

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 15 Ampere Yasası

Geçen sefer, tahtaya dik doğrultuda tahtadan içeriye doğru dümdüz giden bir akımın, Biot-Savart formülünü kullanarak bir r uzaklığında bir manyetik alan oluşturacağını görmüştük.

Çembere teğet olan bu manyetik, burada B , burada B , ve manyetik alanın şiddeti eşit, mü 0 çarpı I bölü $2\pi r$ 'dir.

Bu çember etrafında dolaşırken, şimdi dolaşalım, çemberi küçük $d\ell$ elemanlarına ayırırsınız. Ve kapalı çember entegralini hesaplıyorsunuz: B nokta $d\ell$ 'nin kapalı çember entegralini. Böylece her yerde yerel olarak B 'yi $d\ell$ ile çarparsınız. B ve $d\ell$ her yerde tam olarak aynı yöndedirler. Dolayısıyla bunun açıkça B çarpı $2\pi r$ olduğunu bulursunuz.

Fakat B çarpı $2\pi r$ de eşittir mü 0 çarpı I 'dir.

Buradaki bu $d\ell$ 'nin buradaki bu $d\ell$ ile ilgisi yoktur.

İkisini karıştırmayın.

Bu $d\ell$, tahtaya dik olarak giden ve akım taşıyan telin üzerinde küçük bir uzunluk parçasıdır.

Bu $d\ell$ ise, basitçe bu akım teli etrafında dolaşırken kat ettiğiniz $d\ell$ 'dir.

Ne kadar mesafe yürüdüğünüzün bir önemi yoktur.

Her zaman mü 0 çarpı I elde edersiniz.

Bunu gözünüzün önünde görüyorsunuz; çünkü B , r ile ters orantılıdır.

Ve bunun ilk farkına varan Ampere'di. Ampere mü 0 çarpı I cevabını elde etmek için illa da bir çemberin etrafında dolaşmanıza gerek olmadığını, fakat bunun gibi kapalı bir yol olması koşuluyla, herhangi bir çarpık yolda yürüebileceğinizin farkına vardı.

Ve şimdi burada elbette bu yarıçapa dik olan yerel bir B 'niz var. Burada yerel $d\ell$ 'niz var. Ve eğer şimdi herhangi bir kapalı çevreleyen yol boyunca giderseniz, -- o

çember olmak zorunda değil --, B nokta $d\ell$ 'nin kapalı entegrali, mü 0 çarpı I olur. Bu Ampere Yasası olarak bilinir ve I bu durumda bazen bir “kapalı” indisi ile verilir.

Bu, şu yol tarafından çevrelenen akımdır.

Biot-Savart formalizmini kullanarak bunu kanıtlamak gerçekten çok kolaydır.

Bu neredeyse üçüncü Maxwell denklemidir.

Dördün ikisini zaten elde etmiştik.

Bu neredeyse 3 numaralıdır, ama tam değil.

Bunu ilerde değiştireceğiz.

Bu denklemde biraz kötü tanımlanan şey, kapalı ile ne anlatmak istediğimizdir. Ve ben onu şimdi öylesine eşsiz tanımlayacağım ki, hiç yanlış anlaşılma olmayacaktır.

Dolanacağım çok tuhaf görünümlü kapalı bir yol seçmiş olayım, bu kapalı halkaya bir yüzey, açık bir yüzey iliştirebilirim.

Bu zorunlu. Bunu düz yapabilirsiniz. Bu güzeldir.

Onu seçmekte özgürsünüz.

Onu bir tür plastik çanta gibi de yapabilirsiniz; bu durumda o buradan açıktır.

Ellerinizi buraya ve buraya koyabilirsiniz, bir şapka gibi.

Herhangi bir yüzey olabilir, yeter ki bu halkaya bir yüzey iliştin. Böylece burada yürüyebileceğiniz bir yola sahibim. Bu, mükemmelen hoş, açık bir yüzey.

Düz olabilir, fakat açık da olmalıdır; böylece o bir şapka gibidir.

Ve şimdi, bu $I_{\text{kapalı}}$ ile onun ne anlama geldiğini tek bir şekilde tanımlayabilirim. Çünkü şimdi bu yüzeyden geçen ve buradan çıkan bir akımım varsa, o zaman yüzeyi delip geçen bir akımım var demektir ve bu tek bir şekilde tanımlanır. Ve eğer yüzeye gelen başka bir tane daha varsa, ona I_2 derim, o şu yüzeyi delip geçiyor.

Uzlaşım gereği, eğer saat yönünde dolanırsanız, daha önce sağ-el vida kuralında sahip olduğumuz aynı işaretleme sistemini izlersiniz, akım ve manyetik alan arasındaki bağ için.

Bu taraftan görüldüğü gibi eğer saat yönünde dolanırsanız, böylece saat yönünde gidirsiniz; bu durumda burada sahip olduğum gibi I_1 , sizin denkleminizde 0'dan daha büyük olmak zorundadır.

O zaman I_2 , 0'dan daha küçüktür.

Fakat eğer saatin tersi yönünde gitmeye karar verdiyseniz, ki hiç mahsuru yoktur, Ampere Yasası hangi yönde ilerlemek zorunda olduğunuzu asla belirlemez; o zaman I_1 negatif olacaktır ve I_2 de pozitif.

Böylece sağ-el vida notasyonunu kullanırız.

Eğer bana bir iyilik yapmak için Amper Yasasını değiştirmek isterseniz, “kapalı” sözcüğünü “delip geçme” sözcüğüyle yer değiştirdiğinizi görmek isterim.

Fakat kitaplara bu iyiliği yapmayın, çünkü bütün kitaplar bu “kapalı” sözcüğünü kullanırlar.

Bu, akımın yüzeyi delip-geçmesidir; işte bu, tek olan bir tanımdır.

Fakat bir halkayla çevrelenmiş akım, kötü tanımlanmıştır.

Çünkü mümkün olan yerlerde, Ampere Yasasını uyguladığımızda, bazen çemberlerin, bazen ise dikdörtgenlerin etrafında kolay geçişler bulmaya çalışacağız ve halkaya iliştiireceğiniz yüzeyleri seçmekte özgür olduğunuz için, eğer bundan kaçabilirsiniz, düz bir yüzey kullanırsınız. Fakat her zaman bir düz yüzeyden kaçamayabilirsiniz.

Böylece tanım aşağıdaki gibidir.

Kapalı halkanızı seçersiniz. Herhangi bir halka olabilir.

Ama yanlış halkayı seçerseniz, o size çok yardımcı olmayabilir.

Her halkaya izin verilir.

Bu durumda, o halkaya açık bir yüzey iliştirirsiniz.

Ve $I_{\text{delip-geçen}}$, şimdi o yüzeyi delip geçen akımdır, bu uzlaşım göre.

Dönme yönü size bağlıdır.

Kapalı yolu nasıl döneceğiniz sizin seçiminizdir; fakat bu durumda, seçim, sağ-el vida kuralına göre, akımının yüzeyi delip-geçmesinin işaretini belirler.

Böylece şimdi ilk defa Ampere yasasını kullanarak, içinden akım geçen bir telin manyetik alanını hesaplayabiliriz.

Burada yarıçapı büyük R olan bir telim var ve akım bana doğru geliyor. Akımın telden düzgün olarak geçtiğini var sayalım; böylece o düzgün bir akım yoğunluğuna sahiptir.

Ve manyetik alanın her yerde ne olduğunu bilmek istiyorum.

Silindirik simetri söz konusu: Telin dışını bilmek istiyorum ve telin içini bilmek istiyorum.

Önce R'den daha büyük olan bir yarıçapa bakalım. Telin kesiti bu; yarıçap R.

I akımı bu yüzeyden geçiyor.

Şimdi kapalı bir yol seçmek durumundayım.

Silindirik simetri söz konusu olduğu için, yarıçapı küçük r olan bir çember seçeceğimiz açıktır. Böylece simetri nedeniyle, manyetik alan şiddetinin çemberin her yerinde aynı olacağından emin olabiliriz.

Akımın bana doğru geliyor olması ve benim de hangi yönde ilerleyeceğimi seçmede özgür olmam nedeniyle, manyetik alanın bu yönde olduğunu biliyorum. Bu yönde de ilerleyebilirdim, öyle ki o zaman $d\ell$ 'lerimin hepsi bu yönde olurdu.

Onu yapmak zorunda değilim.

Diğer yol etrafında ilerleyebilirim; fakat saatin tersi yönünde ilerlersem, o zaman Amper Yasasının sağ ve sol terimlerinin her ikisi de pozitif olur.

Şimdi yoluma açık bir yüzey iliştiirmeliyim.

İyi; bu, bu tahta, açık yüzey olacak.

Ve şimdi Ampere Yasasını uygulayım; böylece B çarpı 2π küçük r elde ederim; çünkü $d\ell$ ve B aynı yöndedirler, dolayısıyla kolay bir integraldir.

Bu da eşittir mü 0 çarpı yüzeyimi delip-geçen I . Tek şekilde belirtilmiştir; bu telden bana doğru gelen tüm akım yüzeyimi delip geçer; böylece çarpı I 'dir. Sonuçta B eşittir mü 0 çarpı I bölü $2\pi r$. Bu ifade, geçen sefer Biot-Savart'ı uyguladığımızda bulduğumuz sonuç ile aynıdır.

Bu yüzden, bunu görmek sizin için sürpriz olmaz.

Fakat şimdi, telin içindeki manyetik alanı da bulmanın bir yolu var. Böylece burada yine telimiz var, kesiti şu ve tahtadan dışarı doğru gelen akım. Şimdi büyük R 'den daha küçük olan bir yarıçap istiyorum ve elbette yine simetri nedeniyle, kapalı yolum r yarıçaplı bir çember olacaktır.

Ve iliştiirdiğim yüzey düz bir yüzeydir. Ve işte başlıyorum, B çarpı 2π küçük r eşittir mü 0 çarpı – hahh, şimdi dikkatli olmalıyım, çünkü şimdi tüm I akımı yüzeyimi delip geçmiyor, fakat yüzeyi delip geçen sadece bir kısmı. Yüzeyi delip geçen kısım, bu kez küçük r kare bölü büyük R kare çarpı I 'dir.

Görüyorsunuz, toplam akım büyük R yarıçapı içinden geçiyor, oysa ben şimdi sadece küçük r yarıçaplı çembere sahibim.

Bu yüzden burada bir r 'yi kaybederim ve böylece çok farklı bir sonuç elde ederiz.

Bu kez manyetik alanı, mü 0 çarpı I çarpı r bölü 2π büyük R kare olarak bulursunuz, küçük r ile orantılı olarak bulursunuz.

Bu, r ile orantılı olarak büyür; oysa ki bu, 1 bölü r gibi azalır.

Eğer bu denklemde r yerine büyük R 'yi yerleştirirseniz, o zaman bu, telin tam yüzeyindeki manyetik alan olur; tamamıyla buradaki sonucu bulursunuz.

Küçük r , büyük R olur.

Eğer küçük r , büyük R olursa; bir büyük R yok olur ve aynı sonucu bulursunuz.

Böylece manyetik alanı küçük r 'nin fonksiyonu olarak çizerseniz, o şöyle görünür. Bu küçük r 'dir, bu büyük R ve bu manyetik alan şiddeti. Onun çembere teğet olduğunu biliyoruz.

Bu düz bir çizgidir ve buradan itibaren 1 bölü r gibi azalır. Ve eğer küçük r yerine büyük R koyarsanız, buradaki maksimum değer orada bulduğunuz değer olur.

Şimdi size, Ampere Yasasını kullanarak, solenoid dediğimiz şeyin içindeki manyetik alanı hesaplamaya çok yaklaştığımızı da göstereceğim.

Solenoid ardarda gelen halkalardan oluşan bir spiral telde dolanan bir akım gibidir.

Hatırlatmak isterim ki, burada karatahtadan çıkan bir halkam, güzel bir akım halkam olsun, akım burada karatahtanın içine doğru giriyor; böylece dairesel bir tel bu, fakat size sadece kesitini gösteriyorum.

Geçen sefer tartıştığımız gibi, manyetik alanın burada saat yönünde ve burada saatin aksi yönünde olacağını size hatırlatmak isterim.

Ortada, hatırlarsanız, bunun gibiydi. Ve arada böyleydi.

İçinden akım geçen halkanın yakınlarındaki manyetik alan deseni bu tür bir şeydi.

Fakat şimdi buraya başka bir halka daha koyduğumuzu hayal edin; akım yine tahtadan dışarıya geliyor ve tahtaya giriyor ve bir başkası daha ve böyle birçok halka.

Şimdi birbirlerinden ayrılan bu manyetik alan çizgilerinin ne olacağını düşünüyorsunuz?

Burada soğrulacaklar.

Bu halka da alan çizgilerinin, tabir caizse, kendi çemberi içinden geçmesini istiyor; ve bu halka da. Ve böylece sabite yakın bir alan elde etmeye başlıyorsunuz. Bu halkalar ne kadar sıkı olursa, yaklaşık sabit manyetik alanınız da o kadar kusursuz olacaktır. Bu durumu daha ayrıntılı gösteren bazı slaytlarım var.

Burada kitabınızdan bir şekil var. Beş sarımlı bir spiral görüyorsunuz.

Eğer soldan bakarsanız akım saat yönünde gidiyor ve bu yüzden manyetik alan bu taraftan bu yöne doğru gidiyor.

Ve buraya baktığınızda, manyetik alanın içeride yaklaşık olarak sabit olduğunu görürsünüz. Ve bu akım halkalarının dışında, yani solenoid'in dışında, manyetik alan son derece düşüktür.

Bu halkaları çok sıkı sarmaya başlarsanız, o zaman buna benzeyen bir yapılanma elde edersiniz.

Solenoidin içinde hemen hemen mükemmel sabit bir manyetik alan olur ve solenoidin dışında manyetik alan son derece zayıftır.

Ampere yasasını kullanarak, sizinle böyle bir solenoid içindeki manyetik alanın ne olacağını hesaplamak istiyorum.

Birkaç kabul yapmak zorundayız.

Bu benim solenoidim olsun; büyük L uzunluğunda.

Üzerinden bir I akımı böyle geçiyor.

I , ve soldan baktığımda, bu sarımların saat yönünde sarılmış olduğunu var sayalım; bu durumda biliyorum ki manyetik alan bu yöndedir.

Solenoidin dışındaki manyetik alanın yaklaşık olarak 0 olduğunu tahmin ediyorum.

Bunun oldukça güzel bir tahmin olduğunu size daha sonra bir gösteri ile sunacağım.

Şimdi soru, oradaki manyetik alanın ne olduğudur?

N halka olsun; N sarım; büyük N .

Şimdi bir yol seçmeliyim. Ampere Yasasını uygulamalıyım.

Bir yol seçiyorum; bu yola şaşırabilirsiniz.

Seçtiğim yol budur. Bir dikdörtgen.

Ve solenoidin içindeki bu kenarın uzunluğu l 'dir.

Bunu, dört farklı parça olarak düşünüyorum.

Bir numara, iki numara, üç numara ve dört numara.

Önce iki numaraya bakalım.

Manyetik alanın pratik olarak sıfır olduğunu var saydık. Bu yüzden, entegrale buradan hiç katkı gelmeyeceği açıktır.

Manyetik alan 0 ise, B nokta $d\ell$ 'nin integrali 0'a eşit olur.

Bir numara ve üç numaraya bakarsak, buralarda manyetik alan yoktur, dışarıda manyetik alan çok küçüktü.

İçerideki manyetik alan bu yöndedir.

Fakat böyle ilerlersem, $d\ell$ bunun gibi ve B bunu gibidir. Orası 90 derecelik açıdır ve bu yüzden nokta çarpımı 0'dır.

Ve böylece Ampere Yasasındaki kapalı halka entegraline katkıda bulunan tek yol dördüncü yoldur. Bu durumda B çarpı $d\ell$ –B sabit olduğundan, onun sabit olduğunu varsaydım – B integralin dışına çıkar ve sadece $d\ell$ üzerinden integral alırım ve küçük ℓ bulurum.

Şimdi de alacağım yüzeye karar vermeliyim.

Bu kapalı halkaya iliştiirmek için hangi yüzeyi seçeceğim?

Şey, neden karatahta gibi düz bir yüzeyi kullanmayalım.

Şimdi bu yüzeyi delip-geçen akımı hesaplamalıyım.

Bu yüzeyi delip-geçen akımı bulmak için, bu sarımın kaç kere bu yüzeye girdiğini bilmek zorundayım.

Dikdörtgenimin uzunluğu küçük ℓ ise ve solenoidin uzunluğu büyük L ise ve de büyük L üzerinde N sarım varsa, bu yani, $N \ell / L$, akımın bu yüzeye girme sayısıdır; tek olarak tanımlanmış.

Şimdi bir yüzeyim var. Kapattığım birşey yok !

Bu yüzeyi delip-geçen I var.

O ince bir sabun tabakasıdır ve I dümdüz ona girer. Ve her sarımda bir kez olmak üzere, birçok kez girer. İşte bu bu girme sayısını mü 0 ile çarpırım ve de I ile.

Ve böylece bulduğunuz şey şudur: B eşit mü 0 çarpı I çarpı N bölü L . Böylece bu, bir solenoid içindeki yaklaşık sabit manyetik alan tahminimizdir. Solenoidin L uzunluğu solenoidin yarıçapından daha büyük olduğu müddetçe, bu gerçekten çok iyi bir tahmindir.

Solenoid yarıçapı, kabaca halkaların yarıçapıdır.

Biraz sonraki gösteri deneyinde kullanılacak olan bir sayısal örnek yapacağım.

Burada bir solenoidimiz var; onun sarım sayısı, N, yaklaşık 2800'dür ve L ise yaklaşık 60 santimetredir, yani 0,6 metre. Üzerinden aslında henüz bilmediğim bir akım geçireceğim, ama bu akım, 4,5 Amper kadar olacaktır. Gösteri deneyini yapınca bunu göreceğiz.

Manyetik alanın ne olacağını şimdi hesaplayacağım.

Manyetik alanın şiddeti şu olacak: 4π çarpı 10 üzeri eksi 7 , bu mü 0'ın değeridir, onu 2800 ile çarpmalıyım. Sonra 0,6'ya bölmeliyim ve çıkanı akımla, yani 4,5 ile çarpacağım. Tüm bunları yapınca, yaklaşık 0,026 Tesla bulurum.

0,026 Tesla, yani 260 Gauss kadar.

Ve deneyi yaptığımızda, akım biraz farklı çıkacaktır. Fakat alanın gerçekten 260 Gauss'a çok yakın olduğunu göreceksiniz.

Manyetik alan niçin halka sayısı ile orantılı değil de, birim uzunluktaki halka sayısı ile orantılıdır?

“Eğer bir halkam varsa, belirli bir manyetik alanım vardır; 2 halkam varsa, iki katı manyetik alanım vardır; 10 halkam varsa, 10 katı manyetik alanım vardır”, diyebilirsiniz.

Pekiye, bu solenoid'in Lobi 7'de başladığını düşünün.

İşte burası Lobi 7 olsun ve işte bu da solenoid.

Bütün yol boyunca gidiyor, bütün yol, binlerce ve binlerce ve binlerce ve binlerce halka ve burada, bu salonda, (26-100'de) sona eriyor solenoid.

Bu halkaya bakın.

Onu ilk halka olarak düşünün.

Bir manyetik alan oluşturur.

Bu manyetik alanın şekli nedir?

Evet, o bir akım halkasıdır ve geçen derste tartıştığımız gibi, bir halkanın oluşturduğu manyetik alan, bir dipol alanı gibidir.

Böylece bu salonda bu küçük oyuncak halka tarafından oluşturulan manyetik alanı hissedebildiğimizi gerçekten düşünür müsünüz?

Pratik olarak hayır! Manyetik alan öyle hızlı düşer ki, onu burada fark edemeyiz.

Böylece manyetik alanın, sahip olunan halka sayısı ile orantılı olmadığı derhal ortaya çıkar.

Yine de, eğer bütün bu halkaları birbirinin üstüne koyarsanız, o zaman elbette her birinin manyetik alanını eklersiniz.

Ve böylece birim uzunlukta sahip olduğunuz sarım sayısını elde etmeniz doğaldır.

Önce size çok gevşek sarılmış, yani yedi sarımlı, bir solenoidin manyetik alan desenini göstermek istiyorum; bunu bir tutam manyetik ile yapacağım, etrafındaki bu demir tozları ile.

Bunu daha önce diğer akım şekillenimleri için yapmıştık.

Şimdi bunu yedi sarımlı bu solenoid için yapacağız. Ve ondan birkaç yüz amperlik akım geçireceğim. Önce şu araba bataryasını alayım.

Tamam.

Buralara biraz demir tozu serptik; şimdi sizin görmenizi istediğim şey, çok gevşek sarılmış olmasına rağmen, içerideki manyetik alanın güzel bir şekilde düzgün görünmeye başlaması ve dışarıda hemen hemen hiç manyetik alanın olmamasıdır.

Şuna bakın, harika değil mi? İnanılmaz, değil mi?

Bu demir tozlarının, halkaların içinde yatay olarak nasıl güzel bir şekilde sıraya dizildiklerini görüyorsunuz. Ve halkanın dışına, buraya veya oraya, baktığınızda, --ki oralarda manyetik alanın yaklaşık 0 olduğunu var saymıştık--, demir tozlarının hiç bir seçilmiş yönde yönelmediğini görüyorsunuz. Bu, manyetik alanın oralarda çok düşük olduğunu gösterir.

Şimdi size bu bebekle nasıl bir manyetik alan elde edebileceğimizi göstermek istiyorum; ki o tam olarak burada, karatahtada, çizdiğim alan desenidir..

Bu bebek solenoid yani, 2800 sarıma sahiptir; üzerinden 4,5 amper kadar bir akım geçireceğim. Size akımın ne olduğunu söyleyeceğim; çünkü orada sizin için bir akım-ölçerim var ve manyetik alanı gösteren bir de aletim var.

Aşağıdaki akım-ölçeridir ve orada, üçte gördüğünüz maksimum akım 6 ampere olacaktır.

Yukarıdaki ise, tam ölçek 300 Gauss'a sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Ve o üçü gösterdiğinde, değer 300 Gauss'tur.

Ve bir manyetik sondam var, onun nasıl çalıştığını hiç tartışmadık.

Onu "Hall sondası" diyoruz; Hall sondası solenoidin etrafındaki manyetik alanı ölçmemize yarar. İşarete bile duyarlıdır.

Manyetik alan bunun gibiyse, o sağa doğru gider. Bu şekildeyse, sola sapar.

Böylece bu bizim aslında epeyce nicel olmamıza ve solenoidin uçlarına yakın olan manyetik alanı değerlendirmemize izin verir.

Dolayısıyla içlere girebilir ve ayrıca dış kısmı da araştırabiliriz.

Artık bir akım geçireyim. Haydi ona bakalım; bu alttaki ölçü aletine.

O yaklaşık 4,8 amper

Onun 4,5 olduğunu varsaymıştım; biraz daha yüksekti.

Ve işte bu sondaya sıra geldi; şimdi girişten yaklaşık bir adım uzaktayım ve siz hiçbir şey görmüyorsunuz.

Ve girişin yakınına geliyorum ve sonda manyetik alan göstermeye başlıyor.

Henüz hiçbir yerde sabit gibi görünmüyor.

Şimdi 100 Gauss'a yaklaşıyor.

Daha içeriye giriyorum.

200 Gauss.

Daha da içeriye.

Ve daha içeri ve şimdi alan yaklaşık 240 Gauss oldu; dikkat ederseniz, daha da içeri girdiğimde artık alan artmıyor. Alan aşağı yukarı sabit.

Şaşırtıcıdır, o aşağı yukarı sabit.

Ve buraya çıktığımda, onu yaklaşık 20 santimetre ileri geri hareket ettiririm.

Diğer uçtan içeri girseydim, basitçe işarette tersine bir değişim görürdünüz -- ki bu çok ilginç değildir. Böylece, sonda işarete-duyarlı olduğundan, diğer yönde 240 Gauss görürdünüz.

Şimdi de solenoidin dışına gelirim, hiçbir şey görmeyeceğinizi gösterebilirim size.

Bu yüzden, manyetik alanın sıkıca sarılmış bir solenoid dışında çok düşük olduğu var sayımı, gerçekten de çok iyi bir varsayımdır.

Çok güzel.

Sizden Kelvin su damlalığının davranışını açıklamanız istenmişti; bunun son günü cuma günü öğleden sonra 4'tür.

Ama bu konuda size biraz yardımcı olmaya karar verdim.

Çoğunuz onu çözümlemiş olabilirsiniz; fakat şu andan Cumaya kadar onu çözemeyebilecek olanlar için bunu söyleyebilirim.

Kelvin su damlalığı denen bu su damlalığı şaşırtıcı bir bataryadır.

Onu daha önce görmüştük.

Onun ne yaptığını biliyoruz; fakat üzerinden gene de şöyle bir geçeceğim.

Burada A ve B kovalarımız var.

Yukarıdan aşağıya su geliyor; su akıyor.

Orada suyu görüyorsunuz, o dışarı akıyor.

Bu su damlalarını burada D kovanında topluyoruz. O bir iletkendir ve bu su C kovanında toplanır, bu da bir iletkendir; A boya kutusu, C'ye bağlıdır.

Bu çok önemli. B boya kutusu ise, D'ye bağlıdır.

Birbirlerine yaklaştırabildiğim, iki tane top var burada.

Suyu akıtıyorum ve bir süre sonra burada bir kıvılcım görüyorum.

Mesafe 6 milimetre falan olduğunda bile bir kıvılcım görebilirim. Yaklaşık 20 kilovoltluk potansiyel fark oluşuyor demektir.

O nasıl çalışıyor?

Suyun pH'ı 7'dir.

Yani bu, 10 üzeri 7 molekülden biri iyonize olur demektir.

Böylece OH^- var ve H^+ var.

Bunlar akım taşıyıcıları olacak.

İyonlar burada iş yapıyorlar.

A kutusu burada biraz büyütelim.

A kutusu, var sayalım ki sırf tesadüf eseri, kendi üzerinde birazcık bir pozitif yüke sahip olsun.

Negatif de olabilirdi; fakat şimdilik onun pozitif olduğunu var sayacağım.

Her iki durumda da o çalışacak; göreceksiniz.

Sırf tesadüf eseri, sizin de birazcık net yüke sahip olduğunuz gibi...

Tamamen yüksüz değilsinizdir.

Ve bu yüzden, bu kutu birazcık ekstra pozitif yüke sahiptir.

Şimdi işte bu, oluktan gelen damla.

Ne olacak?

İndükleme yoluyla, kutuplaşma yoluyla, burada çok az bir fazlalık negatif yük ve burada da azıcık fazlalık pozitif yük oluşur; çünkü pozitif birbirini iter ve negatif ise çekilir.

Böylece H^+ biraz yukarı çıkar ve OH^- biraz aşağı iner.

Fakat şimdi damla kopar ve damla oraya gider.

Bu yüzden o biraz negatiftir.

Böylece şimdi biraz negatif olan damlalar aşağı iner ve böylece bu negatif olur.

Fakat bu B'ye bağlıdır, böylece B negatif olur.

Fakat şimdi bu B'den gelen damlalara ne olacağını düşünüyorsunuz?

Onlar pozitif olacaklar, çünkü B negatif olursa, o zaman elbette bu ters dönecek. Alt pozitif olacak, üst negatif olacak ve böylece şimdi düşecek olan şu damlalar pozitif olacaktır.

Böylece C pozitif olur.

Fakat C, A'ya bağlıdır, bu yüzden A daha pozitif olur. Ve böylece A, bu su damlalarının üzerine şimdi daha iyi iş yapabilir, hatta onları daha çok kutuplar ve böylece alıp-kaçan bir süreç elde edersiniz.

Tüm sistem kendini öylesine besler ki, burada potansiyel fark 3 milyon volt bölü metreyi aşınca kadar yükselir. Ve orada artık bir çökme olur ve bir kıvılcım görürsünüz.

Şimdi, bir sürekli su akışını, tek tek damlaların akıntısı olarak düşünebilirsiniz. Böylece eğer aşağıya giden düzenli bir su akışınız varsa, bu burada da çalışır.

Burada işi kim yapıyor? Birisi işi yapmak zorundadır.

Bir bataryanız varsa, batarya yükleniyor ve kıvılcım halinde boşalıyor.

İşi kim yapıyor? Fikri olan var mı?

Bunun hakkında düşündünüz mü?

Evet ?

Yerçekimi. Çok iyi. İş yapan yerçekimidir.

Akan akımı ve elektrik alanını belirleyerek, bunu çok kolay bir şekilde görebiliriz.

Akım nasıl akıyor?

Eğer negatif yük aşağıya gidiyorsa, akım yukarı çıkıyordur; bunda hepimiz aynı fikirdeyiz, değil mi?

Eğer pozitif yük aşağıya gidiyorsa, akımın aşağıya gittiği konusunda da hepimiz aynı fikirde miyiz?

Oluğun bu tarafı, burası, çok az pozitif olacaktır ve bu taraf ise çok az negatif olacaktır. Çünkü H+'lar burada oradakinden daha boldur. Bu yüzden, sudan bu yönde geçen bir akım elde edeceğiz.

Akım makul bir iletkenliğe sahiptir. Çünkü 10 üzeri 7 molekülden biri iyonize olmuştur ve burada ara sıra bir kıvılcım gördüğümüze göre, orada bir akım var demektir; fakat bu elbette kesik kesiktir.

Peki, elektrik alanlardan ne haber?

Elektrik alanlarının artıdan eksiye gittiğini biliyoruz. Bu yüzden, bu kolaydır.

Elektrik alanlarını tıpkı bu şekilde koyabiliriz.

Elektrik alan, burada bu yönde olmalıdır. Elektrik alan burada artıdan eksiye doğru gider.

C artı yüklü, B eksi yüklüdür ve böylece elektrik alan bu yöndedir.

Elektrik alan artıdan eksiye doğrudur. Bu artıdır, bu eksidir, böylece elektrik alan bu yöndedir.

Elektrik alan artıdan eksiye doğrudur. A kutusu pozitifdir, hatırladınız mı?

Böylece elektrik alan artıdan eksiye doğrudur. İşte bu elektrik alan desenidir.

Fakat şimdi ne olduğuna bakın.

Burada E alanı ve akım aynı yöndedirler. Bu güzel.

Burada da E alanı ve akım aynı yöndedirler.

Mükemmel; ancak şimdi şu zavallı negatif iyonlara bakın.

Bu negatif iyonlar E yönünde gitmek istemezler.

Negatif yük E yönünün aksi yönünde gitmek ister.

Fakat yerçekimi; “Üzgünüm, bunu yapamazsın, ben seni aşağıya gitmeye zorluyorum.”, der. Ve böylece bu negatif damlalar, yerçekimi tarafından aşağı gitmeye zorlanırlar.

Bu pozitif yüke bakın.

Pozitif yüklenen bu zavallı su damlaları elektrik alanının tersi yönde gider.

Onlar bunu istemezler. Pozitif yükler elektrik alan yönünde gitmek isterler.

Yerçekimi, “Üzgünüm, bu çok kötü; seni aşağıya zorluyorum.” der.

Ve böylece yerçekimi iş yapar; tabiri caizse, yüklerin isteğinin tersine.

Ve batarya yüklenir de yüklenir ve sonunda orada potansiyel fark öylesine yükselmiş olur ki, bir kıvılcım atlaması görürsünüz. 20 kilovolt mertebesindeki potansiyel farklarıyla uğraşıyordur.

Geçen seferi hatırlayın ve bugün tekrar göreceksiniz ki, su aktıkça ve sistem yüklendikçe, su şöyle akmaya başlayacak, dağılmaya başlayacak.

Savrulacak.

Sesin değişimiyle onu duyabilirsiniz. Fakat onu görebilirsiniz de. Bugün onu gene size göstereceğim.

Bu neden böyledir? Şey, bu apaçıktır.

Bu kutu pozitif yüklenirse fakat su negatif yüklüyse, negatif yük pozitif kutuya gitmek ister ve böylece su dağılır.

Bu yüzden, bir kıvılcıma ulaşıncaya kadar, bu suyun büyük ölçüde dağılacağı ve bunu göreceğiniz açıktır.

Yük boşalması olduğunda, su tekrar dar olarak akmaya başlayacaktır. Ve sonra su yavaş yavaş zamanla dağılacaktır.

Şimdi bildiklerimizi ve belki de bilmediklerimizi destekleyecek bir dizi gösteri yapacağım.

Önce burayı biraz ışıklandırırım; buna ihtiyacımız olacak. Ve sonra paranızın iyice zevkini çıkarasınız diye, burayı tamamen karartacağım.

Burada önce size şu iki top arasındaki boşluğu göstereceğim; bu sefer Marcos'a borçlu olduğumuz gerçek bir ikramımız var; Marcos aletin arkasında çok mütevazı bir şekilde duruyor.

Bu sefer elektrik alanını A kutusuna çok yakın yerlerde ölçen bir ölçü aletimiz var. Bunun güzel olmasının nedeni şu; bu sistem yüklenirken, kıvılcımı görünceye kadar beklemek zorunda değiliz. Fakat oradaki galvanometreye bakarız ve onun yavaş yavaş yüklendiğini görürüz ve sonra bir kıvılcım çakar ve yükü boşalır; böylece paranızın karşılığını bol bol almış olursunuz.

Yapacağımız ilk şeyin, geçen sefer yaptığımız gösteri olmasını öneriyorum. Böylece suyu akmaya bırakırız ve bir kıvılcım elde edip edemeyeceğimizi görürüz.

Sistemde her zaman hava kabarcıkları olur; onları defetmek zorundayım.

Tamam, sanırım onu yaptım.

Tamam, sabırlı olalım. Aaah, o zaten başladı.

E alanına bakın.

Beng! İlk kıvılcım.

Ekranda kıvılcımı görebiliyor musunuz?

Ona tekrar bakın.

Bir kıvılcım var.

Ve aynı zamanda elektrik alanının nasıl kayboluverdiğini görüyorsunuz. Gene yükleniyor, beng.

Yükleniyor, bang.

Böylece, kutulardan biri üzerinde şans eseri bulunan pozitif veya negatif yükler nedeniyle tüm sistem yüklenmeye başlar.

Şimdi şunu yapmak istiyorum: İki top arasındaki boşluğu artıracam ve onu öyle büyük yapacağım ki, orada 3 milyon volt bölü metrelik bir elektrik alanına asla ulaşamayacaksınız.

Fakat sistemin başka yerlerinde pek çok sivri uç ve keskin nokta vardır; bunlardan birinde elektrik alanı kırılma voltajına ulaşacak ve böylece sistem korona boşalmasına uğrayacaktır.

Asla kıvılcım görmeyeceksiniz, fakat yükü boşalmış olacaktır.

Şimdi aralığı açacağım ve bunu görebileceksiniz.

Eğer şimdi elektrik alanına bakarsanız, o bir maksimum değere varacaktır ve şimdi yükünü boşaltıyor, görüyorsunuz.

O, ileri ve geri birazcık su saçmaya başladı. Artık topta kıvılcım yoktur, toplar arasında bir şey görmezsiniz; fakat o başka bir yerde oluyor.

Sistemi terkeden sürekli bir yük akışının nerede olduğunu bilmiyorum; dolayısıyla demek ki bir korona boşalması oluyor.

Böylece bu durumda, suyun hep dağılmasını beklersiniz.

Ve bunu size şimdi suya akım vererek göstereceğim.

Marcos belki, sen ışıkları açabilirsin.

Bunu söndürebilirim, belki o zaman onu daha iyi göreceksiniz.

Fakat görüyorsunuz, su dağılıyor; şimdi iki topu birbirine yaklaştıracam –ah, siz elbette elektrik alanını da görmek istersiniz, yük boşalmasını görmek istersiniz.

Onları birbirine daha yaklaştırayım, korona boşalması duruncaya kadar.

Bir kıvılcım atladı.

Ve Şimdi suyu izleyin.

Bakın, su Şimdi ilginç değil, işte dağılıyor.

IŞıkları sndreceğim. Siz suya bakın.

Ve yavaş yavaş sistem yükleniyor. Suyu görüyor musunuz?

Bingo.

Kıvılcımın ne zaman atlayacağını, su aracılığıyla bile söyleyebilirsiniz.

İŞte oluyor.

Şimdi bir Şey yapmak istiyorum

Yapmak istediğim Şey Şu: Oluğu yle yükseğe çıkarırım ki A hiç bir Şekilde oluğa ulaŐamaz.

O çok uzaktır ve suyu kutuplayamaz. Bu yüzden zavallı batarya çalıŐamaz.

Bu, bir bataryaya yapılacak çok alçakça bir Şeydir.

Fakat diğer taraftan, ben beceriksiz de değilim.

Yapabileceğim bir Şey var: sistemi baŐlatabilir, sisteme yardımcı olabilirim.

Elektroforus diskimi kullanırım. Elektroforus diskimi bir oluğa çok yakın tutarım ve suyu kutuplamasına geçici olarak izin veririm; kutuplanma bir kez baŐlayınca, muhtemelen kendisini besleyecek ve alıp baŐını gidecektir.

Pek öngörülebilir birşey değil; ama bir kez deneyeceğim.

Böylece yapmam gereken ilk iş, belki E alanını sıfırlamaktır.

TeŐekkürler.

Böylece yapmak istediğim ilk Şey, eğer Şimdi suyu akıtmaya baŐlarsak, sistemin kendi baŐına alıŐmayacaęından emin olmaktır. Çünkü o zaman artık sisteme karŐı nazik olamam.

Böylece haydi biraz su akıtalım.

Umarım Marcos onu yeterince yükseğe getirmiŐtir ve görelim – ve siz gerçekten bakarak söyleyebilirsiniz...– ooooh, sistemde hava kabarcıkları var.

Hava kabarcıklarından kurtulmak zorundayım.

İŞte başlıyorum.

Tamam.

Böylece elektrik alanına bakın, hiçbir şey yapmıyor.

Sistem çalışmaz.

A kutusu ümitsizce bu suya ulaşmaya bakıyor; fakat o çok uzakta.

Onu kutuplayamaz ve batarya çalışmaz.

Ah, a, a, ama oluyor, o çalışıyor.

Oh, Marcos onu yeterince uzağa götürmedik! Onu daha yükseğe çıkarmalısın! Oh, sırası gelmişken, bu ilginç.

Bakalım, o gerçekten... – oh, çocuklar...harika, bu inanılmaz...

Bu yaklaşık 50 santimetrelik bir mesafe ve ona bakın! Bu şaşırtıcı! Küçük ufaklık bunu asla ummamıştım.

Ona adil bir şans daha verelim. Ona bir şans daha verelim.

O sadece mantıklıdır. Şimdi çok yavaşça işler.

Neden böyle yavaş işlediğini anlayabilirsiniz; çünkü A oluktan çok uzaktadır.

Fakat, harika ve suyu görebilirsiniz.

Su hala oldukça normaldir.

Oh, dostum, neredeyse beni aldatıyor! Oh-oh,oh-oh, onu biraz daha uzağa kaldırmalıyız, eee, fakat ona, kıvılcım atması için bir şans daha vermek istiyorum.

Evet, iki top yeterince yakın; böylece muhtemelen orada kıvılcım göreceğim.

Çocuklar, bu neredeyse benim için bir eziyet.

Aaaa, bunu bakın, buna bakın. Ben suyu görmeye başladım bile.

Suya bakın, o, suyu dağıtıyor—ah, işte.

Marcos, onu daha yüksekte akıtabilir misin? İşte o zaman onu gerçekten tamamen durdurup durduramayacağımızı göreceğiz. Onu daha yükseğe çıkar; bir arkadaşın yardımıyla, onu çalıştırmak için bir girişimde bulunacağız.

Hazır mısınız?

Oh, dostum,— neyse ki, tamam.

Onun oraya gideceğini söyleme; diğer yöne de gidebilecektir kuşkusuz; çünkü bu, onun başlangıçta sahip olacağı rastgele bir seçimdir.

Ah, ah, o beni hayal kırıklığına uğrattıyor. Bakalım, ona biraz yardım edebilir miyim?

Elektroforus diskim.

Onu buraya tutacağım.

Onu neden oraya tuttuğumu biliyorsunuz.

Çünkü onun yönü tersine çevireceğini umuyordum.

Bunu da yapmak istemiyor.

O bugün gerçekten inatçı, değil mi?

Onu buraya tutuyorum, negatif yük.

Elektrik alanında ani bir değişim görmenizin sebebi, E-alanı sondası yüzündendir. Ben elektroforus diskini B'nin üzerindeki oluğun yakınında tuttuğum zaman, E-alanı probu, diski hisseder.

Bir karar verdi, ne olduğu önemsiz --- sahiden verdi mi?

Ah, ah, ah, ah.

Gerçekten bir karar verdi mi?

Şimdi ne yapacağını düşünüyor.

Oh, dostum.

Evet, gitmesini istediğim yönde gidiyor. Çünkü B'nin yakınında negatif yük tutuyorum ve biliyorum ki, bu yük, şimdi onu gittiği yöne zorlayacak.

Oh, dostum. Evet.

Evet, evet, şimdi mesafeye bakın, o ne kadar, 80, 85 santimetre kadar.

Sistem ümitsiz; fakat yapıyor, yapıyor, yapması beklenen şeyi yapıyor.

Fizik gene işliyor !

Ve bir kıvılcım göreceğiz; çünkü... ---- bu yeterince yakın mı?

Ah, harika, bu kez paranızın karşılığını aldınız.

Gerçekten aldınız, değil mi?

Şunu gördük ki, sistem önce bir yöne gitmeye başladı ve sonra diğer yöne, çünkü kutuplanmayı değiştiren rastgele bir yük vardı; ki o bizim daima kontrol edemeyeceğimiz bir şeydir. Fakat B'nin üzerindeki oluğun yakınında negatif yüklü

diski tutarak, onu istediğim yönde bir kutuplanmaya zorladım; şimdi gördüğünüz şey odur.

Ona adil bir şans daha vermeliyiz; sonra ışıkları açacağım ve değerlendirmeyi doldurmanız için 4 dakikanız daha olacak.

Fakat şimdi en azından bu bataryayı yükleyelim, fiyasko olmaması için.

Su hâlâ pek dağılma işareti vermiyor, fakat kısa sürede bunun olacağını umuyorum, çünkü daha önce de öyle oldu.

A ve B kutularındaki yükler yavaş yavaş artıyor.

Öyle yavaşça artıyor ki beklersek, siz asla değerlendirmelerinizi dolduramazsınız – değerlendirmelerinizi doldurmanız için ışıkları yakacaktım ve sonra onu akıtacağız ve ne olduğunu göreceğiz.

Lütfen, ayrılırken değerlendirmelerinizi buraya bırakın. Ne olacağını görmek isteyecek kadar sabırlı olanlarınız için deneyi sürdüreceğim.