



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.

Transkript Ders 36 Özel Veda

Bugün size MIT'deki ilk günlerimde yaptığım bazı araştırmalardan söz etmek istiyorum. Bu uzun zaman önceydi.

Doktoramı Hollanda'da nükleer fizik üzerine yaptım ve 1966'da MIT'ye geldim.

Burada sadece bir yıl kalmam düşünülüyordu. Bir yıllık doktora-sonrası pozisyonum vardı. Fakat onu öyle çok sevdim ki, asla ayrılamadım.

Çalışma alanımı değiştirdim.

Burada, MIT'de, Profesör Bruni Rossi'nin araştırma grubuna katıldım. Nükleer fizikten X-ışını astronomisine geçtim.

X-ışını astronomisi zaten kendisini açıklıyor. X-ışınlarıyla astronomi yapmaya çalışıyorsunuz.

Yerde hiç x-ışını göremezsiniz; çünkü dünyanın atmosferi onları tamamıyla soğurur.

Yerde yapabileceğiniz optik astronomi ve radyo astronominin aksine, atmosferin dışına gitmelisiniz.

X-ışınları sözcüğünü kullandığımda, dışınızın medikal amaçlı kullanıyor olduğu, yaklaşık 1 – 50 kilo elektronvolt olan x-ışınlarını düşünüyorum.

Ve hepimiz 8.02 dersini aldığınız için, bir kilo elektron-voltun ne olduğunu artık biliyor olmalısınız.

Optiksel ışık 2 elektronvolt'tur; oradaki x-ışınları optiksel ışıktan çok daha enerjilidir.

İkinci Dünya Savaşı esnasında Hitler Almanya'sında Peenemunde'de Werner von Braun yıkıcı roketler geliştirmişti.

Onlar müttefikleri yok etmek için kullanılmıştı. Sizi ve beni yok etmek için.

Ve savaştan sonra, 1948'lerde, Amerikalılar bu roketleri bilim yapmak için kullandılar.

Onlar Werner von Braun'u da bu ülkeye aldılar ve benim anlamadığım nedenlerden dolayı, o bir kahraman oldu.

Güneş sisteminden gelen x-ışınlarını gözlemeyi denediler.

Ve gerçekten güneşin x-ışınları yaydığını buldular. Güneş çok yakındır.

Dolayısıyla, bunun bir sürpriz olmadığını söyleyebilirsiniz.

Fakat bu gerçekten alışılmışın çok dışındadır. Çünkü x- ışını oluşturmak için aşırı yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır; güneşte bu sıcaklığın var olduğunu düşünmemiştik.

Güneşin x-ışınlarında ortaya çıkardığı gücü alırsanız -- bu joule bölü saniyedir -- ve bunu güneşin optik ve kızıl-altı ışınlarındaki güççe bölüyorsunuz; bu imge güneşi belirtir; bu oran yaklaşık 10 üzeri – 7'dir.

Böylece, güneşin büyük ölçüde optik ve kızıl-altı ışınlar yaydığını; x-ışınlarının miktarının ise önemsiz bir yan ürün olduğu sonucuna varırsınız.

Ama sırf kendisi ilginçtir.

1962'de burada, Cambridge, Massachusetts'de, aralarında Bruno Rossi, Riccardo Giacconi ve Herb Gursky'nin de olduğu birkaç bilim adamı güneş sistemimizin dışındaki yıldızlardan gelen x- ışınlarını gözlemek için bir girişimde bulundular.

Şans büyük ölçüde onlara karşıydı. Detektörler yeterince duyarlı değildi.

Güneşi alır da, diyelim ki 10 ışık yılı uzaklıktaki yıldızların yakınına götürürseniz; o zaman güneş gibi bir cisimden x- ışınlarını saptama için hiç umudunuz olmaz.

Aslında detektörler, milyarda bir çarpana karşı aşırı duyarsızdılar.

Gene de denediler ve başarılı oldular.

Onlar, herkesin şaşkınlığı ve sevinci arasında, gerçekten güneş sisteminin dışında, en azından, bir nesneden gelen x- ışınlarını buldular.

Daha sonra bu nesne SCO X-1 diye adlandırıldı.

SCO, gökyüzündeki Scorpio takımyıldızını, X, x-ışınlarını ve 1 de, bu takımyıldızında gözlenen ilk kaynağı işaret etmektedir.

Biliyoruz ki, bu nesne soluk mavi bir yıldızdır.

SCO X-1 nesnesi hakkında son derece özel olan şey şudur: X-ışınının optik güççe oranını alırsanız, oran yaklaşık 10 üzeri 3 olur.

Bunu güneşteki oranla karşılaştırın.

O sıralarda ne olduğu hakkında bir ipucuna sahip olmadığımız bu nesne, başlıca x-ışınları yayar; optik ışık yayını bir yan üründür.

Oysaki bu, güneşte tersidir.

Ve bu yüzden o günlerde yakıcı soru, bunun ne tür bir varlık olduğuydu.

O tamamen farklı bir canavar olmalıydı. Güneşimizden çok farklı bir şey.

1966'da MIT'ye geldiğim zaman, güneş sistemimizin dışında altı kaynak olduğu biliniyordu. Ve onların hepsi roketlerle keşfedilmişlerdi.

O günlerde roketler dünya atmosferi dışında yaklaşık beş dakika geçirebiliyorlardı. Gökyüzünde çabucak bir tarama yapmak durumundaydılar; bütün yaptıkları buydu.

Ve ben, şu anda hâlâ MIT’de olan, George Clark’ın grubuna katılmışım. O, atmosferin en üstüne çok yakın yükseklikte uçan balonlardan x- ışını astronomisi yapıyordu. Balonların avantajı, saatlerce, şansınız varsa, bazen bir gün ya da daha uzun süre gökyüzünü gözleyebilmenizdi.

Fakat, diğer taraftan, yukarıda sizin üzerinizde kalan daima çok az bir atmosfer olduğu için -- çok az da olsa, hala birazcık vardır – dolayısıyla 20 kilo-elektronvolt’un altındaki X- ışınlarının neredeyse tümü soğurulur; onları görme olanağınız yoktur.

Fakat bu zararın bedeli olarak, kuşkusuz, saatlerce gökyüzüne bakabilmekteydik.

Son yıllarda, artık kimse bu balon gözlemlerini yapmıyor.

Artık roket gözlemleri de yok. Her şey, kuşkusuz, uydularla yapılıyor.

MIT’ye geldiğimde, George Clark ile beraber, bu balon gözlemleri için yeni X- ışını detektörleri geliştirmişim.

Pek çok yüksek lisans öğrencisi katılmıştı bu çalışmalara. Pek çok da lisans öğrencisi.

Bir teleskop yapmak yaklaşık iki yıl sürebilmekteydi.

Size kaba bir fikir vermek için, 1966’daki dolar bazında, bir milyon dolara mal oluyordu biri ve böyle bir teleskopun ağırlığı kabaca 1000 kilogram kadardı.

Bizi bu yüksekliklere çıkaracak balonlar, o günlerde 100,000 dolara mal oluyordu. Ve yaklaşık 80,000 dolarlık da helyum gerekliydi. Bununla ilgili bazı slaytlar göreceksiniz.

45 000 metre civarında yüksekliklere çıkmak zorundaydık.

Bunun için devasa balonlarımız vardı. Bir tanesini göreceksiniz.

Onlar 200 metre civarında çaplara sahiptirler. Ve maddesi polietilendi.

Daha yükseğe çıkabilinler diye, onları hafif ağırlıkta son derece ince yapmak gerekiyordu. Bu polietilenin kalınlığı yaklaşık bir inçin binde birinin yarısı kadardı.

Polietilen mutfakta kullandığınız streç filminden daha incedir. Sigara kâğıdından da incedir. Bu balonları uçurmak çok riskli bir iştir.

Çalışmaları konusunda elbette garantisi yoktur.

Paranızı ödersiniz. Çalışırlarsa, ne âlâ.

Çalışmazlarsa, bu sadece kötü şanstır.

Balonu fırlattığınızda, başarısız olma tehlikesi vardı. Onlar çok kırılımandır.

Tam fırlatılma anında hasar olabilirdi.

Fakat onlar onu atmosferde yapsalar bile, çok soğuk bir yer olan yaklaşık 30 bin metredeki troposfer boyunca gitmek zorundadırlar. Balonlar hassas olabilirler ve sonra patlayabilirler.

Ve elbette ki, bu, o zaman bu balon uçuşunun sonu olacaktı.

Ve aynı zamanda Doktora tezinin de sonu olabilirdi.

Kuşkusuz, tüm bu uçuşlar araştırmayla ve dolayısıyla Doktora çalışmasıyla bağlantılıydı ve böylece balon fırlatmanın bu ilk aşamasında gerilim her zaman son derece yüksekti. Bazen dayanılmazdı.

Bu yüzden, şimdi size bu araştırma yolculuklarının nasıl olduğu hakkında iyi bir fikir verecek, bazı slaytlar göstermek istiyorum.

Oh, evet, klasik bir problem. Bu iyi, şimdi çalışıyor.

Pekâlâ, böylece birinci slaytı alabilirsem, burada o zaman öğrenci olan Jim ve Pat'i görüyorsunuz. Onların her ikisi de şimdi doktoralı elemanlar ve çok sıkıcı bir iş olan orada çalışıyorlar; elektronik parçaları bir araya getirmeye çalışıyorlar.

Bilimin çok romantik bir şey olmadığını düşünebilirsiniz.

Fakat romantik olduğuna size garanti verebilirim.

Onlar âşık olurlar. Evlenirler. Çocukları olur. Ve bu bir yaşam şeklidir.

Burada, devasa balonların yapıldığı Texas'daki fabrikayı görüyorsunuz.

Balonlar, bir mandalınanın dilimlerinin bir araya gelişi gibi, bir araya getirilirler.

Yüzeyde balonun bu üçgen parçalarını görüyorsunuz.

Ve balon yapmak için bu üçgenlerin yapıştırılması sadece kadınlar tarafından yapılır.

Orada sadece kadınların çalışmasına izin verilir. Bunun cinsiyet ayrımıyla hiç bir ilgisi yok.. Sadece kadınların daha sabırlı çalıştığı bilindiğinden.

Onlar işlerini daha iyi yaparlar. Erkeklerden çok daha az hata yaparlar.

Bu bir yaşam tarzı.

Burada, kutudan çıkan balonu görüyorsunuz. Plastik bir kılıfa özenle konmuştur.

Ve burada çimenlerin üstünde bir bez örtü var; çünkü balon öyle incedir ki çimenlere değerse kesinlikle zarar görebilir; o korkunç derecede incedir.

Bu benim balonum değildi. Onun bir kusuru olduğunu anladığımızda çok üzülmüştük.

Buradaki endişeyi görebilirsiniz. Onlar balonda bir delik olduğunu sandılar.

Ve eğer balonda bir delik varsa, artık yapacak hiçbir şey yoktur.

Onu yamalayamazsınız; çünkü delik hemen hemen daima bir çok katmandadır.

Burada gördüğünüz, yüzlerce tabakanın üstüste getirildiği bir balondur.

Fakat söylediğim gibi, bu benim balonum olmadığı için çok üzülmedim. Ancak elbette ki meslektaşınızın balonunda bir arıza görmek de hiç hoş değildir.

Şimdi sizi Avustralya'da bir çöl kasabası olan Alice Spring'e getirdim.

Avustralya'nın tam kalbinde.

Ve şimdi onun nasıl olduğu hakkında iyi bir fikir edineceksiniz.

Burada fırlatma kamyonunu görüyorsunuz. Teleskop oradadır.

Ve bu korkunç büyüklükteki balonu görüyorsunuz.

Şimdi tamamen boştur ve bunun çoğu boş kalacak.

Bu, şu parçayı tutan makara koludur. Ve burada helyum kamyonunu görüyorsunuz.

Ve burada şişirme tüplerini görüyorsunuz.

Ve her iki taraftan helyum vereceğiz. O zaman helyum giderek balonun bu tepe bölümünü doldurmaya başlayacaktır.

Ve burada makara kolunu ayrıntılı olarak görüyorsunuz.

Makara kolu çok önemlidir; çünkü balonun bu bölümü dolduğunda o kalkmak ister, havalanmak ister ve şüphesiz ki siz de onu aşağıda tutmak istersiniz, kontrolünüz altında tutmak istersiniz. Ve böylece bu makara kolu ve bu araba betonla yüklüdür.

O çok ağırdır. Ve havalanmadan az önce bu makara kolu yönetici tarafından [füüft] devrilir ve daha sonra göreceğiniz gibi, balon bunun karşılığını verecektir.

Ve burada şişirmenin ilk anlarını görüyorsunuz. Helyum her iki taraftan gelir.

Balonları neredeyse daima sabahın ilk saatlerinde uçururuz, çünkü o zaman rüzgâr çok sakindir. Son derece güvenilir rüzgara ihtiyacınız vardır.

Yönünü çok iyi bilmeye ihtiyacınız vardır.

Ve rüzgârlar saatte üç veya dört milden daha hızlı olmamalıdır.

Eğer onlar daha güçlü olurlarsa, balonu kaybedersiniz.

Burada, daha önce bahsettiğim üçgen kumaşları görüyorsunuz.

Orada güneş balonun arkasında.

Burada Şimdi baloncuk nerdeyse tamamen ŐiŐirilmiŐtir.

Burada o hala devam ediyor. Şişirme devam ediyor.

Fakat Şişirmenin sonuna çok yaklaŐmıŐız.

İŞte makara kolu, burada bu yöndedir. Ve 150 metre kadar aşağıda kamyonla beraber yüktür.

Şimdi havalanmaya çok yakınız. Hala Alice Springs'deyiz.

Bu benim o zamanki Yüksek lisans öğrencim, Jeff McClintock'tur.

O Şimdi Dr.Mc Clintock'tur.

Burada balonu takip etmemize yarayan radar reflektrlerini görüyorsunuz.

Burada Şişirme kamyonuna asılı teleskobu görüyorsunuz.

Burada makara kolu. Bunun hepsi boş.

Ve burada paraşütü görüyorsunuz.

Burada paraşüt ile balonun altı arasında bir bağlantımız var.

Ve bunu radyo komutuyla kontrol edebiliriz.

Teleskop güvenle yere dönsün diye bunu ayırabiliriz.

En azından kĞit üzerindeki fikir bu.

Ve böylece Şimdi baloncuğun serbest kalıŐını görüyorsunuz.

Böylece makara kolu yukarıda ve baloncuk Şimdi havalanır.

Bu, inanılmaz büyüleyici bir andır. Bu gerçekten heyecan verici bir andır.

Bu, gerçekten heyecanlanacağınız ve yerinizde duramayacağınız bir andır.

Bu balonun kolayca başarısız olabileceği andır.

Çok hafif bir gaz olan helyum yukarı çıkar, tepeden yansır, tekrar geri itilir; bu tuhaf mantar Őeklini elde edersiniz; o fırtına gibi muazzam bir ses çıkarır.

Şimdi düŐünce, balonun gökyüzünde giderek ykseleceğidir.

Bütün bu boş kısmı yukarı kaldıracaktır. Orası ŐiŐirilmiŐ değildir.

Balon atmosferde yükseldikçe, atmosferik basınç düŐecektir.

Ve helyum geniŐleyecek ve balonu dolduracaktır.

Ve şimdi kamyon için marifet, baloncuk dediğimizin altında manevra yapmak, onu yönetmektir.

Dolayısıyla, balon kamyonu doğru gelsin diye, rüzgâr bu yönde olmalıdır.

Böylece kamyon balonun tam altına getirilmeye çalışılır. Ve sonra yük burada serbest bırakılır.

Burada bu mantarın yakın çekimini görüyorsunuz.

Gerçekten, yukarı giden helyumun yansımasını ve geri dönüşünü görebilirsiniz.

Bu üçgen kumaşları da çok net bir şekilde görebilirsiniz. Bu çok sıkıcı bir iştir.

Bu balonları oluşturmak üzere üçgenleri birleştiren kadınlar tarafından.

Daha önce söylediğim gibi, helyum miktarı yaklaşık 80,000 dolardı.

Neredeyse balonla aynı fiyatta. Ve işte o daha yukarı çıkıyor.

Alice Spring kasabasında. Örtü düşüyor. Balon yukarı çıkıyor.

Motorun zaten çalıştığını görüyorsunuz.

Kamyon henüz hareket edemez; çünkü hareket etmeye başlarsa, balonun bu bölümü örtünün üzerinden kayacaktır. Sürtünme olabilir ve balonda delikler oluşabilir.

Bu yüzden, kamyon bütün bunların yerden havalanmasına kadar beklemek zorundadır.

Daha yukarı çıkıyor.

Ve Alice Springs’de balona şimdi öyle yakınım ki, fotoğraf çekmeye devam edemeyeceğim.

Böylece Birleşik Devletler ’de, daha önceki bir uçuşa atlayacağım.

Birleşik Devletler ’de Texas’ta Palestina diye adlandırılan bir kasabadan bu balonları uçurmuştuk. Dolayısıyla, uçuşun kalan bölümünü, Texas, Palestina’dan göreceksiniz.

Böylece, balon şimdi tamamıyla yerden yukarıda.

Biraz gaz görüyorsunuz, o kadar da az değil, ama, ancak bu balonun ölçüsüyle karşılaştırılınca çok az görünüyor.

Burada paraşütü görüyorsunuz ve sonra burası ayrılabilir radyo kumandası üzerindeki bağlantısı. Böylece bu çok önemli bir an.

Bu başlatma kamyonundan sorumlu olan kişi, muhtemelen balonun tam altında olması için kamyonu sürdü.

Ve oraya, onun tam altına gelindiğinde, yükü serbest bırakır. Yük bu kamyonu bağlıdır.

Eğer balon çok önde iken yük serbest bırakılırsa, yere vuracaktır.

Çok erken bırakırsanız, o zaman da yük kuşkusuz başlatma kamyonuna geri sarkacaktır. İki durumda da felaket olur.

Balonun çekişi yeterli değilse, örneğin kalkış sırasında bir delik oluşmuşsa, böylece gerilme yeterince kuvvetli değilse, yükü bırakırsınız, gerisin geri yere küt diye vurur.

Böylece bütün bu faktörler hesaba katılmalıdır ve en sonunda sorumlu kişi kalkışa karar verir.

Ve işte gidiyor. Tamamen boş. Orada helyumu görüyorsunuz.

Paraşütü. Ve yükü görüyorsunuz.

Ve burada balonun 150 00 fit'te olduğunu görüyorsunuz; gökyüzünde 45 kilometre yüksekte.

Helyum şimdi genişledi. Balon tamamiyle şişmiştir. Onun doğrudan içine bakabilirsiniz.

Sadece 1 inç'in binde birinin yarısı kalınlığında polietilendir.

Bunlar, onar metrelik aralıklarla, devasa kanallardır.

Onlar oradadır, çünkü balon fazla basınca hiç dayanamaz.

Birazcık fazla basınç olsa, balon patlar; böylece yükselir, yükselir, yükselirken maksimum hacmine ulaştığında, helyum dibe kaçmalıdır.

Bu kanallar işte bunun için düşünülmüştür.

Burada George Ricker'ı görüyorsunuz; benim lisans-üstü öğrencimdi o zamanlar.

Bu, Avustralya'da. O, şimdi Dr. Ricker. Hâlâ MIT'de. Personel üye.

Ve bu, bizim kurduğumuz –en azından kısmen – bir tür düzenek.

Ricker, balonun yükselişi esnasındaki ilk sonuçları kontrol ediyor.

Balon dakikada 1000 fit kadar bir hızla yukarı gidecek.

Her şey yolunda giderse, sızıntı olmazsa, irtifa yapması iki-buçuk, üç saat alacak.

Burada beni uçakta otururken görüyorsunuz; balonu izlerdik.

Kuşkusuz, çok alçaklarda uçarız. 5 000, 10 000 fit'te.

Balona olabildiğince yakın dururuz.

Daima böyle değildir – daima kolay değil, Avustralya'da kesinlikle değil.

Gözümüz hep her şey üzerindedir; gerekirse, bir radyo emri vererek balonun uçuşunu sonlandırabiliriz, öyle ki paraşüt aşağı iner.

Kesinlikle okyanusa yaklaşınca kuşkusuz; yükü kaybetmek istemiyorsanız, bu gereklidir. Veriler ---- veriler radyo aracılığıyla geri gelir; böylece veriler kaybolmaz.

Aklıma gelmişken, bu uçaklarda çok sık hastalanırız.

Bu uçaklarda, benim gibi, 8, 10, 12, ya da daha çok saat oturursanız, uçmayı öğrenirsiniz; ben gerçekten öğrendim, bunun gibi bir uçakla oldukça kolay.

Burada Avustralya'nın bir haritasını görüyorsunuz. Ve burası Alice Springs.

Balonun hangi yöne sürükleneceğini anlamak için, her gün 140 000 fit'te sonda balonları, hava tahmin balonları uçururuz.

Balonların bu yönde bir yerlere sürükleneceğine inanmak için her türlü nedenimiz vardı.

Ve radar istasyonlarını uyarırsınız.

Burada bu çemberler, radar istasyonları.

Burada Avustralya'da hava alanları olmadığından, balonu izleyemeyeceğimizi biliyorduk. Büyük olasılıkla onu kaybedebilirdik.

Dolayısıyla bu radar istasyonlarını uyardık. Balon görüldüğünde, bize söylerlerdi.

Ve bu bize, balonu kesme, yükü ayırma ve geri alma olanağı verirdi.

Buna mukabil, balon dosdoğru güneye gitti.

Böylece, hava tahmin balonlarının öngörülleri çok doğru değildi.

Balon dosdoğru güneye gitti. Zaten gün batımı idi ve balonun nerede olduğunu çok kesin bilemezdik. Hatırlayın, bu 1970'lerdeydi. Böylece, emin değildik.

Fakat burada 26 saat kadar sonra, Melbourne'a yaklaşıyorduk ki Sydney ile Melbourne arasındaki hava sahasına girmemize izin verilmedi; biz de balonu ayırdık.

Yani yükü balondan ayırdık. Balon çok kırılıgandır. Yukarısı aşırı derecede soğuk olur.

Balon darmadağın olur ve bir çok parça halinde aşağıya iner; her şey yolunda giderse, paraşüt açılır ve yükü güvenle geri getirir.

Sonra büyük sorun başlar --- yükü nasıl bulacaksınız?

Bilinmezliğin ortasındasınızdır. Bu balon aşağı indi; bu yük aşağıya çölün içine indi.

Ve hava alanları yok.

En azından, muhtemelen yükünüzle beraber en yakın hava alanından bir kaç yüz kilometre uzaktasınız. Böylece yapacağınız şey şudur.

Yükün bulunduğu yere yakın bir ev bulmaya çalışırsınız.

Yükün yerini bulursunuz. Burada personelin aşağıya indiğini görüyorsunuz.

Yer saptama radarı yüktedir.

O evin üzerinde hoş olmayan bir şekilde bir çok kez uçarsınız. Çok gürültü yaparsınız. Alçaktan uçarsınız.

Ve böylece, komşuları belki de 70 mil uzakta olan bu insanlar, onlara ne söylemeye çalıştığımızı bilirler. Onların dikkatini çekmeye çalışırsınız.

Bunun ne anlama geldiğini bilirler – onlarla havaalanında görüşmenizi isterler.

Havaalanı ne demekse. Bazen çölde sadece bir şerittir havaalanı.

Oraya gece inemezsiniz; ancak gün boyu inilebilir. Ve bizim de yaptığımız buydu.

Jack adındaki bu adamın evinin dikkatini çekmiştik. O tam bir deliydi, daima sarhoştu, kaçığın biriydi.

Ve böylece havaalanı şeridine gittik ve bekledik; gerçekten 15 saat sonra kamyonetiyle görüldü.

Kamyonette ön cam yoktu. Oradan kanguruları vururdu.

Çöl zeminde saatte 60 mil gider ve kanguru vururdu.

Bana bir gösteri yapmıştı. Köpeğini tavana koymuştu. Saatte 60 mil gidebilirdi.

Ve frenlere çok şiddetli basardı.

O zaman köpek sanki mancınıkla havaya fırlatılırdı; zavallı köpek. Tüm söylediği, “bir yaşlı köpeğe hiçbir hüner öğretemiyorsun” olurdu. Bundan zevk alıyor gibiydi.

Yükün peşinden gittiğimizde, uçak, kurtarma uçağı, havadadır.

Şeritten kalkılır ve kurtarma uçağıyla temas kurarız.

Onlar ve sadece onlar yükü görebilir ve yükün nerede olduğunu bilirler.

Kuşkusuz yerden bunu söyleyemezsiniz. Ve sizi yüke maharetle yöneltirler.

Kuşkusuz Jack’ın yardımına değer biçilmezdi. Ona ihtiyacımız vardı.

Bu, adamın biraz tuhaf olmasından bağımsızdı.

Bu kurtarmalar sırasında, bir çok hayvanla karşılaşırsınız.

Burada bir keseli ayı görüyorsunuz. Bir okalıptüs ağacının içinde.

Çok uyuşuk bir hayvan. Sizin çoğunuzdan farklı.

Yükün yakınına geldiğimizde, bir hayvan vardı orada, bir iguana, 6 fit boyunda bir iguana.

Size söyleyeyim; o Allahın cezası ödümü patlattı.

Benimle birlikte olan lisans-üstü öğrencime bunu göstermek istemedim ve ona dedim ki, “bak, biliyorsun bu hayvanlar tamamen tehlikesizdir, neden önce sen gitmiyorsun.”

Hayvan yüke dört metreden daha uzak değildi.

Ve öğrencim önden gitti; ama şaşılacak şey şu ki, yükü kurtarmak ve onları Jack’ın kamyonetine koymak için sarfettiğimiz 10 saat boyunca hayvan hiç kıpırdamadı yerinden.

Tamamiyle durgun, sadece orada oturdu. Bu, onun dikkat çekmeme yoluydu.

Ve işte orada yükü görüyorsunuz.

Bu Alice, Jack’ın karısı; bu Tom Brooks; Amerika’dan geldi, iyi bir elektronik uzmanı.

Ve burada yükü görüyorsunuz. Çok zarar görmüş gibi duruyor, ama hiç de öyle değil.

Bu, çarptığında yükü koruyacak olan çarpma yastığıdır.

Ve çarpma durumunda, çarpma yastığı çok iyi çalışır; bu yük çok az zarar görür.

Ve üç-beş gün sonra Alice Springs’e geri gelirsiniz.

Alice Springs yerde bir çukurdur. Orada hiç bir zaman hiç bir şey olmamıştır.

Böylece kuşkusuz “Centralian Advocate” gazetesinin ilk sayfasına geçersiniz.

Mükemmel balon uçuşu; binlerce kişi uzay araştırmasının başlamasını seyreder.

Onu bir uzay araştırması sanırlar; fena değil.

Balon profesörü tekrar Alice’te !... Orada bana balon profesörü diyorlar.

Orada liselerde ve Rotary Klüp’te çeşitli konuşmalar yaptım.

Bir tür yerel şöhrettim. Habercilere saatlerce konuştum.

Bu hikayeyi okuduğunuzda, saçmalıklara inanmazsınız, fakat o kuşkusuz sadece bir ayrıntıdır.

Peki, şimdilik bu slaytlar yeterli.

20 kadar başarılı uçuş yapmıştım. 1966 ile 1980 arasında.

Bir çoğu Birleşik Amerika'da. Kanada'da ve ayrıca Avustralya'da.

Bu sonuncusu, gökyüzünün Birleşik Devletlerden göremediğimiz kısmını kaplayan güney yarı-küresindedir.

İki kez serbest düşmeye uğradım. İki balonum yükselirken troposfer'de patladı.

Yükü yeterince hızlı ayıramadık ve sonra bütün her şey, paraşüt falan birbirine dolaştı. Böyle bir durumda, serbest düşmeye başlarsınız.

Yerde büyük bir çukur ve teleskopun sonudur bu. Ve öyle oldu.

İki kez tamamiyle kaybettim teleskopumu.

Fakat şanslıyım; bu başarılı uçuşlar esnasında çeşitli ilginç keşiflerde bulundum.

Çok erken beş yeni X-ışını kaynağı keşfettik. Onların hiç biri roketlerle bile gözlenememişlerdi.

Gerçekten yeni olan bu kaynakların bir kısmı, oldukça değişkendi.

Onlar X-ışını şiddetlerini, çok kısa bir zaman ölçeğinde değişiyorlardı.

Roketler, atmosferin üstünde sadece 5 dakika kaldıkları için, uzayı hızla taramalıydılar ve böylece onlarca dakikalık bir zaman ölçeğindeki değişikliği keşfetme olanakları yoktu. Fakat bunu balonlarla yapabilirsiniz.

Uzayı bazen 10 saat, 20 saat gözlemliyorduk ve bu gerçekten de işe yaradı.

Bizim -- benim en uzun balon uçuşum, 26 saatti.

GX 1+4 adını verdiğimiz bir kaynaktan da X-ışınları gözlemiştik.

1+4, onun uzaydaki konumunu belirtir.

Ve bu, X-ışınlarında bir periyodik sinyal göstermişti.

Yaklaşık 2,3 dakikalık bir periyodiklik.

O zamanlarda, bunun ne anlama geldiği konusunda bir ipucuna sahip değildik; fakat kuşkusuz daha sonra bunun önemini anladık.

Ve biraz sonra siz de anlayacaksınız, bunun ne kadar önemli olduğunu.

Böylece onlar acaba ne türden nesnelere?

Güneşten çok, çok farklıydılar. Artık onların ne olduklarını biliyoruz.

Bu nesnelere ikililerdir. İkili yıldızlar.

Bir yıldız güneşten farklı değildir; normal nükleer yanma halinde bir yıldızdır.

Ve bir nötron yıldızının, bazı hallerde ise bir kara deliğin yörüngesindedir.

Birbirlerinin etrafında dönerler.

Eğer onlar yeterince yakın olarak beraberseler, bu yıldızın maddesi nötron yıldızı tarafından, yıldızın kendi çekiminden daha büyük bir kuvvetle çekilir.

Bu böyle olunca, bu madde orada kalmak istemez. Fakat nötron yıldızına gitmek ister.

Bu madde, kuşkusuz açısal momentuma sahiptir, çünkü etrafında dönmektedir.

Böylece nötron yıldızına serbest olarak düşemez.

Spiral çizerek, yavaş yavaş nötron yıldızına doğru yolunu oluşturur.

Biz buna “**toplanma diski**” deriz.

Ve buna “verici” deriz; nötron yıldızına madde aktarımı için yakıt temin eder.

Nötron yıldızının bir M kütlesine ve bir R yarıçapına sahip olduğunu var sayalım.

Ve nötron yıldızına küçük m kadar bir madde atıldığını kabul edelim.

Hepiniz 8.01 dersinden, nötron yıldızına bu maddenin hangi hızla ulaşacağını kolayca hesaplanabileceğini hatırlarsınız.

$\frac{1}{2} mV^2$ kinetik enerjisi, $m M G / R$ 'ye eşit olmalıdır.

Bu denklemi, geçen derste kozmolojiyi tartışırken tahtaya yazmıştık. Aynı denklemdir.

Maddenin nötron yıldızına düşeceği hız işte budur.

Bu, nötron yıldızının kütlesi ve bu, nötron yıldızının yarıçapı ise.

Daima yaptığınız gibi, kütleyi kaybediyorsunuz. Ve böylece bu hızı hesaplıyorsunuz.

Bu korkunç büyük bir hızdır, çünkü bir nötron yıldızının yarıçapı acayip şekilde küçüktür.

Bir nötron yıldızın kütlesi, güneşin kütlesiyle karşılaştırılabilir büyüklüktedir.

Birazcık büyüktür. Fakat çok değil.

Fakat yarıçapı, güneşin yarıçapından 100 000 kere daha küçüktür.

Yarıçap, ancak 10 kilometre kadardır.

Ve bunun sonucu olarak, maddenin nötron yıldızına çarpma hızı, ışık hızının üçte-biri kadardır.

Bu madde nötron yıldızına çarptığında, bu kinetik enerji ısıya dönüşür.

Bu da nötron yıldızının yüzeydeki tabakalarını ısıtacak ve sıcaklığını 10 milyon, 100 milyon derecelere yükseltecektir ve böylesine yüksek sıcaklıklarda yıldız neredeyse tüm ışınımını X-ışınlarında yayacaktır, optik bölgede değil.

Bizim güneşimiz oldukça soğuktur.

Sadece 6000 derece.

Ve böylece güneş ışınımının çoğu optik bölgededir; ancak sıcaklık 10 milyon, 100 milyon derecelere geldiğinde, yayınlamanın maksimumu X-ışınlarındadır.

Bu inanılmaz güce, nötron yıldızının bu inanılmaz kütle-çekimine bir nebze saygı duymanız, onu birazcık kavramanız için diyebilirim ki, bir Amerikan lokumunu alıp uzaktan bir nötron yıldızının yüzeyine atsaydınız, çarpmada salınacak enerji, İkinci Dünya Savaşı'nın sonuna doğru Hiroshima ve Nagasaki'ye atılan bir atom bombasının enerjisi mertebesinde olurdu.

Nötron yıldızları, çok güçlü manyetik alanlara sahiptirler.

Ve vericiden nötron yıldızına akan madde iyonlaşmış durumdadır.

O, plazmadır. Yüklüdür.

Ve 8.02 dersinden hatırlayacağınız gibi, bir manyetik alan içinde bir yüklü parçacığınız varsa, V vektörel çarpım B gibi bir terim de vardır.

V vektörel çarpım B kuvveti...

V vektörel çarpım B kuvveti, bu yüklü parçacıklara manyetik alan çizgileri etrafında spiral çizdirecek ve manyetik kutupların yakınında sonlanacaklardır -- dünyaya ulaşan güneş rüzgarı gibi değil, o yüklü parçacıklar ise, dünyanın manyetik kutupları yakınında atmosfere girerek aurora'ya yol açarlar, daha önce tartıştiğimiz gibi.

Nötron yıldızı üzerinde iki sıcak noktada sona varmış olursunuz; bu sıcak noktalar, akan maddenin nötron yıldızına hızla çarptığı yerlerdir.

Manyetik kutuplarda sona varırsınız.

Nötron yıldızının dönme eksenini, manyetik dipol eksenini ile

Uzun boylu erkek fizikçi.

Merhaba, Bayan Peltier

Adınızı hatırlıyorum.

Benim 8.01 dersimdeydiniz.

Fizik, bu bir fizik dersi midir?

Öğrencilere sorun. Ben bilmiyorum.

Çok yakışıklı ve çekicisiniz.

Sen de öylesin.

Bir sorumuz olacak. Sanırım, bunun cevabını siz bilirsiniz.

Ben bunun yanıtını bilmiyorum..

Tamam; sanırım, doğru kişiyi bulduk.

Size söylenecek bir şarkımız var.

Ben gençken, kimseye ihtiyacım yoktu

Fakat bilgelik sözleri söylenerek, zamanlar değişti

Maxwell denklemleri benim için çok güç; lütfen bana yardım edin, bana yardım edin.

Yardım

Birine ihtiyacım var

Yardım

Herhangi biri olmaz

Yardım

Biliyorsunuz, birine ihtiyacım var

Walter'a.

Ben genç iken, bugünden çok daha genç

Asla birinin yardımına ihtiyaç duymazdım, hiç bir şekilde.

Fakat şimdi o günler uçup gitti, o kadar öz-güvenli değilim, artık ev ödevlerimi zor buluyorum, artık hiç birşey bilmiyorum.

Edebilirsen, yardım et; yoksa çakıyorum

Walter Levin, fizik yapamaz; nasıl bilmiyorum

Ben “geçti-kaldı” sınırındayım, yıkılmama izin verme.

Lütfen, beni lütfen geçirmeyecek misin?

Daha sersemdim, bugünden çok daha sersem; Lenz'i, Maxwell'i, ya da Faraday'ı bilmezdim.

Fakat artık o günler geçti; artık o kadar sersem değilim. 8.02'ye teşekkürler ve cesur profesörümüze. Yapabilirsiniz, bana yardım edin, şimdi çakıyorum.

Şarkı söyleniyor: Walter Levin; fizik yapamaz, nasıl bilmiyorum.

Ben “geçti-kaldı” sınırındayım, yıkılmama izin verme.

Yapmaz mısınız? Lütfen, lütfen geçir beni.

Walter Levin, 8.02'yi öğrettiğin için teşekkürler.

Şimdi yaz; hepimiz özleyeceğiz sizi.

Sizi çıldırttık ve biz hepimiz güzel vakit geçirdik.

Böylece sizin övgünüzde perilerin sesleri ahenkle çınlar.

Haftanın sekiz gün

Sizi seviyorum

Haftada sekiz gün

Kaygılanmam yeterli değil mi?

Yaptığınız herşey için teşekkürler, bir şekilde geçeceğim

E ve M beni yıkamaz, şimdi bunu biliyorum

Gelecek yıl “geçti-kaldı”ya kalmayacağım; söz veriyorum

Olmaz mı? Lütfen, lütfen geçir beni, geçir beni, geçir beni..

Gözlerimde yaşardı. Çok hoştu.

Böylece değerlendirme formlarınızı doldurmak için şimdi hiç zaman kalmayacak.

Size bu çift sistemler için bazı kanıtlar gösterecektim.

Böylece nötron yıldızı üzerinde bu sıcak noktalara sahibiz; nötron yıldızı döndüğü ve dönme eksenini manyetik dipol eksenine çakışmadığı için, sıcak noktayı göreceksiniz, sıcak noktayı, sıcak noktayı, sıcak noktayı ve bu X-ışını atmalarını açıklar.

Bazı durumlarda X-ışını tutulmalarını da görebilirsiniz.

Yerden görüldüğü kadarıyla, nötron yıldızı çok büyük olan verici yıldızın arkasına saklanırsa, X-ışınlarının tümü soğurulur ve böylece X-ışınları tamamen durur.

Bir X-ışını tutulmasına uğrarsınız ve birkaç saat sonra gene X-ışını tutulmasından kurtulursunuz.

Kanıt olarak göstermek istediğim işte bu; yetmişlerin başlarında çıkmıştı.

Uhuru uydusuyla çekilmiş; ilk slayt temel fikirdir.

Hayır, o doğrudu; John, John, şu resme geri git, evet, burada görüyorsunuz, kuşkusuz bu bir taslak, gerçek bir şey değil.

Burada bir yıldız görüyorsunuz. Güneşten farklı değil.

Ve sonra burada nötron yıldızını görüyorsunuz. Bazı durumlarda bir kara delik.

Bu yıldızdan madde emiliyor, çünkü bu yöndeki kütle-çekimi daha büyük.

Toplanma diski oluşur ve nötron yıldızında sonlanıyor.

Ve bir sonraki slayt, kalp gibi atan bir sistemin ilk inandırıcı keşfidir.

Nötron yıldızının dönmesi. Bu zaman ölçeği, burada 1,25 saniyedir.

Ve veriler burada, bunlar veriler; ne yazık ki bu yayındaki bu çok kalın çizgi neredeyse verileri bastırıyor; fakat çok açık olarak fikir şu ki X-ışını sinyali – bu, X-ışını sinyalinin şiddeti; bu, zaman; 1,25 saniye – evet X-ışını sinyali 1,25 saniyelik periyotla titreşiyor.

Ve bu, nötron yıldızının dönmesidir.

Bir sonraki slayt aynı cisimi gösteriyor, Hercules X-1 denen cisimi.

Çok farklı bir zaman ölçeği üzerinde görüyorsunuz; bu, günler'dir.

X-ışını tutulmalarını görüyorsunuz; nötron yıldızı verici'nin ardına gittiğinde, X-ışınları tamamen kaybolur.

Ve yörünge periyodu 1,7 gündür. X-ışınları tamamiyle kaybolur.

Bu resim çok tanınmıştır.

Hiç bir kuşkuyla yer olmayacak şekilde, bu nesnelerin ne olduklarını biliyoruz.

Artık kimse balon uçurmuyor; bugünlerde bütün gözlemlerimi uydulardan, Avrupa uydularından, Japon uydularından ve Amerikan gözlemevlerinden yapıyorum.

Son zamanlarda, yörüngede Rossi zamanlama kâşifi var ve ayrıca Chandra var; Chandra kasabadaki en büyük şey.

1975 ile 1979 arasında burada, MIT'de, çok şanslıydık; çünkü kendi özel X-ışını gözlemevimize sahiptik.

SAS–3 diye adlandırılmıştı. Tamamen MIT'nin işletimindeydi.

Onu 37 Nolu bizim binamızdan, Uzay Araştırmaları Merkezi'nden yönetiyorduk, günde 24 saat, yılda 365 gün.

Josh Grindlay ve John Heise'nin bir Hollanda uyduyu kullanarak, ister inanın ister inanmayın, ani X-ışını patlamaları gösteren bazı X-ışını kaynaklarını keşfettikleri zamandıydı.

X-ışını şiddeti birkaç saniye içinde 10, 20, 30 katına çıkıyor ve sonra belki de bir kaç dakikalık zaman ölçeği üzerinde gene yavaş yavaş azalıyordu.

Bu X-ışını patlamalarını araştırmak için mükemmel bir SAS-3 gözlemine sahiptik

Ve iki yıl içinde tam 8 tane yeni patlama kaynağı bulmuştuk.

Sanırım alçak gönüllülikle söyleyebilirim ki, artık bu X-ışını patlamalarının ne olduklarının anlaşılması, büyük ölçüde bizim gözlemsel çalışmalarımıza ve ayrıca o zaman ve hâlâ MIT'de olan Profesör Joss'un kuramsal çalışmalarına dayanmaktadır.

Bunlar, nötron yıldızının yüzeyi üzerindeki devasa nükleer bomba patlamalarıdır.

Nötron yıldızı üzerine düşen madde, büyük ölçüde hidrojen ve helyumdur.

Çünkü bu yıldızın maddesi hidrojen ve helyumdur.

Ve nötron yıldızının yüzeyi üzerindeki yoğunluk ve sıcaklık öylesine yüksektir ki orada nükleer tepkimeler elde edersiniz.

Üç tane helyum-4 çekirdeği, bir karbon oluşturmak üzere kaynaşırlar. Ve sonra enerji salınır.

Bu nükleer tepkime çok kararsızdır, aşırı derecede sıcaklığa duyarlıdır.

Sıcaklık artarsa, tepkime hızı da büyür, daha çok enerji salınır. Sıcaklık arttıkça, tepkime hızı da artar, vs... daha çok enerji salınır.

Ve herşey kontrolden çıkar. Bir termonükleer patlama elde edersiniz. Bir termonükleer patlama görürsünüz. Nötron yıldızının yüzeyi üzerinde devasa bir bomba patlaması.

Bu bomba patlamaları, Yer üzerinde kurabileceğimiz en güçlü hidrojen bombalarından 18 büyüklük mertebesinde daha güçlüdür.

Böylece bu tabaka, bu taze akma tabakası bir büyük bomba patlamasında yukarılara fırlatılır ve sonra yeni madde akar ve bir kaç saat sonra bir başka bomba patlaması görürsünüz. Böylece günde birçok X-ışını patlaması görebilirsiniz.

Bu yıldızların optik karşılıkları, bu çift-yıldızlar, çok sönüktürler; fakat onları yerden optik gözlemelerinden görebilirsiniz.

Ve o zamanlar, bir X-ışını patlaması ile aynı anda bir optik patlama da görebileceğinize inanmak için nedenlerimiz vardı. Ve şimdi buna inanma nedenlerimizi vereceğim size.

Burada nötron yıldızını görüyorsunuz ve toplanma diskini görüyorsunuz.

Şu anda bir X-ışını patlaması olduğunu var sayalım.

Bu kırmızı zikzaklar, X-ışını patlamasından gelen X-ışınlarıdır. Dünya bu yöndedir.

Böylece bu X-ışınları dünyaya önce ulaşırlar.

Fakat bu yönde giden X-ışınları da vardır. Onlar disk tarafından soğurulurlar.

Ve disk ısınır. 30 bin, 40 bin derecelere. Ve optik ışık salmaya başlar.

Bu optiksel ışığın bir kısmı dünya yönüne gidecektir.

Ve böylece, bunun anlamı şudur: bu optiksel ışık ile bu X-ışınları arasında bir gecikme olur. Çünkü, bakın.

Bu yol uzunluğu, bize bu yol uzunluğundan daha uzundur.

Ve dolayısıyla, sadece bir optiksel parlama – yani, diskin X-ışınıyla ısıtılması ve diskten optiksel ışık çıkması -- görebilmeyi ummuyorduk, fakat ayrıca gecikmeyi de görmeyi umuyorduk.

Gecikmeyi ölçebilirsiniz, eğer bir saniyelik bir gecikme görürseniz; bu demektir ki

bu geometri, buradan buraya kabaca bir ışık-saniyesidir.

Ve çok ihtiraslıydık. 1977 yazında dünya çapında bir kampanya düzenledik.

SAS–3 ile, gökyüzünde iki hafta boyunca özel bir X-ışını patlama kaynağı gözlemleyeceğiz.

Ve yerden gözlem yapanlara, optiksel-, radyo-, kızılaltı-gözlemcilerine rica ediyorduk ki gözünüzü bu nesneden ayırmayın ve ayrıca yapabildiğiniz kadar uzun süre onu gözleyin.

17 ülke katkıda bulundu. 44 gözlemevi katkı yaptı. Katıldı.

Ve bu iki hafta boyunca, SAS–3 ile bu nesneden 110 X-ışını patlaması gördük; hiç birini optiksel bölgede gözleyemedik; hiç birisi radyo bölgesinde de değildi.

1978’de bunu gene denedik ve başarılı olduk.

Bu, Joss Grindlay ve benim lisans-üstü öğrencim Jeff McClintock ile bir işbirliğiydi; Joss o zaman Harvard’taydı ve Jeff ise o zaman zaten Dr. McClintock’tu.

Jeff de Harvard’taydı ve hâlâ orada. Harikulâde bir başarıydı.

“Nature” dergisine onu kapak yaptık; çok prestijli bir bilimsel dergidir.

New York Times ve dünyadaki birçok gazete tarafından yayınlandı.

Bir çift-sistemden aynı anda bir X-ışını patlamasını ve bir optik patlamayı gözleyebilen ilk grup bizdik.

Size göstereceğim veriler, 1978 verileri değil. Onlar bir yıl sonra alınmış veriler; çünkü daha iyi kaliteye sahipler.

Nasıl yapacağımızı, kuşkusuz öğrendik. Bunlar, SAS–3 ‘ten olan veriler değil.

Çünkü SAS–3 1979’da artık yörüngede değildi; bunlar bir Japon uydusu olan Hakucho’dan.

Burada zamanları saniye cinsinden görüyorsunuz, ve burada X-ışını şiddetini. Burada Japon uydusu Hakucho ile gözlediğimiz X-ışın patlamasını görüyorsunuz.

Ve burada arkadaşım ve meslektaşım Holger Pedersen tarafından alınmış optik verileri görüyorsunuz. O, Şili’deki bir Avrupa güney gözlemevini kullanmıştı.

Ve tertemiz bir optiksel parlama gözlemiştii.

Bu, X-ışını patlamasından önce ışığın şiddetidir; inanılmaz bir artış ve sonra bir bozunma görüyorsunuz.

Bunları öylesine çizdim ki, ikisi de aynı yüksekliğe sahip olsun.

Bu, kuşkusuz yapaydır. Fakat o, ikisini karşılaştırılmasını kolaylaştırır.

Ve böylece şimdi sıkı muayene testine geliyoruz.

Şimdi birini diğerinin üzerine koyarsam, bu durumda çok açık şekilde görürsünüz ki, hep beklediğimiz gibi, optiksel sinyal gerçekten X-ışını sinyaline göre gecikmiştir.

Ve yapabiliriz diye umudettiğimiz ölçümü şimdi yapabiliriz

Bir eğriyi diğerinin üzerinden iki saniye kadar kaydırırsanız, onlar neredeyse birbirlerinin karbon kopyası olurlar.

Ve böylece, bu nötron yıldızının etrafındaki toplanma diskinin geometrisini ölçmeyi ilk kez başarmıştık.

Onlar kabaca 2 ışık-saniyesi yarıçaplara sahiptir.

Işık, 2 saniye daha gitmeliydi; önce X-ışını, X-ışını ısıtması ve sonra optiksel ışın.

2 ışık-saniyesi, Dünya'dan Ay'a olan uzaklığın iki katı kadardır.

Böylece bu sistemler şaşılacak derecede tıkdırlar, gerçekten çok küçüktürler.

Söylemek gereksiz ya, geçen sömestre esnasında hiç araştırma, hiç bilim yapamadım; 8.02 dersi, sunmam gereken herşeyi ve daha fazlasını yalayıp yuttu.

Sanırım, lisans-üstü öğrencilerim için üzüntü duymalısınız.

Ve sanırım, kendinizi suçlu hissetmeniz için de tüm haklara sahipsiniz.

Aklında her zaman siz vardınız ve sadece MIT'de değil, fakat evde de, oturma odamda, mutfağımda; duş aldığım zaman ve hatta sık sık rüyalarım giriyordunuz.

İnanın bana, bu dinleyicilerin arasında outran eşim Susan için cehennem azabı yaşamak gibiydi; onun için hiç hoş değildi..

Samimi olarak, bugünden sonra hayatım değişecek

Bununla birlikte, hayale kapılmayayım.

Çoğunuz dört Maxwell denklemini çabucak unutacaksınız, indüksiyon hakkında herşeyi unutacaksınız ve korunumsuz alanları da.

Sizin için gene de umarım ki, bunları gelen haftadan önce unutmayın.

Fakat eminim ki bir gökkuşağı gördüğünüzde, kırmızının dışta ve mavinin içte olduğunu kontrol etmemeye direnemeyeceksiniz.

O tedavisi olmayan bir hastalıktır.

Eğer kişisel kutuplayıcılarınızı yanınızda taşırsanız, gökkuşaklarının gerçekten kuvvetli bir şekilde kutuplu olduğunu doğrulamak isteyeceksiniz ve bunu yaparsanız, sizinle gurur duyacağım.

Amper, Gauss, Faraday ve Maxwell hakkında herşeyi unuttuktan çok sonra, hatta onların isimlerinin nasıl hecelendiğini hatırlamaz olduktan çok sonra, 8.02 dersinden hatırlayacaklarınızın hepsi buysa; eğer tek hatırlayacağınız gökkuşağıysa; sizin hayatınızı zenginleştiren birşey başarmış olacağım, ve beni hatırlayacaksınız.

Ve umarım, bunlar mutlu anılar olacak.

Dersime devam ettiğiniz için teşekkür ederim.