



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 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 Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 9 Akımlar, Direnç ve Ohm Yasası

Pozitif yükler bu yöne doğru hareket ettiklerinde, tanımdan dolayı, akımın bu yönde aktığını söyleriz.

Negatif yükler bu yönde gittiklerinde, akımın gene bu yönde gittiğini söyleriz, bu ortak uzlaşımımızdır.

Bir iletken üzerine bir potansiyel farkı uyguladığımda, bu iletkenin içinde bir elektrik alanı oluştururum.

Ve elektronlar – bir iletkenin içinde serbest elektronlar vardır – onlar hareket edebilirler, ama iyonlar hareket edemezler; çünkü iyonlar katı içinde, kristal içinde donmuş durumdadırlar.

Dolayısıyla, bir iletkenden bir akım geçtiğinde, akımdan sorumlu olan daima elektronlardır.

Elektronların yakıtı elektrik alanlarıdır ve elektrik alanını sıfırlamaya çalışırlar; fakat iletken üzerindeki potansiyel farkını koruduğumuzdan bunu başaramazlar.

Çoğu kez, akım ve potansiyel arasında doğrusal bir ilişki vardır; bu durumda, Ohm yasasından bahsederiz.

Şimdi çok kaba bir şekilde, bir fakir adamın tarzında, --yüzde yüz geçerli olmayan bir yolla--, **Ohm kanununu** elde etmeye çalışacağım. Bu konu, aslında şu anda bu dersin dışında olan kuantum mekaniğini gerektirir; fakat bize hâlâ Ohm kanunu için bazı ilginç sezgiler sunacak bir iş yapacağım.

Oda sıcaklığında, 300 derece Kelvinde, olan bir iletkende, örneğin bakırla başlarsam; bakırdaki serbest elektronlar bir milyon metre bölü saniyelik bir ortalama hıza sahiptir.

Böylece bu, serbest elektronların ortalama hızıdır--yaklaşık olarak bir milyon metre bölü saniye.

Her yönde.

Bu, karmaşık bir harekettir.

O sıcaklıktan dolayıdır, yani termal bir harekettir.

Çarpışmalar arasındaki zaman – ki bu, serbest elektronun atomlarla olan çarpışmasıdır -- onu τ simgesi ile gösteririm; yaklaşık olarak 3 çarpı 10 üzeri eksi 14 saniyedir.

Bu şaşırtıcı değildir, çünkü hız anormal yüksektir.

Ve bakırda metreküpteki serbest elektron sayısı, --onu n ile göstereceğim-- yaklaşık 10 üzeri 29 dur.

Her atom başına yaklaşık olarak bir serbest elektron düşer.

Demek ki, her metreküpte 10 üzeri 29 elektron var.

Şimdi herhangi bir iletkene veya bir bakır parçasına bir potansiyel fark uyguladığımı düşünün. Bu durumda elektronlar, elektronun yükü, yani benim küçük e 'm çarpı potansiyel fark uygulayarak oluşturduğum elektrik alana eşit olan bir kuvvetin etkisinde kalacaklardır.

Ben kuvvetin ve elektrik alanının elektronlar için zıt yönde olduklarını biliyorum; ancak bu bir ayrıntı; çünkü ben burada sadece büyüklüklerle ilgileniyorum.

Ve böylece şimdi bu elektronlar, kuvvet bölü elektronun kütlesine eşit bir ivme kazanacaklardır; dolayısıyla bu elektronlar bu çarpışmalar arasında, a çarpı τ değerinde, **sürüklenme hızı** denilen bir hız kazanacaklardır, bu tıpkı Mekanik'teki gibidir.

Ve böylece a eşittir F bölü m_e 'dir.

F , eE 'ye eşittir; böylece e çarpı E bölü elektronların kütlesi çarpı τ elde ederiz.

Ve bu, sürüklenme hızıdır.

Elektrik alanı artarsa sürüklenme hızı da artar, böylece elektronlar akıma zıt yönde daha hızlı hareket ederler.

Çarpışmalar arasındaki zaman artarsa, ivmelenme daha uzun sürer. Bu yüzden de onlar daha büyük hız toplarlar, böylece bu sezgisel olarak hoştur.

Özel bir durumu ele alırsak, örneğin bu bakır tel; 10 metre uzunluğunda olsun. Delta V ile göstereceğim bir potansiyel fark uygulayım, fakat buna sadece V de diyebilirdim – tele 10 voltluk bir potansiyel fark uygulayım, o zaman şimdi iletkenin içindeki elektrik alan yaklaşık 1 volt bölü metredir.

Ve böylece bu özel durum için sürüklenme hızının ne olacağını hesaplayabilirim.

Böylece şu serbest elektronların sürüklenme hızı elektronların yükü olan 1.6 çarpı 10 üzeri eksi 19 Coulomb'dur.

E alanı 1'dir, böylece onu boş verin.

Oda sıcaklığında τ , 3 çarpı 10 üzeri eksi 14'tür ve elektronun kütlesi yaklaşık 10 üzeri eksi 30 kilogramdır.

Ve böylece eğer hata yapmadıysam, sürüklenme hızını 5 çarpı 10 üzeri eksi 3 metre bölü saniye bulurum, bu da saniyede yarım santimetredir.

Böylece ısı (termal) hareketten dolayı bu elektronların saniyede 1 milyon metre hızında hareket ettiklerini düşünün.

Ancak bu elektrik alandan dolayı, elektronlar tel boyunca saniyede yarım santimetre yani tıpkı bir salyangoz gibi yavaşça ilerlerler.

Bu durum şu anki bilgilerimizle bize oldukça ters gelebilir, fakat durum bundan ibarettir.

Yani bir kaplumbağa, bu elektronlardan daha hızlı ilerleyebilir demek istiyorum.

Bu elektronların 10 metre boyundaki tel boyunca yol alması yarım saat sürebilir.

Bu daha önce hiç düşünmediğimiz bir şey.

10 metre boyundaki bakır bir tele 10 V değerinde bir potansiyel fark uygularsak, bu elektronların tel boyunca yol alması yarım saat sürer.

Şimdi, bunu daha fazla ileriye götürmek istiyorum. Potansiyel ile akım arasındaki doğrusal ilişkiyi gösteren Ohm kanununu bir şekilde çıkarıp çıkaramayacağımızı görmek istiyorum.

Böylece l boyunda, kesit alanı A olan bir tel ile başlayalım; tel üzerine potansiyel farkı uygulayalım... Burası artı, burası eksi, böylelikle tanımladığımız gibi artıdan eksiye doğru bu yönde bir akım elde ederiz.

Elbette elektronlar sürüklenme hızı ile bu yönde hareket ediyorlar.

Ve böylece bu yöndeki elektrik alan burada yaklaşık olarak V bölü l 'dir; potansiyel fark bölü uzunluktur.

1 saniye içerisinde bu serbest elektronlar soldan sağa V_d metrelik bir mesafe kat ederler.

Böylece bu tel üzerinde herhangi bir yerden bir kesit alırsam 1 saniye içinde bu kesitten ne kadar elektronun geçtiğini hesaplayabiliriz.

1 saniyede, burada oluşan hacim V_d çarpı A değerindedir; bunu metreküpteki serbest elektron sayısı n ile çarparsam, tel üzerinde herhangi bir yerde alınan kesitten bir saniyede geçen serbest elektron sayısını bulmuş olurum.

Ve her elektron e kadar yüke sahiptir, e ile çarpayım; işte bu, akan akıma eşittir.

Tabii ki akım bu yöndedir; fakat bu bir ayrıntı.

Şimdi buradaki sürüklenme hızını yerine yazarsam; bunu oraya yazarsam; o zaman akımı, e kare, yükün karesi çarpı n çarpı τ bölü elektronun kütlesi ve A çarpı E elektrik alanı olarak elde ederim.

Çünkü buradaki E elektrik alanıdır.

Burada şu kısma bakarsanız, verilen bir sıcaklıkta, orası aslında sadece maddenin özelliklerine bağlıdır.

Buna bir isim veririz. Bunu σ ile gösterir ve iletkenlik olarak adlandırırız.

İletkenlik.

Oda sıcaklığında bakır için iletkenliği hesaplayalım; bunu yapmak çok kolay. Çünkü n 'nin değerini 10 üzeri 29 olarak tahtada vermiştim; oda sıcaklığında τ 'nin değerinin 3 çarpı 10 üzeri eksi 14 olduğunu biliyorsunuz; böylece, oda sıcaklığında bakırın iletkenliği için yaklaşık 10 üzeri 8 bulacaksınız.

Ders boyunca sigma için daha pek çok değer göreceksiniz.
Bu birimler SI sistemindedir.

Bu konuyu biraz daha açalım; çünkü E , V 'nin ℓ 'ye bölümüne eşittir ve böylece şimdi akımın, sigma çarpı A çarpı V bölü ℓ değerine eşit olduğunu yazabilirim.

Bunu biraz daha farklı şekilde yazabiliriz: V eşittir ℓ bölü sigma kere A çarpı I .
Ve işte şimdi, ister hoşlanın ister hoşlanmayın, Ohm kanununa bakıyorsunuz; çünkü bu, direnç dediğimiz, büyük R 'dir.

Genellikle 1 bölü sigmayı ρ ile gösteririz ve ona **özdirenç** deriz.

Böylece ikisinden biri olabilir,

V eşittir IR yazdığınızda, bu R , ya ℓ bölü sigma kere A 'dır, ya da ℓ çarpı ρ – ρ 'yu daha güzel yapayım -- bölü A 'dır.

Bunlar aynı şeylerdir.

R direnci için birim volt bölü amperdir; fakat bunu **Ohm** olarak adlandırırız.

Yani direncin birimi ohm'dur.

Eğer ρ ve σ 'nin birimlerini öğrenmek istiyorsanız, bunu eşitliklerden hemen çıkarırsınız.

O zaman ρ 'nun birimi ohm-metre olur.

Böylece direnci burada boyutlar, yani uzunluk ve kesit alanı cinsinden türettik --fakat atomik ölçekteki fizik cinsinden de, kendi başına bütünüyle ilginçtir.

Dirence bakarsanız, akımın geçtiği telin uzunluğu ile orantılı olduğunu görürsünüz.

Bunu boru içinden geçmeye çalışan su gibi düşünün.

Boruyu uzatırsanız direnç de artar; bu sezgisel olarak doyurucudur.

Aşağıda A'nın olduğuna dikkat edin.

Bunun anlamı şudur: boru genişlerse kesit alanı da genişler ve akımın geçmesi veya suyun akması da kolaylaşır. Bu da akla yakındır.

Ohm kanununu, burada serbest elektronlara sahip iletkenler için türettikse de, çoğu kez iletken olmayan yalıtkanlar için de geçerlidir.

Şimdi çok iyi iletkenlerle çok iyi yalıtkanları karşılaştırmak istiyorum.

Kesiti A olan bir maddesel çubukla başlayalım. Boyutları 1 milimetreye 1 milimetre olsun; dolayısıyla A, 10 üzeri 6 metre kare olacaktır.

Çubuğun l uzunluğu 1 metre olsun.

Buraya potansiyel fark uyguluyoruz. Burası artı, şurası eksi.

Akım bu yönde, elektronlar ise bu yönde akmaya başlar.

Soru, bu maddesel çubuğun direncinin ne kadar olacağıdır?

Çok kolay.

Bu eşitlikleri ele alalım; l 'yi A'yı biliyorsunuz, σ 'nın ne olduğunu söylersem direnci hemen hesaplayabilirsiniz.

İlk olarak iyi bir iletken alalım. Gümüş, bakır ve altın çok iyi iletkenlerdir.

Bu iletkenlerin σ değerleri 10 üzeri 8 civarındadır, az önce bakır için gözünüzün önünde bunu hesapladım.

ρ , 1 bölü sigma olduğundan, ρ 'nun değeri 10 üzeri eksi 8 civarında olacaktır.

Bu özel durumda, A, 10 üzeri 6 olduğundan R direnci basitçe 10 üzeri 6 çarpı ρ 'dur.

Çünkü l 1 metredir.

Böylece bu çok kolay oldu; burada R direnci 10 üzeri eksi 2 ohm'dur.

Yani bir ohm'un yüzde biri.

Bu madde için, eğer bu madde bakırsa...

Şimdi de çok iyi bir yalıtkanı ele alalım. Örneğin camı alalım.

Kuvars ve porselen çok iyi yalıtkanlardır.
Şimdi σ iletkenliği son derece düşüktür.

Bunlar 10 üzeri eksi 12 ile 10 üzeri eksi 16 arasında değerler alabilir.

Böylece özdirenç, ρ , şimdi 10 üzeri 12'den 16'ya kadar değerler alabilir; eğer ρ 'yu 10 üzeri 14 alırsanız –bir sayı almalıyım nasılsa– direnci 10 üzeri 20 ohm bulursunuz.

1 ve 20 sıfır.
Bu devasa bir dirençtir.

Böylece iyi bir iletken ile iyi bir yalıtkan arasındaki 10 üzeri 22 büyüklük mertebesi kadar fark olacağını görüyorsunuz.

Ve eğer tel üzerine 1 Volt değerinde potansiyel fark uygularsam ve Ohm yasasını kullanırsam, V eşittir IR , o zaman telden geçen akımı hesaplayabilirim.

IR 1 volta eşit ise, akım burada 100 amperdir. Akım burada cam için ise, 10 üzeri eksi 20 amperdir; önemsenmeyecek kadar küçük bir akım.

İlk önce size Ohm yasasının bazen geçerli olduğunu göstermek istiyorum; bir güç kaynağı yardımıyla bu gösteriyi yapacağım—buraya bir V koyarım-- ve birkaç saniyede voltajı 0'dan 4 Volta değiştirebilirim.

Bu taraf artı, şu taraf eksidir; bunu 50 ohmluk dirence bağlıyorum, bu sembolü direnç için kullanırız ; ampermetrem burada.

Ampermetrenin ihmal edilebilir bir direnci vardır, bunu görmezden gelebilirsiniz.

Ve bunu osiloskop üzerinde göstereceğim -- daha önce osiloskoptan bahsetmemiştik, daha sonra bu konuya değinebiliriz -- bunları duvara yansıtacağım, voltaj akıma karşı 0'dan 4'e gider.

Ve böylece o buradan başlar ve zamanla 4 volta ulaşır; o zaman 4 bölü 50'lik bir akıma ulaşmış olacağız. Ohm yasasına göre, 4 bölü 50 amper yazacağım ki bu 0.08 Amper yapar.

Ve Ohm kanunu geçerliyse, düz bir çizgi elde edersiniz.

Ohm kanunundaki temel düşünce potansiyel fark ile akımın doğru orantılı olmasıdır.

Potansiyel fark iki katına çıkarılırsa akım da iki katına çıkar.

Öyleyse, haydi bunu yapalım; haydi buna bakalım, orada bunu göreceksiniz; iyi göresiniz diye, ışıklarımı değiştireyim,.. böylece daha iyi görünür.

Gördüğümüz gibi, yatay eksen akımı, düşey eksen voltajı gösteriyor.

Voltajın 0'dan 4'e çıkması yaklaşık 1 saniye sürer – böylece bu 0'dan 4'e gidiyor – görüyorsunuz, akım çok güzel bir şekilde doğrusaldır.

Evet, onu durduruyorum; oh hayır, o benim yansımam, bu ilginç.

Ohm yasası benim gölgeme izin vermez.

Böylece ne kadar güzel bir çizgi olduğunu görüyorsunuz.

Şimdi Ohm yasasına büyük ölçüde güvenebilirsiniz.

Ama Ohm yasasına o kadar da güvenmeyin.

İletkenlik σ , sıcaklığın güçlü bir fonksiyonudur.

Sıcaklığı artırırsanız, o zaman çarpışmalar arasındaki τ zamanı azalır, çünkü serbest elektronların hızı artar.

Bu, sıcaklığın çok güçlü bir fonksiyonudur.

τ azalırsa, açıkça, olacak olan şey, iletkenliğin de azalmasıdır.

Ve bu da ρ 'nun artması demektir. Böylelikle daha fazla direnç elde edersiniz.

Yani bir maddeyi ısıtırsanız direnç artar. Sıcaklık ne kadar artarsa, direnç de o kadar artar.

Böylece R direnci sıcaklığın fonksiyonu olduğunda; ben bunu, V eşittir IR'nin tamamen bozulması, Ohm yasasının tamamen geçersiz kalması olarak adlandırırım.

Eğer kitabınıza bakarsanız, “ Hayır, hayır, hayır, bu bir bozulma değildir; siz şimdi farklı bir sıcaklık için direnci ayarlamalısınız” diyecektir. Bu, olsa olsa, kötü bir yasayı kurtarmaya çalışan zayıf birinin çabasıdır..

Sıcaklığın kendisi de akımın bir fonksiyonu olduğu için, akım ne kadar yükselirse sıcaklık da o kadar yükselecektir.

Böylece artık sabit olmayan V bölü I oranını elde edersiniz. O, akımın bir fonksiyonu olur.

Bu, ohm yasasının sonudur.

Böylece, burada yaptığım aynı deneyi, bunu 50 ohm'luk bir ampul –çok küçük bir ampul—ile değiştirerek yapacağım; direncin, ampul sıcakken 50 ohm, soğukken 7 ohm olduğunu göreceksiniz.

Öyleyse, bir ampulün $R_{soğuk}$ direncinin aşağı yukarı 7 ohm olduğunu öğreneceğiz; biliyoruz ki sıcakken 50 ohm'a çok yakın.

Onun biraz daha düşük olduğunu düşünün. Şimdi beklediğimiz ne?

Başlangıçta, direnç daha düşük olduğunda, bunu elde etmeyi bekliyorsunuz ve sonra direnç arttığında bunu elde edeceksiniz.

Biraz daha yüksek bir akımla bitirebilirim, çünkü sanırım direnç 50 ohm'dan biraz daha düşüktür.

Ve bunun gibi bir eğri gördüğünüzde, o artık doğrusal değildir.

Bu da Ohm kanununun sonudur.

İşte şimdi size göstermek istediğim şey bu.

Bütün yapacağım şey,--işte benim küçük ampulüm-- yakında oturanlar gerçekten ampulün parlamaya başladığını görebilirler, fakat bu önemli değil; sizin V 'nin I 'ya karşı artık lineer olmadığını görmeyi sağlamak... işte başlıyoruz.

Ve siz, bu ampulün yandığını gördüğünüz her an, o ısınacak ve ısınma süresince direncin de artacağını göreceksiniz.

Böylece, en azından bu ampul için, Ohm yasasının geçersiz olduğunu söyleyebiliriz.

Diğer direnç için, yasa tamamdı; fakat bu ampul için yasamız geçerli değil.

Ohm yasasının daima böyle iyi işlemediğini göstermenin başka bir yolu daha var.

125 voltluk bir güç kaynağım var; $V = 125$ volt – bu potansiyel farktır – ve bir ampulüm var, onu burada görüyorsunuz, bir elektrik ampulü.. İnaniyorum ki, ampulün direnci soğukken 25 ohm, sıcakken 250 ohm civarındadır.

Müthiş bir fark.

Böylece soğuk direnci alırsak, akımı 5 amper elde ederim; fakat ampul ısınınca, akımı sadece 0.5 amper bulurum.

Bu büyük bir farktır.

Ve gene osiloskopa akımın zamanın bir fonksiyonu olduğunu göstermek istiyorum.

Ohm yasası geçerliyse, akımı açtığınızda – ya da voltajı, demeliyim – bunu görmeyi beklersiniz.

Bu sizin 5 amperinizdir. Ve o sabit kalacaktır. Tüm düşünce bu.

Yani voltaj bölü akım oranı sabit kalacaktır.

Oysa, göreceğiniz, bunun gibi bir şeydir.

Akım artar, fakat direnç azalır; daha sonra direnç artar, akım arttığı zaman direnç artar ve böylece akım azalacaktır ve bunun oldukça aşağısındaki bir seviyede sabit kalacaktır.

Oraya bakarsanız, Ohm kanununun işlemediğini görürsünüz.

Şimdi size göstermek istediğim şey de bu.

Burada 125 volt gerekiyor, bir ampulüm var ve anahtarı kapattığımda akımın zamanla değiştiğini göreceksiniz. Bunu sadece bir kez göreceksiniz – şunu kapatalım -- Ve sonra osiloskopu donduracağız. Şimdi yakından bakalım.

İşte burada.

Üzerinde gördüğünüz bu küçük dalgalanmaları unutun; o 125 voltu üretme yoluyla ilgilidir.

Ve burada yatay olarak zamanı görüyorsunuz. Bitişik iki dikey çizgi arasındaki zaman 20 milisaniyedir.

Çok kısa sürede akım çok yüksek değerlere çıkar. Sonra flaman ısınır ve böylece direnç artar. Ampul ve akım eski haline tekrar geri döner.

Ekran üzerinde sol uç ile sağ uç arası yaklaşık 200 milisaniyedir.

Yani, saniyenin 2/10'u kadardır.

Burada orada elde ettiğinizden daha düşük bir akım seviyesi elde edersiniz.

Bu, Ohm yasasının çöküşüdür.

Aslında sıcaklık arttığında ampulün direncinin artması iyidir.

Çünkü bunun tersinin olduğunu bir düşünün.

Bir ampulü yaktığınızda, direnç düşecektir.

Ampul ısınır ise direncin azalması, akımın artacağı anlamına gelir.

Akım, azalacağı yerde, artacaktır. Bunun anlamı gittikçe ısınmasıdır.

Bunun anlamı ise direncin daha da azalmasıdır. Ve akımın gittikçe artmasıdır.

Bu demektir ki, ampulü her yakışınızda, gözlerinizin önünde, o kendini imha edecektir.

Neyse ki böyle bir şey olmuyor. Tam tersi oluyor.

Ampul ısındığı zaman, direncin artması bir bakıma bir şanstır.

Pekâlâ.

Şimdi bazı direnç devreleri üzerinde biraz daha nitel olalım. Ohm yasasının geçerli olduğunu safça varsayacağımız, böyle birkaç problem oluşturduğunuzu düşünelim.

Diğer bir deyişle, size verilen direnç değerlerinin değişmeyeceğini daima varsayacağız. Ortaya çıkan ısının önemli bir rol oynamayacağını düşüneceğiz.

Bu nedenle, şimdilik, sadece Ohm kanununu kullanacağız ve onu kullanmazsak bunu açıkça belirteceğiz.

Burada, A ile B noktaları arasında, R_1 ve R_2 gibi iki direncim olduğunu varsayalım.

Varsayalım ki, A ve B noktaları arasına bir potansiyel fark uyguladık. Burası artı, burası eksi olsun ve potansiyel fark V olsun.

V'yi biliyorsunuz; bu biliniyor; size V'yi veriyorum; bu direnci veriyorum ve bunu veriyorum.

Şimdi size şunu sorayım: Buradan geçecek olan akım nedir?

Size sadece bu direnç üzerindeki potansiyel farkın ne olduğunu da sorabilirim – ona V_1 diyeyim -- ve bu ikinci direnç üzerindeki potansiyel farkın ne olduğunu sorabilirim –ona da V_2 diyeyim --.

Çok açık bir soru.

Peki, şimdi Ohm yasasını uygularsınız ; A ve B arasında seri bağlı iki direnç var.

Böylece akım her ikisinin üzerinden de geçmeli; dolayısıyla Ohm yasasından, V potansiyel farkı, eşit, toplam akım I çarpı R_1 artı R_2 'dir.

Bu dirençlerin aynı olduklarını varsayın; aynı kesit alanına ve boya sahip olduklarını düşünün.

Dirençlerin her ikisini de seri bağlarsanız, boyu iki katına çıkarmış olursunuz.

Boyu böylece ikiye katlarsınız. Hatırlayın; direnç, telin boyu ile doğru orantılıdır. Ve onları toplarsınız.

Böylece şimdi R_1 'i, R_2 'yi ve V'yi biliyorsunuz. Artık akımı kolayca hesaplayabilirsiniz.

Ohm yasasını, geçerli olduğu sürece, bu tek dirence de uygulayabilirsiniz.

Böylece V_1 'in I çarpı R_1 olduğunu elde edersiniz; böylece şimdi voltaj bölü bu dirence sahipsiniz ve elbette V_2 , I çarpı R_2 olmalıdır.

Ve problemi çözdünüz. Sorduğum tüm soruların cevaplarını buldunuz.

Şimdi problemimiz biraz farklı olsun; A noktası burada, ama burada bir direnç var, R_1 ve burada R_2 .

Bu B noktası ve bu R_2 direnci.

Potansiyel fark ise V 'dir; tekrar size buradan geçen akımın ne olduğunu soruyorum.

Ve ayrıca, size R_1 direnci üzerinden ve R_2 direnci üzerinden geçen akımın ne olduğunu sorabilirim.

Ve Ohm yasasını kullanmanıza izin veriyorum.

Böylece şimdi “Aha! A'dan B'ye giden bu yol boyunca potansiyel fark V ile verilir.” diyebilirsiniz. Böylece V , I_1 çarpı R_1 olmalıdır.

Bu üstteki kol için Ohm yasasının uygulamasıdır.

Elbette aşağıdaki koldakine de gidebilirsiniz.

Ve aynı V , I_2 çarpı R_2 'dir diyebilirsiniz.

Ancak, buraya gelen akım bu ikisi arasında ikiye ayrılmalıdır, bunu akan su gibi düşünebilirsiniz.

Yüklerden kurtulamazsınız.

Bu düğüm noktasına saniyede gelen yüklerin sayısı değişmez ve böylece toplam akım I , I_1 artı I_2 olur.

Ve böylece artık, I akımını, I_1 akımını ve I_2 akımını bulmak için ihtiyacınız olan her şeye sahipsiniz.

Bunu bir endüstriye bile dönüştürebilirsiniz: oldukça karmaşık direnç devreleri kurabilirsiniz – 6 numaralı dersi alırsanız, bundan hoşlanırsınız --- ben bundan hiç hoşlanmıyorum, dolayısıyla endişelenmenize gerek yok, ben çok fazla karmaşık direnç devreleri vermeyeceğim--- fakat 6 no.lu. derste onlardan bir sürüsünü görürsünüz.

Boğazınızdan içeri tıklarlar.

Eğer yük taşıyıcılarının sayısını artırırsam, bir maddenin iletkenliği de artar.

Eğer kuru ve soğuk bir havada isek, 1 atmosferlik soğuk, kuru havanın özdirenci – yani, 1 atmosfer, soğuk kuru hava için ρ , yaklaşık 4 çarpı 10 üzeri 13'tür.

Bu havanın özdirencidir.

Yaklaşık bu odadaki özdirençtir, belki birazcık küçüktür; çünkü burada sıcaklık biraz daha fazla.

Havayı ısıtırsam, o zaman havanın iletkenliği de artar.

Özdirenç azalır, çünkü havayı ısıtarak oksijen ve azot iyonları oluşturuyoruz.

Yıldırım olayını hatırlayın; yıldırım boşalması aşağıya inmişti ve elektron ve iyonla dolu bir kanal oluşturmuştu, bu çok düşük bir özdirence, yüksek bir iletkenliğe sahipti.

Ve böylece, bu odada iyonlar oluşturduğumda, havanın iletkenliğinin korkunç bir şekilde arttığını göstereceğim size.

Bu durumda sadece elektronlar değil, aynı zamanda iyonlar da hareket etmeye başlayacak.

Ve bunu elektroskopi yükleyerek yapacağım – oh, bu iyi olmadı – neyse ki, hiç bir şeye zarar vermedim.

Elektroskopi yükleyeceğim ve siz havanın iletkenliğinin ne kadar düşük olduğunu göreceksiniz; saatlerce orada kalacak.

Ve sonra yapacağım şey, elektroskopun yakınlarında iyonlar oluşturmak olacak.

Fakat ilk olarak elektroskopi yükleyelim. Burada bir cam çubuğum var ve onu yükleyeceğim.

Tamam, çok fazla yük.

Ve hava oldukça kuru, iletkenlik çok çok küçük ve dolayısıyla yük havadan çevreye ve yere yayılamaz.

Fakat şimdi onu ısıtarak iyonlar oluşturacağım, sanırım bunu bir mum ile yapabilirim, çünkü hepimizin bildiği gibi mum çok romantiktir.

Burada bir mum var -- bakın ne kadar iyi yük tutuyor? ---ve mum burada.

Ve mumu buraya ---oh, elektroskoptan belki 20 santimetre uzağa getireceğim.

Bakın, ona bakın, gidiyor, yaklaşıyor.

O yaklaşık on beş santimetre uzaklıktadır.

Mumu biraz daha uzağa alıyorum ve o tekrar duruyor.

Aslında burada havayı iyonize ettiğim için, iyonlar kadar elektronlar da oluşur ve her ikisi de akıma katkıda bulunur ve yük elektroskoptan toprağa akabilir, çünkü iletkenlik çok yüksektir.

Durdum ve o tekrar durdu.

Sıcaklığın --ve bu durumda, havada iyonların varlığının-- ne kadar önemli olduğunu gözlemlerinizle görüyorsunuz.

Saf suyum varsa, yani temiz su demek istiyorum.

Bununla Cambridge'de sahip olanı kastetmiyorum, Charles nehrinde olan sudan da bahsetmiyorum, pH'sı 7 olan temiz su demek istiyorum.

Bu, su moleküllerinin 10 üzeri 7'de 1 tanesinin H^+ ve OH^- şeklinde iyonlaşması anlamına gelir.

Sırası gelmişken, buradaki iletkenlik serbest elektronlardan kaynaklanmaz; aslında sadece H^+ ve OH^- iyonlarının sonucudur.

Bu, akımın başlıca sorumlusunun elektronlar olmadığı durumlardan biridir.

Ağırlık olarak % 3 tuz ilave edersem, o zaman bütün bu tuz iyonlaşır; böylece siz sodyum artı, Cl^- iyonları elde edersiniz. Böylece anormal bir çarpanla iyonların sayısını artırabilirsiniz.

İletkenlik 300.000 veya bir milyon kat artar; çünkü iyon sayısını bu kadar artırabilirsiniz.

Ve o zaman deniz suyunun iletkenliğinin saf suya göre bir milyon kat fazla olması sizin için şaşırtıcı olmamalıdır.

Size saf suyun özdirenç değerini vermek istiyorum:
Yaklaşık 2 çarpı 10 üzeri 5 ohm-metre.

Bu özdirenç 2 çarpı 10 üzeri 5 ohm-metredir.

Burada 1 kova saf suyum var. Bunu sizin için tahtaya çiziyorum.

Böylece burada bir kova saf suyum var; burada içinde bakır bir plaka var; burada bir tane daha, burada da bir ampul ve içinde ise bir çubuk ve bu doğruca 110 voltluk prize doğru gidiyor. [vızzzt].

Bu ampul ısındığında, 800 ohm'luk bir değere sahip olur.

Burada ampulü görüyorsunuz.

Her iki plaka arasındaki direnci hesaplayabilirsiniz, çok kolay; çünkü gereken her şeyi biliyorsunuz.

Eğer bu mesafeyi biliyorsanız, o yaklaşık 20 santimetre ve levhaların yüzey alanını biliyorsunuz, çünkü direncin A ile ters orantılı olduğunu hatırlayın, böylece bunu hesaba katmanız gerekir ve suyun özdirencini hesaba katmanız gerekir, bu basit bir hesaplamadır, o zaman buradaki parçanın direncinin ne olduğunu hesaplayabilirsiniz.

Ve buradaki direncin yaklaşık 2 mega ohm olduğunu bulurum.

2 milyon ohm.

Böylece bunu duvara taktığımda geçen akım çok düşük olacaktır, çünkü o 800 ohm'dan ve 2 mega ohm'dan geçmek zorundadır.

Hiçbir şey göremeyeceksiniz, ampul hiç ışık vermeyecek.

Fakat şimdi, eğer buraya tuz koyarsam, eğer aslında ağırlık olarak %3 tuz koymayı başarırsam, o zaman bu 2 mega ohm milyon kez azalarak 2 ohm'a düşer.

Ve böylece ampul, suların yükseldiği andaki bir midye gibi mutlu olacaktır; çünkü 800'ün yanında 2'nin önemi yoktur.

Size göstermek istediğim şey, burada artan iyonların önemidir.

Havayı ısıtarak buradaki iyonları arttırdım; şimdi de tuz ekleyerek arttıracam.

Burada yapmam gereken ilk şey, bunu prize takmak.

Burada bir ampul var.

Ve hiçbir şey görmeyeceğinizi cesurca öne sürerim.

İşte başlıyoruz. Hiçbir şey.

Şaşırtıcı değil mi?

Bunu beklemiyordunuz, doğru mu?

Burada fizik devreye girer. Hiçbir şey görmüyorsunuz.

Eğer plakaları dışarı çıkarıp ve onları birbirine dokundurursam ne olur?

İşte bu kadar.

Fakat suyun direnci çok yüksek, geçen akım ise çok düşük.

Biraz biber değil, tuz ekleyelim. Evet, burada biraz tuz var.

Sabah yumurtama koyacağım kadar--- biraz hayal edin---hey, şuna bakın.

Şaşırtıcı değil mi?

Ve onları birbirine yaklaştırdığımda, daha parlak olacaktır, çünkü şimdi L mesafesi daha küçüktür.

Şimdi onları biraz daha uzaklaştırıyorum, bu şaşırtıcıdır.

Tıpkı sabah yumurtamda kullandığım kadar çok az tuz –ne varmış oraya hepsini koyalım, hepsini boşaltırsam –o zaman elbette 2 ohm'un altına da inebilirsiniz ve ampul normal olarak yanar.

Ufacık bir tuzla büyük farklılıklar gördünüz.

Benim vücudum da, sizin vücudunuz da oldukça iyi bir iletkendir; denizlerden evrildik --vücudumuzun büyük bir kısmı sudan oluşur. Dolayısıyla Van de Graaff gibi çok az yükü bile deney yaptığımızda, yükün toprağa akışını engellemek için, altımıza cam tabaka veya plastik tabure koyup vücudumuzu yalıtmamız gerekir.

Aslında benimle toprak arasındaki direnç, büyük ölçüde vücudumdan veya derimden değil, ayakkabılarımın tabanından kaynaklanır.

Fakat eğer tabanlarıma bakarsanız, o zaman siz böyle bir şey elde edersiniz ve o belirli bir kalınlığa sahiptir ve bu belki 1 cm dir.

Şimdi direnç için yaptığım hesaplarda bu ℓ 'dir; çünkü akım bu yönde akabilir, böylece bu ℓ 'dir.

Ayaklarım ne kadar büyüktür? Ayaklarımın uzunluğunu 1 foot olarak düşünelim -- sözcük oyunu yapmadım --ve genişliğini de 10 cm sayalım.

Böylece A yüzey alanının ne olduğunu hesaplayabilirsiniz. ℓ 'nin ne olduğunu biliyoruz; böylece tabanlarımın öz direncinin ne olduğunu kabaca tahmin edebilirim. Malzemeye baktım ve öz direnci yaklaşık 10 üzeri 10 buldum.

Böylece şimdi bu yöndeki direncin ne olduğunu hesaplayabilirim.

Sayıları yerine koyarak direnci yaklaşık 10 milyar ohm buldum.

Şimdi "vayyy" diyeceksiniz, aslında 4 milyar ohm'muş.

Şey, gerçekten büyük bir 4 milyar ohm.

Bu çok büyük direnç diyeceksiniz.

Her şeyden önce, ben iki ayak üzerinde duruyorum. Tüm ders süresince tek ayağımın üzerinde dursaydım, belki de 4 milyar ohm olacaktı. Fakat iki ayağımın üzerinde durduğum için, gerçek değer 2 milyar ohm olur. Bu yine de büyük bir sayıdır. Büyük görünebilir, ama aslında değil. Burada yaptığımız tüm deneyler büyük miktarda yüklerle yapılır. Siz daha küçük miktarlarla uğraşıyorsunuz.

Van de Graaffı ele alırsak, Van de Graaff 200.000 volta sahip; iki ayağım yerdeyken direncimin 2 çarpı 10 üzeri 9 ohm olduğunu varsayalım.

Böylece Van de Graaff'a dokunduğumda, Ohm yasasına göre, geçecek akım 100 mikroamper olacaktır.

Bunun anlamı 1 saniyede Van de Graaff'ın 100 mikro Coulomb 'unu alabilirim; ama Van de Graaff'ın üzerinde sadece 10 mikro Coulomb yük var.

Böylece bu salonda yaptığımız deneyler için 4 milyar ya da 2 milyar ohm direnç çok düşüktür. Bu plastik tabureleri ve cam tabakaları kullanmamızın nedeni, deneylerde ihtiyaç duyduğumuz yükün akımla boşalmadığından emin olmak içindir.

Aslında size bir şey göstermek istiyorum, ayakkabılarım ayağımda olsa bile – yani yere karşı 2 milyar ohm'luk direncimle bile, örneğin, yükü elektroskopta tutmak benim için çok zor olacak.

Ayaklarımı sürterek elektroskopu yükleyeceğim.

Ama cam tabaka üzerinde durmadığım, ayaklarımda ayakkabılarım olduğu için, yük benim üzerimden akıp gidecek.

Burada Ohm yasasını uygulayabilirsiniz.

Ayaklarımı sürttüğüm sürece elektroskopu yüklü tutabileceğimi göreceksiniz.

Fakat sürtünmeyi durdurduğum anda, yük akıveriyor.

Sürtünmeyi tekrar başlatıyorum, bu iyi; fakat sürtünmeyi tekrar durdurduğumda, yük gene akıp gidiyor. Direnç 2 milyar ohm kadar olmasına rağmen.

Bir de ayakkabılarımı çıkarırsam...

Bunun için özür dilerim.

Şimdi sürtersem, artık elektroskopta hiç yük elde edemem; çünkü şimdi direnç gülünç derecede düşüktür. 2 milyar ohm'luk dirence sahip değilim, elektroskopa hiç yük yükleyemem.

Kendimizi çok iyi yalıtmadıkça, bu deneyleri yapmak bizim için her zaman çok zordur.

Eğer hava bir şekilde nemli ise, aletlerimizin üzerini ince bir su tabakası kaplar; akım bu ince su tabakası üzerinden akacaktır.

Bu deneyleri kışın yapmak istememizin nedeni, hiçbir yerde su olmasın, hava iletkenliği düşük olsun diyedir.

Burada bir soygun gösterisi görüyorsunuz.

*Ayaklarımı halıya sürttüm ve statik yükü donandım.
Bütün paranızı çıkarın, yoksa burnunuza dokunurum.*

Bu kişi ya hiç Elektrik-Manyetizma dersi görmedi, ya da çok özel bir ayakkabı giyiyor.

Gelecek derste görüşürüz.