



MIT Açık Ders Malzemeleri
<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanınız:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002*
(Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare).
<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” 16 Elektromanyetik İndüksiyon

Değerlendirmeleriniz için teşekkür ederim.

Benim için çok yararlı oldu.

Yaklaşık 50 öğrenciye e-posta gönderdim bile ve bazılarımla oldukça ilginç fikir alış-verişlerimiz oldu.

Çoğunuz asistanlarınızdan çok memnunsunuz. Bu güzel.

Bir çoğunuz orta derecede memnunsunuz. Belki sorun değil.

Fakat kendi asistanından memnun olmayan birkaç kişi var.

Eğer asistanınızdan memnun değilseniz, ama gene de onun problem-çözümü grubunda kalıyorsanız, tam anlamıyla aptalsınız.

Bizim 13 asistanımız var ve sizinle uyum sağlayacak birinin kolayca bulunabileceğini garanti edebilirim ve yardımı olacaksa, gelip beni görebilirsiniz.

Bazıları diğerlerinden daha iyidir. Hayatta bu böyledir.

Bazı öğrenciler derslerimde daha açık ve sade problem çözümü görmek istiyorlar.

Aslında bunun yerinin, problem-çözümü saatleri olduğunu düşünüyorum. Dersler ve problem-çözme birbirlerini tamamlar.

Derslerimde, kavramlar üzerinden gitmeyi tercih ediyorum ve her zaman kavramları desteklemek için sayısal örnekler veriyorum– bu da, bir bakıma problem çözmedir -- ve görmek daha açık şekilde inandırıcı olduğundan, kavramları daha fazla desteklemek için deneyler, gösteriler sunuyorum.

Bu sersem denklemlerin iç yüzünü anlamanız için çabalıyorum ve kuşkusuz, benim yöntemlerim, burada MIT’de alışık olduğunuzdan biraz farklıdır.

Sizde ilham uyandırmaya gayret ediyorum ve ara sıra sizi meraklandırmaya ve düşündürmeye çalışıyorum.

Ve bu şekilde sürdürmek istiyorum.

Zor problemleri çözmenin yeri, gerçekten problem-çözümü saatleridir.

Birçoğunuz sınavı çok kolay bulurken, çoğunuz da bu sınavı çok zor buldu.

Bazıları da, çok kolay olduğu için zorlandıklarından şikâyet etti.

Oldukça ironik, değil mi?

Onlar, daha fazla matematik ve daha standart problemler istediklerini söylüyorlar.

Bakın, kim daha fazla matematik ister? Ben fizik öğretiyorum.

Sizin fizik bilginizi ölçüyorum, matematik yeterliliğinizi değil.

Ev ödevlerini iyi kavrarsanız, bu çok önemlidir; ev ödevlerini kültürünüzün bir parçası yapmanız ve çözümleri çalışmanız çok önemlidir.

Bugün saat 4:15'te çözümleri Web'e koyacağız; 4 numaralı çözüm web'de yayınlanacak.

İnanın bana, onlar gerçekten mükemmel çözümler, kolay değiller.

Onlar size iyi bir temel oluşturacak.

Eğer o çözümleri kavrarsanız, kavramlar anlaşılacaktır.

Şimdi 50 dakikalık testinizde gerçekten karmaşık matematik problemlerini istiyor musunuz?

Açıkçası, hayır.

Bir sonraki sınav döneminde bunu deneyebilirim; fakat o zaman güvende olabilmem için kendime kurşun geçirmez bir yelek almam gerekebilir.

Kavramlar önemli şeylerdir.

Burada sınav değerlendirmesi yaparken, kavramları vurguladım.

Burada yaptığım her küçük problem oldukça basitti.

Kavramsal olarak, çok da basit değillerdi.

Ama matematiksel bakış açısından, oldukça basittiler.

Açıkçası, bütün konuları 50 dakikalık bir sınava sığdıramam.

Bir seçim yapmam lazım ve böylece orada sizin tercih ettiğiniz konular olmayabilir.

Bazılarınız bu dersin hızının çok yavaş olduğunu düşünüyor.

Bazılarınız da çok hızlı olduğunu söylüyor. Ortalama puan 3.8'di.

4.0 ideal olurdu. Ne yapmamı istiyorsunuz?

Hepinize uygun hale getiremem.

Çok yavaş olduğunu düşünenler ve çok hızlı olduğunu düşünenler var.

3.8, benim için ideal olan 4.0'a yeterince yakındır.

Ve onu olduğu şekilde bırakmak zorunda olacağım.

Bunun yanı sıra, şu an MIT'de olduğunuzu unutmayın. Artık lisede değilsiniz.

Şimdi güzel haberler.

Ödevlerin çok uzun olduğunu söyleyen çok sayıda öğrenci vardı.

Çok kısa olduğunu söyleyen tek kişi yok. Bunu düzeltebilirim.

Yarıdan itibaren gelecekteki tüm ödevleri %25 civarında azaltacağım.

Ben zaten 5 numaralı ödevden iki problemi çıkarmıştım.

Şimdi yediye indiriniz ve sıradaki bütün ödevleri yapacağım.

Benim için zevktir.

Bugün, kavramsal olarak, tüm 8.02 dersinin en zor konusunu anlatacağım.

Ve onu özümsemeniz için, zamana ihtiyacınız olacak.

Eğer göreceğiniz şeyin çığınca olduğunu düşünüyorsanız, yalnız değilsiniz.

Tek iyi haber, kavramsal olarak daha zor olmayacağıdır.

Hatırlarsanız, 1819'da Oersted, kararlı bir akımın kararlı bir manyetik alan ürettiğini keşfetmişti ve böylece elektriği manyetizma ile ilişkilendirmişti.

Dolayısıyla, bundan kısa süre sonra Faraday da, "belki kararlı bir manyetik alanda, kararlı bir akım üretilir" görüşünü öne sürmüştü.

Bunu kanıtlamak için birçok deney yapmıştı. Ama sonunda öyle olmayacağı anlaşılıyordu.

Ve sonra Őu yöntemi denemiŐti:

Buradaki gibi bir anahtarlı bataryası ve böyle bir solenoidi vardı. Anahtarı kapattı.

Solenoidten geöen akım solenoidin iöerisinde bir manyetik alan oluŐturur; bu manyetik alan, akımın yönüne bağlı olarak, belki de bu yöndedir.

Şimdi, bu solenoidin etrafına bir devre koymuŐtu.

Buna iki numaralı devre diyelim; bu devre, solenoidin etrafındaydı. Solenoidi de iöine alan bu devreye ise, bir numaralı devre diyelim.

Bir numaradan her ne zaman bir akım geöerse geösin, iki numarada asla bir akım oluŐmadıđını görmüŐtü.

Eğer 1 No.lu devrede bir akım varsa, bir manyetik alan oluŐur ve kuşkusuz, bu manyetik alanı 2 No.lu iletken bu halka yoluyla görür.

Herhangi bir akım yok.

Böylece Faraday, 1 No.lu devredeki solenoid tarafından üretilen bir kararlı manyetik alanın 2 Nolu devrede kararlı bir akım üretemeyeceği sonucuna varmıŐtı.

Ama sonra, bir gün tam anahtarı kapattığında iki numarada bir akım gördüğünü fark etmiŐti ve tam anahtarı açtığında gene iki numarada bir akım görmüŐtü. Bu nedenle, böylece değişen bir manyetik alanın bir akıma sebep olduğu sonucuna varmıŐtı.

Sabit bir manyetik alan değil, ama değişen bir manyetik alan.

Bu, dünyamızı deđiŐtiren müthiŐ kapsamlı bir buluŐtu ve 19. yüzyılın sonu ile 20. yüzyılın baŐlarının teknolojik devrimine büyük katkıda bulunmuŐtu.

Manyetik alanı deđiŐtirerek, bir akım ve dolayısıyla bir elektrik alan üretilebilir; bu kavram **elektromanyetik indüksiyon** olarak adlandırılır; gelecek birkaç derste göreceğiniz gibi, bu kavram bizim ekonomimizi yönetir.

Burada kare Şeklinde bir iletken telim var.

Herhangi bir Őekil seöebilirdim. Üö boyutlu görmeye öalıŐın.

Ve bir öubuk mıknatısla bu iletken tele yaklaşıyorum.

Öubuk mıknatıs, bunun gibi ilerleyen bir manyetik alana sahiptir.

Bu devreye, bu iletken tele, öubuk mıknatısı hareket ettirerek yaklaŐtırdıkça,-- ki bu önemlidir.

Onu durgun tutamam, hareket ettirmeliyim.

Yukarıdan aŐađıya gelirim, mıknatısı aşağı doğru hareket ettirsem, bu devre boyunca giden bir akım göreceksiniz.

Ve o akım, manyetik alan değişimine direnecek şekilde, böyle bir yönde gidecektir.

Manyetik alan aşağı yöndedir ve ben çubuk mıknatısı içeri doğru hareket ettirdikçe, alan artar.

O zaman bu akım halkası, bu yönde bir manyetik alan üretecektir; aşağıdan baktığınız zaman, akım saat yönünde gidecek ve – evet -- bu yönde bir manyetik alan üretecektir.

Çubuk mıknatısı dışarı doğru hareket ettirirseniz, o zaman burada manyetik alan azalacak ve böylece akım ters yönde olacaktır.

Akım manyetik alandaki değişime karşı durmak ister; bu **Lenz Yasası** olarak bilinir.

Çoğumuz eylemsiz olduğumuzdan; bu, fizikteki en insancıl yasadır.

Biz hepimiz, değişik düzeylerde, değişime karşı geliriz.

Lenz Yasası, bu indüklenmiş akımların ilerleyeceği yönü belirlemede her zaman son derece güçlüdür. O, nicel bir yasa değildir.

Akımın ne kadar güçlü olacağını onunla hesaplayamazsanız, fakat bugün göreceğiniz gibi, bu akımın yönünü belirlemek için çok yararlıdır.

Şimdi size çok hoşlanacağınız bir gösteri yapmak istiyorum. Burada bir devrem var.

Bu, orada gördüğünüz karesel halka gibi, ama tek farkı, bir kare değil de, onlardan çok çok var. Yüzlerce sarım, önemli değil.

Ve size göstereceğim şey şu: Bağlı bir akımölçer, bu devrede, herhangi bir yerde, bir akımölçer var.

Bir çubuk mıknatısım var. Çubuk mıknatısı bu iletken devreye yaklaştıracam ve siz bir yönde ilerleyen bir akım göreceksiniz; sonra mıknatısı dışarı çektiğimde, akım zıt yönde akacak. Mıknatısı elimde durgun tuttuğum zaman; manyetik alan değişmeyecek, akım da olmayacaktır.

Orada akımölçeri göreceksiniz; buradaki ise benim mıknatısım.

Bu iletken halkaya yaklaşıyorum. Dikkat edin, bir akım görüyorsunuz.

Geri çekiyorum, akım diğer yönde.

Şimdi daha hızlı gideceğim; böylece birim zaman başına manyetik alan değişimi daha kuvvetli olacak.

Daha fazla akım. Hızlı geri çıkıyorum.

Daha fazla akım.

Böylece manyetik alan değişimini gördük, bu önemlidir.

Şimdi yaptığım gibi çok yavaşça gelirim, çok yavaşça, neredeyse hiçbir şey göremeyiz.

Şu an bütün manyetik alan bu halkanın içindedir.

En güçlüsüne sahip olabilirim. Manyetik alanda bir değişim olmadığından hiçbir şey olmuyor. Sadece manyetik alanı değiştirdiğimde akımı görürsünüz.

Böylece indüklenmiş bir akım, açıkçası sürücü bir kuvvetin sonucudur.

Tıpkı geçmişte üreteçlerde sahip olduğumuz gibi, bir EMK olması gerekir.

Bu iletken halka içinde üretilen bir elektrik alanı olmalıdır.

Ve böylece şimdi indüklenmiş bir EMK oluştururum,--EMK kelimesini daha önce üreteçler için kullanıyorduk, şimdi bu değişen manyetik alanın sonucu olarak indüklenmiş bir EMK'ye sahibiz ve bu yüzden orada içerde ne olursa olsun o, indüklenmiş akım çarpması tamamen kapalı iletkenin direncidir.

Bu durumda, bu sarımların hepsinin, bakır tellerin hepsinin, toplam direncidir.

Bu, Ohm Yasası'dır.

Yani indüklenmiş EMK, her zaman indüklenmiş akım çarpması direncidir.

Faraday birçok deney yapmıştı; yaptığı deneylerden biri, bir manyetik alan üretmektir. Bu tür bir halkadan akım geçirdi; diyelim ki bundan akım geçirerek bir manyetik alan elde etti ve sonra anahtarı açıp kapatarak akımı değiştirdi ve böylece oluşturduğu manyetik alan anahtarı açtığı anda ve kapattığı anda değişiyordu.

Ve tıpkı orada bizim sahip olduğumuz gibi, onun da burada ikinci iletken devresi vardı ve oradaki akımı ölçmüştü.

Deney olarak bulduğu şey şuydu: 2 numaralı iletken halkada üretilen EMK, 1 numara tarafından üretilen manyetik alan değişimi ile orantılıdır. Böylece alan iki numaralı devre bölgesinde oluşuyordu ve değişmekteydi; biliyordu ki değişim, biraz önce gördüğümüz gibi, daha hızlı olursa, daha yüksek bir EMK elde ediliyordu.

O, ayrıca \mathcal{E}_2 'nin, iki numaralı halkanın yüzey alanıyla orantılı olduğunun da farkındaydı.

İşte bu ona EMK'nin aslında 2 Nolu devrenin yüzeyinden geçen manyetik akının değişiminin sonucu olduğu fikrini esinletmişti.

Manyetik akıyla ilgili olarak hafızanızı tazelemek istiyorum.

Elektrik akısının ne olduğunu biliyoruz ya da hatırlıyoruz. Manyetik akı da buna çok benzerdir.

Bu bir yüzeyse ve yüzeye dik yerel vektör böyleyse, tabi ki başka yönde olabilirdi ve yerel manyetik alan örneğin bunu gibi ise; bu durumda bu yüzeyden geçen manyetik akı tanımlıdır; biz ona Φ_B diyoruz: açık bir yüzey üzerindeki entegral; bu bir açık yüzeydir, B nokta dA 'dır.

Elektrik alan için akıyı, buradaki E hariç, tam olarak aynı şekilde tanımlamıştık.

Orada hiçbir şey yoktu.

Bu manyetik akı değişiyorsa; Faraday, bu iletken telde bir EMK'niz olacağı sonucunu çıkarmıştı.

Demek ki asıl önemli olan, manyetik akının değişimidir.

Biz de bu tür bir iletken tel alırsak, bunun gibi; şimdilik kolaylık olsun diye tahtada yapalım.

Akıdan söz ettiğimizde, bu tele eşlik eden bir yüzey ekliyorum; her zaman yüzeyinizi belirtmek zorundasınız.

Ve akı sadece bir yüzeyden geçebilir; kolaylık olduğu için, yüzeyim bu olsun diyorum.

Ve tahtadan bana doğru gelen bir manyetik alan var ve o artıyor. O artıyor.

Şimdi bir EMK elde edeceğim, akım bu yönü takip etmektedir. Lenz Yasası.

Eğer manyetik alan artıyorsa, o zaman akım bu değişime karşı duracak bir yönde olacaktır.

Akım manyetik alanın artmasını istemez ve tahta düzleminden içeri doğru bir manyetik alan oluşturacak biçimde, tel çerçevede bu şekilde akar.

Böylece o, EMK'yı belirleyen bu düz yüzeyden geçen manyetik alanın akı değişimidir.

Bu durumda EMK, bu yüzeyden geçen akının $d\Phi_B/dt$ değişimidir.

Lenz Yasası'nın manyetik akı değişimine daima zıt olduğunu ifade etmek için, buraya bir eksi işareti koyarız.

Bu eksi işareti asla başınızı ağrıtmayacak; inanın bana; EMK'nin yönünü daima bulabileceksiniz.

EMK'nin bu yönde olacağı açıktır. O, akımın aktığı yöndür.

Ama matematiksel açıdan doğru olması için, oraya bir eksi işareti koymalıyız.

Bu gerçekte Lenz Yasası'dır. Burada gerçekten Lenz Yasası'nı görüyorsunuz.

Ayrıca bunun için, eksi B nokta dA 'nın bu açık yüzey üzerinden yüzey entegralini yazabilirsiniz. Oh, umarım bunu görmediniz.

Bu açık yüzey üzerinden.

Upps, yaptığım şeye bakın.

İntegralin önündeki d/dt 'yi yazmayı unutmuşum. Kusura bakmayın.

Kendinizi bu iletkenin içinde düşünürseniz ve akım yönünde yürürseniz, tabii ki telin içinde her yerde bir elektrik alan göreceksiniz. Aksi takdirde hiç akım olmazdı.

Tüm devreyi bir kez dönerseniz, o zaman bu EMK elbette kapalı halka üzerinden E nokta $d\ell$ olmalıdır.

Böylece kablonun içinde yürüdüğünüzde, her yerde elektrik alan bulursunuz ve bu küçük bölümlere $d\ell$ diyorum.

Eğer telin içindeyseniz E ve $d\ell$ daima aynı yöndedir; bu aynı olmalıdır ve bu bir kapalı halkadır.

Böylece tüm bunları Faraday Yasası olarak isimlendiririz.

Onu çok ayrıntılı olarak görmeyeceğiz. Onu, orada tahtada biraz daha kısaltacağım.

Ama bu devrede hiç üreteç olmadığını anlamanızı istiyorum.

Sadece iletken tele iliştiğim yüzeyden geçen manyetik akıda bir değişim vardır ve o zaman indüklenmiş bir EMK elde ederim ve bu indüklenmiş EMK, Ohm Yasasıyla verilen bir akım üretecektir.

Şimdi oradaki tahtaya Faraday yasasını biraz kısaltılmış olarak yazmak istiyorum; orada tüm Maxwell denklemlerimiz var. Böylece E çarpı $d\ell$ 'nin kapalı halka integrali. —bu indüklenmiş EMK'dır.

Onu, eksi $d\Phi_B/dt$ veya integral B nokta dA 'nın zamana göre türevi olarak alabilirsiniz.

Ben bunu alacağım. İntegral B nokta dA ; bu, açık bir yüzey üzerindedir.

Ve bu açık yüzey bu halkaya tutturulmuş olmalıdır ve bu Faraday'dır.

Gauss Yasamız vardı, Amper Yasamız vardı.

Elde ettiğimiz bu yasa, size manyetik tek kutupların bulunmadığını söyler.

Tek kutuplu bir mıknatısın varsa ve onu kapalı bir yüzeye koyarsanız, bu yalnızca sıfır olacaktır. Bir tane bulursanız gelin ve beni görün.

Ve bu da şimdi kaydettiğimiz Faraday Yasası. Böylece artık dört Maxwell denkleminin hepsinin tamamlandığını düşünürsünüz.

Tam değil. Az sonra bunu değiştireceğiz.

Bu yüzden henüz kutlama yapamayız. Beklemeliyiz. Büyük partiyi.

Daima dA 'nın yönüyle ilgili küçük bir sorun vardır ve kuralın nasıl işlediğini size açıklayacağım; fakat Lenz Yasası daima EMK'nin yönünü bulmada size yardım ettiğinden, bu aslında o kadar da önemli değildir: Ama sade olmaya çalışırsak, bu benim iletken halkamsa ve buna düz bir yüzey eklersem, sonra da E nokta $d\ell$ 'nin entegralini kapalı halka boyunca alırsam, Faraday bana halka üzerinde hangi yöne doğru gitmem gerektiğini söylemez.

Saat yönünde gidebilirim. Saat yönünün tersine de gidebilirim.

Az önce Amper Yasasıyla yaptığımız şeyin aynısını yapacağız; sağ-el vida kuralını uygulayacağız; eğer saat yönünde giderseniz, dA tahtaya yani yüzeye dik ve tahtanın içine doğru olacaktır, yok eğer saat yönünün tersine giderseniz, o zaman dA size doğru gelecektir.

Yüzey düz olmak zorunda değil. Düz olabilir. Bunda bir yanlışlık yok.

Ama daha önce gördüğümüz gibi, halkaya tutturulmuş bir kutu da olabilir.

Burada kapalı bir iletken telim var ve tam buraya bir yüzey koyabilirim, fakat onu bunun gibi bir şapka da yapabilirim; mükemmel olur.

Bunda hiç sorun yok. O, bu halkaya tutturulmuş açık bir yüzeydir. Bu güzel.

Şöyle bir seçim yaparsanız, dA ile ilgili kural tamamen aynı olur: Eğer saat yönünde giderseniz, yerel olarak burada dA 'nın yönü, sağ-el kuralını kullanarak bu yönde olacaktır; saat yönünün tersinde ise şu yönde .

Öyleyse şimdi izlemeniz gereken reçete nedir?

Bir devreniz var, elektrik devresi; elbette o sizin halkanızı belirler.

Uzayda herhangi bir yerde bir halka alabilirsiniz; ama bu çok anlamlı olmaz; halkaları devrenizin içine alırsınız ve böylece ilkin halkanızı belirlersiniz.

Daha sonra o devrenin etrafında yürümek istediğiniz yönü belirlersiniz.

O kapalı halkaya açık bir yüzey iliştirirsiniz ve B nokta dA 'nın entegralini tüm yüzey üzerinde belirleyebilirsiniz.

Yüzey üzerinde her yerde yerel olarak dA 'yı biliyorsunuz; yerel olarak B 'yi biliyorsunuz; entegrali alırsınız ve manyetik akınızı elde edersiniz; manyetik akının zamana göre değişimini biliyorsanız, o zaman EMK'yi da bulursunuz.

Eğer bu iletken devre içinde dolaşırsanız, her yerde elektrik alanını ölçersiniz; böylece E nokta $d\ell$ integrali, eğer halka boyunda dolanırsanız, size aynı cevabı verecektir; bu ikisini birbirine bağlar.

Manyetik akı değişimi, E nokta $d\ell$ 'nin halka boyuncaki integraline bağlanır.

Ve bu eksi işareti de hesaba katmalısınız.

Düz bir yüzey mi, yoksa bir kutu mu seçtiğiniz önemli değildir.

Pekiye, manyetik alan çizgilerini bir su akışı veya seviyorsanız spagetti ya da bir hava akışı gibi düşünün.

Bu yerlerden gelip bu açıklıktan geçen bir tür hava akışı varsa, onun daima bu yüzeyden dışarı çıkacağı açıktır.

Bu yüzden, bu yüzeyi seçmede tamamen özgürsünüz; daima sizin için en iyi olan yüzeyi seçersiniz.

Şimdi, tüm bunlar çok karmaşık görünüyor.

Ama pratikte, aslında öyle değildir; çünkü halkanız daima devrenizdeki iletken bir teldir ve EMK'nın yönünü her zaman Lenz Yasasıyla belirlediğiniz için eksi işareti asla sorun değildir.

Aslında, ben bu problemleri çözerken eksi işarete hiç dikkat etmem. Onu tamamen göz ardı ederim.

Manyetik akı değişimini hesaplarım ve akımın hangi yönde olacağını daima bilirim; böylece eksi işarete hiç dikkat etmem.

Şimdi size Faraday'ın denemeye çalıştığına çok benzeyen bir gösteri sunacağım.

Burada bir solenoidim var. Bunu daha önce de görmüştük.

Onunla oldukça güçlü bir manyetik alan elde edebiliriz.

Ve Faraday'ın yaptığı gibi, burada bu solenoidin etrafına buradaki gibi bir halka koyacağız ve sonra anahtarı kapatacağız; böylece bu manyetik alanı oluşturacağız ve bu halkada oluşan akımı göreceğiz.

Buranın bir kesitini alırsak, bunun gibi göreceğiz.

Burada solenoidi görüyorsunuz, manyetik alan gerçekte solenoide sınırlıdır.

Daha önce tartıştığımız gibi, solenoidin dışında manyetik alan hemen hemen sıfırdır; böylece sadece tam burada bir manyetik alan vardır.

Takip eden şeyleri aklınızda tutun.

Ve şimdi onun etrafına bir ampermetre bağlanmış bir tel koyacağız.

Eğer manyetik alan tahtadan dışarı ve artıyorsa, akım bu yönde akacaktır.

Lenz Yasası.

Eğer azalıyorsa, akım ters yönde ilerleyecektir.

Şimdi manyetik akının bu yüzeyden, bu kapalı halkaya tutturduğum yüzeyden, geçtiğini aklınızda tutun. Halkayı ister bu kadar büyük alayım, ister bunun gibi bir eğri alayım, manyetik akı sadece selenoidin iç kısmına sınırlandırılmış olduğundan manyetik akı aynı kalır, değişmez.

Ve böylece bu dış halkanın şeklini değiştirdiğim zaman akımda herhangi bir değişiklik görmeyeceksiniz. Umarım bu kafanızı karıştırmaz.

Kasıtlı olarak halkanın boyutunu değiştireceğim ve bunu şimdi yapacağım.

Orada çok hassas bir ampermetre göreceksiniz ve burada bir halka, büyük bir tel, göreceksiniz ve onu bu solenoidin üzerine koyacağım.

Öncelikle oldukça hassas olan ampermetremden emin olayım, onu sıfırlayabilirim.

O, işarete duyarlıdır. Eğer akım bir yönde giderse, ibrenin bir yönde gittiğini göreceksiniz. Eğer akım diğer yönde giderse, değişimi göreceksiniz.

Ve şimdi buraya, bunun etrafına bu abuk sabuk şekilli halkayı yerleştiriyorum.

Böylece halka, bu solenoid'in etrafında; manyetik alan ise solenoidin içindedir ve bu abuk sabuk halkaya tutturulmuş bir yüzey düşünün. Şimdi akımı açacağım ve sadece akım değişirken, orada bir manyetik akı değişimi olacaktır.

Sadece bu sırada bir akım akışı göreceksiniz. Üç, iki, bir, sıfır.

Akımı keseceğim, üç, iki, bir, sıfır. Diğer tarafa gitti.

Halkanın boyutunu değiştireyim; şimdi farklı, şimdi çok daha küçük yapacağım.

Size açıkladığım nedenlerden dolayı, herhangi bir farklılık olmaz; çünkü manyetik akı bu durumda halkamın boyutlarıyla belirlenmez, fakat solenoidle belirlenir. Şimdi onu değişik şekilli bir halkayla yaparsam,-- izin verirsiniz onu tekrar sıfırlayayım.

Üç, iki, biir, sıfır.

Üç, iki, biir, sıfır.

Değişiklik yok. Az önce gördüğünüzle hemen hemen aynı.

Şimdi pek sezgisel bulmayabileceğiniz bir şey geliyor.

Bu teli etrafına üç kere saracağım.

Bu dış halka, bu en dıştaki iletken tel, şimdi bunun gibidir.

Bir, iki, üç. Böyle bir şey.

Şimdi kafamda bu kapalı üçlü-halkaya bir yüzey iliştiirmeliyim.

Tanrım, o neye benziyor? Ne saçma bir yüzey.

Bu sizin sorunuz, Faraday'ın sorunu değil.

Bu halkaya iliştirilmiş bir yüzey olduğunu nasıl düşünebiliyorsunuz?

Bu şeyi alın ve sabunlu suya batırın. Dışarı çıkarın ve ne gördüğünüze bakın.

Sabun iletken halka üzerinde her yere ilişecektir.

Ve bu halka bunun gibiyse, yukarı giden sarmal bir merdiven gibi, bunun gibi yukarı giden bir yüzey elde edeceksiniz.

Fakat manyetik alan onların üçü boyunca gider.

Bu yüzden, değişen manyetik akı şimdi yüzey boyunca üç kat olacaktır ve Faraday, sadece bir halka için görmüş olduğunuz EMK'nın üç katını göreceğinizi söyler.

Dış halkayı 1000 kere sararsanız, bir halkanın EMK'sının 1000 katını elde edersiniz.

Çok sezgisel değil.

Şimdi bir kere sarıyorum. İkinci kez sarıyorum. Ve üçüncü kez sarıyorum.

Şimdi üç sarıma sahibim.

Ampermetreyi sıfırlayayım; ancak bu çok önemli değil.

Üç, iki, bir, sıfır ve daha büyük akım gördünüz.

Bu, yaklaşık üç kat daha büyüktür; çünkü EMK üç kat daha büyüktür.

Akımı kesiyorum. Üç kat daha büyük görüyoruz.

İşte bu, transformatörlerin ardındaki düşüncedir.

Bu telde daha çok sarıma sahip olarak, istediğiniz değerde bir EMK'yı elde edebilirsiniz.

Binlerce volta kadar elde edebilirsiniz ve bu pek sezgisel değildir.

Yani Faraday Yasası çok sezgisel değildir. Kirchhoff Kuralları çok sezgiseldir.

Kirchhoff, kapalı ilmek devresi etrafında gittiğinizde E nokta $d\ell$ integralinin her zaman sıfır olduğunu söylemişti.

Eğer değişen bir manyetik akınız varsa, bu doğru değildir.

Eğer değişen bir manyetik akınız varsa, iletken teller içindeki elektrik alanlar şimdi korunumsuz olur.

Kirchhoff Yasası sadece elektrik alanların korunumlu olduğu sürece geçerlidir.

Eğer bir elektrik alan korunumlu ise ve 0.1 den 0.2 ye gidiyorsanız, E nokta $d\ell$ integrali yoldan bağımsızdır.

Bu, iki nokta arasındaki potansiyel farktır; bu, tek olarak tanımlıdır.

Artık böyle bir durum yok.

Bu deneyde tek sarımlı halkada, belirli bir EMK elde edersiniz; üç sarımlıda, farklı bir değer elde edersiniz.

Şimdi yolunuz farklıdır; pek hissedemediğimiz korunumsuz alanlarla ilgilendiğimiz için iyice sezgi-dışı bir durumdur.

Şimdi, aklınızı başınızdan alacağım.

İnanamayacağınız bir şeyi görmenizi sağlayacağım; bu inanılmaz ve sezgi-dışı sonuca varmak için adım adım gitmeye çalışacağım.

Burada bir bataryam var, bu batarya 1 volt EMK'ya sahip.

Burada 100 ohmluk bir R_1 direnci var.

Ve buradaki 900 ohmluk bir R_2 direnci.

Dolanan akımın ne olduğunu size soruyorum.

Bana güleceksiniz. Nerdeyse size hakaret ettiğimi söyleyeceksiniz.

Keşke bu problem size ilk sınavda verilmiş olsaydı; çünkü \mathcal{E} eşittir geçecek akım bölü R_1 artı R_2 . Aman tanırım, ne yaptım.

Ohm Yasası'nı unuttum.

\mathcal{E} , IR ye eşittir, hatırlayın; I bölü R değil.

Öyleyse R_1 artı R_2 yukarı çıkmalıdır.

Ve gösterilen her şey doğrudur; onunla ilgili endişe duymanıza gerek yok.

Bu, sadece kalemin azizliğidir.

Ve böylece I akımı on üzeri eksi üç amperdir. 1 miliamper.

Sanki çok büyük bir iş. Kolay.

Akım bu şekilde akacaktır. İyi.

Bu noktaya D diyelim ve bu noktaya A diyelim.

Ve size D ve A arasındaki potansiyel farkının ne olduğunu soruyorum.

Gene hakarete uğradınız.

V_D eksi V_A , Ohm Yasası'nı uygularsınız; V_D eksi V_A 'nın, bu akım çarpı R_2 olduğunu söylersiniz.

Kesinlikle.

I çarpı R_2 .

Dolayısıyla, potansiyel farkı +0.9 voltur.

Şimdi size diyorum ki, “bu yönde gitmiş olduğunuzu varsayın; ne bulursunuz?” Derhal “ tabi ki aynı şeyi bulurum” derdiniz.

Kirchhoff Kuralı.

Böylece gerçekten, V_D eksi V_A hesabına bu yoldan girişerseniz; bu bataryaya dikkat edersiniz; bu nokta bu noktanın 1 voltun üstündedir.

Fakat burada bir direnciniz var; Ohm Yasası'na göre bir voltluk bir düşüş olur ve akım çarpı yüz ohm size burada 0.1 voltluk bir voltaj düşmesi verir; böylece V_D eksi V_A , bataryadan gelen 1 volt eksi I çarpı R_1 'dir, ve bu artı 0.9 voltur.

Zaman kaybından başka bir şey değil; onu ikinci kez hesapladık ve aynı sonucu bulduk.

Böylece, buraya bir voltmeter bağlıyorum.

Voltmeter D noktasına ve A noktasına bağlanmıştır.

Ve size ne göreceğinizi soruyorum.

Cevap artı 0.9 voltur; voltmeterin artı ucunun buraya ve eksi ucunun buraya bağlanmasını sağlayacaksınız.

Voltmetreler polariteye duyarlıdır.

Bu iyi. Kirchhoff Kuralı işliyor.

D'den D'ye giden E nokta $d\ell$ 'nin kapalı halka integrali sıfırdır.

Buraya kadar çok iyi. Şimdi arkanıza yaslanın.

Bataryayı çıkaracağım.

Kimin bataryaya ihtiyacı var?

Bataryayı burada gördüğünüz solenoidle değiştireceğim; anahtarı kapattığımda bu solenoid artan bir manyetik alan oluşturacaktır.

Sadece bu kısımda, manyetik alanın tahtadan dışarı doğru olduğunu ve arttığını varsayalım.

Lenz Yasası akımın ne yönde olduğunu hemen söyleyecektir.

Manyetik alan size doğru artıyorsa, akım bu yönde olacaktır.

Manyetik akı değişimi, $d\phi/dt$, belirli bir anda 1 volt olur.

İlginç bir tesadüf, değil mi?

İndüklenmiş \mathcal{E} , bir anda 1 volttur.

Şimdi size soruyorum, akım ne olur?

Size bunu bile sorma cesaretine şaşırılmış olacaksınız; çünkü Ohm Yasası geçerlidir.

İndüklenmiş EMK 1 volttur ve R_1 artı R_2 hala 1000 ohm dur. Böylece akım 10 üzeri

-3 amperdir.

V_D eksi V_A 'nın ne olduğunu sorarak kendimi gerçekten sıkıntıya soktum; belki bana kızılıyorsunuz ve diyorsunuz ki "bakın hocam, R_2 'den geçen I akımı, Ohm Kanunu'ndan V eşit IR 'dir, yani artı 0.9 volttur. "

Ben de diyorum ki, şimdi diğer tarafa gittiğimizi varsayalım ve şimdi V_D eksi V_A 'nın ne olduğunu bilmek isteyelim. Şimdi bu o kadar kolay değildir, çünkü batarya yok.

Şimdi D den A ya gittiğimde, bu batarya yok ve bu yüzden şimdi eksi 0.1 volt bulurum.

Tamamen farklı bir cevap bulurum.

Buraya bir voltmetre bağlayalım.

Bu voltmetre bana artı 0.9 voltu gösterecek.

Şimdi buraya bir voltmetre bağlayayım, aynı voltmetreyi.

Onu çevireyim. D noktası ile A noktası arasında bağlı.

O, eksi 0.1 volt gösterecektir.

D ile A arasında bağlı olan bu voltmetre artı 0.9 gösterir.

D ve A ya bağlı bu voltmetre eksi 0.1 gösterir.

İki değer farklıdır; Web sayfasına, türetme işlemini basamak-basamak anlatan bir ders eki koydum. Bu, gerçekten de olacak olanın bu olduğuna sizi ikna edecek

Bunu kolayca kavrayamayışımızın nedeni, korunumsuz alanların nasıl üstesinden gelineceğini bilemediğimizdendir.

Korunumsuz bir alanınız varsa, A'dan D'ye veya D'den A'ya E nokta $d\ell$ 'nin integrali aynı değildir; cevap yola bağlıdır.

O, artık yoldan bağımsız değildir.

Ve böylece burası D ise ve burası da A ise ve bu yönde giderseniz artı 0.9 volt bulursunuz; bu yönde giderseniz eksi 0.1 volt elde edersiniz.

Faraday'ın bununla bir sorunu yok.

Kirchhoff'un bununla bir sorunu var; fakat Kirchhoff'u kim dikkate alır?

Faraday önemli bir yasadır; çünkü Faraday Yasası her zaman geçerlidir; oysa ancak $d\phi/dt$ sıfır ise, o zaman Kirchhoff'u elde edersiniz.

Kirchhoff kuralı basitçe Faraday Yasası'nın özel bir durumudur; Faraday Yasası daima geçerlidir; bu yüzden, Kirchhoff yasası önemsizdir; Faraday öyle değil.

D'den A'ya gittiğinizi ve D'ye geri döndüğünüzü varsayalım.

V_D eksi V_A 'yı biliyoruz, bu yol boyunca gidersek—bu şekilde R_2 boyunca gidersek -- V_D eksi V_A 'nın artı 0.9 volt olduğunu biliyoruz.

Şimdi A'dayız ve sol taraftan D'ye geri gideriz.

Şimdi V_A eksi V_D 'ye sahibiz.

Bu tabii ki şimdi artı 0.1 voltur; çünkü hatırlayın, eğer V_D eksi V_A eksi 0.1 ise o zaman V_A eksi V_D artıdır.

Böylece bunları topluyoruz ve V_D eksi V_D 'yi artı bir volt buluyoruz.

Kirchhoff sıfır olması gerektiğini söylüyor; çünkü önce bulunduğum yere, aynı potansiyele döndüm.

Faraday diyor ki, “ı-ıh, üzgünüm, bunu yapamazsınız.”

Bu bir volt, tam olarak 1 voltluk EMK'dir.

Bu, o halka etrafında E nokta $d\ell$ 'nin kapalı halka integralidir.

Artık o, sıfır değildir.

Bu nedenle, her ne zaman potansiyel farkı tanımlarsanız ve bunu E nokta $d\ell$ integrali şeklinde yaparsanız, korunumsuz alanları aklınızda tutun; bu integral yola bağlı olur ve bu sezgi-dışıdır.

Bunu şimdi size göstereceğim. Tam burada sahip olduğunuz gibi, bir devrem var.

Burada iletken bir bakır telde 900 volt ve burada 100 volt var ve bu bir solenoidtir.

Selenoide akım verebiliriz, böylece bir manyetik alan patlaması elde ederiz; sistem orada gördüğünüz yönde ilerleyen bir akım sürerek buna tepki gösterecektir.

Ödediğiniz paranın karşılığını biraz daha fazla alabilirsiniz diye, biraz daha nicel olmak istiyorum.

Manyetik alanın maksimum değere ulaşması biraz zaman alır.

Bu derste, manyetik alanın oluşması için geçen zamanı hesaplayabileceğiz.

Henüz oraya gelmedik, bu yüzden bu kısmı unutun. O kadar önemli değil.

Ben sadece, manyetik alanın zamanın fonksiyonu olarak bu şekilde yükseleceği ve sonra maksimuma ulaşacağı gerçeğini değerlendirmenize sunmak istiyorum.

O artık değişmiyor. Sabit. Maksimum değerdedir.

Çok yüksek, 700, 800 Gauss veya bunun gibi bir değer.

Manyetik alanla ilgilenmiyoruz.

Manyetik alanın değişimiyle ilgileniyoruz; bu yüzden manyetik alanın değişimi, dB/dt, bunun gibi bir şey olacak, bu eğrinin türevidir.

Ve bu, Ohm Yasası'na göre, indüklenmiş EMK ile ve akımla orantılıdır.

Böylece eğer voltajı zamanın fonksiyonu olarak çizersek, onu buraya çizmemeye izin verin; bunu, sağda V_2 olarak adlandırdığım voltmetre ile yapacak.

Bu, maksimum değerde I çarpı R_2 olan, V_2 'dir.

Eğer o değerler doğru olsaydı; bu, 0.9 volt olacaktı ve V_1 bu şekilde gidecekti.

V_1 , eksi I çarpı R_1 'dir.

Bu, bana eksi 0.1 volt verir.

Böylece şimdi soru şudur: dB/dt için beklediğimiz en büyük değer nedir?

Bizim ayrıca solenoidin yüzey alanını da bilmemiz gerekir; böylece onu bir akı değişimine çevirebiliriz.

Manyetik alandaki değişim, kabaca en hızlısı, burada yaklaşık saniyede 100 Gauss'tur.

Çok kaba olarak. Bu, bir alan değişimi, yani dB/dt, anlamındadır.

Bu, sadece yaklaşık saniyede 10 Tesla'lık başlangıçta mümkün olan maksimum değerdir.

Akı değişimi içteki çemberin yüzey alanında olmakla birlikte, benim yüzeyimin dış halkaya tutturulmuş durumda olması, manyetik akıyı değiştirmez

Doğal olarak manyetik akı sadece iç kısım tarafından belirlenir; böylece eğer iç kısım on santimetre karelik, yani 10 üzeri – 2 metre-karelik bir alana sahipse, o zaman $d\phi/dt$ yaklaşık olarak, 10 çarpı 10 üzeri – 2 olacaktır; yani yaklaşık 0.1 volt olacaktır.

Bu EMK'dır.

Lenz Yasası'nı bildiğim için, yönle ilgilenmiyorum.

Böylece, hemen hemen orada gösterdiğim deneye özdeş olan bir deney göreceksiniz; sadece tüm değerler 10 çarpanı kadar azaltılmış olacak.

Fakat hepsi bu. Bu gösteri deneyini orada göreceksiniz.

Birkaç yıl önce, 26-100 salonunda bu deneyi ilk yaptığımda, dinleyiciler arasında birkaç çalışma arkadaşım, hem fizik bölümü hem de Elektrik Mühendisliği bölümünün profesörleri vardı.

Bazıları gördükleri şeye inanamadılar.

Aslında, dersimden sonra yanıma gelip gösteride hile yaptığıma dair birkaç suçlamada bulunmaları, çok kötüydü.

Bu onlar hakkında size bir şeyler söyler.

Düşünün, ne gördüğüne inanamamış fizik profesörleri ve elektrik mühendisliğindeki profesörler. Bu, size bunun ne kadar sezgi-dışı olduğunu söyler.

Bir voltmetrenin D ve A noktasına ve diğer voltmetrenin aynı noktaya bağlı olduğu basit bir olgu. Bu hocalar, ikinci voltmetrenin tamamen farklı bir değer gösterdiğini kabul etmede isteksizdiler.

Korunumsuz alanlara alışkın değillerdi. Beyinleri bunu çözememişti.

Fakat bu, öyledir; şimdi size bunu göstereceğim.

Onu burada göreceksiniz ve büyük olasılıkla hayatınızda bu gösteriyi ilk ve son kez görmüş olacaksınız; dolayısıyla bunu hep hatırlamanızı istiyorum.

Çok ilginç bir şey göreceksiniz; onu gerçekten gözlerinizle görmüş olduğunuzu torunlarınıza anlatmanızı istiyorum.

Onu, orada sol tarafta göreceksiniz, V_1 'i sol tarafta; sağ tarafta ise V_2 'yi göreceksiniz.

Düşey ölçek, çok kaba olarak buradan buraya yaklaşık 0.1 volttur.

Ve yatay birim yaklaşık 5 milisaniyedir; tüm voltaj artması, yaklaşık 10 milisaniye sürer, çünkü buradan buraya yaklaşık 10 milisaniyedir.

V_2 için beklediğiniz değer, V_1 'den 9 kat daha yüksek çıkacak ve polariteler değişmiş olacak.

Hayatınızdaki bu büyük ana hazırsanız, üç, iki, biiir, sıfır.

Sola bakın.

Buradaki V_1 . Negatif olduğuna dikkat edin.

Sağa bakın. Buradaki V_2 .

V_2 , V_1 'den yaklaşık 9 kat daha büyük.

Bu kıpırdamaya aldırmayın.

O, uyguladığımız tam düzgün olmayan voltajla ilgilidir.

Buradan buraya giden tüm atmalara dikkat edin, yaklaşık 10 milisaniye sürer.

Manyetik alanın maksimuma ulaştığı an ve sonra alan sabit kalır; daha sonra artık hiç indüklenmiş akım yoktur.

Bunu düşünün. Buna biraz kafa yorun.

Bu kolay değil.

Ve size iyi hafta sonları.