



MIT OpenCourseWare
<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 Kurs Malzemeleri).
<http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative
Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin 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 OpenCourseWare

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 14 Biot-Savart Yasası

Bir tel boyunca giden bir akıma sahibiz, bunun gibi.

Bu telin yakınlarındaki manyetik alana bakalım. Deneyden biliyoruz ki, şayet telin çevresine mıknatıs parçaları koyarsanız, bunlar bir çember şeklinde dizilirler.

Onları, şöyle, telin etrafına koyun.

Bu çember R yarıçaplı ise, manyetik alan I akımıyla orantılı, çemberin yarıçapıyla ters orantılıdır; bu, deneysel bir olgu.

Geleneksel olarak, manyetik alanın yönü sağ-el vida kuralı ile verilir: alan bu yönde dönerse, akım yukarı gider.

Elektrik yüklerini daha önce görmüştünüz; ayrıca pozitif yüklü düzgün bir telin çevresinde elektrik alanın 1 bölü R ile azaldığını da gördünüz. Yönü manyetik alaninkinden farklı olmakla birlikte, o da 1 bölü R ile azalır. Bunun nedeni şudur:

Elektrik tek-kutupları, yani bireysel yükler için, elektrik alanı 1 bölü R kare ile azalır. Ve böylece düzgün tel üzerinden entegral aldığınızda, 1 bölü R'yi elde edersiniz.

Benzer şekilde, eğer manyetik tek-kutuplar var olsaydı, onların manyetik alanı da 1 bölü R kare ile azalırdı. Fakat bildiğimiz kadarıyla, manyetik tek-kutuplar mevcut değildir.

Prensip olarak, bunlar var olabilirler; fakat bir tane bile görmedik; eğer biriniz bunlardan bir tane bulursa, kesinlikle bir Nobel Ödülü alır.

Bu hiç de imkânsız değildir.

Akım teli çevresindeki manyetik alanın 1 bölü R ile azalması basit bir olgudur. Önerilerden biri, bu teli küçük $d\ell$ elemanlarına bölmektir. Bu elemanların her biri manyetik alana 1 bölü R^2 yasasına göre katkıda bulunur ve tüm tel üzerinden entegral alırsanız, o zaman 1 bölü R alanını elde edersiniz.

İşte bu, **Biot ve Savart** formalizminin arkasındaki fikirdir. Küçük bir $d\ell$ akım elemanınız varsa ve akım bu yönde ise ve r kadar uzaklıkta bu küçük $d\ell$ akım elemanının manyetik alana katkısı dB 'nin ne olduğunu bilmek istersiniz. Bu $d\ell$ elemanından manyetik alanı bulmak istediğimiz bu noktaya kadar birim vektör, r şapkadır.

Biot ve Savart, bu küçük dB manyetik alanının bu durumda sağ-el vida kuralından dolayı tahta düzleminden içeri olacağı fikrini ortaya atmıştı.

Akım bu yöndedir, böylece bu küçük elemanlar manyetik alana tahtaya dik, bu yönde, katkıda bulunacaklardır.

Böylece dB, bir sabit kere şüphesiz akımla orantılı olacak ve sonra bu küçük dl elemanının uzunluğu ile orantılı olacaktır. O, ne kadar uzun olursa, manyetik alan o kadar büyük olacaktır. Ve tam tahta düzlemine dik yönü elde etmek için ise, r birim vektörü ile vektörel çarpım alırsınız.

r birim vektörü, 1 birimlik uzunluğa sahiptir; bu yüzden sadece yönü bulmak için yaparsınız vektörel çarpımı.

Ve bu, R kare ile ters orantılıdır.

Bu elbette bir anahtar niteliğindedir.

Biot-Savart formalizmi budur. Tellerin çevresinde deneyler yaparak manyetik alanı ölçebilirsiniz; ve formalizm çalışır. Böylece, tüm dl elemanlarının tek tek katkılarını hesaplırsınız ve bir integral alırsınız; ve bu formalizm çalışır.

Sonra C'nin ne olduğunu da ölçebilirsiniz; SI birimlerinde, C, 10 üzeri -7 dir.

Fakat C için oldukça özel bir şey yazarız.

C için μ_0 bölü 4 pi yazarız ve buradaki μ_0 'ı serbest uzayın geçirgenliği olarak adlandırırız.

Daha önce Coulomb Yasasındaki sabitin 9 çarpı 10 üzeri 9 olduğunu gördünüz; onu 1 bölü 4 pi epsilon sıfır olarak ifade etmiştik.

İsmlendirme işte!

Ve böylece bunu burada μ_0 bölü 4 pi olarak isimlendiriyoruz.

Böylece şimdi Biot-Savart yasasını uygulayabilirsiniz: Düz bir tel alırsınız, üzerinden I akımı geçen ve büyük R uzaklığındaki P noktasında manyetik alanın ne olduğunu bilmek isterseniz, yapmanız gereken şey, teli sonsuz sayıda küçük dl elemanlarına bölmektir. Bu uzaklık r'dir ve birim vektör şunun gibi olur. Bu küçük elemanın oluşturduğu küçük miktardaki manyetik alanı hesaplırsınız ve tüm tel üzerinden bunu entegre edersiniz.

Bu matematiktir.

Bunu yapmıştınız.

Daha önce yapmıştınız bunu; orada tel üzerinde düzgün dağılmış elektrik yükümüz vardı.

Dolayısıyla bunu tekrar yapmayacağım. Bu, matematiğin çok açık ve basit kısmıdır.

Bu arada, manyetik alan, sağ-el vida kuralı uyarınca, bu durumda tahtadan dışarı yöndedir.

Bunu yaptığınızda, ne bulursunuz? B eşittir μ_0 çarpı I bölü $2\pi R$ buluruz. Bu, R 'dir ve böylece gerçekten bunun 1 bölü R ile ters orantılı olduğunu görürsünüz.

Böylece, örneğin, yarıçapı 0.1 metre, yani 10 santimetre, alırsanız ve telden 100 amperlik akım geçiyorsa, o zaman bir B manyetik alanı elde edersiniz.

Bu eşitliği kullanırsanız, 2 çarpı 10 üzeri eksi 4 Tesla elde edersiniz.

Bu yaklaşık 2 Gauss kadardır. 100 amper.

10 santimetre uzaklıkta sadece 2 Gauss. Bunu düşünün.

Dünyanın manyetik alanı yarım Gauss'tur.

Böylece telden 1 metre uzağa giderseniz, o zaman 10 kat daha küçük bir manyetik alan elde ederiz; bakın, o, 1 bölü R ile değişmektedir. Orada büyük ölçüde yerin manyetik alanı hâkimdir.

Demek ki, bu deneyleri yaparken, aslında çok yüksek akımlara ihtiyacınız olur.

1 bölü R 'nin Biot-Savart formalizminden çıkıverdiğini görmek hoştur; fakat kuşkusuz şunu fark etmelisiniz ki, Biot-Savart manyetik alanın 1 bölü R ile azaldığını biliyordu.

Bu deneysel bir olguydu.

Böylece, onun azalması olgusu mantıklıdır; çünkü bu, formalizmin içine yerleştirilmişti.

Düşünürseniz; bu, Newton'a kadar gider.

Newton, yerçekimi alanının 1 bölü R kare ile azaldığını öngören ilk kişiydi.

Ve daha sonra bunun mantıklı bir uzantısı, elektrik alanlarının 1 bölü R kare ile azalıyor olmasıydı. Bundan da şu fikir ortaya çıktı: Eğer varsalar, manyetik tek-kutup alanları da 1 bölü R kare gibi azalırdı. Hepsinin arkasında işte bu var; bana göre aslında övgünün çoğunu hak eden kişi Newton'dur.

Artık Biot-Savart'ı kullanarak, bir akım halkasının merkezindeki manyetik alanı kolayca hesaplayabiliriz.

Bu bir tel halka olsun ve akım bu yönde aksın; tam merkezinde manyetik alanın ne olduğunu sormak istiyorum.

Tabii ki, tam merkezde manyetik alan yukarı yöndedir.

Buradaki çizgi boyunca küçük $d\ell$ elemanlarının her biri, tam bu noktada manyetik alana bu yönde küçük bir katkıda bulunacaktır.

Eğer bu yarıçap R ise, şimdi Biot-Savart ile bu noktada istediğiniz toplam alanı kolayca hesaplayabiliriz; çünkü bu toplam alan, $d\ell$ 'nin tüm tel, dolayısıyla tüm halka üzerinden entegralidir.

Oraya giderseniz, μ_0 bölü 4π var, akımınız var ve 1 bölü R kare var. Ve şimdi de $d\ell$ vektörel çarpım R üzerinden entegral almalısınız.

Evet, R elbette her zaman $d\ell$ 'ye diktir.

Bu seçtiğiniz herhangi $d\ell$ elemanı, birim vektör r tam olarak $d\ell$ elamanına diktir, çünkü bu çemberin özelliğidir.

Ve böylece $d\ell$ ile R arasındaki açının sinüsü 1 'dir ve böylece tüm yapmamız gereken $d\ell$ üzerinden entegral almaktır, ki bu da çemberin entegralidir; yani çemberin çevresi: $2\pi R$.

Şimdi, burada π 'leri sadeleştirirsiniz, R 'lerden birini sadeleştirirsiniz; böylece μ_0 çarpı I bölü $2R$ bulursunuz.

Bu, sadece tam merkezde manyetik alanı hesapladığınız bir durumda, Biot-Savart'ı kullanmanın ne kadar kolay olduğunu gösteren bir örnektir.

Eğer size burada veya orada manyetik alanın ne olduğu sorulsaydı, bu da nispeten kolay olurdu.

Bunu yapmıştınız.

Size daha önce üzerinde noktasal yüklerin düzgün bir şekilde dağılmış olduğu bir tel problemi vermiştim ve burada elektrik alanın ne olduğunu sormuştum.

Bu, şimdi de, manyetik alanlar için yapılabilir.

Eğer size burada manyetik alanın ne olduğunu sorarsam, elbette Biot-Savart ile bunu yapmak imkânsızdır, pratik olarak imkânsız.

Bunun nasıl yapılacağını bilemiyorum.

Fakat prensip olarak bu yapılabilir ve kesinlikle bir bilgisayarla bunu yapabilirsiniz.

Böylece aynı duruma dönebiliriz; akım için 100 amper ve R 'yi 0.1 metre alabilirsiniz; o zaman B alanının şiddetini, bu halkanın tam merkezinde, 6 çarpı 10 üzeri -4 Tesla buluruz.

Bu, 6 Gauss demektir.

Şurası açıktır ki, eğer birkaç alan çizgisi çizmek isterseniz, çember boyunca ilerleyen akımın sonucu olarak manyetik alan çizgilerini, orada merkez boyunca bunun gibi olacaktır.

Eğer burada tele çok yakın olursanız, çizgiler tahtadan içeri doğru olacaktır; bunu üç boyutlu olarak görmek istiyorum: o zaman manyetik alan, bunun gibi, saat yönünde gidecektir.

Burada akım size doğrudur, dolayısıyla alan saat ibrelerinin tersi yönünde olacaktır.

Eğer manyetik alan çizgileri burada böyleyse ve burada kıvrılıyorsa, o zaman açıkça ben onların burada da bunun gibi olmasını beklerim, bunun gibi ve bunun gibi.

Böyle bir akım halkasının etrafında olmasını beklediğim manyetik alan çizgilerinin deseni bu türdendir.

Bunu biraz daha ayrıntılı olarak göstermek istiyorum size.

Burada bir slaydım var; onu sağ tarafta görüyorsunuz: akım, kâğıt düzleminden içeri doğru giriyor ve burada kâğıt düzleminden dışarı çıkıyor.

Bu bir çembersel halka. Ve burada alan çizgileri desenini görüyorsunuz.

Bu, orada tahtada çizdiğimden çok farklı değil.

Tele çok yakın yerlerde çemberler elde edersiniz; çünkü oralarda 1 bölü R baskındır.

Tele o kadar yakın olunca, 1 bölü R ilişkisi alan çizgilerini, bunun gibi, daireler haline getirir ve burada da öyle; fakat uzaklaşırsanız, orada benim çizdiğim gibi bir desen elde edersiniz.

Akım halkasından iyice uzaklaşınca, manyetik alan deseni bir elektrik dipolünkine çok benzer hale gelir.

Bunu bir sonraki slaytta gösterebilirim.

Önce yukarıda gördüğünüz elektrik dipolüne bakın.

Bu bir pozitif yük, bu ise negatif .

Yüklere yakın yerlere bakmayın. Yüklerin arasına da bakmayın. Uzaklara bakın.

Burada elektrik alan çizgilerini görüyorsunuz; onları burada da görüyorsunuz.

Şimdi buradaki akım halkasına bakın.

Burada akım kâğıttan içeri doğru gitmektedir, burada ise kâğıttan dışarı.

Bir halka var.

Ve bakınız, aynı deseni görüyorsunuz, alan çizgileri, alan çizgileri.

Bu, bu şekilde gidiyor. Bu da bu şekilde gidiyor.

Burada, elektrik alan çizgileri içeri geliyor, manyetik alan çizgileri içeri geliyor.

Elektrik alan çizgileri dışarı çıkıyor. Manyetik alan çizgileri dışarı çıkıyor.

Onlar çok benzer görünüyorlar.

Gauss Yasasına göre, elektrik akısının kapalı yüzey entegrali, kutu içindeki yük bölü epsilon sıfırdır; böylece burada kapalı bir yüzeyiniz varsa, -- o bir çizgiye benziyor, fakat onunla bir yüzeyi kastediyorum -- , elektrik akısının bu kapalı yüzey üzerinden integrali sıfır değildir. Çünkü kutu içinde yük vardır.

Manyetik alanın neresinde kapalı bir yüzey alırsanız alın, asla o yüzeyden geçen herhangi bir manyetik akı olamaz.

Asla, 26-100'e gelip bana bir manyetik tek-kutup göstermezseniz, asla.

Ancak içerisine bir manyetik tek-kutup koyarsak, ancak o zaman o kapalı yüzeyden çıkan bir manyetik akı olabilir.

Ve işte bu, şimdi bize Maxwell'in 4 eşitliğinden ikincisini verir. İlki Gauss yasasıydı. İkinci denklem ise, B nokta dA'nın kapalı yüzey integralinin, --bana bir manyetik tek kutup getirmediğiniz sürece--, her zaman sıfır olduğudur.

Böylece burada Maxwell'in 4 eşitliğinden ikisine sahibiz. Tarihi bir gün !..

Şunun gibi bir akım telinin etrafında oluşan manyetik alanı göstermek isterim size.

Bu telden birkaç yüz amper geçirmeliyim.

Size nedenini söylemiştim; çünkü manyetik alan çok hızlı azalır; bunu size tel etrafına serpiştireceğim demir tozları ile yapacağım; bu mıknatıslar kendilerini manyetik alan yönünde yönlendirecekler. Ve sonra kâğıttan içeri doğru giden bir tel ve kâğıttan dışarı doğru gelen bir diğer tel alarak, bu alan desenini size göstermeye çalışacağım.

Böylece ilk olarak tek akım teline bakalım. O size doğru geliyor ve tabii ki içeri gidiyor.

O, bu şekilde giden bir teldir ve onu burada size göstermemin sebebi elbette ki bir şekilde akım elde etmek zorunda olmamızdır.

Fakat o aslında, bunun gibi bir tel ve bu platform, size göstereceğim.

Bunun etrafına biraz demir tozu serpiştiriyorum.

Onlar küçük mıknatıslar ve onlar manyetik alanı gördüklerinde kendilerini manyetik alan doğrultusunda yöneltmeye çalışırlar; böylece bu çemberleri göreceksiniz.

Fakat bunun için, çok büyük akımlara ihtiyacınız olduğunu bilin.

Yüzlerce amperle yapıyoruz.

Burada bir araba aküsü buldurmamızın nedeni bu; hatırlayın, böyle bir akü, yüzlerce amperlik akım sağlayabilir.

Şimdi akımı açıyorum.

Titreştiriyorum, şu dairesel çizgileri görebilirsiniz.

Umarım bunları görüyorsunuz. Çemberlere benziyorlar.

Şimdi aynısını yapmak istiyorum.

Bu, bir telin yüzeye girdiği ve bir telin yüzeyden çıktığı durumda, belki biraz daha heyecan verici olur.

O bir daire olmasa bile, düşünce şudur ki, burada gördüğünüze çok benzeyen bir alan deseni elde edeceksiniz.

Hay Allah, bu halen sıcak. Bu teller halen sıcak. Birkaç yüz ampere benzemiyor.

Peki, haydi onu şu şekilde yapalım.

Böylece tahtada çizdiğime benzer bir alan yapılanması göreceksiniz, burada sahip olduğunuz şeye benzer.

Hayır, bunun gibi değil. Buna benzer.

Evet, gerçekten, benim sahip olduğum da buydu; fakat bu, ona bakmak için daha hoş bir yol.

Böylece, yüzeye giren bir telimiz ve yüzeyden çıkan bir telimiz var.

Pekâlâ, ilk olarak üzerine biraz demir tozu serpiştirelim.

Tamam, şimdi ondan birkaç yüz amper geçirelim; titreştirelim, tele yakın olan burada ve burada daireler görebilirsiniz.

Şunlar 1 bölü R ilişkisi

Onlar manyetik alanları domine ederler; fakat buraya, araya bakın.

Biraz hayal gücüyle, bu alan çizgilerinin şöyle gittiğini görebilirsiniz, tıpkı bugün tahtaya çizdiğim gibi.

Tamam.

Buna daha fazla ihtiyacımız yok ve buna da daha fazla ihtiyacımız yok.

Böylece bu sizin, üzerinden akım geçen tellerin etrafındaki manyetik alan desenlerini biraz daha iyi anlamanızı sağlar.

Gelecek derste manyetik alanlara geri döneceğim ve onları daha fazla açacağım.

Biot-Savart Yasasına göre daha üstün olan bir yolla manyetik alanları hesaplama yöntemlerini öğreneceğiz.

Aslında, bu bize neredeyse Maxwell denklemlerinin üçüncüsünü verecek.

Fakat şimdi sizi biraz rahatlatmak istiyorum, çünkü şu ana kadar zaten yeterince zorlanmış olabilirsiniz. Şimdi tamamen farklı bir şeyi, çok pratik bir şeyi tartışmak istiyorum: elektrik enerjisinin aktarılması ile ilgili.

Diyelim ki A konumunda bir yerde bir güç santralimiz var; oradan Boston'a elektrik gücü, elektrik enerjisi veriliyor.

Burası Boston, B noktası. Güç santrali A noktasında. Aradaki uzaklık 1000 mil olabilir.

Güç istasyonundan bize gelen bir kablo var ve diyelim ki, buradaki, bu hattaki potansiyel V_B .

Dönüş akımı için olan kablo da işte burada. Akım böyle gidiyor ve dönüş akımı ise bu yönde. Enerjiyi de burada kullanıyorsunuz.

Bilgisayarınızı, saç kurutma makinenizi, ısıtıcılarınızı, elektrikli diş fırçalarınızı ve neyin varsa, TV istasyonunuzu, her şeyinizi buna bağlayabilirsiniz.

Ve böylece siz burada tüketicisiniz.

Bu güç santralinin ürettiği enerjiyi siz alıyorsunuz.

Bu hattın potansiyeline sıfır diyeceğim; V_A burada bu hattakinden daha yüksektir.

Peki, Ohm Yasasına göre, V_A eksi V_B , akım ile R 'nin çarpımıdır. R şimdi yarıçap olmayıp teldeki, bu teldeki dirençtir.

Bu kablo, ki kalın olabilir, sonlu bir dirence sahiptir.

Böylece, Boston'da aldığımız V_B potansiyeli, V_A eksi IR 'dir.

Tel boyunca giden akım olmazsa, kimse elektrik enerjisi kullanamaz, o zaman V_B , V_A ile aynı olur.

Enerji tüketiyorsam, onu bilmek isterim; Boston'da aldığımız güç, I çarpı V_B 'dir.

Bu, bizim bir saniyede tükettiğimiz joule'dür.

Böylece bu, V_A çarpı I eksi I kare çarpı R 'ye eşittir.

Bu tamam.

Bu nedir? Bu, saniyede tükettiğimiz enerjidir.

Bu nedir?

Bu, saniyede güç santralının bize ulaştırdığı enerjidir.

Bu nedir?

Bu, kaybolan enerjidir.

Bu, I kare çarpı R 'dir, yani bu telde üretilip evrene salınan ısıdır. O kaybolup gider.

Bu yüzden ekonomi bizden bunu mümkün olduğunca azaltmaya çalışmamızı ister.

Bakın, bu, hazır olan güçtür; fakat ısı cinsinden biraz güç kaybedersiniz, buradaki eksi işareti o demek; böylece Boston'da daha az güce sahip olursunuz.

Peki, bu I kare çarpı R 'yi nasıl azaltabilirsiniz?

Peki, bir telin direnci nedir?

Bu, ρ öz direnci, çarpı telin uzunluğu bölü telin kesitidir.

Böylece birkaç seçeneğimiz var.

A 'yı, kesit alanını çok geniş tutabilirsiniz, yani çok kalın bir bakır tel; fakat bu pahalıdır.

Bunu bakırdan daha düşük öz dirence sahip olan altın bir tel ile de yapabilirsiniz.

Bu iyice pahalıdır.

İnsanlar bu iletim tellerini süper iletken malzemelerden yapmayı düşünüyorlar.

Bunları çok düşük sıcaklıklarda soğuk tutmak zorundalar.

Bu çok aşırı derecede pahalıdır, fakat bu sizin direnci düşürmenizin bir yoludur.

Haydi, şimdi akıma bakalım. Akımla ne yapabiliriz?

100 Mega Watt tükettiğimizi varsayalım.

Makul olmayan bir sayı değil; 100 Mega Watt tüketiyoruz, V_B potansiyelinin 100 volt olduğunu varsayın, demek ki V_B 100 volt'dur.

Şimdi akım nedir?

Akım çarpı potansiyel bana gücü verdiği göre, akımım bir milyon amperdir.

Alternatif olarak, telde B noktasındaki potansiyelin 100.000 volt, 1000 kat daha yüksek olduğunu varsayın.

Şimdi akım sadece 1000 amperdir; ama bana aynı gücü verir.

Her iki durumda da, saniyede yüz milyon joule tüketiyorum.

Fakat $I^2 R$, güç istasyonundan bana gelirken yoldaki ısı kaybı, bu durumda diğer durumdakinden bir milyon kez daha düşüktür. Çünkü I , 1000 kat daha düşüktür ve ısı kaybı akımın karesi ile değişmektedir. Elektriği bir yerden başka bir yere aktarırken, bunun mümkün olduğu kadar yüksek potansiyelle yapılmasının nedenini şimdi anlıyorsunuz.

Boston'a getirdiğinizde, bu aşırı yüksek potansiyelle bir şeyler yapmanız gerektiği açıktır, çünkü eğer burada 100.000 Voltluk bir potansiyel farkını dağıtırsanız, o zaman Boston'daki nüfusun yarısı elektriğe çarpılır. Bu yüzden şimdi voltajı düşürmeniz gerekmektedir. Bunu transformatörlerle yaparsınız.

Daha sonraki derslerde bundan bahsedeceğiz.

Böylece bu aşırı yüksek voltajı, Amerika'da yaklaşık 110 volt olan güvenle kullanılabilir bir voltaja düşürürsünüz. Avrupa'da bu değer, 220 volt'tur.

Şimdi soruya gelelim: V_A 'yı nasıl yükseltebilirsiniz?

Onu ne kadar yüksek tutarsanız, yol boyunca kayıp o kadar az olacaktır.

Tabii ki, elektrik alan boşalmalarından kaçınmalısınız; ki o da 3 milyon volt bölü metre idi.

Kabloların yüzeydeki alanında 3 milyon volt bölü metre olursa, korona boşalması meydana gelir.

Bu büyük bir kayıptır; bundan uzak durmak isteriz. Kablolar tipik olarak yaklaşık r yarıçapındadır.

Bu r , kablonun yaklaşık 2 santimetre kadar olan yarıçapıdır. Bu, ona sanırım 10 üzeri eksi 3 metre karelik bir kesit alanı sağlar; evet, doğru.

Ve V_A potansiyeli yaklaşık 300 kilovolttur. Bu konfigürasyonla, 3 milyon volt bölü metre'lik elektrik alanının rahatça altında kalırsınız, korona boşalması yaşamazsınız.

Kablonun uzunluğu $\ell = 1000$ kilometre kadar olsaydı, -- akla uzak bir sayı değil --, yani, elektriği 1000 kilometre mesafeden, Niyagara Şelalesi'nden Boston'a aktarsaydık, telin direncinin bu durumda ne olacağını da hesaplayabilirdik, çünkü R direnci ρ çarpı ℓ bölü A 'ya eşittir.

Bakırı ele alırsanız, SI birim sisteminde 2 çarpı on üzeri eksi 8'lik bir öz dirence sahiptir.

On üzeri 6 metre uzunluğunda bir kablomuz var, on üzeri eksi 3 metre karelik bir alana sahip; böylece 1000 kilometrelik kablo sadece 20 Ω 'luk bir dirence sahip olur.

Sayılar biraz kolay olsun diye, akımı 300 Amper alırsak, santralin ürettiği güç, 300 kilovolt çarpı 300 amperdir ve bu yaklaşık 90 Mega Wattır.

Bu benim düşündüğüm 100'e yakındır.

Böylece şimdi kaybın ne kadar olduğunu hesaplayabilirsiniz.

Kayıp I kare çarpı R .

Direncin 20Ω olduğunu, akımın 300 amper olduğunu biliyorsunuz ve böylece yaklaşık 2 Mega Wattlık bir kaybınız olacağını bulabilirsiniz.

Hiç kötü değil. 90'da 2.

Demek ki, iletimde yaklaşık yüzde ikilik bir kaybımız olur.

Şimdi güç santrali ile Boston arasında ne kadarlık bir potansiyel farkı olduğunu hesaplayabilirsiniz; V_A eksi V_B IR 'dir.

I 'nin 300 amper olduğunu ve direncin 20Ω olduğunu biliyorsunuz; böylece V_A eksi V_B yaklaşık 6 kilovolt olur.

Başka bir deyişle, eğer güç santralini iletim hattına gücü 300 kilovolt'ta verirse, o zaman siz onu burada sadece 6 kilovoltluk bir kayıpla alırsınız.

Bu çok mantıksız bir durum değildir.

Size bu güç hatlarının 3 milyon volt bölü metre'lik elektrik alan değerinden daha aşağılarda tutulmasını söylemişim. Yoksa korona boşalması yaşayabilirsiniz. O bölgede yıldırımlar olduğunda, yıldırım, kablo üzerindeki elektrik alanını artırır ve korona boşalması yaşanabilir.

Bunu defalarca görmüştüm, sizin gördüğünüz enerji hattı ışıklarını çıplak gözlerimle sadece gece görmedim aynı zamanda onları işittim de. Çünkü korona boşalmasının çatırdama sesini işitebilirsiniz.

Bu gerçekten çok büyüleyicidir. Burada bunu gösteren bir slaydım var.

Bu slaytta bir yüksek-voltaj güç hattı, iletim hattı, görüyorsunuz ve açıkça korona boşalması parıltısını görebilirsiniz.

Bu parıltı, Romas'ın uçurtma ipiyle karşılaştırılır. Romas, Benjamin Franklin'in çağdaşı bir deneycidir.

Uçurtmalar, geceleyin yıldırımların yakınında uçurulduğunda, korona boşalması ve ışık üretebilirler.

Onlara Roma uçurtma ipi kandilleri denmesinin nedeni budur.

Benjamin Franklin, gece karanlığında şimşeklerin yakınlarında uçurtmalarla bazı deneyler yapmış.

Bu arada, bunun tehlikeli olduğunu söyleyelim.

Görüyorsunuz, bu yüksek-voltaj güç hatları korona boşalmaları yapabiliyor.

Şimdi tekrar Leyden şişemize gitmek istiyorum.

Hala şurada gördüğünüz şu şişe ile bir deney yapmıştık ve gerçekten saçma bir durum olmuştu. O gösteriyi tekrar yapacağım, çünkü o zaman fizikte yanlış bir şeyler varmış gibi görüldüğünden, bir açıklamaya ihtiyaç var. Daha önce gördüğümüz her şey ve Leyden şişesinin ne olduğu hakkında hafızanızı yenilemek istiyorum.

Leyden şişesi, bir kavanoz biçiminde aralarında dielektrik bulunan iki iletken oluşmuş bir kapasitörden başka bir şey değildir.

Camdan olan iç kısım, diyelim ki, bu şekilde olsun.

Orada görüyorsunuz, kısa bir süre sonra onu orada göreceksiniz ve ayrıca iletkenlerimiz var; bunun etrafında iletken bir beher ve içinde de iletken bir beherimiz var.

Ve bunları Windhurst'la yükleyelim. Bu Windhurst makinesi.

Ve onu çalıştırdığımızda, iletken üzerinde serbest yükler elde ederiz; tam burada σ_{serbest} elde edersiniz, ve burada, elbette zıt işaretli σ . Ve dielektrik üzerinde indüklenmiş sigmalar elde edersiniz.

Neden bunu elde edersiniz?

Çünkü dielektriğiniz σ_{serbest} 'in oluşturduğu bir dış elektrik alan görür; böylece kutuplanmaya başlar, dolayısıyla burada ve orada indüklenmiş yükler elde edersiniz.

Eğer bu taraf pozitif ise, indüklenmiş yük burada negatif olacaktır veya bunun tersi.

Burada iç kısmı çıkarabilelim diye bir metal kancamız var.

Ve yaptığımız şey şuydu: Windhurst ile onu yükledik ve böylece belli miktarda enerji oluştu.

Bu düzenlenişin elektrostatik potansiyel enerjisi $1/2 Q_{\text{serbest}}$ çarpı potansiyel farktır; burada Q_{serbest} dış iletkendeki yüküdür.

Ve sonra şunu yaptım: yükledikten sonra onu çok dikkatli bir şekilde söktüm, iç kısmı dışarı çıkardım; camı, dış kısmı çıkardım ve tüm serbest yükü boşalttım.

İletkenlere dokundum ve bunları boşalttım; böylece hiç Q_{serbest} yükü kalmadı.

Yok oldu.

Serbest yükler yok olduğu an, indüklenmiş yük de gitmelidir; çünkü indüklenmiş yük sadece serbest yükten dolayı oradadır.

İndüklenmiş yük yoğunluğunun 1 eksi 1 bölü kappaya çarpı σ_{serbest} olduğunu hatırlayın.

Böylece eğer camın kappaya değeri 5 olursa, o zaman indüklenmiş yük yoğunluğu yaklaşık 0.8 çarpı serbest yüzeysel yük yoğunluğudur.

Serbest yükler yok olduğu anda, indüklenmiş olanlar da gider.

Sonra şeyi tekrar birleştirdim; iç kısmı dış kısım ile kısa devre yaptığımda, büyük bir sürpriz oldu, çünkü büyük bir kıvılcım gördük.

Bunun anlamı, orada enerji kaldı demektir; bu çok şaşırtıcıdır.

Fizikte bir şeyler yanlış olmadıkça, orada enerji kalmaz.

Daha önce, geçen sefer görmüş olduğunuz şeyleri tekrar hatırlatmak istiyorum size; daha sonra açıklama için bir öneride bulunacağım.

Işık düzenimi kontrol edeyim. Ah, her yeri karartmalıyız.

Aslında siz ona bakarken ben onu yükleyebilirim.

Evet.

Şimdi karart.

Ve şimdi onu parçalarına ayırıyorum.

İç kısmı çıkarıyorum.

Cam iyi bir yalıtıcıdır, böylece elimle dokunmaktan çekinmiyorum.

Tamam, şimdi iç iletkeni alıyorum, ona dokunuyorum, onu yalıtıyorum, onu öpüyorum; böylece tüm yükü boşalttım.

Bu tamam.

Aynısını dış iletkeninde de yapıyorum, onu elimde tutuyorum.

Şüphesiz üzerinde artık Q_{serbest} kalmadı, üzerinde artık hiç yük yok.

Camı tekrar yerine koyuyorum ve iç kısmı da. Şimdi ortalığı biraz daha karartacağım; çünkü kısa devre yaptığımda, kıvılcımı görmeyi istiyorum, dolayısıyla ışıkları kısıyorum, iyice yakından bakın.

Onu yapacağım zaman size söyleyeceğim.

Üç, iki, bir... ve iyice yaklaşıyorum, 0.

İşte büyük bir kıvılcım.

Bu enerji demektir ki, çılgınca bir şey.

Orada hiç enerji olmamalıydı.

Ve böylece bazılarınız bunu açıklayamamaktan ötürü uykusuz geceler geçirmiş olmalıydı. Aslında bazılarınız bana e-mail yazmıştı.

Uykusuz geceler geçirmenize gerek yok, size bunu anlatabilirim.

Böylece, ne oluyor?

Sadece bir tek olasılık var: Camın üzerinde serbest yükler olmalı.

Onlar oraya nasıl geldi? Korona boşalmasıyla...

Orada bulunabilmelerinin tek yolu budur.

Havadaki elektrik alanının, E'nin, 3 çarpı 10 üzeri 6 volt bölü metreden daha büyük olamayacağı aklınızda duruyor.

Eğer daha büyük olursa, korona boşalması olur.

Bu arada söyleyeyim ki, bu değer camda biraz daha yüksektir.

10 üzeri 7 volt bölü metre kadardır.

Şimdi belirli varsayımlara dayalı bazı hesaplamalar yapacağım.

Bu varsayımlar tam anlamıyla kesin olmayabilir; çünkü bu sistemin boyutlarını tam olarak bilmiyorum, fakat tam boyutları önemli değil.

Önemli olan, onun arkasındaki fikir; niçin böyle çılgın şeyler yapıyor?

Her şeyden önce, bu kapasitörün iki paralel düzlem levhadan oluştuğunu varsayacağız.

Bu basitleştirici bir durumdur; çünkü aslı şişe şeklindedir.

Windhurst'un 30 kilovolt ürettiğini varsayacağız.

Bunun yaklaşık olarak doğru olduğunu biliyorum, fakat bu 25 de olabilir. 35 de...

Dış iletken ile cam arasındaki hava boşluğunun 1 milimetre olduğunu varsayacağım, her iki aralık da 1 milimetre. Ve camın kalınlığının 3 milimetre olduğunu varsayıyorum ve cam için $kappa = 5$ alıyorum.

Bunlar hesaplamalarımın temeli.

Böylece şimdi burada dış tarafta bir iletkenim var.

Bu cam ve bu içerdeki iletkendir. Bu aralık 1 milimetre, bu 3 milimetre kalınlığında ve bu aralık da 1 milimetredir. Ve tüm bu nesnenin üzerindeki potansiyel farkı 30 kilovolt olacaktır.

Fakat potansiyel farkın her zaman E çarpı d olduğunu biliyorum.

Potansiyel, boşluk için yerel E çarpı bu d , yerel E çarpı bu d ve yerel E çarpı bu d olur.

Aynı zamanda, E_{cam} 'ın, E_{hava} bölü $kapa$ olduğunu biliyorum, burada $kapa$ 5.

Ve burası ile burası arasındaki toplam potansiyel farkın 30.000 volt olması gerektiğini biliyorum.

Ve böylece burada havada, burada havada ve burada camda elektrik alanını kolayca hesaplayabilirim; çünkü bir bilinmeyenli basit bir eşitliğim var: şu aşağıdaki.

Önce bu boşluk üzerinden geçerim ve havadaki E çarpı 1 milimetre olan d mesafesi elde ederim.

Fakat tabii ki sonra bu boşluk boyunca da gitmem gerekir; bu nedenle bunu ikiye çarparım.

Ve şimdi havadaki elektrik alanını 5'e bölerek bulacağım, camdaki elektrik alanı çarpı onun 3 milimetrelilik kalınlığını eklemek zorundayım ve hepsi 30000 olmalı; çünkü bu, burası ile orası arasındaki potansiyel farktır.

Bu bir bilinmeyenli bir eşitliktir.

Ve şimdi hava boşluğundaki elektrik alanını hesaplayabilirim.

Hava boşluğundaki elektrik alanı, sonuçta 11.5 çarpı 10 üzeri 6 volt bölü metre çıkar.

O elbette burada da aynı 11.5 çarpı 10 üzeri 6 ve burada 5 kat daha küçüktür, böylece burada 2.3 çarpı 10 üzeri 6 bulurum.

Ödevimi doğru yaptığımı size göstereyim. Burada potansiyel fark şimdi 11.5 kilovolttur.

Buraya kilovolt olarak yazıyorum.

Buradaki potansiyel fark şimdi yaklaşık 7 kilovolttur ve buradaki potansiyel fark gene 11.5 kilovolttur.

Ve eğer bunları toplarsanız 30 elde edersiniz.

Buna bakarsanız, bu olamaz; çünkü 11.5 çarpı 10 üzeri 6 'lık bir alan, elektrik boşalması alanı üzerindedir.

Dolayısıyla ne olacaktır? İletkenden cama korona boşalması oluşacaktır; yani cam üzerine yük püskürtüyorsunuz demektir ve işte bu, bu tuhaf davranışın çözümü için anahtardır.

Daha sonra onu parçalarına ayırıp iletkenlerin serbest yükünü aldığımda, cam üzerine püskürtülmüş olan serbest yükler hâlâ oradadır.

Onları asla ortadan kaldıramam.

O yükleri ortadan kaldırmak çok zordur; çünkü cam bir yalıtıcıdır.

Bir yalıtıcıdan yükü almak çok zordur.

Bir iletkenden yük almak kolaydır; yıllarca kendimi inandırdığım gibi, iletkenin Q_{serbest} yükünü aldığınızda camın üzerinde de yük kalmayacağına sizi inandırmaya asla teşebbüs bile etmedim.

Bu yanlış, çünkü korona boşalması vardır.

Şimdi şu soru geliyor: Parçalarına ayırmadan önce, elektrik alanının ve potansiyellerin durumu nedir?

Buraya bir çizim yapacağım ve tekrar bir iletken, cam ve bir iletken daha çizeceğim.

Korona boşalmasından sonra, alanın burada 3 çarpı 10 üzeri 6 olduğunu varsayıyorum.

Belki biraz daha düşüktür; fakat olabileceğinin maksimumu budur ve böylece burada havadaki alan da 3 çarpı 10 üzeri 6 volt bölü metre olacaktır.

Fakat burası ile burası arasındaki potansiyel farkın 30 kilovolt olması gerektiğini bildiğimden, hemen burada elektrik alanının şimdi 8 çarpı 10 üzeri 6 volt bölü metre olduğu sonucuna varabilirim.

30 kilovolta ulaşmanın tek yolu budur. Çünkü 3 milyon volt bölü metre bana burada 3 kilovolt verir.

Bu da burada 3 kilovolt verir.

Böylece şimdi burada 24 kilovoltluk potansiyel farkına ihtiyacım var. Ve bu, 3 milimetre üzerinden 8 çarpı 10^6 'lık alanı gerektirir.

Bakın, bu alan o alandan daha güçlüdür; oysaki daha önce bu alanın o alandan 5 kat daha düşük olduğunu varsaymıştık.

Niçin Şimdi o daha yüksektir?

Çünkü bu yüzey üzerine, tam buraya, serbest yükler püskürttük.

O, artık dış alan ve de indüklenmiş yükler tarafından dikte edilmiŐ alan değildir.

Artık durum bu değildir.

Şimdi onun kendisi serbest yük taŐır.

Artık, cam üzerinde, tam burada, bu alanı verecek ne kadar yük olduğunu hesaplamak için, belki cesarete değil ama, tüm diğer araçlara sahipsiniz.

Bu oldukça kolay bir hesaplamadır.

Burada cam üzerinde, iletkenin üzerinde olan yükten 12 kat daha fazla serbest yük olduğunu hesaplayacaksınız; tam 12 kat daha fazla. Ve eğer Leyden ŐiŐesini parçalarına ayırır ve iletkenler üzerindeki serbest yükü atarsam, neredeyse hiçbir Şey yapmış olmam; çünkü serbest yükün çoğu cam üzerindedir ve ona dokunmadım.

Şimdi, eğer tekrar birleŐtirirsem, hemen hemen tüm enerji kalır.

Çok fazla kaybetmedim. Biraz kaybettim, ama çok değil.

Aslında yapmam gereken Şey, iteki camı da boŐaltmamıŐ.

Bu kolay değil, fakat onu bugün deneyeceğim.

Bu çok kolay değil; evet, bu yükü boŐaltmak çok kolay değil, ama bunu deneyeceğim.

İŞte o zaman, eğer onu tekrar birleŐtirip kıvılcım çıkarmaya çalıŐırsak, bunun için geriye yeterli enerji kalmamıŐ olmalıdır.

Öyleyse aynı yolu izleyelim ve onu yükleyelim.

Tamam, bu kabloyu çıkarıyorum, o kabloyu çıkarıyorum.

Onu parçalarına ayırıyorum, her Şeyi daha önce yaptığım gibi aynı Şekilde yapıyorum; gitti, bütün yk gitti, her ne kadar vardıysa gitti.

Bütün yk gitti.

Şimdi, bu daha zordur.

Eğer bunu yaparsam, bu yeterli olmayacak.

Oraya gitmeliyim.

Ooo, gerçekten bunu hissedebildim. O gerçekten müthiŐ bir his.

Kendimde bir tür korona boşalması hissedebilirim; aslında her Şeyi dışarı almalıyım ve bu kolay değildir.

Aslında, ben gömleğimle ovarsam, bunu daha kötü hale getirebilirim.

Bunu sürtünme ile yükleyebilirim.

Fakat yapabileceğimin en iyisini yapacağım. Bu yaptığım şey, hiç uygun değil.

Tamam

Şimdi yük elde etmeye çalışacağım, daha önce tamamen göz ardı ettiğimiz bir şey.

Bu, aslında enerjinin bulunduğu yerdir ve ben bunu yok etmeye çalışacağım. Şimdi onu bir araya getireceğim ve aynı yolu izleyeceğim.

Kırmadım, iyi.

Tekrar geriye koyayım.

Ortamı karartacağım; eğer camdan tüm yükü boşaltmayı başaramadıysam, küçük bir kıvılcım görebilirsiniz.

Böylece tekrar kısa devre yapıyorum: üç, iki, bir, sıfır ve... evet, küçücük sevimli bir kıvılcım gördüm.

Onu siz görmemiş bile olabilirsiniz.

Böylece buradan şu sonucu çıkarmalıyız: Bu olayın arkasındaki fizik camda yatmaktadır ve fizik, bazen bizi şaşırtsa da, hep çalışmaktadır.

Gelecek derste görüşürüz.