



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 20

8.01 dersinin öğrenciler ve aynı şekilde öğretim üyeleri içinde zor olan kısmına giriyoruz.

Açısal momentum ve tork konularına gireceğiz.

Bunlar oldukça anlaşılması zor konulardır.

Fakat iyi haber, en azından dört yada beş ders bu kavram ile birlikte olacağız.

Bugün hem torku hem de açısal momentumu anlatacağım.

Açısal momentum nedir? Eğer bir cisim m kütleline ve v hızına sahipse, bu durumda momentuma sahip olacağı açıktır.

Bu sizin referans çerçevenizde çok iyi bir şekilde tanımlanmış olup, m ve v nin çarpımıdır.

Açısal momentumu, seçtiğim noktaya göre alabilirim.

Rastgele olarak bu Q noktasını seçtim.

Şimdi bu r_Q olarak adlandırdığım konum vektörüdür.

Bu açı θ olsun.

Ve bu noktaya göre açısal momentum, bir vektördür

Q noktasına göre konum vektörü vektörel çarpım p dir.

Yani, r_Q vektörel çarpım v ve çarpı m dir.

Q noktasına göre açısal momentumun büyüklüğü, şüphesiz $r m v$ dir. Ve bu durumda θ açısının sinüsünü almam gerekir. Bu nedenle $mvr \sin\theta$ şeklinde söyleyelim. Ve bunu sıklıkla kısaltılmış olarak, $r_{\perp}$ (r dik) olarak adlandırırım.

Bu r dik mesafesi, C noktasına göre, bu mesafedir

Demin gördüğünüz şey, sizi şaşırtabilir. İyi bir neden uğruna, Q indisini C olarak değiştirdim. Fakat C yoktur.

Tüm indisler şüphesiz Q olmalıdır.

Bu r , vektörün uzunluğudur. Bu vektörün büyüklüğüdür.

Bu nedenle, bu Q içermelidir. r dik olarak adlandırdığım $r_Q \sin\theta$, Q indisi içermelidir. Ve bu, burasıdır.

Bu açı 90 derecedir ve $r_{Q\perp}$ (dik) burasıdır.

Yani C olmayacak, sadece Q var.

Açısal momentumun yönü kolaydır.

Vektörel çarpımın nasıl yapıldığını biliyorsunuz.

Bu durumda, r vektörel çarpım v , tahta düzlemine dik olacaktır ve büyüklüğünü de hesaplamak oldukça kolaydır.

Şimdi açısal momentum ile ilgili zor problem geliyor.

Eğer bu çizgi üzerinde herhangi bir noktayı seçersem, C olsun, bu durumda C ye göre açısal momentum sıfırdır.

Oldukça açık, çünkü r konum vektörü ile hız vektörü aynı yöndedir.

Yani, θ sıfırdır. Bu durumda $\sin\theta$ sıfır olur.

Hareket eden cismin kendine özgü özelliği olan momentumun aksine, açısal momentumun hareket eden cisimlerin kendilerine özgü bir özellik olmadığını hemen görürsünüz.

Eğer bu ders salonunda orada oturur ve belli bir hızla hareket eden bir cisim görürseniz, o belli bir kütleye sahip ise, onun momentumunu bilirsiniz.

Açısal momentumunun ne olduğu seçtiğiniz noktaya, sizin orijin noktanıza bağlıdır.

Eğer bu noktayı D olarak seçseydim, açısal momentum, bu yönde olacaktı. Buraya konum vektörünü koyduğunuz zaman, r vektörel çarpım v nin tahta düzleminden dışarı doğru olduğunu göreceksiniz.

Bu nedenle açısal momentum zor bir kavram olarak karşımıza çıkar.

Fakat biz onu oldukça faydalı olabilecek bir şekilde, detaylıca inceleyeceğiz.

Bu ders salonunda bir cismi attığımı ve t eşit sıfırda burada, ve t anında ise cismin orada olduğunu varsayalım.

Bu t anındaki konum vektörüdür.

Cisim hareketine belli bir v hızı ile başlasın ve biraz sonra, burada hız böyle olsun.

Ve şüphesiz, üzerine mg kuvveti etkir ve böylece bu eğriyi oluşturur.

t eşittir sıfırda, C noktasına göre açısal momentum nedir? Açısal momentum açıkca sıfırdır. Çünkü noktanın kendisi, cismin kendisi C noktasındadır.

Yani, konum vektörü herhangi bir uzunluğa sahip değildir. Onun sıfır olduğu çok açıktır.

Cisim t anında burada olduğu zaman açısal momentum nedir? Ehh, bu açısal momentumun sıfır olmadığı açıktır. Çünkü konum vektörünü ve hızı görmektesiniz. Çok açık bir şekilde açısal momentum değişmektedir.

Şüphesiz değişiyor olduğunu söyleyeceksiniz.

Çok önemli, çünkü açısal momentum ifadesinde hız vektörü vardır.

Ve burada hız daima zamanla değişmektedir, bu yüzden açısal momentumun değişiyor olduğunu söyleyebilirsiniz.

Ehh, Evet, bu kötü bir iddia değil. Fakat şimdi sizlere, hızın daima değiştiği fakat açısal momentumun değişmediği bir durumu göstereceğim.

Güneşin etrafında dönen dünyayı seçiyorum.

m kütleli dünya burada.

Ve C noktasında güneş bulunmakta.

Bu r_C konum vektörü ve dünya belli bir teğet hıza sahiptir ve sürat hiç değişmiyor. Fakat hız değişiyor.

Ve bu belli bir süre sonraki konum vektörü.

Şimdi, güneş etrafında dönen dünyanın, C noktasına göre açısal momentumu nedir? Şimdilik C noktasını seçtim.

Eğer açısal momentumun büyüklüğünü alırsam, çünkü yön hemen bellidir.

Eğer cisim bu şekilde dönüyor ise

Bu konum vektörüdür.

Bu durumda yön tahtadan dışarı olan yönü göstermektedir.

Bu kolay.

Şimdi sadece büyüklüğünden endişe ediyorum.

Büyüklüğü dünyanın kütlesi çarpı bu iki vektör arasındaki vektörel çarpımın büyüklüğüdür.

Ve açının 90 derece olduğunu görün.

Bu yüzden vektörel çarpımı aklınızdan çıkarabilirsiniz. $\sin\theta$ birdir ve böylece basit olarak mvr elde ederim. Şimdi v sürattir.

Bu cisim burada iken ki durumdur. Fakat cisim burada olduğu zaman durum değişmemiştir.

Yeniden r vektörel çarpım v nin büyüklüğü aynıdır. Çünkü $\sin\theta$ değişmemiştir.

Ve burada hızın her zaman değiştiği, fakat C noktasına göre açısal momentumun değişmediği, bir durumu görmektesiniz.

Q noktasını seçtiğimi varsayın.

Q noktasına göre açısal momentum değişiyor mu? Buna inansanız iyi olur.

Cismin Q noktasından geçeceği bir zaman vardır.

Bu durumda açısal momentum açıkça sıfır olacaktır. Çünkü konum vektörü sıfırdır.

Eğer cisim burada ve Q noktasına göre açısal momentumunu alırsanız, tabii ki açısal momentum sıfır değildir.

Konum vektörünüz ve hızınız var.

Sadece C noktasına göre, bu çok özel durumda, açısal momentum değişmemektedir.

Bu yüzden açısal momentum bu özel durumda, sadece C noktasına göre, korunumludur.

Bunu biraz daha genel bir şekilde ele almak istiyorum.

Açısal momentumu alıyorum ve Q noktasını seçiyorum. Ve Q noktasına göre, açısal momentum, konum vektörü vektörel çarpım p olduğunu biliyorum.

Türevi alıyorum, Q noktasına göre dL / dt zamana göre türevini alıyorum.

Her zaman, açısal momentumu hangi noktaya göre aldığınızı belirtmeniz önemlidir.

Bu dr / dt , vektörel çarpım p artı r_Q vektörel çarpım dp / dt olacaktır.

Bu, vektörel çarpımın zamana göre alınış şeklidir.

Q noktasına göre açısal momentumu hesaplarız.

İndisin tüm denklemler boyunca Q olması gerekir.

Konum vektörü, Q noktasına göre

Ve bu denklemde, Q indisinin doğru olduğunu görürsünüz.

Burada doğru Q indisini görüyorsunuz. Fakat burada hata yaptım ve oraya C yazdım.

Bu problemde C yok. Burada da r_Q olacak; bunun için özür dilerim.

Burası cismin hızı, hız vektörü ve her zaman p ile aynı yöndedir.

Yani bu sıfır.

dp/dt , cismin üzerine etki eden kuvvettir.

Bunu 8.01 dersinde daha önce görmüştük.

Ve şimdi Q noktasına göre dL / dt nin, r konum vektörü vektörel çarpım F şeklinde olduğu denkleme sahibiz.

Ve bunu tork olarak adlandırırız.

Ve bunun için, τ sembolünü yazıyoruz ve vektördür.

Ve buraya yine Q koydum.

Ve bu en az gelecek beş ders boyunca kullanacağımız en önemli denklemlerden birisidir.

Bunun size söylüyor olduğu şey, eğer bir cisim üzerine bir tork etki ediyorsa, açısal momentum zamanla değişiyor olmalıdır.

Eğer cisim üzerinde tork yok ise, bu durumda açısal momentum korunumludur.

Ve şimdi henüz tartıştığımız bu durumun iç yüzünü anlayacaksınız.

Kuvvet, çekici kuvvet, dünya üzerine etki eden çekim kuvveti, bu yönde.

Konum vektörü bu yönde, bu yüzden r vektörel çarpım F sıfırdır.

C noktasına göre tork yoktur. Çünkü bu iki vektör arasındaki açı 180 derece ve bu açının sinüsü sıfırdır.

Bu nedenle, daire üzerinde nerede olursanız olsun, her zaman r vektörel çarpım F sıfır olacaktır.

C noktasına göre hiçbir tork yoktur.

Eğer Q noktasını alırsanız, ya da burada bir A noktası alırsanız, açıkça bir tork hatta değişen bir tork söz konusudur. Bu nedenle açısal momentum değişimine sahip olacaksınız.

O halde bu C noktası için oldukça özel bir durum söz konusu ve şüphesiz buna yeniden döneceğim.

Şimdi açısal momentum kavramını, uzayda hareket eden bir nokta cisimden, kütle merkezi etrafında dönen bir disk yada bir küre cismine genişletmek istiyorum.

Ve disk ile başlayacağım.

Burada bir diskimiz var.

Disk M kütle sine, R yarıçapına sahip ve bu C noktası diskin kütle merkezi.

ω açısal hızı ile dönmektedir ve bu dönen diskin açısal momentumun ne olduğunu bilmek istiyorum.

Açısal momentum yönü önemsiz olacaktır.

Eğer dönmesi bu şekilde ise,

Eğer burada küçük bir kütle elemanı alırsanız, m_i kütle sine, bu C noktasına göre r_i konum vektörü, ve burada v_i hızınız var.

Ve hemen r vektörel çarpım v nin tahta düzleminden dışarı olduğunu görürsünüz. Bu kolay.

Açısal momentum bu yönde olacaktır, fakat diskin bir bütün olarak açısal momentumunun büyüklüğü nedir? Peki, ilk olarak bu noktada bu küçük kütle elemanının açısal momentumunun ne olduğunu hesaplayalım.

Bu durumda, m_i kütle elemanı için L_C

Sadece büyüklüğü ile ilgilenelim. Çünkü zaten yönü biliyoruz.

m_i çarpı r_i ve v_i arasındaki vektörel çarpıma eşittir.

Fakat bu açı 90 derece ve θ nın sinüsünü dikkate almama gerek yok.

Bu durumda, sadece, r_i çarpı v_i elde ederim.

C noktasına göre r_i çarpı v_i

Bu büyüklük.

Dönen cisimde v_i yi görmekten nefret ederim. Çünkü hız merkezden ne kadar uzakta olmana bağlıdır.

Hız burada sıfırdır.

Ancak hepsinin ω sı ortaktır.

Seçtiğiniz her bir eleman aynı ω ya sahiptir.

Bu yüzden daima bu gibi durumlarda v yerine ωR yazarım.

Ve bu durumda bu eşitlik $m_i r_{iC}$

Ki bu r_{iC} kare olur ve ω elde ederim.

$v = \omega R$ yazdım ve bu şüphesiz her durumda geçerlidir.

Muhtemelen $v_i = \omega r_i$ yazsaydım, daha iyi olacaktı. Çünkü küçük i harfli her elaman r_i konum vektörüne ve $v_i = \omega r_i$ ile verilen hıza sahiptir.

Bunu, bir nevi tek eşitlikte özetledim.

V eşit ωR .

Fakat muhtemelen bu sonrakileri anlamanızı daha kolay hale getirecek bağlantıdır.

Bu küçük kütle elemanı için açısal momentumdur.

Fakat şimdi, bu C noktası etrafında kütle merkezinden geçen, tahta düzlemine dik olan diskin merkezinden geçen eksene göre, tüm açısal momentumun ne olduğunu bilmek istiyorum

Ve şimdi, kesinlikle, bütün bu i elemanları için toplama yapmak zorundayım.

ω yı dışarıya çıkarabilirim. Ve bu durumda m_i , C noktasına göre, r_i karenin toplamını elde ederim.

Ve bunun, C kütle merkezi noktası etrafında dönme için eylemsizlik momenti olduğunu hemen görürsünüz, hemen görmenizi umut ederim.

Ve bunun için I_C çarpı ω yazabilirim.

Şimdi soruyu soruyorum

Bu büyüklüktü.

Şimdi soru geliyor. Örneğin, bu A noktası için açısal momentum farklı mıdır? Ve İlk tepkiniz şüphesiz evet olacak. Çünkü açısal momentum seçtiğiniz noktaya bağlıdır.

Seçtiğim bu kütle merkezinin etrafında bir dönmeye sahip iseniz, bu noktaya göre, hatta herhangi bir noktaya göre, hatta uzaydaki bu noktaya göre açısal momentumu hesaplasanız bile, daima aynı cevabı elde edecek olmanız oldukça dikkat çekici bir şeydir.

Fakat sadece kütle merkezi etrafında dönme durumunda geçerlidir. Ve bunu spin açısal momentumu olarak adlandırırız.

Spin açısal momentumu, açısal momentumu hesaplamak için seçtiğiniz noktaya bakılmaksızın, bir cismin kendine özgü bir özelliiktir.

Cismin, kütle merkezi etrafında dönmesi durumunda, artık seçtiğiniz noktayı başlangıç noktası olarak belirtmenize gerek yoktur.

Artık açısal momentum hakkında konuşabilirsiniz.

Dünya kütle merkezi etrafında dönüyor. Bu nedenle dünya kendine özgü açısal momentuma sahiptir.

Buna ilaveten, Dünya yörünge açısal momentumuna da sahiptir.

Eğer Dünya'nın yörüngesel açısal momentum hakkında konuşmak istiyorsanız, ancak, bu noktaya göre hesaplırsanız daha iyi olur. Aksi takdirde zamanla değişecektir.

Sadece bu özel nokta için tanımlanmıştır. Çünkü sadece o noktada, yani güneşin bulunduğu noktada, dünyanın yörünge açısal momentumu değişmemektedir.

Sizinle cesaret isteyen bir deney yapacağım ve bu buz patencisinin keyfi olarak adlandırılır.

Bunun çok kolay olmadığını göreceksiniz.

Fakat her durumda, kesinlikle eğlenceli bir deneydir.

Burada sürtünmesi oldukça az olan dönen bir platform var.

Ve bu dönen platformu merkezi etrafında döndüreceğim. Ve bu dönen platformun üzerinde ayakta duracağım. Ve elimde iki ağırlık tutacağım. Bu ikisini.

Her birisi yaklaşık 1.8 kilogram.

Bu m kütlesi 1.8 kilogram.

Toplam kütle, benim ve dönen platformun kütlesi dahil, yaklaşık 75 kilogram.

Ve sizlerden birinizden bana bu dönme simetri eksenini etrafında küçük bir dönme vermesini, beni döndürmesini isteyeceğim.

Eğer aşağıdan bakarsanız, saat yönünde döndürüldüğümü varsayalım.

Burada kütle merkezi etrafında dönme durumu söz konusu. Böylece bu dönme sisteminin, kendine has açısal momentumu hakkında konuşabiliriz.

Ve açısal momentum vektörü açıkça yukarı yönü göstermektedir.

Bu çok açık

Eğer alttan saat yönünde döndürürseniz.

Hatırlayın, burada saat ibrelerinin tersine doğru döndürüyordunuz ve tahta düzleminden dışarı doğru çıkıyordu.

Burada saat yönünde döndürüyorsunuz. Yukarı yönlü olacaktır.

Şimdiye kadar, çok iyi.

Üzerimde yerçekimi nedeniyle bir kuvvet etkir.

Ve şüphesiz mg ye eşit büyüklükte bir kuvvet, normal kuvveti yukarı yönlüdür. Ve her ikisi birbirini yok etmektedir.

Bana belirli bir dönme, belli bir açısal hız verilirse, kollarımı kapatacağım ve açacağım ve kapatacağım ve bu hareketi yaptığım zaman, bu hareket sistem üzerinde net bir torka sebep olmaz.

Bunu her zaman yapmaya devam edebilirim ve net tork yoktur.

Ve böylece, dönen bir cisim için belirttiğimiz açısal momentum korunmalıdır, değişmez.

L eşit $I \omega$

Kollarımı kapattıkça benim eylemsizlik momentim küçülecek, bu durumda eğer bu çarpım sabit olmak zorunda ise, açısal hızım artmalıdır.

Tam tersine, kollarımı kapattığım zaman, daha hızlı gideceğim. Bunu yaptığım, açtığım zaman, daha yavaş döneceğim.

Ve sizlere bazı sayısal değerlerle olayı anlatmak istiyorum.

Vücudumu, eylemsizlik momentini hesaplayabileceğim basit bir geometrik cisim olan silindir gibi düşünüyorum.

Silindir gibi görünmüyorum. Fakat, pratik amaçlar için silindire oldukça yakınım.

Ve bu silindir yaklaşık 20 santimetre bir yarıçapa sahip.

Çok kötü değil, bir tür bana uymakta.

Ve bu silindiri bu eksen etrafında döndüreceğim. Ve şimdi eylemsizlik momentinin ne olduğunu hesaplayabilirim.

Silindir, 75 kilogramlık bir kütleye, 20 santimetrelilik bir yarıçapa sahip, böylece eylemsizlik momenti;

Örneğin bu durumda, bu iki cisim vücudumun yanında durmakta ve onları böyle tutmaktayım, bu benim kısa gösterimim.

Eşit $\frac{1}{2} M R^2$ karedir.

Hatırlayın, bu simetri ekseni etrafında dönen bir diskin eylemsizlik momentini idi.

Bunu geçen defa anlattık.

Ve böylece, eğer bu değerleri yerine koyarsam, 75 kilogram ve yarıçapı 20 santimetre alırsam, bunu MKS biriminde 1.5 olarak bulurum.

Fakat şimdi, kollarımı bu şekilde tutacağım, Ve eylemsizlik momenti artacak.

Ve ne kadar arttığını kabaca hesaplayacağım.

Kolumun uzunluğu yaklaşık 90 santimetre.

Buradaki kütleler 1.8 kilogram.

Kolaylık olsun diye kollarımın ağırlığının olmadığını ve tüm ağırlığın bu cisimlerde olduğunu varsayıyorum.

Bu bir tür kolaylaştırma, fakat bunun anormal bir değişiklik olduğunu göreceksiniz ve tüm görmenizi istediğim şey de bu

Şimdi kollarım bu şekilde olduğu zaman eylemsizlik momenti;

Tabii ki, vücudum, bu durumda hala işin içinde ve benim eylemsizlik momenti değerim olan 1.5 hala var; fakat şimdi ilave bir terim daha gelecektir. Bu kütleden küçük $m r$ kare ve bu kütleden $m r$ kare, bunların yarıçapı küçük r 'dir.

Ve böylece, 2 kat kütle elde ediyorum ve sonra r kareyi, yaklaşık 0.9 un karesini yazmalıyım ve 1.8 i yazmalıyım. Çünkü bu noktadaki bir cismin eylemsizlik momenti bu şekildedir.

$m r$ kare, kollarımın hiçbir kütlelerinin olmadığını varsaymıştım.

Ve bunu eklediğiniz zaman, MKS biriminde 4.5 kilogram metre kare olarak bulacaksınız.

Ve şimdi, bu durumdan bu duruma geçersen, eylemsizlik momentimin üç kat daha azalacağını göreceksiniz. Ve eylemsizlik momentim, üç kat azalırsa, açısal hızım üç kat artmalıdır.

Ve tam tersi.

Bu deneyi yapmak istiyorum. Fakat bu deney tehlikesiz değildir.

Bu deneydeki sorun, kollarınızı kapattığınız anda hemen, başınız döner ve dengenizi kaybedebilirsiniz. Ve yere düşebilirsiniz.

Ve bu sabah bunu lisede yapan buradaki bazı öğrenciler ile konuştum ve bana gerçekten lisedeki öğretmenlerden birinin düştüğünü anlattı. Ve bunu bugün yapmayı denemeyeceğim.

Bu yüzden gerçekten güvenebileceğim birinin yardımına ihtiyacım var.

Sana güvenebileceğimi düşünüyor musun? Sen değil.

Bu dürüst bir yanıtı.

Sen güçlü adamsın.

Sana güvenebilir miyim? İlk yapmanı istediğim şey, bunun üzerine çıkmama yardımcı olman. Çünkü, buraya çıkmak bile kolay değildir.

Eğer burada dikkatsizce bir adım atarsam, muhtemelen düşerim.

Tamam, orada dur. Kollarını boynuma koy.

Beni güçlü bir şekilde destekle, evet, tamam.

Tamam, başlıyoruz.

Şimdi benimle bir süre kal, tamam, sadece orada dur.

Tamam, şimdi bana makul olduğunu düşündüğün bir açısal hız ver.

Eğer tamamen makul değil ise sana söyleyeceğim.

Beni itiver, bu iyi.

Vaww ... iyi mi? Şimdi, biraz uzağa gidiver.

Eğer düşersem, beni yakalamaya çalış.

Tamam, şimdi kollarımı kapatıyorum.

Kollarımı açıyorum.

Kollarımı kapatıyorum.

Kollarımı açıyorum.

Tamam, şimdi tamamen başım döndü.

Bu şaka değil, beni durdur? Sadece tut.

Hayır, sadece beni tut, beni tut

Tamam, bana yardım et.

Tamam ... tamam, dersi geçtin

Vay canına! Bilim uğruna fedakârlık

Tamam, ben kötü yaptım.

Eğer, birçok nokta topluluğuna sahip isek,

Daha önceden momentumda tartıştığımız gibi

Noktalar birbiri ile etkileşmektedir

Birbiri ile çekim kuvveti şeklinde etkileşen yıldızlar olabilir.

Birbiri ile bir ip vasıtasıyla bağlı cisimler olabilir.

Daima mevcut olan iç etkileşmelere sahip olabilirler.

Birbirlerini sıçratabilirler, çarpışabilirler, parçalara ayrılabilirler, iç sürtünme ve her şey olabilir.

Eğer bu iki cismi alırsam, örneğin bu cisim buna doğru çekilirse, bu durumda etki tepkiye eşittir ve bu iki kuvvet büyüklükçe aynıdır.

Eğer herhangi bir Q noktası alırsam, onu nerede seçtiğim önemli değil, bu o sistem üzerine herhangi bir tork etkisi yapmayacaktır çünkü bu iki kuvvet birbirlerini yok edecektir.

Ve şimdi, eğer sadece buraya küçük bir “dış” kelimesi eklersek, açısal momentumun son korunumunu tüm görkemiyle elde ederiz

Bir sistemin açısal momentumu, bu yalnızca bir cismin açısal momentumu idi. Bu birçok parçacıklı bir sistemin açısal momentumudur.

Onlar yaylar ile birbirine bağlı olabilir.

Kimyasal patlamalar oluyor olabilir.

Birbirlerine hızla çarpabilirler

Birbirlerini kırabilirler

Eğer bu sistemin üzerinde net bir dış tork yok ise, açısal momentum değişmeyecektir. Çünkü tüm iç torklar etki tepkiden dolayı birbirini yok eder.

Eğer açısal momentumun korunumunu, momentum korunumu ile karşılaştırırsak, momentumun korunumunu cisimler sistemi açısından değerlendirdiğimizde, sistem üzerine bir dış kuvvet olmaması durumunda, momentum korunuyordu.

Şimdi, net dış torkun olmadığı, parçacıklardan oluşmuş bir sistem varsa, açısal momentum korunumludur.

Buz patencisinin keyfi durumunda, kollarınızı kapattığınız zaman eylemsizlik momenti azalıyor ve frekansınız artıyor.

Bir yıldız küçüldüğü zaman, onun yarıçapı küçülür, onun eylemsizlik momenti küçülür, bu yüzden açısal momentumu artmalıdır.

Eylemsizlik momenti, R kare ile orantılıdır.

Bir yıldızın boyutlarını ne belirler? Eğer bu bir yıldız ise, bu durumda bu yıldızın içinde bir fırın var, nükleer fırın vardır.

Nükleer füzyon devam ediyor.

Bu, yıldızın genişlemesini isteyen ısı ve basınç oluşturur.

Diğer taraftan, çekim var ve “üzgünüm, bunu yapamazsın.” der.

“Sizi bir arada tutmak istiyorum.” Aslında, çekim yıldızın çökmesini ister.

Ve doğa, nükleer fırın nedeniyle oluşan bu basınç ve çekim arasında bir denge bulur.

Nükleer fırının tamamen bittiği bir zaman gelir.

Güneşimiz için bu, beş milyar yıl sonra olacak.

Güneş zaten beş milyar yıldır nükleer yakıtlarını yakmaktadır.

Bir beş milyar yılı daha var.

Ve nükleer yakıt bitince, ölü yıldızın artık bıraktığı üç tane üretimi tamamlanmış ürünü vardır.

Ve bu üç tane üretimi tamamlanmış ürün şunlardır: Birincisi beyaz cüce olarak adlandırılır.

Yaklaşık dünya ile aynı yarıçapa sahiptir, yaklaşık 10.000 kilometre; ve beyaz cücenin kütlesi, tipik bir sayı olarak Güneş'in kütlesinin yarısıdır. Ve bunlardan bayağı vardır.

Bu olası son üründen biri.

Bu arada Güneşin akıbeti de böyle olacak.

Böyle bir cismin, yoğunluğu oldukça yüksektir.

ρ yaklaşık olarak 10 üzeri 6 gram bölü santimetre küptür.

Bir başka olasılık, bir nötron yıldızı ile sonuçlanabilir.

Bir nötron yıldızı yaklaşık on kilometrelik bir yarıçapa sahiptir. Ve kütlesi yaklaşık olarak güneşin kütlesinin 1.5 katı. Ve yoğunluğu yaklaşık 10 üzeri 14 gram bölü santimetre küptür. Bu çekirdeklerin yoğunluğundan daha yüksektir.

Ve sonra daha da garip bir olasılık var ki, bir kara delik ile sonuçlanabilir.

Bugün kara delikler hakkında konuşmayacağım. Fakat buna, 8.01 dersinde daha sonra değineceğim.

Ve bir kara delik, tüm pratik amaçlar için, hiç bir büyüklüğe sahip değildir.

Kara deliğin kütlesinin düşündüğümüzden daha büyük olması gerekir;

Yaklaşık üç güneş kütlesi kadar..

Ve böylece yoğunluk sonsuz yüksektir.

Sönen bir yıldızın beyaz cüceye, nötron yıldızına veya kara deliğe dönüşmesi, nükleer yakıtı bittiği zaman çökecek olan yıldızın önceki kütlesine bağlıdır.

Ve bir nötron yıldızının oluşması için, muhtemelen en az 10 güneş kütlesinde veya daha büyük bir yıldızın sönmeye başlaması gerekir.

Bu yüzden güneşimiz bir nötron yıldızı haline gelmeyecektir. Fakat en sonunda bir beyaz cüce haline gelecektir.

Şimdi, mantıklı bir soru sormak olabilir. Neden sadece bu üç olasılık ile son bulmaktadır? Neden bunların arasında bir şey yok? Bakın, 10.000 kilometre ile 10 kilometre arasında büyük bir fark var.

Aralarında başka bir şey yok mu? Ve bu sorunun yanıtı, bu dersin bir parçası olmayan kuantum mekaniğinde yatmaktadır. Fakat onu 8.05'de göreceksiniz.

Neden sadece bu ikisi var? Ve sonra eğer genel göreliliğe girerseniz, neden bu üçüncüsünün olduğunu anlayacaksınız, oldukça tuhaf bir ihtimal.

Bir yıldız söndükçe, iki şey olur.

Her şeyden önce, büyük bir miktarda çekim potansiyel enerjisi kinetik enerji formunda salınır.

Maddeler düşer, bunu çekim çökmesi olarak adlandırırız.

Bu çekim potansiyel enerjisi hemen kinetik enerjiye ve o da sonuçta ısı ve radyasyona dönüşür.

Eğer burada bir cisim, bir parça tebeşir alır ve onu düşürürsem, bunu çekim çökmesi olarak adlandırabilirsiniz.

Çekim potansiyel enerjisi, kinetik enerjiye dönüştürülür ve sonuçta bu da ısıya dönüşür.

Burada içeriye doğru çöken bir yıldız hakkında konuşuyoruz. Ve mevcut olan çekim potansiyel enerjisinin miktarı oldukça büyüktür.

Bu oldukça büyük enerji miktarı salınımına ilaveten, yıldız dönmelidir, çünkü onun eylemsizlik momenti küçülmektedir ve bu yüzden açısal hızı artmalıdır.

Bunun üzerine biraz nicel çalışmalar yapmak istiyorum.

Ve Güneşimiz gibi bir cisim almak istiyorum ve bu cismi şu anki güneşin mevcut yaklaşık 700.000 kilometre olan yarıçapından çökmesini istiyorum.

Güneşin bir nötron yıldızı olamayacağını size söylediğim halde, bunun yaklaşık on kilometre yarıçaplı bir nötron yıldızına çökertmek istiyorum.

Sadece bu konuda biraz bilginiz olsun diye bu değerleri veriyorum.

O halde, yaklaşık 700.000 kilometre yarıçapa sahip güneş gibi bir cisim alıyoruz ve bunu yaklaşık on kilometre yarıçaplı bir nötron yıldızına çöktüreceğiz.

Güneşin kütlesi 2 çarpı 10 üzeri 30 kilogram ve matematikte iyi olanlarınız, bu cismi herhangi bir kütle kaybı olmaksızın, tüm kütleyi koruyarak, on kilometre küçültürse, ne kadar çekim potansiyel enerjisinin salındığını hesaplayabilir. Ve bu inanılmaz bir değerdir. Ve bunu ΔU olarak gösteriyorum.

Bu, yaklaşık 10 üzeri 46 joule olan çekim potansiyel enerjisi kaybıdır.

Ve bu değer gerçekten akıl almaz derecede büyük bir değerdir.

Bu kinetik enerjiye dönüşür ve daha sonra ısı ve radyasyonun her türlü formlarına dönüşür.

Bu değer ne kadar büyük olduğunu anlatabilmek için bir karşılaştırma yapacağım: Eğer güneşi ve güneşin yaşayacağı 10 milyar yılda oluşturacağı enerjiyi alırsanız, yaşam süresinde güneşin toplam enerji üretimi bu değerden 100 kat daha azdır. Ve bu sadece birkaç saniye içinde gerçekleşir.

Bu enerji, güneşin, 10 milyar yıl yaşamı süresince oluşturduğu enerjidir ki akıl almaz bir durumdur.

Güneş, bir yıldızın nötron yıldızına çökmesinden daha az enerji üretmektedir.

Yüz kat daha az.

Ve çökme meydana gelip, oldukça büyük miktarda enerji salındığı zaman, dış katmanlar daha iç merkezlere doğru giriverirler ve dışarı kovulurlar ve bunu süpernova patlaması olarak adlandırırız.

Dış katmanlar tipik olarak bazen 10.000 kilometre bölü saniyelik sürat ile dışarı atılırlar.

Güneşimiz bir nötron yıldızına dönüşmeyecek, fakat bir beyaz cüce haline gelecektir.

Geçen defa Yengeç Bulutsusu hakkında konuştuk. Ve Yengeç Bulutsusu, bir süper nova patlamasının kalıntıları idi.

İster inanın, ister inanmayın.

1054 yılının 4 Temmuzunda,

Havai fişeklerden bahsediyorum.

Süpernova patlaması, Çinli astronomlar tarafından fark edildi.

Onlar bunu misafir yıldız olarak adlandırdı.

Çinli astronomların çok saygınlıkları vardı.

Bunun nedeni, astronomların imparatora danışmanlık yapıyor olmalarıydı.

Gökyüzüne baktılar ve imparator için bir anahtar olduğu bilgisini türettiler.

Onlar kuyruklu yıldızların nasıl oluştuklarını, ya da göktaşlarını ya da gezegenlerin özel bir sıra oluşturmalarını ve kesinlikle misafir yıldızların görünümünü yorumlamayı biliyorlardı.

Ve onlar örneğin, gökyüzünün belli bir kısmındaki bir kuyruklu yıldızın, açlık olacağı, ya da hastalıklar olacağı, kıtlık olacağı, ya da savaş için iyi bir zaman yada savaş için kötü bir zaman olacağı anlamına gelebileceğini biliyorlardı.

İşte bu insanların işleri buydu..

Onlar imparatora danışmanlık yapıyorlardı ve bu yüzden gökyüzünü çok yakından gözetliyorlardı. Bunun abartısı yok.

Bu yıldız patladığı zaman, gündüz haftalarca göründü. Ve yıllar boyunca gökyüzündeki en parlak yıldız idi.

1054 süpernova oluşumu hakkında neden herhangi bir Avrupalı astronom tarafından tek bir rapor olmaması hayrete düşürücü; bu oldukça şaşırtıcı.

Şimdi, Hollanda da ve İngiltere'de her zaman gökyüzünün bulutlu olduğunu ve bu yüzden gökyüzünü göremediklerini iddia edebilirsiniz.

Tamam, bunda haklı olabilirsiniz.

Fakat diğer taraftan İtalya, İspanya ve Fransa da var.

Ve bu çok garip. Bu kültürel bir şey olmalı.

Nedense 11. yüzyılda, Avrupa gökyüzüne bakmaya pek ilgi göstermemiş.

Bu, gözden kaçırabilecekleri bir şey olamazdı; fakat kaydetmemişler.

Şimdi, bu yıldızın 700.000 kilometreden 10 kilometreye çöktüğü zaman, bu yıldızın dönmesini incelemeye devam etmek istiyorum.

Eğer değerleri biraz yuvarlarsak, bu durumda yarıçaptaki azalma yaklaşık 100.000 kattır.

Gerçekten sadece 70.000 dir Fakat bunu 100.000 olarak alalım ve bu 10 üzeri 5 dir.

Bu R karenin, 10 milyar azalacağı anlamına gelir.

Eğer R kare 10 milyar kadar azalırsa, bu durumda eylemsizlik momenti 10 milyar kadar azalacaktır ve böylece ω , 10 milyar kadar artmalıdır.

Eğer kendi eksenini etrafında 100 günde dönen bir yıldız ile başlarsanız, bu bir nötron yıldızı olduğu zaman, kendi etrafında dönmesini bir milisaniyede tamamlar.

10 kilometrelik bir nötron yıldızı.

Yaklaşık güneş ile aynı kütleyle sahip, biraz fazla.

Ve etrafında yaklaşık bir milisaniyede döner.

Ve nötron yıldızının ekvator kısmında, ışık hızının yaklaşık % 20 sine ulaşırsınız.

Gökyüzünde, yüzlerce nötron yıldızı biliyoruz.

Bunlardan ikisi, aslında 1.5 milisaniye dönme periyotlarına sahiptir.

Ve birçoğu daha yavaş; neden böyle olduğunu geçen defa tartıştık.

Hatırlayın, Yengeç Atarcası durumunda, atarcalar yavaşlıyorlardı. Çünkü doğa bu atarcaların dönme kinetik enerjilerini alıyor ve onu enerjinin diğer formlarına dönüştürüyor.

Yengeç Atarcası durumunda, radyo dalgaları emisyonu, optik emisyon, gama ışınları, X- ışınları ve hatta jetler oluşuyor.

Yengeç Atarcası' nın her gün 36,4 nanosaniye yavaşlıyor olması, oldukça büyük bir güç çıkışına sebep oluyor.

Bu değeri hala hatırlıyorum.

Sanırım 6 çarpı 10 üzeri 31 watt idi.

75 yılda, atarca bir milisaniye yavaşlar ve 75 yılda, 33 milisaniye, 34 milisaniye oluyor.

Eğer yıldız, burada yıldız yok, bu bir disk idi değil mi? Eğer yıldız çoğu yıldızların sahip olduğu gibi, orijinal manyetik alana sahip ise,

Ohh, yıldızımı kaybettim, fakat bir şey olmaz.

Bu durumda, çöküş anında, manyetik alan oldukça şiddetli olacaktır.

Ve manyetik alanın neden daha şiddetli olduklarını 8.02 dersinde öğreneceksiniz.

Bu nötron yıldızlarının çoğu, oldukça güçlü manyetik alanlara sahiptirler ve çoğu oldukça hızlı döner.

Ve iyi anlamamızın sebebi, onların bize ışıdamalarıdır.

Onlar bize radyo dalgası ışıması şeklinde ışıdarlar.

Ve biz radyo ışımasının iki ışını olduğuna inanırız. Sanki nötron yıldızının iki manyetik kutbu arasından geçen deniz feneri gibi, Ve nötron yıldızı döndükçe ve sizde dünya üzerinde oldukça, eğer sizin üzerinizden süpürürse, tarama yaparsa, radyo ışımasını, görürsünüz, hiçbir şey görmüyorsunuz başka.

Radyo ışımasını görüyorsunuz, radyo ışımasını görüyorsunuz.

Birçok atarcanın ışınları dünya yüzeyini taramadığından kesinlikle onları göremeyiz.

Ve Yengeç atarcası durumunda, Bu atarca daha da özel. Çünkü bu atarca ayrıca bizlere optik ışınlar, x-ışınları ve gama ışınları şeklinde de ışıma yapar.

Ve şimdi sizlere bazı slâytlar, süpernova patlamalarını, muhteşem ışık çıkmalarını göstermek ve dönmeyi daha detaylı bir şekilde tartışmak istiyorum. Bu yüzden sınıfı tamamıyla karanlık yapmak zorundayım.

Başlıyoruz.

Ve böylece ilk slâyt sadece dönen nötron yıldızıdır ve eğer dönme eksenini, manyetik dipol eksenini ile çakışmıyorsa ve eğer biz nasıl oluştuklarını anlamadığımız bu radyo ışınlarına sahip isek, döndükleri zaman sizlerin üzerinizden nasıl taradıklarını orada görebilirsiniz.

Şimdi bunun biraz yapay olduğunu, çünkü neden dönme ekseninin manyetik dipol ekseninden farklı olduğunu söyleyebilirsiniz. Ehhh, bu astronomide bir istisna değildir.

Dünyanın kendisinin, manyetik dipol eksenini ile dönme eksenini çakışmamaktadır.

Aslında, bizim gezegen sistemimizdeki hemen bütün gezegenler dönme eksenlerine geniş bir açı yapan manyetik dipol eksenlerine sahiptir. Bunu anlamak kolay değildir ama, bu astronomi de istisnadan ziyade bir kuraldır.

Ve bu durumda, bu mavi çizgiler, manyetik alan çizgilerini temsil etmektedir.

İstedığınızden daha fazlasını 8.02 dersini aldığınız zaman göreceksiniz.

Bu Jocelyn Bell.

Jocelyn Bell, İngiltere'nin Cambridge şehrinde Anthony Hewish'in danışmanlığı altında yüksek lisans öğrencisi idi. O atarcaları keşfetti.

Anthony Hewish' in yapmış olduğu teleskopu kullanarak radyo verilerini buldu.

Orada periyodik sinyalleri, eğer puls olarak adlandırmak istiyorsan pulsları buldu.

Burada onlardan bazılarını altta görmektesiniz. Ve onlar 1.3 saniye aralıklıdır.

Ve o bunu Anthony'e rapor etti ve Anthony "kesinlikle onların hiçbir anlamı yoktur dedi."

Gökyüzünde bize 1.3 saniye aralıklarla sinyaller verecek bir cisim olmadığını söylemek istiyorum. Onlar bunun bir asansörden, belki inek sağma makinesinden ya da tabiatın kendisinden, motosiklet gibi şeylerden olduğunu varsaydılar ve böylece onlar bunun gerçekten bir insan kaynaklı bir olgu olup olmadığını kontrol etmek için her türlü makul şeyi yaptılar.

Fakat hiçbir şey bulamadılar ve Jocelyn inanılmaz parlak zekası yardımıyla, gökyüzünde cisim olduğunu ve radyasyonun dünyadan gelmediği konusunda Anthony 'i ikna etti.

Ve onlar bunun sadece yüzyılın keşfi olmadığını aynı zamanda tüm insanlık tarihinin keşfi olduğunun farkına vardıkları zaman, “bize muhtemelen radyo sinyallerini kim gönderebilir ve 1.3 saniyelik aralıklarla onu kim modüle edebilir” dediler. Sadece akıllı yaratıklar hayat bunu yapabilirler. Ve böylece bu ilk cismi, Küçük Yeşil Adam olarak adlandırdılar.

Bu arada bunu 1967 yılında keşfettiler.

Fakat yayınlanmadan hemen önce, 1.3 saniye periyottan oldukça farklı bir frekansa sahip ikinci bir atarcayı keşfettiler. Ve sonra bunu akıllı yaratıkların yapmadığını ve bunu astronomik bir cismin yaptığının farkına vardılar.

Bu yüzden bu ikinci cisme, Küçük Yeşil Adam II adını verdiler. Fakat bu iddiadan oldukça çabuk vazgeçtiler. Şimdi hikâyenin acıklı kısım geliyor.

1974 yılında Anthony Hewish, bu keşif için Nobel Ödülü'ne layık görüldü.

Ve bunu fazlaca hak eden, gerçekten bunu keşfeden, bunun bir astronomik cisim olduğunu kanıtlayan kişi olan Jocelyn, Nobel Ödülü'ne ortak edilmedi.

Bu üzücü bir şey, bu üzücü.

Bunu Jocelyn ile birkaç kez konuştum.

Onu çok iyi tanıyorum.

Ve gerçekten sanırım, o bunu önemsemiyor.

Hala, insanlar, 1974 yılında verilen ödülünden yıllar sonra bile, bu konuda kendilerini mutsuz hissediyorlar.

Her zaman bu muhteşem keşif hakkında düşünürüm, Jocelyn hakkında düşünürüm ve bu büyük haksızlık üzerine düşünürüm.

Burada Yengeç Bulutsusunu yeniden görmekteyiz. Bunu daha önceden görmüştük.

Burada gördüğünüz kırmızı çizgiler, patlama meydana geldiği ve dış kısımların iç kısımlara çarparak geri sıçradığı zaman püskürerek dağılan maddeler sonucu oluşmuştur.

Ve başlangıçta yaklaşık olarak 10.000 kilometre bölü saniyelik bir sürate sahiptiler, ve yaklaşık 1000 yıl sonra bu süratleri bir şekilde yavaşladı.

Fakat burada, merkezde atarcayı görmektesiniz ve geçen defa bunun atarca olduğuna dair sizlere inandırıcı deliller göstermiştim. Çünkü bize ışıldamaktadır.

Yaklaşık 7 ışık yılı çapa sahip.

Ve bizden yaklaşık 5.000 ışık yılı bir mesafede.

Uzaydaki açısal büyüklük bakımından, bu yaklaşık 5 yay dakikasıdır. Ve bu ise ayın açısal yarıçapının yaklaşık 6 da biridir.

Bu çizim, Navajo Kızılderilileri tarafından bir mağara içine çizilen resimdir. Ve bazı insanlar 1054 süpernova patlamasının, bir şekilde Navajo Kızılderilileri tarafından görüldüğüne dair tahminde bulunmuşlardır.

Belirsiz, ama olasılığı var.

Ay kesinlikle süpernovaya çok yakın olmaktadır, fakat aynı zamanda Venüs'e de çok yakın olmaktadır. Fakat bu tam olarak ispatlanmış bir şey değildir fakat olasılığı var.

Burada içinde bir süper nova patlaması olmuş bir galaksi görmektesiniz. Ve süpernova patlaması meydana geldiği zaman, galaksideki tüm yüz milyar yıldızdan daha parlak olabilir.

Bu optik ışık olarak ne kadar enerji yayınlandığının bir gösterimidir.

Burada, bunun tüm galaksiler kadar daha parlak olduğunu görmektesiniz.

Bu fotoğrafın çekilmesi ile bu fotoğrafın çekilmesi arasında yaklaşık bir yıl vardır.

Bu 1972 yılında meydana geldi ve bir yıllık süre içinde, bu yıldızı hala oldukça açık bir şekilde görebilirsiniz. Fakat şiddet olarak biraz zayıflamıştır.

Ve sonra Şubat 1987 de, 23 Şubatta büyük bir şey gerçekleşti.

Bizim galaksimize uydu galaksi olan büyük Macellan Bulutu içinde bir süper nova patlaması meydana gelmiştir.

Yaklaşık 150.000 ışık yılı uzaklıkta, ve onu Güney Amerika'da gözleyen bir astronom vardı.

Onun ismi Ian Shelton idi. ve o yıldızlara bakmak için kubbeyi terk etti ve dışarıda ihtiyaç molası verme kararı verdi.

Ve ihtiyacını giderirken

Bunlar kendisinin sözleri.

Büyük Macellan bulutlarına baktı ve "Hey, bu komik! O yıldızın orada olmaması gerektiğini söyledi. Ve O şimdi 1987A olarak bilinen yaşadığımız yere oldukça yakın olan büyük bir süpernova patlamasının kaşifi olarak bilinir.

Ve bir sonraki slayt, Büyük Macellan bulutlarının aynı bölümünü göstermektedir ve açıkça bir parlak yıldız olduğunu görebilirsiniz.

O bunu çıplak gözle görebildi.

Bu fotoğraf 1987A süpernova patlamasının Hubble Uzay Teleskobu tarafından alınmış bir görüntüsü.

Burada gördüğünüz içteki halka, yaklaşık 25.000 yıl önce süpernovaya dönüşmeden önce, yıldızın patlaması ile saçılan maddeler sonucu oluşmuştur.

Gazları ekvatoruna çıkardı.

Bu izdüşüm etkisi nedeniyle elips gibi görünüyor olmasına rağmen, gerçekten bir dairedir.

Ve bu madde halkası yaklaşık 8 kilometre bölü saniyelik bir hızla, dışarı doğru hareket etti ve yaklaşık 8 ışık ayı bir yarıçapa sahiptir.

Ve böylece süpernova patlamasından 8 ay sonra, ultraviyole ışık ve x-ışınları bu madde halkası ile buluştular ve onu uyardılar. Ve böylece görünür hale geldi.

Süpernova patlamasından önce bu halka görünmüyordu.

Birkaç yıl içinde atılan maddelerin yaklaşık 10000 kilometre bölü saniyeden biraz daha fazla bir hızla bu halkanın içine girmesini bekliyoruz. Ve sonra yine bazı gerçek havai fişek gösterilerini bekliyoruz.

Kum saati olarak adlandırılan bu iki halka üzerine insanların hemfikir olduğu bir açıklama yok.

Onlar oldukça gizemli. Bunlar hakkında yazılmış olan makaleler var ve insanlar başlangıçları hakkında hemfikir değiller.

Galaksimizde ve büyük manyetik bulutlardaki süpernova patlamaları oldukça nadirdir.

Yaklaşık yüz yıldan daha fazla zamanda bir taneden daha fazla beklemiyoruz.

Çıplak gözle görülebilen bir önceki patlama 1604 yılında idi ve bu Kepler süpernovası olarak adlandırılır.

Ve 1987A, gerçekten dünyanın yörüngesindeki bu modern ekipmanlar, radyo gözlemevleri, x-ışını gözlemevleri ile incelenilen ilk süpernova patlamasıydı.

Biraz şanslı iseniz, hayatınızda bir süpernova patlamasını çıplak gözle görebilirsiniz.

Şansınız % 10 dan daha fazla değildir. Bu yüzden belki de tesadüf olarak dışarıda, şu an oldukça meşhur bir insan olan Ian Shelton'ın in yapmış olduğu gibi, ihtiyaç molası vermeniz görmenize yardım edebilir.

Gelecek derste görüşürüz.