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.

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 23 Ara Sınav 2

Benim gördüğüm şekliyle, konular şunlar:

Onlar web sayfasında var.

Bugünkü ek ders notlarına bakabilir ve onları indirebilirsiniz.

Şunu belirteyim ki, indirim çok mantıklı olur, çünkü bu mıknatıslar kırılmıştır ve bir mıknatısı kırdığınızda, yine iki tek-kutuplu elde edersiniz; böylece 50% indirim kazanırsınız.

Oradaki anahtar denklemine bakarak, manyetik kutupların var olmadığını daha iyi bilmelisiniz, fakat bu bir ayrıntıdır.

Sizden bugün bu konuları belki de derinlemesine ele alamayacağımı ya da 50 dakikalık bir sınavda bütün bunları soramayacağımı anlamanızı istiyorum.

Böylece lütfen, bu ara sınavın oldukça kapsamsız olduğunu ve bugün olmayan konuların normal sınavda olacağını ya da olabileceğini anlamanızı istiyorum.

Ben kavramlarla ilgileniyorum. Matematik ile ilgilenmiyorum.

Yedi problem olacak. Bu yedi problemin beş tanesi sadece tek bir soruludur.

İki problem iki soruludur.

Zamanın, sınav süresinin bir sorun olacağını sanmıyorum.

Sınav birkaç asistana uygulandı.

Onların 15 veya 18 dakikalarını aldı; bu benim normaldeki hedefimdir.

Profesör Belcher'in inceliği sayesinde, web sitesinden eski testleri aldık.

Bende çözümleri yok. Yapabileceğim şey sadece bu kadardı.

Profesör Belcher'e bu sınav sorularını elde etmemizi sağladığı için minnettarım.

Bu problemlerin bazılarını yapamazsanız, size asistanlarınızı veya özel hocalarınızı görmenizi tavsiye ediyorum.

Ben de bütün öğleden sonra uygunum, yarın değilim; çünkü yarın öğleden sonra gelecek haftanın gösterilerini hazırlamak için 26-100 de olacağım.

Bu problemlerin çoğu açıktır. Çalışma rehberlerinizden yardım almayı da isteyebilirsiniz.

Pekala . Önce Biot-Savart ile başlayalım.

Biot-Savart ile yapılabilecek çok problem yoktur.

dB eşit mü 0 bölü 4π çarpı akım çarpı dl vektörel çarpım r birim vektörü bölü r kare.

Formül budur.

Muhtemelen yapmış olduğunuz klasik bir problem.

Bir telden d uzaklığında, burada, P noktamız var; telden geçen akım I'dır.

P'deki manyetik alanın ne olduğunu bilmek istiyorsanız, Biot-Savart'ı kullanabilirsiniz.

Bunu yapmak aptalca bir şey olur ama yapabilirsiniz.

O zaman telin burasından küçük bir dl elemanı alabilirsiniz. Bu uzaklık r'dir.

Bu, şu denklemde yer alan, birim r vektörüdür.

dl elemanının tam burada manyetik alana yaptığı katkının ne olduğunu buradan hesaplayabilirsiniz – o tahtadan dışarı doğrudur.

Bu teta açısıdır; sinüs teta ise d bölü r'dir.

Sonra tüm telin üzerinden integral almalısınız; teta, sıfır'dan pi'ye.

Böylece buradaki manyetik alanı elde edersiniz.

Yapılacak çok akıllıca bir şey değil. Zaman kaybıdır.

Açıkçası; bunu yapmanın yolu, orada dipte duran Amper Yasasını kullanmaktır.

Bu durumda, d yarıçaplı kapalı bir halka oluşturursunuz.

Bu halka tahtaya diktir. Onu üç boyutlu göstermeye çalışıyorum.

Bu kapalı halkaya açık bir yüzey tutturmalısınız.

Herhangi bir açık yüzey. Açık yüzeyi düz yapalım.

Ve orada dipte duran Amper Yasasını uygulayacağız.

İkinci terim yok, çünkü değişen elektrik akısı yok. Kappa M ile hiç ilgilenmiyoruz.

Böylece basitçe bu çemberin etrafında dolaşan B çarpı 2 pi d'ye sahibiz, çünkü bu B'nin çembere teğet olduğunu biliyorum.

Hatta sağ-el tirbuşon kuralına göre, yönü de biliyorum: tahtadan dışarı doğru.

Böylece çember etrafında dönerken, dipte gördüğünüz gibi, B ve dL aynı yöndedir.

Böylece, "2 piB çarpı d eşit mü sıfır çarpı bu yüzeyi delip-geçen akım, yani I " bağıntısını elde ederim.

Ve cevap çok basittir: Manyetik alan, mü sıfır I bölü 2pi d'dir.

Bu problemi çözmenin yolu budur; Biot- Savart'dan uzak duracaksınız.

Amper Yasasının başarısız olacağı özel bir problem vardır.

Kuşkusuz, silindirik simetrimiz olduğunda, genelde Amper Yasası çalışır.

Bu bir silindirsel simetridir.

Amper Yasasının acı bir şekilde başarısız kaldığı ve Biot-Savart'ın üstün olduğu bir problem de vardır.

Burada iletken bir halkam var. O bir çember.

Size şu soruluyor: Bu halkadan belli bir I akımı geçtiğinde, tam merkezdeki manyetik alan nedir?

Bu sadece merkez için çalışır.

Buradaki manyetik alanın ne olduğunu bulamazsınız. Biz bunu sınıfta yapmıştık.

Siz de muhtemelen bunu ev ödevi olarak yaptınız.

Biot-Savart size derhal cevabı verecektir. Bunu size bırakacağım.

Amper Yasası ise işlemeyecektir.

Şimdi Amper Yasasına geri dönelim ve Amper Yasasıyla ilgili birkaç problem çözelim.

Birkaç istisna dışında, silindirsel simetriye ihtiyacımız var.

Burada R_1 yarıçaplı içi boş bir silindirim var. R_2 yarıçaplı eş-merkezli başka bir silindir var. Bunlar çok uzun silindirlerdir.

İç silindirin yüzeyinde bu yönde akan bir I akımı olduğunu ve I akımı'nın dış silindirin yüzeyinden geri döndüğünü var sayın; iki akım aynı şiddette.

Uzayın her yerinde manyetik alanın ne olduğunu bilmek istiyorum.

Sadece kesiti görelim diye bir çizim yapacağım.

Böylece bu R_1 ve bu R_2'dir.

Önce R_2'den daha büyük olan R için manyetik alanı hesaplayalım.

Seçeceğiniz kapalı halkanın bizzat bir çember olacağı apaçıktır.

Bir gerekliliktir. Yarıçap R. Bir simetri argümanı kullanırız.

Bu r, küçük r, uzaklığındaki manyetik alan ne olursa olsun, her yerde aynı olmak zorundadır.

Simetriden dolayı, buradaki değeri büyüklükçe oradakinden hiç mi hiç farklı olamaz.

Çünkü silindirsel simetri var.

Herhangi bir manyetik alan varsa, onun teğet şeklinde olacağını da biliyoruz; ya bu yönde, ya da şu yönde.

Ve alan böylece dolanılır.

Kapalı halka üzerinden integral alırız; orada dipte yer alan denklemi kullanırız; böylece B çarpı 2 pi küçük r eşittir mü sıfır elde ederiz.

Ve şimdi bu halkaya açık bir yüzey tutturacağım. Bu yüzeyi tahta düzleminde alacağım.

Herhangi bir yüzey alabilirim; fakat düz bir yüzey de kullanabilirim.

Bu yüzeyden geçen akımın ne olduğunu bilmeliyim.

Bu yüzey üzerinde, tam burada, akım tahtaya doğru gidiyor ve bu yüzey üzerinde, tam burada, akım tahtadan dışarı geliyor.

İki büyüklük aynı, böylece net akım sıfır.

Ve böylece ikinci silindirin dışındaki manyetik alan sıfırdır.

Şimdi de iki silindirin arasındaki alana bakalım.

Bunlar boş silindirler, şimdi burada bu tamamen açıktır, bu tamamen açıktır.

Onlar incedir, ince materyal, ince kabuklar, her ikisi de silindirdir.

Şimdi şüphesiz ki kapalı halka, iki silindir arasındaki açıklığın içinde olacaktır.

Gene r yarıçapını seçerim. Ve şuraya giderim.

B çarpı 2 pi r eşittir mü sıfır elde ederim; fakat bu kez bu yüzeyi delip-geçen akım var ve bu akım I'dır.

Bu değil, fakat bu. Ve böylece I elde ederiz.

Sonuçta elde ettiğimiz B, mü sıfır çarpı I bölü 2 pi r'dir.

Bir bölü r alanı.

Yönü, sağ-el tirbuşon kuralından bulacaksınız. Normalde benim yaptığım yol budur.

Bir tirbuşon alırsınız ve onu saat yönünde çevirirsiniz; o tahtaya girer; böylece burada manyetik alan bu yöndedir.

Eğer şişe mantarı açarken hiç dönen bir tirbuşon kullanmadınızsa, bir vidayı tornavidayla sıkıştırmaya çalıştığınız zamanı düşünün.

Saat yönünde çevirirseniz, vida içeri girer.

En azından, bu ülkede bulacağınız bütün vidaların % 99,99 'unda durum budur.

Onlar sağ adımlara sahiptirler. Sol adımlı bir tane yapabilirsiniz, fakat bu genelde yapılmaz.

Şimdi de R_1'den daha küçük r 'lerin bölgesine gidebiliriz.

Bu bölge, bu ince kabuklu silindirin içindedir; ve gene küçük r yarıçaplı bir çember olan bir kapalı halka alabilirsiniz; bu da sizin o kapalı halkaya tutturulmuş açık yüzeyinizdir.

Yüzeyi delip-geçen akım olmadığı için, burada B'nin sıfır olduğunu bulursunuz.

Şimdi r 'nin fonksiyonu olarak, B manyetik alanının grafiğini çizerseniz; burası R1, burası R2 olsun; burada B sıfırdır, orada sıfırdır; B burada, küçük r yerine R_1 konarak bulunacak bir değere sahiptir, ve tam şurada küçük r yerine R_2 konarak elde edilecek bir değerdedir.

Ve bu, 1 / r ile orantılı bir eğridir.

Manyetik alan budur ve içeride, oturduğunuz yerden bakıldığında, saat yönündedir.

Derslerde bir solenoidin içerisindeki manyetik alanı hesaplamak istediğimiz bir durum vardı; orada çember şeklinde kapalı halkalar olmasa bile, Amper Yasası çok iyi çalışıyordu. Ama biz orada bir dikdörtgen seçmiştik.

Bunu tekrar gözden geçirmenizi istiyorum.

Mutlaka bu kitabınızda vardır; derslerimde de anlatmıştım.

Manyetik alanın solenoidin içinde düzgün ve dışında sıfır olduğunu var saymıştık; bu çok da kötü bir varsayım değildi. Bu, Amper Yasasıyla, dairesel değil de dikdörtgensel halka üzerinde gitseniz bile, solenoidin içinde manyetik alanı elde etmenize izin verir.

Çok klasik. Ders notlarınızı kontrol edin ya da benim derslerime yeniden bakın; bunu Web'den yapabilirsiniz.

Şimdi Lorentz kuvvetine dönmek istiyorum.

Lorentz kuvveti, F = Q (E + V vektörel çarpım B)'dir.

Bu Q, B manyetik alanı içinde V hızıyla hareket eden yüktür ve bu yükün konumunda bir E elektrik alanın da var olduğu düşünülür.

Bir elektrona sahip olduğum durumu ele alalım.

Yükün negatif olduğunu hatırlatsın diye oraya bir eksi işareti koyayım.

Bu, o elektronun hızı olsun.

Manyetik alan düzgün, tahtaya dik ve tahtadan içeri yönde olsun.

Elektrik alanı olmasın; böylece sadece Q çarpı V çarpı B ile ilgileneceğiz demektir.

V çarpı B bu yöndedir – bu vektörel çarpımı yapabilmelisiniz – fakat yük negatif olduğu için, bu yük üzerindeki kuvvet bu yöndedir.

Böylece elektron bu yönde dönecek ve manyetik alan düzgünse, bir çember elde edeceksiniz.

Kuvvet, bu çemberin tam merkezindedir. Biraz sonra, aynı hızla giden elektron buradayken, kuvvet böyledir.

Hız değişemez.

Kuvvet hiç iş yapamaz, kinetik enerjiyi değiştiremez; çünkü F daima V ve B 'nin oluşturduğu düzleme diktir, çünkü o bir vektörel çarpımdır.

Kuvvet daima hıza dik olduğu için, hiç iş yapamazsınız; dolayısıyla kinetik enerjiyi değiştiremezsiniz. Kuvvetin yaptığı tek şey, onu döndürmektir.

O hızın yönünü değiştirir. O hızın büyüklüğünü değiştirmez. O sürati değiştirmez.

Pekala.

Böylece bu yarıçap küçük r olsun.

Elektromanyetizma ve Mekaniği birleştirerek, M V kare bölü R'nin bu kuvvete eşit olduğunu elde ederiz; burada M elektronun kütlesidir.

V, B'ye dik olduğundan, onların arasındaki açının sinüsü 1 'dir; böylece burada basitçe Q V B elde ederim.

Bu, kuvvetin büyüklüğüdür. Yönü zaten biliyoruz.

Böylece bir V gider ve bu çemberin yarıçapını, M V / Q B olarak bulurum.

Bu, elektronun momentumu olur.

Böylece V elektronun hızıdır, süratidir. Q yüktür. B manyetik alandır. M elektronun kütlesidir.

Ve bu hız, ışık hızından yeterince küçük olduğu sürece, burada rölativistik bir düzeltme yapmak zorunda değiliz.

O ışık hızından çok küçük değilse, rölativistik bir düzeltme yapmak zorunda kalırız.

Derslerimde rölativistik düzeltmeyi anlatmıştım, fakat bunun sınavın bir bölümü olmayacağından da söz etmiştim; dolayısıyla bunun üzerinde daha fazla durmayacağım.

Böylece şimdi bunun tamamen rölativistik olmadığını varsayabiliriz.

Bu elektronun bir dolanma zamanı, büyük T, 2 pi R bölü V'dir.

Fakat R'yi biliyorum; böylece (2 pi / V) çarpı M V bölü Q B elde ederim.

Burada bu V var; o bu V'yi götürür ve sezgisel olmasa da, dolanma zamanının elektronun hızından bağımsız olduğunu görürsünüz; hızın röelativistik olmadığını var sayarak.

Ve bu parçacıklar için dolanma zamanının, siklotronlar çerçevesinde, hızdan bağımsız olduğunu tartışmıştık.

7,8 çarpı 10 üzeri – 4 Teslalık bir B manyetik alanımız olduğunu varsayalım.

Şimdi ne düşündüğünüzü biliyorum.

"Hangi cehenneme, bu çılgın değeri alıyorsunuz?" diye düşünüyorsunuz.

Bunun bir nedeni var; çünkü burada bir gösterim var.

Manyetik alan 7,8 çarpı 10 üzeri – 4 Tesla'dır.

Alan bu değere sahipse, dolanma zamanını hesaplayabilirim; çünkü elektronun kütlesini biliyorum, elektronun yükünü biliyorum, manyetik alanı biliyorum.

Bu durumda, T yaklaşık 46 nanosaniyedir.

Hertz cinsinden frekans olan saniyedeki dolanma sayısı, F, eşittir 1 bölü periyot; o da eşittir yaklaşık 22 megahertz.

Böylece bu elektron her bir saniyede 22 milyon kere döner.

Size yapacağım gösterim işte bu.

Bir cam kabım var; küresel. Oldukça büyük birşey. Onu orada görebilirsiniz.

Onun içerisinde düşük basınçlı gaz var; böylece bazı elektronlar gazı iyonize etmeden çembersel yörüngelerde dönebilirler.

Sıfırdan 300 Volta kadar değiştirebileceğim bir potansiyel fark arasında elektronları hızlandıracağım. Ve böylece onlara belli bir hız vereceğim.

Onlara 100 voltluk bir potansiyel fark verdiğimi düşünün; o zaman potansiyel enerji farkı olan Q kere delta V, ½ M V^2 olacaktır. Dolayısıyla bunu 100 volt yaparsam, V'nin ne olduğunu hesaplayabilirim; böylece elektronların hızını, yaklaşık 5,9 kere 10 üzeri 6 metre/saniye bulurum.

Böylece 100 voltluk bir potansiyel farkı altında, hız budur.

Bu hızı bu denklemde kullanabilirim; böylece bu manyetik alanda elektronların yarıçapını bulurum ve bu yarıçap yaklaşık 4,3 santimetre çıkar.

Bu, sahip olduğum küreden biraz daha küçüktür.

Elektronların yörüngesine dik olan bu büyüklükteki düzgün bir manyetik alanı nasıl oluşturabilirim?

Bunu **Helmholtz bobinlerini** kullanarak yapabiliriz. Derslerimizde bunu ayrıntılı olarak hiç tartışmadık.

Burada bobinler görüyorsunuz ve burada bobinler görüyorsunuz.

Böyle iki bobin setine sahipseniz ve aralarında uygun bir mesafe varsa, ara bölgede hemen hemen sabit olan bir manyetik alan oluşturabilirsiniz.

Bu durumda, bu alan, Dünyanın manyetik alanından on beş kere daha büyüktür.

Belki de bazılarınız hatırlıyordur; birkaç hafta önce 8.02 Web sitesinde, Profesör Belcher'den aldığım, akım halkalarının manyetik alanlarını hesaplamanıza yarayan çok hoş bir program bağlantısı vermiştim.

Web sitesinde size sorduğum şeylerden birisi, bir manyetik şişeye ne diyeceğimizi bulmaya çalışın sorusuydu.

Bu manyetik bir şişedir.

Aralarında neredeyse-düzgün bir manyetik alan oluşturabildiğiniz iki bobine, Helmholtz bobinleri de denir.

Burada işte buna sahibiz, size göstereceğim şey, bu elektronların çemberler içinde nasıl da güzel döndükleridir.

Bu elektronlar içerideki gazı iyonize ederler ve sonra iyonizasyon de-exite olur; böylece çıkan ışığı görürsünüz.

Tıpkı Aurora'da gördüğünüz ışık ile aynı fikir.

Bu anlamda, cam bir tüpün içinde yapay bir Aurora görüyorsunuz.

Burayı çok karanlık yapmalıyım, çünkü bunun ışığı çok parlak değildir.

Bunu söndürmeliyiz. Bütün bunları söndürmeliyiz. Bunu da söndürelim.

Yakında olanlarınız, tam burada, benim önümdeki kürede, ışığı gerçekten hemen görebilirler. Göremiyorsanız, o zaman oradaki ekranda göreceksiniz.

Böylece bu bir elektron tabancası – benimkini aldığımdan emin olayım.

Kabaca 100 volta ayarladığım bir potansiyel farkına sahip.

Ve burada dönen elektronları görüyorsunuz.

Onlar kabaca saniyede 22 milyon kere dönerler.

Gazın basıncı düşüktür, dolayısıyla bazı elektronlar, gazı iyonize etmeden önce, epeyce dönmüş olurlar.

Delta V'yi değiştirebilirim.

Elektronları hızlandırdığım potansiyel farkını düşürerek, hızı azaltabilirim.

Yarıçap, bu potansiyel farkın kareköküyle orantılıdır.

Böylece şimdi burada görüyorsunuz; potansiyel farkı artırdığımda, yarıçap yükselir.

Şu çemberin güzelliğine bakın ! 0 kesinlikle şaşırtıcıdır. Çok, çok hoş bir gösteri.

Böylece sınıra varırız, yani cam kürenin çapına çok yaklaşırız; yarıçapı daha fazla büyütemeyiz.

.

Şimdi sizinle Faraday Yasasını tartışmak istiyorum. Faraday Yasası çok farklı şekillerde ortaya çıkar.

Faraday Yasası –yine Maxwell denklemlerine gideceğim.

Faraday Yasası, indüklenen EMK'inin eksi d phi / dt olduğunu söyler.

d phi / dt, bir halkaya tutturulmuş açık yüzeyden geçen manyetik akı değişimidir.

Halka beyninizin bir yerinde tasarlanabilir, ya da gerçek bir halka olabilir.

Uzayda herhangi bir halka hayal edebilirsiniz. Bu ifade daima doğrudur.

Böylece indüklenen EMK eşittir – d phi / dt; bu da eşittir - d / dt integral B nokta dA, açık yüzey üzerinden.

Manyetik akıyı değiştirmenin pek çok yolunu düşünebilirsiniz.

Bir yolu, durağan bir halkaya ve değişen manyetik alana sahip olmaktır.

Diğer bir yol, sabit bir B’ye sahip olmak, fakat geometriyi değiştirmektir; halkayı döndürerek veya hareket ettirerek; böylece yüzeyden geçen manyetik akıyı değiştirmiş olursunuz.

Bu gün her ikisine de bakalım. Önce durağan halkayı ele alalım.

Ben bir dersin önemli bir kısmını buna harcamıştım.

Diyelim ki, bu, iletken bir teldir ve büyük R direncine sahiptir.

Bu, tüm telin net direncidir.

Ve burada değişen bir manyetik alanımın olduğunu ve bu yüzey alanının tam burada A olduğunu düşünün.

Manyetik alan tahtaya dik; ve şiddeti B olsun; bu durumda, phi B manyetik akısı açıkça A çarpı B olur.

Dolayısıyla, d phi / dt eşittir A çarpı dB / dt olur.

Geometriyi sabit tutacağımızı hatırlayınız.

O durağan bir sistemdir. Fakat manyetik alanı değiştireceğiz.

Böylece bu manyetik alan değişiyor. Belki, o şimdi tahtadan dışarıya geliyor ve belki de artıyor.

Böylece bu iletken telde bir EMK indüklenir ve bu EMK bu büyüklüğe sahiptir.

Bu, indüklenen EMK’inin büyüklüğüdür.

Böylece geçecek akım, yani indüklenen akım, indüklenen EMK bölü bütün iletken telin direncidir.

Yön asla bir sorun değildir; çünkü hepiniz Lenz Yasasını kullanabilirsiniz.

Hatta buraya bir eksi işareti de koymadığıma dikkat edin; çünkü EMK şüphesiz ki, - d phi/dt’dir.

Buraya bir eksi işareti koyup koymamanız, benim için önemli değil; fakat oraya şu iki çubuğu koyarak, eksi işaretinden kurtulurum.

Çünkü manyetik alan tahtadan dışarı geliyor ve artıyorsa, o zaman Lenz Yasası artışa karşı çıkmak için bu yönde bir akım oluşturacaktır.

Genelde eksi işaretleri kuş beyinliler (!) içindir. Akımın gittiği yön konusunda daima akıl yürütebilirsiniz.

Bu, durağan bir halkaya sahip olduğunuz; yani geometrinin değil de, manyetik alanın değiştiği bir durum.

Şimdi manyetik alanın sabit olduğu duruma geçelim.

Burada bir iletken tele ve örneğin, tahtadan dışarı doğru gelen ve düzgün olan bir manyetik alana sahibiz – akıyı elde etmek için integrasyon yapacağınız zaman, düzgün alan daima iyidir.

Düzgün B alanına sahip olmak daima hoştur.

Ve burada L uzunluklu bir çubuk var. Burada L uzunluğu bu.

Ve çubuğu V hızıyla sağa doğru hareket ettiriyoruz.

Böylece bu çok basit bir durumdur.

V çubuğa diktir. Bu daima işimizi kolaylaştırır.

B alanı, V ve L'nin oluşturduğu düzleme diktir; böylece sahip olabileceğimiz bütün sinüs veya kosinüs tetalar 1 veya 0 olur.

Manyetik alan sabittir; böylece manyetik akı, fi(B), manyetik alan çarpı yüzey alanıdır.

Açılar harika; böylece bu mesafe X ise, bu akı, B çarpı X çarpı L'dir.

Böylece manyetik akı zamanla değişir: d phi B / dt - - dikkat ederseniz, eksi işaretlerini önemsemedim. Eksi işaretlerine ihtiyacım yok.

Bu d phi /dt, oradaki L çarpı B çarpı dX/dt 'dir ; dX/dt hızdır.

Böylece EMK'nin büyüklüğü L B V'dir.

Dolayısıyla indüklenen akım, bu L B V değeri bölü R direncidir; bu direnç, tüm halkanın direncidir. Ne ve nerede olduğu önem değil; fakat bu akımın büyüklüğüdür.

Yön yine kolaydır; tartışmasızdır.

Bu çubuğu sağa hareket ettirirsem, manyetik akı artıyor demektir.

Manyetik alan bu yöndedir; böylece akım, bu değişime karşı çıkacak yönde olacaktır; öyleyse akım bu yönde gidecektir.

Bu indüklenen akımdır ve büyüklüğü budur.

1996 yılında, NASA “urgan” denilen yirmi kilometrelik iletken bir teli mekiğe bağladı; yani L yirmi kilometreydi.

Dünyanın manyetik alanı yaklaşık olarak yarım gauss’tur.

200 mil mesafede bile, o buradakinden pek farklı değildir.

Böylece bu 5 çarpı 10 üzeri eksi 5 Tesladır.

Ve 8.01’den bilmeniz gerektiği gibi, her yakın-Dünya uydusu gibi, mekikler saniyede yaklaşık olarak 8 kilometre hızla uçarlar.

Daha hızlı giderlerse, o zaman dünyanın çekim alanından kurtulurlar.

Böylece dairesel yörüngede, V yaklaşık olarak saniyede 8 kilometredir.

Buradaki hızlarımız ise, birkaç metre/saniye mertebesinde.

Dünya etrafında dönen bu “urgan” için hesaplarsam, L B V ‘yi hesaplarsam, 8 kilovolt elde ederim.

Yine de, ancak B alanı, L V düzlemine dik olursa ve mekiğin hızı telin doğrultusuna dik olursa, ancak o zaman bunun doğru olacağını unutmayın.

Bunların hiç biri bu durumda değildi.

Manyetik alan, V ve L ‘nin oluşturduğu düzleme tam dik değildir.

Gözledikleri değer 3,5 kilovolttu; yaklaşık olarak başarabileceğiniz maksimumun yarısı.

“Vay be, bu çok tuhaf” diyebilirsiniz; çünkü boşlukta iletken bir teli çekerseniz, kapalı devreniz olmaz, böylece yüzey olmadığı için, manyetik akıdan bahsedemezsiniz.

Mekiğin uçtuğu yükseklikte çok az hava vardır; çok az ama vardır ve güneşten gelen ultraviyole ışık nedeniyle çok iyonize olmuştur.

Buna iyonosfer diyoruz. O plazmadır.

Ve böylece telin etrafında, burada ve burada, iletken bir ortama sahip olursunuz.

Böylece akım bu ortamdan geçebilir, bu yoldan ve bu yoldan. Olacak olan, tam da budur. Böylece kesin olarak yolu bilmiyorsunuz.

Ama akım geçecek, böylece siz kapalı halkalara sahip olacaksınız.

Ve böylece manyetik akı değişimi ve bunun sonucu olarak indüklenen EMK hakkında konuşmak anlamlıdır.

NASA'nın çok iyi tahmin edemediği şey akımdı; çünkü bu kapalı halkanın direncinin ne olduğunu tam olarak bilmiyordunuz.

Kablonun direncini biliyordunuz, fakat iyonosfer boyunca akan akımların direncinin ne olduğunu bilmiyorsunuz.

Fakat net sonuç, telde 1 amper kadarlık bir I akımının olmasıydı.

Bu çok trajikti, çünkü bu akım öylesine yüksekti ki iletken tel erimiş ve "urgan" kopmuştu; daha deneyin başlarında "urgan" mekikten ayrılmıştı.

Uzayda hareketsel EMK'ye sahip olduğunuz şahane bir örnektir bu.

Onu evde düşünmenizi istiyorum. Enerji nereden gelmektedir?

Çünkü siz akım üretiyorsunuz. Bir elektrik ampulünü yakabilirdiniz.

Enerji bir yerlerden geliyor olmalıydı. Bunu düşününüz.

Kavramsal olarak ilginç bir sorudur.

Sırası gelmişken web sitesinde sizin için "urgan"a bağlantı verdim.

Yapacağınız tek şey ona tıklamaktır; böylece bu inanılmaz deney hakkında daha fazla bilgi edinirsiniz.

Pekala.

Faraday'ın ekonomimize olan en önemli katkısıyla devam edelim.

Bu, bir akım halkasını, iletken bir halkayı –dikdörtgen şeklinde ya da daire şeklinde olabilir -- döndürdüğümüz durumdur ve bu halkayı omega açısal frekansıyla döndürürüz.

Kolaylık olsun diye, manyetik alanı dümdüz yukarıya doğru alalım.

Bunun üç boyutlu olduğunu varsayalım. Bu benim düşüncem.

Bu kenarın uzunluğu a olsun ve bu kenarınki b.

Böylece bu yönden bakarsanız, sadece çizgi görürsünüz.

B burada açısal omega hızıyla böyle dönüyor. Kısa bir süre sonra burada olacak.

Böylece buradaki bu uzunluk b'dir. Bu uzunluk, b kosinüs teta 'dır.

Ve bu açıya teta diyelim – teta sıfırken, burada T'de onun sıfıra eşit olduğunu var sayalım.

Şüphesiz ki bunu keyfi olarak, yani istediğim gibi, seçebilirim.

Halkanın tüm direnci R olabilir.

Bu halkaya tutturulmuş yüzeyden geçen fi(B) manyetik akısı, B çarpı – bu sabittir, değişmez – a b 'dır; fakat B ile dA arasında nokta çarpım olduğu için, oraya kosinüs tetanın da geleceğini unutmayın. Sonuçta, B çarpı a çarpı b çarpı kosinüs teta bulursunuz.

Böylece bu akıdır. Fakat kosinüs teta zamanla değişiyor.

Teta, sabit olan açısal omega frekansı çarpı T'dir; böylece manyetik akı, a çarpı b kosinüs omega T'dir.

Böylece bunun türevini alırım: d phi / dT = omega B a b sinüs omega T bulurum.

Eğer bu eksi işaretiyle ilgileniyorsanız, onu otomatik olarak koyarsınız; bu konuda yapabileceğim bir şey yok.

Orada bir eksi işareti olacak; fakat onunla pek ilgilenmiyorum.

Fakat madem ki onu söz konusu ettik, hasır-altı etmeyeyim.

Böylece buraya bir eksi işareti koyarım ve şunu +1'e çeviririm.

Bu durumda, indüklenen EMK'i hemen elde etme avantajını sağlamış oluruz.

İndüklenen EMK'nin kendisinin, omegayla doğru orantılı olduğuna dikkat edin.

Böylece halkadan geçecek olan indüklenen akım, indüklenen EMK bölü halkanın direncidir.

İndüklenen EMK omegayla orantılıysa, indüklenen akım da öyledir.

Dolayısıyla, halkayı ne kadar hızlı döndürürseniz, aynı dirençle o kadar daha yüksek akım elde edersiniz.

Hepiniz birer motor yapmıştınız ve ödül töreninde size şunu söylemiştim: Motorunuz ne kadar hızlı dönerse, halkada o denli büyük bir indüklenen EMK oluşur.

Bir manyetik alanınız vardı; Onun, az ya da çok, sabit olduğunu varsayalım.

Şüphesiz ki, sizin durumunuzda alan sabit değildi. Fakat tartışma uğruna öyle olduğunu varsayalım.

Motorunuz döndüğü için, Bay Faraday tarafından oluşturulan omegayla orantılı bir indüklenen akımınız vardı; bu yüzden, motorunuz ne kadar hızlı dönerse, akım da o denli büyük olur.

Ve bu indüklenen akım, bataryanız tarafından üretilen akıma karşı olur.

Kazanan motorla bir gösteri yaptığımı belki hatırlıyorsunuzdur.

Pervaneyi engellemiştim ve pervane blokeyken, yani omega sıfırken, motordan geçen akımın 1,6 Amper olduğunu göstermiştim size.

Basitçe Ohm Yasası. Batarya, voltaj V, direnç R; akım = V / R'dir.

Sonra motoru çalıştırmıştık; akım, anormal bir şekilde tam 40 çarpanıyla azalmıştı !.

Motor çalışıyorken, zaman ortalamalı akım sadece 40 mili-amperdi.

Bunun nedeni, burada gördüklerinizdir.

Bataryadan geçen akıma karşı duran bir indüklenen EMK, bir indüklenen akım elde edersiniz.

L R devreleri.

Oraya da gidebilirim, ama merkez tahtada kalmayı tercih ediyorum; bunlara artık ihtiyacımın olacağını sanmıyorum. Bunu örtebilir miyim? Tamam, çoğunuz onaylıyor.

Orada çalışabilirdim; fakat merkezde kalmayı tercih ettim.

L R devreleri.

L R devreleri ile sıkıntımız var – bizim değil, başka kişilerin – hemen hemen bütün ders kitapları, kolej fizik kitabı, Faraday Yasasını anlamıyor; dolayısıyla konuya yanlış yaklaşıyorlar.

Sıkıntı verici, fakat cevabı bildikleri için, cevapları doğru.

Fakat fizikleri tamamen yanlış.

Web sitesinde Profesör Belcher'in sınavlarına bakarken bulduğum bir problemi ele alacağım.

L R devresi ile ilgili çok hoş bir problemi var. Bunu sizinle birlikte inceleyeceğim.

Bir dalgalı akım güç kaynağımız var: V eşittir V_0 kosinüs omega T.

Frekans 60 hertz. Prizden geliyor.

2 pi F olan omega, yaklaşık olarak saniyede 377 radyan.

Bu durumda V_0, 100 volt.

Burada öz-indüktörümüz var ve burada bir elektrik ampulümüz var.

Elektrik ampulü 100 ohm'luk bir dirence sahip. Ve bu öz-indüktör değişken.

Henüz nasıl değişken bir öz-indüktör yapabileceğimizi bilmiyoruz; fakat çok kısa sürede öğreneceğiz; gelecek derste, ya da gelecek hafta; hatırlamıyorum.

Bu öz-indüktör belli bir bölge içinde arttırılabilir.

Profesör Belcher'in sorduğu ilk soru şu: Bu elektrik ampulündeki enerji kaybı nedir?

E nokta dL'nin kapalı halka entegrali sıfır değildir; çünkü Kirchhoff'un halka kuralı burada geçerli değildir.

Bir öz-indüktör vardır.

Eğer bu kapalı halkaya bir açık yüzey tuttursanız, oradan geçen bir manyetik akı olacaktır; böylece orada üçüncü denklemle uğraşmalısınız.

Ders kitabınız ne söylerse söylesin, Faraday Yasasıyla uğraşmalısınız.

Kirchhoff'un halka kuralı geçerli olmaz.

Eğer bunu doğru bir şekilde yaparsanız; fizikten anlamayan insanların bulduğu denklemle aynı olan doğru diferansiyel denkleme ulaşırsınız.

Onlar bir şeyleri öyle bir şekilde sokuştururlar ki, aynı cevabı elde ederler.

Benim cevabım şudur: Bu voltajın, bu değişken voltajın bir sonucu olarak geçecek olan akım, bir maksimum değer çarpı kosinüs(ω t – φ) olur.

Maksimum akımın kendisi, V_0 bölü karekök $R^2 + (\omega L)^2$'dir.

Ve tanjant φ , ω L bölü R'ye eşittir.

Derslerimden birinde, buna epeyce zaman harcamıştım.

Böylece öz-indüktörde – kuşkusuz dirençte de – geçecek maksimum akım, omegaya ve L'ye bağlı olacaktır.

Profesör Belcher, problemine L = 0 ile başlar ve sonra sorar: Bu elektrik ampulündeki güç kaybı nedir?

L = 0 ise, bu terim yoktur; basitçe Ohm Yasasına sahipsiniz: I = V_0 / R olur.

Böylece $I_{maks} = \frac{100}{100} = 1\ Amper$ olur.

Fakat bu durumda, sizi hıçkırtacak bir şey sorar: Şimdi bu elektrik ampulündeki zaman ortalamalı güç kaybı nedir?

Hatırlayacaksınızdır ya da hatırlamalısınız; eğer elektrik ampulünden geçen akım I ve ampulün direnci R ise, ampuldeki güç kaybı $\frac{1}{2}I^2R$ ‘dir.

Direncin akımdan bağımsız olduğunu, sıcaklıktan bağımsız olduğunu varsayacağız.

Fakat I zamanla cosinüsoidal tarzda değişiyor.

Böylece bu kez, kosinüs kare omega T fonksiyonunun zaman ortalamasını hesaplamak zorundasınız.

Ve kosinüs kare ya da sinüs kare omega T fonksiyonunun zaman ortalaması daima 1/2 ‘dir.

Bunu elde etmek için beş dakika harcamaktansa, bunu hatırlayın yeter

Ve böylece bu zaman ortalamalı güç kaybı, $\frac{1}{2}\ \text{çarpı}\ I_{maks}{}^2\ \text{çarpı}\ R$ olacaktır

HAYIR, HAYIR, affedersiniz – başa dönüyorum – Dirençte kaybolan enerji I^2 R ‘dir, $\frac{1}{2}I^2$ R değil.

O, I^2 R’dir.

Kosinüz kare fonksiyonunun zaman-ortalaması nedeniyle orada bir bölü iki elde ederim.

Ve şimdi o çok kolay.

I_{maks} 1 Amper’dir; R = 1o0 ohm’dur ve kosinüs kare fonksiyonunun zaman-ortalamasından gelen bu ½ çarpanı – φ hiçbir iş yapmaz – ve böylece 50 watt elde edersiniz.

Profesör Belcher, bu cihaza “ışık kısıcı” adını vermiştir.

Şimdi L’yi 300 millihenri’ye yükseltecek.

Böylece L, 300 milihenry olacak.

300 milihenride, omega L = 113 ohm’dur.

Yani, 300 kere 10^{-3} henri ile 377 radyanı çarptım; 113 ohm eder.

Şimdi zaman-ortalamasından gelen bu ½ ile I_{maks}’ı çarpacağım; I_{maks}’ta (omega L)^2 yerine (113)^2 + R^2 yerine (100)^2 koyarım, böylece I_{maks} = 0,67 Amper çıkar.

Onu şu denkleme yerleştiririm; gücü, 22 watt kadar bulurum.

Işık kısıcı'nın yaptığı, işte budur.

Böylece öz-indüktansı açarsınız ve ışığınız kısılmış olur.

Şimdi çok derin, çok derin, belki de nahoş, kavramsal bir soru.

İnsan neden öz-indüktanslı bir ışık kısıcı yapmak ister ki?

Neden buraya değişken bir reosta koymaz ve sonra onu yukarı kaydırmaz, öyle ki reosta sıfırken, akım 1 Amper olsun, böylece 50 watt elde etsin, fakat sonra akım 0,67 amper'e düşünceye kadar reostayı arttırsın, o zaman ampul saniyede 22 Joule yayacaktır.

Buraya neden değişken bir reosta koymayıp, değişken bir öz-indüktans koyarsınız?

Eğer bu soruyu yanıtlarsanız, zaten 8.02'de derin bir kavrayışa sahip oldunuz demektir.

Gelecek derste bunu sormayacağıma söz veriyorum, ancak finalde soracağım.

Yer değiştirme akımı.

Yer değiştirme akımı, daima biraz problemlidir; şu anlamda ki, yer değiştirme akımıyla yapabileceğiniz çok problem yoktur.

Bu yer değiştirme akımı, işte bu terimdir; Amper Yasasına bunu Maxwell eklemiştir.

8.02'de bu aşamada düşünebileceğim tek uygulama, derslerim esnasında üzerine basa basa işlediğim şu uygulamadır.

Düz kapasitör diskleriniz var. Bunlar dairesel plakalar.

Kapasitörü ya yüklersiniz ya da boşaltırsınız; ve şimdi, bu yasayı kullanarak, kapasitör plakaları arasındaki manyetik alanın ne olduğunu hesaplayabilirsiniz.

Size ders notlarınızı okumanızı ya da web sayfasından dersi yeniden izlemenizi öneririm. Ders web'dedir.

Sınava gelmeden önce, bazı babacan önerilerdi bunlar.

Size konuyu tamamen anladığınızdan emin oluncaya kadar, problemi en az iki kere okumanızı tavsiye ediyorum.

Hızlı okursanız, bazen yanlış okumuş oluyorsunuz – en azından, benim başıma geliyordu bu.

Önce daha kolay soruları yapmanızı tavsiye ederim.

Sizin için en kolay olan, sizin için en kolay olmayabilir.

Fakat önce sizin için kolay olanı yapın.

Takıldığınız bir soruda, asla 10 dakikadan fazla zaman harcamayın.

Zamanınızı aldığını anlar anlamaz, hemen onu bırakın ve diğer bir probleme geçin.

Bugünden ve o güne kadar ihtiyacınız varsa, asistanınızı görmenizi tavsiye edeceğim.

Asistan yardımcısını da görebilirsiniz. Bu öğleden sonra ofisimde olacağım.

Bugün elimden geldiğince size zaman ayıracağım.

Yarın öğleden sonra, gelecek haftanın gösterisini hazırlamak üzere, bu salonda olacağım; dolayısıyla yarın boş değilim.

Size iyi şanslar diliyorum ve gelecek derste görüşürüz.