



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 29 Snell Yasası, Kırınım ve Tam Yansıma

Bugünkü konumuz ışık.

Işık elektromanyetik bir olaydır; Maxwell 'den önce, 16.yüzyılda ışığın suyla ve camla etkileşimi konusunda pek çok çalışma yapılmıştır.

Yapılan deneyler şu türdendi: Diyelim ki bu hava -- buna 1. ortam diyorum --, bu da su -- buna 2. ortam diyorum -- ve bu yüzeye çarpan bir ışık demeti var.

Işık işte böyle geliyor, bu açıyı geliş açısı olarak tanımlıyorum ve ona teta 1 diyorum. Bu, yüzeye dik; buna geliş açısı diyoruz.

Şimdi bu ışığın bir kısmının yansıtıldığını göreceğim; L kadarı yansıtılır, Leyla'nın L'si gibi; ve ışığın bir kısmı suya girer; buna **kırılma** deriz, R kadarı kırılır, Recep'in R 'si gibi. Bu açıya teta 2 deriz.

17.yüzyılda Hollandalı Willebrord Snellius bu üç ışık demeti arasındaki ilişkiyi yöneten üç kural bulmuştu.

Birinci kural şudur: Bu demet, bu demet ve bu demet bir düzlem içindedir.

Gördüğünüz gibi bu benim tahta düzlemim.

Onun bulduğu ikinci kural şuydu: Yansıma açısı dediğimiz bu açı, teta 3 geliş açısıyla aynıdır.

Şüphesiz, bu ondan önce biliniyordu.

En şaşırtıcı olanı üçüncüsüdür. Bu kural, ona izafeten, -- ismi Snellius olsa da -- **Snell Yasası** olarak adlandırıldı: Sinüs teta 1 bölü sinüs teta 2, eğer havadan suya gidersek, bu oran yaklaşık 1,3 'tür.

Eğer havadan cama giderseniz, oran biraz daha yüksek olur, 1,5 ya da öyle bir şey.

O, **kırılma indisi** fikrini ortaya atmıştı; ona N diyeceğim, Nevin 'in N 'si -- kırılma indisi.

Boşluk için kırılma indisi 1 'dir; hava için de yaklaşık olarak aynıdır. Biz hava için de onu 1 olarak alırız.

Suda kırılma indisi yaklaşık 1,3 'tür; camda, camın cinsine bağlı olarak, yaklaşık 1,5'tir.

Ve şimdi buraya N_2 bölü N_1 yazarak, Snell Yasasını düzeltebiliriz; burada N_1 bulunduğunuz ortamın kırılma indisidir -- gelen demet olarak, buraya 1 koyarım; N_2 ise gittiğiniz ortamın kırılma indisidir.

Bu ortama kırıldınız.

Gerçekten gördüğünüz gibi, su 1,3 ve hava 1 olduğu için, havanın suya oranı 1,3 'tür.

Ve buna **Snell Yasası** denir.

Ve şurası açıktır ki, havadan suya, ya da havadan cama geçerseniz, teta 2 açısı daima teta 1 açısından küçüktür; çünkü bu sayı 1 ' den büyüktür.

Fakat sudan havaya geçerseniz, durum tersi olur; şimdi söz etmek istediğim budur ve bu oldukça ilginçtir.

Böylece şimdi, 1. ortam su, 2. ortam ise havadır.

Şimdi buradan buraya geçiyorum; böylece burada teta 1 gelme açısı var ve burada yansıma açısı teta 3 ve burada da teta 2 açısı.

Snell Yasasını yazarsam, şimdi sinüs teta 1 bölü sinüs teta 2, eşit N_2 / N_1 olur. Sudan havaya geçtiğimiz için, N_2 , 1 'dir ve bölü 1,3 .

Burada özel olan şey, teta 2' nin açıkça asla 90 dereceden büyük olamayacağıdır.

Burada teta 2 yerine 90 derece koyarsanız, teta 1 'i yaklaşık 50 derece bulursunuz.

Bu denklemi uygular ve teta 1 yerine 50 dereceden daha büyük bir açı koyarsanız, sinüs teta 2 'nin 1 'den daha büyük olacağını bulursunuz, ki bu da çok saçmadır.

Bu olamaz.

Ve doğa Snell Yasasını tanımaz ve der ki “Üzgünüm, bunu yapamam” Bu durumda doğanın yaptığı şudur: Eğer teta 1 açısı çok büyükse – su halinde, 50 dereceden daha büyükse – bu artık orada değildir ve ışığın tümü bu yüzeyden yansımaktadır.

Biz buna tam yansıma deriz.

Tam yansıma.

Böylece teta 1 belli bir kritik açıdan daha büyük olduğunda, tam yansıma olur; bu kritik açının sinüsü, -- ki onu θ_{cr} yazarım -- N_2/N_1 'dir ($\sin\theta_{cr} = N_2/N_1$) . Fakat bir koşul söz konusudur.

Bu koşul, N_1 'in N_2 'den daha büyük olmasıdır. ($N_1 > N_2$)

Durum böyle değilse, o zaman tam yansıma olmaz.

Tam yansıma gerçekten çok ilginçtir; pratik uygulamaları vardır; biraz sonra onları tartışacağız; fakat önce bir gösteri deneyi yapmak ve orada size bunu göstermek istiyorum.

Burada suyum var, burası ise hava. İçerde yakabildiğim bir lazer ışığına sahibim; bu teta 1 açısını değiştirebilirim, yavaş yavaş arttırırım, arttırırım, arttırırım ; teta 2 'nin arttığını, arttığını, arttığını görürsünüz; 50 dereceye yaklaşırım, bu kritik açıda ve onu aştığımda, artık 100% yansımaya sahip olurum.

Önce lazeri açayım, böylece biraz ışık olsun; çok yakında oturmayan siz oradakiler, onu siz görün istiyorum, ışık durumunu size göre ayarlamalıyım. Pekiyi, işte görüyorsunuz, aynen tahtada yaptığımız gibi, ışık suda gidiyor, bu onun geliş yoludur, bu suda yansıyan kısımdır ve bu da havada kırılan kısım.

Böylece şu burada olandır.

Ve Şimdi Şu açıyı bylteceğim; masaya dokunduğum anda su ufak ufak kırırdamaya baŐlayacak ve muhtemelen siz bunu göreceksiniz,

Böylece açıyı, evet açıyı arttıracaağım. Nasıl arttırdığıma bakın.

Bakın, teta 2 büyüyor, 90 dereceye ulaŐacak. Teta 1 'i büyütüyorum, Teta 1 'i büyütüyorum; teta 2 'ye bakın, neredeyse 90 derece olacak. Şimdi kritik açıya çok yakınım, nerdeyse tam sağındayım ve Şimdi bütün ışık yansıtılıyor.

100 % yansıma, dikkate değer bir olay.

Bu, pratik uygulamalara sahiptir.

Ve bu pratik uygulamaların bazılarını da size göstereceğim.

En önemli pratik uygulama fiber optiktir.

Eğer bir fiberim varsa, zel Şekilde tasarlanmış -- bu bir fiberdir -- içerde buradan bir ışık geliyor ve buraya çarpıyor -- diyelim ki bu bir plastiktir, bir camdır ya da havadır -- eğer gelen aı kritik açıdan daha büyükse, 100 % yansıma olur.

Ve böylece dışarıya, havaya hiçbir Şey çıkmaz, 100 %' yansır.

Burada, gene, kritik açı aŐılmıştır ve böylece 100 % yansıma olur ve millerce tüm bu Şeyin içinden gidebilirsiniz.

Hatta orada içeriye düğümler koyabilirsiniz; kritik açıyı aŐmadıęınız müddetçe, ışık yayılacak ve hiç ışık kaybı olmayacaktır. Bu nedenle insanlar bununla çok ilgileniyorlar.

Size göstereceğim gibi, fiber optik aracılığıyla görüntü bile iletebilirsiniz.

Burada, içerisinde, her biri 50 mikron çapında, 4000 fiber bulunan bir fiber optik var; ve burada bir lazer demetim var ve lazer ışığı çıkacak -- biraz sonra size orada bu lazer ışığını göstereceğim -- Fiberlerle ne yaptığımın bir önemi yoktur, fiberin içinde daima kritik açıyı aŐıęım müddetçe, 180 dereceye bile gidebilirim ve onları orada parıldatabilirim.

Oh! Artık televizyon istemiyorum, bunu kapatabiliriz; burada esas lazer ışığımız olsun. İşte burada !

Burada lazer ışığını görüyorsunuz

Tamam, şimdi buna bakın, bu desteye bakın.

Onu saçma bir yılanı çevireceğim, hemen hemen bir S gibi. Bütün ışık hala çıkıyor,

Böylece bütün yol boyunca gidiyor, onu 180 derece çevireceğim, oradaki duvara geri çevireceğim. İşte oldu.

Böylece, burada şaşırtıcı bir olay var: bu ışık dışarıya, havaya çıkamıyor; ışık fiberin içinde kalıyor; fiber optiğin arkasındaki düşünce budur.

Tam burada, çok benzer, başka bir fiber optik uygulaması var.

Fiber optikten bir görüntü yollayabilirsiniz. Bu, binlerce küçük fiberden oluşan bir fiber optik.

Ve buradan, bu taraftan, bir mesaj ya da bir görüntü gönderirim, bu bir fotoğraf veya bir metin olabilir. Ve burada bir televizyon kameramız var.

Ve bu görüntüyü izleyebiliriz, fiberin bu tarafında görüntü belirir ve bu televizyon kamerası bu görüntüyü görebilir. Bakalım, size bu mesajı gösterebilecek miyiz !.

Tamam; burada gene bir şeyler yapmalıyım, sanırım siz.....ah işte oldu.

Böylece siz gerçekte tek tek fiberleri görebilirsiniz, görüyor musunuz?

Ne kadar ilginç! Bunların her biri, tek tek fiberler.

Ve onların çapları, muhtemelen 50 ya da 100 mikrondan daha çok değil.

Bakalım sizin için hangi mesaj var. Oh, oh, sınav üç.

Bunu duymak istemiyorsunuz, değil mi?

Bu, mesajın ne olduğuna bağlı. Problem ---- hayır. Hayır.

Problem 1. Problem 1.

Şekil... oh, oh, oh, aşağıda..., bu yanlış mesaj; şüphesiz ki size sınav sorularını vermek istemedim; özür dilerim, size yanlış mesajı gösterdim.

Fakat, hiç olmazsa bu size fiber optikle görüntü gönderebileceğimizi gösterdi, hatta gizli mesajları da.

Newton 'un Snell Yasası için ilginç bir açıklaması vardı. Newton gezegenlerin adamıydı; parçacıkların adamıydı; kütlelerin, ivmenin, $F = MA$ 'nın adamıydı.

Ve bu yüzden onun açıklaması parçacıkları içeriyordu.

Işık, ışık parçacıklarından ibarettir diyordu.

Bu, su ve hava arasındaki yüzey ise;

Newton'un iddiası şuydu:

Işık belli bir V_1 hızıyla gelirse,

Yatay bir bileşene sahiptir. Ve belli bir düşey bileşene..

Newton, ışık suya vardığında, yüzeye ulaştığı anda, yüzeye dik bir ivme kazanır diyordu

Niçin? Bunu söylemiyordu

Sadece dik bir ivme kazanacak diyordu. Diğer bir deyişle, bu yatay bileşen değişmez.

Olduğu gibi kalır.

Fakat bu dik bileşen değişir; kuşkusuz kırılma indisine bağlı olarak; epeyce büyür.

Dolayısıyla, yeni hız şimdi bu doğrultudadır ve gerçekten teta 1 açısının teta 2 açısından daha büyük olduğunu görüyorsunuz.

Bundan Snell Yasası derhal çıkar. Sinüs teta 1 -- bu açı teta 1 'dir.

Böylece bu açı teta 1 'dir.

Böylece Sinüs teta 1, bu yatay-bileşen bölü bu hızdır (V_1).

Ve sinüs teta 2, bu yatay-bileşen bölü bu hızdır (V_2).

Fakat bu iki yatay-bileşen aynıdır. Böylece bu oranı hemen V_2 bölü V_1 olarak bulursunuz; Bay Newton 'un büyük zaferi.

Var olan bir sorun dışında; belki de bu, V_2 'nin V_1 'den daha büyük olması anlamına gelir. Ve böylece Newton sudaki ışık hızının havadaki ışık hızından daha büyük olduğunu iddia ediyordu.

Ve kuşkusuz, camda hız daha da büyük olmalıydı.

Bir Hollandalı daha vardı; bu Hollandalı'nın adı ise Christian Huygens 'ti.

H-U-Y-G-E-N-S.

Ve bu beyefendi ise, ışığın parçacık değil, belki de dalga olduğunu önermekteydi.

Ve bu arkadaş, Huygens İlkesi olarak bildiğimiz, dahice bir fikir ortaya atmıştı; en azından siz, ona Huygens İlkesi dersiniz; fakat biz onu Huygens İlkesi diye adlandırmayız.

UY sesinin Hollandaca [ouwe] olarak telaffuz edildiğini görüyorsunuz.

Hollandalı değilseniz, hiç biriniz [ouwe] sesini çıkaramazsınız.

Daha kötüsü, İngilizcede bu sese sahip bile değilsiniz.

Bu [kkkkhhhhh] dir.

Hollandalı olmadıkça, bu [kkkkhhhhh] sesini çıkaramazsınız.

Boş verin, siz Huygens diyebilirsiniz.

Dersten sonra yanıma kim gelir de, bana "Huygens"i doğru telaffuz ederse, o mutlaka Hollandalı olmalıdır.

Size karşı nazik olacağım ve bu gün ona Huygens İlkesi diyeceğim.

Böylece Huygens şu fikirle ortaya çıkmıştı:

Bu bir elektromanyetik dalga kaynağıdır. Ve bu elektromanyetik dalgalar küresel şekilde yayılırlar.

Mantıksız değildir. Ve burada bile görüyorsunuz; dalga tepelerini.

Dalğanın ön kısmındaki yüzeyi, ki bu yüzeyde tüm noktalar aynı evrededir, Huygens dalga cephesi olarak adlandırmıştı. Böylece bu dalga cephesidir.

Huygens, dalga cephesinin her bir noktasının tek tek kaynak ile aynı frekansta titreştiğini ve küresel dalgalar ürettiğini öne sürmüştü.

Onları ikincil dalgalar olarak adlandırıyoruz; -- sık sık onlara dalgacıklar da diyoruz. Ve bu ikincil dalgaların dalga cephesinin zarfı, şimdi yeni bir dalga cephesidir.

Böylece o aşağıdaki gibi çalışır.

Seçebileceğiniz her nokta, ki istediğiniz kadar çok seçebilirsiniz, kaynak ile aynı frekansta titreşmeye başlar. Ve kendi küresel dalgasını üretir, onlar böyle giderler ve yeni dalga cephesi o zaman burada olur.

İşte buna Huygens İlkesi denir.

Kuşkusuz, Huygens'in, bu noktaların bunu niçin yaptıkları konusunda hiç bir açıklaması yoktur. O bunu önermişti sadece.

Bu ilke, Snell Yasasını çok kolay bir şekilde açıklar. Bunu, kitabınızdan okumanızı istiyorum.

Bu ilkeyle Snell Yasasını açıklamanın çok kolay olduğunu görürsünüz; AMA ŞUNUN DIŞINDA: $\sin \theta_1$ bölü $\sin \theta_2$, eşit V_1 bölü V_2 olduğuna göre, şu sonuca varacaksınız. Huygens sudaki ışık hızının, havadaki ışık hızından daha düşük olduğunu ön görmüştü; oysa ki Newton sudaki ışık hızının havadaki ışık hızından daha yüksek olduğunu ön gördü.

Şimdi sorun, kimin haklı olduğuydu.

Işık, parçacıklardan mı oluşuyor, yoksa dalgalardan mı?

Işığın dalga – parçacık düşüncesi, fizikte uzun süre ortada kalan bir konu olmuştur. Sanırım gelecek hafta ya da ara-sınavdan sonra, size, 1801 'de Young'ın ışığın dalgalar olduğunu kesinlikle nasıl kanıtladığını göstereceğim.

Böylece Huygens kazanmış gibi görünüyor.

Öte yandan, ben size geçen derste ışığın parçacık gibi davranabildiğini de gösterdim.

Fotonlar, mermiler, domatesler, ışınım basıncı; bunlar parçacıklardır.

Kütle, bütün bir nesne, bütün bal mumu topu. Ve böylece belki de Newton haklıydı; belki de onlar parçacıktır.

Aslında, her ikisi de haklıydı.

Öyle anlar vardır ki gördüğünüz şeyleri gerçekten en iyi şekilde ışığı dalga olarak kabul ederek yorumlayabilirsiniz. Ve öyle anlar vardır ki ışığı, ışınım basıncında olduğu gibi, kütleli parçacıklar olarak varsaymak çok daha iyidir.

Fakat, kuşkusuz ki, buradaki esas soru, ışık hızı konusunda kimin haklı olduğu?

Işık suda daha mı hızlı gidiyor? Bu doğruysa, Newton haklıdır. Işık suda daha mı yavaş gidiyor? Bu doğruysa, Huygens haklıdır.

Söylemek bile gereksizdir ki Hollandalı haklıydı. Sudaki ışık hızı, havadaki ışık hızından daha düşüktür.

Işığın boşluktaki hızını türettiğimizde, Maxwell denklemlerini kullanmıştık.

Bu denklemler, herkesin çok şaşırdığı, şu sonuca götürmüştü bizi: Işığın hızı, ϵ_0 ve μ_0 'a çok basit bir şekilde bağlıdır; şimdilik ona V dersem, V eşittir $1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$.

Ve buna C diyoruz.

Eğer Maxwell denklemini, maddesel ortamlarda, yani dielektriklerde ve manyetik özelliklere sahip maddelerde geçerli olduğu şekilleriyle kullansaydınız, -- tamamen aynı türetme olurdu, sadece burada bir κ , yani dielektrik sabiti görürdünüz ve burada da manyetik geçirgenlik.

Havada değil de, camda ya da sudaysanız, κ daima 1 'den daha büyüktür.

Böylece, önünüzde görüyorsunuz ki, ışığın sudaki hızı, havadaki hızından daha düşüktür. Bu da, C/κ bölü κ olarak yazılabilir ve artık bunu basitçe C/n olarak yazabiliriz.

Böylece kırılma indisi, gerçekten dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenlik çarpımının kareköküdür.

Kappa ve kappa M, frekansın çok güçlü bir fonksiyonudur.

Ve bu öyle şaşırtıcı da değildir; çünkü çok yüksek frekanslarda, değişen dış alanlar tarafından yöneltilecek elektrik ve manyetik dipoller, bunu yeterince hızlı takip edemezler.

Bir alan onları bu yönde sürmek ister ve hemen onları geriye döndürmek, ileriye ve geriye, ileriye ve geriye sürmek ister ve bunu yapmak için ise yeterli zaman yoktur.

Ve böylece siz yüksek frekanslarda kappa'nın değerinin düşük frekanslardakinden daha düşük olmasını beklersiniz, ki gördüğünüz de tam budur.

Kappa M 'e gelince, bu sadece ferromanyetik maddelerle ilgilendiğinizde önemlidir; çünkü paramanyetik ve diamanyetik maddelerde kappa M nasıl olsa daima 1 ' dir.

Ya da 1 ' e çok yakındır.

Size kappa 'nın frekansa bağımlılığını göstermek için, örnek olarak suyu seçtim.

Bu, Web 'dedir, onu indirebilir ve kopyalayabilirsiniz.

Buraya bakarsanız -- bu su içindir -- orada düşük frekanslarda , 0 Hertz 'de, ve hatta 100 MegaHertz 'lik radyo frekanslarında bile, -- bu 100 Mega Hertz 'dir, bunlar radyo dalgalarıdır -- sudaki dielektrik sabitinin yaklaşık 80 olduğuna dikkat edin, ve görünür ışıkta -- bunlar görünür ışık frekanslarıdır -- onun çok düşük olduğunu görüyorsunuz.

Bunu az önce tartışmiştik. Titreşimler aşırı hızlı olur; elektrik dipolleri onu takip edemez.

Ve 100 MegaHertz 'deki radyo dalgaları için kırılma indisi kabaca 9 'dur ve bu dalgaların sudaki hızı, havadaki ışık hızından 9 kat daha düşüktür -- buna ışık hızı diyoruz, fakat bu kuşkusuz ki radyo dalgalarının hızıdır -- ve görünür ışık durumunda, sudaki görünür ışığı görebilirsiniz ve onun hızı, havadaki ya da boşluktaki hızdan sadece 1,3 kez daha düşüktür.

Frekans etkisi çok dikkate değerdir.

Kırmızı ışığı ve mavi ışığı alırsanız, onlar farklı frekanslara sahiptirler; dolayısıyla, mavi ışık ve kırmızı ışık için kırılma indisi farklıdır.

Eğer suyu ele alırsam -- vereceğim sayılar su içindir -- kırmızı ışık için sudaki kırılma indisi 1,331 'dir; fakat mavi ışık için sudaki kırılma indisi 1,343 ' tür.

Kısacası, bu sayıları, bunun ardından gelen gökkuşağını daha derinden anlamak için kullanacağız kuşkusuz.

Böylece, sudaki mavi ışığın kırmızı ışıktan 1% kadar daha yavaş olduğuna dikkat edin.

Elektromanyetik ışınımın hızının dalgaboyuna bağlı olması ve frekansa bağlı olması şeklinde gördüğünüz bu olaya, dağıtma yani dispersiyon diyoruz.

Havadaki sesin dağıtılmalı olmaması iyi bir şeydir; çünkü düşünün, yüksek frekansların düşük frekanslardan daha hızlı hareket ettiğini düşünün.

Ya da, sırf bir örnek olarak, daha yavaş hareket ettiğini..

Bu, şu demek olurdu: Diyelim ki bir konsere gittiniz, kemanları ve kontrabasları dinliyorsunuz; size önce kemanın sesi gelir, daha sonra kontrabası. Ve orkestradan uzaklaştıkça, durum daha da kötüleşir.

Bu etki çok güçlü olsaydı, bu salonda, arka sırada oturan birisi benim sözlerimi anlamazdı bile, çünkü yüksek frekanslar o kişiye düşük frekanslardan daha farklı zamanda ulaşırdı.

Böylece havadaki ses dağıtılmalı değildir.

Fakat cam ve su, ışık için dağıtılmalıdır ve çok dikkate değerdir.

Bir cam parçası alıp ona şu şekli, şu prizma şeklini verirsem ve burada onun üzerine biraz ışık düşürürsem, bu ampullerin ışığını ya da güneş ışığını; o zaman buraya Snell Yasasını uygulayabilirim.

Gelme açısı teta 1 ' i, biliyorum.

Kırılma indisini biliyorum, -- gerçi bu, su içindir -- ama kuşkusuz cam için kırılma indislerine de bir yerlerden bakabilirsiniz; o zaman göreceksiniz ki kırmızı ışık için olan kırılma indisinin mavi ışığınkenden bir farkı vardır.

Ve böylece prizmanın bu yüzüne vardığınızda, gene Snell Yasasını uygulamalısınız ve bunu yaptığınızda göreceksiniz ki, kırmızı ışık mavi ışığın çıktığı aynı açıdan çıkmamaktadır; fakat bu ikisi birbirinden uzaklaşır..

Bu, kırılma indislerinin farklı olması gerçeğinin bir sonucudur; fakat ayrıca bu özel şekle, bu komik şekle sahip olmamız gerçeğinin; yani camın bu yüzünün bu yüze paralel olmaması gerçeğinin de bir sonucudur.

Buraya bir ekran koyarsanız, renkleri görürsünüz; bir spektrum oluşturabilirsiniz; böylece bu ampullerden gelen ışığın sadece beyaz olmadığına, fakat çok, pek çok renk içerdiğine kendinizi inandırabilirsiniz.

Şey, o pek çok renk içermek zorundadır, çünkü eğer oradaki kırmızı gömleli beyefendiye bakarsam,

O kırmızı renk nereden geliyor sanıyorsunuz? Ampulden geliyor olmalı, böylece içinde kırmızı ışık olmalı.

Onun yanında oturan bayan yeşil gömlek giyiyor; böylece bu ışığın içinde yeşil ışık da olmalı. Ve aynı şey güneş ışığı için de geçerlidir.

Fakat burada güzel olan şey, dağıtmayı kullanarak, beyaz ışığı tek tek renklere ayırabilmeniz ve bir spektrum yapabilmenizdir.

Eğer paralel düzlemlerle bir cam parçası, yani pencere camı alırsanız, renkleri göremezsiniz; çünkü eğer şimdi buraya ışık düşürürsem, ampullerden ya da güneşten gelen beyaz ışığı düşürürsem, burada kırılacağı açıktır.

Fakat, gene Snell Yasasını uyguladığımda, burada bütün renkler aynı yönde çıkacaklardır. Böylece kırmızı ışık buradan çıkar ve mavi ışık da aynı yönde çıkar.

Ve sizin beyinleriniz çok özeldir.

Eğer beyinleriniz bütün renklerin aynı yönden geldiğini görürse, “Beyaz ışık görüyorum” der. Şu ampule bakın. “Aaa, o beyaz ışık” dersiniz. Fakat şu beyefendiye bakın, “O kırmızı” dersiniz. O, bu ampulden geliyor olmalı.

Böylece beyinleriniz, pek çok rengin birleşimini beyaz zannettiği için özeldir.

Ve bunu size oldukça inandırıcı bir yoldan gösterebilirim.

Burada bir disk görüyorsunuz. Ve bu disk üzerinde renkler gördüğünüzü sanıyorum.

Eğer görmüyorsanız, bir probleminiz var demektir. Ve ben beyinlerinizi aldatabilirim.

Ne yapabilirim; bu diski öyle hızlı çeviririm ki beyinleriniz öyle karışır ki kendinize,

”Evet bu beyaz ışık” dersiniz. Böylece önce bu disk üzerine biraz ideal ışık vereyim. Şimdi onu biraz döndüreceğim.

Böylece, benimle aynı fikirdesiniz, değil mi? Hala renkleri görüyorsunuz, doğru mu?

Hala görüyorsunuz, değil mi? Tamam.

Hala renkleri görüyorsunuz, değil mi?

Evet. Ha, ha, ha.

Hahahahahaha.

Bu benim için olabildiğince beyaz. Çok şaşırtıcı değil, doğru mu?

Ampule baktığım zamandaki durum ile aynı.

Tüm bu renkler beyinlerimiz tarafından öylesine işleme uğrarlar ki, onlar sizin gerçekten beyaz ışık görmeyi sağlar. O, sahip olabileceğiniz kadar gerçektir.

Böylece bu, dersin kalan bölümünde sizinle tartışmak istediğim, renk yanılsaması konusunu ortaya çıkarır.

Bir fizikçiye, “belli renkleri ne zaman görürsün?”

Ne zaman kırmızı görürsün?

Maviyi yeşili ne zaman görürüz?” diye sorarsanız; muhtemeldir ki, o, size standart bir yanıt verir ve “ Aslında bu, havadaki dalgaboyuna bağlıdır” der ve şunu ekler:

“Eğer bana hangi dalgaboyu üzerinde olduğunuzu söylerseniz, size hangi rengi göreceğinizi söylerim”.

Burada, dalgaboyları ve renkler arasındaki ilişkiyi veren bir saydam'a sahibim.

Bu saydam, Web sayfasında da var; oradan indirebilirsiniz.

Havada ışığın dalgaboyu bu aralıktaki kadar ise -- 1 Angstrom, 10 üzeri -10 metredir, muhtemelen bunun kırmızı ışık olduğunu söyleyebilirsiniz.

Dalgaboyları kısalduğunda, yani bu aralıktaki, “evet, bu yeşil ışıktır.” dersiniz. Dalga boyları daha da kısaldığı zaman , “Bu mavi ışıktır.”, dersiniz. Ve bundan daha kısa dalgaboylarını göremezsiniz. Burada morötesi bölgesine giriyorsunuz: Diğer tarafta da bundan daha uzun dalgaboylarını göremezsiniz. Burası kızılaltı bölgesidir; gözlerimiz bu dalga boylarına duyarlı değildir.

Böylece bunlar, çok hoş.. Fakat bizim bir sorunumuz daha var hâlâ: Diski çevirdiğimizde ve ampule baktığımızda olduğu gibi, tüm renkleri karıştırırsak beynimizin bize beyaz ışık gördüğümüzü söylemesi gibi bir etki sorunu.

Belki de sorun, düşündüğümüz kadar basit değildir.

Renkler hakkındaki bu tasarı, zaten 17. ve 18. yüzyılda, birincil renkler gibi bir şeylerin var olduğu keşfedildiğinde, oldukça ayrıntılı bir şekilde incelenmişti.

Maxwell bu konuda bazı araştırmalar yapmıştı; Helmholtz ve hattâ şair Goethe bile bu konu üzerinde çalışmıştı.

Onlar birincil renklerin var olduğunu keşfettiler; ışığı karıştırdığımızda -- buna eklenen karışım diyoruz -- üç birincil renk, yeşil, mor ve kırmızıdır; eğer boyayı karıştırırsanız, üç birincil renk, sarı, mavi ve kırmızıdır.

Ve bunun ardındaki düşünce şudur: eğer üç birincil rengi doğru oranda karıştırırsanız, pek çok renk yapabilirsiniz.

Size bu renkleri nasıl karıştırmanız gerektiğini söyleyen bir reçete olan bir “renk üçgeni” göstermek istiyorum. Ve bunu yapmak için ortalığı biraz karartacağım, fakat tamamen değil.

Böylece burada renk üçgenini görüyorsunuz. Renk üçgeni, içinde üç renge sahip. Üç köşesi var; burada kırmızı var -- bir birincil renk -- , burada mor var ve tepede yeşil var.

Ve şimdi bu reçetenin nasıl kullanılması gerektiğini söyleyeceğim.

Buraya bir renk üçgeni çizeceğim ve burada kırmızı, orada yeşil ve burada mor rengimiz var. Bu renk üçgenine bakarsanız, hayal edebileceğiniz bütün renkleri görebilirsiniz. Şöyle..

Sarı görürsünüz, burada eflatun görürsünüz, turuncu görürsünüz ve hatta beyaz görürsünüz.

Peki bu renkleri nasıl yaparız? Evet; diyelim ki, buradaki bu rengi yapmak istiyorum.

Bu, diyelim ki, şu renktir.

Sonra üç köşeden üç çizgi çizersiniz, bir, iki, üç. Bu, ışığa koyacağınız kırmızının miktarıdır; bu, yeşilin miktarı ve bu ise morun miktarıdır.

Bunları bu oranlarda karıştırırsanız, buradaki rengi elde edersiniz.

Çok hoş bir sarı yapmak istersek – ooh, bakalım, çok hoş bir sarı yapalım; taa orda, uçta -- hiç mora ihtiyacımız yok, bunu yalnızca yeşil ve kırmızı ile yapabiliriz. Böylece buraya, sarı olan bu noktaya gidelim; bu demektir ki, bu kadar kırmızı koymalıyım ve bu kadar yeşil koymalıyım.

Daha çok kırmızı eklersem, bu çizgi boyunca giderim, sonra burada dururum; böylece turuncu rengi elde ederim.

Böylece burada basitçe kırmızının miktarını artırarak turuncu yapabilirim. Bu mor olmamalı, değil mi?

Ooh, bu yeşil. Oh, beni uyarmalıydınız.

Bu yeşil; turuncu yapmak istersem, o zaman ona daha çok kırmızı ve daha az yeşil koymalıyım.

Aşırıya kaçıp beyaz ışık yapmak ve “tombala” demek isterseniz, orada tam ortasında, o zaman bu kadar kırmızı, bu kadar yeşil ve bu kadar mor katmak zorundasınız.

Biraz önce gördük; düşünce şuydu: siz tüm renkleri karıştırırsınız; biz de sizin kafanızı karıştırırız; o zaman beyniniz der ki: “Evet, yaa, bu beyaz ışık”. Böylece “üç birincil renk kuramı”nın ardındaki düşünce şudur: Bizim göz hücrelerimiz, yani retinadaki hücreler, üç birincil renge farklı şekilde cevap verirler; beyinlerinizin size söylediği bu renk algısı, beyinlerinize yollanmış mesajlardır ve onlar burada işleme tabi tutulurlar, onlar bu üç cevabın karışımının sonucudurlar.

Kuram oldukça başarılıdır.

Size bu üç rengi, yeşil, moru ve kırmızıyı karıştırarak sarı rengi yapmaya çalışacağım. Ve sarı yapmak istiyorsam -- bunu zaten tartışmıştık -- ihtiyacım olan bütün şey yeşil ve kırmızı; hatta mora ihtiyacım yok.

Ve bunu buradaki bu hoş küçük kutu ile yapacağım. Bu ekranı kaldıracağım, çünkü bu ekrana artık ihtiyacım yok; ve sanırım artık bu slayt’a da ihtiyacım yok, John.

Bu kutu içinde üç ışık var. Kırmızı, yeşil, mor. Ve şiddetlerini değiştirebilirim.

Evet size gösterebilirim, kırmızıyı daha az güçlü yapabilirim; aynı şeyi yeşili de öyle yapabilirim, yeşili daha az güçlü yapabilirim.

Ve aynı şeyi morla da yapabilirim.

Örneğin, sarı yapmak istiyorsam, bunu sadece yeşil ve kırmızıyla yaparım ve çok fazla yeşil ve çok az kırmızı vermeliyim. Böylece az kırmızı ve çok yeşil.

Onu biraz ayarlamalıyım.

Hmm! Sarıyı görüyorum, değil mi? Kim sarıyı görüyor? Tamam.

Böylece onu biraz turuncu yapabilirim; bunun için ona biraz daha çok kırmızı vermeliyim. Evet, biraz daha çok kırmızı veriyorum; oh, o turuncu oluyor.

Bakın, şimdi biraz buraya ilerliyorum; biraz daha çok kırmızı veriyorum ve onu turuncu yapıyorum.

Ve hatta ne yapabilirim; bu üç ışığı maksimum güçle veririm ve onu beyaza çeviririm.

Böylece, dönen diskteki gibi, güneşten gelen ışıktaki gibi, buradaki ışıklardan oluşturulan ışıktaki gibi, bütün renklerde yine beyinleri aldattık. Sanıyorum ki, beyaz ışığı görüyorum.

Renkli TV'niz bu temele dayalıdır. Renkli TV'nizde üç elektron tabancası vardır. Televizyonunuzun ekranında üç farklı kimyasal vardır. Ve bu kimyasallar çok küçük noktalar halindedirler.

Elektronlar bu noktalardan birine çarparsa, orası mor olur, bazı kimyasallar yeşil olurlar ve diğerleri kırmızı olurlar.

Buradaki düşünce şudur: Her bir demet kendi kimyasal noktasına çarpar; böylece onlar görüntüleri bu yolla düzenlerler.

Çeşitli şiddetleri karıştırarak, üç birincil renkteki şiddetleri karıştırabilirsiniz ve televizyonda bütün renkleri görebilirsiniz. Çok iyi çalışan bir mekanizmadır bu.

Kuşkusuz, televizyonunuzu doğru düzgün ayarlamazsanız, bazı yüzler kırmızımsı bazı yüzler yeşilimsi görünebilir.

Evet; bu, şu üç tabancayı uygun şekilde ayarlama sorunudur; bunu yaparak çok başarılı olabilirsiniz ve bu çok etkileyicidir.

Bu üç-renk şeması oldukça iyi çalışır.

Pek çok durumda, üç birincil renk kuramı oldukça doyurucudur. Fakat acı bir şekilde başarısızlığa uğradığı durumlar da vardır.

Kalan 10 dakika 40 saniyede bunları tartışmak istiyorum.

Daha 19. asırda, üç-renk kuramıyla sorunlar olduğu bilinmekteydi.

1895 yılında Mr. Benham, ona izafeten "Benham diski" denilen bir disk icat etmişti.

Benim ofisimde, masamın üzerinde bir Benham diski var. O üzerinde siyah çizgileri olan, renksiz bir diskidir. Onu çevirirsiniz ve renkleri görürsünüz.

O diski sizin için kopyaladık, işte burada. Bu bir kopyadır, büyük bir kopya; benim sahip olduğum disk ise, sadece bu kadar küçük. Bu, Benham diskidir.

Umarım, bunun siyah ve beyaz olduğu konusunda benimle aynı fikirdesinizdir.

Renkleri gören bir kişi bile varsa aranızda, şimdi bunu bileyim.

O zaman, gitmenize izin veririm. Tamam, demek ki kimse renkleri görmüyor. İyi.

Ve şimdi onu döndüreceğim; gördüklerinize şaşıracaksınız.

Böylece işte Benham topacı ve onu yaklaşık 7 Hertz 'te, 5 – 7 Hertz arasında bir hızda döndüreceğim. Siyah ve beyaz.

Heey; ne görüyorum?

Renkleri görüyorum. Çok parlak değil, ama renkleri görüyorum.

Tam burada ortada soluk-kahverengi görüyorum ve sonra kurşuni-yeşil herhalde ve daha dışta koyu-mavi bir şeyler görüyorum.

Renkleri kim görüyor? Kim görmüyor? Oh, o zaman siz renk körü olmalısınız.

Bu olur. Peki; renkleri görüyorsunuz, sade siyah ve beyaz dönerken.

Daha bile kötü hale getirmek için, diski ters çevirebilirim.

Önce onu durdurmalıyım, aksi taktirde motoru yakarız. Çeviriyorum ve hatırlayın, soluk-kahverengi merkezdeydi.

Ve şimdi onu diğer tarafa çeviriyoruz. Tekrar bakın ne görüyorsunuz.

Şimdi soluk-kahverengiyi kenarda görüyorsunuz.

Renklerin tersine çevrildiğini görüyorsunuz. Bu alanda pek çok araştırma yapılmıştır.

Fakat, beyinlerimizin ne göreceğini tahmin edebildiğimiz birkaç çok başarılı model olmasına karşın, tam bir nörofizyolojik açıklama henüz mevcut değildir.

Renk hücreleriniz titrek ışıkla uyarıldığında, gelen ışık ile yanıtı arasında faz gecikmesi olur; beyninize gönderilen mesajlar, kuşkusuz akımlardır.

Faz gecikmesi, farklı renkler için farklıdır.

Böylece burada yaptığımız şey, beyinlerimizi kandırmaktır. Biz titrek ışığı beyinlerimize farklı faz gecikmeleri ile göndeririz ve merkezdeki faz gecikmeleri daha dıştakilerden daha farklı olur.

Ve beyin bunu alışıldık şekilde işler ve der ki; “Üzgünüm, fakat renk göreceksiniz.” Gördüğünüz şey budur.

Üç-renk kuramının başarısız olduğunu veya en azından tam olmadığını gösteren en mükemmel örnek, ellili yılların başlarında Edwin Land tarafından yapılan çalışmadır.

Edwin Land, Polaroid filmini bulan çok meşhur bir kişidir.

O renk kuramına öncülük etmişti ve şimdi burada yapacağım özel gösteri konusunda çok meşhur olmuştu.

O bana iki tane slayt vermişti, onu ben bizzat Edwin Land ‘dan aldım.

Size göstereceğim bu iki slayt, siyah ve beyaz renklidir. Tartışmasız siyah-beyaz.

Onları size göstereceğim; onlar bu disk kadar siyah ve beyazdır.

O, bu slaytlardan birini, bir şeyin fotoğrafını çekerek elde etmişti. Ve bu şeyi birazdan göreceksiniz.

Diğer siyah-beyaz slaytı da o çekmişti -- gene siyah-beyaz film üzerine -- fakat kamerasının önüne bir kırmızı filtre koymuştu.

Fakat inanın bana, o siyah-beyaz slaytı. Yani siz siyah-beyaz slaytlar göreceksiniz.

Ve şimdi bu slaytlarla özel bir şeyler yapacağım; bu yüzden şimdi oraya giderek gelişmeler süresince size açıklamalarda bulunacağım.

Dolayısıyla ortalığı iyice karartmalıyım; ooh, ekran aşağı gelmek zorunda, slaytları görebilmemiz için, kuşkusuz, ekrana ihtiyacımız var.

İki tane siyah-beyaz slayt.

İlk siyah-beyaz slayt işte bu.

Umarım hepimiz bunun siyah-beyaz bir slayt olduğu konusunda hem fikirizdir.

Ve ikinci siyah-beyaz slaytta da aynı görüntü var.

Bu arada, bu, kırmızı filtre ile çekilmişti. Ama bu siyah ve beyaz.

Birincisi kırmızı filtre ile çekilmemişti; fakat umarım hepimiz bunun siyah-beyaz olduğunda hemfikirsinizdir.

Bu siyah-beyaz slaytın önüne kırmızı bir filtre koyarsanız, göreceğiniz şey, tam beklediğiniz gibidir; yani, evet, bu, kırmızı bir cam parçasının ardından dünyaya baktığınızda, dünyayı kırmızısmsı görmeye benzer bir durumdur.

Çok sıkıcı. Gene de bazı çocuklar bunu sever. Yani, göreceğiniz şey bu.

Diğeriyle de aynısını yapabilirim; Edwin Land'in kırmızı filtre kullanarak fotoğrafladığı bu.

Onun önüne kırmızı bir filtre koyarsam, beklediğinizi görürsünüz: kırmızısmsı, pembemsi renkler.

Tamam.

Bir siyah-beyaz slaytın üzerine diğer siyah-beyaz slaytı izdüşürürsek, ne görmeyi beklersiniz? Haydi, bununla yüzleşelim. Gelin, dürüst olalım.

Siyah-beyaz üzerine siyah-beyaz, gene siyah-beyaz kalır. Ve şu an göreceğiniz şey budur. Biri şimdi diğerinin üzerinde.

Fark etmemiş olabilirsiniz diye, birini üzerinden alacağım ve sonra tekrar koyacağım.

Siyah-beyaz artı siyah-beyaz, gene siyah-beyazdır.

Şimdi, sizden sandalyelerinizin üzerinde çok sağlam oturmanızı isteyeceğim; çünkü dikkatli olmazsanız, sandalyelerinizden düşeceksiniz.

Şimdi Edwin Land'in kırmızı filtre ile elde ettiğini slaytın önüne koyacağım; kırmızı filtreyi projektörümün önüne koyacağım, sadece bu slayt boyunca.

Diğeri olduğu gibi kalacak.

Ve işte başlıyoruz. Ve şimdi ne görüyorsunuz?

Renkleri görüyorsunuz.

Bu bir mucize mi? Evet, belki de öyle.

Burada sarı görüyorum. Burada yeşili görüyorum. Burada laciverti görüyorum.

Başka kim bu renkleri görüyor?

Sadece evet deyin.

Kim görmüyor? Sizin için iyi.

Şaşırtıcı değil miydi? İki tane siyah-beyaz slayt.

Bütün gördüğünüz bu ve de normalde size sadece biraz pembemsi, biraz kırmızımsı ışık verecek bu saçma kırmızı filtreyi görüyorsunuz.

Fakat, birini diğerinin üzerine koyarsanız, beyinlerinizde garip bir şeyler meydana geliyor.

Beyinleriniz öylesine inanılmaz derecede karışmış ki, gerçekten, orada sarıyı gördüğünüzü zannediyorlar.

Ve de gerçekten şurada ise sizin yeşili gördüğünüzü düşündürüyorlar.

Şimdi akla yakın bir soru şu: Eğer bunun fotoğrafını renkli filmli bir kamera ile çekersek, ne görürsünüz?

Renkleri göreceksiniz; yoksa o siyah-beyaz mı olacak?

Evet, renkleri görürsünüz; fakat renkler, şu anda benim ve sizin algıladığınız biçimden farklı olacaktır.

Ve şimdi kendinize şu soruyu sorabilirsiniz: Pekiyi, “ Şimdi gerçek renkler nedir? ”

Sizin ve benim gördüklerimiz mi? Yoksa bizim resmin kaydettikleri mi? Bana göre, anlamsız bir soru bu.

Bu konuya doğru veya yanlış diye bir yanıt yoktur.

Beyinlerimiz çok karmaşıktır; bize ne gösterirlerse, onlar bizim için gerçektir.

Gerçeklik, çok görecelidir.

Eğer siz renk körüyseniz, ki burada izleyicilerin arasında bu durumda olan birkaç kişi olmalı -- sadece istatistiklere bakarak -- bu kişilerin tamamen kendilerine özgü farklı bir gerçeklikleri vardır.

Gerçek, sadece o kişinin aklındadır ve bu, tamamen beyninizin mesajları nasıl değerlendirdiğine bağlıdır.

Bu hafta sonu için size verdiğim mesaj ise, iyi zaman geçirin; fakat bunun yanında, 3. sınavınıza çalışmaya da başlayın, çünkü bu sınav kesinlikle bir yanılsama değil.