



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 7 Kapasitans ve Elektrik Enerjisi

...yükleri bir araya toplamak için, iş yapmak zorundayım; bunu daha önce tartışmıştık.

Ve bunu, elektrostatik potansiyel enerji olarak adlandırmıştık.

Bugün, bu enerji kavramına farklı bir yönden bakacağım ve bu enerjiyi elektrik alanı cinsinden değerlendireceğim.

İki paralel plakam olduğunu varsayalım. Ve bunu, plaka alanı çarpı yüzeysel yük yoğunluğuna eşit pozitif yüklerle yükleyeyim. Bu plakayı ise plaka alanı çarpı negatif yüzeysel yük yoğunluğuna eşit negatif yüklerle yükleyeyim.

İki plaka arasındaki mesafenin  $h$  olduğunu varsayalım; böylece yaklaşık olarak sabit bir elektrik alanına sahip oluruz. Burada elektrik alan  $\sigma$  bölü  $\epsilon_0$  sıfırdır.

Ve şimdi üstteki plakayı alacağım ve onu yukarı hareket ettireceğim.

Bunu yapmak için bir kuvvet uygulamalıyım. Çünkü bu iki plaka birbirini çeker ve iş yapmak zorunda kalırım.

Bunu yukarı doğru  $x$  mesafesi kadar hareket ettirince, burada daha önce bulunmayan bir elektrik alan oluştururum.

Ve oluşturduğum elektrik alan, buradaki elektrik alanla aynı şiddete olacaktır. Çünkü hareket ettirdiğimde plakadaki yük değişmiyor, yüzeysel yük yoğunluğu da değişmiyor. Tüm yaptığım, sadece mesafeyi arttırmak.

Ve böylece burada bir elektrik alan oluşturmuş oluyorum.

Ve bunun için iş yapmak zorundayım. Bu ona başka bir açıdan bakmaktır.

Ne kadar iş yapmalıyım?

Walter Lewin'in bu levhayı  $x$  kadar yukarı hareket ettirmesi için ne kadar iş yapması gerekir?

Bu, benim yukarıya doğru  $x$  mesafesi boyunca uygulamam gereken kuvvettir.

Kuvvet sabittir. Bu yüzden basitçe kuvvet ile mesafeyi çarpabilirim. Bu bana işi verecektir.

Ve şimdi soru şudur: Bu plakayı yukarı hareket ettirmek için uygulamam gereken kuvvet nedir?

İlk tahmininiz, kuvvetin, elektrik alan şiddeti ile plaka üzerindeki yükün çarpımı olacaktır; tamamen akla yakın bir tahmin. Çünkü "E elektrik alanımız varsa ve buraya bir Q yükü getirirsek, elektrik kuvveti, Q çarpı E olur; üstesinden gelmem gereken kuvvet budur. Evet, çoğu kez bu doğrudur.

Fakat bu durumda, değil. Bu biraz daha ince bir iştir.

Bu plakayı, buraya alayım ve genişleteyim. İşte plaka burada.

Böylece plakanın kalınlığını görüyorsunuz; şimdi, tek bir plaka.

Artı yükün yüzeyde olduğu konusunda fikir birliği içindeyiz; fakat şüphesiz, plakanın hemen iç kısmında olmalı....

Demek ki bu Q yük tabakası işte burada, plakanın alt kısmında.

Ve bu tabakanın kalınlığı, sadece bir atom kalınlığında olabilir. Fakat sıfır değildir.

Ve plakanın bu yüzünde, elektrik alan sigma bölü epsilon sıfırdır.

Fakat bir iletken olan plakanın iç kısmında elektrik alanı sıfırdır.

Ve bu yüzden, elektrik alan bu ikisinin ortalamasıdır.

Ve böylece, bu tabakada yük üzerine etkiyen kuvvet, Q çarpı E değil,  $1/2$  Q çarpı E'dir.

Böylece bu E alanlarının ortalamasını alırım. Ve E alanı, bu değer olur.

Öyleyse artık yapmam gereken işi hesaplayabilirim. Bu iş,  $1/2$  çarpı Q çarpı E ye eşit olan kuvvetim ile hareket mesafem olan  $x$ 'in çarpımıdır.

Demek ki yapmam gereken şey, Q yerine, sigma çarpı A koymaktır. Böylece,  $1/2$  çarpı sigma çarpı A çarpı E çarpı  $x$ 'i elde ederim. Payı ve paydayı epsilon sıfır ile çarpırım; ki bu 1 ile çarpmak demektir.

Bunu yapma sebebim, başka bir sigma bölü epsilon sıfır elde etmek içindir. Burada sigma bölü epsilon sıfır E'dir. Böylece ben, Walter Lewin'in yapması gereken toplam işi bulmuş olurum. Bunu da  $1/2$  çarpı epsilon sıfır çarpı E kare çarpı A çarpı x şekline getirebilirim.

Ve şuna bakın.

A x oluşturduğum yeni hacimdir. Bu yeni hacim, elektrik alanı meydana getirdiğim hacimdir. Ve şimdi, bu, Walter Lewin tarafından yapılan iş diye adlandırılır.

Birim hacim başına yapılan iş, bir bölü iki epsilon sıfır çarpı E kare'ye eşittir.

Bu, birim hacim başına yaptığım iştir.

Bu iş elektrik alanı yarattığı için, onu “ **alan enerji yoğunluğu**” olarak isimlendiririz.

Ve birimi joule bölü metre küptür.

Genel olarak elektrik alan enerji yoğunluğunun, sadece bu özel yük dizilişi için değil, her türlü yük dizilişi için, bir bölü iki epsilon sıfır E kare olduğu gösterilebilir.

Ve artık, yükleri bir araya getirmek için ortaya konacak enerjiye yeni bir bakış açımız var.

Daha önce yükleri buldukları yere getirmek için yaptığımız işi hesaplamıştık. Şimdi, eğer daha uygunsa, bir bölü iki epsilon sıfır E kare'nin tüm uzay boyunca entegrali olan elektrostatik potansiyel enerjiyi hesaplayabiliriz—gerekirse, sonsuza kadar tüm yolu gitmelisiniz -- Burada  $dV$ 'ye sahibim, bu hacimdir.

Buradaki  $V$ 'nin potansiyelle ilgisi yoktur. Fizikte sembolleri sıkça tüketiriz.  $V$  bazen potansiyeldir, burada ise hacim.

Orada  $h'$  yi seçmemin sebebi, bu ifadede bir  $d'$  nin olmasıdır. Bu yüzden ikinci bir  $d$  olmasını istemedim. Normal olarak plakalar arası uzaklığı göstermek için  $d$  kullanırız.

Bu, elektrostatik potansiyel enerjiye bir başka bakış yoludur.

Şimdi biz ona sadece elektrik alanında bulunan tüm enerji açısından bakıyoruz. Belki de, bu yükleri bir araya getirmek için yaptığımız işi düşünmüyoruz.

Bugün, daha sonra, bu iki plakayı yüklü düzlemden sıyırmak için gerçekte iş yapmam gerektiğini göstereceğim.

Elektrik alan oluştururken, gerçekte iş yapıyor olacağıma sizi inandıracam.

Şu andan itibaren, bir seçim yapma durumundayız.

Elektrostatik potansiyel enerjinin ne olduğunu hesaplamak istediğinizde, ya buradaki tüm yükleri bir araya getirmek için yapmanız gereken işi hesaplıyorsunuz, ya da daha kolaysa, uzayda her yerdeki elektrik alanını alırsınız ve bunu biliyorsanız, tüm uzay boyunca entegre edersiniz.

Örneğin, şu anda bu iki paralel plaka için bunu yapabiliriz. Ve bu alan içinde bu plakalardaki toplam enerjinin ne olduğunu sorabiliriz.

Bunu, evde de kitabınızdaki yolla yapmanızı öneririm. Yani, aslında, alttaki eksi  $Q$  yükünü ve üstteki artı  $Q$  yükünü bir araya getirerek ne kadar iş yaptığınızı hesap edebilirsiniz. O bir yaklaşımdır.

Şimdi diğer yaklaşımı seçeceğim. Yani, paralel düzlemsel plakaların alanındaki toplam enerji, basitçe söylersek, bu iki plakanın tüm hacmi üzerinden bir bölü iki epsilon sıfır  $E$  karenin entegralidir.

Ve elektrik alan dışarıda her yerde sıfır olduğundan, bu çok kolay bir entegraldir, çünkü hacmi biliyorum.

Plakalar arası uzaklık hala  $h$  ise, hacim basitçe,  $A$  çarpı  $h$ 'dir. Elektrik alan sabittir. Ve böylece burada da 1 bölü 2 epsilon sıfır var.

$E$  yerine istersem sigma bölü epsilon sıfır yazıp karesini alırım. Ve  $dV$ 'nin tüm uzay üzerinden entegralini aldığımda, basitçe, kutunun hacmi olan  $A$  çarpı  $h$ 'yi elde ederim. Böylece  $A$  çarpı  $h$ .

Dolayısıyla, şimdi bu elde ettiğim, toplam enerjidir. Epsilon sıfır karedeki epsilon'lardan birini yok ederim. Bir epsilon sıfır kalır.

Ayrıca plakadaki  $Q$  yükünün,  $A$  çarpı sigma olduğunu ve plakalar arasındaki  $V$  potansiyel farkının da  $E$  çarpı  $h$  olduğunu hatırlarım.

Elektrik alanı sabittir. Bir plakadan diğerine gider. Bir plakadan diğerine giderken  $E$  nokta  $d\ell$ 'nin entegrali bana potansiyel farkını verir.

Ve böylece şimdi onu buraya yerine koyarım;  $A$  çarpı sigma yerine  $Q$  alabilirim. Sonuçta bunun 1 bölü 2 çarpı  $QV$  olduğunu siz de gösterebilirsiniz.

Bu sefer  $V$ , plakalar arasındaki potansiyel farktır.

Bu, alandaki toplam enerjiyi, ya da aynı şey demek olan, bu yükleri bir araya getirmek için yapmanız gereken toplam işi hesaplamak için oldukça hızlı bir yoldur.

Ya da daha farklı söylersek, elektrik alanını oluşturmak için yapmak zorunda olduğumuz iştir. Daha önce burada olmayan bir elektrik alanı yarattınız.

Şimdi daha önce duymadığınız bir sözcüğü, "**kapasitans**" sözcüğünü tanıtacağım size.

Bir cismin kapasitansını, o cismin yükü bölü o cismin potansiyeli olarak tanımlayacağım.

Ve böylece, birimi Coulomb bölü voltur; bu V voltur, yani potansiyel.

Fakat fizikte biz ona asla volt başına coulomb demeyiz; onun yerine **Farad** anlamına gelen bir büyük F yazarız. Şüphesiz ki bu adı, büyük usta Faraday'dan alır: 1 farad, kapasitans birimidir. Bu derste daha sonra Faraday hakkında çok şey öğreneceğiz.

Yarıçapı R olan bir küre alalım ve bu kürenin kapasitansının ne olduğunu hesaplayalım.

Onun bir iletken olduğunu düşünün. Bu iletken küre üzerine belirli bir Q yükü koyalım. Bu durumda V potansiyelinin, Q bölü dört pi epsilon 0 R olduğunu biliyoruz.

Bunu birkaç kez gördük. Dolayısıyla, kapasitansı, Q bölü V tanımından, dört pi epsilon 0 R olur.

Böylece bu, tek bir kürenin kapasitansıdır.

Ve böylece şimdi, R'nin fonksiyonu olarak, bazı değerlere bakabiliriz.

Burada bazı sayılar var; Van de Graaff ve dünya için hesapladığım sayılar.

Eğer 1 faradlık bir kapasitans istiyorsanız, ki bu gerçekten büyük bir sayı, 9 çarpı 10 üzeri 9 metrelik bir yarıçapa ihtiyacınız var. İşte bu 4 pi epsilon-sıfır'ın değeri, buradan gelmektedir.

Devasa bir şey. Bu, dünya- ay uzaklığının 25 katıdır. Böylesine büyük bir küre ancak 1 faradlık kapasitansa sahiptir.

Dünyanın kendisi 6400 kilometrelik yarıçapıyla 700 mikro farada sahip olabilir, 30 santimetre yarıçaplı Van de Graaff ise 30 piko farad olabilir. Piko, 10 üzeri -12' dir.

Eğer 1 santimetre yarıçaplı bir küre alırsanız, o zaman, kabaca, 1 piko farad, 10 üzeri -12 farad'a sahip olursunuz.

Böylece bu size, cisimlerin boyutları ve bunların kapasitanslarına olan bağılıkları hakkında kabaca bir fikir verir.

Öyleyse, tüm bu küreleri aynı potansiyele getirirsem, yani onların tümünü aynı potansiyele kadar yüklersem, kapasitansı en büyük olan, en büyük yüke sahip olur.

Ve kuşku yok ki, "kapasitans" sözcüğü işte buradan gelmektedir: O, verilen bir elektrik potansiyeli için yük tutma yeteneğidir.

Bunu, elektrik alanlarıyla karıştırmayın. Çünkü bütün bu küreleri aynı potansiyele getirirseniz, o zaman en güçlü elektrik alanına sahip olan, en küçük – en kısa – yarıçapa sahip olandır. Geçen sefer bunu tartışmıştık.

Şimdi duruma biraz daha farklı olarak bakacağım.

Burada pozitif yüklü bir B kürem var ve onu negatif yüklü başka bir A küresinin yakınına yerleştiriyorum.

Ve böylece tanımdan, B'nin kapasitansı, B'de sahip olduğum yük bölü B'nin potansiyelidir diyebilirim. Bu benim tanımlamam olacak.

Fakat burada negatif yüklü bir cisim var.

Potansiyeli nasıl tarif etmiştik? Potansiyel birim yük başına işti.

Sonsuza giderim, artı Q'yu cebime koyarım, B'ye yaklaşıyorum ve birim yük başına yapmak zorunda olduğum iş B'nin potansiyelidir. Bu potansiyelin tanımıdır.

Fakat B beni iter. Böylece pozitif iş yapmalıyım.

Fakat A şimdi beni çekiyor. Ve böylece yapmak zorunda olduğum iş, birim yük başına daha az iştir.

A'nın varlığından dolayı B'nin potansiyeli azalır ve dolayısıyla B'nin kapasitansı artar.

Böylece, şimdi siz burada bu yüklü kürenin varlığının B'nin kapasitansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu görüyorsunuz. Bu yüzden, ona, B'nin kapasitansı demek gerçekten açık değildir.

Biz onu A'nın varlığında B'nin kapasitansı olarak düşünürüz. Böylece o, artık yalnız

B'den ibaret değildir.

Dolayısıyla, şimdi kapasitansın tanımını değiştireceğim. Onu şöyle değiştireceğim.

İki iletkenim var. Bu iletkenler aynı miktarda, ama farklı işaretli yüklere sahipler.

Şimdi iki iletkenli bu sistemin kapasitansı, onlardan biri üzerindeki yük, farklı kutuplu olması dışında, kuşkusuz diğeri üzerindeki yük ile aynı, bölü potansiyel farktır.

Bu benim yeni kapasitans tanımımdır.

Böylece daima iki cisimle ilgileniriz, yalıtılmış bir tek cisimle değil. Şayet ikisinden birinin üzerindeki yükü biliyorsanız, onu bu ikisi arasındaki potansiyel farkına bölersiniz.

“Biri pozitif ve diğeri tamamıyla aynı miktarda negatif yüklü iki iletkene sahip olmak biraz yapaydır” diyebilirsiniz; ama düşündüğünüz kadar da yapay değildir bu.

Bir kolu döndürerek çalıştırdığım şu Windhurst aletini hatırlayın; plakalardan birini pozitif diğeri negatif yüklüyordu.

Biri pozitif olursa, bir şey yapmaksızın diğeri tamamen aynı miktarda negatif olur; yoktan yük yaratamazsınız.

Böylece eğer bir şeyi pozitif yüklerseniz, başka bir şeyin aynı miktar negatif yüklerle yüklenmesi mümkündür; ancak zıt yüklerle.

Demek ki, aynı yüklü fakat zıt kutuplu iki iletkene sahip olmanız o kadar da yapay değil.

Şimdi orada iki iletkenimiz var; yani bu iki paralel plakayı ele alırsak, şimdi sorumuz şu: yeni tanıma göre, paralel plakalarımızın kapasitansı nedir?

Evet, C kapasitansı, bir plaka üzerindeki yükün plakalar arasındaki potansiyel farkına bölümüdür.

Ve bir plakadaki yük,  $\sigma$  çarpı A 'dır. Plakalar arasındaki potansiyel farkı ise, E nokta  $d$ 'nin entegralidir. Plakalar arasındaki uzaklık  $h$  'dir.

Şimdi  $h$  yerine  $d$  kullanacağım; çünkü bu yazış daha yaygın. Plakalar arası aralık  $d$  'dir. Sizi şaşırtmamak için orada  $d$  kullanmak istememiştim, fakat şimdi karışıklık yok nasıl olsa.

Ve böylece potansiyel fark, plakalar arasındaki elektrik alanı çarpı  $d$  aralığıdır.



Fakat E'nin kendisi sigma bölü epsilon sıfırdır. Böylece, burada sigma bölü epsilon sıfır bölü  $d$  elde ederiz; sigmaları sadeleştirdim, iki paralel plakanın kapasitansı budur.

Kapasitans, plakaların alanıyla doğru orantılıdır. Bu, sezgisel olarak da doğrudur.

Plaka ne kadar büyük olursa, üzerine o kadar çok yük koyabilirsiniz.

Plakalar arasındaki mesafeyle ters orantılıdır. Aralığı küçültürseniz, kapasitans büyür.

Bu, demektir ki, A, B'ye yaklaştıkça, kapasitans üzerindeki etkisi de o kadar büyük olur. Onları birbirlerine yaklaştırırsak, potansiyel azalacak ve böylece kapasitans artacaktır.

Burada, paydada,  $d$ 'yi görmeniz çok da şaşırtıcı değildir. Plakaları birbirine yaklaştırdıkça, kapasitans da yükselecektir.

Bazı sayılara bakalım.

25 metre uzunluğunda ve 5 metre genişliğinde, çok büyük bir plakam olduğunu varsayalım.

Onlardan iki tane olsun. Buna **düzlem kapasitör** adını veririz.

Aralarındaki mesafe  $d$  olsun; onu çok küçük alalım, çünkü gerçekten büyük bir kapasitör istiyoruz.  $d = 0.01$  milimetre olsun. Aralarında çok küçük bir boşluk var.

Böylece şimdi buraya sayıları yerine yazarım, alanı hesaplayabilirim, burada plakaların alanını metre kare cinsinden hesaplamalıyım, elbette epsilon 0 ile çarpıp metre cinsinden  $d$ 'ye bölerim. Ve bunu yaptığımda, bu büyük canavarın kapasitansının sadece 1 mikro farad olduğunu bulurum.

O çok büyük bir değer değil.

Ve Radio Shack'a gidip kendinize 1 mikro faradlık bir kapasitör almak istediğinizde, 25 metre uzunluğunda, böyle büyük bir şey satın almazsınız.

Evet, aslında bunun farkında olmadan, onu satın almışsınızdır.

Çünkü bu büyük plakalar, bu çok uzun iletken şeritler, birbirlerine çok yakındır ve çok ince bir yalıtkan madde ile birbirlerinden ayrılmış ve genellikle rulo şeklinde sarılmışlardır.

Ama size, rulo şeklinde sarılmış ve küçük bir teneke kutuya konulmuş paralel plakalı bir kondansatör verdiklerine dikkat bile etmezsiniz.

Yıllardır kullandığım bir tanesini yanımda getirdim. İçini görebilesiniz diye bugün onu kesmeye karar verdim. Gerçekten bunun bir teneke kutu olduğunu ve paralel plakalı kondansatörün bunun içinde olduğunu göreceksiniz. İşte kutuyu kesip açıyorum; bakınız, ince alüminyum plakaya benzeyen bir iletken şerit var ve sonra yalıtkan madde ve sonra diğer tarafta bir iletken şerit daha.

Ve böylece , evet -- o sarılmış.

İşte, onu açarsam -- kırıyorum, evet tamam -- böylece düzlem paralel kapasitör kavramını görürsünüz. Ne kadar güzel biçimde rulo edilmiş; gerçekten de metrelerce, metrelerce maddenin söz konusu olduğunu düşünemezsiniz çoğu kez.

Kimyasal tekniklerle  $d$  aralığı kolayca bundan 1000 kez daha küçük hale getirilebilir.

Aralık 1000 kez küçülürse, o zaman 1000 mikro faradlık bir kapasitans elde edersiniz.

Bunu sadece 700 mikro farad olan dünya ile karşılaştırın.

Böylece, bunun gibi bir kapasitör 1000 mikro faraddır. Buna potansiyel fark uygularsak, o zaman burada devasa miktarda bir yük elde ederiz.

Aslında bunu iki elimin arasında tutarsam ve sağ elim ile sol elim arasındaki potansiyel farkın 10 milivolt olduğunu varsayarsam, o zaman bu kapasitörün üzerine 10 mikro-coulomb'luk yük vermiş olurum. Bu çok büyük bir yük miktarıdır.

Aslında, 10 mikro-coulomb, büyük Van de Graaff'a yerleştirebileceğimiz maksimum yükür. Bunu daha önce de hesaplamıştık.

Van de Graaff'ın üzerine daha çok yük koyarsak, onda yük boşalması olur.

Bunu sadece ellerimin arasında tutarak, bu kapasitörün üzerine 10 mikro-coulomb'luk yük koyabilirim.

Şimdi, “ Evet, sağ ve sol eliniz arasındaki potansiyel fark 10 mili-volt mu?, bu komik değil mi? ” diyebilirsiniz.

Hayır, aslında değil.

İleride vereceğim bir derste elektrokardiyogramları tartışacağım. O zaman vücudunuzun sağ ve solu arasında birkaç mili-voltluk bir potansiyel farkı olduğunu göreceksiniz.

Dolayısıyla bunun, düşündüğünüz kadar yapay olmadığını anlayacaksınız.

Aslında, sınıfta bir kardiogram çekeceğiz, böylece onun gerçekten de işlediğini görebilirsiniz.

Bir kapasitörde ne kadar enerji depolayabilirim?

Şey, biz zaten bunu hesaplamıştık.

Enerjiyi bulmuştuk; bu, düzlem kapasitör için,  $1 / 2 QV$  idi. Şimdi bunu  $C$  kapasitansı cinsinden yazabiliriz:  $C$ ,  $Q$  bölü  $V$ 'dir ve böylece bu enerji,  $1 / 2 CV^2$  olur.

Böylece, ya kapasitördeki yükü alır  $V$  ile çarparsınız; ya da kapasitansı alır  $V^2$  ile çarparsınız.

Kapasitans asla cisim üzerindeki yükün bir fonksiyonu değildir.

Buraya bakarsanız, kapasitans sadece geometriye bağlıdır:

Ve, oraya, düzlem kapasitöre bakarsanız, o sadece geometriye bağlıdır ve orada asla yük görünmez.

Böylece bu kapasitör üzerine 10 mikro-coulomb'luk yük koyabildiğimden bahsettim ve Van de Graaff üzerine de ancak 10 mikro coulomb koyabilirim. Bu, yük boşalmasına uğramadan önce, koyabildiğim maksimum değerdir.

Bir kapasitörü elektrik enerjisinin depolanabildiği bir aygıt olarak düşünebiliriz.

Şimdi, elektrik alanları oluştururken pozitif iş yapmak zorunda olduğumu size gösterme sözüme döneceğim.

Diğer bir deyişle, bu yüklü iki plakayı alıp birbirinden uzağa götürdüğümde, pozitif iş yaparım.

Ve bunu size nasıl göstereceğim?

İki paralel plakam var.

Onlar orada masanın üzerindedir. Onları biraz sonra göreceksiniz, oraya yansıtılacaklardır.

Ve burada bir akım-metremiz var. Oraya, akım metre için, bir  $A$  sembolü koyuyorum. Ve bir güç kaynağı olacak ve onun üzerinde bir potansiyel farkı koyacağım. Bu  $C$  kapasitansı. Biz normalde kapasitör için iki paralel çizgi sembolünü kullanırız. Kapasitör üzerine 1000 voltluk bir  $V$  potansiyel farkı uygulayacağım.

Bunun iki plaka arasındaki fark olduğunu hatırlatmak için buraya bir delta koyayım.

Bunu yapınca, güç kaynağını bu iki uca bağlayınca, buradan yük akacak ve çok kısa bir süre için büyük bir akım dalgası göreceksiniz.

Böylece ampermetre sadece kısa bir süre için şarj yaptığımı [vışşşttt] gösterecek --- bunu göreceksiniz ; size yük akımı olduğunu gösterecek.

Ve bunu göreceksiniz. Fakat gösterimin gerçek amacı bu değil.

Şimdi yapacağım şey, bu iki levhanın aralığını,  $d$  mesafesini arttırmaktır.

Ve şimdi kapasitör adını verdiğimiz plakalar üzerindeki potansiyel farkının, elektrik alanı çarpı uzaklık olduğunu ve elektrik alanının sabit olduğunu hatırlayın.

Eğer kapasitörü belli bir yükü yüklersem, burada artı  $Q$  orada eksi  $Q$  olur; sonra güç kaynağını çıkarırım, artık o orada değildir; bu yük tutulur ve yük asla değişmez.

Ve böylece yük değişmezse, yük yüzey yoğunluğu değişmez ve içerdeki elektrik alanı sabit kalır. Böylece, orada yaptığım şey, tam olarak budur.

Ve şimdi onları birbirinden uzaklaştıracağım, dolayısıyla  $d$ 'yi arttıracam; bu, ancak plakalar arasındaki potansiyel farkın artmasıyla olur.

$d$ 'nin 1 milimetre olduğu durumda, 1000 volt ile başlayacağım ve sonra bu aralığı 10 milimetreye çıkaracağım.

O zaman 10000 voltluk potansiyel farka sahip olurum.

Fakat kapasitördeki enerji  $1/2 Q$  çarpı  $V$  potansiyel farkı olduğundan.. -- Bu  $V$ , bu delta  $V$  ile aynıdır-- Ve eğer  $Q$  değişmiyorsa, fakat  $V$ 'yi 1000 volttan 10000 volta götürürsem, iş yaptığım, yani elektrostatik potansiyel enerjiyi artırdığım çok açıktır.

Size göstermek istediğim şey budur. Onu şurada yapacağım -- böylece televizyonumu değiştirdim, daha iyi görebilesiniz diye biraz da ışıkları değiştireyim-- bunu kapatayım, bunu kapatayım ve onların hepsini kapatayım. Işıkların kararmasını bekleyelim ve akım metreyi de istiyoruz.

Böylece sağdaki ampermetredir, akım metredir ve burada iki levhayı görüyorsunuz. Onlar şimdi yaklaşık 1 milimetre kadar ayrılmıştır.

Burada birbirine temas etmediğinden emin olmak için arada çok ince bir levha var, bir asetat; bu güç kaynağım, şu da pervane tipi bir şey, bir tür voltmetre.

O bu yönde hareket ederse, plakalar arasındaki gerilim artacak demektir.

Ve şimdi bunu 1000 voltluk potansiyel farkıyla yükleyeceğim. Ve bunu yaparken ampermetrede kısa bir dalgalanma göreceksiniz.

Bu çok mükemmel değil, ama en azından bu yükün aslında güç kaynağından plakalara aktığını hayatınızda ilk kez görebileceksiniz.

Görebilirsiniz, [vşşşt], ve işte o.

Yük aktığı müddetçe sadece bir akım olacaktır.

Önce bunu yapayım; oradaki ampermetreye bakın: üç, iki, bir, sıfır.

Bu plakaları yüklemek, işte bu kadar zaman aldı.

O şimdi tam 1000 voltluk farkla yüklendi ve şimdi aralığı artıracam, plakalardan herhangi bir yükün uzaklaşması için bir neden yoktur. Böylece ampermetrede pek bir şey olmayacak – muhtemelen hiçbir şey olmayacak. Fakat plakalar arasındaki potansiyel farkını gösteren bu pervanenin hareket ettiğini göreceksiniz. Çünkü tüm bu işi yapıyorum; bir milimetreden on milimetreye gidiyorum, bu elektrik alanını yaratıyorum. Bu zor iş, potansiyelin 1000 volttan 10000 volta artırılmasıyla karşılaşılır.

Ve işte gidiyorum, şimdi iki milimetreyim, voltmetreye bakın işte gidiyor, üç milimetre, dört milimetre, ben bu zor işi yaparken, siz hiçbir şey yapmıyorsunuz. Ben elektrik alanını oluşturuyorum. Şuna bakın, benimle gurur duymalısınız, ben elektrik alanı yaratıyorum.

Yük tutulduğundan, bir yere gidemez; plakalar arasında elektrik alanı sabit kalır.

Şimdi yedi milimetredeyim, 7000 volt, 8000 volt, dokuz milimetredeyim, 9000 volt, ampermetrenin hiçbir şey yapmadığına dikkat edin. Plakalara hiç yük akıyor, plakalardan da hiç yük çıkmıyor. Şimdi 10 milimetredeyim ve koskoca hacimli bir elektrik alanı yarattım. Şimdi potansiyel fark, öncekinden on kez daha büyüktür. Ve böylece gerçekten iş yaptığımı görüyorsunuz. Gözlerinizin önünde, görüyorsunuz.

Pekâlâ, bunu azaltalım; ışıkları eski haline getirelim, normale dönüyoruz.

Burada 100 mikro-faradlık bir kapasitör var -- Tehlikeli küçük bir şey -- Bunu 3000 volta kadar yükleyebiliriz; bunu yüklediğimizde, kapasitörde 3/10 Coulomb'luk yük elde ederiz.

Şimdi size bazı sayılar vereceğim. Bu 100 mikro-farad; Onun üzerine 3000 voltluk bir potansiyel fark uygulayacağım, bu ona 0.3 coulomb'luk bir Q yükünü verir; böylece kapasitörde depolanan enerji, yani  $1 \text{ bölü } 2 CV^2$ , 450 joule olur.

Bu on beş dakika sürecek.

Ve onu şimdi yüklemeye başlayacağım; çünkü dersin sonunda, gösteri için yüklü bir kapasitöre ihtiyacım olacak.

Ve böylece, kapasitör üzerinde yavaş yavaş değişecek olan potansiyel farkını burada size gösterebilirim. Ders boyunca gözümüz onda olacak ve tamamen yüklendiğinde dersin sonuna gelmiş olacağız ve derse devam edeceğiz.

İşte bu canavar, 100 mikro-farad --ona canavar diyorum, çünkü ona pompaladığınız enerji miktarı ürkütücüdür, 450 jouldür.

Ve rahatlıkla 3000 volt sağlayan güç kaynağım burada.

Aslında bu güç kaynağının voltajı, yaklaşık 3800 volt.

Ve şimdi işimiz, bu kapasitörü yüklemektir -- hata yapmak istemediğimden, daima yavaş ve dikkatli olmalıyım. Çünkü dikkatli olunmazsa, gerçekten de öldürücü olabilen bir cihazdır bu. Evet, sanırım hazırız.

Bu kapasitörü yükleyeceğim sürede, göstergeler size bu plakalar üzerindeki potansiyel farkını gösterecek ve onun 3000 volta çıkması uzun zaman alacak.

Sanıyorum ki başlamaya hazırım ve şimdi onu yüklemeye başlıyorum.

Böylece şimdi plakalar üzerindeki potansiyel farkının çok düşük olduğunu, sifıra yakın olduğunu görüyorsunuz. Fakat bir kaç saniye beklerseniz yavaş yavaş artacak; on beş dakikada 3000 volt işaretine çok yaklaşacak; o zaman buna geri döneceğiz.

Onu yükleniyorken, kendi haline bırakacağız.

Bir foto-flaş fikri şudur: Bir kapasitörü yüklersiniz, ve onu bir ışık kaynağı üzerinden boşaltırsınız.

Demek ki, fikir olarak bir kapasitörünüz vardır ---buranın bir kısmını sileyim — ve bu kapasitörü yüklersiniz, yani oraya belirli bir miktar enerji koyarsınız ve sonra tüm enerjiyi bir ampulde harcarsınız.

Böylece, işte kapasitör, onu yükleyeceğiz. Burada bir anahtarımız var ve işte bir ampul ; anahtarı kapatınca, bütün enerji ampule gidecektir. Eğer bu pozitif, bu negatif yüklenirse, bir akım geçmeye başlar ve ışık parıltısı görürsünüz.

Burada, 1000 mikro-faradlık bir kapasitansımız var.

Böylece C eşit 1000 mikro-faraddır. Bu kapasitörün üzerine 100 voltluk bir potansiyel farkı uygulayacağız. O, o zaman  $\frac{1}{2} C V^2$  'lik bir enerji verir, ki bu, 5 jouldür.

Aslında bu tek bir kapasitör değildir; bir şekilde birbirine bağladığım her biri 80 mikro-faradlık 12 kapasitörün birleşmesinden oluşan 1000 mikro-faradlık bir kapasitördür.

Böylece onu yükleyeceğim ve sonra ampul üzerinden kapasitörün yükünü boşaltacağım. O zaman, oradan boşalttığımız enerji miktarına bağlı olarak, belki, biraz ışık göreceksiniz.

Şimdi bu ampule yoğunlaşın. 100 volt, burada görmeniz gerekir, görüyor musunuz?

Böylece şimdi o 100 volta ayarlandı ve şimdi onu yükleyeceğim, yüklediğim anda kapasitör üzerindeki voltajı göreceksiniz; onu yüklemek biraz zaman alacak,

böylece anlaşılmaz şekilde sıfıra düşecek ve sonra yavaşça 100'e geri dönecek. Bu beş veya on saniye sürer. Hazırsanız, başlıyoruz. Sadece 5 veya 6 saniye sürdü.

Şimdi 100 voltumuz var. Orada depolanmış 5 joule enerji var; hazırsanız, onu bu ampul üzerinden boşaltacağım, üç, iki, bir, sıfır.

Çok az ışık verdi.

Hayal kırıklığına uğradığınızı söyleyebilirim. Çok heyecan verici değil.

Gerçekte benim tarzım değil bu, değil mi?

Ne yapabiliriz, birazcık voltajı arttırabiliriz.

250 volta çıkabiliriz; bu durumda,  $V^2$  ile arttığı için, altı kat fazla enerjiye sahip oluruz. O zaman 30 joule'ümüz olur. Onun biraz daha heyecan verici olup olmadığını görelim.

Böylece şimdi voltajı 250 volta yükselteceğim -- şimdi gene güç kaynağını 250 volta ayarlıyoruz; ...ayarlayamadım, ...evet harika, elde ediyoruz, hayır, oh, evet; şanslı mıyım, tamam.

Böylece, 250 volt, ve şimdi tekrar yükleyebilirim ve biraz daha uzun zaman alacak, kapasitör üzerindeki voltajı göreceksiniz, 140, 170, 200, 250, işte tamam.

Ve şimdi biraz daha fazla ışık elde edip etmediğimizi görebilim.

Böylece şimdi 5 joule'den 30 joule 'e çıktık. Üç, iki, bir, sıfır.

Vaaayyy, şimdi bir yerlere geliyoruz işte.

Şimdi gerçekten bir foto flaş nasıl çalışır, onu biliyoruz.

Şimdi, şüphesiz ki, hepimiz yıkıcı bir içgüdüye sahibiz.

Ve merak içindesiniz, değil mi?

Benim düşündüğüm şeyi düşünüyorsunuz.

340 voltu deneyip, ampulün patlayıp patlamayacağını görelim mi? Belki patlar.

Bu voltaj kaynağının ne kadar yükseğe gidebileceğini bilmiyorum, görelim

Sonuna kadar gidelim.

337 volt. Tamam.

Böylece bu kabaca 50 joule'lük enerji anlamına gelir.

O voltajın karesiyle artar.

Yeniden yükleyelim, şimdi yüklüyoruz.

200, 280, 300, ve 337 volta çıktık.

Şimdi görelim--ahhh-- Yaptık. Yandı!

Burada bir foto flaşım var ve bu foto flaş yaklaşık 5000 mikro faradlık bir kapasitöre sahip. Gerçekten çok büyük ve 100 voltluk potansiyel farkına kadar onu yükleyebiliriz. Oradaki piller sadece 6 volt olsa bile, orada bir devre var ki -- biz onu daha sonra öğreneceğiz -- 6 voltu 100 volta çeviriyor ve böylece kapasitörü 100 volta kadar yükleyebiliriz.

Bu demektir ki,  $1/2 CV^2$ , bu kapasitörde depolanan enerji, 25 joule olur.

Ve bu enerjiyi ampulün üzerinden boşaltabilirim ve o zaman parlak bir ışık patlaması görebiliriz. Çünkü bu yük boşalması sadece bir milisaniye gibi bir kısa zaman içerisinde meydana gelir.

Böylece devasa miktarda bir ışık elde edersiniz, sadece bu kadar milisaniyede.

Ve onu size göstermek istiyorum.

Onu size göstermenin tek yolu, bu flaş ışığını size yöneltmektir. Gözlerinize zarar vermek istemiyorum; sizi önceden uyarayım. Şimdi kapasitörümü yüklüyorum, o bir süre alır ve resminizi çekeceğim.

Ben de yapabilirdim.

Ama arka taraf çok karanlık olacak; bu yüzden, Marcos ve Bill'den de, ben flaşı patlattığımda, aynı anda patlatabilecekleri birer flaş almalarını rica ettim.

Şimdi, "bunu nasıl yapabilirsiniz; çünkü bu patlama bir milisaniye sürerse, onu nasıl eşzamanlı yapabilirsiniz?" diyebilirsiniz. Bunu yapmanın yolu, bu flaşların benim ışık sinyalim onlara ulaşınca kadar beklemeleridir, o ışık hızı ile gider.

Oraya varmak bir milisaniyeden daha az zaman alır ve onlar benim ışık patlamamı aldıkları zaman aynı anda patlarlar.

Bunlara flaş-yardımcıları deriz.

Ve böylece bunu yapıp yapamayacağımızı görelim.

Burada bir yeşil ışığım var, bu resim çekebilirim demektir. Ve evet, oh, saçınızı taramak zorunda değilsiniz, güzel görünüyorsunuz.

Tamam, odaklayayım çünkü bu önemli. Flaşı gördüğünüzden emin olun.



Hazır mısınız?

Flaşı gördünüz mü? Flaş yandı mı?

Oh oldu.

Evet diyebilirsiniz.

Flaş-yardımcıları yandı mı?

Tamam, henüz bunu görmediniz, haklı mıyım?

Çünkü onlara bakıyordunuz. Gerçekte bana bakmalıydınız.

Böylece, neden fotoğraf çekmiyoruz; Marcos, Bill flaş-yardımcılarını buraya öğrencilere çevirin ve o zaman tekrar deneyeceğiz.

Hazır mısınız? Tamam. Ooo harika.

Bir değişiklik yapıp neden “çiiiizz” demiyorsunuz?

Tamam, bana bakın. Oh harika, muhteşem görünüyorsunuz, aslında odağın dışındasınız.

Oh bir kişi orada uyuyor. Bırakalım uyusun. Tamam.

Çalıştı mı? Flaşı gördünüz mü? Gördünüz mü? 25 joule.

Fakat şunlar henüz onu görmedi.

Böylece, Marcos, Bill flaşın oraya kadar ulaştığından emin olun ve onlara bu flaş ışığını görme şansını verin.

Böylece, bize orada ışıklar biraz yardımcı olur; bunun nasıl çalıştığını görelim, flaşı gördüğünüzden emin olun, güzel --bu ampulden başka bir 25 joule geçtiğini göreceksiniz-- çok güzel—oh, oh, oh, evet, evet, evet, oh, evet-- eliniz ağzınızın önünde, tamam, teşekkürler.

Çok iyi. Flaşı gördünüz mü? Yardımcı flaş patladı mı?

İşte foto-flaş fikri: Çok büyük bir enerji miktarını, çok kısa bir zaman aralığında boşaltmak ve çok parlak bir ışık elde etmek.

MIT 'de Profesör Edgerton flaş ışıklarıyla çok ünlü olmuştu.

O, bu flaştan çok daha fazla enerjiyi tutan ve bu enerjiyi bir mikro-saniyeden daha kısa zamanda boşaltabilen flaşlar icat etmişti..

Böylece bu, yüksek hızlı fotoğrafçılığa yol açmış ve mikro-saniye ölçeğinde ve hatta bundan daha bile kısa sürede cisimlerin hareketlerini incelemeyi mümkün kılmıştı.

Size Doc Edgerton'un flaşıyla çekilmiş bazı resimler göstermek istiyorum.

İlk slayt--sağdan gelen ve ampule giden bir kurşun görüyorsunuz.

Bu resmin poz süresi mikro-saniyenin sadece üçte biridir; bu sürede kurşun muhtemelen milimetrenin sadece üçte biri kadar hareket eder; böylece o tamamıyla duruyormuş gibi görünür.

Ve ampul felaket için hazır, fakat bunu henüz bilmiyor.

Oh, kurşun 100 mikro-saniyede yaklaşık sekiz santimetre hareket eder ve bir sonraki resim 100 mikro-saniye sonra çekilmiştir; poz süresi gene bir mikro-saniyenin üçte biridir.

Böylece ona, oraya bakarsanız şimdi merminin ampule girdiğini görürsünüz;

ve bir sonraki resim bir başka 100 mikro-saniye sonradır ve merminin ampulden çıktığını görürsünüz.

Ve oh, bu ampul kırıldığını neredeyse hala anlayamadı !.

Fakat o, artık bunu algılamaya başlıyor. Bir sonraki slayt, balon patlatan bir çocuğun harika resmidir. Gördüğünüz gibi, balonun yarısı henüz patladığını bilmiyor.

Bu kadar slayt yeter. Doc Edgerton ayrıca pek çok tekrarlı-flaş geliştirdi.

Bir tekrarlı-flaş yani strobe – burada bir tane var – , öyle bir düzenektir ki, bir ampul üzerinden ardarda enerji boşaltır ve böylece tekrar eden flaşlar sağlar. Ve bu, sizin için bunun gibi bir alettir.

Onların sırf uyarı işareti vermek için uçaklarda kullanıldıklarını görürsünüz, hava alanlarındaki uzun kulelerde gene uyarı ışığı olarak kullanılırlar; fakat bu tür flaşlarla yapabileceğiniz daha başka pek çok şey vardır.

Elektrik ve Manyetizma'nın daha sonraki bir dersinde, örneğin, flaş ışıklarıyla, bunlarla, stroboskoplarla motorların dönme hızını ölçebileceğinizi size göstereceğim ve motorlar, Elektrik ve Manyetizmada, bu dersi almadan önce tahmin edebildiğinizden çok daha önemli bir rol oynayacaklar.

Eğer hala bir pikabınız varsa, tekrarlı-flaşla pikabınızın dönme hızını da ölçebilirsiniz ve sonra onu istenilen doğru hıza ayarlayabilirsiniz.

Böylece tekrarlı-flaşlarla yapabileceğiniz çok şey var, onların bazılarını da Elektrik ve Manyetizmada göreceğiz.

Şimdi oradaki kapasitörümü dönüyorum. Ne olduğunu görelim.

Oh, harika, hedefim olan 3000'e yaklaşmışız.

Görüyorsunuz, bu koca kapasitörde gerçekten 3000 volta ulaşmak ve orada istediğim 450 joule'lük enerjiyi elde etmek 15 dakika sürüyor.

Bunu size göstermek istememin sebebi nedir?

Sigorta fikrinin değerini anlamanızı istiyorum.

Evinizde pek çok sigortanız vardır. Sigorta emniyet aletidir.

Kullandığınız akım çok yüksek olduğunda, eriyen veya kopan bir şeydir sigorta.

Varsayın ki, masa lambanızda farkına varmadığınız bir kısa devre oluştu ve çok yüksek bir akım geçmeye başladı; o zaman sigorta “üzgünüm bunu yapamazsınız” diyecektir. Sigorta eriyecek ve böylece sizi yangına neden olabilecek bir felaketten koruyacaktır.

Sigorta düşüncesini, bir şekilde zaten göstermiştik, çünkü şu ampulü kırdığımızda; o, bir bakıma, bir sigortaydı.

O ampul üzerinden aşırı miktardaki enerjiyi boşaltmıştık ve bu yüzden ampulün kendisi zaten bir sigorta gibiydi.

Bu, gerçekten de kullandığımız sigortaya çok benzer. Orada 12 inç uzunluğunda demir bir telimiz var ve o bir incin binde otuzu kalınlığında.

Bu telden 450 joule boşaltacağız.

Böylece fikir, foto flaştaki fikrimize çok benziyor. Bütün enerji kapasitörde ve bu enerjiyi ampul üzerinden boşaltmak yerine, şimdi burada bir telim var ve anahtarı açtığım zaman enerji bu telden geçecektir.

Ve telin birazcık parladığını görmemiz mümkündür. Sonra tel eriyecektir; işte bu sizde sigorta fikrini oluşturacaktır.

Bunu yaptıktan sonra, kapasitörde hala biraz enerji kalmış olabilir. Size bunu da gösterebilirim. Çünkü kapasitörün iki ucunu kısa devre yaparım ve hala bir miktar enerji kaldıysa, bunu gösteren bazı kıvılcımlar görürüz.

Böylece, hazırsanız -- ben her zaman bu gösteriden birazcık korkarım -- olacaklardan değil; şu şey muhtemelen eriyecek ve belki de birazcık ışık göreceğiz, konu bu değil - fakat bu **bebekten** korkuyorum, çünkü şimdi o devasa miktarda bir enerjiye sahip.

Artık yüklemeyi durduruyorum; bunu yapalım; hazırsanız, şimdi bu telden bütün enerjiyi boşaltmaya çalışacağım.

Üç, iki, bir, sıfır.

İşte bu, bir sigortanın çalışma şeklidir.

Gördüğünüz gibi, çok etkileyici.

Ve bodrum katınızda bu olanı duyarsanız, o belki bir sigorta olabilir.

Şimdi kapasitörde enerji kalıp kalmadığını kontrol edebiliriz.

Belki çok değildir, fakat tümünün demire boşalmış olması da beklenemez; böylece biraz kalıp kalmadığına bakalım, bu iletken çubukla bunu kısa devre yapabilirsem, kıvılcım elde edip edemeyeceğimizi göreceğiz.

Ve kıvılcım attı.

Böylece hala kalan biraz enerji var.

Tamam, gelecek derste görüşürüz.