



7F

**GÜDEK**  
Güvenlik Denetim Kontrol

BÖLÜM:

**7- EĞİTİM KONULARI**

KONU:

**7F- KEPLER KANUNU ve ATOM SAATİ**

## İçindekiler

KEPLER KANUNU ve ATOM SAATİ .....	2
Kepler kanunları .....	2
Uzayın uzunluk birimi .....	2
Yörünge düzlemin uzaydaki yönelimi .....	2
Uzunluk ve zamanın uyumu: Hız kavramı .....	3
Einsteinın bükülmüş uzay-zamanı.....	4
Kepler yasaları.....	4
Uzayda zamanın bükülmesi .....	6
Kara delik zamanı nasıl bükülür? .....	7
Uzayda ışık konisi .....	8
Hermann Minkowski diyagramı.....	9
Astronotun yolu.....	10
Sezyum frekansı .....	11
Atom Saati.....	12
Bazı ek bilgiler.....	12

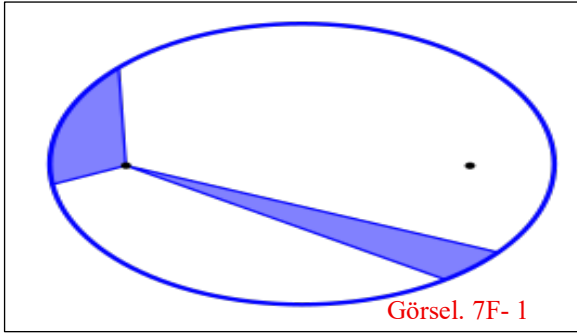
## KEPLER KANUNU ve ATOM SAATI

### Kepler kanunları

Kepler kanunları (yasaları): gezegenlerin Güneş etrafında eliptik yörüngelerde hareket ettiğini ve yörüngelerin odaklarından birinde Güneş'in bulunduğunu açıklar.

Kepler, yasaları üç grupta tarif edilmiştir.

**1. Elips Yasası:** Güneş'in etrafında gezegenler **bir odak noktasında** bulunduğu elips şeklindeki yörüngelerde hareket eder. Her gezegenin yörüngesi bir elipstir. Güneş'in merkezi her zaman elipsin odak noktalarından birinde bulunur. (Görsel 7F- 1)



Gezegen Güneş'in etrafında dönerken güneşe yaklaştıkça hızı fazlalaşır, hızlı, güneş ile mesafesi uzaklaştıkça hızı yavaşlar. Bu hareketlerinde taradığı alan ile katettiği yolun karesinin oranları aynı olduğu görülmektedir.

**2. Alanlar Yasası:** Gezegen ile Güneş'i birleştiren çizgi eşit zamanlarda **eşit alanlar tarar.** Gezegen Güneş'e yakinken daha hızlı, Güneşten uzakken daha yavaş hareket eder.

**3. Periyotlar Yasası:** Bir gezegenin yörünge periyodu (kare), yörüngesinin yarı büyük eksenlerinin (küpü) ile doğru orantılıdır. Bu, denklem formunda  $P^2 = a^3$  olarak yazılır. Bir gezegenin Güneş etrafındaki dolanma süresinin karesi ( $T^2$ ), yörüngesinin büyük yarı ekseninin küpü ( $a^3$ ) ile doğru orantılıdır: ( $T^2 / a^3 = \text{Sabit}$   $a^3 / T^2 = \text{Sabit}$ )

"Bir gezegeni Güneşe bağlayan çizgi eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar."

### Uzayın uzunluk birimi

Uzayın **uzunluk birimleri (metre, kilometre)** ile zamanın **dakikaları, saniyeleri** Modern fiziğin temel kavramlarından birine dayanan **hız ve ışık hızı**. Ancak bu yasalar hem iki boyutlu bir yörünge düzleminde hem de üç boyutlu uzayda geçerlidir.

### Yörünge düzlemin uzaydaki yönelimi

Yörünge elips şekli: Eğiklik (inclination,  $i$ ), Çıkış düğümü uzunluğu ( $\Omega$ )

Yörünge elips şekli: Büyük yarı eksen ( $a$ ), Basıklık / dış merkezlik ( $e$ )

Gezegenin o elips üzerindeki konumu: Ortalama anomali ( $M$ ), Gerçek anomali ( $v$ )

3 boyutlu Kepler yörüngesi, altı parametre ile tamamen belirlenir: (**a, e, i,  $\Omega$ ,  $\omega$ ,  $M_0$** )

### Uzunluk ve zamanın uyumu: Hız kavramı

Uzayda hız= Yol /Zaman= (m/s)

Fizikte uzunluk (L) ve zaman (T) birimleri **hız** üzerinden birbirine bağlanır:

Uzunluk (mesafe): Dünya ortamında kalibrasyonu yapılmış metre ile ölçülür,

Uzayda ise ışığın bir saniyede aldığı yol ile bağlantı kurulur.

Uzayda ışığın Hızı= Zaman/Yol (m/s)>> 300.000 km mesafeyi 1 saniyede kat ettiği biliniyor.

Buna → uzayda **ışık hızı** deniliyor.

### **Örneğin:**

1. saniyede 300.000 km giden bir şeyin hızı → **ışık hızı**. Bu ilişki olmasa (mesafe) metre ile saniye arasında bağlantı kurulamazdı.

2. Einstein'ın devrimi: Uzay ve zamanı tek bir yapı yapmak (uzay-zaman) görelilik teorisine göre: Uzay **tek başına**, Zaman **tek başına**, mutlak değildir. Bunlar **tek bir dört boyutlu yapının** (uzay-zaman) parçalarıdır. Bu nedenle zaman birimi ile uzunluk birimi arasında "**dönüştürülebilir**" bir **sabit** bulunur. Bu sabit **ışık hızıdır (c)**.

Zaman → ışık Uzunluk dönüşümü nasıl olur?

Işık hızı:  $c=299\,792\,458\text{ m/sc}= 299.792.458\text{ m/s}$

Yani: 1 saniye= ışığın gittiği 299.792.458 metre, 1 dakika= ışığın gittiği 17.987.547 kilometre

Fizikte zaman birimini uzay birimine çevirmek için sadece c ile çarpılır:

**Uzunluk= (Zaman) × c**

Bu yüzden relativite teorisinde bazen zaman bile, "ışık-saniye", "ışık-yılı" gibi uzunluk birimleri ile yani Cisimlerin hareketi, Işık sinyallerinin yayılması ve Kütleçekimin etkisi, **zaman + uzunluk** ilişkisiyle belirlenir. Evrenin temel yasaları bu iki boyutu **birbirine bağlı** olarak kullanır. Uzay ve zamanın birbiriyle uyumu **ışık hızı sayesinde** kurulur:

Uzunluk ↔ Zaman

Metre ↔ Saniye

Aralarındaki dönüşümü yapan sabit: **c (ışık hızı)**. Bu sayede evrenin yapısı açıklanabilir.

Uzayda bir noktanın koordinatını tarif etmek için üç boyuta ek dördüncü bir boyut olarak zaman boyutunu da belirtmek gerekir. Bu dört boyut kavramını ele alarak uzay-zaman olayı

tanımlanabilir. Uzay zamanın tanımı, uzay ve zamanda 4 sayı ile konumlanmış noktalar kümesidir.

### Einsteinin bükülmüş uzay-zamanı

Einstein, Newton'ın kütle çekimi yasasından farklı olarak  $C$  (uzay boşluğunda ışık hızı olan 299.792.458 m/s) faktörünü ortaya koymuş ve zaman birleşimi ile belirtilebileceğini savunmuştur. Einstein bu uzay zamanın nesnelere yörüngesini ve zamanın geçişini etkileyen bir tür geometri olduğunu gösterdi.

Örnek verilecek olursa; Eviniz ve restoran gibi uzayda iki yeri düşünün. Aralarındaki mesafeyi iki lokasyon arasındaki en kısa mesafeyi belirlemek için kuş bakışı düz bir çizgi olarak düşünülür. Bu iki noktayı uzay-zamanda iki nokta olarak düşünüldüğünde, Olayı "akşam 6'da evde" ve "akşam 7'de restoranda" olduğunda iki nokta arasında geçen zamanda yaşam ortamımızda bilinen mesafe ile uzayda katedilen mesafe çok farklı olduğu görülür, dünyanın yörüngesinde 1 saatte aldığı mesafeyi de hesaba katmamız gerekir.

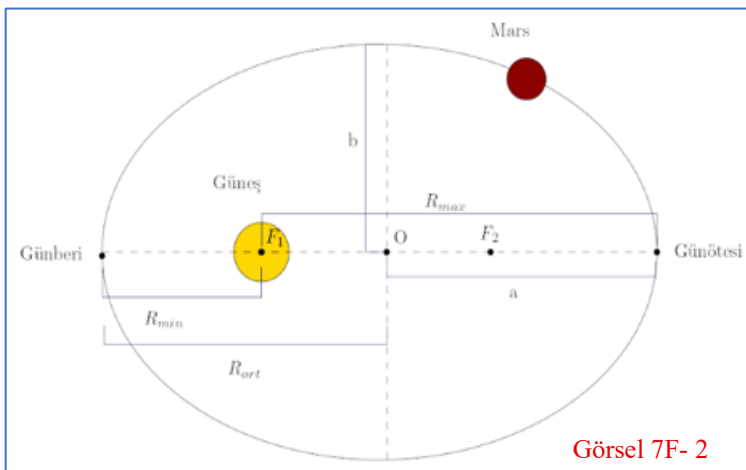
Görelilik, farklı bir hesaplama sistemidir. "Akşam 6" ve "akşam 7" aslında koordinat değerleridir yani olayların yerini belirlememize yardımcı olan etiketlerdir. (Dünyanın uzaydaki konumu da dikkate alınmalıdır)

### Kepler yasaları

Bu nedenle uzayda ne kadar çok ve hızlı hareket ederseniz, geçen sürede de o kadar az zaman geçer. Yani uzay zamanda A olayından B olayına çekim alanına girip kavisli bir yol izleyip hızlandığı için geçen zaman değeri, düz bir çizgiye göre daha kısa zaman geçmiş olacaktır.

Birinci kepler yasası,

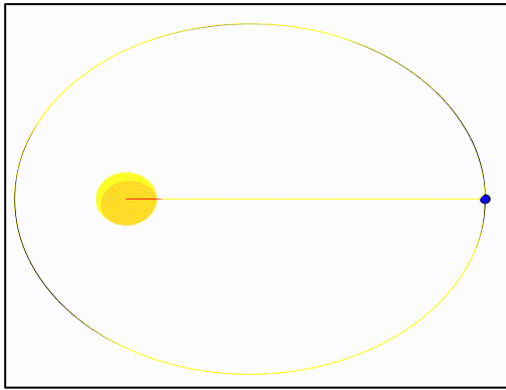
Kepler birinci gezegenin yörüngesinin eliptik olduğu güneşin odaklardan birinde



bulduğuna göre gezegen, yörüngesinin farklı konumlarında Güneş'e farklı uzaklıklarda bulunacaktır.

İkinci Kepler'in yasası,

Gezegenlerin eşit zaman aralıklarında Güneş'e çizilen doğruyla eşit alanlar taradığını, bu yüzden Güneş'e yaklaştıkça hızlandığını belirtir.



Görsel 7F- 3

Kepler'in ikinci yasası Güneş ve gezegen arasındaki çizginin, gezegenin hareketi boyunca eşit zaman aralıklarında, eşit alanlar taranmaktadır. Bu animasyonda bir gezegen Güneş'in etrafında dolanıyor. Hareketi esnasında gezegen ve Güneş arasındaki çizgi eşit sürelerde iz bırakıyor ve elipste bir alan tarıyor.

Dikkatimizi çeken iki özellik var. İlki gezegen Güneş'ten uzaktayken, özellikle günötesindeyken, görece yavaş hareket ediyor, hızı düşük. Ama Güneş'e yaklaştıkça, özellikle günberideyken, hızlı hareket ediyor. Bu bizi ikinci özelliğe götürüyor, siyah çizgilerin yoğunluğuna göre, "uzaktayken sıkılar yakındayken seyrekler". Hesaplamalarda eşit sürede taranan alanların birbirine eşit olduğu görülür. Keplerin ikinci kanununun fiziksel nedeni de [açısal momentumun korunumudur](#).

Üçüncü Kepler yasası:

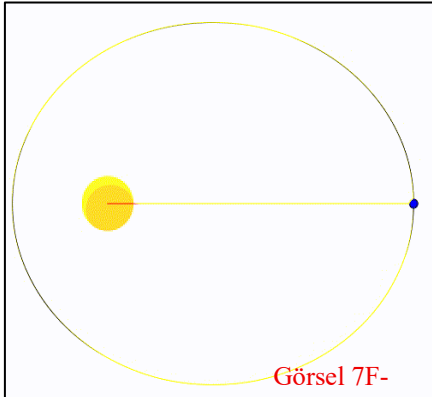
Yarıçapın Küpünün Periyodun Karesine Oranı Sabittir. Kepler, gözlem verilerini kullanarak üçüncü kanununa ulaşmış. Buna göre gezegenlerin tümü için ortalama yarıçapın ( $R_{ort}$ ) küpünün (üçüncü kuvvetinin), periyodun karesine (ikinci kuvvetine) eşit olduğu sonucuna varmış.  $R_{ort}^3 T^2 = \text{sabit}$   $T^2 \gg R_{ort}^3 = \text{sabit}$

Bu kanunun fiziksel nedenini de [Newton'un evrensel kütle çekim yasası](#) ile açıklanabilir. Kütle çekim kuvvetinin çembersel harekete neden olan kuvvet olduğu bilgisiyyle,  $M_1$  Güneş'in kütlesi,  $M_2$  gezegenin kütlesi olmak üzere:

$$R^3 T^2 = GM_1 4\pi^2 T^2 R^3 = GM_1 4\pi^2$$

Newton'un genellemesi ile Kepler yasaları karşılıklı yerçekimlerinin etkisi altında hareket eden herhangi iki cisme uygulanabilir hale gelir. Örneğin, bu yasalar şu durumlarda da geçerlidir:

## Mars Gezeni yörüngesi



Copernicus gezegenlerin yörüngelerinin çember şeklinde olduğunu öne sürmüştü. Kepler gezegenlerin konum verilerinin çember şeklinde yörüngelere değil elips şeklindeki yörüngelerde dönüşünde taradığı alan daima eşittir. Mars gezegeninin yörüngesi ve uydusunun hareketi görünüyor. (Görsel 7F- 3)

## Uzayda zamanın bükülmesi

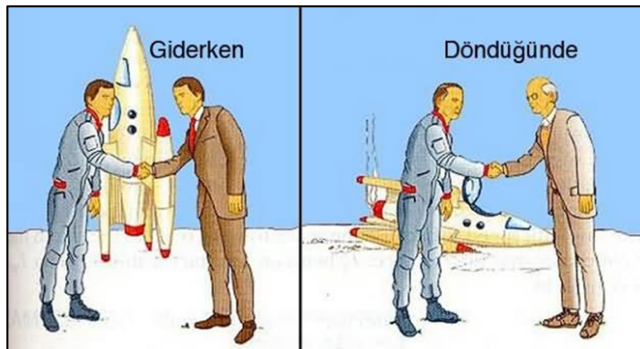
Kütlesi olan cisimler uzay-zamanın bükülmesine yol açar. Cisimler ivmelenerek hareket ettiğinde uzay-zaman dokusunun eğiminde değişimler meydana geldiğini (Albert Einstein, 1916'da genel görelilik kuramında kütle çekimsel dalgaların varlığını öngördü).

Bir nesnenin ışık hızında uzayda 1 saat gittiğinde, Dünya'da 100 yıla eşit olduğu hesaplanıyor.

Eğer kütlesi olan nesne çekimi çok çok büyük olan bir cismin çekim alanına girdiğinde nesnenin hızı arttığı için zaman orada daha yavaş akar. Yani hedeflenen noktaya daha kısa zamanda varır. (Görsel 7F- 5) görselde uzayda bulunan büyük kütlelerin büyük çekim alanıyla zamanın bükülmesi göstermektedir.

Bu durumun yarattığı etki Hermann Minkowski<sup>1</sup> koordinat grafiğinden daha geniş olarak anlatılmaktadır.

Uzayda çok hızlı hareket etmiş bir astronotun yaşlanması dünyada yaşayan insana göre daha genç kaldığı görülür. (Görsel 7F- 5)



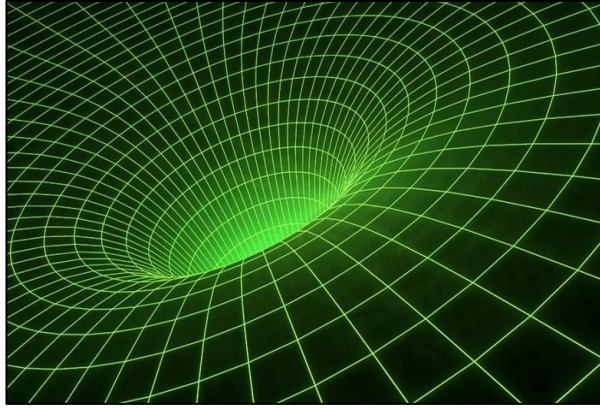
Görsel 7F- 5

<sup>1</sup> Hermann Minkowski, Alman matematik ve fizikçi, uzay-zaman kavramını matematiksel formüle etmiştir. Uzayı 4 boyut ile değerlendirdi

Örneğin, gideceğiniz bir yere, hızı fazla olan bir araçla gittiğinizde geçen zamanın daha kısa olur veya hedefe erken vardığınızda çok hızlı gittiğinizi düşüncesi ortaya çıkar.

Albert Einstein'nın ortaya koyduğu bükülmüş uzay-zaman fikri, özellikle genel rölativite (görelilik) teorisinin temelidir, bu fikre göre Kütle ve Enerji, uzay zamanı bükür. Bu da dünyamızda yerçekimidir.

Uzayda, zaman (3 boyutlu), zaman ise (1 boyutlu) olarak 4 boyutlu bir yapı oluşturur. Bir cisim çok büyük kütleyle sahip olursa (Görsel 7F-6) te görüldüğü çevresindeki uzay zamanı bükür. Yani geçilen yolu bükür ve harcanan zamanı azaltır (hızlanarak).



Görsel 7F- 6

## Kara delik zamanı nasıl bükerek?

Kara delik, çok büyük bir kütle için **çok küçük bir hacme sıkışmasıyla** oluşur. Bu yüzden çekim kuvveti aşırı artar. Kara deliğin sınırına **olay ufku (event horizon)** denir. Bu sınırı geçen bir şey artık geri dönemez.

Güneş'ten çok daha büyük yıldızlar (en az 8–10 katı) ömürlerinin sonunda yakıtlarını tüketir.

Çekirdek kendi içine çöker. Büyük bir patlama olur. (Süpernova)

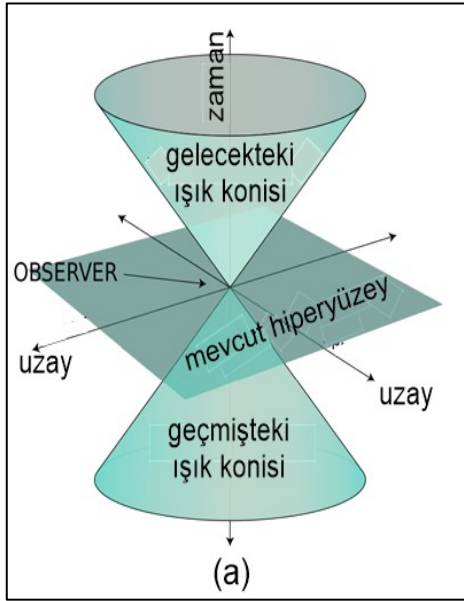
Geriye kalan çekirdek çok yoğunsa **kara delik** oluşur. Kara delik, uzayı adeta bir çukur gibi bükür. (Görsel 7F- 6)

Karadelik nesnelere kendine çeker ve nesne karadeliğe yaklaştıkça hızı artar ve zaman akışı yavaşlar (zaman kısalmır). Zamanın bükülmesi olayını ortaya çıkarır. Bu durumda hızı ortaya çıkararak şey ise Dünya'nın kütlesi doğrultusunda uzay zamanı bükmesi olayıdır. Ne kadar çok bükülme yaşanır hız da o kadar artacaktır. Kara deliklerin kütle çekimi ise o kadar büyüktür ki ışığın kütleli fotonlarını bile çekerek zamanı bükebilir. Devasa kütleyle sahip olan kara delikler uzay zamanı ciddi anlamda bükür.

Kara delikler gibi yoğun yerçekimi alanları, zamanın daha dramatik bir şekilde yavaşlamasına neden olabilir. Bu nedenle, kara deliklerin etrafında zamanın büyük ölçüde etkilendiği konusu, genel görelilik teorisinin temel unsurlarından biridir.

## Uzayda ışık konisi

Bu diyagrama evreni sadece “nerede” değil, “ne zaman” birlikte düşünülmesini ışık hızı, olaylar arasındaki **etkileşimin sınırını** belirler. (Görsel 7F- 7)



Yani ışık uzayda ne kadar gidiyorsa, zaman ekseninde de aynı oranda ilerler

Bu yüzden çizgi tam **45° eğimli** olur.

Bu çizgiler şunu belirler: Işıktan hızlı hiçbir şey gidemez, bu yüzden uzay-zaman 3 bölgeye ayrılır:

1. Gelecek (üst bölge) Buraya girilebilir → fiziksel olarak mümkün
2. Geçmiş (alt bölge) İnsanı etkileyen olaylar
3. Dış bölge (yan taraflar) Buraya ulaşılamaz (ışık hızı aşılamaz)

Görsel 7F- 7

Her olayın: Etkileyebileceği bir **geleceği**, etkilendiği bir **geçmiş**i vardır. Albert Einstein'ın teorisine göre: Daha önce de belirtildiği gibi bir cisim ne kadar hızlı hareket ederse onun için zaman o kadar yavaş akmaktadır.

Örnekle açıklarsak, Diyelim ki:

- Uzaya çıkan bir astronot ışık hızına yakın hızla uzayda gidiyor, dünyada bulunan kişi de astronotu bekliyor olsun, bu durumda astronot hızında uzayda 2 yıl kaldığında dünyada bekleyen kişi 10 yıl yaşlanmış olacaktır. (Görsel 7F- 6) Uzayda dünyadaki insan düz dikey yol izler buna karşın uzaydaki astronot ise yanından geçtiği gezegenleri kütle çekiminin etkisi ile hızları artarak eğik veya kırık yol izlerken geçen zaman yavaşlar yani varacağı hedefe daha kısa zamanda varır.

Bugünün teknolojisi ile ışık hızına yakın hızda uçmak mümkün olmadığını bilmek gerekir.

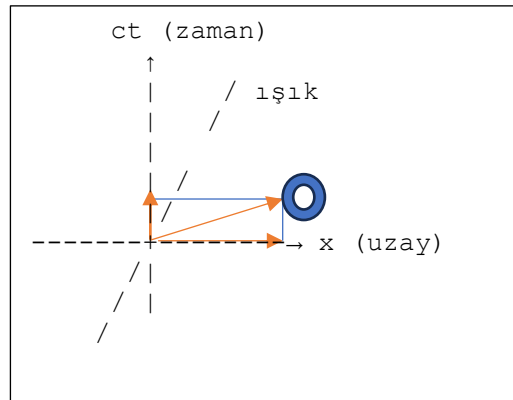
Yaşamda insanın uzaya göre hareketi ise, dünyanın sabit eksenini etrafında dönüşü ile güneş

etrafındaki yörüngesinde dönerek hareket etmesi ve güneş sisteminin de içinde bulunduğu samanyolunun<sup>2</sup>da galaksi içinde hareket ettiği bilinmektedir.

Bu hızların toplamı Dünya eksenini etrafındaki dönüşünde ekvator hız  $\sim 1670$  km/saat, Güneş etrafında yörüngesinde dönüşünde ise  $\sim 107,000$  km/saat, ancak bu hızlar ışık hızına göre çok çok küçüktür. (Işık hızı 400.000 km/saniye)

Ayrıca güneş sistemimiz samanyolu galaksisi içinde bulunuyor ve samanyolu galaksisi de 220 km/saniye hızla kendi etrafında dünya zaman hızına göre 66 milyon yılda henüz bir turunu tamamladığı bilimsel olarak hesaplanmaktadır. Görülüyor ki tüm sistemler belirli hızda hareket ederek dünyamızda bizlerin yaşadığı zaman hızını belirliyor.

Dünyanın ekvatora yakın ve yüksek yerlerinde yaşayan insanların dünyanın diğer noktalarında yaşayan insanlara nazaran, uzayda biraz daha hızlı hareket etmiş olduğu hesaplanabilir. örneğin ekvatorda yüksek tepelerde (And Dağları gibi) yaşayan insanların ortalama ömürlerinin daha uzun olduğu bilinmektedir. Bunun yanında tabii ki daha düşük oksijen seviyelerine (hipoksi) adaptasyon ve ılıman iklimin de etkisinin olduğu da kabul edilmelidir.



### Hermann Minkowski diyagramı

Albert Einstein'nın genel rölativite (görelilik) teorisi Kütle ve Enerji, uzay zamanı büker teorisi için dünyamızdaki örneği yerçekimidir.

Uzay (3 boyutlu), zaman ise (1 boyutlu) olarak uzayda 4 boyutlu bir yapı oluşur. Buna göre Hermann Minkowski bunları bir grafikte şöyle ifade etmiştir.

Dikey eksen → **zaman (ct)**

Yatay eksen → **uzay (x)**

<sup>2</sup> **Samanyolu:** Milyarlarca yıldızdan oluşan ve güneş sistemimiz de içinde olan bir galaksidir

**Işık** burada  $45^\circ$  Açıyla ilerler

Olmak üzere Minkowski diyagramı basit olarak aşağıdaki göstermiştir.

Işık her zaman  $45^\circ$  açıyla gider,

Işık sağa gidiyorsa  $\rightarrow x = +ct$ ,

Işık sola gidiyorsa  $\rightarrow x = -ct$

Burada **O** nesnesinin uzayda ilerleme hızına göre X ekseninde boyu, ct X ekseninde vektör (zaman) ekseninde görülür. Hız ne kadar hızlı olursa zaman o kadar az ilerler. Bu hız ışık hızında olursa açı  $45^\circ$  açı olur.

Hermann Minkowski'nin geometrisine göre Uzay-zamanda "mesafe" şöyle hesaplanır:

Dikkat: formülde  $(s^2 = c^2 t^2 - x^2)$  Uzay kısmı **çıkarılıyor**. Bu yüzden daha fazla uzayda hareket  $\rightarrow$  zamanı "kısaltır"

### Astronotun yolu

Astronot: Uzaya gidiyor  $\rightarrow$  x yönünde hareket ediyor, dünyada kalan çizgisi eğik olur.

Ne kadar hızlıysa  $\rightarrow$  çizgi o kadar ışık çizgisine yaklaşır.

Yavaşlarsa  $\rightarrow$  biraz eğik eğer çok hızlı olursa  $\rightarrow 45^\circ$ 'ye yakın olur.

Astronot geri dönerken çizgi kırılır (V şeklinde olur) gidişte sağa eğik çizgi, dönüşte sola eğik çizgi olur. Burada asıl olay zamanın uzunluğu

Dünya'daki kişi  $\rightarrow$  düz (dikey) yol

Astronot  $\rightarrow$  kırık ve eğik yol

Minkowski geometrisinde: En uzun zaman = en "düz" yoldur. Galakside bükülen zaman ile gidilen yol düz yolda daha hızlı gittiği için zaman kısalması olur.

Duran kişi  $\rightarrow$  çok yaşlanır

Hareket eden kişi  $\rightarrow$  daha az yaşlanır

- Uzayda hareket etmek  $\rightarrow$  zaman "harcamak" dünyadakine göre daha "kısadır."
- En çabuk yaşlanan kişi  $\rightarrow$  hiç hareket etmeyen kişidir.

## ÖZET OLARAK

### Uzay – Zaman

**Genel Görelilik Teorisi:** Albert Einstein'ın geliştirdiği genel görelilik teorisi, kütleli bir cismin, uzay-zaman dokusunu bükmesi ve yerçekimi alanı oluşturmasıyla büyük bir kütle, uzay-zaman dokusunu bükerek, yakınındaki nesnelere hareketini etkiler.

**Zamanın Yavaşlaması:** Genel görelilik teorisine göre, yerçekimi alanının yoğunluğu arttıkça, zamanın akışı yavaşlar. Yüksek yerçekimi alanları, zamanın daha yavaş işlemesine neden olur

**GPS Uyduları:** GPS uyduları, yüksek hızda ve düşük yerçekimi alanında buldukları için, GPS sinyallerinin düzgün bir şekilde işlemesi için bu etkilerin hesaba katılmaktadır.

### Uzay-zamanın görselleştirilmesi

Uzay-zaman genellikle iki boyutlu bir düzlemde, üzerindeki kütlelerin oluşturduğu eğriliklerle temsil edilir. Bu eğrilikler, büyük kütlelerin yerçekimi etkilerini açıklamak için kullanılan bir analogidir

### Kısa Karşılaştırma

Özellik	Özel Görelilik	Genel Görelilik
Yerçekimi	✗ Yok	✓ Var
Hareket	Sabit hız	İvme + yerçekimi
Uzay-zaman	Düz	Eğri
Uygulama alanı	Parçacıklar, uydular	Gezegenler, kara delikler, evren

bir saat çeşididir.

### Sezyum frekansı

Tek kararlı ve yaygın izotopu Sezyum-133'tür. Sezyum-135 ise, yaklaşık 2,3 milyon yıllık yarılanma ömrüne sahiptir.

Radyoaktif Sezyum-131 izotopu ise kanser tedavilerinde kullanılmaktadır.

İlk atom bombasında da kullanılan Sezyum-137'nin 10 miligramı ile üretilen bir patlayıcı, büyük bir binayı yerle bir edebilir.

Başka bir deyişle sezyum-133 atomları tarafından yayılan ışığın elektrik ve manyetik alanları saniyede 9.192.631.770 kez salınır. Bu zaman standardına sezyum standardı denir. Atom saatlerinden çeşitli teknolojilerde ve bilimsel çalışmalarda yararlanılır.

## Atom Saati

Atom saati, saniyeler arasındaki tikleri saymak için farklı enerji durumlarında atomların salınımlarını kullanan bir ayardır. Bu saatler günümüzün en hassas zaman ölçme aletleridir.

Atom saatlerinin üretiminde kullanılan sezyum atomunun elektron rezonans frekansı saniyede 9 milyar 192 milyon 631 bin 770 devirdir. Atom saatlerinin 3-15 milyon yılda yaklaşık 1 saniye hata payı vardır.

Sezyum, radyoaktif özellikleri sebebiyle büyük tedbirler gerektiren bir elementtir. Devlet kontrolünde üretilebilir, öldürücüdür. Nükleer santrallerin vazgeçilmezi bir elementtir.

Uzayda zayıf çekim zamanı 0,01sn. (10 mili saniye) gibi atom saati ile ölçülebilir. Eğer bu fark düzeltilmezse GPS den aldığımız yer tespitleri (km) mertebesinde sapmalara neden olurdu.

## Bazı ek bilgiler

- **Dünya yüzeyi** 27.600 km/saat hızla döner
- **Evrenin yaşı** 13,8 Milyar yıl
- **Işık hızı:**  $c=299\,792\,458\text{ m/sc}= 299.792.458\text{ m/s}$  (1 dakika= ışığın gittiği 17.987.547 kilometre)
- **Fizikte zaman birimini**, uzay birimine çevirmek için sadece c ile çarpılır
- **JWST James Web uzay teleskopu** ile 13,4- 13,6 yıl önceye kadar olan olaylar görülebilmştir. (200- 300 milyar yıl) eskiden gelişen olayları görebilmştir. Bu nasıl olur? Galaksinin genişleme hızı ışık hızından yavaş olduğu ve teleskopun uzağı görebilme kapasitesine bağlı olarak görülebilmştir.
- **Uzayın genişleme hızı:**  $H_0 \approx 70\text{ km/s} / \text{megaparsek}$  (1 megaparsek~3,26 milyon ışık yılı)  
Uzaklıktaki bir galaksi→ bizden **70 km/s hızla uzaklaşır**. Evrenin genişlemesi klasik hız sınırına bağlı değildir. Çok uzak galaksiler→ bizden ışık hızından daha hızlı uzaklaşıyor gibi görünür ama bu Galaksilerin uzayda koşması değil uzayın kendisinin genişlemesidir. Ancak bu genişleme.
  1. Evren sabit bir hızla değil, oransal olarak genişler,
  2. Temel yasa: Hubble Yasası,
  3. Ortalama genişleme oranı:  $\sim 70\text{ km/s/Mpc}$

## Kaynaklar

<https://astronomi.itu.edu.tr/fizik/isik-hizi/>

<https://www-spcf.gsfc.nasa.gov/stargaze/Sun4Adop1.htm>

[bilisenbesergil.blogspot.com](https://bilisenbesergil.blogspot.com)