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

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

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

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 3

Bugün tamamiyle yeni bir kavram üzerinde duracağız. Bu kavram **elekrik akısı**dır.

Uzun bir yol katettik.

Coulomb Yasasıyla başladık. Elektrik alan çizgilerini gördük.

Ve şimdi elektrik akısına geldik.

Varsayalım ki böyle bir elektrik alanımız var ve bir kâğıt parçasını veya mendil gibi açık bir yüzeyi bu elektrik alanının içine getirdim.

İşte burada; bunun gibi bir şey.

Şimdi bu yüzeyi herbirinin alanı dA olan sonsuz küçük yüzey elemanlarına bölelim ve bu da yüzeye dik birim vektör *n–şapka* olsun.

Böylece, şimdi diyelim ki, bu bölgedeki elektrik alan, örneğin bu olacaktır.

Bu bir vektördür.

Şimdi bu küçük yüzeyden geçen dϕ elektrik akısı, büyüklüğü dA olan bu yüzey elemanına dik vektör ile E'nin nokta çarpımı olarak tanımlanır.

Kitabınız ndA yerine basitçe hep dA'yı kullanıyor.

Bu yüzden, ben bundan hoşlanmadığım halde onu böyle yazacağım, bu kitabın gösterimini izleyeceğim.

Dolayısıyla bu dA vektörü, her zaman bu küçük dA elemanına diktir ve dA büyüklüğüne sahiptir.

Ve bu skaler veya nokta çarpım olduğu için, E'nin büyüklüğü çarpı dA alanı çarpı bu iki vektör arasındaki açının, teta açısının, kosinüsüdür.

Ve bu skalerdir. Bu sayı sıfırdan büyük olabilir, sıfırdan küçük olabilir ve sıfır olabilir.

Ve tüm yüzey üzerinden integral alarak, tüm yüzeyden geçen akıyı hesaplayabilirim.

Ve tanımdan akının birimi, bu akı için Newton bölü Coulomb çarpı metre kare olarak hemen bulunabilir.

SI birimleri dışında, bunu kimse böyle kullanmaz.

Bunu bir hava akımıyla kıyaslayarak, size önce bir önsezi vereyim.

Orada gördüğünüz bu kırmızı oklar havanın hızını göstersin ve orada siyah dikdörtgenler görüyorsunuz.; üç tane.

Dikkat ederseniz, birincisinde bu alanın **yüzey normali** havanın hız vektörüne paraleldir ve şimdi bu dikdörtgenin içinden saniyede m^3 olarak, ne kadar hava geçtiğini bilmek isterseniz, bu V çarpı A kadar olur. Çok basit.

Bununla birlikte, eğer bu dikdörtgeni, normali hız vektörüne 90 derece olacak şekilde döndürürseniz, bu dikdörtgenden hiç bir şey geçmez ve bu yüzden o, sıfır olur.

Yani akı – hava akısı sıfırdır. Açı 60 derece olursa, o zaman akı, elbette ki V çarpı A çarpı 60 derecenin kosinüsü olacaktır.

Şimdi, bu kırmızı vektörleri elektrik alanları olarak düşünün.

Buna göre, ilk durumda bu yüzeyden geçen elektrik akısı şimdi basitçe E çarpı A olacaktır.

İkinci durumda o sıfırdır.

Ve son durumda E çarpı A çarpı 60 derecenin kosinüsüdür.

Bu nedenle, bazen bunu hava akımları gibi düşünebilirsiniz.

Alan çizgileriyle uğraştığımızda, onların bazen çok yararlı olduklarını görmüştük.

Şimdi bir yüzey alayım ama bunun gibi açık olmasın.

Bu açık bir yüzey. Her iki tarafından da girilebilir.

Fakat şimdi tamamiyle kapalı olan bir yüzey seçiyorum.

Bir patates çuvalı veya bir balon gibi.

Size tamamen kapalı bir yüzey olduğu hissini vermek için, buraya bu çizgiyi çiziyorum.

Böylece bu yüzey içerisine sadece dışarıdan girebilirsiniz.

Ve şimdi buraya ve buraya normalleri koyabilirim, bu bir dA normali ve burada diğer bir dA normali var, o belki bu yönde olabilir.

Bu durumda, uzlaşım gereğince, yüzeyin normali, yerel olarak normali, her zaman yüzeyin içerisinden dış dünyaya doğru alınır.

O kapalı bir yüzey olduğundan, yüzey normali özgün olarak tanımlanmıştır.

Burada özgün olarak belirtilmemişti.

Bunu keyfi olarak seçtim, fakat onu 180 derece döndürebilirdim. Çünkü o iyi tanımlanmamış bir açık yüzeydir.

Buradaysa o çok iyi tanımlanmıştır.

Bu yüzden, normal daima içerden dışarıya gidecek şekilde seçilir.

Ve şimdi ben bu kapalı yüzeyden geçen toplam akıyı hesaplayabilirim.

Yerel olarak E ile dA'nın nokta çarpımını, tüm yüzey üzerinden toplayınca, bu belli bir sayı verir.

Demek ki, E çarpı dA'nın integrali bu kapalı yüzey üzerinden alınır ve yüzeyin kapalı olması nedeniyle, onun kapalı bir integral olduğunu hatırlatması için buraya bir çember koyarız ve bu durumda buraya kapalı yazacağım.

Ve bu, artık bu yüzeyden geçen toplam akıdır.

O sıfırdan büyük olabilir. Sıfırdan küçük olabilir. O bir skalerdir, bir vektör değildir. O sıfıra eşit olabilir.

Sıfıra eşitse, o zaman içeri ne kadar hava giriyorsa, dışarıya da o kadar çıktığını düşünebilirsiniz.

Dışarı akan içeri akandan daha fazla ise, o zaman akı pozitiftir.

İçeri akan dışarı akandan daha fazla ise, akı negatiftir.

Şimdi bir noktasal yüke sahip olduğum basit bir durum için akıyı hesaplayalım.

Böylece burada bir noktasal yüküm var ve bu noktasal yükü, bir çantaya koyuyorum ve bu çanta bir küre şeklinde olsun.

O bir küre ve büyük R yarıçapına sahip. Ve içindeki yük de pozitif Q olsun. Sadece basitlik için.

Peki, burada küçük bir dA elemanı seçiyorum.

Ve bu dA elemanı radyal olarak dışa doğrudur.

dA.

Bu, yüzeye dik ve dolayısıyla radyal. Bu noktada elektrik alan da radyaldir.

Daha önce bundan bahsetmiştik.

Böylece dA ve E, yalnızca burada değil, bu küre üzerinde her yerde paraleldir.

Açının kosinüsü bire eşittir.

Ayrıca, büyük Q'dan küçücük akı miktarını hesapladığım bu yüzey elemanına giden birim vektör olarak, *r-şapka* vektörünü tanımlayabilirim.

Böylece eğer şimdi ben bu küreden geçen toplam akının ne olduğunu bilmek istersem, bunu bulmak çok kolaydır. Çünkü bu bir küre olduğundan, E vektörünün büyüklüğü her yerde aynıdır; zira yarıçap aynı, yani yüke olan uzaklık aynıdır ve dA ile E birbirine paraleldir.

Böylece akı, basitçe bu kürenin yüzeyi olan dört pi R kare çarpı E'dir.

Demek ki, bu kapalı yüzeyden geçen toplam akı, basitçe dört pi R kare çarpı E olur.

Peki, E nedir?

Bu R uzaklığındaki elektrik alan, Q bölü dört pi epsilon – sıfır, R kare çarpı *r-şapka*'ya eşit olur.

Bu bana yönü verir. Böylece eğer ben akının dört pi R kare çarpı E olduğunu bilirsem, buraya dört pi R kare koyarım ve dört pi R kareleri sadeleştiririm ve E vektörünü bulurum, en azından elektrik alanın büyüklüğünü. Affedersiniz,; bu, akı ϕ olacak, benim hesaplamak istediğim şey ϕ idi. Burada bunu E ile çarpınca, toplam akı, Q bölü epsilon - sıfıra eşit çıkar.

Ve demek ki akı, R mesafesinden bağımsızdır.

Bu o kadar şaşırtıcı değildir; çünkü eğer siz onu dışarıya akan hava olarak düşünürseniz, o zaman havanın tümü, ben bu küreyi büyük yapayım ya da yapmayayım, bir şekilde dışarıya gitmek zorundadır.

Böylece küremin boyutlarından bağımsız olan akı, tam burada, merkezde bulunan yükün epsilon - sıfıra bölünmesiyle verilir.

Şimdi başka şekilli bir kapalı yüzey seçseydim, küre değil ama onun çökertilmiş bir hali, dışarıya akan havanın tamamen aynı olacağı açıktır.

Dolayısıyla, bu sonucu bulmak için bir küre almak zorunda değilim.

Bu noktasal yük etrafında herhangi bir acaip kapalı yüzey olabilir ve gene tam olarak aynı sonucu bulurum.

Eğer bu patates çuvalının içerisine birden fazla yük koyarsam, o zaman açıkça farklı yüklerin elektrik alanlarının toplanabildiğini bildiğim için, onları vektörel olarak toplayabilirim. Öyleyse bu bağıntı çuval içindeki herhangi bir yükler topluluğu için de geçerli olmalıdır. Böylece elektromanyetizmada **Gauss yasası** olarak adlandırdığımız ilk kilometre taşımıza ulaşmış oluruz.

Ve Gauss yasası, kapalı bir yüzeyden geçen akının, elektrik akısının, E nokta dA kapalı yüzey integralinin, seçtiğiniz herhangi bir anda çuval içerisindeki tüm Q yüklerinin toplamının epsilon - sıfıra bölümü olacağını söyler.

Ve bu, bu dersin kalbi olan Maxwell'in dört denkleminden ilkidir.

Böylece, herhangi bir kapalı yüzeyden geçen elektrik akısı, her zaman bu kapalı yüzey içindeki yükün epsilon - sıfıra bölümüdür.

Ve eğer akı sıfır olursa, bu çuval içerisinde net yükün olmadığı anlamına gelir.

Orada pozitif yükler, burada negatif yükler olabilir, fakat net yük sıfırdır.

Gauss Yasası her zaman geçerlidir. Çuval içindeki yük dağılımı ne kadar acayip olursa olsun...Bu çuvalın şekli de ne denli acayip olursa olsun...

Bu yasa her zaman geçerlidir.

Fakat yüklerin çok simetrik olarak dağıldığı bir duruma sahip değilseniz Gauss yasası size çok fazla yardımcı olmayacaktır.

Gauss yasası kuşkusuz gene geçerli olacaktır; ancak elektrik alanını hesaplamada Yasanın size hiç bir faydası olmaz.

Elektrik alanını başarılı bir şekilde hesaplamak için, simetrik yapılara gereksinim duyarsınız; bu derste ilgileneceğimiz üç simetri biçimi vardır.

İlki kuşkusuz küresel simetridir.

Bir diğeri silindirik simetri..

Ve üçüncüsü düzgün yük dağılımlı düz levhalardır.

Demek ki ayrıca simetrik durumlara sahip olmalıyız.

Şimdi, ilk örnek olarak, Gauss Yasasının bir uygulamasını kullanmak istiyorum; buna küresel simetrik bir durumla başlayacağım.

İnce bir kabuk alıyorum, ince içi boş bir küre; dolayısıyla bu yarıçap R dir ve buraya Q yükü koyuyorum; fakat düzgün olarak dağılmış bir biçimde. Bu çok önemli.

Eğer o düzgün bir biçimde dağılmamışsa, simetri yok demektir, o zaman bu problemi çözemem. Bu yüzden yük düzgün dağılmış alınacak.

Daha sonra bu derste bunu yapmanın çok kolay olduğunu öğreneceğiz; çünkü bu biçime sahip bir iletken üzerine yük getirirseniz, bu yük otomatik olarak kendini dağıtacaktır.

Dolayısıyla bunun üzerinde düzgün bir şekilde dağılmış bir pozitif Q yüküne sahibiz, yani öyle olmalı. Şimdi merkezden r uzaklıkta, burada elektrik alanının ne olduğunu bilmek istiyorum ve merkezden bu r uzaklığında, burada, elektrik alanı nedir?

Diğer bir deyişle uzaydaki her yerde elektrik alanının ne olduğunu bilmek istiyorum.

Sırf bu düzgün yüklü küreden dolayı. Bu işi, Gauss yasasıyla basitçe şöyle yaparız:

Şimdi Gauss yüzeyinizi seçmek zorundasınız.

Ve eğer onu akıllıca seçmezseniz, hiçbir yere varamazsınız.

Bunun gibi bir durumda, seçeceğiniz Gauss yüzeylerinin küreler, ortak merkezli küreler olması gerektiği apaçıktır.

Eğer siz bu noktada elektrik alanının ne olduğunu bilmek isterseniz, bu noktadan geçen bu r yarıçaplı bir küre seçin ve eğer onun burada ne olduğunu bilmek isterseniz bu noktadan geçen bir küre seçin.

Tamamen kapalı, eş merkezli bir küre.

Artık simetri savlarını kullanmalısınız. Ve simetri savları şunlardır:

Problem küresel simetrik olduğu için, eğer siz buradaysanız orada elektrik alanı ne ise, onun büyüklüğü burada da ve şurada da aynı olmalıdır.

Problemin simetrisinden dolayı, alanın buradaki değeri, buradaki değerinden daha büyük olamaz. Bu açıktır.

Bu bir simetri savıdır, çünkü yük burada düzgün olarak dağılmıştır.

Bu, bir numaralı simetri savıdır. Şimdi diğer simetri savına gelelim.

Elektrik alanı - eğer bir elektrik alanı varsa, ya radyal olarak dışa doğru ya da radyal olarak içe doğru olmalıdır.

Bu yüzden o ya böyle olmalı ya da böyle; ve burada da aynı; Ya böyle, ya da böyle.

Çünkü bu bir pozitif yük ise, alanın dışa doğru olacağını zaten biliyoruz.

Böyle ya da böyle yönelemez, çünkü doğa bu küresel simetrik problemde alanın böyle ya da böyle yönelmesine hükmedemez.

O sadece radyal olarak yönelebilir. Bu ikinci simetri savıdır.

Dolayısıyla artık bu küreye dönersek, elektrik alanının, artı veya eksi işareti dışında ve dA ile E arasındaki açının sıfır ya da yüz seksen derece olması dışında, radyal ve dışarı doğru olduğunu biliyoruz.

Şimdi bu kürenin yüzey alanının, dört pi r kare olduğunu biliyoruz; bunu tam buradaki E vektörünün büyüklüğü ile çarpalım. Bunu yapabiliriz, çünkü dA, E'ye ya paralel ya da antiparaleldir.

Bu $Q_{iç}$ bölü epsilon sıfır'a eşit olmalıdır.

İçerde Q yoktur, bunun için E sıfır olmalıdır.

Bu şaşırtıcı bir sonuçtur.

Evet, ama içerde zaten yük yok diyebilirsiniz. Gene de şaşırtıcı bir sonuçtur.

Çünkü bu, içerde her yerde, seçtiğiniz yarıçap ne olursa olsun, elektrik alanının tam olarak sıfıra eşit olduğu anlamına gelir.

Bu demektir ki, buralara düzgün biçimde dağılmış olan tüm bu yükler delice bir kumpas ile, her biri tek tek Coulomb yasası uyarınca içerdeki E alanına katkıda bulunup hepsi işbirliği yaparak içerdeki alanı her yerde sıfır yaparlar.

Bu önemli bir sonuçtur. Tamam.

Böylece şimdi elektrik alanın içerde sıfır olduğunu biliyoruz.

Demek ki bu, r küçük R ($r < R$) içindir.

Şimdi r büyük R'ye ($r > R$) bakalım.

Size söylediğim herşey, bu içi boş kürenin dışı için de geçerlidir. Her şey geçerlidir.

Buradaki elektrik alan yüzey üzerindeki her yerde aynı olmalıdır.

dA ve E paralel ya da anti paraleldir.

Böylece gene, yüzey alanı olan dört pi r kare çarpı elektrik alanı eşittir $Q_{iç}$ bölü epsilon sıfır olması gerektiğini yazabilirim, fakat bu Q şimdi şu Q'dur.

O sıfır değildir. İçerde yük vardır.

Ve bu yüzden, E elektrik alanının büyüklüğünü, Q bölü dört pi r kare epsilon sıfır olarak bulurum.

Ve eğer yük pozitif ise, yönünün elbette ki radyal ve dışarı doğru olacağını ve negatif ise radyal ve içeri doğru olacağını biliyoruz.

Bu önemli bir sonuçtur. Biz daha önce bunu görmüştük.

Eğer tüm yükleri tam buraya, ortaya, merkeze koysaydım, tam olarak aynı cevabı elde ederdik. Bunu daha önce görmüştük.

Diğer bir deyişle, yükün küre üzerine düzgün dağılmış olması, ya da tüm yükün kürenin merkezinde toplanmış olması, küre dışında olduğunuz sürece, elektrik alanını farklı kılmaz.

Eğer elektrik alanını r'nin fonksiyonu olarak çizerseniz; burası büyük R ve bu da alanın şiddeti olsun; o zaman elektrik alanını içerde sıfır elde edersiniz, bir maksimum değere sıçrar ve sonra bir bölü r kare ile azalır; bir bölü r kare ile orantılı olarak.

Elektrik alanının içeride sıfır olduğu duruma dönersem, bu küçük bir hile değil mi diyebilirsiniz:

Çünkü, evet içerde yük yoktur.

Fakat gerçekten dışarıdaki yükü kullandınız mı?

Ve eğer onu kullandıysanız, nasıl kullandınız?

Ben onu kullandım. Simetri savlarımda onu kullandım.

Simetri savları yükün düzgün bir şekilde dağılmış olduğunu göz önünde bulundurur.

Eğer küre üzerindeki yük düzgün bir şekilde dağılmamış olsaydı, simetri tartışmasını kullanamazdım ve bu yüzden içerdeki elektrik alan gerçekte sıfır olmazdı.

Eğer küre üzerinde burada, buradakinden daha fazla yük varsa küre içindeki alan sıfır olmaz.

Bu yüzden ben simetri tartışmamın yardımıyla yüklerin tümünü kullandım.

Gauss Yasası ve Coulomb Yasası bir şekilde aynı yasadır.

Onların her ikisi Q yükünü elektrik alana bağlar.

Can alıcı nokta, elektrik kuvvetinin bir bölü r kare ile orantılı olarak azalması gerçeğidir.

Eğer elektrik alan şiddeti bir bölü r kare ile orantılı olarak azalmasaydı, Gauss Yasası geçerli bile olmazdı.

Ve bu düzgün yüklenmiş küre içinde elektrik alan sıfır olmazdı.

Dolayısıyla, elektrik kuvvetlerinin bir bölü r kare ile azalmasının sonucudur bütün bunlar.

Yerçekimi kuvvetleri de bir bölü r kare ile orantılı olarak azalır.

Bu yüzden eğer siz bir gezegeni ele alırsanız, ve eğer o içi boş küresel simetrik bir gezegense, bu içi boş gezegenin içinde yerçekimi kuvveti yok demektir.

Böylece eğer siz orada olsaydınız, orada sizin üzerinizde bir yerçekimi kuvveti olmayacaktı. Eğer küresel ise.

Bu gezegen kübik olsaydı, o zaman yerçekimi alanı sıfır olmayacaktı.

Pekâlâ Mekanik dersinde her zaman bir gezegen ele alır ve gezegenin dışında çok uzakta olduğumuzda, tüm kütleyi bir araya toplayıp, onu bir nokta olarak düşünürdük diyebilirsiniz. Evet gerçekten öyleydi.

Sizin için büyük bir iş değil, bu benim için de büyük bir iş değil. Fakat bu Newton için büyük bir işti.

Newton, düzgün kütle dağılımlı bir gezegeniniz varsa, gezegenin dışında olduğunuz sürece, onu bir noktasal kütle gibi düşünebileceğinizin doğru olduğunu sezgisel olarak hissetmişti.

Fakat bunu kanıtlamak onun 20 yılını aldı ve sonunda sonuçlarını yayınladı.

Bu iş şimdi bizim sadece 30 saniyemizi alır. Newton, Gauss Yasasını kullanamamıştı.

Bu yasa, ondan yaklaşık 100 yıl sonra ortaya çıktı.

Fakat net sonuç, sizin burada önünüzde gördüğünüzdür: Eğer düzgün bir yük dağılımınız varsa,. yerçekimiyle paralellik kurabilir ve dışarıdaki elektrik alanını, tüm yükü bir noktaya, merkeze toplayıp elde edersiniz.

Bu küresel simetridir, bir numara.

Elektromanyetizma dersinde sahip olduğumuz en basit simetri budur.

Şimdi size 2. simetri biçimini sunacağım: düz bir yatay düzlem.

Bunun çoğunu siz kendiniz inceleyin istiyorum, fakat onu tasarlamak için size biraz yardım edeceğim.

Varsayalım ki çok çok büyük bir düzlemimiz var.

Onu şimdilik sonsuz büyük olarak düşünün. Kuşkusuz böyle bir şey yoktur – sonsuz büyüklük.

Şimdi bu düzlem üzerine biraz yük koyuyorum.

Sigma adını verdiğim belli bir yük yoğunluğu koyuyorum.

Sigma, birim alan (A) başına yük (Q) miktarıdır.

Böylece bu, metrekare başına bir miktar Coulomb'dur.

Bu yük düzgün bir şekilde dağıltılmıştır; bu yüzden tüm düzlemin her yerinde metre kare başına Coulomb olarak aynı miktarda yük vardır.

Veya mikrocoulomb, nanocoulomb; hangisini tercih ederseniz.

Ve bu kocaman bir düzlemdir ve daha önce kürenin içinde ve dışında herhangi bir yerde elektrik alanının ne olduğunu sorduğumuz gibi, uzayda herhangi bir yerde elektrik alanının ne olduğunu sorabilirsiniz.

Şimdi bu düzlemin civarında herhangi bir yerde onun ne olduğunu bilmek istiyorum.

Eğer şimdi siz akıllıca bir Gauss yüzeyi seçerseniz, cevap pat diye ortaya çıkıverir.

Eğer Gauss yüzeyi olarak bir küre seçseydiniz, suda boğulurdunuz; hiçbir yerdeki alanı elde edemezdiniz, çünkü küresel simetri burada yok.

Size Gauss yüzeyini tanımlayacağım, ama elektrik alanını evde sizin elde etmenizi istiyorum.

Varsayalım ki, düzlemin üzerinde bir d mesafesinde elektrik alanının ne olduğunu bilmek istiyoruz.

Benim şimdi yaptığım şey Gauss yüzeyim olarak bunu seçmektir.

Beni dikkatlice izleyin. Bu düzlem ile olan arakesittir.

Bu benim Gauss yüzeyimdir. O kapalı bir yüzeydir.

d konumunda E vektörünün ne olduğunu hesaplayabilmek için şu üç şartı karşılamak durumundasınız:

Birincisi bu bir düz yüzeydir, burası ve bu da gene düz bir yüzeydir.

Bunlar düzleme paralel olmalıdırlar.

Eğer bu olmazsa, Gauss Yasasını kullanamazsınız.

İkincisi, bu düşey duvarlar bu düzleme diktir.

Diğer bir deyişle, bunlar paraleldir ve bunlar tam olarak diktir.

Eğer siz onları düşey yapmazsanız, şöyle yaparsanız, suda boğulursunuz.

Gauss Yasasını çok etkili olarak kullanamazsınız.

Ve sonra çok önemli olan üçüncü sav, bu düz yüzeyin düzlemin üzerinde bir d mesafede olması ve bu düz yüzeyin de düzlemin altında tam olarak aynı mesafede yer almasıdır.

Çünkü siz bir simetri özelliğini kullanmak istiyorsanız ve bu düzlem düzgün yüklenmiş ise; buradaki elektrik alan vektörü, büyüklük olarak buradaki ile aynı olmalıdır, belki yönelimleri aynı olmayabilir - bu d ile bu d aynı olduğu sürece,.

Böylece bu, iki d'nin aynı alınmasının niçin önemli olduğunu gösterir.

Ve Gauss Yasasını uyguladığınızda, içerde sahip olduğunuz tek yük tabiî ki buradaki yüktür.

O, bu kapalı kutu içindeki tek yüktür.

Siz bunu evde çalıştığınızda, şaşırtıcı bir sonuç bulacaksınız.

Bu dik duvarlardan geçen elektrik akısının sıfır olduğunu hemen anlayacaksınız.

Bu dik duvarlardan hiç bir şey girip çıkmaz. Bunu düşünün.

Bunun sebebi nedir?

Simetri savlarını kullanın.

Buradan birşeyler dışarıya çıkar, ya da yük negatif ise içeriye girer ve buradan da gene dışarıya birşeyler gider.

Yani sadece uçlardaki bu iki levhadan gelen iki katkıya sahip olursunuz.

Bunun üzerinde çalışırsanız, muhtemelen elektrik alanının sigma bölü iki epsilon sıfıra eşit olduğu şaşırtıcı sonucu bulacaksınız. Bu sonuç, sizin düzlemden ne kadar uzaklıkta olduğunuzdan bağımsızdır.

Siz ne kadar uzak veya ne kadar yakın olursanız olun sonuç aynıdır.

Eğer bu sözkonusu düzlem ise ve pozitif yüklü ise, o zaman E burada şöyle, burada böyle olmalı ve mesafeden bağımsız olmalıdır; negatif yüklüyse, E bunun gibi ve bunun gibi – düzleme doğru olacaktır; tüm durumlarda alanın büyüklüğü sigma bölü iki epsilon sıfır olmalıdır.

Eğer düzlemden iyice uzağa gidersem, o hala mesafeden bağımsız anlamına mı geliyor? Eğer bu düzlem aşırı büyükse, evet.

Fakat eğer düzlem sadece bu derslik kadarsa, o zaman açıkça düzleme nispeten yakın kaldığım sürece, bu doğru bir şekilde geçerli olur.

Diğer bir deyişle, düzleme uzaklığım, düzlemin doğrusal boyutuna göre küçükse.

Fakat eğer ben millerce uzağa gidersem o zaman bu düzlem doğal olarak bir noktasal yük gibi görünür; eğer ben bu salondan 5 mil uzaktaysam ve düzlem sadece bu derslik kadar büyükse, o zaman o bir noktasal yük gibi görünür ve o zaman elektriksel alanın bir bölü r kare ile azalacağı açıktır.

Böylece ben elektrik alanının uzaklıkla değişmediğini söylediğim zaman, bu,doğal olarak sizin bu yüzeyin doğrusal boyutuna göre nispeten yakın olduğunuz anlamına gelir.

İşte siz bunu kanıtlayacaksınız ve ben şimdi bu sonucu iki yüklü düzlemin çok daha karışık bir düzenini hesaplamak için kullanacağım; ama bu sonucu kullanacağım.

Bu çok önemlidir.

Şimdi benim burada çok büyük bir düzleme sahip olduğumu varsayın, - tabiî ki hiçbir şey sonsuz büyük değildir - bu düzlem artı sigma yüzeysel yük yoğunluğuna sahip; evet, burada eksi sigma yüzeysel yük yoğunluğuna sahip bir düzlemim daha olsun ve bu iki düzlem arasındaki aralığa d diyelim

Ve şimdi soru şudur: uzayda herhangi bir yerde elektrik alanı nedir?

Burada, burada ve burada.

Ve bu düzlemlerin herbirinin sonsuz büyüklükte olduğunu düşüneceğiz.

Ve şimdi üstüste gelme ilkesini kullanırım. Kendi kendime "ahaa" derim.

Bu düzlem tek başına, diğerini unutun, bu düzlem tek başına bana bir E vektörü verecektir – oh renkli tebeşirimi kullanayım – , bana bunun gibi bir E vektörü verir ve değeri sigma bölü 2 epsilon sıfırdır, bu da bundan uzaklaşan yönü gösterir, sigma bölü iki epsilon sıfır; ve buradaki de sigma bölü iki epsilon sıfırdır çünkü alan düzleme olan uzaklıktan bağımsızdır.

Negatif yük ne yapıyor?

Evet, negatif yük kendine doğru yönelmiş E vektörleri oluşturuyor.

Böylece burada sigma bölü iki epsilon sıfır olan bir E vektörüne sahibim.

Burada sigma bölü iki epsilon sıfır olan birine sahibim, evet,... düzleme yönelmiş sigma bölü iki epsilon sıfır olan bir alana.

Üst-üste gelme (süperpozisyon) prensibini kullanırım, elektrik vektörlerini toplayabilirim. Bunu yaptığımda, bu ikisinin birbirlerini yok ettiğini bulurum, böylece elektrik alan burada sıfırdır.

Burada elektrik alan sigma bölü epsilon sıfırdır.

İkisi birbirini destekler.

Onların ikisi de aynı yönde çünkü..

Ve burada elektrik alan gene sıfırdır.

Ve bu şaşırtıcı bir sonuçtur.

Tabiî ki bu sonuçlar, sadece bu levhalar aşırı derecede büyük ise doğrudur ve böylece bu durum için elektrik alan çizgilerini çizersem, elektrik alan çizgileri şöyle olur: - zira üst levha pozitif idi.

Aradaki alan her yerde aynı olmalıdır; dışarıda burada ve burada sıfır olacaktır.

Şimdi buraya, bu levhaların uçlarına yakın bölgeye giderseniz, bunun burada doğru olmadığı açıktır.

Doğru olması mümkün değil. Niçin değildir?

Çünkü Simetri düşüncesini kullanamazsınız; böylece bu bölgeye yakın bir yerdeyseniz; Gauss yasası size yardım edemeyecektir.

Kenarlara yakın olduğunuzda, elektriksel alan şekillenimini hesaplamak çok zordur. Bunu, saçak alanı olarak isimlendiririz.

Tabiî ki Maxwell çok zeki bir adamdı, bunu nasıl yapacağını biliyordu.

Bugün biz de bilgisayarlarla bunu çok kolay bir şekilde yapabiliyoruz.

Fakat ben, Maxwell'in buradaki elektrik alan çizgilerini mükemmel hesaplayabildiğini onun özgün yayınlarından size göstereceğim. Böyle iki yatay levhanız var, onlardan hangisi pozitif hangisi negatif, bu önemli değil, nasıl olsa okları koymamış; İki levha arasında aşırı şiddetli bir alan var. Ve hatırlarsanız elektrik alan çizgilerinin yoğunluğu, bize elektrik alanın şiddeti hakkında bilgi veriyordu Çok şiddetli bir alan var, ama kenara geldiğinizde alan gerçekte sıfır değil.

Alanın şiddetine bakarsanız, yoğunluğun çok düşük olması, alanın çok hızlı bir şekilde düştüğünü gösteriyor. Fakat sıfır değil

Ve elektrik alan burada da sıfır değildir şurada da sıfır değildir.

Bununla beraber bizim varsayımımızda, bizim basitleştirmemizde, levhaları çok büyük aldığımız için, kenar etkisiyle ilgili endişeye gerek yok. Bu durumda elektrik alan sadece levhalar arasında olur, başka yerde olmaz.

Şimdi bugün öğrendiklerimizin bazılarını size göstermek istiyorum.

İlk olarak, büyük bir plakanın dışındaki elektrik alanının aşağı yukarı sabit olduğunu göstereyim. Sizden ne kadar uzakta olduğu önemli değil.

Şöyle yapacağım: elbette ki sonsuz büyük bir plakam yok; göreceğiniz levha, sadece birkaç metrekare boyutunda.

Ve böylece sadece 1 metreye 1 metrelik bir levha ile, eğer düzleme çok yakın durursam, elektrik alanı ancak o zaman sabite çok yakın olabilir. Elbette bir metre kadar uzağa gittiğim an, o artık doğru olamaz.

Size göstereceğim şey, bu yüzden çok niteldir.

Orada biraz sonra çok geniş bir plaka göreceksiniz. Birkaç dakika içinde onu getireceğim.

Varsayalım ki, o plakaya yanlamasına bakıyoruz. İşte o düzlem plaka.

Ona yanlamasına bakın. Onu buraya koyacağım;böyle, ama görmenizi engelleyeceği için, şimdilik koymuyorum.

Ve şimdi yapacağım şey, onu arkadaki Van de Graaff'a bağlamaktır.

Sen birkaç dakika kıyıda bekle ki sınıf bana dikkatini versin, sana değil.

İşte Van de Graaff, plakayı Van de Graaff'a bağlayacağım ve sonra bu ilginç olta sopasını kullanacağım, ucunda küçük bir Mylar balonu var; onu Van de Graff'ın yüküyle, plakadaki aynı yükle yükleyeceğim ve balonu plakanın önünde tutacağım. Kuşkusuz orada bir kuvvet olacak.

Böylece, burada benim cam sopam düşey doğrultu bu olsun.

Ve orada, bu hava dolu balon üzerinde itici bir kuvvet doğacağı için, orada bir açı oluşacak.

Balon üzerinde bir elektrik kuvveti vardır, çünkü ikisi aynı yüke sahiptir.

Ve bu duvara yansıtarak göstereceğim teta açısıdır.

Ve ben bunu levhadan uzaklaştığım zaman, teta açısının küçüldüğünü göreceksiniz.

Evet, elbette, çünkü düzlemin ne kadar küçük olduğuna bakın.

Ne yaparsam yapayım, fark etmez; eğer 20 cm'den 40 cm'ye gidersem, aslında düzlemin 40 cm'ye göre sonsuz geniş olduğunu söyleyemezsiniz.

Fakat teta açısının çok yavaş değişeceğini göreceksiniz.

Sonra bu plakayı kaldıracağız ve tamamen aynı deneyi yapacağız; fakat bu kez sadece Van de Graaff'ı kullanacağız. Van de Graff'ın kendisi bir elektrik alanı üretir.

Ve bu elektrik alan bir bölü r kare ile azalır.

Yani uzaklığa göre sabit olmayıp bir bölü r kare ile azalır.

Bu içi boş bir küre. Bu yüzden, onu tüm yükü tam merkezindeymiş gibi düşünebilirsiniz.

Biz gösterimizi yaparken, o hala burada kara tahta üzerinde duruyor. Şaşırtıcı bir sonuç elde ettiğinizi biliyorsunuz.

Ve böylece şimdi eğer ben bunu–bu oltayı – şuraya yerleştirirsem, yani bu balonu küresel Van de Graaff'ın yakınına getirirsem, elimi uzaklaştırmaya başladığım zaman bu teta açısının çok hızlı düştüğünü göreceksiniz. Aşırı derecede hızlı.

Eğer merkeze göre mesafeyi iki katına çıkarırsam, bu küçük cisim üzerindeki kuvvet dört kat daha küçüklecektir.

O, r^2 'nin tersidir

Evet, gösterimizi önce bu plakayla yapalım; sonra sadece Van de Graff'la..

Işıkları iyice kısalım. Burada bir projeksiyon var.

Bir karbon ark lambamız var. Umarım karbon arkımız bu yönde biraz ışık üretecektir.

Eğer çalışırsa...

Marcos, oh gücü açmayı unuttum.

Teşekkürler.

Böylece bu karbon ark şimdi çalışacak ve siz orada duvarda gölgeler göreceksiniz.

Elime bakın, burası plakanın gölgesi ve o sonsuz geniş olmaktan uzak.

Eğer ondan bu uzaklıkta olsaydım, dört santimetre, çok iyi bir yaklaşıklık, o sonsuz geniş olacaktı.

Fakat eğer ben burada ve orada durursam, ki öyle yapacağım; tabiî ki o artık sonsuz geniş sayılmaz.

Artık Van de Graff'ı çalıştıralım. Onu açtığımı görürsünüz.

O şimdi dönüyor.

Bunun üzerine yük koymalıyım; bu yüzden onu Van de Graaff'a dokunduracağım; ve böylece bu şimdi yüklendi.

O düzlemle aynı yüke sahip; bu düzlem de yüklenmişti

Ve burada açıyı görüyorsunuz.

Bu açıyı aklınızda tutmaya çalışın. Onu tahmin etmek zor belki onbeş derece olabilir.

Siz düşeyi görüyorsunuz ve eğer şimdi ben – onu düzlemden yaklaşık 30 cm uzaklaştırırsam.

Ve şimdi 50 cm geriye gidersem, işte oradayım, açının çok fazla değişmediğini göreceksiniz.

Eğer daha da uzağa, 60 cm ye gidersem, evet, açı biraz azalır.

Kuşkusuz azalır; fakat çok fazla değil.

Ve eğer ben uzağa gidersem. şuradaki Bulvara kadar gidersem, bu küçük cisim üzerindeki kuvvet, artık r kare ile ters orantılı olacaktır, çünkü o zaman tüm düzlem bir nokta kaynak gibi davranır.

Böylece ben size, bu düzleme çok yakın yerlerde elektrik alanının yaklaşık olarak sabit kaldığını gösterdim.

Artık levhayı kaldıralım, Marcos kaldırabilirsin evet, bunu da çıkarmak zorundasın.

Çok teşekkürler.

Böylece şimdi sadece Van de Graaffımız var.

Şimdi buradaki elektrik alanının bir bölü r kare ile azaldığını biliyoruz.

Çok iyi bir yaklaşıklık ile, yükü tam merkezdeymiş gibi düşünebiliriz.

Ona küçük bir yük vereceğiz. Oh, o zaten yüklü.

Tamam.

Böylece bu yansıya bakın. Balon şimdi, merkezden otuz santimetre, belki de kırk santimetre ötede, açı hemen hemen kırkbeş derece.

Ve şimdi gidiyorum, iki kat mesafedeyim, yaklaşık 90 cm gidiyorum ve bu teta açısına bakın.

Teta açısı şimdi azaldı, oh on derece olabilir.

Olduğum yere geri gideceğim.

Bu açı yaklaşık 40 derece.

Ve şimdi o çok küçüktür ve ben yaklaşık birbuçuk metreye gittiğim zaman herhangi bir açı olduğunu zor görebilirsiniz. O sadece birkaç derece.

Ve böylece elektrik alanının, içi-boş düzgün yüklü bir küre civarında çok hızlı bir şekilde düştüğünü sadece nitel olarak size göstermiş oldum.

Bir düzlemin yakınlarında ise, onun çok hızlı azalmadığını da gösterdim.

Size göstermek istediğim ikinci şey şu: düzgün yüklü bir küre içindeki elektrik alanının sıfır olduğu.

Burada tamamiyle kapalı olmayan bir kürem var.

Onu tamamiyle kapatamam, çünkü onu düzgün bir şekilde yüklediğim zaman içeride elektrik alanının olmadığını size göstermek istiyorum.

Ve içeri girmek zorunda olduğum için bir açıklığa ihtiyacım var.

Başka yapabileceğim hiçbir şey yok. Bir açıklık olduğu için elektrik alan içerde tam olarak sıfır değildir. Eğer o tam bir kapalı yüzey olsaydı ve yük düzgün bir şekilde dağılmış olsaydı, sadece bu durumda doğru olurdu.

Fakat bu iyi bir yaklaşıklıktır. Açıklık çok küçük.

Ve yapacağım şey, şimdi bu küreyi yüklemek. Yükü dışarı yüklüyorum.

Daha önce kullanmadığımız bir alet kullanıyorum, fakat bu çok önemli değil. İşte içi-boş kürem.

Onun üzerine yük koyacağım.

Onun pozitif yük olduğunu varsayalım. Böylece bu pozitif olarak yüklenecek.

O bir iletken olduğu için, bunu gelecek ders veya en azından bu hafta öğreneceğiz, bu yük otomatik olarak düzgün bir şekilde dağılacaktır; bu sadece bir iletken üzerinde olabilir. Ve şimdi burada bir elektrik alanının var olduğunu size göstermek için indüklemeyi kullanacağım.

İletken boya ile boyanmış iki pin pon topum var. Onlar birbirine dokunuyor.

Elektrik alanının etkisi altında, bu negatif olacaktır ve bu da pozitif;

Bunu geçen sefer tartışmıştık, bir dipol oluşturmuştuk.

Ama bunun bir dipol olması önemli değil burada.

Bunları ayırıyorum. Burada negatif yüküm ve orada pozitif yüküm var.

Bu iki toptan birisini elektroskopa dokunduracağım, hangisi olduğu önemli değil.

Ve orada yük olduğunu göreceksiniz.

Böylece o zaman bu, kürenin dışında bir elektrik alan olduğunu gösterir.

Şimdi tam olarak aynı gösteriyi yapacağım, fakat şimdi bu iki iletken topu içeriye koyacağım, böylece onlar burada olacaklar.

Onları temas ettireceğim, gerçekten temas ettikleri konusunda bana güvenmek zorundasınız ve sonra onları dışarı çıkaracağım.

Ve eğer bir hata yapmazsam, kazara bu kenara değdirmezsem, o zaman içerde bir elektrik alanın olmadığını size göstereceğim, bu indükleme olmadığı anlamına gelir, böylece toplar yüklenmemiş demektir.

Gerçekte topların üzerinde yük olmadığını elektroskopla göstereceğim.

Kullanacağım yöntem bu.

Elektroskop orada ve küre de burada.

Bu yükleme yönteminin hoş bir ismi var: electroforus., telaffuzu biraz zor.

İlk olarak bir cam plakayı kedi kürkü ile ovalıyorum.

Sonra bir metal plaka alıyorum ve onu camın üzerine koyuyorum.

Ve parmağımla ona dokunuyorum.

Ve şimdi yük transfer ediyorum; bunun nedenini düşününüz.

Onu tekrar camın üzerine koyuyorum, parmağım ile ona tekrar dokunuyorum.

Onu tekrar yüklüyorum.

Onu üzerine koyuyorum, tekrar parmağımla ona dokunuyorum.

Biraz daha yük istiyorum. Böylece bunu tekrar ovuyorum.

Bunun üzerine koyuyorum. Parmağımla ona dokunuyorum.

Bunu her yapışımda, küçük bir şok hissediyorum.

Onu buraya koyuyorum. Parmağımla ona dokunuyorum.

Tamam. Umarım yeterlidir.

Şimdi bir numaralı gösteri geliyor.

Bu küçük iki iletken küreyi, tamamiyle yüksüz olarak bu kürenin yanına getiriyorum.

İşte oradalar.

Onları şimdi ayırıyorum; şimdi yüklenmiş olmalılar.

Elektroskop'a dokunmak için bunu mu, bunu mu kullanayım?

Benim için farketmez.

Sağ elimdeki mi sol elimdeki mi, kim sağdakini istiyor?

Kim soldakini istiyor?

Sağdaki diyenler haklı. Yük var.

Böylece size orada bir elektrik alan olduğunu göstermiş oldum.

İndüklemeyle burada yük oluşturdum.

Şimdi aynısını içerde yapacağım.

O her zaman yanıltıcıdır, çünkü eğer onu bu kenara çarptırırsam, o zaman o sıfır değildir.

Delik çok küçük olduğundan ilk önce bunu içeri sokmalıyım.

Daha sonra ikinciyi içeriye sokmak zorundayım.

Şimdi onları birbirine dokundurmalıyım ve gerçekten dokunduruyorum.

Hile yapmayacağım; bu kez yapmayacağım.

Onlar şimdi birbirlerine dokunuyorlar. Ve şimdi birini dışarıya alıyorum; diğerini de dışarıya alıyorum.

Hangisiyle dokunayım, onların hiç biri üzerinde yük olmamalı.

Daha önce soldakiyle mi sağdakiyle mi yaptık?

Peki, bununla yapalım. Bununla mı?

Soldakini kim istiyor?

Sağdakini kim istiyor?

Soldaki diyenlerlere uyalım.

Oh.

Ne oldu?

Kenara dokunmuş olmalıyım. Başka türlü olamaz

Onun üzerinde yeteri kadar yük olduğuna emin olacağım.

Onu Bir kez daha yükliyeyim.

Onları boşaltalım. Tamam. Onu tekrar yapacağız.

İçeri sokalım. İçeri girsinler.

Onları birbirlerine dokunduruyorum.

Onu dışarıya alayım. Onu dışarı çıkarayım.

Hiçbirşey. Hiçbirşey.

Çok az yük olabilir, delik nedeniyle içeride elektrik alanı tam sıfır değildi.

Fakat sıfıra son derece yakın.

Size göstermek istediğim son şey, burada görmüş olduğumuz saçak alanı ile ilgili.

Burada iki paralel plaka var. Onları daha önce görmediğimiz Windhurst denen bir aygıtla yükleyeceğim.

Bu kolu döndürürsem negatif ve pozitif yük üretebilirim.

Ve bu plaka pozitif yüklenmiş olur, diğer plaka da otomatik olarak negatif yüklenir.

Ve size bunu orada göstereceğim. İşte düşünce bu.

Evet. Işıkları kısıyorum.

Böylece bu iki plakayı orada görüyorsunuz ve bir de Ping Pong topu görüyorsunuz.

Bu ping pong topu bir iletken, onun üzerine iletken boya sürülmüş.

Daha önce, benim kafam ile Van de Graaff arasında gidip gelen balon ile yapmış olduğum gösteriyi hatırlayın. Balon, Van de Graaff'a her çarpışında Van de Graaff'ın yükünü almış ve benim kafama her çarpışında benim yükümü almış ve böylece alan çizgileri boyunca ileri geri gidip gelmişti.

Ve size şimdi göstermek istediğim şey, işte bu.

Bu ping pong topu ilk olarak kondansatörün dışındaki alanı araştırmaya başlayacak – bu plakalar için kondansitör sözcüğünü şimdilik kullanmamalıyım – ve sonra ping pong topunu içeriye getireceğim ve o zaman alanın orada çok daha güçlü olduğunu göreceksiniz.

Böylece ilk önce plakaları biraz yükleyelim.

Şu sesleri dinleyin.

Her defasında o çarpmalar, o gürültüler.

Böylece top hemen hemen bu alan çizgilerini takip etmekte.

Ve her defasında bir levhadan diğerine gerçekte yük aktarmaktadır.

Top, bir yay üzerinde güzel güzel dolaşıp duruyor. Orada gördüğünüz yol üzerinde.

Böylece dışarıda bir elektrik alanının olduğu açıktır. Size bunu kanıtlamıştım.

Aksi halde şu anda yaptığı şeyi asla yapmayacaktır.

Böylece dışarıdaki elektrik alan tam olarak sıfır değildir, tabiî ki değil.

Bu plaka sonsuz büyük değil.

Ve şimdi bu ping pong topunu içeriye getireceğim; aralığı biraz genişletmek zorundayım ve onu içeriye bırakacağım.

Orada alanın çok güçlü olduğunu görüyorsunuz.

Şimdi top çok yüksek yoğunluklu alan çizgileri, yani çok güçlü elektrik alanı, boyunca ileri geri gidip geliyor. Her ileri geri gidip gelişinde plakalara çarpıyor ve polaritesi değişiyor. Bu Van de Graaff'tan başıma ve başımdan Van de Graff'a zıplayan balonlu deneyden çok farklı değildir.

Tamam.

Bu ödev üzerinde çalışmaya başlayın. Bu haftaki kolay bir ödev değil.

Gelecek derste görüşürüz...