



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 11

Bugün, sadece iş ve enerjiden bahsedeceğiz.

İlk olarak, tek boyutlu durumu ele alalım.

Kuvvetin yapmış olduğu iş, cisim A noktasından B noktasına gittiğinde,

Burası A noktası ve burası B noktası.

Kuvvet bu yöndedir veya

İster bu yönde, isterse diğer yönde olsun, kuvvet ve dx aynı yönde ise, iş, A noktasından B noktasına bu kuvvetin dx integrali olur.

İşin biriminin Newton-metre olduğunu görebilirsiniz.

İş birimi Newton-metredir

Bunu joule olarak adlandırırız.

Eğer bu yönde birden fazla kuvvet varsa, bu kuvvetleri vektörel olarak toplarsınız ve bu kuvvetlerin yapmış olduğu iş budur.

İş skalerdir, böylece sıfırdan büyük, sıfır ya da sıfırdan küçük olabilir.

Kuvvet, hareket yönüne ters yönde ise, bu durumda iş sıfırdan küçüktür.

Eğer aynı yönde iseler, bu durumda, iş sıfırdan büyüktür.

F eşit ma dır. Bu nedenle, bunu $m dv / dt$ olarak da yazabilirim.

Ve dx yerine $v dt$ yazabilirim.

Bunu yerine koyarım, böylece, A dan B ye giderken yapılan iş, A dan B ye integral çarpı m kere dv/dt şeklinde olan kuvvet, çarpı $v dt$ şeklinde olan dx dir.

Şimdi ne yapabileceğime bakınız.

Zamanı yok edebilir, ve integrali hız üzerinden alabilirim.

İntegral V_A hızından V_B hızına m çarpı v çarpı dv olur.

Bu çok kolay bir integraldir.

Yani 1 bölü 2 m v karedir. Ve bunu v_A ve v_B arasında almak zorundayım, Yani, 1 bölü 2 mv_B kare eksi 1 bölü 2 mv_A kare dir.

1 bölü 2 mv kareye fizikte "kinetik enerji" deriz ve bazen sadece K yazarız. Bu hareket enerjisidir.

Ve böylece, kuvvetin A dan B ye hareket etmesi ile yapılan iş B noktasındaki kinetik enerji eksi A noktasındaki kinetik enerjidir. Ve bu iş-enerji teoremi olarak adlandırılır.

Eğer iş pozitif ise, bu durumda A noktasından B noktasına giderken kinetik enerji artmaktadır.

Eğer iş sıfırdan küçük ise, bu durumda kinetik enerji azalır.

Eğer iş sıfır ise, bu durumda kinetik enerjide değişiklik olmamıştır.

Basit bir örnek yapalım.

Bu iş-enerji teoremi uygulaması; A noktasından B noktasına taşımak istediğim bir cisimim var.

Bunu yerçekiminin yapmasını istiyorum.

Ona bir hız veriyorum.

Bu v_A hızı, ve aralarındaki mesafe h, ve bu benim artan y yönüm olsun.

Cisim m kütesine sahiptir. Bu nedenle kuvvet olarak mg yerçekimi kuvveti vardır. Eğer ona bir vektör gösterimi vermek istiyorsam, bu m çarpı g y şapkadır. Çünkü bu benim artan y değerimdir.

Cisim B noktasını ulaştığında, durma durumuna gelir. Ve şimdi sizlere h nin değerinin ne olduğunu soracağım.

Bunu geçmişte farklı bir şekilde yapmıştık.

Şimdi bunu sadece enerjiyi göz önünde bulundurarak yapacağız.

A noktasından B noktasına giderken yerçekimi kuvvetinin yaptığı işi yazabilirim. Ve bu iş, kesinlikle negatiftir.

Kuvvet bu yöndedir ve hareket bu yöndedir. Bu nedenle A dan B ye giderken yerçekiminin yapmış olduğu iş eksi mgh ' a eşittir.

Bu B noktasındaki kinetik enerji olmalıdır. Böylece B noktasındaki kinetik enerji eksi A noktasındaki kinetik enerji sıfır olur. Çünkü burada durmaktadır. Bu durumda 1 bölü 2 m v_A kare eşit mgh olur.

m ler sadeleşir ve ulaşacağı yüksekliği, v_A nın karesi bölü $2g$ olarak elde edersiniz.

Ve bu daha önce gördüğümüz bir şeydir.

Bunu geçen derslerde türetmek bizim için çok kolaydı. Fakat şimdi bunu tamamen enerjiji göz önünde bulundurarak yaptık.

İkinci bir örnek yapmak istiyorum.

Cismi A dan B ye kaldırıyorum.

Ben, Walter Lewin.

Onu A dan alıyorum.

Burada bir hız yok. v_A sıfır.

Burada da bir hıza sahip değildir.

Ve onu buradan buraya getiriyorum.

Bu yönde bir mg çekim kuvveti var, Walter Lewin tarafından uygulanan kuvvet, bu yönde olmalıdır. O halde, hareket ve benim kuvvetim aynı yöndedir. Böylece yaptığım iş açıkça pozitif mgh dır.

Cisim A noktasından B noktasına gittiği zaman, Walter Lewin'in yaptığı iş artı mgh dır.

Yerçekiminin yapmış olduğu iş eksi mgh idi.

Bunu biraz önce gördük.

Böylece yapılan iş net olarak sıfırdır. Ve orada gerçekten kinetik enerjide bir değişiklik olmadığını görmektesiniz.

Burada, başlangıçta hiçbir kinetik enerji yoktu ve orada da hiçbir kinetik enerjisi yok.

Eğer evrak çantamı alır ve buraya kaldırırsam, pozitif iş yaparım.

Eğer evrak çantamı alır ve aşağıya indirirsem, negatif iş yaparım.

Pozitif iş yaptığımda, yerçekimi negatif iş yapar.

Şimdiki yaptığım gibi, negatif iş yaptığım zaman, yerçekimi pozitif iş yapar.

Bunu bütün gün boyunca yapabilirim ve yapmış olduğum net iş sıfırdır.

Pozitif iş, negatif iş, pozitif iş, negatif iş.

Çok yorulurum.

Yorulma ile yapılan işi, sakın karıştırmayın.

Hiç iş yapmamış olabilirim ama çok yorgun olabilirim.

Eğer burada 24 saat böyle durursam, yorulacağım konusunda hepimizin hem fikir olduğunu sanırım.

Hiç bir iş yapmam.

Evrak çantasını buraya koyabilirim ve sadece masa benim için evrak çantasını tutar.

Yani herhangi bir iş yapmadan çok yorgun olabileceğiniz açıktır.

Bu, fizikte işi tanımlama şeklimizdir.

Şimdi bir boyuttan üç boyuta geçelim.

Göreceğiniz gibi çok farklı değildir.

Üç boyutta A noktasından B noktasına gidiyorum ve şimdi sadece x yönünde bir kuvvetim olmayabilir; fakat kuvvet her yöndedir.

Şimdi A dan B ye gidince kuvvetin yapmış olduğu iş F nokta çarpım dr dir.

r üç boyutlu konumdur, ve dr küçük yer değiştirmedir.

Eğer bu A dan B ye gitme durumu ise, o zaman dr budur. Eğer bu yönde gidiyorsanız, çok küçük dr vektörü olur.

Ve burası, bu küçük dr vektör olacaktır.

Ve kuvvetin kendisi burada ise bu şekilde, orada ise bu şekilde olacaktır.

Açıkçası kuvvet, bu gidilen yolda değişebilir.

Kuvvet, F_x x şapka artı F_y y şapka artı F_z z şapka şeklinde olsun.

Ve dr nin genel vektör gösterimini,

dr eşittir dx x şapka artı dy y şapka artı dz z şapka şeklinde yazalım.

Bundan daha genel olamaz.

Cisim A dan B ye hareket ettiği zaman, kuvvetin yaptığı iş, bu F çarpı dr nin entegralidir.

İlk olarak dr'nin entegralini küçük yer değiştirmesi üzerinden alalım. Bu durumda dW işini elde ederim.

Bu basit olarak F_x çarpı dx tir.

Bu bir skalerdir

Bir nokta çarpımıdır.

Artı F_y dy artı F_z dz .

Eğer kuvvet dr mesafesi kadar yer değıştirirse, bu çok küçük bir iş miktarıdır.

Şimdi tüm W işini elde etmek için, tüm yol boyunca entegral almam gerekir.

A dan B ye, yani A dan B ye entegral; A dan B ye entegral.

Artık buna ihtiyacım yok.

A dan B ye entegral, A dan B ye entegral.

Başarıyla bitirdik, çünkü zaten bunu yapmıştık.

Bu tek boyutlu bir problem ve bu tek boyutlu problem durumunda zaten sonucu biliyoruz.

Entegral $F dx$; bunu $\frac{1}{2} m v_B^2$ kare eksi $\frac{1}{2} m v_A^2$ kare olarak elde ettik. Bu durumda açıkça hız x yönündedir. Çünkü bu tek boyutlu bir problemdir.

Ve tek boyutlu problem, ele aldığım hızın bu yönde bileşeni olduğunu gösterir.

Bu yüzden $\frac{1}{2} m v_B^2$ kare,

Ve bu x bileşeni.

Eksi v kare ve bu da x bileşenidir.

Bu da aynı zamanda tek boyutlu bir problemdir. Şimdi, hızın y bileşenini ele almam haricinde her şey aynıdır.

Böylece $\frac{1}{2} m v_{By}^2$ kare eksi $\frac{1}{2} m v_{Ay}^2$ kare artı $\frac{1}{2} m v_{Bz}^2$ kare eksi $\frac{1}{2} m v_{Az}^2$ kare elde ederim.

Ve şimdi başarıyla bitirdik, çünkü burada gördüğünüz şey, x yönündeki bileşeni, v_x^2 kare y bileşeni, v_y^2 kare z bileşeni.

Ve eğer bu üçünü toplarsanız, bu durumda hızın karesini elde edersiniz.

Süratin karesini elde edersiniz.

Eğer bu üç terimi toplarsanız, v_B^2 kareyi elde edersiniz.

m yi unuttum.

Oraya m yi koyalım.

$\frac{1}{2} m v_B^2$ kare ve burada A_x^2 kare, A_y^2 kare, A_z^2 kare eksi v_A^2 kare yi görmektesiniz. Ve daha önce elde etmiş olduğumuz aynı sonucu elde ettik. Yani, yapılan iş, kinetik enerjideki değişime eşittir.

Her zaman bunları sürat olarak düşünebilirsiniz

Hızın karesi süratin karesidir.

Bu hızın büyüklüğünün karesidir.

Tamam, yerçekimine dönmek istiyorum ve üç boyutlu durumda çalışmak istiyorum.

Bu x olsun, bu y olsun, ve bu z olsun.

Ve burası, y nin artan değeri.

Üç boyutta A noktası burası ve B noktası burası.

Böylece üç boyut hakkında kabaca fikir edinebilirsiniz.

Ve h , y_B eksi y_A eşittir.

Bu verilmiştir.

A ve B arasında bir yükseklik farkı söz konusudur.

Yerçekimi kuvveti var.

Cisim, A dan B ye hareket ediyor.

Bunun rastgele bir yoldan hareket ettiğini farz edelim.

Tabii ki, ağırlık kendi başına bunu yapamaz.

Eğer böyle garip bir şekilde giderse başka bir kuvvetin olması gerekir.

Fakat sadece şimdi yerçekimi tarafından yapılacak işi hesaplıyorum.

Şimdilik diğer kuvvetleri ihmal edeceğim.

Sadece yer çekiminin yaptığı işi bilmek istiyorum.

Cisim m kütleline sahiptir, bu nedenle mg kuvveti var. Ve kuvveti vektör gösteriminde yazabilirim.

Bu yöndedir.

Şimdi sadece F_y için bir değerinin olduğunu biliyorum. Fakat F_x in değeri yoktur, ve F_z in değeri yoktur. Onlar sıfır.

Ve böylece F_y eşit eksi mg .

Ve böylece eğer şimdi A dan B ye giderken işi hesaplarsam, bu A dan B ye giderken F nokta çarpım dr nin integralidir. Ve sahip olduğum tek terim yalnızca y yönü ile ilgili olandır.

Diğer terimlerin herhangi bir katkısı yoktur, böylece A dan B ye giderken $F_y dy$ nin integrali olur.

Ve bu eksi mg ye eşittir, çünkü eksi mg çarpı y_B eksi y_A var. Ve bu eksi mg çarpı h dir.

Burada, bunun tamamen seçtiğim yoldan bağımsız olduğunu görmektesiniz.

Nasıl hareket ettiğim önemli değil.

Önemli olan tek şey, A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkıdır.

Eğer B, A dan yukarıda ise h sıfırdan büyük olacaktır.

Eğer B, A nın aşağısında ise sıfırdan küçük olacaktır.

Eğer B, A ile aynı yüksekliğe sahipse, sıfıra eşit olacaktır.

Her ne zaman bir kuvvet tarafından yapılan iş yoldan bağımsız ise,

sadece başlangıç ve bitiş noktaları tarafından belirleniyor ise,

Bu kuvvet "korunumlu kuvvet" olarak adlandırılır.

Ve bu Fizikte çok önemli bir kavramdır.

Bunu tekrarlamak istiyorum.

Her ne zaman bir kuvvet tarafından yapılan iş bir noktadan diğerine giderken yoldan bağımsız ise,

Sadece başlangıç noktası ve bitiş noktası tarafından belirleniyor ise,

Bunu korunumlu kuvvet olarak adlandırırız.

Yerçekimi korunumlu bir kuvvettir.

Bu çok açıktır.

A noktasından B noktasına garip bir yoldan giderken bir iş yaptığımı varsayalım.

Bu durumda, yaptığım işin artı mgh olduğu çok açıktır. Çünkü, kesinlikle benim kuvvetim tam olarak yerçekimi ile ters yöndedir.

Yer çekimi ne zaman pozitif iş yaparsa, ben negatif iş yapıyor olurum.

Eğer onu pozitif iş yaptığım zaman ele alırsam, yerçekimi negatif iş yapıyor.

Yine, tüm dikkatimi, yalnızca yerçekiminin var olduğu bir duruma toplamak istiyorum.

Sadece yerçekimi olduğu zaman, bu durumda A dan B ye giderken yapılan eksi mgh işi, eksi mg çarpı y_B eksi y_A ya eşittir. Ve bu B noktasında kinetik enerji eksi A noktasında kinetik enerjidir.

Bu iş-enerji teoremidir.

Buna dikkatlice bakın.

Bunu yeniden düzenleyebilirim, B li terimleri bir tarafa getirebilirim. A lı terimleri bir tarafa getirebilirim.

Bu durumda, mg çarpı y_B artı B noktasındaki kinetik enerji eşit mg çarpı y_A artı A noktasındaki kinetik enerji ifadesini elde edebilirim.

Ve bu gerçekten şaşırtıcı bir sonuçtur.

Biz mgy ye, bir isim veririz ve bunu "çekim potansiyel enerjisi" olarak adlandırırız. Çoğu zaman bunun için PE yazarız. Ya da bunun için U yazarız.

Ve burada gördüğümüz şey, B noktasındaki kinetik enerji ile B noktasında potansiyel enerjinin toplamının, A noktasındaki kinetik enerji ile A noktasında potansiyel enerjinin toplamına eşit olduğudur.

Biri diğerine dönüştürülebilir, tekrar geriye dönüştürülebilir.

Kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüştürülebilir ve potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürülebilir. Fakat "mekanik enerji" olarak adlandırdığımız bunların toplamı, korunumludur.

Ve mekanik enerji, sadece eğer kuvvet korunumlu kuvvet ise, korunumludur.

Bu son derece kullanışlıdır.

Bunu birçok kez kullanacağız. Fakat çok dikkatli olmanız gereklidir.

Oldukça tehlikeli bir araçtır. Çünkü, sadece kuvvet korunumlu olduğu zaman doğrudur.

Yay kuvveti de korunumludur, Fakat örneğin, sürtünme korunumlu bir kuvvet değildir.

Eğer bir cismi buradan buraya hareket ettirsem;

Bu cismi hareket ettirdiğimi ve doğrusal bir yol boyunca gittiğimi varsayalım. Bu durumda sürtünme negatif iş yapıyor, ben ise pozitif iş yapıyorum.

Fakat şimdi buradan buraya bu yol boyunca gittiğimi varsayalım.

Çok fazla iş yapmam gerektiğini görebilirsiniz.

Sürtünme korunumlu bir kuvvet değildir.

Sürtünme kuvveti sabittir ve sürtünme katsayısına bağlıdır; kinetik sürtünme katsayısı daima aynıdır.

Hareket ettikçe, sürtünme kuvvetinin üstesinden gelmek zorundayım. Ve eğer burada bütün yolu izleyerek buraya gelir ve sonra istediğim bu noktaya geri dönersem, bu durumda en kısa mesafeden gitmeye kıyasla oldukça fazla bir iş yapmış olurum.

Sürtünme bir kuvvetin korunumlu olmadığına klasik bir örneğidir.

Eğer bu sonuca bakarsam -

Çekim potansiyel enerjisi ve kinetik enerjinin toplamı yerçekimi kuvveti için korunumludur.

Bu durumda sıfır kinetik enerjiyi nereye koyacağımız aşikardır.

Sıfır kinetik enerji cisim herhangi bir hıza sahip olmadığı durumdur. Çünkü kinetik enerji eşit $\frac{1}{2} m v^2$ karedir

Yani, eğer cisim bir hıza sahip değilse, bu durumda kinetik enerji yoktur.

Peki ya potansiyel enerji? O zaman kesinlikle, y eşit sıfır olduğu zaman, potansiyel enerjinin sıfır olduğunu söyleyeceksiniz. Çünkü biz potansiyel enerjiyi böyle tanımlamıştık.

Görüyor musunuz? mgy çekim potansiyel enerjisidir.

O halde y sıfır olduğu zaman, U sıfırdır şeklinde düşünebilirsiniz.

Böyle düşünmemek mantıklı değil.

Fakat nerede y sıfırdır? Dünya'nın yüzeyinde y sıfır mı? Veya ders salonunun zemininde y sıfır mıdır? Veya burada y sıfır mıdır, ya da çatıda y sıfır mıdır? U yu nerede sıfıra eşit olarak seçme konusunda tam olarak serbestsiniz?

A ve B noktalarının birbirine oldukça yakın olduğu, yerçekimi ivmesi, g, nin değerinin her iki noktada da neredeyse aynı olduğu sürece bu önemli değildir.

Bu durumda önemli olan tek şey ne kadar dikey olarak ayrılmış olmalarıdır.

Tek önemli olan şey U_B eksi U_A dır.

U_B eksi U_A , mgh olacaktır.

Sadece önemli olan h dir, ve bu durumda gerçekten istediğiniz yeri sıfır olarak seçebilirsiniz

Bunu görmek kolaydır.

Burada A noktasının ve burada B noktasının olduğunu varsayalım.

Ve bu uzaklığın h olduğunu farz edelim.

Eğer A noktasındaki potansiyel enerjiyi sıfır olarak seçmeyi tercih edersem, burada bir sorun olmaz.

Böylece bu U 'yu sıfır olarak seçebiliriz.

Bu durumda U yu artı mgh olarak seçmeniz gerekir.

Eğer, "Hayır, bunu yapmak istemiyorum, bunu sıfır olarak seçmek istiyorum" dersiniz.

Olabilir.

Bu durumda bu, eksi mgh olur.

Eğer bunu sıfır olarak seçmek istiyorsanız, bu da olabilir.

Bu durumda, bu pozitif çekim potansiyel enerjisi olacaktır ve bu, şundan bu kadar daha miktar fazla olacaktır.

Eğer "Bunu sıfır olarak seçmek istiyorum", dersiniz, kesinlikle aynı olur.

Önemli olan, potansiyel enerjiler arasındaki farkın ne olduğudur.

Mekanik enerjinin korunumu uyguladığımız zaman bize gerekli olan budur.

Bize gerekli olan şey, cismin kinetik enerjisinin nasıl değiştiğini değerlendirmektir.

Yani nereyi sıfır olarak tercih edeceğiniz tamamen size kalmıştır.

A ve B birbirine yakın oldukları sürece ve g yerçekimi ivmesinde gözle görülür bir değişiklik olmadığı durumda sıfırın seçimi size kalmıştır.

Bu ders sona ermeden önce, g nin değiştiği durumları da ele alacağım.

Dünyanın yüzeyinden çok uzaklara giderseniz g değişir.

İlk olarak bunu yapalım.

Mekanik enerjinin korunumu sonucuna bakalım.

Çok güçlü bir kavramdır ve yerçekimi ile ilgilendiğimiz sürece, bunu daima kullanabilirsiniz.

Burada masanın üzerinde hız trenine benzer bir şey görüyorsunuz, bu yönde bir cismi kaydıracağım.

Onu biraz daha temizleyelim.

Bu hız treni burada.

Bu bir daire ve sonra yeniden yukarı gidiyor.

Ve çemberin yarıçapı R olsun.

Bu A noktası olsun.

Onu sıfır hız ile serbest bırakayım.

Şimdilik sürtünme olmadığını varsayıyorum.

Bu nokta B noktası

Ve burayı y eşit sıfır olarak belirliyorum, ya da daha önemlisi, bunu U eşit sıfır olarak belirliyorum.

Ve bu yön, pozitif y yönü.

A noktasında cismin bir hızı, bir sürati yoktur.

Şüphesiz B de hızı ve sürati olacaktır.

Potansiyel enerjinin bir kısmını kinetik enerjiye dönüştürmüştür.

Bu C noktasında, maksimum hıza ulaşır, hatta tüm potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürmüştür.

Ve bu D noktasında, eğer bu noktaya ulaşırsa, v_D hızının olduğunu söyleyelim.

Tamam, bu seviyenin h kadar üzerindeki A noktasından başlıyorum. Ve şimdi mekanik enerjinin korunumu uyguluyorum.

Ve U_A artı A noktasındaki sıfır olan kinetik enerjiyi biliyorum.

Bu U_B artı B noktasındaki kinetik enerjiye eşit olmalı, U_C artı C noktasındaki kinetik enerjiye eşit olmalı, U_D artı D noktasındaki kinetik enerjiye eşit olmalıdır.

Bu eğer hiç sürtünme yoksa, eğer başka kuvvetler de yoksa, sadece yerçekimi varsa yazılabilir.

Bu yüzden kaybımız yok... Hiçbir enerji sürtünme olarak kaybolmamaktadır.

Bu yükseklik farkının $2R$ olduğunu biliyoruz.

Ve şimdi bunu genel olarak, y terimi için yazabilirim.

B noktasını alıyorum.

Ve bunun sıfır çizgisinin y kadar üzerinde olduğunu kabul edelim.

Bu durumda şimdi U_A y , mgh a eşit yazabilirim.

Bu başladığımda verilmiştir.

Bu sahip olduğum tüm enerjidir.

Bu benim toplam mekanik enerjim idi.

Eğer bu U' 'yu sıfır olarak seçersem ve bunu yapmakta serbestim, mgh eşit mgy artı y konumundaki $1/2 m v^2$ yazabilirim.

Bu, burada gördüğünüz her nokta için geçerlidir.

A'da, B'de, C'de, D'de ve her noktada geçerli olması gerekir.

m yi yok ediyorum ve böylece,

Bunu $v^2 = 2g \cdot h$ eksi y şeklinde özetleriz.

Bu, tüm bu noktalar için geçerli olmalıdır.

Fakat, bunun aynı zamanda D noktasında da geçerli olması gerekir.

Ancak, D noktasında, çok önemli olan bir şey daha var.

Bu bir gerekliliktir.

Bu merkezci ivmenin olması gerekliliğidir. Ve bu "a" merkezci ivmesi bu yöndedir.

Ve bu merkezci ivme cismin D noktasına ulaşması için gereklidir.

Ve bu merkezci ivme, su kovası ile oynadığımız durumu hatırlarsak, $v^2 = R a$ dir.

Ve bu büyük veya eşit g yerçekimi ivmesi olmalıdır.

Eğer daha büyük değilse, su kovası D noktasına varamayacaktır.

Bu kullanacağım ikinci eşitliğimdir. Çok dikkatli bakın.

$v^2 = R a$ kare gR den büyük veya eşit olmalıdır. Burada $v^2 = 2g \cdot h$ eksi y şeklinde bir denklemim var.

Fakat D noktasında $y = 2R$ ye eşittir. Böylece $2R$ yazabilirim. Ve bu gR den büyük veya gR ye eşit olmalıdır.

g ler birbirini yok eder. Böylece $2h = 4R$, R ye eşit ya da büyük olmalıdır. Böylece $h = 2.5R$ den büyük veya eşit olmalıdır.

Bu fizik dersini alan neredeyse herkesin hatırlayacağı klasik bir sonuçtur.

Bu hiçbir şekilde anlaşılır değildir.

Eğer buraya bir top koyarsam, ki bunu size birazdan göstereceğim.

Ve topun bu hız treninden aşağı doğru gitmesini sağlarsam, sıfır seviyesinin üzerinde dairenin yarıçapının 2.5 katı bir yükseklikten bırakmadığım zaman bu noktaya varamayacaktır.

Bu noktanın altında herhangi bir noktadan bırakırsam, bu noktaya varamayacaktır.

Bunun hakkında bir düşünün.

Bu kolayca tahmin edebileceğiniz bir şey değildir.

Bu oldukça önemli bir sonuçtur. Fakat sezginize dayanarak söyleyebileceğiniz bir sonuç değildir. Ohh evet " tabii ki". Hemen mekanik enerjinin korunumundan çıkarılır.

Eğer onu serbest bırakırsam...

Bu arada bu 2.5 yarıçap değeri buralarda bir yerdedir.

Eğer cismi bu noktanın çok altından bırakırsam, bu noktaya varamayacaktır.

Bunu yapalım.

Gördünüz, oraya ulaşamadı.

Biraz daha yukarıdan yapıyorum, olmadı.

Biraz daha yükseğe çıkıyorum, olmadı.

Biraz daha yükseğe çıkıyorum, hala olmadı.

Şimdi 2.5 işaretli yerden bırakıyorum

Ve şimdi oldu.

Mekanik enerjinin korunumu, cismin bu noktadan geçmesi için gereken minimum yüksekliğin, yarıçapın 2.5 katı olması gerektiğini söyler.

Tabii ki, orada hiç enerji kaybı yok ise, hiçbir mekanik enerji kaybı yok ise.

Yani hiçbir sürtünme yok ise.

Bu durumda, eğer onu bu noktadan, sıfır kinetik enerji ile serbest bırakırsam, bu noktaya tekrar geri gelecektir.

Ama böyle değil.

Her zaman, öncelikle ray ile sürtünmesi ve tabii ki hava ile sürtünmesi vardır.

Eğer onu buradan serbest bırakırsam, buraya tekrar gelmesini bekleyemezsiniz.

Muhtemelen orada bir yerde kalır.

Bunu bile sonuna kadar yapamaz.

Bunu deneyebiliriz.

Ohh burada bir yere geldi.

Bu seviyeden daha düşük bir seviyeye.

Tabii ki çok küçük bir sürtünme var ve bu kaçınılmaz.

Tamam, bu bir klasik örnek.

Bu problemin verildiği pek çok örnek var.

Bu sefer onu size vermeyeceğim, fakat bu klasik bir problem.

Genel fizik imtihanlarında bunu görebilirsiniz, bu sadece mekanik enerjinin korunumu meselesidir.

Şimdi A ve B noktalarının birbirinden oldukça uzak ve yerçekimi ivmesinin artık sabit olmadığı duruma bakalım. Şimdi artık A noktası ve B noktası arasındaki potansiyel enerji farkının basitçe mgh olduğunu söyleyemezsiniz.

Şimdi çok önemli bir kavram ile ilgileniyoruz ve bu yerçekimi kuvvetidir.

Dünyanın bir kütle üzerine veya güneşin bir gezegen üzerine etkisini düşünebilirsiniz. Tercih sizin. Mesafeler çok büyük olduğunda artık ilgilenmek istediğim şey budur.

İlk olarak çekim potansiyel enerjisinin genel tanımını vereyim.

Genel tanımı, bir P noktasında çekim potansiyel enerjisi, Walter Lewin'in, bir kütleli sonsuzdan P noktasına getirmek için yapmış olduğu iştir.

Şimdi bunun fizikte çok alışık olunmayan bir şey olduğunu söyleyebilirsiniz, Walter Lewin ne diye işin içine girdi?

Bunu yerçekimi ile değiştirebiliriz. Çünkü benim kuvvetim daima eksi yerçekimi kuvveti ile aynıdır. Ayrıca cisim sonsuzdan bu P noktasına geldiği zaman yerçekimi de eksi iş yapar.

Sadece onu düşünmek istiyorum. Onu düşünmek benim için çok kolaydır, yapmış olduğum iş gibi.

Eğer bu kavramı uygularsak, bu durumda öncelikle yerçekimi kuvvetinin ne olduğunu bilmek zorundayız.

Eğer bu cisim büyük M kütleli ise,

Eğer istiyorsanız bunu dünya olarak düşünebilirsiniz.

Burada küçük m kütleli bir cisim var, Bu durumda bu ikisi arasındaki kuvvetin ne olduğunu bilmem gerekir.

Ve bu şimdi Newton'un ifade ettiği Evrensel Çekim Kanunudur:

Evrensel Çekim Kanunu.

Kanun, küçük m kütleli cismin maruz kaldığı kuvvet,

Buraya küçük m ve buraya büyük M koyacağım.

Böylece küçük m cismi, bu büyük M kütlelerinin varlığından dolayı bir kuvvete maruz kalır;

eşittir küçük m çarpı büyük M çarpı, Newtonun o dönemde değerinin ne olduğunu bilmediği bir sabit, eğer kütleler arasındaki uzaklık r ise, bölü r kare şeklindedir.

Bu cisim için, Newton'un Üçüncü Kanunu geçerli olduğundan, etki tepkiye eşittir.

büyük M , küçük m ile göstereceğim bu kuvvet

Bu cismin, bu küçük m kütleli cismin varlığından dolayı maruz kalacağı kuvvet ile büyüklük olarak aynıdır. Fakat ters yöndedir ve bu evrensel çekim kanunudur.

Çekim her zaman çekicidir.

Çekim çekicidir.

Onu düşünmenin yolu budur.

O her zaman çeker.

İtme kuvvetleri gibi bir şey yoktur.

Yekimi sabiti son derece düşük bir sayıdır.

6.67 çarpı 10 üzeri eksi 11.

Birimi Newton çarpı metre kare bölü kilogram kare ya da böyle bir şeydir.

Bu son derece düşük bir değerdir.

Bu eğer her biri 1 kilogram olan ve aralarında bir metre uzaklık bulunan iki cisme sahip isem, burası yaklaşık bir metre, bu durumda birbirini çeken kuvvet 6.67 çarpı 10 üzeri eksi 11 Newton olduğu manasına gelir.

Bu son derece küçük bir kuvvettir.

Eğer bu dünya ise, ben burada isem ve bu kütle ise; bu durumda bu denklem tarafından verilen bir kuvvete maruz kalırım.

Bu durumda bu Dünya'nın kütlesi olur.

Şimdi, F eşit ma .

Ben buradayım, yerçekimi ivmesine maruz kalmaktayım. Ve bu durumda maruz kaldığım yerçekimi ivmesi Mg bölü r kare ile verilir.

Ve dünyadan farklı mesafelerde, yada güneşten farklı mesafelerde maruz kaldığım çekim ivmesinin r nin karesi ile ters orantılı olduğunu görmektesiniz.

Biz bunu daha önce gezegenleri ele aldığımızda ve düzgün dairesel hareket konusunu incelediğimizde ve merkezci ivmeyi anlattığımızda tartışmıştık.

Biz tam olarak çekim ivmesinin bir bölü r kare ile azaldığı sonucuna vardık.

On kat daha uzakta olunca, yer çekimi 100 kat azalır.

Eğer Dünya'nın yüzeyinde duruyorsam, bu durumda, tabii ki maruz kalacağım kuvvet, benim kütle m çarpı dünyanın kütle M çarpı çekim sabiti G bölü dünyanın yarıçapının karesidir.

Aynen bu ders salonunda olduğumuz gibi

Ve bu mg olmalıdır.

Eğer biz bir cismi düşürürsek, bu yerçekimi ivmesidir.

Ve bunun meşhur g olduğunu ve değerinin 9.8 olduğunu biliyoruz.

Orada 6×10^{24} kilogram olan dünyanın kütle M çarpı çekim sabiti G bölü dünyanın yarıçapı olan 6400 kilometreyi yerine koyarsanız, sonuç olarak iyi bilinen 9,8 metre bölü saniye kareyi elde edersiniz.

Tamam, amacım çekim potansiyel enerjisini sizlere, dünya yüzeyine yakın olan özel durum için değil, tanımlandığı şekilde anlatmak idi.

Şimdi sonsuzdan bir P noktasına bir cismi getirmek zorundayız, ve yapmam gereken işi hesaplayacağım.

Burada büyük M var ve burası P noktası. Ve sonsuz uzak, oldukça uzak orada bir yerde. Ve ben sonsuzdan m kütle m sahip bir cisim ile geliyorum ve nihayet P noktasında konumlanıyorum.

Yerçekimi korunumlu bir kuvvet olduğu için, ve kuvvet her zaman büyüklükçe aynı fakat ters yönlü olduğu için, nasıl hareket ettiğim önemli değil; her zaman aynı cevabı verecektir.

Bu yüzden belki de bunu kibar bir şekilde yapabiliriz ve cismi sonsuzdan sadece düz bir hat boyunca hareket ettirerek getiririz.

Yerçekimi korunumlu bir kuvvet olduğundan hiç fark etmeyecektir.

Sonsuz oralarda bir yerde.

Maruz kalacağım, üretmek zorunda olacağım kuvvet, bu kuvvettir.

Benimkinin bu yönde olmasının haricinde ikisi de aynıdır.

Bu r nin artan değeridir.

Eğer ben r noktasında isem, benim kuvvetim artı m MG bölü r kare olacaktır.

Ve bu cisimden olan mesafe, büyük R olsun.

Sonsuzdan bir kuvvet ile bu yönde geldiğim zaman; çekim potansiyel enerjisini gördünüz. Çekim potansiyel enerjisinin noktalar nerede olursa olsun daima negatif olduğunu gördünüz.

Nerede olduğum önemli değil, her zaman negatiftir.

Bunun tuhaf bir şey olduğunu söyleyebilirsiniz.

Negatif potansiyel enerji.

Evet, ama bu sorun değildir.

Sıfır seviyesini seçmenize bağlı olarak, potansiyel enerji için burada negatif değerler elde edebileceğinizi hatırlayın.

Bunun olağandışı bir tarafı yok.

Şüphesiz önemli olan şey, çekim potansiyel enerjisini doğru olarak elde etmektir. Biz cisimden uzaklaştıkça, çekim potansiyel enerjisi artmaktadır.

İşte tüm mesele bu...

Fakat onun pozitif veya negatif oluşu önemsizdir.

Çekim potansiyel enerjisinin negatif olacağını hali hazırda biliyoruz. Ve şimdi sonsuzdan bu büyük R noktasına geldiğim zaman yapmam gereken işi hesaplayabiliriz.

Walter Lewin'in sonsuzdan, cisimden bu büyük R yarıçapı kadar uzakta bulunan noktaya gelmesi için yapması gereken iş budur.

Bunu Dünya veya Güneş olarak düşünebiliriz. İkisinden biri olabilir.

Bu benim kuvvetimin sonsuzdan R ye gelindiği zamanki entegralidir. Ve bu kuvvet artı mMG bölü r kare çarpı dr dir. Çünkü bu r nin artan değeridir.

Bu çok basit bir entegraldir.

Bu eksi 1 bölü r dir. Bu durumda eksi mMG bölü r elde ederim. Ve bu sonsuz ile büyük R mesafesi arasında alınmalıdır.

Eğer r yerine sonsuz yazarsam, bunu sıfır olarak elde ederim. Bu durumda sonuç eksi mMG bölü R olur.

Ve bu, cisimden herhangi bir büyük R mesafesindeki çekim potansiyel enerjisidir.

Sonsuzda bu daima sıfırdır.

Daha önceleri, nereyi sıfır olarak seçme konusunda bir tercihe sahiptiniz.

Dünya yüzeyine yakın olduğunuz zaman, g nin değişmediği zaman bir seçeneğe sahipsiniz.

Şimdi böyle bir seçeneğiniz yok.

Şimdi, çekim potansiyel enerjisinin sonsuzda sıfır olduğu belirlenmiştir.

Şimdi bu fonksiyona bakalım ve bu fonksiyonun konuma bağlı olarak grafiğini çizelim.

Çekim kuvveti, mesafenin karesi ile azalmaktadır.

Burası sıfır.

Bu çekim potansiyel enerjisi.

Buradaki değerlerin tümü negatif.

Burada büyük R sembolü yerine küçük r yi kullandım.

Ve böylece grafik böyle bir şey olacaktır.

Bu 1 bölü r ile doğru orantılıdır.

Eğer cismi A noktasından B noktasına hareket ettirirseniz, bu mesafe h dir. Eğer A ve B birbirinden çok uzakta ise, potansiyel enerjideki fark artık mgh değildir. Fakat potansiyel enerjideki fark bu değer ve bu değer arasındaki farktır.

Ve bunu elde etmek için, şu eşitliği kullanmak gerekir.

Fakat eğer buradan buraya gidersem, yani

eğer bir cismi alır ve buradan buraya gidersem,

potansiyel enerjinin artacağını görebilirsiniz. Önemli olan budur.

Eğer dünyayı göz önünde bulundurursanız, dünyadan uzaklaştıkça artmaktadır. Eğer güneşi göz önünde bulundurursanız, güneşten uzaklaştıkça artmaktadır.

Burada elde ettiğimiz sonuç ile orada bulduğumuz sonuç arasında bir uyumsuzluk var mı? Cevap, hayır.

Aşağıdaki örneğe göz atmanızı istiyorum.

Uzayda, dünyanın merkezinden olan uzaklığı r_A olan bir A noktası alın. Bunu dünyanın yüzeyinde alıyorum. Dünyanın yüzeyinden başlıyorum. Bu durumda yarıçap dünyanın yarıçapı olur.

Ve şimdi dünyanın merkezinden biraz uzakta olan, sadece h kadar uzakta olan B noktasına gidiyorum.

Yani, h mesafesi dünyanın yarıçapından çok çok küçüktür.

Şimdi A ve B noktaları arasındaki potansiyel enerjideki farkın ne olduğunu hesaplayabilirim. Bu eşitliği kullanabilirim. Bu eşitliği kullanmam gerekir. Ve bu eşitliği kullandığım zaman, Taylor açılımını kullanabilirsiniz. Birinci dereceden Taylor açılımında, hemen bulacağınız sonucun, bu sonuç ile aynı olacağını göreceksiniz. Çünkü, bu iki nokta için g değerleri oldukça yakındır. Bu durumda, bu iki hantal terim arasındaki fark, oldukça büyük olduğu halde, bunun mgh olacağını göreceksiniz.

İlerideki konularımızda çekim potansiyel enerjisinin $1/r$ ilişkisini sık sık kullanacağız.

Çekim potansiyel enerjisinin her yerde negatif olduğu fikrine çok alıştık. Ve sonsuzda çekim potansiyel enerjinin sıfır olması fikrine alışacağız.

Bu ders salonunda olduğu gibi, yeryüzüne yakın konumlarda olduğumuz sürece, çekim potansiyel enerjisindeki değişimin, mgh ile verildiği basitleştirmesini kullanmak daha uygundur.

Bu mgh daima Massachusetts Genel Hastanesi şeklinde aklımda tutarım.

Bu, böyle basit şeyleri hatırlamanın en kolay yoludur.

Şimdi mekanik enerjinin korunumuna dönmek istiyorum.

Burada bir sarkaç var.

15 kg gelen bir cisim var. Ve onu 1 metre yukarıya kaldırabilirim. Şimdi kaldırdım.

Yani iş yaptım.

Yapmış olduğum iş mgh dır.

Ben bu cismin potansiyel enerjisini 15×10 , yani yaklaşık 150 joule artırmış oldum. İnanın bana.

Eğer cismin düşmesini sağlarsam, bu durumda bu enerji kinetik enerjiye dönüşecektir.

Eğer bu cisimi 1 metre yükseklikten salındırırsam, orada duracaksınız ve size çarparsa, ölebilirsiniz.

150 joule sizi öldürmek için yeterlidir.

Yıkıcı top olarak adlandırılan bu aletleri binaları yıkmak için kullanıyorlar.

Yeterince ağır bir cismi yukarıya kaldırıyorsun, hatta bundan daha ağır, sonra serbest bırakarak salındırıyorsun. Bu durumda çekim potansiyel enerjisi, kinetik enerjiye dönüşüyor. Ve bu şekilde bir binayı yıkabiliyorsunuz.

Sadece çarpmasını sağlıyorsunuz.

Ve binayı yıkıyor.

Ve yıkımın tüm amacı budur.

Bu durumda çekim potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümünü kullanıyorsunuz.

Ben mekanik enerjinin korunumunun fanatik bir inanıyorum ve hayatımı tehlikeye atmaya gönüllüyüm.

Eğer bu kütleyi belirli bir yükseklikten serbest bırakırsam, bu durumda bu kütle daha yüksek bir noktaya asla gelemeyecektir.

Eğer bu yükseklikten bırakır ve onu salındırırsam, bu durumda buraya ulaştığı zaman bu daha yüksek olamaz.

Çekim potansiyel enerjisinden kinetik enerjiye dönüşüm ve tekrar çekim potansiyel enerjisine dönüşüm vardır ve burada duracaktır.

Tekrar geriye salındığı zaman, burada durduğum zaman ona bir ilk hız vermediğim takdirde daha yüksek bir noktaya ulaşmaması gerekir.

Mekanik enerjinin %100 korunduğuna inanıyorum.

Kendime güvenmeyebilirim.

Şimdi bu cismi serbest bırakacağım. Ve umarım, buna sıfır ilk hız verebilirim. Geri geldiği zaman benim, çeneme dokunabilir fakat çenemi kıramaz.

Sizlerin oldukça sessiz olmanızı istiyorum. Çünkü bu şaka değil.

Eğer ona sıfır ilk hız vermede başarısız olursam, bu benim son dersim olacak.

Gözlerimi kapatacağım.

Bunu görmek istemiyorum.

Lütfen çok sessiz olun.

Neredeyse bütün gece uyumadım.

Üç, iki, bir, sıfır.

Fizik işliyor ve ben hala hayattayım!

Gelecek derste görüşürüz.