



MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Bu materyallerden alıntı yapmak veya kullanım şartları hakkında bilgi almak için

<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://www.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.01 Fizik I: Klasik Mekanik, Güz 1999

Transkript – Ders 19

Burada, dönen cisimlere tekrar dönüyoruz.

Burada belli bir  $v$  hızına sahip bir cisimim var, ve  $\omega$  açısal hızı ile dönmektedir. Belli bir süre sonra açı,  $\theta$  miktarı kadar artmıştır ve bu durumda hız buradadır.

Şimdi, daha önce yapmamış olduğumuz bir şeyi yapabiliriz.

Bu cisme, bu dairede bir ivme verebiliriz.

Bu yüzden, hızı sabit hızda tutmak zorunda değiliz.

Şimdi  $v$  eşit  $\omega R$  ve buda  $\theta$  nokta çarpı  $R$  ye eşittir.

Ve şimdi bunun ilk türevini alabilirim.

Bu durumda  $\omega$  nokta çarpı  $R$  şeklinde olan teğetsel ivmeyi elde ederim. Bu da  $\theta$  çift nokta çarpı  $R$  dir. Ve bunu  $\theta$  çift nokta olarak adlandırırız.

Bunu  $\alpha$  olarak belirtiriz ve  $\alpha$ , radyan bölü saniye kare biriminde olan açısal ivmedir.

Dairenin çevresi boyunca olan bu teğetsel ivme ile merkezci ivmeyi asla karıştırmayınız.

Şüphesiz, burada her ikisi de var.

Bu, dairenin çevresi boyunca sürati değiştiren ivmedir.

Geçmişteki doğrusal hareket bilgilerimizi kıyaslarsak ve onu şimdi dairesel harekete transfer etmek istersek, bu durumda eğer,  $x$ 'i  $\theta$ 'ya,  $v$ 'yi  $\omega$ 'ya, ve  $a$ 'yı da  $\alpha$ 'ya dönüştürürsek, geçmişteki bütün eşitlikleri kullanabiliriz.

Ve bu durumda, çok iyi bilinen eşitlikler, umarım onları hatırlarsınız, kullanılabilir.

Örneğin,  $x$  eşit  $x_0$  artı  $v_0$  çarpı  $t$  artı  $\frac{1}{2} a t^2$ , denklemi çok basit bir şekilde dairesel hareket için  $\theta_0$  artı  $\omega_0$  çarpı  $t$  artı  $\frac{1}{2} \alpha t^2$  şekline dönüşür.

Bu kadar basit.

Bu durumda  $\omega_0$ , t eşit sıfırdaki açısal hız ve  $\theta_0$  referans noktasına göreli olarak t eşit sıfırdaki açıdır.

Ve hız,  $v_0$  artı a çarpı t idi.

Ve bu denklem, şimdi hız açısal hız olur,  $\omega$  eşit  $\omega_0$  artı  $\alpha t$  olur.

Gerçekten denklemleri hatırlamak açısından çok fazla bir şey eklenmedi.

Eğer dönen bir diskim varsa, daha önceden hiç yapmadığımız bir soruyu kendime sorabilirim. Dönen cisimde ne tür bir kinetik enerji ve ne kadar bir kinetik enerji vardır? Sadece doğrusal hareketlerde bunu ele aldık ve  $\frac{1}{2} m v^2$  idi. Asla dönen bir cisimleri ve sahip oldukları enerjileri düşünmedik.

O halde biraz bunun üzerinde çalışalım.

Burada bir diskim var ve diskin merkezi C, ve disk zamanla değişen  $\omega$  açısal hızı ile dönmekte, ve disk m kütlesine sahip ve disk R yarıçaplıdır.

Ve şu anda, ne kadar dönme kinetik enerjisinin, diskte depolandığını bilmek istiyorum.

$m_i$  kütleli çok küçük bir kütle elemanı alıyorum, ve bu yarıçap  $r_i$  ye eşittir ve bu i. elementin kinetik enerjisi yalnızca  $\frac{1}{2} m_i v_i^2$  çarpı  $v_i$  karedir. Ve  $v_i$  hızı budur

Bu açı 90 derece

Bu  $v_i$

Şimdi  $v_i = \omega r_i$  çarpı R ye eşittir.

Bu daima dönen cisimler için geçerlidir.

Ve bunu  $\frac{1}{2} m_i \omega^2 r_i^2$  çarpı  $\omega^2 r_i^2$  nin karesi şeklinde yazmayı tercih ederim.

Bu şekilde yazmanın en iyi tarafı,  $\omega$  açısal hızının diskin tüm noktaları için aynı olmasıdır. Halbuki hız aynı değildir. Çünkü diskin merkezine oldukça yakın olan noktaların hızı çok düşüktür.

Burada hız çok yüksek, böylece  $\omega$  ya geçiş yaparsak, böyle bir sorun olmaz.

Peki, şimdi tüm diskin dönme kinetik enerjisi nedir? Toplama yapmak zorundayız ve bu  $\omega^2$  kare bölü 2 çarpı toplam  $m_i$  çarpı  $r_i^2$  nin karesi. Kendi bireysel  $r_i$  yarıçapına sahip olan tüm elementlerin üzerinden toplama yapmalıyız.

Ve şimdi, bunu eylemsizlik momenti olarak adlandırıyoruz.

Bunu impuls ile karıştırmayın. Bunun impuls ile alakası yoktur.

Ve bu eylemsizlik momentidir.

Böylece eylemsizlik moment  $m_i$  çarpı  $r_i$  nin karesi nin toplamıdır.

Ve bu ayrıca 1 bölü 2  $I_C$  çarpı  $\omega$  kare şeklinde de yazılabilir.

Oraya C yazdım. Neden yazdığımı birazdan göreceksiniz. Çünkü, eylemsizlik momentini seçtiğim dönme eksenine bağlıdır.

Ve bu denkleme gördüğünüz zaman, bakın, bu 1 bölü 2  $m v$  kare ye çok benziyor diyeceksiniz. Ve bu yüzden şimdi bunu listeye eklerim.

Eğer doğrusal hareketlerden dönme hareketlerine gidersek, doğrusal hareketteki kütleyle, dönme hareketinde eylemsizlik momentini ile değiştirmeniz gerekir. Bu durumda bir bölü 2  $m v$  kareyi tekrar elde edersiniz.

Bunu görebilirsiniz.

Şimdi dönme kinetik enerjisini nasıl hesaplamanın, eylemsizlik momentini nasıl hesaplayacağımızı bilmek kaydıyla, bir yolu vardır.

Ehh, eylemsizlik momentini hesaplama sıkıcı bir iştir.

İçinde fizik yoktur. Sadece matematik, ve bunu sizin için yapacak değilim.

Biraz integral var içinde ve eğer cisim oldukça simetrik ise, genel olarak bunu yapabilirsiniz.

Bu durumda, merkezden geçen bir eksen etrafında dönen bir disk için, eksen diske diktir.

Bu önemli.

Bu oldukça önemli.

Bu durumda eylemsizlik momentini 1 bölü 2  $m$  çarpı  $R$  karedir.

Ve bunu ezberlemenizi istemiyorum.

Kitaplarda tablolar var ve bunlara bakarsınız.

Ben hatırlamıyorum.

Bir gün onu hatırlıyorum, fakat daha sonra, onu çok hızlı bir şekilde unutuyorsunuz.

Eylemsizlik momentinin ne tür bir cisme sahip olduğunuza, bağlı olduğunu söylemeye gerek yok.

İster bir diske sahip olun, ister bir küreye sahip olun, ister bir çubuğa sahip olun, hepsi farklı sonuç oluşturur.

Ayrıca, hangi eksen etrafında döndürmeniz farklılık oluşturur.

Eğer bir küremiz var ise, katı bir küre, bu durumda,

Burada bir katı küreniz var ve onu merkezden geçen bir eksen etrafında döndürüyorum.

Bu durumda eylemsizlik momenti, bunu hatırlıyorum, eğer  $R$  kürenin yarıçapı ve  $m$  de kütlesi ise,  $\frac{2}{5} m R^2$  karedir.

Benim araştırma konum astrofiziktir.

Yıldızlar ile ilgilenirim ve yıldızlar dönme kinetik enerjisine sahiptirler.

Bir dakika içinde buna geleceğiz.

Bir dakikada değil fakat bugün.

Ve bu hatırladığım bir eylemsizlik momentidir.

Eğer bir çubuğunuz varsa ve bu çubuğu merkezinden geçen bir eksen etrafında döndürürseniz ve bu eksen çubuğa dikse.

İkincisi önemlidir. Çubuğa dik olması.

Ve  $l$  uzunluğunda ve  $m$  kütlesinde, bu durumda eylemsizlik momenti, sabah kitaba baktım, bunu asla hatırlayamam,  $\frac{1}{12} m l^2$  kare'ye eşittir.

Ve tüm eylemsizlik momentlerini kitabınızın 309. Sayfasındaki tabloda bulabilirsiniz.

Bu eksen etrafında dönen bir katı diskin, eylemsizlik momenti  $\frac{1}{2} m R^2$  karedir.

Fakat eğer diski bu eksen etrafında döndürürseniz, eylemsizlik momenti tamamıyla farklı olacaktır.

Yani, düzlem disk alıyorsunuz, onu bu şekilde döndürmek yerine, bu şekilde döndürüyorsunuz.

Tamamıyla farklı bir eylemsizlik momenti elde edersiniz.

Ve bunlardan çoğunu tablolarda bulabilirsiniz ama hepsini değil.

Tablolar belli bir yere kadar verir. Ve çoğu durumda eylemsizlik momentlerini bulmanıza yardım edecek olan, iki teoremi sizlere anlatmak istememenin sebebi, budur.

Dönen diskimizin olduğunu varsayalım. Ve şimdi diski ayrıntılı bir şekilde görmenizi sağlayacağım.

Bu disk ve sadece kütle merkezi etrafındaki dönmeyi tartıştık.

Bu eksenini  $l$  olarak adlandırıyorum.

Bu şekilde dönüyordu ve eksen diske dikti.

Eylemsizlik momenti bu idi.

Fakat şimdi buraya bir delik açacağım. Ve burada bir  $I$  üssü eksenim var ve buna paraleldir.

Bu cismin, bu eksen etrafında dönmesi için, kuvvet uygulayacağım.

Bunu her zaman yapabilirim.

Bir delik açabilir ve bir eksen elde edebilirim. Oldukça sürtünmesiz bir rulman koyar ve onun etrafında dönmesi için kuvvet uygulayabilirim.

Şimdi eylemsizlik moment nedir? Eğer eylemsizlik momentini biliyorsam, bu durumda ne kadar dönme kinetik enerjisinin olduğunu bilirim.

Bu  $1/2 I \omega^2$  karedir.

Ve ispatını yapmayacağım, fakat ispatlaması oldukça kolay olan ve paralel eksen teoremi olarak adlandırılan teoremimiz var.

Bu teorem;  $I$  üssü eksen etrafında dönme için eylemsizlik momentinin,  $I$  üssü  $I$  ye paralel olmak kaydıyla, kütle merkezi boyunca dönme eylemsizlik moment artı diskin kütlesi çarpı  $d$  kare ile verileceğini söyler.

Bu kütle,

Ve bu uygulaması çok kolay olan bir şey, ve birçok durumda, simetrik olmayan durumlarının eylemsizlik momentini bulmanıza olanak sağlar.

Bunu matematiksel olarak yapmak zorunda olduğunuzu, ve aslında tüm elamanlar için, bu noktadan olan tüm  $m_i$  ler için, integral almak zorunda olduğunuzu düşünün.

Yani tam bir baş ağrısı olur.

Aslında, bunun nasıl yapıldığını ben bile bilmiyorum.

Dolayısıyla bu harika.

Bir kez gösterince ve bir kez paralel eksen teoreminin işlediğini ispatlayınca, şüphesiz sonra daima avantajınız olsun diye onu kullanabilirsiniz.

Bu eksen etrafında, yani kütle merkezi boyunca olmayan, dönmenin eylemsizlik momentinin, daima merkezden olan eylemsizlik momentinden daha büyük olacağına dikkat edin.

Görüyorsunuz, burada  $m d^2$  kare var, her zaman daha büyük.

Bazen kullanışlı olan, ikinci bir teorem daha vardır ve bu sadece çok ince cisimleri ele aldığınız zaman geçerli olmaktadır ve bu dik eksen teoremi olarak adlandırılır.

Eğer rastgele şekilli bir cisminiz varsa,

Ve tabii ki size asla böyle şekilli cisim vermeyiz, size daima bir kare yada bir disk vereceğiz.

Fakat bu oldukça ince bir plaka olmalıdır.

Aksi halde, dik eksen teoremi geçerli olmaz.

Ve bu noktadan, tahta düzlemine dik eksen boyunca döndürdüğümü varsayalım.

Bunu z eksenini olarak adlandırıyorum.

Ucu size doğru çıkıyor.

Bu pozitif z eksenini.

Ve şimdi istediğim yere birbirine 90 derecelik açılarda olan x, y eksenlerini tahtanın herhangi bir düzlemine çizebilirim.

Bu yüzden, burada bir tane seçiyorum ve x olarak adlandırıyorum, ve burada bir tane seçiyorum, y olarak adlandırıyorum.

z size doğru olan yönü işaret ediyor.

Hatırlayın, daima pozitif sağ-el koordinat sistemini seçiyorum.

x vektörel çarpım y, daima z yönündedir.

Daima böyle yapıyorum.

Ve şimdi burada, x vektörel çarpım y eşit z olduğunu görüyorsunuz.

Şimdi, bu ince plakayı bu eksen etrafında döndürebilirsiniz.

Ayrıca, o eksen etrafında da döndürebilirsiniz.

Ve ayrıca z eksenini etrafında da döndürebilirsiniz.

Ve kitaplarınızın birkaç satır ile bahsettiği dik eksen teoremi, sizlere, bu eksen etrafında dönmenin eylemsizlik momentinin, x eksenini etrafında dönmenin eylemsizlik momentini ile y eksenini etrafında dönmenin eylemsizlik momentinin toplamı ile aynı olacağını söyler.

Ve bu bazen, paralel eksen teoremi ile birlikte, eksen etrafında tabakaya dik olarak dönen, dik olarak dönmeyebilir de, ince tabakaların eylemsizlik momentlerini bulmanızı sağlar.

Bazen kullanabilirsiniz, eğer bunu ve bunu biliyorsanız, bunu bulabilirsiniz.

Her ikisi de kullanışlıdır. Ve 7. ödevinizde, dik eksen teoremini uygulayabilesiniz diye basit bir problem vereceğim.

Enerjinin, dönen disklerde geçici olarak depolandığı uygulamaları vardır. Ve biz bu diskleri volanlar olarak adlandırıyoruz.

Ve dönme kinetik enerjisi daha sonra kullanılabilir, Bu yüzden çok ekonomiktir.

Ve bu dönme kinetik enerjisi, elektrik ya da diğer enerji türlerine çevrilebilir.

Ve gerçekten, bunun nasıl yapılacağı üzerine son derece yaratıcı ve ilginç fikirler bulunmaktadır.

Tabii ki, pratik olup olmadığı her zaman dolar ve sentlere bağlıdır, ne ölçüde ekonomik olarak uygulanabilir.

Fakat her zaman, hatta ben küçük çocukken

Hatırlıyorum, ben yedi yaşındayken, Arabaların frene bastıkları zaman oluşturdukları tüm ısı, tüm yaptığınız şey ısı oluşturmaktır. Doğrusal hareketinizin tüm bu kinetik enerjisini kaybediyorsunuz.

Bunun her nasılsa daha etkin bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağı aklıma geldi.

Ve bu sizinle şimdi tartışmak istediğim şey. Ve geldiğimiz noktayı görün.

Bu aslında Enerji Bakanlığı tarafından ciddiye alınmaktadır.

Bu yüzden, sizlerle dağda duran ve yokuş aşağı doğru gidecek olan bir arabanın örneğini çözmek istiyorum.

Ve dağlar çok tehlikelidir. Zikzaklı yollar vardır.

Ve böylece, çok yavaş gidebilirsiniz.

Ve kişinin kendini öldürmeden yapabileceği maksimum sürat en fazla on mil bölü saattir.

Bu da yaklaşık 4 metre bölü saniyedir.

İşte arabanız burada ve sıfır hız ile başladığınızı varsayalım.

Ve arabanın kütlelerinin sadece, size iyi bir sayı vereceğiz, 1000kg olduğunu varsayalım.

Ve siz aşağı zikzak yaparak bu yoldan gidiyorsunuz.

Ve yükseklik farkının,  $h$ , bir sayı verelim, 500 m olduğunu varsayalım.

Ve bu P noktasına varıyorsunuz.

Ve daha sonra tekrar yukarı gitmek zorundasınız.

P noktasına vardığınız zaman kinetik enerjiniz nedir? Ehh, 4 metre bölü saniyelik bir hızınız var ve aşağı doğru indikçe daima frene basıyorsunuz.



Öyle ya da böyle, hızınızdan kurtuldunuz ve tümü yandı gitti.

Isı ile evreni ısıtıyorsunuz.

P noktasına vardığınız zaman, bu P noktasındaki kinetik enerji sadece 1 bölü 2 m v karedir.

m arabanın kütlesi, böylece bu 500 çarpı 16. Yani bu 8000 Joule

Şimdi bunu yerçekiminin arabayı aşağı doğru indirmesi ile yaptığı iş ile kıyaslayınız.

Bu iş mgh şeklindedir ve mgh şaşırtıcı bir sayıdır.

1000 çarpı 10 çarpı 500.

Bu 5 milyon joule eder. Ve bunun tümü frenleri kullanarak ısıya dönüştürüldü.

Aslında frende aşınma ve yırtılmalara da sebep olur.

Buna kimin ihtiyacı var? Onu, belki tümünü değil ama bir kısmını, kurtarmanın bir yolu var mıdır? Ve Cevap evet, yolları vardır.

En azından prensipte kurtarmanın yolları vardır.

Arabanıza bir disk yerleştirirsiniz, bundan sonra onları volan olarak adlandıracağım. Ve çekim potansiyel enerjisine dönüştürebilirsiniz.

Onu volanlarda dönme kinetik enerjisine dönüştürebilirsiniz.

Ve sizlere tamamen olanaksız olmadığını göstermek için, bazı sayılar vereceğim.

Arabanızda yarım metre yarıçaplı disk olduğunu varsayalım.

Bu tamamen olanaksız değil.

Bu benim hayalimin ötesinde değil.

Bu oldukça büyük bir disk.

Ve size makul bir kütle vereceğim. Böylece arabanın kütlesi çok büyük olmayacak.

200 kilogram.

Bu oldukça makul.

Bu sadece 5 santimetre kalınlığında çelik bir disk olabilir. Böylece bu oldukça mantıklıdır.

Ve eğer diski merkezden geçen ve diske dik olan bir eksen etrafında döndürürsem, diskin eylemsizlik momenti, şimdi bunu biliyoruz, 1 bölü 2, oo, büyük M olacak R kare ve bu da 25 e eşittir.

Eğer ilgileniyorsanız, birimi kilogram çarpı metre karedir.

Böylece eylemsizlik momentini biliyoruz.

Şimdi, yapmak istediğimiz şey, tüm çekim potansiyel enerjisini bu diskin kinetik enerjisine dönüştürmektir.

Eğer insanların başarılı oldukları, bunu katlamanın akıllı bir yolunu düşünürseniz, bu durumda, gerçekten  $1 \text{ bölü } 2 I \omega^2$  elde edersiniz, ve bununda 5 çarpı 10 üzeri 6 joule olduğunu görürsünüz.

Ve bu hemen  $\omega$  nın ne olması gerektiğini sizlere söyleyecektir. Eğer önemsiz olan değerlerinizi yerine koyarsanız bu durumda  $\omega$  yı, 632 radyan bölü saniye olarak bulursunuz.

Böylede diskin frekansı 100 hertz, saniyede 100 devir.

Bunun abartılı olduğunu düşünmüyorum.

Yukarıdan yokuş aşağı geldikçe, frene basarak fren yapmıyorsunuz, frenlerinizin ısınmasına sebep olmuyorsunuz ve bu potansiyel enerjiyi bir şekilde dönen diskte dönüştürüyorsunuz ve bu sizi yavaşlatıyor.

Yani yavaşlama, frene basma işlemi çekim potansiyel enerjisinden kaynaklanan doğrusal hareketin diskin dönmesine dönüştürülmesi ile yapılmaktadır.

Ve bu enerjiye ihtiyacınız olduğu zaman, kullanmaya başlıyorsunuz.

Bu dönme kinetik enerjisini, yeniden doğrusal harekete dönüştürebilmeniz gerekir.

Eğer bunu gerçekten yapabilirseniz, yeniden yokuş yukarı hiçbir yakıt kullanmadan çıkabilirsiniz.

Bu 5 milyon joule kullanılabilir, bu durumda, ideal durum için, herhangi bir yakıt kullanmak zorunda kalmazsınız.

Şimdi, kendinize, “bu sistem sadece dağlarda mı yararlıdır ya da şehirde de yararlı mıdır?” Sorusunu sorabilirsiniz. Elbette şehirde kullanabilirsiniz.

Bu şekilde fren yapmıyorsunuz. Fakat, yeniden doğrusal hareketin kinetik enerjisini volanın dönme kinetik enerjisine dönüştürüyorsunuz ve bu sizi yavaşlatır.

Ve trafik ışığı yeşile döndüğü zaman, tekrar dönme kinetik enerjisini lineer kinetik enerji haline dönüştürürsünüz.

Ve gitmeye devam edersiniz.

Tabii ki bunu söylemek, yapmaktan çok kolaydır, fakat tamamıyla bir hayal değildir.

İnsanlar aslında bazı ilginç çalışmalar yapmıştır. En azından web de fark ettiğim ve Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığının oldukça ciddiye aldığı bu durumu size göstermek istiyorum.

Bu grafik aynı zamanda 8.01 dersinin ana sayfasında da mevcuttur.

Ve burada, böyle bir volanın arabanın altına monte edilmesi, fikrini görmektesiniz.

Ve "volan enerji yönetimi güç santrali" yazmaktadır. Harika kelime değil mi,

Ve burada, volanın kapalı döngüsünü görmektesiniz.

Üzerine herhangi bir sayı yazmadım.

Enerjinin ne kadar miktarının volanda depolandığını bilmiyorum.

Fakat bir teşebbüs, insanlar bunun hakkında ciddi olarak düşünüyorlar.

Ve sonraki on yılda, arabalar piyasaya yanlarında enerjileri ile sürülebilir, en azından enerjileri kurtarılabilir.

Evreni ısıtmak yerine, kendiniz için kullanın ve bu çok daha ekonomik olabilir.

Burada bir oyuncak arabam var.

Onu ilk olarak ekranda göstereceğim.

Bu oyuncak arabanın volanı var.

Görüyor musunuz? Bu volanın kendisi arabanın tekerleğidir, fakat fikir orada.

Bu durumda, doğrusal hareketi, volana dönüştüremem.

Bunu yapabilirim, fakat bunu tersine yapacağım.

Bu volana oldukça fazla dönme kinetik enerjisi vereceğim. Ve bunu birazdan nasıl yaptığımı göreceksiniz.

Ve sonra bunun ileri harekete dönüştürülebileceğini göstereceğim.

Bu durumda, oldukça kolay. Çünkü, volanın kendisi tekerlektir.

Şimdi bu arabaya biraz enerji vermeye çalışayım.

Bunu, bu plastik ile yapacağım. Tamam.

Yani bu tekerlere, bu volana biraz enerji vereceğim. Ve sonra arabanın bunu hareket etmesi için kullanıp kullanamayacağını göreceğiz.

Harika, ders notlarım oradaydı.

Görüyorsunuz, çalışıyor.

Ve tabii ki, bu fikri eğer tersine çevirirseniz, Araba durmazdan önce, volana enerjiyi yükler ve size açıklamaya çalıştığım fikre sahip olursunuz.

Oldukça ekonomik ve kesinlikle ileride gerçekleşecek.

Volanlar sizin düşündüğünden daha sıklıkla kullanılıyor.

MIT deki Magnet Laboratuvarında hayret verici iki volan var.

Sanırım yarıçapları 2.4 metre. Evet doğru.

Ve bu volanların her biri 85 ton, 85000 kilogram gibi dudak uçuklatan kütlelere sahip.

Ve onlar 6 hertz frekansta dönüyor.

Eylemsizlik momentini hesaplayabilirsiniz.

Onlar düzleme dik olan merkezi eksen etrafında dönerler.

Şimdi bir bölü  $2I \omega$  karenin ne olduğunu biliyorsunuz. Ve böylece dönme kinetik enerjisini hesaplayabilirsiniz.

Ve bu durumda, dönen her bir volandaki bu dönme kinetik enerjisi, koskoca 200 milyon joule olacaktır.

Onlar bu dönme kinetik enerjisini 5 saniye gibi bir zaman zarfında çok güçlü manyetik alanlar oluşturmak için bu kullanırlar.

Böylece onlar, dönme mekanik enerjisini manyetik enerjiye dönüştürürler. Bu 8.01 dersinin konusu olmadığından bunu nasıl yaptıklarına girmeyeceğim.

Bu 8.02 dersinin bir parçasıdır ve eminim hepimiz 8.02 dersini dört gözle bekliyorsunuzdur. Ve mekanik enerjinin, manyetik enerjiye nasıl dönüştüğünü o zaman göreceksiniz.

Zaten sınıfta birisi döndürürken, mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştüğünü gösteren bir gösteri yapmıştık.

Sanırım o sizdiniz değil mi? Ve biz bu ampulleri yakmıştık.

Ehhh, aynı zamanda manyetik enerji haline de dönüştürebilirsiniz.

Ve bu güçlü manyetik alanları oluşturdukları zaman, onunla araştırmalarını yapıyorlar ve bu manyetik alana ihtiyaçları olmadığı zaman ise, bu manyetik enerjiyi tekrar volanlara yüklüyorlar ve volanlar yeniden 6 hertz ile dönmeye başlıyor.

Bu oldukça büyük dönme kinetik enerjisinin gezegenlerde, yıldızlarda depolandığını söylemeye gerek yok. Ve bu konu üzerine biraz zaman harcamak istiyorum.

Bu çok ilginç bir konu.

İlk olarak dünya ve güneş ile başlamak istiyorum. Ve ne kadar dönme kinetik enerjisinin dünya ve güneşte depolandığını görmenizi istiyorum.

Bu da 8.01 dersinin web sayfasında var. Bu yüzden yazmanıza gerek yok.

İlk olarak güneşe bakalım.

Güneşin kütlesini ve yarıçapını biliyoruz. Böylece güneşin eylemsizlik momentini hesaplayabiliriz.

Kaba bir yaklaşıklıkla, 2 bölü 5 m R kare eşitliğini kullanıyorum. Çünkü, 2 bölü 5 m R kare ifadesi, kütle küre içerisinde düzgün olarak dağıtılmış olan, küreler için geçerlidir.

Bir yıldız için, hatta dünya için bu durum geçerli değildir.

Çünkü yoğunluk merkezde daha fazladır.

Fakat bu tür bir yaklaşıma kaba bir fikir verir.

Orada eylemsizlik momentini görmektesiniz, Bunu 2 bölü 5 m R kare formülü ile hesaplamak oldukça kolay ve aynısını dünya içinde yapıyorum.

Bu dünyanın yarıçapı ve dünyanın eylemsizlik momentini görüyorsunuz.

Şimdi bunların ne kadar dönme kinetik enerjisine sahip olduklarını bilmek istiyorum.

Ehhh, güneşin kendi eksenini etrafında dönmesi 26 gün alır. Dünyanın 1 gün. Ve son olarak herseyi MKS birimine çeviririm. Ve dönme kinetik enerji için bu değerleri elde ederim.

Şimdi güneşin değerlerine bakın.

1.5 çarpı 10 üzeri 36 joule.

Bizim büyük büyük dedelerimiz, güneş enerjisinin, ısının ve ışığın nereden geldiğini konusunda hayrete düşüyorlardı.

Muhtemelen dönmeden geliyordu.

Belki güneş yavaş dönüyor, yavaşlıyor ve belki elde ettiğimiz enerji dönme kinetik enerjisinden başka bir şey değildir.

Ancak böyle olsaydı, güneş 4 çarpı 10 üzeri 26 watt güç oluşturacaktı ve

4 çarpı 10 üzeri 26 joule bölü saniye

Ve sadece 125 yıl yetecekti.

Yani enerjinin dönme kinetik enerjisinden geldiği bu fikri, tamamen unutabilirsiniz. Ve şüphesiz şimdi biz güneşteki enerjinin nükleer enerji olduğunu biliyoruz.

Fakat büyük-büyük dedelerimiz bilmiyorlardı.

Şimdi dünyaya bakalım.

2.5 çarpı 10 üzeri 29 joule.

Bir şey deneyim.

Biraz hayal, biraz çılgınca, biraz saçma bir fikir ilk olarak sizlere söylüyorum. Bu çok saçma.

Dünyadaki tüketimi hatırlayın.

Yeryüzünde altı milyar insan yaklaşık her yıl 4 çarpı 10 üzeri 20 joule tüketmektedir.

Bir şekilde,

Eğer dünyayı yavaşlatarak dünyanın dönme enerjisi elde ederseniz, belki dünya enerji tüketimini karşılamak için kullanabileceğimizi düşündüm.

Um, bunu nasıl yapacağımı bilmiyorum ve tabii ki bu tam bir hayal.

Tüm yapmanız gereken şey dünyayı yavaşlatmak, yaklaşık 2.4 saniye.

Bir yıl sonra

Onu yavaşlatıyorsunuz.

Bir yıl sonra, gün aynı olmayacak.

Gece ve gündüz 24 saat sürmeyecek ve sadece 2.4 saniye daha uzun olacak.

Fakat tabii ki milyar yıl sonra, bu durumda tüm dönme kinetik enerjisini kullanmış olursunuz. Dünya artık dönmeyecektir.

Tabii ki bu çılgın bir fikir, fakat bazen bazı çılgın fikirler hakkında tahminde bulunmak oldukça hoştur.

Yengeç Atarcası yani Crab Pulsar olarak adlandırdığımız bir cisim var.

Bu bir nötron yıldızıdır ve Yengeç Bulutsusu yani Crab Nebula'da bulunur.

Yengeç Bulutsusu, 1054 yılında bir süper nova patlamasının sonucu oluşmuştur.

Gelecek dersimde, bundan detaylı olarak bahsedeceğim.

Şimdilik, sadece bu nötron yıldızına yoğunlaşmak istiyorum.

Burada Yengeç Atarcası hakkında veriler görülmektedir.

Yengeç Atarcası'nın kütlesi, güneşin kütlesinden farklı değildir.

Yaklaşık 1.5 kat daha fazla.

Yarıçapı komik olacak kadar küçük.

Sadece 10 kilometre.

Tüm bu kütle, 10 kilometre yarıçaplı küre üzerine yoğunlaşmış.

Santimetre küp başına 10 üzeri 14 gibi dehşet verici bir yoğunluğa sahiptir.

Tabii ki, eylemsizlik momenti güneşe kıyasla son derece makuldür. Çünkü yarıçapı çok küçük, ve eylemsizlik momenti yarıçapın karesi ile değişmektedir.

Ancak, eğer dönme kinetik enerjisine bakarsanız, durum çok farklı, çünkü, bu nötron yıldızı eksenini etrafında 33 milisaniyede döner.

Bu yüzden bu yıldız olağanüstü bir açısal hıza sahiptir.

Ve şimdi eğer,  $1 \text{ bölü } 2 I \omega$  kareyi hesaplırsanız, oldukça müthiş bir dönme kinetik enerjisi elde edersiniz.

Güneşte olduğundan, yaklaşık 1 milyon kat daha fazlasını elde edersiniz.

Ve Yengeç Bulutsusu'ndaki bu atarca bol miktarda x-ışınları, gama ışınları yayınlıyor.

İyonize olmuş gazlardan jetler dışarı çıkmaktadır ve bu cismin ürettiği tüm enerjinin dönme kinetik enerjisinden kaynaklandığından eminiz.

Ve niçin bunun hakkında şüphe olmadığı konusunda, ikna edici deliller vereceğim.

Eğer Yengeç Atarcası'nı alır ve x ışınlarında, gama ışınlarında ve astronomide gözlemleyebildiğiniz her şeyde ne kadar enerji ortaya çıktığını hesaplırsanız, bu durumda yaklaşık olarak 6 çarpı 10 üzeri 31 watt güce sahip olduğunu bulursunuz.

Bu arada, güneşinki ile kıyaslırsanız bunun olağanüstü bir miktar olduğunu anlarsınız.

Güneş, sadece 4 çarpı 10 üzeri 26 watt güce sahiptir.

Yani Yengeç Atarcası, kendi başına, güneşten yaklaşık 150.000 kat daha fazla güç üretir.

Atarca'nın periyodunu yüksek derecede bir doğrulukla biliyoruz.

Nötron yıldızının, dönme periyodu 0.0335028583 saniye.

Bugünkü, değeri bu.

Dün, radyo dalgaları kullanarak astronomi gözlemleri yapan arkadaşlarımı aradım ve onlara "Yengeç Bulutsusu'ndaki, bir nötron yıldızının dönme periyodu nedir?" diye sordum, ve cevapları bu oldu.

Ancak yarın, 36.4 nanosaniye daha uzun olacak.

Yani yarın, bunu eklemelisiniz.

Bu, onun yavaşladığı anlamına gelir.

Yengeç Atarcası yavaşlıyor.

Yani,  $\omega$  küçülüyor.

Bu, 1 bölü 2 I  $\omega$  karenin küçüldüğünü ifade eder.

Ve bugünkü dönme kinetik enerjisi ile yarınki dönme kinetik enerjisi karşılaştırmak için ev ödevinizi yaparken ki yapmanız gerekir, kaybolan enerjinin 6 çarpı 10 üzeri 31 joule bölü saniye olduğunu göreceksiniz. Bu tamamıyla x-ışınları, gama ışınları ve diğer enerji formları vasıtasıyla ölçülen güç ile aynıdır.

Bu dönen nötron yıldızının yayınlamış olduğu tüm enerjinin dönme kinetik enerjisinden kaynaklandığından hiç şüphe yoktur.

Hakkında düşündüğünüz zaman kafa karıştırıcı bir şeydir.

Ve eğer Yengeç Bulutsusu'ndaki nötron yıldızı, bu hızda dönme kinetik enerjisi kaybetmeye devam ederse, bu durumda yaklaşık 1000 yıl sonra durma konumuna gelecektir.

Şimdi sizlere birkaç slayt göstermek istiyorum. Bunun üzerini kapatabilirim.

Sizlere Yengeç Bulutsusu'nu göstermek istiyorum ve sanırım Magnet Lab'daki güzel volanları da göstereceğim.

Şimdi bir el fenerine ihtiyacım var.

Lazer pointir'a ihtiyacım var.

Çok şeye ihtiyacım var.

Tamam, başlıyoruz, odayı karanlık yapacağım.

Bunun için hazır mısınız? Tamam, eğer ilk slaydı gösterebilirim,

Burada gördüğünüz şey, Magnet Lab'daki volanlar.

Bunların 85 ton kütleleri ve 2.5 metre yarıçapları var.

İnanılmaz, becerikli cihaz ve orada 200 milyon joule enerjiyi depolayabilirsiniz. Ve bu enerjiyi manyetik enerjiye dönüştürebilir ve 5 saniye içinde tekrar dönme kinetik enerjisine dönüştürebilirsiniz.

Yeri gelmişken, bu inanılmaz bir başarıdır.

Burada Yengeç Bulutsusu'nu görmektesiniz.



Yengeç Bulutsusu, bizden 5.000 ışık yılı mesafededir.

Bu 1054 yıkındaki süpernova patlamasının kalıntısıdır.

Gelecek dersimde bu konuda daha çok şey vereceğim.

Ve burada gördüğünüz şey, atarca tarafından şu anda oluşturulan bir şey değildir.

Yeri gelmişken, bu atarcalar ve burada gördüğünüz kırmızı flaman, patlama olduğu zaman atılan malzemedir.

Patlama, süpernova patlaması yıldızın dış katmanlarını yaklaşık 10.000 kilometre bölü saniyelik büyük bir hız ile uzaya attı. Gördüğünüz şeyler budur.

Sizlere, bu cismin büyüklüğü hakkında bir fikir vermesi için, buradan buraya olan mesafe yaklaşık 7 ışık yılıdır.

Bu atarca yalnız başına 6 çarpı 10 üzeri 31 watt üretir.

Ve bu yıldızın atarca olduğunu biliyoruz ve bunun o yıldız olmadığını da biliyoruz.

Ve nasıl gözleendiğinin yöntemi şöyledir:

Bu stroboskopik poz, Yengeç Bulutsusu'nun merkez kısmından elde edilmiştir.

Stroboskopik bir resim, açılır - kapanır bir diyafram kullandığınız anlamına gelir.

Bu durumda diyaframı, tam olarak nötron yıldızının dönme frekansı ile aynı frekansta, açmak ve kapamak zorundasınız.

Çeşitli nedenlerden dolayı, çok iyi anlaşılmayan bu nötron yıldızı, bizlere ışıldamaktadır.

Bize tam olarak dönme frekansı ile ışıldamaktadır, 33 milisaniye

Bu 30 hertz anlamına gelir.

Yaklaşık saniyede 30 defa, yıldızın parlak hale geldiğini ve sonra tekrar söndüğü görüyorsunuz.

Eğer şimdi filmin önündeki diyaframın frekansını tam olarak bu frekansa ayarsanız ve fotoğraf filmini sadece yıldız parlak olduğu zaman ışığı alacak hale getirirseniz, bu durumda filmi banyo ettiğinizde oldukça parlak bir yıldız görürsünüz.

Eğer başka bir fotoğraf çeker ve diyafram açık ve yıldız sönük olduğu sürelerde filmi ışıklandırırırsanız, filmin banyosunu yaptığınızda yıldız sönüktür.

Ama güzel olan şey, bu yıldızın yakınındaki tüm diğer yıldızlar, her iki fotoğraf filminde de aynı şiddette görüleceklerdir. Çünkü onlar ışıldamamaktadırlar. Çünkü onlar bizlere 33 milisaniyelik periyotlarda ışıldamıyorlar.

Bu stroboskopik resim olan bir sonraki slaytta göreceğiniz bir şeydir

Bu yıldız, her iki pozda da eşit parlaklıkta olduğu için açıkçası atarca değildir.

Bu atarca değildir, fakat bu atarcadır.

Görüyorsunuz, bu kaybolmuş.

Kuşkusuz bizler hangilerinin atarca olduğunu biliyoruz.

Ancak yakın geçmişte, Chandra X-Işını Gözlemevi olarak adlandırılan oldukça yeni bir uydu fırlatıldı

Ve Chandra Yengeç Bulutsusu'nun geçende bir resmini çekti. Ve bu size göstermek istediğim şey.

Bu Web de var. Belki de çoğunuzun henüz görmediği, Yengeç Bulutsusunun merkez kısmından alınan bir fotoğrafı göstermek istiyorum. Ve atarca burada bulunmaktadır.

Ve bunun tümü x-ışınıdır, optik ışık ile alakası yok.

Burada atarcanın civarında iki ışık yılı genişliğindeki x-ışını cinsinden, kocaman bir bulutsu var. Ve tüm enerji oldukça şaşırtıcı bir şekilde atarcanın dönme kinetik enerjisinden kaynaklanmaktadır.

Bu fotoğraf Chandra x-ışını uydusu tarafından çekildiği zaman, atarcanın, aynı zamanda jetler oluşturduğunu keşfettiler.

Belki oturduğunuz yerden onu görebilirsiniz.

Buradan çıkan bir jet var ve biraz bir hayal gücü ile bu jetin buradan çıktığını görebilirsiniz.

Tüm bu enerji, dönme kinetik enerjisinden kaynaklanıyor.

Bu arada MIT, Chandra Gözlemevinde büyük bir hisseye sahiptir. Sadece MIT değil aynı zamanda Cambridge'inde hissesi var.

MIT deki Astrofizik Merkezi, Chandra Bilim Merkezini yönetmektedir. Caddeden birkaç blok ötede olan bu merkezden, tüm radyo komutları verilmektedir.

Ve birçok MIT bilim adamı, kariyerlerinin büyük bir kısmını bu çabaya ayırmışlardır.

Ve bunlar gelen harika sonuçlardan biridir.

Tamama, beş dakikanız var.

Biraz daha fazla

Yedi dakika kaldığını görmektesiniz.

Eğer anketi doldurursanız oldukça müteşekkir olacağım. Çünkü, sizin görüşlerinizi alabileceğimiz ve eğer gerekli gördüğünüz değişiklikler varsa bu değişiklikleri yapacağımız tek yöntem budur.

Gelecek derste görüşürüz.