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 33 Çift-Yarık Girişimi ve Girişimmetreler

Sizinle çok gurur duyuyorum.

Son sınavda çok iyiydiniz. Sınıf ortalaması 70'in biraz üzerinde.

Tebrikler. 100 puan alan 22 öğrenci vardı.

Çoğunuzun puanı C ile D arasındaki geçme çizgisinde,

Sadece 3 sınavı göz önüne aldığımda, -- kısa sınavları unutun, ödevleri unutun, uygulamaları unutun -- 3 sınavınızın puanlarını toplayacaksınız, geçme barajı C ile D arasında 135 ile 138 bölgesinde olacak.

Ayarlamalarınızı buna göre yapabilirsiniz.

Newton ve Huygens arasındaki ışığın doğası hakkındaki anlaşmazlık, Young, ışığın tüm dalga özelliklerine sahip olduğunu inandırıcı bir şekilde deneylemesiyle 1801 yılında çözülmüştü.

Yirminci yüzyılın başlarında, ışığın parçacık özelliği tekrar su yüzüne çıkmıştı; ama bu gizemli ve de oldukça etkileyici ikilik, yani aynı zamanda dalga ve parçacık olma ikiliği de kuantum mekaniği ile güzel bir şekilde bir araya getirildi.

Ama ben bugün sadece dalga karakteristiği üzerinde duracağım.

Aynı anda aynı frekansta dalgalar üreten iki kaynağın ürettiği girişim deseni dalgalar için oldukça karakteristiktir.

Bu, 1 Nolu kaynak ve bu, 2 Nolu kaynak olsun.

Onların her biri aynı frekanslı ve dolayısıyla aynı dalgaboylu dalgalar üretirler ve bunların hepsi dışarı doğru, diyelim ki, her yönde yayılırlar.

Küresel olabilirler; su yüzeyi halinde, halkalar şeklinde yayılırlar.

Varsayalım ki, uzayda 1 Nolu kaynaktan R_1 ve 2 Nolu kaynaktan R_2 uzaklığındaki P konumundasınız.

İki dalganın P noktasına aynı fazda ulaşması olasıdır.

Bu demektir ki, P noktasına 2'nin tepesi 1'in tepesiyle aynı zamanda ulaşır ve 2'nin çukuru 1'in çukuruyla aynı anda ulaşır.

Böylece tepeler daha yüksek ve çukurlar daha alçak hale gelirler.

Bunu "**yapıcı girişim**" olarak adlandıracağız.

P noktasına vardıklarında, iki dalganın arasında 180 derece faz farkı olması da mümkündür. Ve bu, 2'nin tepesi ile 1'in çukuru -- ya da tam tersi – P'ye aynı anda varıyor demektir.

Bu durumda, onlar birbirlerini yok ederler; buna "**yıkıcı girişim**" diyeceğiz.

İki-boyutlu yüzey üzerinde oluşan su dalgalarıyla bunları elde edebilirsiniz.

Üç-boyutlu ses dalgalarıyla da buna sahip olabilirsiniz.

Ve bu dalgalar bir küre üzerinde dışa doğru giderler.

Bugün göreceğimiz gibi, elektromanyetik ışınımla da bunlara sahip olabilirsiniz; kuşkusuz onlar da üç-boyutludur.

Parçacıklar salınım yapıyorlarsa, enerjileri genliklerinin karesiyle orantılıdır.

Dolayısıyla, enerji korunduğu için, ses titreşimlerinin genliği ve elektromanyetik ışınım halinde elektrik vektörünün genliği $1/R$ ile düşmelidir.

Çünkü 3 boyutla dalgalardan söz ediyoruz. Küresel dalgalardan söz ediyoruz.

Ve kürenin yüzey alanı R 'nin karesi ile artar. Öyleyse genlik $1/R$ ile azalmalıdır.

İki dalganın, bu durumda, P noktasındaki süperpozisyonuna baktığımızda, uzaklığı arttırırsak, böylece R_1 ve R_2 bu iki noktayı ayıran aralıktan çok çok büyük olur; bu durumda 2'den gelen dalganın genliğinin 1'den gelen dalganın genliğinden birazcık küçük oluşu hemen hemen gözardı edilebilir.

Buradan buraya olan yolun, buradan buraya olan yoldan yarım dalga boyu daha uzun olduğunu düşünün.

Bu demektir ki, bu dalga buradan buraya, diğer dalgadan bir titreşim periyodunun yarısı kadar daha uzun sürede gidecektir.

Ve bunun anlamı; aralarında 180 derece faz farkı vardır ve birbirlerini yok ederler.

Buna "yıkıcı girişim" deriz.

Ve böylece $R_2 – R_1$ yol farkı, örneğin artı ya da eksi yarım lambda olduğunda, yıkıcı girişime sahip olacağız demektir; ayrıca artı ya da eksi 3/2 lambda, 5/2 lambda, vb... halinde de yıkıcı girişim söz konusudur.

Genel olarak, R_2 ile R_1 arasındaki fark, 2N+1 çarpı lambda bölü 2 ise, yıkıcı girişime sahipsinizdir; burada N tam sayıdır; yani 0, artı-eksi 1, artı-eksi 2, vb … olabilir.

Bu, yıkıcı girişim halindeki formüldür.

Eğer $R_2 – R_1$ yol farkı basitçe N çarpı lambda ise, “yapıcı girişim” söz konusudur.

Böylece, bu durumda, dalgalar P noktasında aynı fazdadır ve N gene 0 artı-eksi 1, artı-eksi 2, vb... ‘dir.

İki noktaya olan uzaklıkların toplamı sabit ise, matematikte bu bir elipstir.

Eğer bu fark sabitse, -- burada bu durum söz konusudur: iki noktaya olan uzaklıklar arasındaki fark, sabit bir değerse, örneğin yarım lambda – bu durumda eğri bir hiperboldür.

İki-boyutlu bir yüzeyle ilgileniyorsak, o bir hiperbol olur.

Ama bunu üç-boyutlu olarak düşünürsek, o zaman her şeyi bu eksen etrafında döndürürüz ve kase yüzeyi şeklinde hiperboloitler elde ederiz.

Varsayalım ki, burada, dalga üreten ve aralarında D mesafesi bulunan iki kaynağım var; bu iki kaynak aynı fazda titreşiyorsa, onların tam ortasından geçen dik çizginin daima bir maksimum olacağı açıktır.

Böylece bu çizginin, $R_2 – R_1 = 0$ olduğu açıktır.

Eğer iki kaynak aynı fazdaysa.

Ve kuşkusuz, daima aynı frekansı üretmelidirler.

Böylece bu çizgi daima bir maksimumdur. Yapıcı girişim.

Bu sıfırdır, orada böylece koyun.

Üç-boyuttan söz ediyorsak; bu, kuşkusuz ki, bir düzlemdir.

İkisinin ortasından karatahtaya tam dik giden.

$R_2 – R_1$ farkı eşit lambda ise, yine yapıcı girişim verir.

Bu bir hiperboldür; $R_2 – R_1$ eşit lambda ise, gene maksimum olur; aynı çizgiyi bu tarafa çizebiliriz, ve 2 lamdaya eşit $R_2 – R_1$ gene maksimum olur.

Ve gene, 3-boyuttaysanız, onu bu çizgi etrafında döndürebilirsiniz ve kaseler elde edersiniz.

Ve böylece aralarda minimumlar, yıkıcı girişimler, elde edeceğiniz açıktır; lamda bölü iki, ve burada da $R_2 – R_1 = 3/2$ lambda olacaktır.

Dalgaların birbirlerini yok ettikleri bu çizgilere yıkıcı girişim diyoruz; onları düğüm çizgileri ya da bir yüzeye sahipseniz düğüm yüzeyi olarak adlandırıyoruz.

Bazen maksimumlara karşıt-düğüm noktaları da deniyor; ama onlara sadece maksimumlar diyebilirim.

Girişim deseni dediğimiz budur.

Tam bu araya -- iki nokta arasındaki çizgiye bakarsak; iki maksimum çizgisi arasındaki bu lineer aralığın ½ lambda olduğuna kendinizi inandırmalısınız.

Evde bunu düşünün. Bu çok kolaydır.

Burada tam aradaki iki sarı çizgi arasındaki mesafe de ½ lambdadır.

Buna göre, maksimum çizgilerinin ya da yüzeylerinin sayısı, çok kabaca 2D bölü ½ lambdadır.

Bu maksimumların sayıları ile minimumların sayıları kabaca aynıdır ve yaklaşık olarak 2D bölü lamda ya eşittir.

Böylece daha çok maksimum istiyorsanız, bu yüzeylerden daha çoğunu istiyorsanız; bir seçim yaparak ya D yi büyütebilirsiniz ya da dalgaboyunu kısaltabilirsiniz.

Dalgaboyunu kısaltmak istiyorsanız, bunu frekansı arttırarak yapabilirsiniz, eğer bunu kontrol edebiliyorsanız

Yapacağım ilk şey, bu düğüm çizgilerini bir su deneyiyle size göstermek.

Burada su yüzeyine hafifçe dokunan iki tane kaynağımız var; ve bu iki kaynak arasındaki mesafe D = 10 santimetre.

Su yüzeyine yaklaşık olarak 7 hertzlik bir frekansla dokunulacak ve düğüm çizgilerini çok açık şekilde göreceksiniz; bu iki-boyutlu bir yüzey, burada su hiç hareket etmiyor.

Tepeler ve çukurlar aynı zamanda ulaşıyorlar.

Su hiçbir zaman hareket etmiyor.

Ne kadar iyi görebildiğimizden emin olalım. Işıkları ayarlayalım.

İlk önce çalıştıracağım, bu kolay olabilir. Dokunmaya başladı bile.

Düğüm çizgilerini çok iyi bir şekilde görebiliyorum.

Burada iki kaynağı görüyorsunuz; ve burada suyun hiç hareket etmediği bir çizgi görüyorsunuz. Her an, sürekli, durgun kalıyor.

İşte bir tane. İşte bir tane.

Ve biraz hayal gücüyle bile, onların gerçekten doğrular olmadıklarını, hiperboller olduklarını görebilirsiniz .

Kaynaklardan birine çok yakınsak, sıfır asla tam sıfır olamaz, çünkü bu dalganın genliği diğer dalganın genliğinden daima daha büyük olacaktır; kaynaktan uzaklaştıkça, iki-boyutlu yüzeyde genlik $1/\sqrt{R}$ gibi azalmalıdır.

3-boyutlu bir dalgada, azalma 1/R olmalıdır.

Yeterince uzaktaysak, mesafe yaklaşık olarak aynı olacaktır; böylece her bir

dalganın genliği neredeyse aynıdır ve suyu mutlak duruyor gibi görürsünüz.

Ve burası ilerleyen dalgaları gördüğünüz bölgelerdir; onlar ilerleyen dalgalardır, duran dalgalar değil. Eğer burada duruyorsanız, su inip çıkacaktır, yukarı aşağı hareket edecektir; sahip olacağınız genlik, bir kaynağın genliğinin iki katı olur, çünkü tepeler tepelere eklenir ve çukurlar da çukurlara.

Eğer buradaysanız, durgun kalacaksınız. Hiç yukarı aşağı sallanmayacaksınız.

Bu durum, dalgalar için çok karakteristiktir.

Eğer suya 180 derece faz farkıyla dokunsaydım, ki ben öyle yapmadım – onlar aynı fazdaydı -- tüm düğüm çizgileri maksimumlara ve tüm maksimumlar düğümlere dönecekti; bunu söylemeye bile gerek yok.

Esas olan, onların aynı frekansta olmaları; bu mutlaka olmalıdır.

İki kaynak aynı fazda olmak zorunda değil; aynı fazda değillerse, uzayda maksimumların ve minimumların konumları değişecek; ama frekansların aynı olması bir zorunluluktur.

Geçen yıl UTAH'da bir yürüyüş sırasında, bir gölette hayat mücadelesi veren bir kelebek ilişmişti gözüme.

Kelebeği burada görüyorsunuz. Tom, belki tepegözü kapatabilirsin

Burada kelebeği görüyorsunuz, burada da dibe izdüşürülmüş karanlık ve aydınlık halkaları görüyorsunuz; çünkü su üzerindeki bu halkalar, mercek gibi davranırlar. Çok dramatik olarak gördüğünüz şey, gerçekten de benim söylediğimdir: dalganın genliği uzaklıkla azalmalıdır, dalgadaki enerji kuşkusuz korunacağından ve halkanın çevresi R ile lineer olarak büyüdüğünden, dalganın genliği $1/\sqrt{R}$ gibi azalır, çünkü dalganın enerjisi genliğin karesi ile orantılıdır.

Bu manzarayı gördüğümde, aklıma güzel bir fikir geldi; başka bir kelebek yakalamak, diğerinin yanına koymak ve sonra fotoğrafını çekmek -- girişim deseninin fantastik bir fotoğrafını çekmek.

Kuşkusuz 8.02 dersini bilen biri olarak hemen fark ettim ki, iki kelebeğin frekansı aynı olmak zorundaydı ve dolayısıyla acımasız olmamaya karar verdim ve bu fikirden vazgeçtim

Böylece diğer bir kelebeği kurban etmedim.

Kaynakların konumundan görüldüğü gibi, maksimumların beklendiği yönlere bakarsak, bir hiperbolün nasıl göründüğünü hatırlatmak isterim size.

İki kaynak buradaysa ve merkez burasıysa, buraya bir çizgi çizebilirim; bu durumda bir hiperbol bunun gibi görünür.

Soldaki kısmı sileyim; güzel görünmüyor, ama kuşkusuz, solda da aynı.

Lise matematiğinden hatırladığımız şu; o, bu çizgiye yaklaşır.

Dolayısıyla, bu iki kaynak arasındaki merkezden maksimumların ve minimumların oldukları yönleri gören teta açılarını tanımlayabilirsiniz.

Ve şimdi burada, bu karatahtada, bunu inceleyeceğim.

Titreşen iki kaynağım olsun; biri burada ve diğeri de burada; iki kaynağın ortasında da merkez, ve kaynaklar arası uzaklık D olsun.

Çok uzağa bakıyorum, öyle ki hiperbollerin birleştiği bu düz çizgiye yaklaşıyorum.

Ne kadar uzakta olduğum taahhüdüne girmeksizin, teta doğrultusunda çok uzağa bakıyorum.

Bu teta. Ve bu da teta.

Ve maksimumları hangi teta yönlerinde görmeyi umduğumu bilmek istiyorum; ve hangi yönde minimumları görmeyi umduğumu.

Daha önceden buna R_1 ve buna da R_2 demiştik; bunlar, çok ötedeki bu noktaya olan uzaklıklardır.

Eğer $R_2 – R_1$ ‘in ne olduğunu bilmek istiyorsak, bu artık çok kolay.

Bu çizgiye buradan bir dik çizelim; bu uzaklığın $R_2 – R_1$ olduğunu hemen görürüz.

Ayrıca bu uzaklık da -- bu açının teta olduğunun farkındasınız -- bununla aynıdır; böylece bu uzaklık D çarpı sinüs teta’dır.

Şimdi işler yoluna girdi; yapıcı girişimi hangi açılarda göreceğimizi tahmin edebilirim.

$R_2 – R_1$ eşit N çarpı lambda; istediğim işte bu.

Şimdi, ihtiyacımız olan D sinüs teta – teta’ya bir N alt indesi vereceğim -- eşittir N çarpı lambda; burada N, bir tam sayıdır.

Sinüs $teta_N$ = N çarpı lambda bölü D ‘dir.

Ve bu, tüm o yönleri tek şekilde tanımlar; tüm bu yönler, N =0 (merkezdeki çizgi), N= 1 , N=2, N=3 vb. gibi sıralanır.

Ve de tüm yıkıcı girişim ailesine sahibim.

Onlar ise şunu gerektirir: D sinüs teta olan $R_2 - R_1$, bu kez (2N+1) çarpı lambda/2 olmalıdır.

Tıpkı diğer tahtada yazdığım gibi. Daha önce tartışmıştık.

Sinüs $teta_N$ = (2N + 1) çarpı lambda bölü 2D olacaktır.

Bu tanımlar, iki kaynağın arasındaki merkezden bakıldığında, maksimumların nerelerde ve minimumların nerelerde olduklarını gösterir.

Şimdi bilmek istediğim şu: Bunu çok uzaktaki bir ekran üzerine izdüşürürsem, çizgisel uzaklık ne olur?.

Büyük L uzaklığında – çok uzakta – bulunan bir ekranım olsun; iki kaynağım da burada duruyor.

Farklı bir ölçek.. Burada bir ekran var.

Ve bu iki kaynaktan ekrana olan uzaklık büyük L..

Ve şu teta yönlerinden biri bu.

Direkt olarak görünüyor ki, buna X doğrultusu dersek, X burada sıfırdır -- tanjant teta = X / L ‘dir.

Sadece ve sadece küçük açılarla uğraşacaksak, tanjant teta, sinüs teta ile aynıdır.

Dolayısıyla, maksimumların bu ekran üzerinde nerelerde yayılacağını söyleyebilirim: “Sıfır” dediğim merkez çizgiden uzakta , X_N, küçük teta yaklaşıklığı halinde, eşit L çarpı sinüs tetadır..

Böylece bu, L çarpı n çarpı lambda bölü d’dir.

Aynı nedenle burada X_N L(2n+1) çarpı lambda bölü 2d olduğunda yıkıcı girişim oluşur.

Bu basit bir geometri,

Elde ettiğim tüm içerik şu anda tahtada bulunuyor; dersin geri kalanı boyunca, onları orada tutacağım.

Aynı fazda ve aynı frekansta iki kaynakla bir deney yaptığımızda, bu kaynaklardan ne kadar uzakta olduğunuzu biliyorsanız, maksimumların ve minimumların yönlerini tahmin edebilirsiniz ve aradaki çizgisel ayrılmayı bile tahmin edebilirsiniz

İlk yapacağım gösteri, ses iledir.

İki hoparlörümüz var,

Bu iki hoparlör arasındaki mesafe D = 1,5 metre olarak verilmiş.

Ve frekans 3000 hertz'tir.

Dalgaboyu, dolayısıyla, lambda eşittir V bölü frekans. Ses hızı saniyede yaklaşık 340 metre bölü frekans 3000 hertz, o da yaklaşık 0,113 metredir.

Yani dalgaboyu, yaklaşık olarak 11,3 santimetredir.

Şimdi, şu ortadaki tüm düzlem üzerinde oturan herkesin maksimum bir ses duyacağını hesaplayabilirim. Teta açısı kadar kaydığımda, bazıları gene maksimum duyacaktır ve tetayı biraz daha ötelersem, yine maksimum olacak, arasında ise bir minimum olacaktır.

Ve sınıfta bunların nerelere düştüğünü hesaplayacağım.

Yapacağım ilk şey, N'ye tam sayı değerleri vererek θ_N 'yi hesaplamak; yani maksimumları bulmak

Başka bir deyişle, yapıcı girişimi kullanacağım; orada gördüğünüz gibi, sinüs θ_N eşittir lambda bölü D.

Kullanacağım eşitlik bu,

N eşittir 0 iken, θ eşit 0 'dır. Bu, sıfır açısıdır.

Buradaki herkes bir maksimum duyacak.

N eşittir 1 için, θ eşit 4,3 buldum. Bunu evde kontrol edebilirsiniz. N eşittir 2 için, θ eşittir 8,7 --öncekinin yaklaşık iki katı --. N eşittir 3 için, yaklaşık olarak θ eşit 13,1 dir.

N = 10 aldığımız durumda, birkaçını atladım, yaklaşık 49 derece olacaktır.

Burası, maksimumun denk geldiği yer.

Burada bir maksimum olacak, sonra 4,3 derecede yine bir maksimum olacak.

Ama maksimumdan minimuma gitmek için dinleyiciler arasında ne kadar kaymamız gerektiğini kesinlikle bilmemiz gerekli.

Bunu şöyle düşünmelisiniz: Sınıfın bir resmini çizersem; bunlar iki kaynağımız ve siz buradan L kadar uzaktasınız.

Bazılarınız 5 metre uzakta.. Bazılarınız 10 metre..

Bazılarınız 15 metre uzakta , arkalara doğru

Ve maksimumu nerede duyacağınızı bilmek istiyorsunuz.

Buna X1 , buna X2 ,buna da X3 diyelim; burası da 0 olsun.

Böylece bu, teta 1 ‘in anlamıdır.

Bu, teta 3 ‘ün anlamıdır ve burada bu açı teta 2 olacaktır. Bu açıların anlamı, işte bu.

Ve ben duymanız, sesteki bir maksimumdan bir sonraki maksimuma gitmeniz için, büyük L ye bağlı olarak, ne kadar yana kaymanız gerektiğini hesaplayacağım.

Şunu yükselteyim.

Maksimumlar için bazı sonuçları göstereceğim.

Yani sadece yapıcı girişim için, Bunu 3 farklı mesafe için yaptım.

Benden 5 metre ,10 metre ,15 metre uzaklıkta olanlarınız için.

Sol tarafta gördüğünüz X çizgisel ayrılması metreydi; ama affedersiniz orası santimetre olacak.

Benden 5 metre uzaktaysanız, çizgisel mesafe X1'dir; X1'i biraz aşağı koyacağım. X1 neden biraz aşağı koyduğumu az sonra göreceksiniz. X1 yaklaşık olarak 38 santimetre.

Yani bir maksimumdan diğerine çizgisel ayrılma 38 santimetredir.

Eğer 10 metre uzaktaysanız, bu iki katı olur; sürpriz değil, yani 76 santimetre.

Ve eğer 15 metre uzaktaysanız, bu 113 santimetredir.

Ve X2, diğer maksimumun pozisyonu, 76 santimetrede olacak, 152 santimetrede olacak ve eğer benden 15 metre uzakta iseniz, 228 santimetrede olacak

Böylece minimumlar neredeyse tam ortaya düşecek; minimumlarda ideal durumda hiç ses yok; ses artı ses, sessizliği verir; bunu düşünün; ses artı ses sessizliği verecek; kabaca 19 santimetre civarında olduğunuzda; 38 santimetrenin yarısında.

Bunun yarısı, ve burada 57 santimetre gibi bir yerde diğer minimum olacak.

Bu değerleri hesaplayabilirsiniz; tam aralarda.

Ve sonuç olarak, eğer benden 5 metre uzaktaysanız ve merkez çizgisine yakınsanız, biraz bu yönde de olabilirsiniz; parlak ses, yani yüksek ses ile sessizlik arasındaki çizgisel ayrılma 19 santimetrededir.

Ve bir 19 santimetre daha yana kayarsanız, yüksek ses duyarsınız,

Bununla birlikte, benden 10 metre uzaktaysanız, kameranın arkasında, ve yüksek sesten sessizliğe gitmek için 38 santimetre yer değiştirmeniz gerekir.

Eğer arka sıralardaysanız, bu daha çoktur, yaklaşık 60 santimetre kadar.

Şimdi birlikte bir şeyler yapacağız.

Hepinizin ayağa kalmasını istiyorum, ve şimdi size 3000 hertz'lik bir ses dinleteceğim.

Sizden şunu istiyorum: Hoparlörleri açtığımda, başınızı yavaşça çeviriniz ve sessiz yerleri bulmaya çalışınız.

Sessizliğin konumu oldukça iyi tanımlanmıştır; çok hızlı yapmayın, kaçırabilirsiniz; ayrıca duvarlardan ve karatahtadan ses yansımalarının da olduğunu unutmayın; dolayısıyla hesapladığımız girişim deseni mükemmel değildir.

Ama ses artı sesin sessizliği verdiği yerlerin olduğunu görebileceksiniz.

Sizler kötü bilim adamlarısınız.

Sizler kötü bilim adamlarısınız.

Yüksek ses ile sessizlik arasındaki çizgisel mesafe 19 santimetreydi. Sizin kulaklarınız arasındaki mesafe de yaklaşık bu kadar; bu yüzden bir kulağınız maksimumda, diğer kulağınız minimumda olacaktır; şimdi birini kapatın.

Yavaşça hareket edin.

Kimler sesin sıfır, ya da sıfıra yakın olan yeri buldu?

Çoğunuz.

Hareket ederken, sesin şiddetinde büyük bir farklılık olduğunu duyabilirsiniz.

Ve gene, bulduğu yerin pratik olarak sessizlik olduğunu kimler açıkça söyleyebiliyor?

Ah, tamamen arkada olanlar, çizgisel ayrılmanın ne kadar büyük olduğunu gördüler; evet; ayrılma, benden ne kadar uzak olduğunuza bağlı..

Tekrar oturun.

Young bir ses mühendisiydi; ses mühendisi olarak, ses girişimlerini çok iyi tanıyordu.

O, ses artı sesin sessizlik verebileceğini biliyordu.

Dolayısıyla, 1801'de, ışık artı ışığın karanlık yaratabileceğini inandırıcı bir şekilde göstermişti.

Işığın gerçekten de dalga olduğunu mutlak şekilde göstermek felaket olabilirdi; çünkü belki hatırlarsınız, Huygens ile Newton arasındaki o tartışma halen sürmekteydi..

Newton ışığın parçacıklar halinde olduğunu söylemekteydi; Huygens ise ışığın dalga olmasını istemekteydi.

Young'ın yaptığı deney şu şekildeydi:

Küçük bir ekranı vardı; sakın, şöyle büyük olduğunu sanmayın; aşırı derecede küçük boyutlardan söz ediyoruz; kısa sürede ne kadar küçük olduğunu anlayacaksınız. Bu ekranda iki adet açıklık vardı -- iki iğne deliği. Ve ışık sol taraftan geliyordu; bu ışığı düzlem dalga olarak düşünün .

Işık bu iki deliğe ulaşacak ve Huygens'e göre, bu iki delik dairesel dalgalar üretecektir, kuşkusuz üç-boyutlu olarak küresel dalgalar.

Bu delikler Huygens kaynakları haline gelecek ve küresel dalgalar bunlardan dışarı doğru yayılacaklardır.

Ve şimdi tam olarak ses halinde sahip olduğumuz duruma sahibiz.

Şimdi, her şey yolunda giderse, bu çizgiden uzakta karanlık göreceğiniz teta doğrultuları ve parlak ışık göreceğiniz diğer doğrultular olmalıdır.

Ve biz bu deneyi şu şekilde yapacağız: Bizim lüksümüz, lazer kaynağına sahip olmamız; çok güçlü bir ışık; Young buna sahip değildi.

Deneyi şu yolla gerçekleştireceğiz: tamamen siyah olan bir slayt'ım var, ama jilet ile üzerine iki çizgi çizilmiş.

Böylece bu çizgileri, beyaz olarak çizeceğim. Onlar gerçekte açılıklar

Ve burada da bir başkası var

Ve bu çizgiler arasındaki D mesafesi yaklaşık 0,088 milimetredir. Milimetrenin onda birinden daha az. Onlara baktığınızda iki çizgi olduğunu göremiyorsunuz.

Bizim lazer demetimiz yaklaşık 3 milimetrelik çapa sahip olup, D mesafesinden 30 kere daha büyüktür, tam 30 kere.

Bakın şimdi size ne göstereceğim; bu bizim lazer demetimiz, ölçekli değil, lazer demeti bundan daha büyük.

Lazer demetimiz yarıklara ulaşır ulaşmaz, ışık bu yarıkların bazı kısımları boyunca geçecektir. Ve şimdi onu oraya ekrana aksettirdiğimizde tahminler yapabiliriz. İki yarık burada, bu şekilde; bu teta doğrultularında girişim desenleri elde edeceksiniz. Onun orada maksimumlar arasında hangi X konumunda olacağını hesaplayabiliriz.

Bu ekran - ve bu X = 0 ise, ve bu, X1 ve bu X2 ise; kuşkusuz her şey simetrik, daima zıt yönde gidebilirsiniz; artık hesap yapabilirsiniz; tüm donanıma sahipsiniz; bunu tüm ayrıntısıyla sesi kullanarak yapmıştım; şimdi bunu yapacak tüm donanıma sahipsiniz; D ‘yi biliyorsunuz; lambdanın ne olduğunu da söyleyeyim size; lambda 6328 Angströmdür -- bir Angstrom, 10 üzeri eksi 10 metredir -- böylece maksimumların yer aldığı, minimumların yer aldığı tüm teta doğrultularını hesaplayabilirsiniz.

Minimum, ışık artı ışık eşit karanlık anlamına gelir, inanılmaz bir kavram.

Buradan ekrana olan uzaklığı biliyorsak -- ki büyük L ‘dir -- , ekran üzerinde görünen uzaklığı hesaplayabilirsiniz. Büyük L yaklaşık 10 metredir, 11 de olabilir; o kadar önemli değil.

Ben hesapladım, siz doğrulayabilirsiniz, ve doğrulamalısınız da. Teta 1 açısı, sadece bu noktaya olan teta 1 açısını hesaplayacağım; teta 0 kuşkusuz daima 0 dır; bu en kolayı; tamam mı?; teta 1 açısını 0,41 olarak buldum, bu maksimum içindir; ve bu demektir ki, X1 = 10 metre olarak verildiğine göre, ekrandaki uzaklık = 7,2 santimetre olur.

Böylece, ekranda bu noktadan bu noktaya, maksimumdan maksimuma, 7,2 santimetre olacaktır. Kuşkusuz, bu noktadan bu noktaya da yaklaşık 7,2 santimetre olacak ve arasını karanlık göreceksiniz.

İki kaynaktan 180 derece faz farkıyla gelen iki ışık, karanlık verecektir.

Lazeri açalım. Ve ışıkları kapatalım.

Tamam ve işte onu görüyorsunuz,

İşte orada bir maksimum görüyorsunuz, sonra karanlık, bir maksimum, karanlık , bir maksimum, karanlık ve böyle gidiyor.

Eğer hata yapmadıysam, maksimumlar arasındaki mesafe gerçekten de yaklaşık 7 santimetre.

Hayatınızda ne inanılmaz bir an olduğunu düşünün bunun; aslında ışık ile ışığın toplamının karanlık verebildiğini görüyorsunuz.

Böylece dalgalar aynı anda bu iki açıklıktan geçerler; her açıklık bir Huygens kaynağı gibi davranır. Ve net sonuç şudur: Bu iki dalga, ekran üzerinde karanlık bölgelere 180 derecelik faz farkıyla varırlar.

Kaynakların kuşkusuz tam anlamıyla aynı frekansa sahip oldukları varsayılır; çünkü bir tek lazer tabancamız var ve her iki yarıktan onun yaydığı dalga geçer.

Young’ın bunu nasıl anladığı bir sır; ama onların ikisi de iki yarıktan geçtikleri için, bu dalgaların sadece aynı frekansta değil, fakat ayrıca aynı fazda olduklarını da kabul edebilirsiniz.

Şimdi buraya çok dikkatlice bakarsanız, kuşkusuz ki bu maksimumların aynı şiddette olmadıklarını görebilirsiniz.

Bunun nedenini, gelecek bölümde anlayacağız.

Slayt üzerindeki siyahlığı çizip yok ederek oluşturulan her bir yarığın genişliği, iki yarık arasındaki mesafeden çok çok küçük olsaydı, maksimumlar neredeyse aynı şiddette olurlardı.

Bu mesafe 0.088 santimetre.

Eğer bu açıklıkları çok dar yaparsak, gerçekten de, ışık şiddetleri çok daha düzgün olur; her maksimum yaklaşık aynı şiddette olur; ama içlerinden çok az ışık geçer.

Böylece bu ödenen karşı-bedeldir.

Bu iki açıklığı, bu iki yarığı, daha daha büyük yaptığımız anda, ışık şiddetlerinin neden aynı olmadıklarını, ışık şiddetinin neden merkezde maksimum ve kıyılara doğru düştüğünü gelecek derste anlayacaksınız.

Gördüğünüz gibi burada maksimum vardır ve buralarda ışık şiddetleri daha küçük hale gelir.

Ses ile ve kırmızı lazer ışığı için girişim desenlerini gösterdim. Fakat aynı şeyi beyaz ışıkla yapsaydım, ne olurdu bir düşünün.

Durum çok farklı olurdu; hatta sizin için hayal kırıklığı olabilirdi.

Bu, ekran üzerinde herhangi bir yer olsun.

Burası X olsun; burası X = 0.

Kırmızıda maksimumların nerede olduklarını bilmek istiyorum. Evet, bu çok kolay; bu konum, L çarpı lambda bölü D olduğunda, burada bir maksimum olacaktır.

N = 1 olduğunda, bu söz konusudur.

2L çarpı lambda bölü D konumunda da bir maksimum olacaktır.

Ve kuşkusuz, bu tarafta da aynı mesafede bir tane olacaktır.

Bir tane burada olacaktır; o, N = 0 olduğundadır

N=1 N=2.. Kırmızı ışık, maksimumlara sahip olacaktır.

Mavi ışık için ne düşünüyorsunuz?

Mavi ışığın maksimumları burada olacaktır; birincisi, L çarpı lambda bölü D ‘de. Fakat lambda farklı, çünkü mavi ışık için lamda daha küçüktür.

Kırmızı ışığınkinden epey küçük dalgaboyuyla, mavinin maksimumu buraya düşecektir. Mavi ışığın maksimumu N = 0 da kırmızı ışığın maksimumuyla aynı yere düşecektir. Mavinin N = 2 maksimumu buraya düşecektir; böylece bu N=2 'dir, bu N=1 ve bu N=0.

Ve burada N = 0, N = 1, ve N = 2.

Böylece kırmızı ve mavi, ve dolayısıyla diğer tüm renkler, kendi hayatlarını yaşarlar.

Birbirlerine laf etmezler.

Onlar, açıları ve X konumları cinsinden, kendi aralıklarıyla işe karışırlar.

Ses halinde, sadece ve sadece bir tek frekans seçmemin nedeni buydu.

Çünkü sizi birçok farklı frekansa, birçok farklı dalgaboyuna maruz bıraksaydım, o zaman bir dalgaboyu için olan sessizliğin yerleşimi, diğer dalgaboyu için olan sessizliğin yerleşimiyle aynı olmazdı. Ve dolayısıyla deney işlemezdi.

Deneyin, pratik olarak tek dalgaboylu olan lazerle, kırmızı lazerle, çok iyi işlemesinin nedeni budur; böylece maksimumlar ve minimumlar aşırı derecede iyi tanımlıdırlar.

Bu deneyi beyaz ışıkla yapmış olsaydık, bu kadar etkileyici olmazdı. Şimdi slayt'ta size bu durumda ne göreceğinizi göstereceğim.

Bu, beyaz ışığın çift-yarık ile oluşturacağı girişim desenidir.

Bu işte kırmızı ışığın oluşturduğu desen.

Kırmızı ışık, dalgaboyları için dar bant-genişliklidir, iyi-tanımlı siyah çizgiler; ışık artı ışık karanlık verir; iyi-tanımlı maksimumlar; ve mavi --- dikkat ederseniz, karanlık çizgiler arasındaki aralıklar ve dolayısıyla da aydınlık çizgiler arasındaki aralıklar oldukça küçük.

Çünkü mavi ışık 4500 Angströmlük ve kırmızı ışık kabaca 6500 Angströmlük dalgaboyuna sahiptir .

Böylece bu büyük bir fark yaratır.

Beyaz ışık, bütün bu renklerin süperpozisyonundan oluşuyordu; dolayısıyla karanlık ve aydınlık bölgelerden oluşan çok iyi bir girişim deseni elde edemezsiniz, çünkü tüm renklerin desenleri birbirini örtmeye başlar ve her biri kendi hayatını yaşar.

Ses ile ne yaptıysam, su ile ne yaptıysam ve lazer ışığıyla ne yaptıysam, aynısını elektromanyetik radyo dalgalarıyla da yapabilirim.

Radar ile -- daha önce bu derste kullandığımız 10 gigahertzlik bir vericimiz var burada.

Ve şimdi size, girişim desenlerinin radarla da oluşturulabileceğini ve orada gördüğümüz hesaplamanın tamamen aynı olduğunu göstereceğim.

Size hatırlatmak istediğim tek şey; büyük L ‘yi bildiğiniz vakit, tanjant tetanın kabaca sinüs tetayla aynı olması yaklaşıklığının, sadece küçük açılar için doğru olduğudur.

5 derece için iyi, 10 derece için iyi; ama 50, 60 ya da 70 derecelere vardığınızda bu yaklaşıklık doğru değildir.

Böylece o zaman, gerçekten tanjant tetayı almalısınız.

Önce tetayı hesaplarsınız, burada bir sorun yok; çünkü bu denklem doğru, ve sonra daima X ’in nerede olduğunu hesaplayabilirsiniz; fakat sonra tanjantı kullanırsınız, sinüsü değil.

Böylece, bunlar, küçük açılar için geçerli olan yaklaşıklıklardır.

Artık 10 gigahertzlik vericiye bakarsak, burada iki vericimiz var; biri burada, biri de şurada.

Aralarındaki uzaklık D = 23 santimetredir.

Onları burada görüyorsunuz.

Buradalar. 23 santimetre arayla, biri burada, diğeri de şurada.

10 gigahertz’te dalgaboyu 3 santimetredir. Bunu doğrulayabiliriz.

Hız, ışığın hızıdır. Lambda eşit ışık hızı bölü frekanstır.

Bu size dalgaboyunu verir.

Burada 120 santimetrelik bir L uzaklığı var. Burada bir alıcı ve bir ray var; burası X= 0 ‘dır ve onu burada X boyunca hareket ettirebiliriz. Ve bu noktadan görünen bir maksimumun olduğu açıları hesaplayabilirsiniz.

Teta 0 çok açıktır. Tam burada bir maksimum olacaktır.

İki dalga; aralarındaki fark sıfırdır; yani $R_2 - R_1 = 0$.

Böylece, onlar yapıcı şekilde girişecekler.

Fakat başka bir açı var; teta 1; onun için de gene yapıcı girişim olacaktır.

Bu sayıları kullanarak, teta1 ‘i 7,5 derece bulduğumu kanıtlayabilirsiniz.

Bu, maksimumlar içindi.

Kabaca bu değerin yarısı kadar olan bir açıda sessizliği bulacaksınız.

Sessizlik, iki radyo dalgasının birbirini yok etmesi anlamına gelir.

Burada maksimum olması için can alıcı olan, kuşkusuz iki vericinin aynı fazda olmasıdır. Onları 180 derecelik faz farkı ile hazırlayabilirdim; bu durumda burada sessizlik olurdu.

Bu durumda, sessizlik, radarın radarı yok etmesi anlamına gelir.

Bunu hazırlama yolu, daha önce yaptığım yolla aynı olduğundan, “sessizlik” sözcüğünü iyi bir nedenle kullanıyorum.

10 gigahertzlik bu sinyali 1000 hertzlik bir ses sinyali ile modüle edelim.

Buna genlik modülasyonu diyoruz.

Ve buradaki alıcı, 1000 hertz ile modüle edilmiş 10 gigahertzlik ışınımı alır.

Onu bir yükselticiye veririz.

Modülasyonu geri çözeriz; ve o zaman 1000 Hertzlik sesi duyarsınız.

Onu buradaki bu ray boyunca hareket de ettirebiliriz ve orada 0’dan ayrı ilk maksimunuzun yer aldığı X1 konumunu bulabiliriz.

Ben onun, çok kaba olarak 15,6 santimetrede olduğunu buldum..

Şu denklemleri kullanarak, bunu doğrulayabilirsiniz. Denklemler aynıdır.

Ses, veya kırmızı lazer ışığı, ya da gigahertz, hangisiyle ilgilendiğiniz hiç fark etmez.

Ve şimdi bu gösteri deneyine dönelim

Şimdi vericileri açacağım; alıcı işte burada, tam olarak teta sıfır açısında.

Böylece bir maksimum var.

Elimi vericilerden birinin önüne koyarak, bir vericiyi kapatacağım.

Sesin şiddetinin ne kadar azalacağını bir düşünün.

Birini kapatırsam, ses oldukça azalacaktır.

Sesin iki çarpanıyla azalacağını düşünebilirsiniz.

Çünkü iki verici yerine sadece bir vericimiz var. Ama yanılıyorsunuz.

Acaba girişimi iyi anlamadığınızı düşündünüz mü?.

Elimi birinin önüne koyduğumda, ses tam 4 kat azalır.

Bunu kendiniz anlamaya çalışın. Son kez anlayıp anlamadığınızı görmek için sizi sınayacağım.

Şu anda ses, elimi kapattığım zamankinden 4 kat daha fazla.

Şimdi birini kapatacağım. 4 çarpanı kadar azalıyor.

Bunu da kapattığında, kuşkusuz bir şey duymayacaksınız.

Şimdi bunu yıkıcı girişimin olduğu yerleşime kaydıracağım, ki bu yaklaşık olarak 15,6 santimetrenin yarısı kadar olmalı.

Belki sizin kulaklarınız iyi; ama ben artık bir şey duymuyorum.

Şimdi bir miktar kayık olan maksimumu buluyorum; ki o yaklaşık 15,6 santimetrede.. İşte burada.

Ve diğer tarafta; [ses] merkezdeki maksimum da burada.; böylece burada da bir minimum olmalı; işte burada ve diğer tarafa gidiyorum; orada da bir maksimum olmalı.

Ve işte burada.

Bugün size sesin, suyun, kırmızı lazer ışığının ve radarın girişim desenlerini gösterdim ve Young'ın 1801'de ışığın dalgalar olduğuna dünyayı inandırdığı gibi, umarım ben de en azından sizi buna inandırmışımdır.

Bu demektir ki Huygens haklıydı, Newton haksız.

Herhalde bu sizi şaşırtmamıştır; çünkü Huygens ne de olsa Hollandalıydı !