A'dan B'ye E nokta dr'nin entegralidir. Bunları ters çevirirsem, yapmam gereken buraya bir eksi işareti koymaktır ve ikisi özdeştir.

A ve B arasında hiç elektrik alan olmazsa, onların elbette aynı potansiyele sahip olacaklarına dikkat edin.

Çünkü cebinizdeki bir yükü A dan B ye yürüdüğünüzde, iş yapılmaz.

Böylece potansiyel aynı kalır. Bu dr'yi,  $d\ell$  dediğim farklı bir sembolle değiştireceğim.

dr, bu düz çizgi boyunca A'dan sonsuza ve düz çizgi boyunca B den sonsuza gittiğimiz anlamında olacaktır.

Fakat nasıl gittiğiniz hiç fark etmiyordu. Öyleyse A dan B ye giderken, bu şekilde kıvrıla kıvrıla gitseniz de, bu potansiyel fark,  $V_A$  eksi  $V_B$ , değişmeyecek.

Şimdi burada küçük bir vektör olan  $d\ell$  elemanı alırsam ve yerel E vektörü burada böyle ise, o zaman  $V_A$  eksi  $V_B$ , E nokta  $d\ell$ 'nin integralidir.

Başka bir deyişle,  $\ell$  ile r'yi yer değiştirebilirim ve siz istediğiniz herhangi bir yolu seçebilirsiniz. Çoğunlukla, bu denklemi size bu şekilde göstereceğim.

Nasıl yürüdüğünüz fark etmez, çünkü burada korunumlu alanlarla ilgileniyoruz.

Şimdi  $V_A$ 'nın yüz elli volt olduğunu varsayalım. Ve örneğin,  $V_B$  elli volt olsun. Bu, çok özel bir örnek.

Bu şimdi ne anlama geliyor? Anlamı şudur: Eğer ben cebime artı q yükünü koyar ve Lobi 7'den bütün yolu gelip B noktasına kadar yürürsem.

Böylece cebinde artı q yükü ile ben Walter Lewin, Lobi 7'den, B noktasına giderim, iş yapmam gerekir ve yapmam gereken iş, potansiyel ile benim q yükümün çarpımıdır.

Böylece yapmam gereken iş, q çarpı  $V_B$ 'dir. Bu durumda iş, cebimdeki q'nun değeri her ne olursa olsun, elli çarpı q'dur. Bunun birimi joule'dür.

Şimdi Lobi 7'den A noktasına gidiyorum. Daha fazla iş yapmalıyım. Yüz elli q joule'lük iş yapmam gerekiyor.

İlk B' ye geldiğimde, tükenmiş olduğumu düşünebilirsiniz, A noktasına giden tüm yolu almak için diğer işi de yapmak zorundayım.

Böylece, bu artı q yükünü daha yüksek potansiyelli olan A noktasında düşünün; o, kendi kendine B noktasına geri gitmek ister.

Daha yüksek bir potansiyelden daha düşük bir potansiyele kendiliğinden gider.

Bakın, E vektörü bu yönde.

Pozitif yük daha düşük bir potansiyele gidecektir.

A dan B ye hareketinde, enerji salınır. Ne kadar enerji?

Pekiye, bu A'ya gitmek için yaptığım iş miktarı, bu da B'ye gitmek için yaptığım iş miktarı ve şimdi yük A'dan B'ye geri giderse, yapılan iş, kinetik enerji olarak elde edilen fark olacaktır.

Bu, potansiyel enerjideki bir değişimdir. Böylece potansiyel enerjideki değişim, .

Artı q yükü A'dan B'ye gittiğinde, bu değişim q çarpı  $V_A$  eksi  $V_B$  olur.

B noktasında  $qV_B$  ve A noktasında  $qV_A$ . Bu, eğer yük A'dan B'ye hareket ederse, prensip olarak elde edilebilen potansiyel enerjidir.

Ve Mekanik'ten iş-enerjisi teoremini hatırlıyorsunuz.

Korunumlu kuvvetlerle uğraşıyorsak, bir cismin potansiyel enerjisi ile kinetik enerjisinin toplamı hep aynı kalır.

Bu, kütle çekim kuvvetleri için de doğrudur.

Başka bir deyişle, yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru, tebeşirimi bıraktığım zaman elde edilen potansiyel enerji gibi, elde edilen elektriksel potansiyel enerjideki fark da kinetik enerjiye dönüşür.

Böylece bu fark, şimdi bu hareketli yükün kinetik enerjisine dönüşür.

Demek ki bu fark, B noktasındaki kinetik enerji eksi A noktasındaki kinetik enerji olacaktır ki o gerçekte iş-enerji teoremidir. Bu, enerjinin korunumudur.

Şimdi herhangi bir metal parçası, ne kadar eğri büğrü veya zedelenmiş olursa olsun, eş potansiyelindedir. Metalin içerisinde hareket eden hiçbir yük olmadığı sürece, o açıkça bir eşpotansiyel yüzeydir.

Çünkü metalin içindeki bu yükler, bu elektronlar bir elektrik alana maruz kaldıklarında hemen elektrik alanında hareket etmeye başlarlar ve artık onların üzerinde hiç kuvvet olmayana kadar hareket edeceklerdir ve bu onların elektrik alanı etkin olarak sıfır yaptığı anlamına gelir.

Böylece iletken içindeki yükler her zaman otomatik olarak hareket ederler. Bu şekilde onlar içindeki elektrik alanı sıfırlarlar. Elektrik alan henüz sıfır olmamışsa, onlar hala hareketli olabilirler.

Ve böylece sahip olduğunuz her metal, içerde elektrik akım olmadığı sürece nereye getirirseniz getirin, daima eş potansiyelli olacaktır.

Şimdi, bir metal çöp kutusu alıp onu bir dış alana getireyim; çok kısa bir süre sonra cisimler durgunlaştığında, çöp kutusu eş potansiyelli hale gelecek ve metalin içindeki elektrik alan her yerde sıfır olacaktır.

Böylece, örneğin, A noktasına bu metal çöp kutusunu yerleştireyim, dolayısıyla tüm çöp kutusu yüz elli voltta olacaktır ve B noktasına da soda kutumu koyayım, o da metalden yapılmıştır.

Ve böylece tüm soda elli volt olur; çöp kutusu ise yüz elli voltta idi.

Herşey boşlukta bulunmakta. Ve şimdi B noktasından bir elektronu serbest bırakıyorum. Bir elektronu...

Bir elektron, daha yüksek potansiyele gitmek ister.

Bir proton A'dan B'ye gidecektir, ama elektron B den A ya gitmek ister.

Şimdi, enerji var.. Elektrik potansiyel enerjisi var ve elektron hız kazanacak ve sonunda A'ya varacaktır. Onun A'ya nasıl gittiğini bilmiyorum.

Soda kutusu ile bu çöp kutusu arasında, elektrik alan deseni anormal derecede karmaşıktır. İnanılmaz derecede karmaşık.. Alan çizgilerini görebilseydiniz, garip olurdu.

Fakat bu elektron çöp kutusuna vardığında, kinetik enerjisinin ne olduğunu, hızının ne olduğunu, her şeyi bilmek istersek, ne yaparız?

O zaman iş-enerji teoremini kullanabiliriz ve kinetik enerjisini hemen buluruz.

Çünkü mevcut potansiyel enerji, elektronun yükü çarpı bu iki nesne arasındaki potansiyel farktır. Evet, elektronun yükü, bir nokta altı çarpı on üzeri eksi on dokuz Coulomb'tur. ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )



Potansiyel fark yüz voltur. Ve bu kinetik enerjideki farktır.

Elektronu sıfır hızla serbest bıraktığımı kabul edersem, A noktasındaki kinetik enerjisini hemen, bir bölü 2 çarpı elektronun kütlesi m çarpı A noktasındaki hızın karesi olarak bulurum.

Böylece görüyorsunuz ki, eş potansiyelleri bildiğiniz gerçeğini kabul ederek, hiç bir karmaşık elektrik alan bilgisine gerek kalmadan, A'ya ulaşıldığında, kinetik enerjiyi ve dolayısıyla elektronun hızını derhal hesaplayabilirsiniz.

Elektronun kütlesi için dokuz çarpı on üzeri eksi otuz bir kilogramı koyarsanız, o zaman, bu hızın ışık hızının yaklaşık yüzde ikisi olduğunu bulacaksınız. Önemli bir hız.

Bütün potansiyeller, elektrik potansiyellerimiz sonsuza göre tanımlanmıştır. Bu, onların sonsuzda sıfır olduğu anlamına gelir. Bir bölü r bağıntısından dolayıdır bu.

Bu çok hoş, mükemmel ve çalışıyor.

Ayrıca, sıfır olarak düşündüğünüz yerin gerçekte önemli olmadığı durumlar da vardır.

Yer çekiminde benzer bir duruma sahip olduğumuzu hatırlayın.

Yer çekiminde daima enerjideki farklar merak edilir; orada bazen buna sıfır ve buna artı deriz. Bazen buna artı ve buna eksi dersiniz.

Bu gerçekten sorun değildir, çünkü kinetik enerjideki değişim sadece potansiyeldeki farkla belirlenir.

Yani, ona yüz elli ve buna elli demek çok güzel ve harikadır; fakat bu potansiyele yüz volt ve buna sıfır veya buna sıfır ve buna eksi yüz ya da buna elli ve buna eksi elli dersanız, elektron için herhangi farklı bir cevap bulmazsınız.

Bu yüzden yüklerin, elektronların davranışı elbette değişmeyecektir.

Ve elbette elektrik mühendisleri her zaman devrelerini yaparken, tanım gereği, toprağın potansiyeline sıfır diyeceklerdir.

Şimdi size Van de Graaff ile şunu göstermek istiyorum: Eğer Van de Graaff'tan dışa doğru güçlü bir radyal elektrik alanı elde ederseniz; buradaki bu nokta ile oradaki bu nokta arasında büyük bir potansiyel farkı meydana gelir.

Eğer hala oradaki sayılarım duruyorsa, ki umarım öyledir. Onlar oradalar.

Van de Graaff'ın yüzeyi yaklaşık on mikro coulomb yük alır; tam burada potansiyel üç yüz bin volt olacaktır, burada yüz elli bin volt ve burada, merkezden üç metre ötede, yaklaşık otuz kilovolt.

Böylece bu elektrik alanın içine bu floresan tüpünü yerleştirirsem, onu radyal tutmam koşuluyla, burası ve orası arasında büyük bir potansiyel fark olacak demektir.

Onu bu şekilde tutarsam o zaman burası ve orası arasındaki potansiyel fark elbette sıfır olacaktır; evet, onu teğet olacak şekilde tutarsam her iki uç da aynı elektrik potansiyelinde olur.

Fakat onu radyal tuttuğum zaman, muhtemelen, bu floresan tüpünün çok az ışık vereceğini göreceksiniz.

Işığı gördüğünüz takdirde, bu, elektronların içerdeki gaz boyunca hareket ettiği anlamına gelir. Yükler hareket ediyor demektir.

Daha akımı tartışmadık, ama onun ifade ettiği şey budur. Bir akım akıyor.

Ve bu akım Van de Graaff tarafından beslenmek zorundadır ve Van de Graaff ancak orta şiddette akımlar sağlayabilmektedir.

Bu yüzden çok şiddetli ışık göremeyeceksiniz.

Fakat hafif bir ışık göreceğinizi size göstermek istiyorum.

Hiçbir tel bağlı değil. Sadece burada.

Ve onu teğetsel hale döndürdüğümde hiç ışık göremeyeceksiniz.

Evet, başlamak için ortalığı biraz daha karartabilirsek iyi olur; Van de Graaff'ı çalıştıracam ve eğer gerekirse Marcos salonu tamamen karartacak; çünkü floresan ışığı çok zayıf olacağı için, sınıfı gerçekten tamamen karartmak gerekebilir..

Beni çok rahat ettirmeyecek olsa da, güvenlik nedeniyle bir eldiven takacağım.

Burada bir cam parçası olduğuna da dikkat edin; gösteriyi berbat etmeyeyim diye tüp camla iyice yalıtılmış olmalı; parmaklarımı buraya koymam, elimle burayı tutmaktan çok farklı olur.

Böylece, ışıklar hala açıkken yaklaşalım, tamam; artık ışıkları neden kapatmıyorsun? Tamamen kapat.

Tamam, sanırım, bir ışılta görüyorsunuz. Radyal olarak dışa doğru.

Marcos ışığı biraz açabilir misin?

Tamam, şimdi teğet olarak tutacağım; ışıkları kapatabilir misin?

Şimdi hiçbir şey görmüyorsunuz, çok az.

Şimdi tekrar radyal yapıyorum.

İşte gene ışık var.

Şimdi, eğer ben çılgınsam, evet çılgın olsaydım, o zaman parmağımla bu tüpün ucuna dokunurdum ve böylece bu akımın vücudumdan doğrudan yere gitmesine izin verirdim ki o ışığı artırabilir.

Bunu denememe izin verin.

Böylece sağ tarafınızdan bu --bu floresan tüpüne dokunacağım.

Ah. Ah. Ah.

Her sefer ben—ona dokununca, aaah.

Ama bu ah değildi.

Ama her sefer ona dokunduğumu görüyorsunuz, akımın daha kolay akması için bunu yapıyorum ve floresanın yandığını çok net görüyorsunuz.

Şimdi, bir neon flaş tüpüyle aynı gösteriyi yapmak istiyorum; neon flaş tüpünü olta çubuğunun ucuna yerleştireceğim.

Bu neon ışık tüpünü ilk dersimde öğrencileri döverken kullanmıştım, ama artık onun bu iş için olmadığını öğrendim.

Bu tüpten biraz ışık almak için, bir uçtan diğer uca birkaç kilovolt gerekir; Van de Graaff için bu çok kolaydır; bu alette yüzlerce, binlerce volt'tan söz ediyoruz, biliyorsunuz. Ve böylece burada onu gerçekten döndürmeye başlayacağım ve içeriye doğru radyal hale geldiğinde, belki, ışığı göreceksiniz ve teğetsel olduğunda fazla ışık göremeyeceksiniz ;

kendimi çok iyi hissedersen.. bunu tekrar edeceğim.

Tamam, Marcos ortalığı karartabilirsin, onu döndüreceğim.

Tamam, radyal, radyal, radyal, radyal, radyal, radyal, radyal, radyal, tamam.

Şimdi ben, ah.

Tamam, ona dokundum şimdi ona tekrar dokunacağım.



Ve tekrar dokunuyorum.

Ve tekrar.

Ve tekrar.

Ona dokunduğum her seferinde, görüyorsunuz, benden hoşlanıyor ki,

hoş bir ışık veriyor.

Böylece burada, gözlerinizin önünde, hiç bir kablo bağlantısı olmadan, elektrik alanı tarafından yaratılan potansiyel farkın, o potansiyel farklarının bu ışıkları oluşturduğunu görüyorsunuz.

Peki, gelecek derste görüşürüz.