



MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanın:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002*
(Massachusetts Teknoloji Enstitüsü: MIT Açık Ders Malzemeleri).
<http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative
Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı olarak gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 5 Elektrostatik Perdeleme (Faraday Kafesi)

Evet, bugün yeni kavramlar, yeni fikirler yok.

Biraz rahatlayabilirsiniz, sizinle elektrik potansiyeli ve elektrik alanı arasındaki ilişkiyi tartışmak istiyorum.

Uzayda, burada bir elektrik alanınızın olduğunu ve cebimde bir Q yükü bulunduğunu düşünün.

A konumundan başlayacağım, etrafta şöyle bir dolanıp A noktasına geri döneceğim.

Bu kuvvetler korunumlu olduğundan, elektrik alanımız durgun ise, yani yükler hareketliyse işler zorlaşır, o zaman kuvvetler korunumlu kuvvetlerdir; bu durumda etrafta dolanıp tekrar A noktasına geri geldiğim zaman yaptığım iş sıfır olmalıdır.

3 numaralı denkleme baktığınızda açıkça görürsünüz ki, A noktası ve A noktası arasındaki potansiyel fark sıfırdır.

A noktasında başlayıp A noktasında son buluyorum ve bu E nokta $d\ell$ nin A'dan A noktasına entegralidir; o halde bu sıfır olmalıdır.

Normalde böyle bir entegrali, bir çemberle gösteririz; bu, başladığımız yerde bitirin anlamına gelir.

Bu bir çizgidir şimdi. Denklem 1'de olduğu gibi, kapalı bir yüzey değil. Kapalı bir çizgi.

Durgun elektrik alanlarıyla ilgilendiğimiz sürece, istersek bir başka denklem daha ekleriz; o da şu: E nokta $d\ell$ 'nin bir kapalı çizgi integrali varsa, o zaman başladığımız yerde bitiriyoruz, dolayısıyla bu sıfır olmalı.

Dersin daha sonralarında, korunumlu E alanlarımızın olmadığı ve dolayısıyla statik alanlarla ilgilenmeyeceğimiz özel durumların var olduğunu göreceğiz. Böyle durumlar henüz söz konusu değil. Ancak şimdilik böyle..

Eğer elektrik alanını her yerde biliyorsak, o zaman... 2 numaralı denkleme bakınız; o zaman potansiyeli de her yerde biliyoruz demektir.

Tersine, her yerde potansiyeli biliyorsunuz ve elektrik alanının ne olduğunu bilmek istiyorsunuz.. Tabii ki bu da mümkündür.

Denklem 2 ve 3 e bakarsanız, potansiyelin elektrik alanının integrali olduğunu görürsünüz; dolayısıyla kuşkusuz alan da potansiyelin türevi olmalıdır.

Şimdi alanlar potansiyellerin türevi olduğunda, artı ve eksi işaretler hep canınızı sıkar; burada olmak için MIT'ye 27.000 dolar ücret ödemek zorunda olmanız ya da buraya gelmeniz için MIT'nin size 27.000 dolar ücret ödemesi sadece bir eksi işareti farkıdır; fakat tabii ki bu büyük bir farktır.

Öyleyse birkaç ayrıntıyla bunu halledelim.

Burada artı bir Q yüküm var.

Ve r uzaklığındaki bir P konumunda, elektrik alanının ne olduğunu biliyoruz, bunu milyon kere yaptık.

Bu, Q dan o noktaya yönelmiş birim vektördür ve elektrik alanın bu yükten dışarı yönelmiş olduğunu biliyoruz ve ayrıca E elektrik alanının, ta ilk derste görmüştük, r şapka yönünde Q bölü 4π epsilon sıfır r kare olduğunu da biliyoruz.

Ve geçen derste, bu konumdaki elektriksel potansiyeli çıkarmıştık.

Elektrik potansiyel Q bölü 4π epsilon sıfır r 'dir.

Bu, bir vektördür. Bu, bir skaler.

Böylece potansiyel, bir çizgi boyunca elektrik alanın integralidir ve şimdi elektrik alanın potansiyelin türevi olarak yazılıp yazılamayacağını denemek istiyorum.

Öyleyse dV bölü dr 'yi ele alalım ve ne elde edeceğimizi görelim.

dV bölü dr 'yi ele alırsam, eksi Q bölü 4π epsilon sıfır r kareyi elde ederim.

Kuşkusuz elektrik alanını bulmak istiyorsam, bir vektöre ihtiyacım var; dolayısıyla her iki yanı r yönündeki birim vektörle çarpırım; bu tamamen yasal, böylece onlar vektörlere dönüşmüş olur.

Görüyorsunuz, neredeyse bunu buldum; bir eksi işareti dışında aynı.

Yani potansiyelin türevi eksi E 'dir, artı E değil...

Ve böylece buraya yazıyorum: E , eksi dV bölü dr ye eşittir.

Birbirlerine sıkıca bağlılar, böylece eğer potansiyeli... ooh, bunun bir vektör olmasını istiyorum, bu yüzden buraya r -şapkayı koyuyorum.

Sol taraf vektör olunca, sağ taraf da bir vektör olmalı.

Evet, böylece uzayda her yerde potansiyeli biliyorsanız, o zaman elektrik alanını yeniden bulabilirsiniz.

Geçen sefer değindiğim gibi, elektrik alan vektörleri -- Elektrik alan çizgileri eş potansiyel yüzeylerine daima diktir .

Niçin böyle olması gerektiği açıktır.

Uzayda bir yerde olduğunuzu ve cebinizde yükü elektrik alan çizgilerine dik olarak hareket ettiğinizi düşünün.

Böylece bile bile, kasten elektrik alan çizgilerine dik hareket ediyorsunuz.

Yani bu, üzerinizdeki kuvvetin ve hareket yönünüzün sürekli 90 derecelik açılarla olduğu anlamına gelir.

O halde sadece alan çizgilerine dik hareket edeceksiniz.

Bunlar alan çizgileriye, siz şöyle hareket ediyorsunuz.

Bunlar alan çizgileriye, siz şöyle hareket ediyorsunuz.

Bu yüzden herhangi bir iş yapamazsınız.

Çünkü $d\ell$ ve E arasındaki nokta çarpım sıfırdır ve eğer hiç iş yapmazsanız potansiyel aynı kalır; tanımı budur.

Ve bu nedenle eşpotansiyel yüzeylerin daima alan çizgilerine dik olması gerektiğini görebilirsiniz ve alan çizgileri de daima eşpotansiyel yüzeylere dik olmalıdır.

Ve size Maxwell'in harika çizimlerini tepegözle tekrar göstereceğim.

Artı dört yük ve eksi bir yük. Son gördüğümüzle aynı.

Sadece bu 90 derecelik açığı tekrar işaret etmek için.

Son derste çok detaylı olarak tartıştım bunu; bu yüzden tekrarlamayacağım.

Kırmızı çizgiler gerçek yüzeyler. Bu üç boyutlu, düşey etrafında bunu bir bütün olarak döndürmelisiniz. Böylece bunlar yüzeylerdir.

Kırmızılar pozitif potansiyel yüzeyler ve maviler negatif potansiyel yüzeyler.

Bu önemli değil. Ama yeşil çizgiler alan çizgileridir.

Dikkat edin, örneğin bu alan çizgisini ele alırsam, kırmızıya burada dik, orada dik, orada dik, orada dik. Burada dik. Burada dik. Buraya gelin, dik, dik, dik.

Bu grafik üzerinde baktığınız her yerde, alan çizgilerinin eş potansiyellere dik olduğunu göreceksiniz.

Ve bunu artık tamamen anladık sanırım.

Bu demektir ki, bir yükü sıfır hızla serbest bırakırsanız, o daima bir alan çizgisi yönünde gideceğinden, daima bir eşpotansiyel yüzeye dik olarak hareket etmeye başlayacaktır

Bir artı yük alan çizgileri yönünde, eksi yük ters yönünde.

Yani uzaydaysanız ve bir yükü sıfır hızıyla serbest bırakırsanız, yük daima eş potansiyellere dik gider.

Yer çekiminde de benzer bir durum var.

Dağcıların haritalarına bakarsanız, eşit yükselti çizgileri, eşit yüksekliktedir.

Kaymaya başlıyorsanız, bu noktadan sıfır hızla başladıysanız, daima eş potansiyellere dik çıkış yapmış olursunuz. Yani bu, harekete başladığınız yöndür; eğer sıfır hızla başlarsınız.

Şimdi size potansiyel ve elektrik alan arasındaki ilişkiyi daha derin olarak vermek istiyorum; beni çok yakından izleyin.

Yaptığım her adımda beni izlemenizi istiyorum.

Uzayda bir yerde, P konumunda olduğumu düşünün.

P konumunda bir potansiyel var, tek bir potansiyel, V_P .

Verilen bu. Ve olduğum yerde bir elektrik alanı var.

Şimdi yapacağım şey, sadece x yönünde son derece küçük bir adım atmaktır.

y de değil, z de değil. Yalnızca x yönünde.

O küçük adım boyunca potansiyelde bir değişim ölçemezsem, bu, elektrik alanının x yönünde bileşeninin sıfır olduğu anlamına gelir.

Eğer potansiyelde bir fark ölçersem, o zaman bu bileşen, yani elektrik alanının x yönündeki bileşeninin büyüklüğü şu olur: ölçtüğüm potansiyel fark bölü delta x ile göstereceğim o küçük yan adım.

y ve z'yi sabit tutuyorum. Bunlar büyüklükler. Buraya dikey çubukları koymamın sebebi budur.

Benzer şekilde y yönünde küçük bir yan adım atsam ve x ve z'yi sabit tutup delta V potansiyel farkını ölçersem, o zaman bu, elektrik alanının y yönündeki bileşeni olmuş olur.

Daha önce E için yeni bir birim olarak Newton bölü Coulombu yazdım.

Şu andan itibaren hemen hemen her zaman elektrik alanının birimini volt bölü metre olarak yazacağız.

O tamamen Newton bölü Coulomb'la aynı şey, hiç farkı yok, fakat bu sizin biraz daha iyi anlamanızı sağlar.

Metre cinsinden küçük bir yan adım atarsınız ve potansiyelin ne kadar değiştiğini ölçersiniz, işte o volt bölü metredir.

O, potansiyel değişimi bölü mesafedir.

O halde, şimdi Kartezyen koordinatlarda elektrik alan ve potansiyel arasındaki bağlantıyı yazabilirim.

Bu, Kartezyen koordinatlarda yukarıdaki güzel şeklinden çok daha korkutucu görünecek.

Orada Potansiyel, sadece r mesafesinin bir fonksiyonuydu.

Ve böylece Kartezyen koordinatları cinsinden E'yi şöyle elde ederiz: E vektör eşittir eksi, eksi işaretini uzun uzadıya tartışmıştık ve şimdi $\partial V/\partial x$ çarpı x-şapka artı $\partial V/\partial y$ çarpı y-şapka artı $\partial V/\partial z$ çarpı z-şapka.

Burada gördüğünüz, buradaki ilk terim, tabii ki eksi işaretiyle birlikte, E_x 'tir.

Eksi işareti dâhil bu terim, E_y 'dir.

Ve bunun gibi.

Burada gördüğünüz kıvrık ∂ 'ler, aslında kısmi türev demektir.

Ve de, bu türevi alırken z ve y'yi sabit tutmanız anlamına gelir.

Bu türevi alırken de, x ve z'yi sabit tutarsınız, vb...

Bu Kartezyen gösterimdir; Çokdeğişkenli Kalkülüs dersinde öğreneceğiniz gibi, belki de zaten biliyorsunuz, bu E'yi, eksi gradyen G olarak yazabilirim.

Bu bir vektör fonksiyonu.

Bu da bir skaler fonksiyon.

Bu sadece farklı bir gösterim; bu matematiksel reçetenin yalnızca sözle ifadesi.

Ve onu henüz görmediyseniz, Çok değişkenli Diferansiyel ve Entegral Hesap'ta ele alacaksınız.

Böylece şimdi basit bir örnek vermek istiyorum. Varsayalım ki V potansiyeli x'e bağımlı olsun ve $10^5 x$ olarak verilsin. Yani bu verilmiş.

Ve bu, x eşittir sıfır ile 10^{-2} metre arasında geçerli olsun.

Yani bir santimetrelilik bir uzay boyunca geçerli.

Böylece potansiyel mesafeyle doğrusal olarak değişir.

Şimdi elektrik alanı nedir? Bu uzayda?

Peki, elektrik alanın oradaki tanımına geri döneyim.

Yalnızca x yönünde bir bileşeni var.

O halde ilk türev eksi $10^5 x$ şapka olur; diğerleri sıfır.

Yani E_y sıfır ve E_z sıfırdır.

Evet, güzel matematik, ama hiç fizik görmüyoruz diyebilirsiniz.

Aslında bu, düşündüğünüzden daha fazla fizikseldir.

Burada yüklü, pozitif yüklü bir plaka olduğunu düşünün.

Plaka x konumunda ve buradaki diğer plaka diyelim ki sıfır konumunda.

Bu plakaya A, bu plakaya da B diyorum ve bu plaka negatif yüklü.

Yani x bu yöne doğru gidiyor.

Öyleyse buraya içeriye elektrik alanını koyarım, reçeteye göre eksi 10^5 ve eksi x şapka yönünde ; x şapka bu yöndedir.

Elektrik alanı zıt yöndedir ve her yerde aynıdır ve bu oldukça fizikseldir.

Bunu tartışmıştık.

Elektrik alanını tartıştığımızda, birbirine çok yakın iyice geniş düzlemler arasında, elektrik alan içeride sabitti; hatırlayın ve değeri içeride, σ bu plakaların her birindeki yüzeysel yük yoğunluğu olmak üzere, σ bölü ϵ_0 sıfırdır.

Ve elektrik alanının dışarıda yaklaşık sıfır olduğunu tartışmıştık ve dışarıda burada elektrik alan yaklaşık sıfırdır.

Bu yüzden bu son derece fizikseldir.

Sizin burada gördüğünüz şey tam olarak budur.

Elektrik alanı eksi 10^5 , burada bu elektrik alanının buradaki büyüklüğü, büyüklük, 10^5 , volt bölü metredir.

Şimdi, potansiyel farkı nedir?

Peki, V_A eksi V_B , -- eksi V_B , E nokta $d\ell$ 'nin A dan B ye entegralidir.

Buradan buraya gidiyorum bu yüzden $d\ell$ yerine, tabi ki dx yazarım.

Çünkü şimdi buna x yönü dedim.

Bu nedenle buraya nokta dx yazacağım.

Ve bu, eksi 10^5 çarpı A'dan B'ye integral x -şapka nokta dx 'tir.

Korkutucu görünüyor ama önemsizdir, x -şapka bu yöndeki birim vektördür.

Ve dx bu yönde çok küçük bir dx vektörüdür.

Böylece her ikisi de aynı yöndedir.

Yani bu ikisi arasındaki açının kosinüsü birdir.

Böylece vektörleri unutabilirim, noktayı unutabilirim.

Ve bu yüzden bu eksi 10^5 çarpı A'dan B'ye integral dx olur ve bu önemsizdir.

Bu, eksi 10^5 çarpı konumdur.

A ve B arasındaki entegrali alayım.

Evet, burada x_B eksi x_A elde ederim.

Ve eğer bu 10^{-2} metre ise, buradan buraya gitmek bir santimetre ise, bunu 10^{-2} ile çarpmalıyım, böylece bunu eksi bin volt olarak elde ederim.

Demek ki A, B'den bin volt daha düşüktür.

Onun anlamı budur. Ve çok fiziksel bir şeydir.

Dikkat ederseniz, soldan sağa doğru gittiğinizde, potansiyel doğrusal olarak artar.

Bu ondan daha düşüktür.

Ve eğer kafanızda plakalara paralel, şöyle düzlemler kurarsanız, o düzlemlerin her biri eş potansiyelli olur, onlar her yerde aynı potansiyele sahiptirler.

Ve yavaş yavaş sağa doğru hareket ederseniz, potansiyeliniz artar; fakat elektrik alanın, ters yönde, yani artıdan eksiye doğru gittiğine dikkat edin.

Ardındaki neden tamamen budur - bu eksi işareti.

Potansiyelin sıfırı olarak nereyi seçeceğim konusunda her zaman özgür olduğum açık. Geçen sefer bunu tartışmıştık.

Her zaman sonsuzu seçmek zorunda değilsiniz.

Bu yüzden sıfır potansiyel olarak bunu seçebilirim. O takdirde bu artı bin olacaktır.

Ve böylece V potansiyelinin basitçe $10^5 x$ olduğunu bulursunuz. x sıfırsa potansiyeli sıfır bulursunuz ve $x = 1$ cm ise potansiyeli bin volt bulursunuz ve bununla birlikte, bu yönde eksi 10^5 değerinde bir elektrik alanı vardır..

Ve bu son derece fizikseldir.

Ne zaman paralel plakalarla ilgilenirsek, bulacağımız şey budur.

Hareketli yükler olmadığı sürece, katı iletkenlerle ilgileniyorken, bu durumda sadece durgun elektrik alanımız olur; yükler yoğun şekilde hareketli değiller, o zaman iletken içindeki alan daima sıfırdır.

Yalıtkanlarda durum böyle değil.

Sadece iletkenlerde böyle, çünkü iletkenler serbest elektronlara sahiptir, bu serbest elektronlar elektrik alanları görürse, alan içerisinde kendisine bir kuvvet etkimeyinceye kadar hareket ederler, bu şekilde içerideki elektrik alanını öldürürler.

Böylece bir iletken içindeki yükler, elektrik alan sıfır olacak şekilde, daima kendi kendine düzenlenir. Eğer alan durgun bir alan ise, hızla değişmiyorsa...

Ve şimdi sizinle katı bir iletkeni yükleyip, onun durumunu değerlendireceğim ve kendi kendime soracağım, yük nereye gider?

Sevgililer Günü şerefine katı bir kalbi ele alalım, çelik bir kalp, o her yönüyle bir katıdır.

Böylece bu bir katı iletkenidir, bu iletken üzerine dışarıdan bir yük getiriyorum.

Artı veya eksi; şu an için yalnızca artı alalım.

Ve şimdi size soruyorum - bu bir iletken, yalıtkan değil. Yalıtkanların konusu tamamen farklıdır.

Bu, içerisinde serbest hareket eden elektronlara sahip.

Şimdi soruyorum: bu iletken kalbe dokunursam – öte yandan, kalbiniz de çok iyi bir iletkenidir- bu iletken kalbe dokunursanız bu yüklere ne olur?

Nereye giderler? Ve sizi üç seçenikle karşı karşıya bırakıyorum.

Ve bununla ilgili bir oylamamız olacak.

İlk seçenek, artı yüklerin iletken boyunca düzgün bir biçimde dağılmış olmasıdır.

Bir ihtimal.

İkinci ihtimal, bence daha düşük bir olasılık, tüm yüklerin orada bir yere gideceğidir.

Hangi yer olacağını bilemiyorum, ama olabilir.

Ve sonra üçüncü ihtimal, belki de yük sadece dış yüzeyde kendi kendini homojen bir şekilde dağıtacaktır ve sonra dördüncü ihtimal yukarıdakilerden hiçbirini.

Yaptığım üç öneri de yanlış.

Yükün iletken boyunca homojen bir şekilde dağılabileceğini kim düşünüyor?

Bir ya da iki el görüyorum. Güzel.

Ellerinizi kaldırmaktan utanmayın, en kötüsü yanılırsınız.

Söz konusu bu olduğunda pek çok kez yanılmışımdır.

Bu konuda çekinmeyin.

Yükün tamamının kalpte bir noktaya gideceğini kim düşünüyor?

Cesaretiniz var mı?

Bir noktaya gideceğini mi düşünüyorsunuz?

Yükler birbirlerini iterler, doğru, bu yüzden bu olası görünmüyor.

Yükün dış yüzeye kendiliğinden düzgün bir şekilde dağılacağını kim düşünüyor?

Yukarıdakilerin hiçbirini kim düşünüyor?

Çok iyi.

Peki, dış kısım üzerinde düzgün dağılmış olabileceğini düşünenlere bir B verecektim, fakat göreceğiniz gibi düzgün değil.

Ama sadece dış kısımlara gider. Ve şimdi bunu size ispatlayacağım.

Öncelikle yükün iletken içinde bir şekilde kendiliğinden dağılacağı biçimindeki saçma ihtimale bakalım.

Burada bir kapalı yüzey olan bir Gauss yüzeyi alıyorum.

Eğer elektrostatik bir alanımız varsa, iletkenin içinde yüklerin hızlı bir şekilde hareket etmediğini biliyorum, o durgun bir alan, E alanının yüzeyde her yerde sıfır olması gerektiğini biliyorum, bu kapalı bir yüzey, bu yüzden E nokta dA'nın entegrali, denklem bir, sıfırdır.

Bu, küremenin içinde yükün sıfır olması anlamına gelir, yani içerde hiç yük olamaz.

Bu nedenle, Gauss yasası bu iletkenin içinde herhangi bir yük olabileceği ihtimalini derhal ortadan kaldırır. Bu, söz konusu bile değil.

Size sadece bir seçim kalıyor, yükler yüzeydedir. Yani tüm yük yüzeyde olmalı.

Ve sonra- bir sonraki derste yükün neden düzgün dağılmadığının detaylarını sizinle tartışacağız.

Bu bir küre olsaydı yüzeyde düzgün dağılmış olacaktı. Fakat değil, bunun garip bir şekli var. O sadece yüzeyde olacak.

Şimdi bu kalbi, çok özel bir kalp, daha gerçek bir kalp gibi yapacağım.

Burası boş, ama burası katı.

Bu bir iletken, kalp kası ve burası boş, burada hiçbir şey yok.

Ve yeniden onu yükleyeceğim. Dışarıdan yük getirin.

Şimdi, iletken içinde herhangi bir yükün olabileceğini beklemediğimiz açık. Bu açık.

Aynı düşünce Gauss Yasasını destekler.

Fakat şimdi, pozitif yüklerin bir kısmının bu yüzeyin iç tarafına ve bir kısmının da dış tarafına gitme ihtimali mümkün müdür?

Şimdi, bir kısmının iç tarafa gideceğini düşünenler olabilir, çünkü durum şimdi farklı, tamam, şimdi boş bir iletkenimiz var.

Kim yükün bir kısmının iç tarafa gidebileceği taraftarı?

Hiç mümkün olmadığını söyleyen bir el, iki el görüyorum, iç tarafa gitmeyecek?

Dışarı gidecek.

Peki, şu an çoğunuz oldukça dikkatli, artık oylama istemiyorsunuz.

İç tarafa gidemez. Neden iç tarafa gidemez?

Bu Gauss yüzeyim olsun. Kapalı yüzey.

Bunu üç boyutlu olarak düşünün.

Bu çizgi üzerinde her yerde elektrik alan sıfırdır, çünkü iletkenin içindesiniz.

O halde yüzey entegrali de sıfırdır.

Yani Gauss Yasası bu yüzey içerisinde herhangi bir yük olamayacağını söyler.

Öyleyse gene yük dış yüzeye gitmeli, hiçbiri iç yüzeye gidemeyecek.

Ve o zaman sonuç, iletken içinde elektrik alan sıfır, fakat bu boş bölgede de elektrik alan sıfırdır. Orada asla yük olmaz.

Ve boşluk dâhil tüm kalp eş potansiyelidir. Hiçbir yerde asla elektrik alan yoktur.

Elektrik alanlar sadece kalbin dışındadır.

Dışarıda alan çizgileri var ve bu alan çizgileri her yerde kalbin yüzeyine diktir, çünkü kalp eş potansiyelidir.

Burada bunun gibi çok tuhaf alan çizgileri elde edersiniz.

Kalp duvarına ulaştıkları yerde yerel olarak dik olmalıdırlar.

Daha önceki dersimde düzgün katı bir kürenin içindeki elektrik alanın sıfır olduğunu gösterdim ve hatta içi-boş bir iletken kürenin içindeki elektrik alanın da sıfır olduğunu size gösterdim.

Bugün onun bir küre olması gerekmediğini de gördük. Küresel simetriye ihtiyacınız yok.

İçi-boş iletken herhangi bir şekil, bir iletken olduğu sürece, herhangi bir şekil size içerde sıfır olan bir elektrik alan verecektir.

Ve ilk olarak bunu göstermek istiyorum.

Burada küre olmayan bir cisimim var. Bir boya kutusu.

Üstünde biraz alüminyum var. Orada bir delik var. Mükemmel değil.

Aslında bunun gibi kapalı değil.

Öyleyse içerdeki elektrik alan tamamen sıfır olmayacak. Ama çok yakın olacak.

İçeriye ulaşmak istediğim için bir deliği olmalı.

Onu yükledikten sonra, içerde herhangi bir yük olup olmadığına bakmak istiyorum.

Doğrudan içeriye ulaşabilmeliyim.

Bunu yükleyeceğim ve sonra dışarıdan ve içeriden biraz yük alacağım, elektroskopi kullanacağım ve gerçekten dışarıda yük olduğunu, ama içeride hiçbir şeyin olmadığını bakalım gösterebilecek miyim?

Bunun nasıl çalıştığını size anlatmaya çalışırken kullandığım yöntemin aynısını kullanacağım.

Bu, elektrophrous dediğimiz çılgın bir yöntemdir, elek- elektroforus, telaffuzu zor.

Elektrophrous.

Burada bir cam plakamız var. Kedi postuyla ovuyorum. Onu tekrar düşünün.

Bu, problem içinde küçük bir problemdir. Metal plaka.

Üzerine koyuyorum. Ona dokunuyorum. Hafif çarpıldım.

Onu buraya değdiriyorum. Tekrar dokunuyorum. Tekrar çarpıldım.

Ve bunu yükledim. Tekrar dokunuyorum. Gene çarpıldım. Ve tekrar değdiriyorum.

Camı biraz daha yükleyelim.

Aklıma gelmişken, bu cam plaka üzerinde yarattığım yük pozitifdir.

Ona dokunuyorum. Buradaki yük negatiftir. Pozitif değil.

Tekrar üzerine koyuyorum. Dokunuyorum. Tamam.

Böylece şimdi orada negatif yüküm olmalı.

Burada küçük test küresi var. O bir iletken. Bu dış taraftan biraz yük alacağım.

Dokunuyorum. Harika. Yük var. Sorun yok.

Aynı fikirdeyiz, doğru mu? Yük var. Tamam.

Şimdi içine dokunuyorum, umarım üzerime kıvılcımlar sıçramaz.

Dokunuyorum. Hiçbir şey. Görüyorsunuz? Kesinlikle hiçbir şey.

Böylece içinde hiç yük yok, yük dış tarafta. Bu, biraz önce gösterdiğim şey.

Gözünüzün önünde onu görüyorsunuz. Tüm yükler dışarı gidiyor.

Bu sezgisel olmayıp, şu gerçeğin ivedi bir sonucudur: Elektronların serbestçe hareket edebildiği bir iletkenin içinde elektrik alanın kendisi sıfırdır ve savunduğumuz gibi, yükler yüzeyin içine asla gidemezler.

Hepsi dış yüzey üzerinde kalır. Bu yüzden, iç tarafına dokunduğumda hiç yük yoktu.

Böylece eğer bu iletkenin içindeyseniz, eviniz iletken bir ev ise, dış dünyadan birisi, siz içerdeyken, evinizi yüklerse, bundan haberiniz olmaz.

Oldukça şaşırtıcı, değil mi? Dış dünyadan elektriksel olarak korunmuş olursunuz.

Şimdi durumu daha karmaşık yapacağım.

Şimdi iletken bir cisim alıyorum, küre olmak zorunda değil.

Ve bu içi-boş iletken cisimi bir dış elektrik alana getiriyorum.

Yani evinizin dışındaki biri Van de Graaff'ı çalıştırarak bir elektrik alan oluşturuyor.

Şimdi ne olacak?

Evet, indükleme nedeniyle, iletkende biraz yük kutuplanması elde edeceksiniz.

Bir tarafta negatifle diğer tarafta pozitifle yüklenecek.

Ama içeride neler olacak? Hiçbir şey.

İletkendeki elektrik alan durgun bir elektrik alansa, her yerde sıfır kalmalı.

Ve böylece burada hiç yük toplanamaz, içeride hiç yük toplanamaz.

Ve dış tarafa bir elektrik alanı getirmek için, dışarıda negatif ve pozitif yükler elde edebilirsiniz, burada negatif orada pozitif olabilir, ama içeride hiçbir şey.

Birisi evinize yük koymaya, sizi elektrik alanla öldürmeye çalışıyor olabilir, ama içerisi dış dünyadan elektriksel olarak perdelenmiştir, korunmaktadır.

İçeride hiçbir şey olmayacak. İçerde bir elektrik alanı asla göremeyeceksiniz.

Size ilginç bir çizim, ilginç bir şekil göstereceğim. O, iletken bir kutu. O kapalı.

Kutuda gördüğünüz delik sadece içine bakmanıza izin verir; ama tüm kenarları kapalıdır.

Burada biraz negatif yük var ve göremediğiniz ön tarafta pozitif yük var.

Kırmızı alan çizgileri pozitif yüklerden çıkar, kutuda son bulur ve negatif alan çizgileri kutudan negatif yüklere gider. Açıkça kutuplanma var.

Kutunun kendisi nötrdür. Nötr bir kutuyla başladım.

Ama bu elektrik alandan dolayı kutuplanma elde ettim.

Alan, burada kutu üzerindeki negatif yükte bitiyor, alan sadece dışarıda var; burada ise kutu üzerindeki pozitif yükte bitiyor, alan sadece dışarıda.

İçinde elektrik alan sıfır. İçinde hiçbir yerde yük yok.

Bu çılgın elektrik alanı nedeniyle, iletken içinde özgürce hareket eden yükler, kendilerini tekrar öyle düzenleyeceklerdir ki hem iletkenin her yerinde ve hem de oyuğun içinde her yerde alan sıfır olacaktır. Bu durumda, E nokta çarpım $d\ell$ 'nin kapalı yol entegrali her yerde sıfır olur; eğer bunlar durgun alanlar ise.

Tüm bu koşulları sağlaması için, yüzeyde bu yük dağılımının nasıl olması gerektiğini hesaplamak bizim için açıkça imkansızdır.

Ama doğa bunu kolaylıkla yapabilir.

Ve tüm fizik kurallarına uyararak, bunu son derece hızlı bir şekilde yapabilir.

Çok hızlı bir şekilde buraya artı ve oraya eksi yük getirir.

Yüzeyin iç tarafında hiç yük olmadığından emin olur.

Elektrik alanın kutu içinde ve içeride her yerde sıfır olduğundan emin olur ve aynı zamanda E nokta $d\ell$ entegralinin uzayda her yerde sıfır olduğundan emin olur.

Ve bu nedenle kutu ve içindeki her şey bir eş potansiyel olur; böylece alan çizgileri kutuyla kesiştikleri her yerde kutuya daima dik olacak şekilde düzenlenirler.

Ve bütün bunlar doğa tarafından göz açıp kapayıncaya kadar yapılır.

Bunun oluşması şaşırtıcı bir şeydir ve söylediğim gibi hesaplanması bizim için imkânsız gibidir. Çünkü alan düzenlenimi olağanüstü biçimde zordur.

Dışarıda ne olursa olsun bu metal kutunun içindeyseniz, dış dünyadan elektriksel olarak yalıtılmış olacaksınız.

Ne dışarıda güçlü bir elektrik alan olduğunun ne de evinizi yüklemeye çalışan insanların farkına varırsınız.

Biz buna elektrostatik perdeleme deriz ve evinize **Faraday kafesi** adını veririz.

Ona, ünlü fizikçi Faraday'a izafeten bu isim verilmiştir.

Bu ders boyunca onun hakkında çok daha fazla şey öğreneceksiniz.

Bunu göstermeden önce, problem 2-1'le ilgili bir konudan bahsetmek istiyorum.

Bu sizin bir sonraki ödeviniz.

Sizi zorlamak istiyorum, kendimi kandırmıyorum, ama bu hafta sonu, gelecek hafta değil, bu ödev üzerinde çalışmaya başlamanız için sizi zorlamak istiyorum.

Bu ödevler tam anlamıyla çocuksu ödevler değil.

Bunlar MIT ödevleri ve onları yapmak için artık donanımlısınız. Bu yüzden lütfen bu hafta sonu başlayın; bana iyilik yapmak için değil, o iyiliği kendinize yapmanız için.

Biraz problem 2-1 hakkında konuşalım.

Başka bir deyişle, problem 2-1 konusunda size yardım edeceğim.

Birkaç kez içi-boş bir iletkenin içinde elektrik alan elde etmenin mümkün olmadığını söyledim. Pekiyi, iletken içine girdiğimi varsayalım. Oraya içeri giriyorum.

Ve gizlice cebime bir yük koyuyorum. Orada içeride oturuyorum ve siz onu kapatıyorsunuz. Öyleyse içeride bir yük var, o konuda yapabileceğiniz hiçbir şey yok.

Ve içeride bir yük varsa, bir elektrik alanı da vardır.

O halde şimdi öyle bir durumdayız ki, Sevgililer Günü geçtiği için, kalbim yeniden bir küreye evrildi.

Şimdi küresel bir iletken alıyoruz; katı, bu katı malzeme, ve artı q yüküyle bir şekilde oyuk içinde oturuyorum. Eğer isterseniz eksi yapabilirsiniz.

Tamamen problem 2-1'le ilgili. Şimdi içeride pozitif yük olduğu açık.

Öyleyse bir elektrik alan olması gerektiği de açık.

Fakat iletkenin içindeki elektrik alan, işte buralardaki her yerde, sıfır olmalıdır.

Eğer sıfır değilse, sıfır olana kadar elektronlar hareket etmeye devam edecekler.

İletken madde içinde hiç elektrik alanı yok.

İç yüzeyde herhangi bir yük ile ilgili olarak, bu, ne anlama gelir?

Şimdi iç yüzeyde yük olmalıdır.

Çünkü şimdi bu küresel yüzeyi Gauss yüzeyim olarak alırsam, kapalı bir yüzey, Bay Gauss bu yüzey üzerinden E nokta dA'nın kapalı yüzey entegralinin sıfır olması gerektiğini söylüyor, çünkü elektrik alan her yerde sıfırdır.

Bu, içteki tüm yük bölü epsilon sıfır ile aynıdır.

Bu yüzden bu – içteki yük – sıfır olmalıdır.

İletkenin kendi içinde hiç yük olamayacağından, bu Gauss yüzeyi içindeki net yükün sıfır olması için, negatif yük iletkenin iç yüzeyinde toplanmalıdır.

Şimdi içeride yük elde ediyoruz, iç yüzeyde ne kadar yük toplanmıştır?

Tam olarak eksi q. Böylece ikisinin toplamı sıfırdır.

Başlangıçta bu iletken yüksüzdü. Hiç net yükü yoktu.

Bu yüzden de, şimdi iletkenin dış yüzeyinde artı q kadar yük görmemiz gerekir.

İç yüzeydeki eksi yükler iletkenin kendisinden geldiği için, toplam sıfır olmalıdır.

Şöyle bir özel duruma sahibiz: Oyuktaki +q yükü, ki oyukta bir E alanı yaratır, iç yüzeyde aynı büyüklükte ama zıt işaretli – q yükü indükler ve dış yüzeyde de +q yükü oluşur.

Ve elektrik alanlar, onlar çok karmaşıktır.

Elektrik alanlarını içeride çizmeye çalışayım; bu q yükü bu duvara o duvardan daha yakın ise, bu duvarda negatif yükün oradakinden daha yoğun olacağını düşünürüm.

Bu aslında bir indükleme etkisidir. Negatif yük bu artıya gitmek ister.

Gerçekte olan budur.

Yani bu yük bu duvara o duvardan daha yakın olduğu için, daha fazla elektron çekebilecek ve bu nedenle buradaki yük yoğunluğu oradakinden daha yüksek olacaktır, bu açık. Öyleyse alan çizgileri, her zaman eş potansiyele dik, daima bu şekilde duvara dik olmalıdır. Böylece, birkaç alan çizgisi çiziyorum.

Ama burada alan oradakinden daha güçlü olacaktır.

İçeride bir alan var. Şimdi dışarıdaki yük dağılımı ne olur?

Bu hepsinden daha zor. Ve o kadar açık değil.

Bu kürede, çünkü o bir küre, dış taraftaki yük düzgün dağılmış olarak ortaya çıkar.

Bu, sezgisel değildir ve belli de değildir.

Doğa tüm fizik kurallarına uymalıdır. İletken bir eş potansiyel olmalıdır.

İletken içinde herhangi bir elektrik alan olamaz.

Elektrik alan çizgileri her yerde yüzeye dik olmak zorundadır.

E nokta $d\ell$ 'nin kapalı yol entegrali her yerde sıfır olmalıdır.

Ve doğanın yapabildiği tek şey, yüzeyde yük dağılımını düzgün yapmaktır.

Bunu düşündüğünüzde şaşırtıcı gelir.

O, içerdeki bu artı q yükünün konumundan bağımsızdır.

Artı q yüküyle etrafta dolaşmaya başlarsanız, dış dünya bunu bilemez.

Dış dünya, yalnızca dışarıda homojen dağılmış artı q yükünün olduğunu bilir, çünkü o bir küredir. O bir kalp olsaydı bu durum olmazdı.

Ama dış dünya, içteki o yük ile etrafta hareket ettiğinizi bilme durumuna sahip değildir.

Orada içerde otururken, bir lastik çubuğu bir kediye sürttüğümü varsayalım.

Lastik çubuğu kedi üzerine sürterek, aynı miktarda pozitif ve negatif yük oluştururum.

Dış dünya bunu bilemez, çünkü içerdeki yük miktarını değiştiremem.

Sadece cebimde artı q var.

Kedide artı ve belki kendimde eksi oluşturduğum gerçeğini dış dünya asla bilemez, çünkü yüklerin toplamı hala q'dur.

Onlar, kedi miyavlamasını duyabilirler, ama duyabilecekleri tek şey budur.

Fakat orada yüklerle oynadığımı bilme yöntemine sahip değillerdir.

Ve bu nedenle dış dünya içerde olanları bilme yöntemine sahip değildir.

Buna **elektrostatik perdeleme** diyoruz.

Başka bir deyişle bir Faraday kafesi etkisi.

Bu kutuyu elektrik alanı içine getirdiğimde, olacakları göstermek istiyorum.

İçi-boş bir iletken cisim...

Van de Graaff'ın elektrik alanına getiriyorum onu; o bir iletken; indüklenme nedeniyle şu şekil üzerinde gördüğünüze benzer şeyler elde edebileceğinizi göstereceğim size.

Bir tarafta negatif yük diğer tarafta pozitif yük ve içerde sıfır yük elde edeceksiniz.

Oldukça şaşırtıcı, değil mi?

Bu pozitif olsaydı, olduğunu varsayalım, o zaman bu taraf negatif olur, bu taraf pozitif olur, tümü eş potansiyelli, içerde yük yok.

Oldukça şaşırtıcı.

Bunu, Van de Graaff'ı çalıştıralım. Böylece elektrik alan oluşturuyoruz.

Elektroskopu çalıştıralım.

Bu benim küçük iletken Ping Pong topum ve ilk önce sizin tarafınıza, kutunun sol tarafına dokunacağım, işte dokundum, şimdi bu yükü elektroskopa getiriyorum.

Harika, güzel yük.

Şimdi diğer tarafa dokunuyorum ve yaklaşacağım- bir kıvılcım duydum, kıvılcımlar her zaman tehlikelidir.

Elektroskopa yaklaşıyorum; eğer elektroskopun göstergesi daha az sapma gösterirse, daha önce tartıştığımız gibi, bu, burada sahip olduğum polaritenin elektroskoptaki polariteden farklı olduğu anlamına gelir, açıkça görüyorsunuz.

Sapma daha az oldu.

Bu yüzden bu taraftan aldığım yük o taraftan aldığım yükten farklı bir polariteye sahiptir. Fakat yine de, tüm kutu bir eş-potansiyeldir.

Yüklerin tüm bu tuhaf kutuplaşması yüzeyde meydana gelir.

Ve şimdi içeriye ulaşmayı deneyeceğim.

İçeriden bir miktar yük elde etmeye çalışacağım; orada hiç yük olmamalı.

Oh, tabi ki bu yükü boşaltmalıyım; buna dokunuyorum ve görüyorsunuz ki hiç yük yok.

Oldukça şaşırtıcı olan üç şey görmüş olduk:

Bu taraftaki yük o taraftaki yükten farklı bir polariteye sahip; her şey yüzeyde oluyor; içerde hiçbir şey olmuyor. İçerden hiç yük elde edemedim.

Şimdi daha tehlikeli bir şeyle deney yapacağız. Bu Van de Graaff'la.

Burada bazı yerleri açık olan bir Faraday kafesi görüyorsunuz.

Bütün bir iletken değil, ama durumu çok fazla değiştirmeyen küçük delikler var.

Belki sadece biraz değiştirir..

Ve o kafesin içine gireceğim; şu da güzel bir Faraday kafesi olabilirdi, ama onun içinde emeklemek bile zor olurdu benim için !

Ve bu kafese bir radyoyla girersem, arabanızdaki radyo gibi, o zaman radyoyu duyamayabilirsiniz. Radyo dalgaları zor bir hikaye olsa bile, tartıştığımız perdeleme sadece elektrostatik korumadır ve radyo dalgaları güçlü biçimde değişen alanlardan oluşan elektromanyetik ışınlardır.

Bu nedenle düşünebildiğiniz kadar kusursuz bir koruyucu olmayabilir.

Ama hepimiz biliyoruz, birisi arabanızın antenini koparırsa, ki bu Cambridge'de sürekli olur, içerde hiç yayın alamazsınız.

Çünkü arabanız bir Faraday kafesidir.

Şimdi yapacağım iş, kafesin içine girmek.

İlk önce kafesi yüklediğimiz zaman, onu birkaç yüz bin volta yükselteceğimizi size göstereyim. Evet, gerçekten oraya temas olması şartıyla bu kafesin Van de Graaff la yüklenmiş olacağına sizi inandırmak için, elimde sadece birkaç gelin teli tutacağım.

Önce size şunu göstereceğim: Bu kafesi yüklediğimizde, onu birkaç yüz bin volta çıkardığımızda, evet gerçekten bu kafesin Van de Graaff vasıtasıyla yüklendiğine sizi inandırmak için, elimde sadece birkaç gelin teli tutacağım.

Ve görüyorsunuz, evet Marcos bana tam voltaj ver, yalnızca tellere bakalım, bu teller açıkça şimdi bir elektroskop gibi yüklü olduğumu gösteriyor; görüyorsunuz.

Böylece, evet yükümü boşaltmak için yere atlayacağım.

Sonra içeri gireceğim. Gelin telleri elimde olacak.

Böylece, kafes yüklendiğinde, orada, içerde bu gelin tellerinin ayrılmayacağını göreceksiniz ve bu harika radyo da yanımda olacak,

Bunu planlamamıştım, bana inanın.

Kafesi yüklemeyen önce içeri gideceğim.

Onun için bir şey yapmayın.

Hiçbir şey olmuyor. Korunuyorum.

Ancak bir sorun var.

Beni hala duyabiliyorsunuz; bir verici kullanıyorum ve alıcı bu kutunun dışında herhangi bir yerde.

Öyleyse neden hala beni duyabiliyorsunuz?

Bu, gönderdiğim radyo dalgaları türünün çok yüksek frekanslı olduğu anlamına gelir, durgun bir alan değil, o yüzden bir şekilde doğrudan alabilirler.

Bu yüzden perdeleme, hızlı değişen elektrik alanları için mükemmel değil.

Ama genlik modülasyonlu radyolar için yeterince iyi.

Şimdi içeri gireceğim ve cesur olmaya çalışacağım ve şimdi o beni çarpmaya, öldürmeye çalışacak.

Ama elektrik ve manyetizma dersini öğrendiğimden beri, korkmuyorum.

Elimi yaktım, orası ayrı bir konu.

Tamam. Marcos.

Yapabildiğinin en iyisini yap.

Gelin telleri burada.

Yüz bin volta çıkarmaya çalış.

İki yüz bin volta.

Burada içerde kendimi yüksek gelgitte bir midye gibi mutlu hissediyorum.

Hiçbir şey olmuyor.

Hiç endişeli değilim.

Buraya bir yıldırım düşse, kimin umurunda?

Bir Faraday kafesindeyim.

Hafta sonumu berbat edemez.

İçine dokunabilirim.

Burada hiçbir yerde yük yok.

Hafta sonum berbat olmayacak.

Ve yeni ödevinizin de sizinkini berbat etmeyeceğini umuyorum.

Gelecek derste görüşürüz.