



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 21

Dün 225 motorumuz vardı ve onlardan altı tanesi 2000 DBD (Devir Bölü Dakika)'dan daha hızlı çalışmışlardı, ki bu da makul bir başarıdır.

Ve işte seçilmişler.

Buradakiler seçilmiş olanlar, en yüksek altı tane.

Kazanan Jung Eun Lee'dir; dün gece onunla telefonla konuşmuştum.

Her şey yolundaysa, o burada. Burada mısın? Neredesin? İşte oradasın.

Seni bizzat tebrik edebilmem için neden buraya gelmiyorsun?

Bir süre ödül hakkında düşündüm ve sana özellikle yüksek teknolojili olmayan bir şey vermeye karar verdim. Ancak buraya gel, bana bir Avrupalı öpücüğü ver ve bir tane daha – Avrupa'da biz üç kere öperiz.

Tamam. Oh, sana vereceğim hediye Galileo zamanlarından kalan bir termometredir—gel buraya.

Onyedinci yüzyılın başlarında tasarlanmış bir alet.

Onun nasıl çalıştığını anlatmak için 8.02 bilgisine gerek yok.

Gerekirse, 8.01'e ihtiyaç olur. O sayısal bir termometre değil.

1 santigrat dereceye kadar doğru gösterir. Ve buraya gelersen, söyleyebilirsin, bu yüzen şeylere bak ve en yüksekte yüzen ısıyı gösterir.

O burada 72 derece.

Gelecek hafta onun nasıl çalıştığını izah edebilesin diye, sana 8.01'deki bilgilerini tazelemeni tavsiye ediyorum.

Ve elbette bundan torunlarınıza bahsedin.

Onu burada da bırakmak isteyebilirsin. O çok kırılıgandır.

Oh, onu kırılmadan eve götürebilesin diye, burada biraz paketleme malzemesi var.

Böylece yeniden tebrikler ve elbette mükemmel.

Ve nisanın on üçünde diğer beş kazananla birlikte akşam yemeğinde bize katılacaksın. Çok teşekkürler.

Söz etmek istediğim çok özel iki kişi daha var.

Birisi 8.02'ye kaydolmamış bir kişi, fakat o son derece iyi şeyler yaptı ve çok cömertti.

O yarışmıyordu. Onun adı Daniel Wendel'dir.

Onun motoru 4900 DBD yaptı.

Ve sonra Tim Lo vardı. Tim Lo dinleyiciler arasında mı?

Umarım Tim saat on birde aranızda olur.

Tim bir motor yaptı. Ona baktığımda, kendi kendime bu asla çalışmaz dedim, ama o öyle güzeldi ki.

O öylesine artistikti ki, biz en artistik motor için yeni bir ödül, ikinci bir ödül koyduk. Ve Tim Lo kesinlikle büyük bir farkla en güzel, en muhteşem artistik tasarımı yapmıştı.

Ve onun için güzel sanatlardan bir kitap satın aldım –böyle güzel bir motor inşa eden birisi için başka ne alınabilirdi ki?

Daha sonra onu görmek isteyenleriniz için, o burada duruyor.

Onu televizyonda sergilemek çok zor, çünkü o çok hassas.

O alınmış değil, kurulmuş bir kafes gibidir, tıpkı bir kuş kafesi gibi.

O çok hoş.

Kazanan motor buradadır; onu size göstereceğim. Kazanan motoru size gösterirken, size biraz fizik de öğretmek istiyorum; bir bakıma hiç düşünmediğiniz.

Kazanan motor budur.

Ve bu motoru çalıştırdığımızda, akım halkasının ohmik direnci son derece düşüktür.

Bu yüzden onu güç kaynağınıza bağladığınız anda, çok yüksek bir akım geçecektir.

Fakat motor dönmeye başladığı anda, bu halkalarda sürekli bir manyetik akı değişimi olur. Böylece şimdi sistem kendisiyle mücadele edecek ve derhal akımı kesecektir. Bu Faraday yasasının başka bir çarpıcı örneğidir.

Dönmesin diye çarkı bloke ettiğimde, bu motorun akımını size göstereceğim.

O 1,6 amper civarındadır.

Bu motoru çalıştırdığım anda akım büyük miktarda düşecek; işte o anı göreceksiniz.

Bu Faraday yasasının çarpıcı bir örneğidir.

Şimdi önce size bu akımı göstermeliyim; böylece burada 1,5 volt görüyorsunuz ve sağda akımı görüyorsunuz.

Şimdi akan akım yok, çünkü halka öyle bir şekilde asılıdır ki batarya ile temasta bulunmaz.

Ve onu yapmaya çalışacağım – işte oldu. Sağ taraftaki 1,6 amperi görüyor musunuz?

Akım öyle yüksek ki, güç kaynağının iç direnci nedeniyle voltaj da düşer.

Fakat 1,6 amperi gördünüz, değil mi?

Şimdi motoru çalıştıracam.

Görüyorsunuz, motor şimdi çalışıyor ve şimdi akıma bakın.

Şimdi akım 40 miliamper, 30 miliamper, 50 miliamperdir.

Çarkı bloke ettiğim zamankinden 40 kez daha düşük.

Bir motorunuz varsa, hangi türden olursa olsun -- bir matkap da olabilir --, onu aniden bloke etmeyi denememenizin nedenlerinden biri budur; çünkü çok büyük bir akım geçecek ve motora gerçekten hasar verebilecektir.

Dolayısıyla, motorun çalışması ya da çalışmaması arasında, burada akımın 40 faktörü ile düştüğünü görüyorsunuz.

Pekala.

Elektrik alanları maddelerde elektrik dipolleri indükleyebilir; moleküllerin ve atomların kendi başlarına değişmez elektrik dipolleri olmaları durumunda ise, bir dış elektrik alanı onları sıraya dizmeye çalışacaktır.

Daha önce, dielektrikleri incelerken, bunu ayrıntılı bir şekilde tartışmıştık.

Başarı derecesi, bütünüyle dış elektrik alanının ne kadar güçlü olduğuna ve sıcaklığa bağlıdır.

Sıcaklık düşükse, çok küçük ısıl çalkalanmalarınız olur. O zaman bu dipolleri sıraya dizmek daha kolaydır.

Manyetik alanlarla da benzer bir durum söz konusudur.

Eğer bir dış manyetik alanım varsa; bu, maddede manyetik dipoller indükleyebilir.

Bu, atomik ölçekte manyetik dipoller indükler.

Şimdi atomların ve moleküllerin kendileri değişmez bir manyetik dipol momentine sahip olmaları halinde, bu dış manyetik alan bu dipolleri sıraya dizmek için harekete geçecektir. Başarı derecesi dış alanın şiddetine ve yine sıcaklığına bağlıdır.

Sıcaklık ne kadar düşük olursa, onları sıraya dizmek de o kadar kolay olur.

Dolayısıyla madde dış alanı değiştirir.

Bu dış alana, bugün daha çok boşluk (vakum) alanı denmektedir.

Böylece bir boşluk alanına madde getirdiğimizde, alan değişir.

İç alan, dış alandan, yani boşluk alanından farklıdır.

Önce size manyetik dipol momenti tanımlamamızı hatırlatmak istiyorum.

Nasıl tanımlandığı, aslında oldukça basittir.

Eğer bir akımım varsa – çember olmak zorunda değil; bir halka ya da kare olabilir – ve akım bu yönde akıyorsa, görüldüğü gibi saat yönünde ve bu, A alanı ise; o zaman manyetik dipol momenti basitçe akım çarpı A alanıdır.

Fakat biz A'yı, A vektörünü, sağ-el tirbuşon kuralına göre tanımlarız.

Aşağıdan saat yönünde gelirim, yüzeye dik olan A vektörü yukarıya doğru olur.

Böylece, normalde mü ile gösterdiğimiz manyetik dipol momenti, yukarı doğrudur.

Bu, bir A vektörüdür ve sağ-el tirbuşon kuralına göre, yüzeyin normalidir.

Bu halkalardan N tane varsa, o zaman manyetik dipol momenti N kere daha büyük olacaktır.

Ayrıca onların hepsi aynı yönde olurlarsa, birbirlerini destekleyeceklerdir.

Sizinle önce diyamanyetizmayı tartışmak istiyorum. **Diyamanyetizma.**

Bir dış manyetik alana maruz bıraktığınızda, tüm maddeler bir dereceye kadar bu dış alana karşı duracaklardır.

Ve atomik ölçekte dış alana karşı gelecek şekilde bir EMK üreteceklerdir.

Şimdi, “evet, tabii ki Lenz Yasası” diyeceksiniz.

Yanlış. Bunun Lenz Yasası ile ilgisi yoktur.

Değişen bir manyetik alanın varlığı halinde, girdap akımları üreten iletkenlerdeki serbest elektronlarla ilgisi yoktur bunun.

Ben değişen bir manyetik alandan söz etmiyorum; sürekli bir manyetik alandan bahsediyorum.

Böylece, sürekli bir manyetik alan uygularsam, tüm maddelerde, bu alana karşı duracak bir manyetik dipol momenti indüklenir.

Bunu 8.02 ile anlayabilmenin hiç bir yolu yoktur. Bu sadece kuantum mekaniği ile anlaşılabilir.

Dolayısıyla bunu yapmaya hiç girişmeyeceğiz; sadece bunu kabul edeceğiz.

Bu yüzden maddedeki manyetik alan, dış alandan her zaman biraz daha küçüktür. Çünkü dipoller dış alana zıt olacaktır.

Şimdi paramanyetizmadan bahsedeceğim. **Paramanyetizma.**

Bir çok madde vardır ki, onlarda atomların ve moleküllerin kendileri bir manyetik dipol momentine sahiptir. Böylece atomların kendilerini ya da molekülleri birer küçük mıknatıs gibi düşünebilirsiniz.

Eğer dış alanınız, yani boşluk alanınız yoksa, bu dipoller tamamıyla düzensiz bir şekilde yönlendirilmişlerdir ve böylece net manyetik alan 0'dır.

Bu yüzden, bu maddeler kalıcı mıknatıslar değildir.

Fakat onları bir dış manyetik alana maruz bıraktığınız anda, bu manyetik alan onları düzene sokmaya çalışacaktır.

Ve başarı derecesi bu alanın şiddetine ve sıcaklığa bağlıdır.

Sıcaklık ne kadar düşük olursa, bu o kadar kolay olur.

Böylece, diyelim ki bir manyetik alanınız vardı, diyelim ki böyle – bu sizin B alanınız, bu sizin boşluk alanınız – ve oraya bir paramanyetik madde getirdiniz, o zaman kuzey kutbun birazcık bu yöne gitme eğilimi vardır.

Böylece bu atomik mıknatıslar, ortalama olarak, birazcık bu yönde bir kuzey kutup oluşturmaya çalışırlar.

Ya da ben manyetik dipol momentlerinin dilini konuşursam, o zaman manyetik dipol birazcık bu yönde gitmeye çalışır.

Eğer paramanyetik maddenin dış alanını kaldırırsam; derhal bütünüyle tam bir karmaşa olur ve bu yüzden geriye manyetizma falan kalmaz.

Paramanyetik maddeyi düzgün-olmayan bir manyetik alana getirirsem, bu madde, alanın güçlü tarafına doğru çekilecektir.

Ve bunun nasıl işlediğini görmek çok kolaydır.

Burada bir mıknatısımın olduğunu varsayalım ve bu mıknatısın kuzey kutbu ve bu da güney kutbu olsun.

Böylece manyetik alan, bunun gibi bir şeydir.

Tam buraya dikkat edin, o hiç düzgün değildir.

Oraya biraz paramanyetik madde getirelim. Diyelim ki –orada sadece bir tek atom olsun.

Çizeceğim şey, ölçekli değil.

İşte bir tek atom ve bu tek atom şimdi paramanyetik; kendi manyetik dipol momentine sahiptir.

Bu manyetik dipol momenti, şimdi, alanı desteklemek için bu yönde düzenlenmek ister.

Alan, onu bu yönde itmeye çalışır.

Onun bu yönde olduğunu farz edelim.

Böylece yukarıdan bakarsak, o zaman bu atomdaki ya da bu moleküldeki akım bu yönde akar.

Yukarıdan görüldüğünde, saat yönünde akıyor.

Bu, dış alanda bu atomun veya bu molekülün ideal yönelimi olacaktır.

Bu akım halkası çekilecektir – o mıknatısa doğru gitmek isteyecektir.

Buradaki bu noktaya bakalım.

Bu nokta, yani akım tahtanın içine doğru gidiyor. İşte bu, **I** akımı.

Manyetik alan böyledir, dış manyetik alan böyledir.

Öyleyse, Lorentz kuvveti hangi yöndedir?

O daima **I** çarpı **B** yönündedir. Ve **I** çarpı **B** bu yöndedir.

Bu Lorentz kuvvetinin yönüdür.

Böylece tam burada, halka üzerinde bu yönde bir kuvvet vardır.

Dolayısıyla, tam burası, halka üzerinde bu yönde bir kuvvet vardır; akım halkası üzerinde.

Bu halka üzerinde her yerde bu şekilde yönelmiş bir kuvvet vardır ve böylece açıkça yukarıya net bir kuvvet vardır.

Ve dolayısıyla, bu metal mıknatısa doğru gitmek ister.

Buna başka bir bakış yolu şudur: Bu akım halkası kendi başına küçük bir mıknatıstır; onun güney kutbu burası ve kuzey kutbu orasıdır; çünkü manyetik dipol momentinin yönü budur.

Ve kuzey kutup güney kutbu çeker.

Bu, ona farklı bir bakış yoludur.

Mıknatısların birbirlerini çekmesinin; kuzey ve güney kutuplarının birbirlerini çekmesinin ve kuzey ve kuzey kutuplarının birbirlerini itmesinin nedeni budur.

Nedeni, tam olarak budur.

O, akan akımdır; çekme ya da itme kuvvetine neden olan Lorentz kuvvetidir.

Böylece paramanyetik madde, bir mıknatıs tarafından çekilir.

Önemli olan, bu alanın düzgün olmamasıdır.

Diyamanyetik madde, kuşkusuz itilecektir; güçlü alandan öteye itilecektir, çünkü diyamanyetik maddede bu akım zıt yönde akar; çünkü o dış alana karşı durur; oysa ki paramanyetizma onu destekler.

Üçüncü bir manyetizma daha vardır; bu da **ferromanyetizmadır**. Aslında en ilginç budur.

Ferromanyetizma halinde, yine atomların kendileri kalıcı dipol momentlerine sahiptir.

Fakat şimdi ancak kuantum mekaniğiyle anlaşılabilen çok gizemli nedenlerden dolayı, dipollerin yüzde yüz sıraya dizildiği küçük bölgeler vardır; bu bölgeler yaklaşık bir milimetrenin 1/10'u, belki bir milimetrenin 3/10'u boyutlarına sahiptir.

Ve bir yönde olan bu dipoller, bölgeler, ferromanyetik madde boyunca düzgün olarak dağılmıştır ve böylece hiç net manyetik alan olmayabilir.

Bu bölgelerin bir krokisini yapmaya çalışırsam, bunun gibi bir şey olur, belki de bütün bu dipoller bu yönde yüzde yüz sıraya dizilmiştir; fakat örneğin burada onların hepsi bu yönde sıraya dizilmiş olacaktır.

Ve böyle bir bölgede içerilen atomların sayısı, tipik olarak 10 üzeri 17'dir; 10 üzeri 21 atoma kadar da yükselebilir.

Eğer şimdi bir dış alan uygularsam, bu bölgeler manyetik alan yönünde gitmeye zorlanacaklardır ve elbette başarı derecesi dış alanın, vakum alanının şiddetine ve sıcaklığa bağlıdır.

Sıcaklık ne kadar düşük olursa, başarı o kadar iyi olur. Çünkü o zaman daha az ısıl uyarma söz konusudur; ısıl uyarımlar, kuşkusuz, tüm sürece belli bir rastgelelik katar.

Bu yüzden bir dış alan uyguladığımda, bu bölgeler bir bütün olarak dönebilirler.

Ferromanyetik madde içindeki manyetik alan, boşluk alanından binlerce kez daha güçlü olabilir.

Bugün bunun bazı örneklerini göreceğiz.

Paramanyetizma halinde, dış alanı kaldırdığınızda, yine tam bir dipoller karmaşası elde edersiniz.

Ferromanyetizma halinde bu zorunlu değildir.

Bu bölgelerin bir kısmı, dış alanın onları zorladığı yönde dizilmiş kalabilirler.

Bu dış alanı çok özenli bir şekilde kaldırırsanız, kuşkusuz bazı bölgeler sıcaklık nedeniyle geri dönecektir -- daima ısı uyarma vardır.

Bazıları yönelmiş olarak kalabilir; dolayısıyla madde, bir kez dış manyetik alana maruz kalınca, sürekli manyetik hale gelebilir.

Bu kalıcı manyetik alanı kaldırabilmeniz tek yolu, bir çekiç ile ona vurmanız olabilir o zaman, elbette, bu bölgeler çok sınırlenecekler ve kendilerini rastgele hale getireceklerdir.

Ya da onları ısıtabilir ve böylece bölgelerin yönünü bozabilirsiniz.

Bölgelerin kendileri kalacaktır; fakat bu bölgeler öyle rastgele yönelirler ki, ortalamada kalıcı manyetik alan sıfır olur.

Düzgün-olmayan bir manyetik alan halinde, paramanyetizma hangi nedenle güçlü alana doğru çekiliyorsa; ferromanyetizma da kuşkusuz, aynı nedenle güçlü alana doğru çekilecektir. Ferromanyetizma halinde şu fark vardır: ferromanyetik maddeyi mıknatısa doğru çeken kuvvetler, paramanyetik haldekilerden çok daha büyüktür.

Bir ataç alırsanız – bunu evde yapabilirsiniz, mıknatısının güney kutbuna veya kuzey kutbuna bir ataç tutturabilirsiniz – hepinizin motor kit'inde mıknatıslar vardı, dolayısıyla bunu evde deneyebilirsiniz. Bir ataç alın ve onu mıknatısa iliştin.

Hangi tarafına iliştiğinizin bir önemi yoktur; çünkü ferromanyetik madde daima güçlü alana doğru çekilir.

Oraya şu ataçlardan bir kaçını iliştin ve sonra çok dikkatlice onları yavaşça oradan alın – henüz çekiçle vurmayın – ; gerçekten, onları oradan aldıktan sonra ataçların kendilerinin de birer mıknatıs olduklarına dikkat ediniz.

Gerçekten onları birbirine iliştirip küçük bir zincir yapabilirsiniz.

Fakat birkaç kere onları yere düşürürseniz, bu mıknatıslık yok olacaktır.

Böylece tanıklık ettiğiniz şey, şu bölgelerin bazılarının sizin dış alanınız yüzünden yönelmiş halde kalacağıdır.

Paramanyetizmayla, paramanyetik maddeyi bir mıknatıs üzerine asabilmeniz, pek çok koşulda, bir yolu yoktur.

Bir istisna var. Bu istisnayı bugün daha sonra göstereceğim size.

Bunun nedeni, paramanyetik maddede içerilen kuvvetlerin, genelde, maddenin kendi ağırlığının sadece yüzde birkaçı olmasıdır.

Dolayısıyla, bir parça alüminyum alırsanız ve bir mıknatısınız varsa, alüminyum mıknatısa tutunmayacaktır.

Bir kuvvet vardır.

Alüminyum mıknatıs tarafından çekilecektir; ancak kuvvet, alüminyumun ağırlığından çok küçüktür. Bu yüzden, bir mıknatıs ferromanyetik maddeleri toplayabilir, ama paramanyetikleri toplayamayacaktır.

Böylece yapacağım şey, bir çubuk mıknatıs alıp ataçların buna nasıl asılı kaldığını size göstermektir.

Ayrıca, alüminyumun ise bu mıknatısa asılı kalamayacağını göstereceğim.

Bunu çok heyecan verici bulmayacaksınız.

Dolayısıyla farklı bir gösteri deneyine karar verdim; amacım, düzgün-olmayan bir manyetik alana sahip olmam koşuluyla, ferromanyetik maddelerin güçlü manyetik alana doğru büyük kuvvetlerle çekildiklerini göstermektir.

Bunu, bu ferromanyetik madde parçasıyla gerçekleştireceğim.

Bu ferromanyetik madde parçası aslında oldukça ağırdır.

Ne kadar ağır olduğunu sınıfa siz söyleyeceksiniz.

Çok dikkatli olun. Ne düşünüyorsunuz?

Oh! İyisiniz!

Tekrar yapın!

O, on beş kilogramdır.

On beş kilogramlık ferromanyetik madde. O bir kalıcı mıknatıs değil.

Kuşkusuz biraz sürekli mıknatıslık kalabilir; çünkü ferromanyetik maddeyi bir kere bir dış alana maruz bıraktınız mı, biraz sürekli manyetizma kalmış olabilir.

Böylece şimdi bunu tutacağım – önce Galileo termometresine bir şey olmayacağını garanti edelim. Böylece bunu buraya koyacağız.

Sıcaklığın ne olduğuna bakın – oh, yükseliyor.

Burada terliyor olmalıyım. 74 derece.

Tamam, işte mıknatısım, yaklaşık 320 gauss üretiyor.

Fakat önemli olan, manyetik alanın burada ve de burada düzgün olmadığıdır.

Ve böylece mıknatısı çalıştıracacağım – sanırım burada bir düğmeye basmam gerek.

Şimdi yapacağım ilk şey, bu mıknatısı güç vermektir.

Bu bir solenoiddir.

Buraya elimi koyuyorum, elim paramanyetiktir, içine çekilmiyor.

Gerçekten çekilmiyor. Bir şey hissetmiyorum.

Kuvvet yok – hatta hiçbir şey hissetmiyorum.

Fakat ben ferromanyetik değilim, Tanrıya şükür .

Şimdi de bu parça.

Fışşt, on beş kilogram, tıpkı böyle içeri çekildi.

Çok şanslıyım; o çok ileri gittiği takdirde, geri gelmek ister, çünkü o daima en güçlü alana doğru çekilir.

Ona burada veya orada sahip olmanız önemli değil.

Şanslı olmamın nedeni şu: şanslı olmasaydım, bu on beş kilogramlık çubuk buradan bir kurşun gibi bana doğru gelirdi.

Yapılmayacak bir şey var; o da, çubuk oradan içeri gittiği zaman, akımı kesmemektir; yoksa o çubuk bir kurşun gibi dışarı gelir.

Bunu yapmayacağım, inanın bana.

Fakat bunu size göstermek istiyorum – işte gidiyor.

Şaşılacak şey, ferromanyetik madde.

Ahhh. Tamam.

Böylece ferromanyetik madde; muazzam bir kuvvet var.

Büyük gradiyene sahip bir alanınız varsa, yani hiç mi hiç düzgün değilse; çekilir, en şiddetli alan tarafına doğru çekilir.

Bu nedenle ataç, mıknatıslara yapışır.

Temel düşünce budur.

Başka bir gösterim daha var.

Bu gösteri deneyi, pek temiz-olmayan bir yoldan manyetik bölgeleri bir tür görmenizi sağlamaktır.

Neden temiz olmadığını söyleyeyim.

Burada sekizer sekizer dizilmiş manyetik iğneler var, pusula iğneleri.

Onları orada göreceksiniz. Işıklar daha iyi olsun diye, durumu değiştireceğim.

Bir dış manyetik alan ile oraya doğru birazcık ilerlediğimde, sadece biraz sokulup beklediğimde; bu manyetik iğnelerin aynı yöne yöneldiği bölgeler göreceksiniz ve farklı bir yöne yönelmiş bölgeler.

Sadece ona biraz fırsat verin.

Böylece bu size, ferromanyetik maddede bölgelerin oluşum yolunun bu olduğunu düşündürebilir.

Aslında şimdi burada neredeyse hepsinin bu yönde dizildiği bir durum söz konusu ve sadece şurada bir grup bu yöne yönelmiş.

Kuşkusuz, manyetik alanı değiştirerek, bu durumu değiştirebilirim.

Bu, gerçekten bölgelerin niçin var olduklarına sizi ikna edecek temiz bir gösteri değildir.

Her şeyden önce burada ısı uyarma yoktur; oysa ferromanyetik maddede ısı uyarma vardır. Bazıları böyle yönlendirilebilir ve diğerleri şöyle; burada sadece iki tercihli yönünüz var.

Bunun için kuantum mekaniğine ihtiyacınız yoktur; sadece minimum enerjiyi göz önüne almanız yeter.

Onlar ya böyle yönlendirilirler ya da böyle; bu bile, bunun ferromanyetizmadan çok farklı olduğunu gösterir.

Onu size göstermemin nedeni şudur: Bu gene de size, çeşitli yönlendirmelerin olduğu ve bunların gruplar halinde ortaya çıktığı ilginç fikrini verir.

Gruplar sıkı sıkıya birbirlerine tutunurlar ve hepsi aynı yönde değildir.

Ancak söylediğim gibi, ferromanyetik maddede bölgelerin neden var olduğunu bununla açıklamak gerçekte iyi bir yöntem değildir.

Aha, şimdi yine görüyorsunuz; burada çok hoş bir düzenlenme var ve diğerleri burada çok farklı yöndeler.

Evet, temel fikir oradadır.

Bu çok hoş bir gösteridir; ancak size aslında ferromanyetizma ile ilgisi olmayan bir şey gösterir.

Benim en sevdiğim, kesinlikle en çok sevdiğim bir gösteri deneyi ile, size bu bölgelerin tersine-çevrilme seslerini dinlettirebilirim.

Bu bobinin içinde ferromanyetik bir malzemem var.

Burada bir bobinim var ve buraya içeriye bir ferromanyetik madde koyacağım.

Burada bir hoparlör var – ayrıca bir amplifikatör; buna bir ampflikatör deyin.

Ve bu bir hoparlör.

Önce burada ferromanyetik madde olmadığını varsayalım.

Gösteriyi böyle başlatacağım.

Buna bir mıknatıs ile yaklaşıcağım; çok hızlı yaklaşıcağım.

Vıhışşşt; ne olacak?

Faraday diyecek ki: “Oho, burada bir manyetik akı değişimi söz konusu; dolayısıyla bu bobinde bir EMK olacak”.

Bu, bobinde bir akım, indüklenen bir akım olacaktır anlamına gelir.

Ve bu ses amfi.de yükseltilecek ve siz bir gürültü duyacaksınız.

Bunu duyacaksınız.

Bununla beraber, çok yavaş gelirim, bir şey duymayacaksınız; çünkü hareketimin zaman ölçeği çok büyük olacağı için, $d\phi/dt$ o kadar düşük olacak ki, hiç akım duymayacaksınız.

İndüklenen akım önemsiz sayılacak kadar küçüktür.

Çünkü indüklenen akımın indüklenen EMK'ye orantılı ve indüklenen EMK'nin manyetik akının zaman değişimiyle orantılı olduğunu hatırlayınız.

Mıknatısı bobine çok yavaş yaklaşıtırsam, akı değişimi de çok küçük olur.

Şimdi ferromanyetik maddeyi koyacağım ve mıknatısı çok yavaş yaklaşıtıracam.

Bir süre sonra bölgelerden bazıları *kluk*, *kluk* yapacak.

Fakat bölgeler tersine-çevrildiklerinde, maddenin içinde bir manyetik akı değişimi olur; böylece manyetik akı değişimi $d\phi/dt$ demektir ve bunun zaman ölçeği son derece kısadır.

Böylece şimdi bir EMK elde edersiniz; telden bir akım geçer ve hoparlörlerde bir kırılma sesi duyarsınız.

Ters-çevrilen her bölge grubu için, bunu duyarsınız.

Düşünürseniz, bu şaşırtıcı bir şeydir. 10 ya da 20 kadar atom ses çıkaracak ve siz de bu *kluk* sesini duyacaksınız.

Burada yapmak istediğim şey işte bu; bunu birkaç adımda yapacağım. Önce ferromanyetik maddem yokken, gürültüyü duyurmaya çalışacağım – İşte bobinim.

Bu çok küçük bir bobin.

Ve işte bir mıknatıs.

Bobine çok hızlı yaklaşıyorum.

Şimdi duyduğunuz şey, Faraday Yasasıdır.

Siz sadece bobinde bir manyetik akı değişimi yaratırsınız – oh, ona dokunmamalıyım.

Şimdi çok yavaş geliyorum ve çok yavaş geri gidiyorum.

Bir şey duymuyorsunuz. $d\phi/dt$ çok düşük.

Şimdi ferromanyetik madde koyacağım. Onu bobinin içine koyuyorum.

Ve şimdi yine ona yaklaşıyorum. Çok yavaş.

İşte başlıyor.

Onları duyuyor musunuz? Şunlar çevrilen bölgeler.

Mıknatısın diğer ucuyla yaklaşıyorum. İşte bölgeler çevriliyor.

Bu şaşırtıcı değil mi?

Atomların çevrilişini duyuyorsunuz, atom gruplarının.

Onu yeniden döndürecekim. Şimdi onlar geri çevrilirler.

Onlar bundan hoşlanmazlar; fakat bu onları problemi.

Buna Barkhausen etkisi deniyor.

10 ile 20 kadar atomdan oluşan atom gruplarını duymanızı gerçekten şaşırtıcı buluyorum. Onlar tersine-çevrilirler ve bunu yaparken ferromanyetik madde içinde, bobin tarafından hissedilen bir manyetik akı değişimi olur ve bir akım duyarsınız.

Bunu hızlı yaparsam; ah,,, bu, bu, bu, bu bölgeler allak bullak olurlar.

Onlar artık delirirler. Bir bölge olduğunuzu ve size böyle davrandığımı düşünün.

kluk, *kluk*, *kluk*, *kluk*, *kluk*. der dururdunuz

Fakat onu duyabilmeniz gerçeği kesinlikle şaşırtıcıdır, değil mi?

Böylece bu, gerçekten bu bölgelerinin var olduğunu göstermenin hoş bir yoludur.

Bunu paramanyetik madde ile yaparsanız, bunu duymazsınız.

Demek ki bütün durumlarda, ister diyamanyetik madde, ister paramanyetik madde, isterse ferromanyetik maddemiz olsun, madde içindeki manyetik alan, maddesiz manyetik alandan farklıdır.

Maddesiz olan alana dış alan diyoruz. Ben onu boşluk alanı diye adlandırmıştım.

Hepsinde olmasa da, pek çok durumda, – gelecek derste olmayan durumları ele alacağım -- evet, pek çok durumda, madde içindeki alan boşluk alanıyla orantılıdır.

Durum böyleyse, o zaman içerideki alan, boşluk alanıyla doğru orantılı yazabilirsiniz. Dolayısıyla madde içindeki alan, maddenin diyamanyetik, paramanyetik yoksa ferromanyetik mi olduğuna bakmaksızın -- boşluk alanıyla orantılıdır.

Bunun için boşluk yazacağım.

Ve bu orantılılık sabitine K_{M} diyeceğim.

Kitabımız onu K_{M} diye adlandırır. Ve ona **görelî geçirgenlik** denir.

Şimdi görelî geçirgenlik için bu değerlere bakabiliriz ve artık diyamanyetik madde, paramanyetik madde ve ferromanyetik madde arasındaki farkı derhal anlayabiliriz.

Diyamanyetik madde ve paramanyetik madde durumunda, içerideki B alanı boşluk alanından sadece çok az farklı olduğu için, K_{M} 'yi açıklamak (1+ birşey) cinsinden ifade etmek yaygındır; bu “birşey”e **manyetik duyarlılık deriz** ve χ_{M} olarak yazarız: $K_{M}=1 + \chi_{M}$

Çünkü Kappa 1 'e çok yakınsa, o zaman χ_{M} 'i basitçe listelemek daha kolaydır.

Ve diyamanyetik maddeye bakalım.

χ_{M} 'in değerlerinin hep negatif olduğuna dikkat edin – elbette negatif olmak zorundalar, yoksa diyamanyetik olmazdı.

Bu, içerideki alanın boşluk alanından hafifce, kıl kadar daha küçük olduğu anlamına gelir. Çünkü indüklenen dipoller dış alana zıttır, hatırlayın.

Bu, Lenz Yasası ile ilgili değildir; ancak gene de alana karşı çıkarlar.

Onu manyetik alınganlık cinsinden ifade edersiniz; böylece bire çok yakın olan K_M 'yi elde etmek için, 1 -1,7 çarpı 10 üzeri – 4 almak zorundasınız.

Şimdi paramanyetik maddelere geçerseniz, eksi işaretler artı olur. Yine sayılar küçüktür.

Ancak onun artı olması, paramanyetik madde içinde, manyetik alanın boşluk alanından hafifce, kıl kadar daha büyük olduğu anlamına gelir.

Şimdi de ferromanyetik maddelere bakarsanız, K_M için değerleri listelemek gerçekten de saçmadır; çünkü χ_M öyle büyüktür ki aşağı yukarı 1'i unutabilirsiniz ve böylece χ_M yaklaşık olarak K_M ile aynıdır.

Böylece orada 100, 1000, 10000 ve hatta 10000'den daha büyük sayılarla uğraşrsınız.

Eğer K_M 10000 ise, ferromanyetik madde içinde sizin boşluk alanınızdan 10000 kere daha büyük olan bir alan var demektir.

Gelecek derste, gidebildiğimiz bir sınır olduğunu anlatacağım; ancak şimdilik bu konuyu böyle bırakacağım.

Paramanyetik ve ferromanyetik özellikler, sıcaklığa bağlıdır.

Diamanyetik özellikler ise sıcaklığa bağlı değildir.

Çok düşük sıcaklıklarda çok az ısıl uyarma vardır; bu durumda bu dipolleri daha kolay hizaya sokarsınız; böylece K_M değerleri farklı olacaktır.

Ferromanyetik maddeyi soğutursanız, K_M 'nin artmasını beklersiniz. Böylece içeride daha güçlü bir alan elde edersiniz.

Demek ki ferromanyetik özellik sıcaklığa bağımlıdır.

Maddeyi iyice ısıtırsanız, o zaman kendi ferromanyetik özelliğini tamamen kaybedebilir.

Belirli bir sıcaklıkta ne olur? Bu bölgeler parçalanırlar; böylece bölgelerin kendileri artık varlıklarını yitirirler. Yok olurlar.

Bu, çok kesin bir sıcaklıkta olur. Çok tuhaftır bu.

Anlaşılması çok zor olan bir şeydir; bunun için de kuantum fiziğine ihtiyacınız olur.

Fakat **Curie sıcaklığı** dediğimiz belirli bir sıcaklıkta, ki bu demir için 1043 Kelvin derecesi ya da 770 santigrat derecesidir, birden bire bölgeler yok olur ve madde paramanyetik hale gelir.

Başka bir deyişle, eğer ferromanyetik madde bir mıknatısa tutunuyorsa ve onu Curie noktasının üstünde ısıtabiliyorsanız, o düşecektir.

O paramanyetik olur; mıknatıs genelde paramanyetik maddeleri tutamaz, çünkü içerdiği kuvvetler oldukça küçüktür.

Değişim çok anidir; bunu size bir gösteri deneyiyle sunacağım.

Bir ferromanyetik somunum var. Tam orada.

Onu biraz sonra göreceksiniz.

Bu somun ya da pul, bir çelik kabloya asılıyor ve burada bir mıknatıs var.

Bunun kuzey mi yoksa güney mi olduğunu bilmiyorum. Önemli değil.

Ve burada bir ısı kalkan var, Ve somun, bu ısı kalkanın karşısında; çünkü o çekiliyor.

O güçlü manyetik alana doğru gitmek ister. O ferromanyetikdir.

Böylece o burada duruyor.

Ve şimdi bunu, 770 santigrat derece olan Curie noktası üzerine kadar ısıtacağım ve onun düştüğünü göreceksiniz.

Ve yine soğuyunca, tekrar yerine gidecektir.

Böylece size ferromanyetik özelliklerin yok olduğunu göstereceğim.

Doğru bir kurguya sahip olduğumuzdan emin olalım.

Hiç bir şey görmüyorum. Hiç bir şey görmüyorum. İşte orada.

Böylece işte somun burada, kalkan burada ve onun arkasında da mıknatısımız. Siz onu göremezsiniz, ancak tam burada.

Ve böylece o ona karşı gidiyor; tamam, o manyetik kutuplara doğru gidiyor.

Güçlü manyetik alana doğru gidiyor. Manyetik alan mıknatısın dışında düzgün değildir ve o ona doğru gider.

Şimdi onu ısıtacağım.

Bu biraz zaman alacak; çünkü 770 santigrat derece, ulaşılması kolay bir sıcaklık değildir.

En yaygın üç ferromanyetik madde, kobalt, nikel ve demirdir.

Nikel sadece 358 santigrat derecelik Curie noktasına sahiptir. Böylece eğer bu nikel olsaydı –ooh.

Eğer bu nikel olsaydı –ooh,ooh.

[gölüşmeler]

Bundan hoşlandınız, değil mi?.

Sanırım güçlü ellere ihtiyacım var.

Güçlü bir el geliyor. Tamam.

Sanırım onu hallettim. Ben kocaman bir çocuğum, bugün onu kendim yaptım.

Kalemimi kaybettim; ama bu bir ayrıntı.

Tamam, yeniden deneyelim.

Böylece onu ısıtmaya geliyorum; diyordum ki, nikel 358 santigrat derecelik Curie noktasına sahip.

Bu oldukça düşüktür. Bu ise 770'dir.

Kobalt'ın Curie noktası, 1400 Kelvin derecedir.

Gadolinyum çok özel bir maddedir.

Kışın sıcaklık 16 santigrat derecesinin altındayken, Gadolinyum ferromanyetiktir. Fakat yazın sıcaklık 16 santigrat derecesinin üzerindeyken paramanyetiktir.

Şimdi kızarmaya başlıyor.

770 santigrat derecede, kırmızı ışık şeklinde bir görünür ışık bekliyorsunuz – işte görünüyor.

Onu ısıtmaya devam edeceğim, meşaleyi üzerinde tutacağım; öyle ki artık mıknatıs tarafından gerçekten daha fazla çekilmediğini göreceksiniz.

Isıtmayı durdurduğum anda o çok çabuk soğuyacak.

O yeniden ferromanyetik olacak ve yerine geri dönecek.

Şimdi izleyin. İşte başlıyor.

Şimdi o yeniden ferromanyetiktir. Geçiş son derece keskin.

Pekala. Tamam.

Böylece birkaç kez bahsettiğim gibi, paramanyetik maddeler genelde bir mıknatısa tutunamazlar. Yeterince çekici kuvvet yoktur.

Bir mıknatısa tutunmak için, kuvvet, onun kendi ağırlığından daha büyük olmalıdır.

Kuşkusuz diyamanyetik maddeler bunun tamamen dışındadır. Çünkü diyamanyetik maddeler her zaman alanın zayıf tarafına doğru itilirler.

Eğer alanın kendisi düzgün değilse, alanın güçlü bölümüne doğru kuvvet uygulayanlar sadece paramanyetik maddeler ve ferromanyetik maddelerdir.

Şimdi çok ilginç bir istisna var.

Buna, şu saydama dikkatinizi çekmek istiyorum.

Burada bir atmosferdeki oksijene bakın.

Oksijen, bir atmosfer basınç ve 300 Kelvin derecesinde belirli bir χ M değerine sahiptir: χ M eşittir 2 çarpı 10 üzeri – 6.

Fakat şimdi 90 Kelvin derecesindeki sıvı oksijene bakın.

Bu değer, bu değerden 1800 kat daha büyüktür.

Bu, neden böylesine çok yüksektir?

Genelde bir atmosferde, sıvılar gazlardan yaklaşık olarak 1000 kat daha yoğunlardır.

Bu yüzden sizin metre küp başına, ilke olarak, düzene girebilen bin katı daha fazla dipolünüz var.

Böylece yoğunluk için, metre küp başına dipol sayınız olduğundan, χ M veya χ M arasında bire-bir bir karşı-gelirlik beklersiniz.

Ve böylece bu değer gerçekten daha büyük olduğunu görürsünüz.

Bunun binden daha yüksek bir çarpan olmasının nedeni, sıcaklığın da daha düşük olmasıdır.

300 dereceden 90 dereceye gidersiniz; bu size 2 çarpanı daha verir. Çünkü sıcaklık daha düşük olduğunda, daha az ısıl uyarılma olur; bu yüzden dış alan dipolleri daha kolayca hizaya sokabilir.

Böylece 1800 çarpanını bulursunuz.

Bu χ M değeri bir paramanyetik madde için olağanüstü yüksek olsa bile, içerideki alanın boşluk alanından sadece % 0,35 daha yüksek olacağına dikkat edin. Çünkü eğer χ M, 3,5 çarpı 10 üzeri – 3 ise, içerideki alan boşluk alanından sadece % 0,35 daha yüksek demektir.

Fakat bu, mıknatısın dışında hiç mi hiç düzgün-olmayan bir alanın bulunması koşuluyla, sıvı oksijenin güçlü bir mıknatıs tarafından çekilmesi için yeterlidir.

Böylece sıvı oksijenin mıknatısa doğru çekildiği kuvvet, sıvı oksijenin ağırlığından daha büyük yapılabilir. Bugün bir mıknatısa tutunan sıvı oksijeni göstereceğim size.

Burada yapacağımız şey işte bu. Doğru kurguya sahip olduğumdan emin olayım.

Evet, doğru. Işıkları biraz değiştireyim.

Böylece orada iki manyetik kutup görüyorsunuz.

O bir elektromıknatıstır. Ve istendiğinde, manyetik alanı oluşturabiliriz.

İşte mıknatısın kutupları burada. Yapacağım ilk şey çok sıkıcı.

Kutupların arasına biraz sıvı azot fırlatacağım.

Orada sıvı azot için bir değer yok; fakat azot diyamanyetiktir. Bu yüzden bu sorun değil.

Diyamanyetik madde güçlü alan tarafından itilir.

Sıvı azot için chi M'nin değeri, gaz azot için olan değerden çok farklı olsa bile, önemli değil. O kesinlikle itilecektir.

Bu yüzden yapacağım ilk şey, sadece sizi biraz sıkacak.

Orada asılı duracak olan bu oksijeni görmeden önce, sizleri sıralarınızın kenarlarında tutmalıyım.

Önce mıknatısa güç verelim – umarım onu yaptım – evet, sanırım yaptım.

Ve işte sıvı azot geliyor. Ziyadesiyle sıkıcı; hemen düşüyor

Şimdi oksijen geliyor. Sıvı oksijen. O oraya tutunuyor.

İddia ediyorum, ömrünüzde bir sıvının bir mıknatısa asıldığını asla görmemişsinizdir.

Bundan ailenize ve elbette torunlarınıza bahsedebilirsiniz. O oraya tutunuyor.

Biraz daha koyacağım – doğru maddeye sahip olduğuma emin olmam için.

Biraz daha fazla koyalım.

Sıvı oksijen var.

Akımı kestiğim anda -- o artık mıknatıs değildir -- elbette düşecektir.

Üzülmeyin, daha göreceksiniz.

Kim hayatında bir mıknatısa tutunan bir sıvı görmüştür?

O paramanyetiktir, ferromanyetik değil. Ancak yoğunluk böyle yüksek ve o bu kadar soğuk olduğu için, chi M'nin değeri yeterince yüksektir, öyle ki onun üzerindeki kuvvet kendi ağırlığından daha büyüktür.

Bunu alüminyum ile yaparsanız, hayatta şansınız olmaz.

Orada gördüğünüz gibi, alüminyum paramanyetik olmasına rağmen, alüminyum oraya asılmaz.



Fakat 2 çarpı 10 üzeri – 5 değeri çok küçüktür ve o miktarda yapışmayacaktır.

Tamam.

Düşünecek bir şeyiniz var.

Gelecek derste görüşürüz.