Transkript Ders 32 Tekrar Sınavı 3

Bunlar, üçüncü sınavımızda kapsanacak konulardır.

Bu tekrar esnasında, tüm konuları anlatmamın imkanı yok.

Sınavda da, kuşkusuz, onların tümünü kapsayamam.

Ancak onların birkaç tanesine değinebilirim.

Bugün anlatamayacaklarım da, anlatmayacaklarım da sınavda olabilir ve olacaklar.

Önce manyetik maddelere bakalım.

Manyetik maddeler, diya-, para- ve ferro-manyetik olurlar.

Para- ve ferro-manyetik maddelerde, moleküller ve atomlar gerçek manyetik dipol momentlerine sahiptirler.

Dipol momentleri daima Bohr manyetonunun bir katıdır.

Dolayısıyla, dipol momenti kuantum mekaniği ile ilgilidir.

Ama kuantum mekaniği, 8.02 dersinin bir bölümü değildir.

Ve bu dipoller, boşluk alanı olarak adlandıracağım dış alan tarafından hizaya getirilirler.

Ve başarı derecesi, sıcaklığa ve bu dış alanın şiddetine bağlıdır.

Sıcaklık ne kadar düşük olursa, ısıl uyarmanın üstesinden gelerek, onları hizalamak o kadar kolay olur.

Ve Curie sıcaklığı dediğimiz belli bir sıcaklığın üstünde, ferromıknatıs -- manyetik madde tüm özelliğini kaybeder ve paramanyetik olur; derslerimde bunu göstermiştim.

Varsayalım ki, bir solenoidiniz var, N sarımlı bir selenoid ve uzunluğu N.

Ve solenoidten I akımı geçiyor.

Bu durumda, solenoidin ürettiği -- boşluk alanı dediğim -- manyetik alan, Amper Yasasını kullanarak elde edilebilir. Onu orada görüyorsunuz.

Bu manyetik alan, yaklaşık olarak, mü 0 çarpı I çarpı N bölü L'ye eşittir.

Şimdi buraya ferromanyetik bir madde koyarsam, o zaman bu kappa M çarpanını veya K_M 'yi, -- ona her ne derseniz --, işin içine sokmak durumundayım.

Manyetik geçirgenlik; bu, devasa bir şey olabilir.

10, 100, veya 1000'e kadar ve daha da yüksek olabilir.

Böylece manyetik alanın şiddetinde büyük bir artış elde edersiniz.

Öz-indüktans, manyetik akı bölü I akımı olarak tanımlanır.

Bu, tam öz-indüktansın tanımıdır.

Manyetik alan kapa M çarpanıyla artarsa, kuşkusuz manyetik akı da aynı çarpanla artacaktır ve böylece öz-indüktans artacaktır.

Yaptığım bir gösteri deneyini belki hatırlarsınız; solenoidin içinde hareket eden bir demir çekirdeğim vardı ve onu içeriye ne kadar çok hareket ettirdiğime bağlı olarak öz-indüktansın arttığını görmüştük ve onu dışarı çektiğimde öz-indüktans tekrar azalmıştı.

İlginç bir problemimiz var.

Sanırım o 7 Nolu ödev; burada demir çekirdeğimiz var ve sonra bir yerde bir hava boşluğu var; hafızanızı tazelemek için onu yeniden gözden geçirmek isteyebilirsiniz.

Şimdi transformatörlere dönelim.

Bir transformatör genellikle bu biçimde görünür.

Onu biraz sağa doğru kaydıralım.

Genelde bu biçimde görünür; sol ve sağ taraflar arasında mükemmel bir çiftlenim sağlamak üzere ferromanyetik bir madde vardır ve manyetik alan da arttırılır.

Buna birincil taraf diyelim.

N_1 sarımlı, öz-indüktansı L_1.

V_1 dediğim bu değeri daima izlemek için buraya bir voltmetre koyarım.

Ve bu ikincil taraftır. N_2 sarımlı. Öz-indüktansı L_2.

Ve buraya V_2 dediğim bu voltajı daima kontrol eden bir voltmetre koyarım.

Derslerde sınıfta yaptığım gibi, Faraday Yasası ile, V_2 bölü V_1'in, -- artı eksi işaretleri konusunda endişelenmeyelim --, N_2 bölü N_1'e eşit olduğunu gösterebilirsiniz.

Bu iyi bir yaklaştırmadır. Çiftlenimin ne kadar iyi geliştiğine bağlıdır.

O birkaç faktöre bağlıdır, fakat buna çok yaklaşabilirsiniz; bu demektir ki, eğer N_2'yi N_1'den daha büyük yaparsanız, voltajı yükseltebilirsiniz. Biz buna yükseltici transformatör diyoruz.

Fakat N_2'yi N_1'den daha küçük yaparak, voltajı düşürebilirsiniz.

Çok özel koşullar altında, birincil tarafta üretilen gücün 100 %'ü veya 100%'e yakını ikincil tarafta tamamen tüketilecek mi?

Bu çok, ama çok özeldir.

Eğer durum böyleyse, o zaman buradaki zaman ortalamalı V_1 I_1 gücü, buradaki zaman ortalamalı V_2 I_2 gücü ile aynıdır.

Ve böylece bunun mantıklı bir sonucu olarak, I_2 bölü I_1'in, -- eksi işaretler konusunda endişelenmeyin --, N_1 bölü N_2'ye eşit olduğunu bulacaksınız.

Yine de bu sandığınız kadar kolay değildir.

O sadece yaklaşık olarak çalışır; bundan derslerimde bolca bahsetmiştim.

Eğer buradaki direnç ve oradaki direnç, omega L değerinden kat kat daha küçükse.

Ve bunun hakkında yaptığım gösterilerden birisinde, bunu başarmaya çalışmıştık.

N_2'nin 1 ve N_1'in çok büyük olduğu indüksiyon fırınımızı hatırlıyorum. Şimdi N_1 'in kaç olduğunu hatırlamıyorum; herhalde birkaç yüz, belki bin mertebesindeydi ve ikincilde büyük bir akım, 1000 ampere yakın bir akım elde etmeyi başarmıştık.

Şu demir çiviyi eritmek için yeterliydi.

Ve direncin omega L'den çok, çok küçük olmasını sağlamak için her çeşit çabayı göstermiştik.

Sanırım ödevlerimizden problem 7-1 bununla ilgiliydi ve çok safça bunun tam doğru olduğu var sayılır.

Fakat bunun koşullarını sağlamanın her zaman öyle kolay olmadığının farkında olmalısınız.

Şimdi oradaki RLC devrelerine gidelim.

R dirençli bir sistem alalım; onun bir öz-indüktörü, saf bir L öz-indüktörü vardır ve de bir C kapasitansı.

AC; dalgalı akım

Bu sürücü güç kaynağı, bir V voltajı sağlar; bu V, V_0 sinüs (omega t) 'ye eşittir.

Bunun kuşkusuz, daima sinüs (omega t) olabileceğini unutmayın.

Hayatımızda kosinüsün özel bir yeri yok.

Kararlı durum çözümü; sistemi açtığınızda değil ama bir süre beklediğinizde, akım için kararlı durum çözümü elde edersiniz.

Ve şimdi geçecek olan akım, V_0 bölü karekök içinde R kare artı (omega L eksi bir bölü omega C) kare çarpı kosinüs (omega t eksi ϕ) 'ye eşittir.

Ve tanjant ϕ, (omega L – bir bölü omega C) bölü R'ye eşittir.

Biz buna reaktans diyoruz. Yukarısı. Onu genelde X sembolüyle gösteriyoruz.

Ve böylece bu da o zaman X bölü R'dir.

Burada sahip olduğumuz bu bütün kareköke empedans, alternatif akım direnci diyoruz.

Birimi ohmdur. Empedansı Z ile gösteririz.

Böylece sahip olabileceğiniz maksimum akım; -- kuşkusuz akım, omega açısal frekansıyla titreşiyor -- akım için sahip olabileceğiniz I_{maks} dediğim maksimum değer, o zaman V_0 bölü Z'ye eşit olur.

O zaman kosinüs terimi, ya artı 1 ya da eksi 1 olur.

Şimdi frekansın bir fonksiyonu olarak bu I_{maks} 'ı çizebilirim.

Böylece burası frekans ve burası I_{maks}' tır.

Eğer frekans çok düşük veya 0'a yakınsa, bu terim burada son derecede büyük olur ; çünkü empedans son derece büyüktür ve bu yüzden akım 0'dır.

I_{maks} sıfıra eşittir. Akan hiç akım yoktur.

Çok yüksek frekanslara gittiğimizde, sonsuza giden bu omega L terimidir.

Ve böylece yine Z sonsuza gider; böylece yine I_{maks} 0'a gider.

Ve omeganın diğer değerleri için, 0 olmayan bir I_{maks} elde edersiniz; böylece bunun gibi, rezonans eğrisi denen bir eğri elde edersiniz.

Sistem rezonanstayken, bu I_{maks} maksimum değere ulaşır; rezonans dediğimiz şey budur. Ve bu açıkça reaktansın 0 olduğu durumdur.

Çünkü reaktans sıfır olduğu zaman, bu parça ortadan kalkar.

Reaktans sıfır değilse, maksimum akım sadece daha düşük olabilir, ama asla daha yüksek olamaz.

Ve böylece X, 0'a eşit olduğunda, omega L'yi 1/ omega C'ye eşit bulacaksınız ve böylece onun frekansı, -- bana rezonansı hatırlatsın diye omega 0 olarak isimlendirdiğim şey -- bir bölü karekök LC'ye eşittir.

Rezonansta olduğum zaman, ϕ = 0 olur.

Böylece, akım ve sürücü voltaj arasında faz gecikmesi yoktur. Onlar birbirleriyle aynı fazdadırlar.

Ve şimdi I_{maks}'ın değeri, basitçe V_0 bölü R olur. Çünkü empedansın kendisi R olur.

Çok sıkıcı, çok basit, burada Ohm Yasasını görüyorsunuz.

Sistem rezonansta olduğu zaman, öz-indüktansı unutun, kapasitörü unutun; onlar orada değillerdir, onlar birbirlerini yok ederler ve böylece sistem sadece bir direnç varmış gibi davranır ve bu tam olarak burada gördüğünüz şeydir.

Burada, bazı sayılar var; onları daha önce de görmüştünüz, derslerim sırasında.

Bunu web'ten indirebilirsiniz; fakat bunu anlattığım derse geri gitmelisiniz.

Ve burada R, L ve C için ve aynı zamanda V_0 için bazı sayılar görüyorsunuz.

Burada sizin için rezonans frekansını hesapladım.

Frekansı kilohertz cinsinden de hesaplarım.

Ve burada impedansı görüyorsunuz; burada reaktansı görüyorsunuz.

Eğer rezonansın %10 altındaysam, 1 / (omega C) teriminin daima (omega L) 'den daha büyük olduğuna dikkat edin.

Bu durumda, reaktansınız – 86 ohm'dur.

Eksi işaretinin, kuşkusuz, akıma bir etkisi yok; çünkü burada X kare'niz var.

Fakat şimdi Z'nin, artık nerdeyse R tarafından değil de, sadece X tarafından belirlendiğine dikkat edin.

Çünkü burada 86 ile karşılaştırınca, 10 ohmluk R'nin pek rolü olmaz; hemen hemen hiç rolü yoktur.

Z, 87 haline gelir ve maksimum akım bir amperin onda biridir.

Rezonansın üzerindeyseniz, rezonansın bir özelliği olarak, omega L ve 1/ omega C birbirlerini yerler.

Onlar birbirlerini yok ederler ve böylece reaktans 0 olur. Bu yüzden Z şimdi sadece saf R'dir. X eşit 0'dır.

Böylece, bu durumda, maksimum akım 1'e eşittir.

Çünkü V_0'ı 10 seçmiştim ve R'yi de 10 seçmiştim.

Rezonansın %10 üzerindeysem; (omega L) terimi, kapasitörün reaktansından daha büyüktür ve bundan dolayı yine daha düşük bir akım elde edersiniz; yaklaşık bir amperin sekizde biri kadar.

Ve böylece bu eğrinin çok doğal bir yolla oluştuğunu görüyorsunuz ve bu niceldir, orada bazı sayıları görüyorsunuz.

Böylece şimdi kuşkusuz ki pratikte çok önemli olan soru geliyor.

Ve bu soru, güç kaynağı tarafından üretilen güç ile ilgilidir.

Bu güç, ısı şeklinde ortaya çıkar.

Dirençteki ısı. Böylece gücün zaman ortalamasını alırsınız: güç kaynağının voltajının zaman ortalamalı değerini alır, onu akımla çarparsınız.

I kare R'nin zaman ortalamalı değerini de alabilirsiniz.

Çünkü bütün bu enerji, eninde sonunda direncin ısısı şeklinde ortaya çıkar.

Bunların ikisi de uygundur. Bunu almaya karar verdim.

Böylece V yerine V_0 kosinüs (omega t) yazacağım --- I ise*,* (V_0 bölü Z) çarpı kosinüs (omega *t* - ϕ) haline gelir.

Bu, herhangi bir andaki güçtür. Zaman ortalamasını biraz sonra alacağım.

Kosinüs (omega *t* – ϕ)'yi gördüğümde, bu bana lise yıllarımı hatırlatıyor: Kosinüs alfa eksi kosinüs – HAYIR, kosinüs alfa eksi beta eşittir kosinüs alfa kosinüs beta + sinüs alfa sinüs beta.

Bu benim hafızama kazınmıştır. Sanırım bunu asla unutmayacağım.

Ve buraya yazacağım – matematik öğretmenim benimle gurur duyacak – kosinüs omega *t* kosinüs ϕ artı sinüs omega *t* sinüs ϕ.

Böylece bu şu terimdir.

Onun zaman ortalamasını alacaksam; bir kosinüs omega *t* çarpı sinüs omega *t* var ki bunun zaman ortalaması 0'a eşittir.

Bu terim yok olur.

Böylece gücün zaman ortalamalı değeri; burada V_0 kare elde ederim, burada bir Z var ve burada kosinüs omega t çarpı kosinüs omega *t* var.

Kosinüs kare omega *t'*nin zaman ortalamalı değeri, ½ 'dir.

Böylece burada bir 2 elde ederim. Ve hâlâ orada bir kosinüs ϕ var.

Ve bitirdim.

Eğer bu kosinüs ϕ'yi yok etmek isterseniz, bunu yapabilirsiniz.

Çünkü hatırlayın, ϕ şu şekilde tanımlanmıştı: tanjant ϕ = reaktans bölü R.

Siz hâlâ onu orada görüyorsunuz.

Böylece bu, eğer bu açı 90 derece ise, bu taraf Z olmalıdır anlamına gelir.

Bu karekök X kare artı R karedir.

Bu, bu kısımdır. Ve böylece kosinüs ϕ de R bölü Z'dir.

Ve böylece tercih ederseniz, belirli bir avantajı yok ama bunu tercih ederseniz, kosinüs ϕ yerine R bölü Z de yazabilirsiniz.

Böylece V_0 kare çarpı R bölü 2 elde edersiniz ve şimdi Z kare elde edersiniz.

Ve böylece orada gücü görüyorsunuz, bir RLC devresindeki zaman ortalamalı gücü.

Böylece şimdi rezonansa bakabiliriz.

O daima çok özel bir durumdur.

Rezonanstayken, Z eşit R'dir. Böylece bu büyük Z'yi R ile yer değiştirebilirsiniz.

Ve böylece V_0 kare bölü 2R bulursunuz. Bu, iyice basittir.

Bunu tahmin edebilirdiniz.

Yüzünüze dik dik bakan gerçekten Ohm Yasasıdır.

Rezonansta öz-indüktans yoktur ve kapasitör yoktur.

Böylece, onu sadece R dirençli basit bir sistem olarak ele alabilirsiniz.

Ve hemen şu cevabı bulursunuz.

Omega 0'dan başka her frekansta Z, R'den daha büyük olur.

Onu hemen burada görüyorsunuz.

Böylece bu demektir ki, ortalama güç daha düşük olur.

Böylece sadece rezonansta mümkün olan en yüksek gücü üretirsiniz.

Tamam. Konumuza dönelim ve sonra ne olduğunu görelim.

LRC devrelerini yapmıştık. Oh, evet, şimdi ilerleyen ve duran dalgalara geliyoruz.

Bir sicim üzerinde ilerleyen bir dalgayla başlayalım.

Bunu yapmak her zaman çok hoştur; çünkü elektromanyetik dalgalarla paralellik nerdeyse %100 'dür.

Y yönünde titreşen bir sicimim var. Ve onun X yönünde yayıldığını söyleyelim.

$Y = Y_0 kosinüs(kx - \omega t)$.

Bu ilerleyen dalgayı gördüğümde, Y yönünde titreşen dalga X yönünde yayılır; derhal anlarım ki o artı X yönünde gitmektedir, çünkü burada bir eksi işareti var, o bana artı X yönünü söyler.

Dalgaboyuyla ilgili tüm bilgiyi K verir. K, 2 pi bölü lamdadır.

Omega eşittir 2 pi çarpı *f; f* hertz cinsinden frekanstır.

O da eşittir 2 pi bölü büyük T. Burada büyük T, bir tam titreşimin periyodudur.

Tedirgeme X yönünde yayılır; yayılma hızı, omega bölü K'ya eşittir.

Burada belirli bir anda bu sicimi çizersem, bu Y_0 olur, bu da Y_0 'dır; ve o, bu hızla bu yönde yayılır; bu, lambda dalgaboyudur ve bu lambda, V çarpı T'ye eşit olur.

Bir nesne V hızıyla yayılıyorsa ve bir salınımı gitmek için T saniye geçmeliyse; bu nesnenin lambda kadar bir mesafe katettiği çok açıktır.

Bu, 8.01 dersidir.

Tedirgemenin hareket hızı olan bu yayılma hızını, sicimdeki atomların, parçacıkların gerçek hızıyla karıştırmayın.

Sicim içinde bir parçacık olup burada otursaydınız, asla bu doğrultuda hareket etmezdiniz. Bu, su dalgalarıyla aynıdır.

Bir su dalgası gelirse, yaptığınız şey tam budur. Aşağı ve yukarı gidersiniz.

Hareketiniz yalnızca Y doğrultusundadır.

Buradan oraya gidersiniz; bu frekansla, bu omega açısal frekansıyla ileri ve geri salınırsınız.

Gerçekten yukarı ve aşağı hareket ettiğiniz hız ile ilgileniyorsanız; kuşkusuz, enine hız dediğimiz bu hız, *dy* bölü dt'dir. Sicim üzerinde nereye oturmak isterseniz orayı seçebileceğiniz belirli bir X konumu için, bu hareketi yapmak durumundasınız.

Ve sanırım bir ev ödevinizde bir problem vardı; orada sizden enine hızın ne olduğunu istemiştim.

Böylece gene elektromanyetik dalgalara gidersek, orada çok az şey değişir.

Evet; bir elektromanyetik dalga alalım; bir düzlem dalga, orada E vektörü Y doğrultusundadır. Böylece E, E_0 çarpı Y yönünde bir birim vektör çarpı kosinüs (kx – omega t) 'dir.

Kuşkusuz, bu sinüs de olabilir. Hayatta kosinüsün özel bir yeri yoktur.

Aynı sonuca varırım.

Dalga, artı X yönünde ilerliyor; yayılma hızı, omega bölü k'ya eşittir ve eğer şimdi varsayacağım gibi, ortam boşluksa, bu hız C'dir; Maxwell denklemlerinde gördüğümüz gibi, C, 1 / karekök epsilon 0 mü 0'a eşittir.

Bunun Maxwell denklemlerinden ortaya çıkması şaşırtıcıdır.

Şimdi size sorulsa, ki bunun size sorulması benim için çok doğaldır, ilgili manyetik alan nedir diye; şey.., manyetik alan yayılma yönüne diktir.

O, E'ye de diktir.

Ve boşlukda, B_0 eşit E_0 bölü C 'dir.

Bir koordinat sistemi çizersem; bu X'tir, bu Y ve bu da Z. Koordinat sistemimin daima böyle X şapka vektörel çarpım Y şapka eşittir Z şapka şeklinde seçildiğine dikkat edin. Buna sağ-el koordinat sistemi denir.

Başka bir sistem seçerseniz, aptalsınızdır. Kendinizi daima sıkıntıya sokarsınız.

Her zaman koordinat sistemi olarak bunu seçtiğinizden emin olun.

Ve X vektörel çarpım Y eşittir tahtadan dışarıya çıkan Z'ye sahip olduğuma dikkat edin.

Belli bir anda, diyelim ki E vektörü bu yönde, Y yönünde; rastgele bir an alırım, X için rastgele bir konum alırım.

Şimdi E çarpı B'nin yayılma yönünde olduğundan emin olmalıyım.

Böylece E çarpı B, bu durumda, X yönünde olmalıdır.

Çünkü o artı X yönünde gidiyor. Ve böylece problemim çözüldü.

Biliyorum ki, B ancak bu yöndeyse, bu olabilir. Bu anda, bu konumda.

İhtiyacım olan her şey budur.

Bu elektrik alanıyla ilgili B vektörünü, E_0 bölü C -- ki bu, manyetik alanın sahip olabileceği en büyük değerdir -- çarpı aynı kosinüs (kx – omega *t*) olarak yazabilirim.

Ve şimdi burada Z şapka'ya sahip olmalıyım ve şimdi işler yoluna girdi.

Böylece şimdi E vektörüne eşlik eden bir B vektörüm var.

Sık sık enerjiyle ilgileniriz: Bir düzlem dalgada, birim zamanda ve birim alanda ne kadar enerji olur?

Bu, S Poynting vektörü tarafından verilir. S Poynting vektörü, E vektörel çarpım B bölü mü 0 'a eşittir.

Biz hâlâ boşluktayız. Ortamın hâlâ tam boşluk olduğunu varsayıyorum; böylece bu watt bölü metre karedir.

Elbette, genelde Poynting vektörünün anlık değeriyle ilgilenmiyoruz. Buna kim aldırır ki; o deli gibi titreşir; ben daha çok zaman ortalamalı değeriyle ilgileniyorum.

Ve zaman ortalamalı değer için; bu, kosinüs omega T'ye sahip, bu da kosinüs omega T'ye sahip, böylece çarpımları olan kosinüs kare omega T 'nin ortalaması ½ olur.

Bir E_0 var. Bir B_0 var. Ve paydada da bir μ_0 var.

Ve şimdi B_0'dan kurtulmak isterseniz; çünkü her şeyi E_0 cinsinden elde etmek istersiniz; B_0 yerine, E_0 bölü C yazabilirsiniz.

Ve bu da güzel olur. E_0 kare bölü μ_0 C.

Ve böylece artık Poynting vektörünün zaman ortalamalı değerine sahibiz.

Boşluktan maddesel ortama geçtiğinizde, maddesel ortam, K dielektrik sabitine ve K_M manyetik geçirgenliğine sahiptir.

Bu, sadece ferromanyetizma ile ilgilenirsek önemlidir; çünkü paramanyetizma ve diyamanyetizmada K_M , pratik olarak, tüm pratik amaçlar için daima 1'dir.

Fakat kappa bir hayli değişir. Çeşitli maddelerden.

Şimdi tüm yapmanız gereken şu; Maxwell denklemlerine gidersiniz, onlar boşluk için verilmişlerse, o zaman epsilon 0 yerine, kappa epsilon 0 koymak gerekir.

Orada bu zaten yapılmış.

Ve mü 0'ı kappa M çarpı mü 0 ile yer değiştirmelisiniz.

Dolayısıyla, C'yi V ile değiştirmelisiniz; çünkü madde içindeki hız, elektromanyetik ışınımınkinden farklıdır.

Onun nasıl değiştiğini hemen görürsünüz; çünkü epsilon 0 ve mü 0, epsilon 0 Kappa ve mü 0 kappa M ile yer değiştirmelidir. Böylece burada hızın, reçeteyi izleyerek, epsilon 0 mü 0 kappa, kappa M olduğunu görürsünüz.

Ve böylece B_0, şimdi E_0 bölü V olur ve artık C ile bölünmez.

Böylece bu B_0, E_0 bölü V olur.

Kappa, frekansın çok güçlü bir fonksiyonu olabilir.

Kappa M de öyle. Fakat, kuşkusuz, kappa M sadece ferromanyetik maddeler için önemlidir.

Daha önce kappa için size bir örnek göstermiştim, suyun kappası, dielektrik sabiti, düşük frekanslarda 80'di, hatta 100 megahertzdi.

Radyo frekanslarında, o hâlâ 80'di.

Fakat 10 üzeri 14 hertzlik frekanslara sahip olan görünür ışıkta kappanın değeri çok daha düşüktür; 1,77'dir.

Böylece kappa frekansın güçlü bir fonksiyonudur.

C bölü V şeklinde kırılma indisini tanımlarız.

V'nin kendisi frekansın güçlü bir fonksiyonu olduğu için, kırılma indisi de frekansın güçlü bir fonksiyonu olabilir.

O, kabaca su için1,3'tür.

Fakat bu değer, kırmızı ışık için mavi ışıktan biraz farklıdır. Öyle olmasaydı, gökkuşağını göremezdik.

Tamam.

Şimdi duran dalgalardan bahsedelim. Yine sicim ile başlayalım.

Bu L uzunluğunda bir sicimdir ve bu sicim üzerinde duran bir dalga oluştururum.

Duran dalgalar, ancak çok özel dalgaboyları için çok ayrı frekanslarda oluşturulabilir.

O bir rezonans olayıdır.

Bunun meydana geldiği en düşük frekansta, sicim bu tarzda titreşecektir.

Sicim bunu yapacaktır.

Buna temel frekans adı verilir. Birinci harmonik de denir.

Sonra, rezonans yapabilecek bir sonraki frekans olan ikinci bir harmonik vardır; o ekstra bir düğüm ekler, zaten burada bir düğüm ve orada bir düğüm vardı. Şimdi sistem böyle titreşecektir.

Füüt, füüt, füüt, füüt. Böylece bu ikinci harmoniktir.

Ve sonra üçüncü harmoniğe gidebilirim ve böylece sonsuza kadar devam edebilirim; tam da değil, ama biraz devam edebilirim; bu şimdi üçüncü harmonik olacaktır.

Rezonans frekansı olan frekanslar f_n ile verilir; *n* tam bir sayıdır: Ya 1, ya 2, ya 3 ya da 4 vs... demektir; 1 temel frekans olur, 2 ikinci harmonik ve saire. Bu frekans, *n* çarpı V bölü 2L olarak verilir; V burada tedirgemenin sicim yönü boyunca yayılmasının hızıdır.

L bu durumda uzunluktur.

Ve bu özel harmonikle ilgili lambda dalgaboyu, 2L bölü *n*'ye eşit olur.

Eğer *n* = 1 koyarsanız, dalgaboyunun, gerçekten uzunluğun iki katı olduğunu görürsünüz; *n* = 2 alırsanız, dalgaboyu tam L 'ye eşit olur.

Böylece, duran bir dalga için temel durumu gösteren bir denklem yazalım.

1 temeli belirtmek üzere, Y_1 eşittir Y_{o1} çarpı kosinüs omega 1 çarpı t çarpı sinüs k_1x.

Bu ilerleyen bir dalgadan çok farklıdır.

Burada tüm zaman bilgileri, uzaysal bilgiden ayrıştırılmıştır.

Önceden olduğu gibi, k_1 yine –buraya daha güzel bir k_1 yazayım– 2 pi bölü lambda'ya eşittir.

Ve omega 1, 2 pi çarpı f_1'e eşittir.

Burada çok özel olan şey, sinüsleri 0 olan noktaların, yani X değerlerinin var olmasıdır.

Temel durumunda, x eşit 0 koyarsanız, sinüsü daima 0 bulursunuz.

Fakat X eşit L koyarsanız, o da 0'dır; bunu kontrol edebilirsiniz.

Şimdi ikinci harmoniğe giderseniz, orada da sinüsü 0 bulacaksınız.

Ve böylece asla hareket etmeyen noktalar vardır; bunlara düğümler diyoruz.

Bu bir duran dalga için çok karakteristiktir.

İkinci harmoniğe gidebilirim ve yapmam gereken bütün şey, buraya bir 2, buraya bir 2, buraya bir 2 ve buraya bir 2 koymaktır.

Kendi küçük genliğine sahip olur; o da bu olabilir.

O kendi frekansına sahip olabilir.

Fakat bu omega 2 frekansı tartışılmaz. O, omega 1'in 2 katı olmalıdır.

Eğer üçüncü harmoniğe gidersem, omega 3 de, omega 1'in 3 katı olacaktır.

Fakat o kendi dalgaboyuna sahiptir; k_2'yi 2 pi bölü lamda 2 olarak bulacaksınız; lamdalar şu bağıntıyla verilir.

Şimdi bunları özümseyebilmeniz için, birkaç dakika dinlenmenizi istiyorum, sonra elektromanyetik duran dalgalara geçeceğiz.

Sizden şunu gene görmenizi istiyorum. Onu daha önce görmüştünüz; fakat sizin henüz görmediğiniz bir yönden onu görmenizi istiyorum.

Burada titreştireceğim bir kauçuk hortumumuz var; onu bu şekilde titreştireceğiz, en azından hedefimiz budur. Üçüncü harmoniği elde etmek ve tam olarak rezonansa varmak o kadar da kolay değildir. Fakat bunu deneyeceğiz; Marcos onu sizin için çok güzel yapmaya karar verdi: Oraya siyah bir ekran koyacak; çünkü rezonansa gelince, hortuma stroskobik bir ışık tutacağım, böylece hareketi etkin bir şekilde izleyebileceksiniz.

Gözleriniz neyin yukarı çıkıyor, neyin aşağı iniyor olduğunu göremez.

O çok hızlı gidip gelir.

Fakat onu bir-açılıp-bir-kapanan yinelenen ışıkla aydınlatarak yavaşlatabiliriz, aslında onu durma haline getiririz.

Amacımız bu; böylece bunu görebileceksiniz.

Stroskobik ışığı açayım, bu siyah fonun yardımı olacak; Stroskobun frekansı, titreşen hortumun frekansıyla tam aynıdır; böylece bu gerçekten yavaş hareketi görmenizi sağlar.

Merkezi kısım aşağıdayken, sağ ve sol kısımların yukarıda olduğu ve tersi konusunda kimse bana karşı çıkmıyor, değil mi?

Böylece, şimdi bu duran dalganın özelliklerini gerçekten görebilirsiniz.

Dikkat ederseniz, bu durumda dört düğüm görüyorsunuz.

Birer tane uçlarda ve iki düğüm de ortada görüyorsunuz.

Bu sinüs eğrisinin daima 0 olduğu yerlerdir bunlar.

Biraz daha farklı bir frekansta başka bir stroboskop ışığı ekleyebilirim.

Tsai adında bir sanatçıyla birkaç yıl işbirliği yapmıştım. O, burada, MIT'te, İleri Görsel Çalışmalar Merkezinde (the Center for Advanced Visual Studies) çalışmıştı; aslında nesneleri rezonans frekansında titreştirerek sanat yapıyordu; ipleri, yayları titreştiriyordu. Ve benim şimdi yaptığım gibi, onları stroboskobik ışıkla aydınlatıyordu; aslında ben bunu ondan öğrendim.

Çok güzel, aynı zamanda çok öğreticidir de. Neler oluyor, aslında onu görebiliyorsunuz.

Yeşile bürünmüş olarak gördüğünüz sicimi, farklı bir anda kırmızıya bürünmüş görürsünüz. Ve söylediğim gibi, ben stroskobun frekansını bilerek biraz farklı yaptım.

Teşekkürler, Marcos.

Belki hatırlarsınız, havada kendi başına duran bir dalga da oluşturabilirsiniz.

Üflemeli çalgılar, rezonansa giren hava sütunlarından başka şey değillerdir.

Burada her iki tarafı da açık bir üflemeli aletim olsun; bu aletimin uzunluğu, üretebileceğim frekanslar, bu denklemle verilmektedir.

Telli ve üflemeli çalgılar arasındaki tek temel fark, tellerle isteğe bağlı olarak V'yi değiştirebilmenizdir. Yayılma hızının farklı olduğu farklı maddeler seçebilirsiniz ve ayrıca gerilimi de değiştirebilirsiniz.

Gerilimi artırırsanız, bu V artar.

Böylece kemana dört farklı tel gerebilirsiniz; onlar da size dört farklı temel frekans verirler.

Üflemeli bir çalgıda V'yi kontrol edemezsiniz, çünkü V sesin hızıdır.

Ve böylece oda sıcaklığında havanın V hızı, 340 metre bölü saniyedir.

Bu tartışmasız böyledir.

Ve böylece üflemeli çalgıda, duyacağınız frekansları kolayca tahmin edebilirsiniz.

Burada, her iki ucu da açık bir borum var. O, 1,5 metre uzunluğunda.

Bu denklemi uygularsam, temel frekansın 113 hertz olacağını bulurum.

Belki hatırlarsınız; rezonansların bazen onları hiç beklemediğimiz anda ortaya çıkabildiğini söylemiştim size.

Sırf hava üflerken, rezonanslar elde edebilirsiniz.

Üflemeli bir çalgı alır da ona hava üflemeye başlarsanız, rezonansları uyarırsınız.

Tacoma Köprüsü'nü hatırlayın. Rüzgâr vardı ve köprü rezonansa gelmişti.

Çok yıkıcı bir olaydı.

Evet; burada da hiç ummadığınız bir anda, rezonansa gidebilecek bir sistemimiz var.

Burada bakır telden bir ızgara var.

Ve bu ızgarayı ısıtacağım. Izgarayı ısıtınca, oradan geçen bir hava akımı elde ederim. Bu, tümüyle kendi başına onu rezonansa getiremeyecek.

Fakat ısı kaynağını uzaklaştırdığımda ve bu ızgara soğumaya başladığında, o rezonansa gelir.

Böylece onu şimdi ısıtacağım. Biraz zaman alacak.

Çok uzun süre ısıtırsam, bakır ızgara eriyecektir.

Yıllar önce bunu çok kısa bir yakmaç ile yaparken, eriyen bakır ellerime gelmişti; inanın bana hiç eğlenceli değildi.

Yeterince uzun süre ısıtmazsam, rezonansa erişemem. Böylece basit bir tahmin yapayım.

113 hertz.

Pekâlâ. Duran elektromanyetik dalgalar.

Duran elektromanyetik dalgalara gittiğimizde, burada merkez tahtada kalayım.

Durum, neredeyse sicim üzerindeki duran dalgalarla eşdeğerdir

Yine düğümlerimiz var. Elektrik alanının daima 0 olduğu yerler var.

Ama ilerleyen dalgadan çok çok farklı.

Sizi 9-4 problemine yönelteyim; orada tıpkı sicimde sahip olduğumuz gibi duran bir elektromanyetik dalga göreceksiniz. O tam olarak bu şekle sahiptir.

Zaman bölgesi, uzay bölgesinden ayrılmıştır.

Duran bir elektromanyetik dalgada sahip olduğunuz tek zorluk, ilgili manyetik alanı bulmanın öyle kolay olmamasıdır.

Bunu tekrar gözden geçirmek isterseniz, sizi 9-4 problemine yönlendiririm.

Kutuplanma.

Tekrar konulara bakmak istiyorum. Listede nerede olduğumuzu görelim.

Sanırım, biraz da kutuplanmadan söz etme zamanı geldi.

Evet, öyle. Kutuplanma.

Tahtadan tam size doğru gelen elektromanyetik dalgaları ele alalım.

Buna Y yönü diyorum ve buna Z; pardon X yönü diyorum.

Ve Z size doğrudur.

X çaprazı Y'nin daima, benim durumumda, sağ-el koordinat sisteminde Z olduğuna dikkat edin.

Böylece, tahtadan bize doğru gelen bir düzlem dalganın elektrik alan vektörünün böyle titreştiğini var sayalım.

Füüt, füüt, füüt, füüt. Omega açısal frekansıyla.

Bu düz bir çizgiyse, bunu çizgisel kutuplu ışınım olarak adlandırırız.

75 megahertzlik bir vericiyle yaptığımız bir radyo yayını olabilir.

Görünür ışık da olabilir.

E vektörü düz bir çizgi boyunca kaldığı müddetçe, biz bunu çizgisel kutuplu elektromanyetik ışınım diye isimlendiririz.

Elektromanyetik ışınım, radyo dalgaları dahil, görünür ışık dahil, dairesel kutuplu olabilir.

Bu durumda elektrik vektörü burada gördüğünüz gibi titreşmez; fakat her zaman aynı şiddete sahiptir ve ucu, ya bu yönde ya da bu yönde, bir çember üzerinde dönmektedir. Aslında bunu oluşturmak çok kolaydır.

Bunu burada derslerimde yapabilirdim, ama hiç yapmadım.

Y yönünde bir antenimiz olduğunu var sayalım ve bir tane de X yönünde olsun; aynı 75 megahertzlik vericimizin bu doğrultuda bakır bir çubuk oluşu gibi.

Ve her biri tam olarak aynı E_0 değeriyle, tam olarak aynı frekansla, fakat 90 derecelik faz farkıyla yayın yapsınlar.. Bunu ayarlamak pek zor değildir.

Bu durumda, E_0 ‘a eşit, bir E_X elde ederim.

Z için bir değer seçersem – Z eşit 0 alayım, bu çizginin neresinde olduğum kimin umurunda -- böylece KZ terimi olmaz, basitçe burada bir kosinüs omega *t* ’ye sahip oluruz.

Böylece bu, elektrik vektörünün X yönündeki bileşenidir.

Ve diğer E, Y yönünde olsun – aynı genliğe, fakat 90 derecelik faz farkına sahip olmalıdır; böylece 90 derecelik faz farkıyla, örneğin sinüs omega *t* olur.

Omegalar aynı olmalı. Dairesel kutuplu ışınım elde etmek için.

Böylece, Z ekseni üzerinde burada duran birisinin hissedeceği net elektrik alan vektörü, X yönünde E_x + Y yönünde E_y olacaktır.

Ve böylece bu vektörün büyüklüğü, karekök içinde E_x kare artı E_y kare olup, o da E_0 ’a eşittir.

Çünkü sinüs kare omega *t* artı kosinüs kare omega *t* , 1’e eşittir.

Ve böylece karekök altında E_0 kare çarpı 1elde edersiniz; bu da E_0 olur.

Dolayısıyla, genliğin daima E_0 olduğunu görürsünüz.

Burada gözünüzün önünde E vektörünün döndüğünü görürsünüz; Y’de maksimum olduğunda, X’de sıfır olur ve X’de maksimumken, Y’de sıfırdır; dolayısıyla bu dönüşü elde edersiniz, ve bu yönde ya da şu yönde.

Dönüş yönü, faz gecikmesinin nasıl düzenlendiğine bağlıdır.

Örneğin, basitçe buraya bir 2 koyarak, siz bunu eliptik kutuplu ışınıma çevirebilirsiniz

Oraya bir 2 koyarsanız -- veya X yönünde bir 2 koyayım -- çünkü tahtada X yönünde daha çok yerim var. Böylece buraya bir 2 koyarsam, bu, X yönünde Y yönünde gidebileceğimden iki katı daha uzağa gidebilirim demektir ve böylece şimdi E vektörü bunun gibi olacaktır.

Görüyorsunuz ki, bu şimdi bunun iki katıdır ve dolayısıyla şimdi eliptik kutuplu bir ışınıma sahibim.

Tamam, şimdiye kadar kutuplanma ile ilgilendik. Şimdi de Snell Yasası hakkında konuşalım.

Snell Yasası, Maxwell’den 250 yıl kadar önce keşfedilmişti.

Kuşkusuz, onu artık Maxwell denklemlerinden çıkarabilirsiniz; gene de o, oldukça şaşırtıcı bir başarıdır. O, 250 yıl önce şu Hollandalı tarafından türetilmişti.

Snell Yasasının bize söylediği şudur: n_1 kırılma indisli 1. ortamdan, n_2 kırılma indisli 2. ortama geçen bir ışık olsun; bu gelen açı teta 1'dir, bu yüzeyin normalidir. Biraz yansıma olur, bu açı da teta 1'dir ve sonra bu ışığın bir kısmı bu ortama geçecektir ve bu açı o zaman teta 2 olacaktır.

Ve Snell Yasası, sinüs teta 1 bölü sinüs teta 2'nin n_1 bölü n_2'ye eşit olduğunu söyler.

Gideceğiniz ortam daima yukarıdadır; oh, hayır böyle değil, tam tersi.

Ah, bunu yakalamam iyi oldu; bu n_2 bölü n_1'dir. Böylece gideceğiniz ortam yukarıdadır ve geldiğiniz ortam aşağıdadır.

Böylece n_2, n_1'den büyük ise, teta 2 açısının daima teta 1 açısından daha küçük olacağı apaçıktır.

Şimdi havadan cama gittiğinizi var sayalım, fakat yine her nasılsa havaya çıkarsınız.

Böylece tam burada, bu şimdi sizin gelme açınızdır, ben onu I diye isimlendirdim. I'ın teta 2 olduğu açıktır.

Ve burada gene ortamdan havaya geliyorsunuz ve bu açıya *r* diyorum. Şimdi size bir soru soracağım, şu *r* açısı nedir? Bazılarınız büyük bir sezgiye sahip olabilir ve hemen "oh, onun teta 1 açısıyla aynı olacağı açıktır." der. Ve bu gerçekten doğrudur.

Bunu kolayca görebilirsiniz; çünkü A noktasından geçişte, sinüs teta 1 bölü sinüs teta 2 – böylece şu A noktasındadır -- n_{cam} bölü n_{hava} olacaktır. Ve şimdi buraya B noktasına geliriz, böylece B noktasında bu gelen I açısının sinüsü bölü sinüs *r* elde ederiz; burada I'nın teta 2 olduğunu biliyoruz, bu açıktır. Şimdi bu, gideceğimiz yer, yani hava bölü bulunduğumuz yer, yani camdır; böylece bu, n_{hava} bölü n_{cam} 'dır.

Ve zaten I'nın teta 2 olduğunda anlaşmıştık.

Böylece bu iki denklemi çarparım, sağ tarafta tam olarak 1 elde ederim.

Işığın renginden bağımsızdır.

Mavi ışık kırmızı ışıktan farklı kırılma indisine sahip olsa da, bu önemli değildir; çünkü burada, orada sahip olduğumla aynısına sahibim.

Ve böylece sağ tarafta tam 1 elde edersiniz; böylece sol tarafta da tam olarak 1 elde etmelisiniz. Sonuç olarak, teta 1, r olmalıdır. Öyleyse bu açı burada bu tetayla aynıdır; ki bu belki de pek şaşırtıcı değildir.

Çünkü bu iki düzlem birbirine paraleldir.

Düzlemler paralel olmasaydı, -- ki problemlerinizin birinde bu durum söz konusuydu; orada bir prizmaya sahiptiniz -- o zaman burada renklerin ayrılmasını elde ederdiniz; kırmızı ve mavi farklı doğrultularda çıkardı.

Bu durumda ise, kırmızı, mavi, yeşil ve sarının hepsi aynı doğrultuda dışarı çıkarlar; böylece paralel düzlemli camdan baktığınızda beyaz ışık görürsünüz.

Tam yansımaya geldiğinizde, zamanınız olursa, 9-8 problemine bakmanızı öneririm.

Sınavda size beş problem verilecek.

Onlardan iki tanesi tek soruludur. İki tanesi iki sorulu.

Ve birisi ise, dört tane doğru-yanlış sorusuna sahip.

Her bir doğru cevap için dört puan alacaksınız.

Her bir yanlış cevap için dört puan çıkarmak zorundayım. Cevap vermek zorunda değilsiniz.

Cevap vermezseniz; puan alamazsınız, ama puan da kaybetmezsiniz.

Şimdi dört puanınızı çıkardığım için benden nefret etmeden önce, bir dakika şunu düşünün.

Eğer beş-yaş çocuklarından oluşan bir sınıfa doğru-yanlış soruları verirseniz, onlar ortalama yarısını doğru yarısını yanlış cevaplayacaklardır.

Yine de onlar 0 hak ederler.

Böylece açıkça tek mantıklı şey, yanlış bir cevap için puan çıkarmaktır.

Fakat cevaplamak zorunda değilsiniz.

Böylece dört sorudan ikisini bildiğinizden eminseniz, diğer iki soruyu cevaplamamayı düşünebilirsiniz. Bu sizin seçiminiz.

Size bir örnek vereceğim.

“Benham diski birkaç renkten oluşur.

Onu hızlı çevirdiğinizde, beyaz ışık görürsünüz.” Bu yanlıştır.

Bu yanlıştır; çünkü Benham diski bir kaç renge sahip değildir ve onu çevirdiğimizde beyaz ışık görmeyiz.

Başka bir örnek vereceğim.

“Kuyruklu yıldızın iki kuyruğundan birisi ışınım basıncı nedeniyledir, diğerine ise, güneş rüzgârları neden olur.” Bu doğrudur. Bunu derslerde tartışmıştık.

Bir kaç babaca öğütle sonlandırayım.

Her soruyu en az iki kez okuyun; önce en iyi bildiğiniz soruları yanıtlayın.

Size uyanlar en iyisidir.

Bir problem üzerinde 10 dakikadan fazla zaman harcamayın.

Hemen diğerine geçin.

Yarın akşam Ali Nayeri ile üç saatlik başka bir tekrar var.

Buna katılmak isteyebilirsiniz.

Ve Pazar biz de size özel öğreticilik yapacağız.

Web'e bakın. Çünkü zamanı geldiğinde, onu güncelleyeceğiz.

Gelecek derste görüşürüz.

İyi hafta sonları dilerim.