

13. BÖLÜM



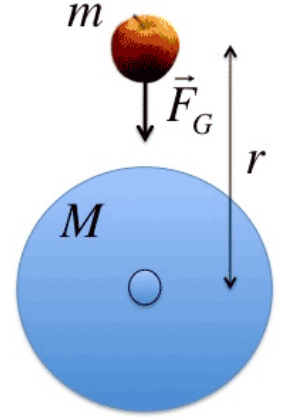
Kütlesel Çekim Kanunları

- 13.1 Çekim İvmesi ve Kütle Çekim Kuvveti
- 13.2 Kepler Kanunu ve Gezegenlerin Hareketi
- 13.3 Kütlesel Çekim Alanı
- 13.4 Kütle Çekim-Potansiyel Enerjisi
- 13.5 Toplam Mekanik Enerji
- 13.6 Bağlanma Enerjisi
- 13.7 Kurtulma Hızı
- 13.8 Gel-Git, Medcezir
- Bölüm Sonu Soruları

13.1 Çekim İvmesi ve Kütle Çekim Kuvveti

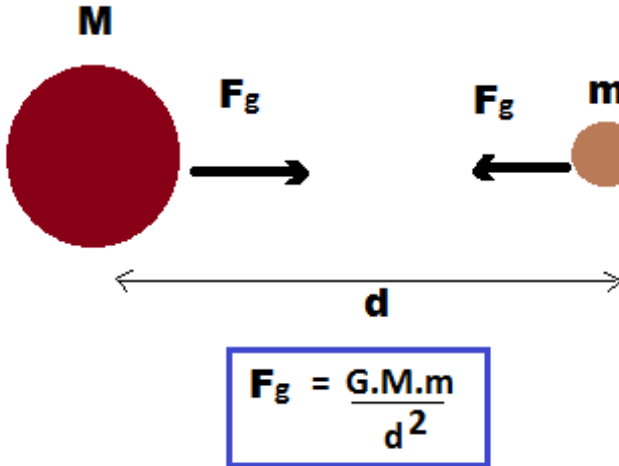
Evrendeki küçük parçacıklardan büyük gezegenlere kadar kütleye sahip her varlık genel kütle çekim yasasından etkilenir.

Kütlesi olan her cisim diğer cisimlerle etkileşim halindedir. Kütle çekim kuvveti bu cisimler arasındaki etkileşim sonucu oluşur ve iki cismi oluşturan madde miktarıyla doğru orantılıdır. Kütlesi büyük cisimler küçük kütleli olanlara bir çekim kuvveti uyguluyor gibi düşünülebilir ancak kuvvet etki tepki prensibine göre küçük kütleli cisim tarafından da aynı büyüklükte büyük cisme etkiyordur. Newton' un ağaçtan düşen elmayı gözlemlemesi olayına tekrar değinirsek elmanın daldan düşüp yere doğru hareketi elmaya yerden etkiyen bir kuvvetin olduğunun göstergesidir. Aynı şekilde elma da yerküreye eşit büyüklükte kuvvetle çekişirdir ama elma yerkürenin yanında çok küçük olduğundan kendisi yere çekilir.



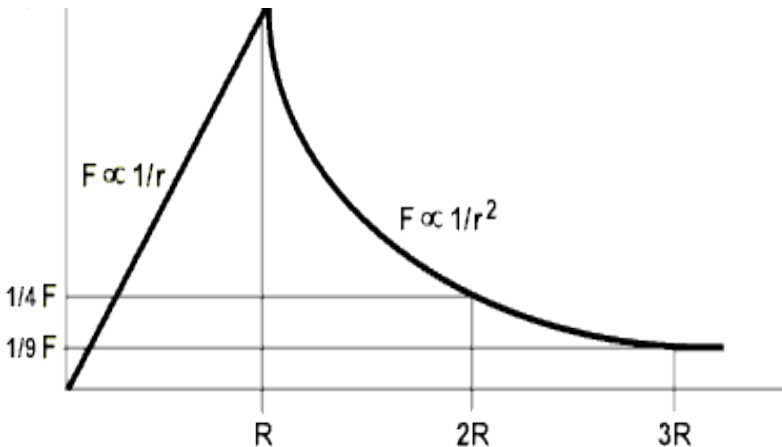
Büyük kütleli cisimlerin eylemsizliği fazla olduğu için sabit duruyor küçük cisim kendisine geliyormuş gibi algılanır. Yerküre üzerindeki cisimlere göre sonsuz büyüklükte kütleye sahiptir ve büyük kütleli cisimleri bu yüzden küçük kütleli cisimleri kendisine kütle çekim kuvvetiyle çeker. Bu kuvvet yerden cisme etkiyen çekim ivmesi ile etkilenen cismin kütlesinin çarpımı kadardır ($F=m.a$). Çekim ivmesi aslında genel kütleçekim kanunlarıyla açıklanır. Çekim ivmesi cisim etrafında bir çekim alanı oluşturur ve şiddeti cismin merkezinden uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle ters orantılı azalır.

Evrensel çekim yasasında kütle çekim sabiti denilen bir kat sayı vardır ve **G** ile gösterilir. Bu katsayı her gezegen için ayrı değer alır. Yerküremiz Dünya için $G=6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{s}^2$ alınır.



Büyük kütleli bir gezegen çevreinde olan bir parçacığa etkiyen kuvvet aslında parçacığın o gezegenin çekim alanındaki ağırlığına eşittir. ($m.g = G.(M.m)/r^2$)

Burdan anlaşılır ki parçacığa göre sonsuz kütledeki gezegenin çekim ivmesi aslında gezegenin kütlesiyle doğru orantılı ve aradaki mesafenin karesiyle ters orantılıdır.



13.2 Kepler Kanunu ve Gezegenlerin Hareketi

Tarih boyunca astronomiye ilgi duyan ilim adamları yıldızların ve gök cisimlerinin hareketlerini inceleyip hesaplamalar yapmışlardır. Yılın belirli zamanlarında belirli açılarla yıldızların ve gezegenlerin konumlarını çok hassas ölçümlerle belirlemişlerdir. 12.yüzyılın alimlerinden El-Cezeri'nin çalışmaları Avrupalı bilim adamlarının astronomi alanındaki fikirlerine ışık tutmuştur.



İsmailé Cıziri (1136-1206)

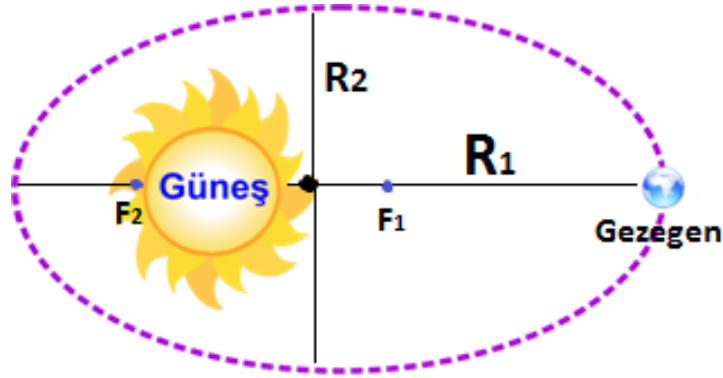


Johannes Kepler
(1571-1630)

12.yüzyıl ilim adamlarının çalışmalarının üzerine ortaçağda astronomi ile ilgilenen Galileo Galilei, Leonardo Davinci, Johannes Kepler gibi önderler günümüze kadar kullanılacak çalışmalar miras bırakmışlardır.

Ünlü Alman düşünür Kepler uzun süren çalışmaları sonucu aşağıdaki kuramları elde etmiştir.

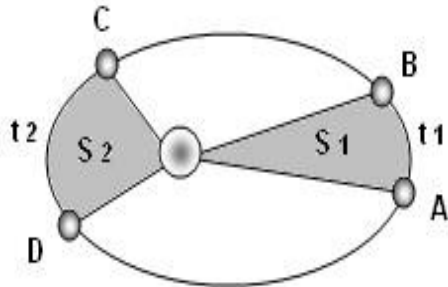
Yörüngeler Kanunu: Bütün gezegenler sistemine bağlı oldukları yıldız etrafında eliptik bir yörüngede hareket ederler. Dolandıkları bu eliptik yörüngenin geometrik özellikleri daire gibi değil de iki tane odak noktası vardır. Bu odak noktalar elipsin büyük çapı üzerinde bulunur ki bu aynı zamanda büyük asal eksenidir. Büyük çap ile dik kesişen küçük çapa küçük asal eksen de denir.



R1: ana eksen yarıçapı
R2: yardımcı eksen yarıçapı
F1, F2: odak noktalar

Elipsin eğrilik oranı $e = R_1/R_2$

$$0 \leq e \leq 1$$



Alanlar Kanunu: Eliptik yörüngede dolanan gezegenin elipsin merkeziyle çizdiği yarıçap eşit zaman aralığında eşit alan tarar.

Eşit alanlar kanunu bize gezegenin güneş etrafında dolanırken açısal momentumunu koruduğunu kanıtlar. Gezegen, yarıçapın büyük olduğu güneşten uzak konumlarda iken çizgisel hızı yavaş, yarıçapın küçük güneşe yakın konumlarda iken çizgisel hızı büyük olacak şekilde hareket eder.

$$t_1 / t_2 = S_1 / S_2$$

$t_1 = t_2$ ise $S_1 = S_2$ olur.

Periyotlar Kanunu: Aynı yıldız etrafında dolanan gezegenlerin yörüngelerinin ortalama yarıçapı ile dolanma süreleri arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki şöyle ifade edilir: yarıçaplarının küpünün dolanma periyotlarının karesine oranı aynı sistemdeki farklı yörüngelerde dolanan tüm gezegenler için sabittir. Bu kanun dairesel yörüngede dolanan M_g kütleli gezegene M_s kütleli güneşin uyguladığı çekim kuvveti ve merkezkaç kuvvetinin dengelenmesiyle bulunmuştur. Newton' un **$F=m.a$** formülü kullanılarak;

$$F_g = \frac{GM_s M_p}{r^2} = M_p a = \frac{M_p v^2}{r}$$

$$K_s = \frac{T^2}{r^3}$$

$K_s = \text{Kepler sabiti}$

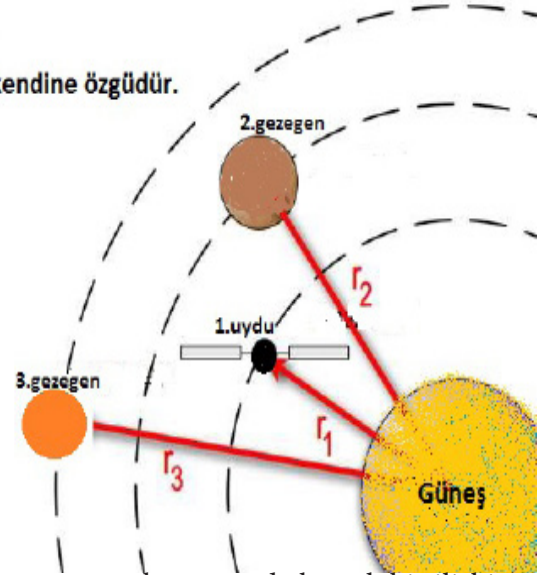
$$\frac{GM_s}{r^2} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_s} \right) r^3 = K_s r^3$$

$$K_s = \frac{4\pi^2}{GM_s} = 2.97 \times 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^3$$

* Her gezegenin kepler sabiti kendine özgüdür.

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{T^2}{r^3} = \frac{T^2}{r^3}$$

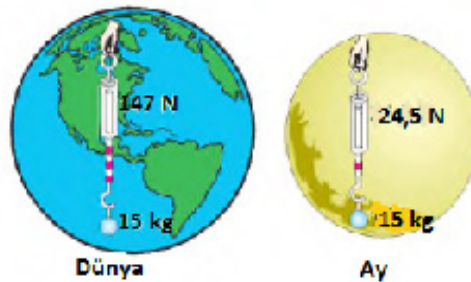


Keplerin bu yasası (R^3/T^2) aslında aynı güneş sistemi içinde dolanan gezegenler arasında kararlı bir ilişki olduğunu ifade eder. Yani ortak yıldız etrafındaki gezegenler aynı oranda çekim kuvveti ve çekim potansiyel etkileşimlerine sahiptirler. Bu etkileşimler gezegenlerin yörüngelerinin ortalama yarıçapları ve dolanım periyotları yıldızla özgül olacak şekilde kararlılığını korur. Bu oran yıldızla özgüdür ve her yıldız için ayrı bir değer alır.

13.3 Kütleli Çekim Alanı

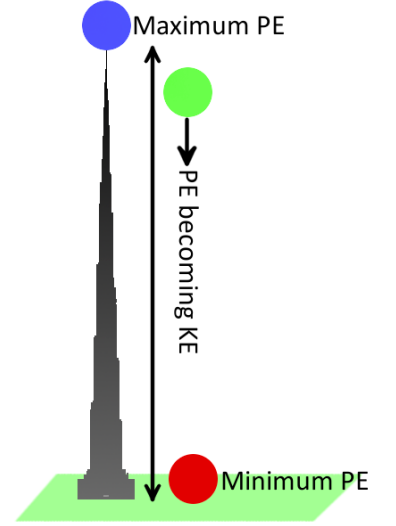
Kütleli çekim alanı gezegenlerin çevresindeki cisimlere gönderdiği, cisimleri kendine çeken kuvveti oluşturan **g** çekim ivmesiyle oluşur. Gezegen, etrafına her tarafa etkiyecek şekilde bu ivmenin değeri kadar gezegen çekim alanı oluşturur. Alanın şiddeti çekim ivmesine bağlıdır ve yeryüzünden uzaklaştıkça şiddeti azalır. M kütleli bir gezegen kendisinden r kadar uzaklıktaki m kütleli bir cisme **$F=G.(M.m/r^2)$** kuvveti uygular.

Cisme etkiyen kuvvet **$F=m.a=m.g$** den **$g=G.M/r^2$** olur. Bu durum bize çekim alanı veya çekim şiddeti gezegenin kütlesi(M) ile doğru, mesafenin karesi (r^2) ile ters orantılıdır. Bu yüzden denilir ki bir cismin Dünya'daki ağırlığı Ay'daki ağırlığının 6 katıdır. Sebebi Dünya'nın kütlesinin Ay'ın kütlesinin 6 katı olmasıdır.



13.4 Kütle Çekim-Potansiyel Enerjisi

Çekim potansiyel enerjisi cismin yeryüzeyinden olan yüksekliğinden dolayı sahip olduğu potansiyel enerjidir. Bulunduğu gezegenden kendisine etkiyen çekim kuvveti mg ile yüzeyden h kadar çekilince yapılan iş $E = F \cdot \Delta x$ den $U = m \cdot g \cdot h$ olur. h 'ı r kadar büyük alırsak ve g yerine $GM \cdot m / r^2$ yazarsak $U = - (GM) / r$ olur. Formülün önüne eksi işareti koyulmasının sebebi cisim yeryüzünden uzaklaştıkça formül değerce sıfıra yaklaşır ve potansiyel enerjisi büyür. Gerçekte de yerden yükselen bir cismin potansiyel enerjisinin artığının kanıtıdır.



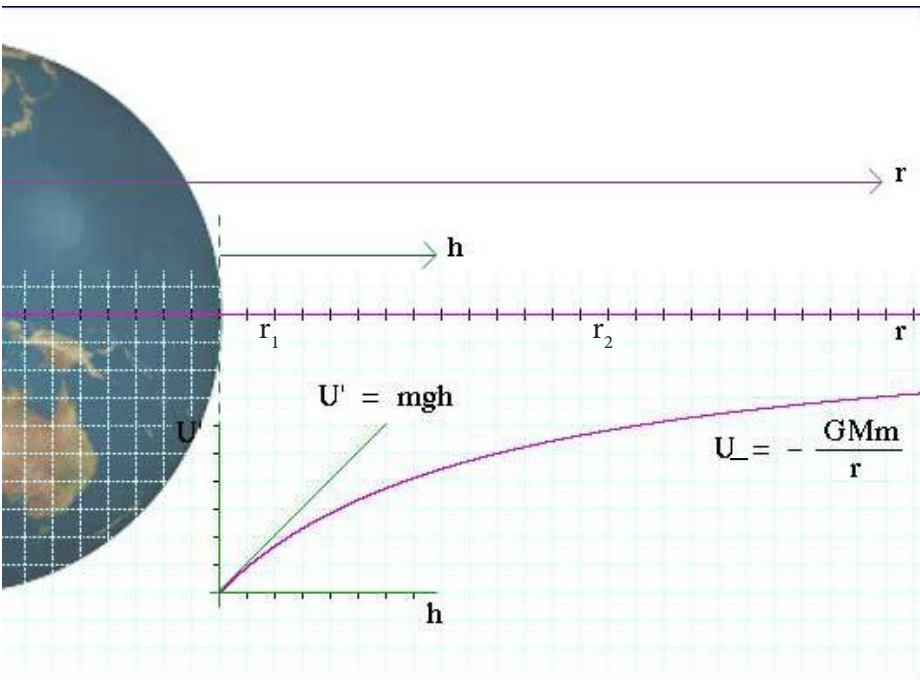
Potansiyel enerji tanımından

$$U = - \int^r F \cdot dr$$

ve çekim kuvveti formölünden $F = - \frac{GMm}{r^2}$

Cisim sonsuzdayken kuvvet sıfır potansiyel enerji büyük olur. Cismi sonsuzdan r yörüngesine getirmek için harcanan enerji;

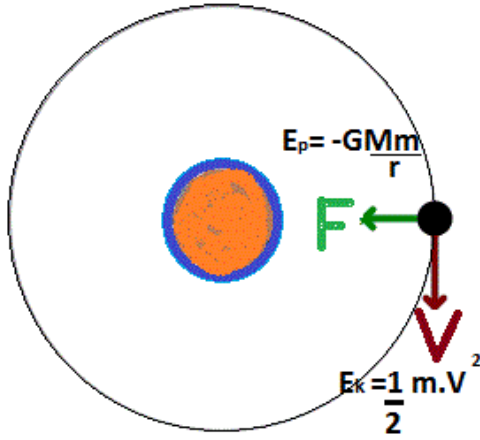
$$U(r) = - \int_{\infty}^r - \frac{GMm}{r'^2} dr' = - \frac{GMm}{r}$$



$$\begin{aligned} W &= \int_{r_2}^{r_1} \vec{F} dr \\ &= \int_{r_2}^{r_1} - \frac{GMm}{r^2} dr \\ &= GMm \int_{r_2}^{r_1} - \frac{1}{r^2} dr \\ &= GMm \left[\frac{1}{r} \right]_{r_2}^{r_1} \\ &= -GMm \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \end{aligned}$$

13.5 Toplam Mekanik Enerji

Etrafında dolandığı gezegene göre çok küçük kütleye sahip bir uydu ($M \gg m$) yörüngesinde V hızıyla dolanınca yüksekliğinden dolayı potansiyel ve hareketinden dolayı kinetik enerjiye sahip olur. Uydunun toplam mekanik enerjisi kinetik ve potansiyel enerjileri toplamıdır.



$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{GMm}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$TE = E_p + E_k = -\frac{GMm}{r} + \frac{1}{2} \frac{GMm}{r} = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r}$$

* Uydunun toplam enerjisi açısal momentum prensibiyle her zaman korunur. Uydu etrafında dolandığı gezegene yakın mesafede iken kinetik enerjisi büyük potansiyel enerjisi küçüktür. Uydu gezegenden uzaklaştıkça potansiyel enerjisi artarken kinetik enerjisi azalır ama toplam mekanik enerji korunur. Uydunun gezegene yakın mesafelerde hızlı hareket etmesinin sebebi hem potansiyel enerjinin çoğunun kinetiğe dönüşmüş olması hem de uydu gezegenin çekimine karşı yörüngede kalması için merkezkaç kuvvetinin ($F = mV^2/r$) büyük olması gerektirir.

13.6 Bağlanma Enerjisi

Yeryüzünden yörüngelere yerleştirilmek amacıyla fırlatılan uydular yerin çekim kuvvetine karşı koyabilmek için bir enerjiye sahip olmaları gerekir. Başlangıçta sadece kinetik enerjiye sahip bu uydular yörüngeye gidene kadar bu enerjiyi potansiyele dönüştürerek en son radyal (yarıçap) yönünde sadece teğetsel hıza sahip olurlar. Uyduları yeryüzünden yörüngeye oturtmak için gerekli enerjiye **baglanma enerjisi** denir.

$$F_{\text{merkezkaç}} = F_{\text{çekim}}$$

$$(m.V^2)/r = G.(M.m)/r^2$$

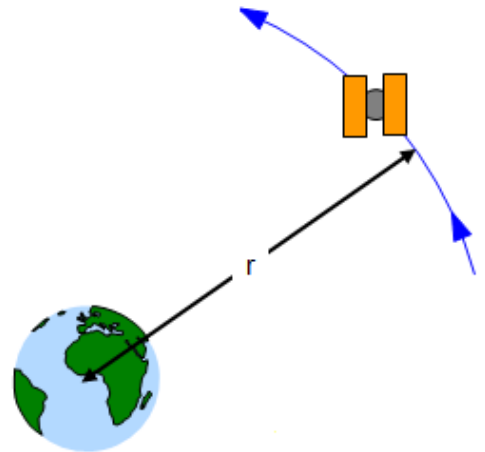
uydunun kinetik enerjisi $E_k = 1/2 m.V^2 = 1/2 G.M.m/r^2$ olur.

Cismin toplam enerjisini sıfırlayan enerji bağlanma enerjisi olduğundan

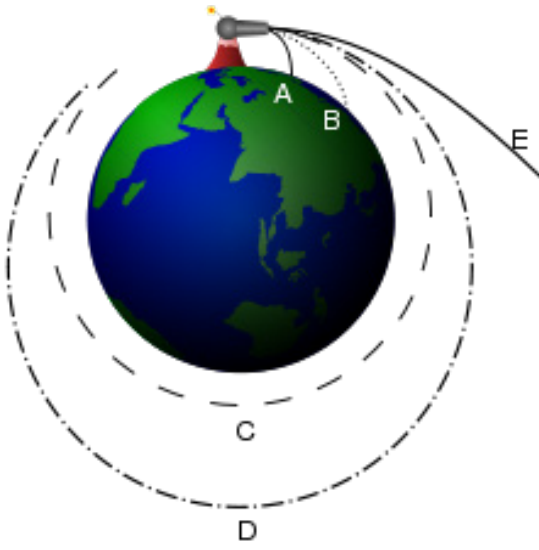
$$E_{\text{baglanma}} = -E_{\text{toplam}}$$

$$E_{\text{top}} = E_k + E_p = G.M.m/2r - G.M.m/r = -G.M.m/2r$$

$$E_{\text{baglanma}} = G.M.m/2r$$



13.7 Kurtulma Hızı



Yeryüzündeki bir cismi gezegenin çekim alanından çıkarmak için sonsuza doğru götürmemiz gerekir. Hatırlarsak isim sonsuzda iken sahip olduğu toplam enerjisi mekanik enerji oluyordu ve bu enerji kinetik ile potansiyel enerjilerin toplamı kadardı.

$$E_{\text{top}} = -0.5(GMm/r)$$

Cisme bu enerjiyi kazandırmak için yeryüzünden büyük bir hızla fırlatılması lazım. Cisim fırlatılınca sahip olduğu kinetik enerjiyi kurtulma enerjisine eşitlersek;
 $1/2mv^2 = 1/2 GMm/r$ den

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \text{ olur.}$$

ÖRNEK 13.1

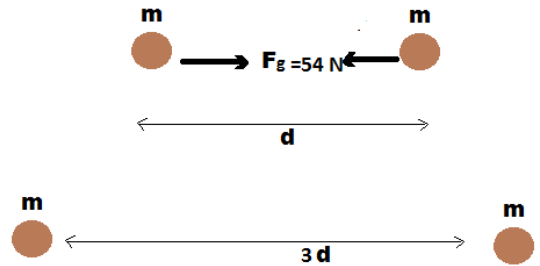
Aralarında belirli bir uzaklık bulunan iki kütle arasındaki çekim kuvveti 54N'dur. Bu iki kütle arasındaki uzaklık 3 katına çıkarılırsa aralarındaki çekim kuvvetinin ne olacağını hesaplayalım.

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} = 54N \quad (r' = 3r)$$

$$F' = \frac{m_1 m_2}{(3r)^2} = \frac{1}{9} \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F' = \frac{1}{9}(54N) = 6N$$

olarak elde edilir.



ÖRNEK 13.2

Bir gezegen etrafında dolanması için fırlatılmış m kütleli bir yer uydusunu $2R$ yarıçaplı bir dairesel yörüngeden $5R$ yarıçaplı bir yörüngeye taşıyoruz. Bu taşıma esnasında yapılması gerek işi hesaplayınız.

ÇÖZÜM :

Uydunun taşınması için gereken işi hesaplarken enerji metodunu kullanacağız. Uydunun son durumdaki toplam enerjisinden ilk durumdaki toplam enerjiyi çıkarınca bulacağımız enerji farkı yapılan iş olacaktır.

$$W = \Delta E = E_{\text{son}} - E_{\text{ilk}}$$

$$E_{\text{ilk}} = -G.M.m/2r_1 = -GM.m/2(2r)$$

$$E_{\text{son}} = -G.M.m/2r_2 = -GM.m/2(5r)$$

$$\Delta E = E_{\text{son}} - E_{\text{ilk}} = -GM.m/10r - (-GM.m/4r)$$

$$W = \Delta E = (3GMm)/20r \quad \text{olarak bulunur.}$$

$$\begin{aligned} W &= \int_{r_2}^{r_1} \vec{F} dr \\ &= \int_{r_2}^{r_1} -\frac{GMm}{r^2} dr \\ &= GMm \int_{r_2}^{r_1} -\frac{1}{r^2} dr \\ &= GMm \left[\frac{1}{r} \right]_{r_2}^{r_1} \\ &= -GMm \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \end{aligned}$$

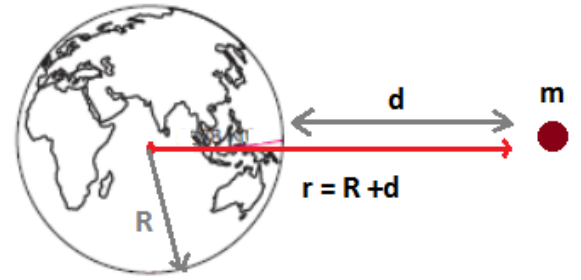
ÖRNEK 13.3

Dünyanın yüzeyinden d kadar yüksekte veya dünyanın merkezinden $r=R_y+d$ uzaklığında bulunan m kütleli bir cisim üzerine etkiyen çekim ivmesini bulalım:

$$F = G \frac{M_y m}{R_y^2} = G \frac{M_y m}{(R_y + d)^2}$$

$$mg' = G \frac{M_y m}{(R_y + d)^2}$$

$$g' = G \frac{M_y}{(R_y + d)^2}$$



ÖRNEK 13.4

Yeryüzünden düşey doğrultuda yukarı doğru fırlatılan bir füzenin yerçekimi etkisinden kurtulması için atış hızı ne olmalıdır?

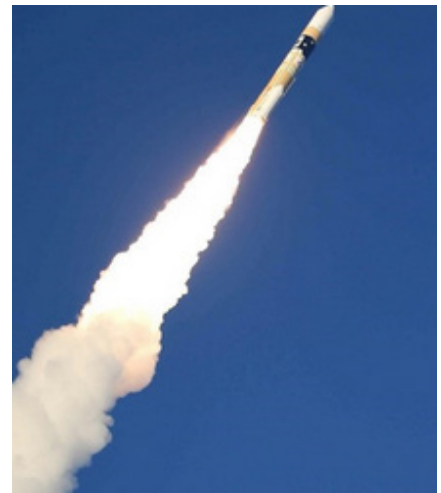
Füzenin kinetik enerjisi kurtulma işini yapacak değerde olmalıdır:

$$\frac{1}{2}mv^2 = G \frac{mM}{R}$$

denklemden kurtulma hızı için,

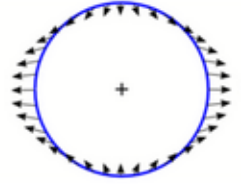
$$v_k = \sqrt{2GM/R}$$

olarak elde edilir.



13.8 Gel-Git, Medcezir Olayı

Ay, Dünya etrefında dolanırken kendisi ile Dünya arasındaki çekim kuvvetinden dolayı bir etkileşim olur. Ay'ın yörüngesinin eliptik olması ve Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki dönüşünün sebep olduğu bu etkileşimden dolayı günde iki defa okyanus sularında yükselmeler- alçalmalar gözlemlenir.



Ay'ın farklı uzaklıklarında, yerin çekim şiddetindeki farklılığından dolayı Dünya'nın o andaki Ay'a bakan yüzünde ve zıt yüzünde şişmeler (tidal bölgeler) gözlemlenmesine **gel-git olayı** ya da **medcezir** denir.

Üç farklı gel-git türü vardır;

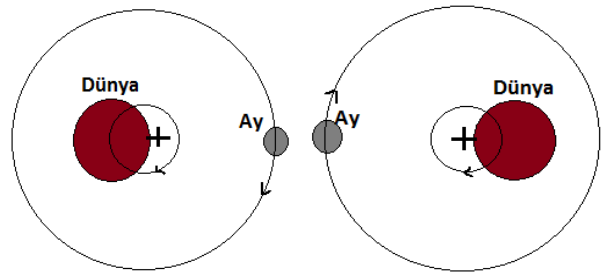
Günlük gelgit: genelde tropik bölgelerde görülen, bir Ay gününde bir yükselme ve bir alçalma şeklinde oluşan gelgit türüdür.

Yarı-günlük gelgit: genellikle Kuzey Avrupa kıyılarında görülen, iki yükselme ve iki alçalma şeklinde oluşan gelgit olayıdır.

Karışık gelgit: genellikle Kuzey Amerika kıyıları ve Avustralya kıyılarında görülen, iki yükselme ve iki alçalma ile bütünleşik şekilde oluşan gelgit olayına verilen isimdir.

Galileo 1632'de yayımladığı "Gelgit Üzerine Diyalog" (Dialogue Concerning the Two Chief World Systems-Dialogue on the Tides) kitabında gelgit için "Denizdeki suların, Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi sonucu savrulmasıdır." diyerek yanlıya düşmüştür. Gelgitin kütleçekim kuvveti sonucu oluştuğu 1687'de Newton'ın Principia eserinde açıklanmıştır. 18.yüzyılda su yüksekliğini hesaplayacak tablolar geliştirilmiştir. Günümüzde ise su yüksekliği, akıntılar, gelgitin oluşacağı zaman bilgisayarlarla hesaplanmaktadır.

Gel Gel-git, Güneş'in çekim kuvvetine de bağlıdır. Ancak Güneş Ay'a göre Dünya'dan epey uzakta olduğu için güneş'in gel-git olayındaki etkisi Ay'ın etkisinin üçte biri kadardır. Ay, Dünya ile Güneş arasındayken güneş etkisi çok; Ay Güneşe göre 90 derece farklı tarafta ise güneş etkisi azdır. Gelgit olayı ilk ve ikinci dördün evrelerinde en düşük, yeni ay ve dolunay evrelerinde en büyük değeri alır. Bir yerde sular kabarırken Ay, o yer için gökyüzünün en yüksek noktasındadır. Herhangi bir yerde gelgit olayı her gün aynı saatte olmaz. Bir önceki günden 50 dakika daha geç oluşur. Buna "Liman Gecikmesi" denir. Bunun nedeni Güneş günü ile Ay günü arasındaki 50 dakikalık farktır. Bir meridyen Ayın karşısına geldikten sonra dünya dönerek aynı alana 24 saatte gelir, fakat bu sırada Ay dünya çevresindeki yörüngesinde döndüğü için biraz ilerlemiştir, 50 dakika sonra meridyen yeniden ay karşısına gelir. Böylece Ay günü 24saat 50 dakika olur.



günün ilk 12 saati

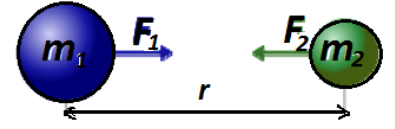
günün son 12 saati

Gel-git olayı şu önemli olaylara sebep olur:

- 1- Ay Dünya'ya yaklaşınca okyanus sularını çeker ve kıyılarda sulaçekilir.
- 2- Sürtünmelerden dolayı Dünya'nın kendi etrafındaki dönüş hızında az da olsa azalma görülür. Bunun sonucunda günler uzar. Ay'ın her yüzyılda Dünya'dan 3,8 cm uzaklaşması bu sebeple olur.
- 3- Ay, Dünya'dan uzaklaşınca sular kıyılara geri gelir. Deniz sularındaki bu gidiş geliş olayı birçok bölgede kıyı sorunları oluşturur.
- 4- Akarsu ağızlarında delta oluşumu engellenir.
- 5-Akarsu vadilerinin ağızlarının tıkanması önlenir.
- 6-Kıyı kirlenmesi önlenir.
- 7-Haliçler oluşur. Deniz yükseldiği zaman akarsuların ağız kısımlarına sokulur ve haliç şekli meydana gelir. Bu çeşit kıyılara haliç tipi kıyılar denir.
- 8-Watt kıyıları oluşur. Deniz alçalınca ortaya çıkan, deniz yükselince ortadan kalkan bu kıyılara **watt** kıyıları denir. Deniz, belli aralıklarla alçalıp yükselince kıyı çizgisi değişir. Türkiye'nin çevresindeki denizler iç deniz olduğu için gelgit genliği azdır. Bu nedenle, Türkiye kıyılarında gelgit'in etkisi hissedilmez.

Bölüm Sonu Soruları

1- Şekilde gösterildiği gibi aralarında r kadar mesafe bulunan m_1 ve m_2 kütleli iki gök cisminin birbirine uyguladıkları kuvveti formüsel olarak elde ediniz. (evrensel çekim sabiti $G=6,673.10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$)



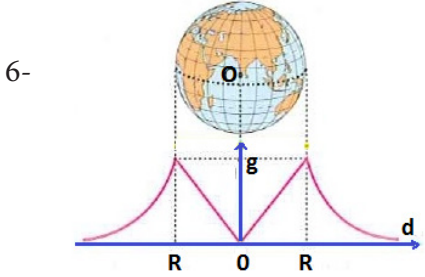
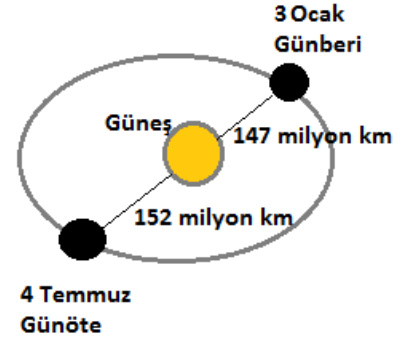
2- Aralarında belirli bir uzaklık bulunan iki kütle arasındaki çekim kuvveti 63000N'dur. Bu iki kütle arasındaki uzaklık 7 katına çıkarılırsa aralarındaki yeni çekim kuvveti kaç kat azalır?

3- Dünyanın yüzeyinden 11km kadar yüksekte veya dünyanın merkezinden $d=R_{\text{dünya}}+11\text{km}$ uzaklıkta bulunan m kütleli bir cisim üzerine etkiyen çekim ivmesi kaç m/s^2 dir?



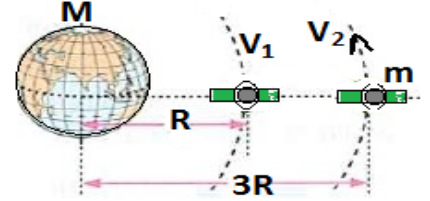
Güneş sisteminde dolanmakta olan gezegenlerin ortalama yarıçapları ile dolanma süreleri arasında bir ilişki vardır. Dünya'nın yarıçapı 150 milyon kilometre, Mars'ın yarıçapı 228 milyon kilometredir. Dünya Güneş etrafındaki bir turunu 1 yılda yani 365 günde tamamladığına göre Mars bir turunu Dünya'daki süreye göre kaç günde tamamlar?

5- Dünya'nın yıl içinde farklı iki tarihlerdeki Güneşe göre konumu verilmiştir. Gezegenin toplam enerjisi korunumu ileksini kullanarak Dünya'nın Günberi'deki kinetik enerjisi U_1 , Günüte'deki kinetik enerjisi U_2 olsun. Bu enerjilerin oranını dögüsel momentum korunumu formöllerini ile bulunuz.



Yerçekim ivmesinin uzaklığa göre değişimi yanda grafiksel olarak verilmiştir. Deniz seviyesindeki bir havaalanından kalkacak olan 130000 kg kütleli bir uçağın yeryüzünden 11km yükseklikte uçuş yapması için harcaması gereken enerjiyi ve bu yükseklikteki çekim ivmesini integral methoduyla bulunuz.

7- M kütleli bir gezegen etrafında başlangıçta R yarıçaplı yörüngede dolanmakta olan bir haberleşme uydusu $3R$ uzaklığındaki yeni bir yörüngeye taşınmak isteniyor. Bu iş için gerekli enerjiyi ve iki durumdaki hızları oranını V_1/V_2 yi bulunuz.



8- Ömrü tükenmiş Dünya'nın merkezinden 49 km uzaklıktaki yörüngede dolanmakta olan 1500kg kütleli bir telekomünikasyon uydusunu sonsuz uzaklıktaki uzay çöplüğüne atmak için gerekli kurtulma enerjisi kaç Joule dir? ($M_{\text{dünya}} = 5.9722 \times 10^{24} \text{ kg}$, $G=6,673.10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$)

9- Dünya merkezinden 27km uzaklıktaki bir yörüngeye oturtmak için gönderilecek 5000 kg kütleli bir uydu için gerekli bağlanma enerjisini bulunuz.



10- Dünya ile Ay arasında ortalama merkezden merkeze uzaklık 384.403 km 'dir. Ay' ın kütlesi $M_{\text{ay}} = 7.3477 \times 10^{22} \text{ kg}$ ve Dünya'nın kütlesi $M_{\text{dünya}} = 5.9722 \times 10^{24} \text{ kg}$ 'dır. Ay Dünya etrafındaki bir turunu 27,5 günde tamamladığına göre;

- Ay' ın ortalama çizgisel hızını,
- Ay' ın toplam enerjisini,
- Ay' ın kinetik enerjisini bulunuz.