

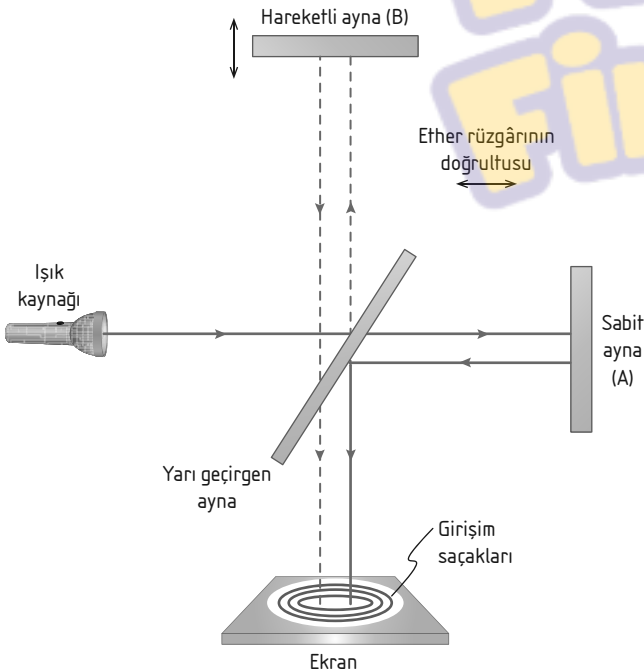


Özel Görelilik

MICHELSON-MORLEY DENEYİ

Elektromanyetik dalgaların yayılması için maddesel bir ortamın gerekli olduğunu düşünen Albert Michelson ve Edward Morley uzayın **ether** adı verilen bir ortamla dolu olduğunu öne süren ether hipotezini ortaya atmışlardır.

- Michelson ve Morley, 1887 yılında etherin var olup olmadığını açıklayabilmek için **interferometre** adını verdikleri bir deney düzeni hazırladılar.
- İnterferometrede bir ışık kaynağından çıkan ışık ışınları yarı geçirgen bir filtre ile ikiye ayrılır ve iki ışın demeti birbirlerine dik doğrultularda hareket ettirilir. Demetler eşit uzaklıktaki aynalardan yansıyıp geri döndüklerinde, oluşturdukları girişim deseni incelenir.



- Bu deneyde, Dünya'nın hareket hızının doğrultusunda hareket eden ışık demetinin hızının değişmesi sonucu, oluşan girişim deseninde farklılık görmek amaçlanmıştır.
- Fakat beklediği gibi bir sonuçla karşılaşamadı. Deney farklı ortamlarda ve doğrultularda defalarca denenmesine rağmen sonuç değişmemiştir.

- Michelson-Morley deneyi sonucuna göre,
 - Ether hipotezinin geçerli olmadığı ispatlandı.
 - Boşluktaki ışık hızının her doğrultu ve yönde aynı değere sahip olduğu ortaya konuldu.
 - Işığın yayılmak için hiçbir ortama gerek duymayan bir elektromanyetik dalga olduğu görüşü ağırlık kazandı.

NOT

Michelson ve Morley, ether rüzgârını keşfetmek için azim ve kararlılıkla 42 yıl boyunca uğraşmışlar, yılın farklı zaman dilimlerinde ve Dünya'nın farklı coğrafi bölgelerinde deneylerini defalarca tekrarlamışlardır. Tüm bunların sonucunda; girişim deseninde gözlenmesini bekledikleri saçak kayması hiçbir zaman gözleymemişlerdir.

Buradan Michelson ve Morley'in 'başarısız oldukları' sonucuna değil, 'etherin olmadığını kesinlikle ispatladıkları' sonucuna ulaşılmalıdır. Çünkü bu sayede Einstein, görelilik kuramını geliştirmek için sağlam bir dayanak noktasına sahip olmuş ve 2. postülasını bunun üzerine kurgulamıştır.

Tarihsel Süreç

- Galileo'nun görelî hareket üzerindeki çalışmaları ve Maxwell'in elektromanyetik teorisi temel oluşturdu.
- Henry Poincare, ışık hızının sabit olduğunu savundu, göreliliğin temellerini inceledi ve Lorentz dönüşümlerini geliştirdi.
- Einstein, bu kavramları entegre ederek ışık hızının sabit olduğunu öne sürdü ve zaman genişlemesi, uzunluk daralması ve kütle - enerji eşdeğerliliği ortaya koydu.



Örnek

Michelson - Morley deneyinin sonuçlarına göre,

- I. Uzay ether adı verilen bir ortamla doludur.
 - II. Işık saydam olmayan ortamlarda yayılamaz.
 - III. Işığın boşluktaki hızı her doğrultu ve yönde aynıdır.
- yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) I ve III E) II ve III

ÖZEL GÖRELİLİK KURAMI

- ✔ Newton mekaniğine göre, uzay ve zaman kavramları mutlak olup, cisimlerin ulaşabilecekleri hızın bir üst sınırı yoktur.
- ✔ Bilim insanları 20. Yüzyıl'da yaptıkları deneylerde, ışık hızına yaklaşan taneciklerin Newton mekaniğine uymadıklarını gözlemledi.
- ✔ 1905 yılında Einstein özel görelilik kuramını ortaya atarak, bu kurama ait iki temel postüla yayınlamıştır.

1. POSTÜLA

- ✔ Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.

NOT

Duran ya da düzgün doğrusal hareket yapan sistemlere **eylemsiz (ivmesiz) referans sistemi** denir.

2. POSTÜLA

- ✔ Işığın boşluktaki hızı, tüm eylemsiz referans sistemlerinde sabittir. Bu hız değeri $c = 3 \cdot 10^8$ m/s'dir.
- ✔ Einstein, özel görelilik teorisiyle zamanın ve uzunluğun gözlemcinin hızına bağlı olarak değiştiğini göstermiş, momentum ve enerji tanımlarına farklı bir bakış açısı getirmiştir.

ÖSYM Benzeri

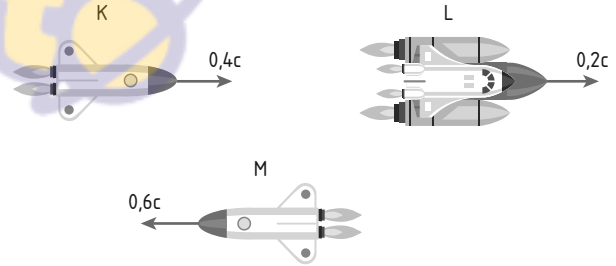
- I. Işık hızı gözlemcinin hareketinden bağımsız olup sadece ışık kaynağının hareketine bağlı olarak değişir.
- II. Işık boşlukta yayılabilir.
- III. Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.

Yukarıdaki yargılardan hangileri Einstein'ın özel görelilik kuramının sonuçlarındandır?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

Örnek

Hızlarının büyüklükleri sırasıyla $0,4c$, $0,2c$ ve $0,6c$ olan K, L ve M araçları aynı doğrultuda şekildeki gibi hareket etmektedir.



L aracının üzerindeki ışık kaynağından c hızıyla yayılan ışığın hızını; K aracındaki gözlemci v_K , M aracındaki gözlemci v_M olarak ölçtüğüne göre; c , v_K ve v_M arasındaki büyüklük ilişkisi nedir? (c : Işık hızı)

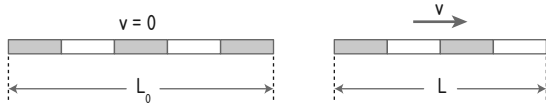
- A) $c < v_K = v_M$ B) $v_K = v_M < c$ C) $c = v_K = v_M$
D) $v_M < v_K < c$ E) $v_K < c < v_M$



GÖRELİ UZUNLUK

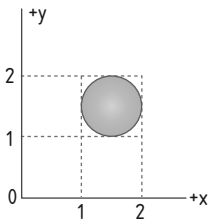
Bir cismin durgun olduğu referans sisteminde ölçülen uzunluğuna **mutlak uzunluk** denir. Hareketli bir gözlem çerçevesinde, mutlak uzunluğun farklı olarak ölçülen değerine **görelî uzunluk** denir.

- ❖ Işık hızına yakın v hızıyla hareket eden şekildeki gibi bir çubuğun hareket doğrultusundaki boyu, yerdeki durgun gözlemci tarafından, **daha kısa** olarak ölçülür. Bu duruma **uzunluk büzülmesi** denir.

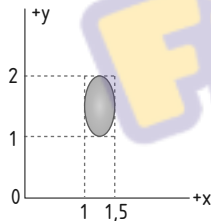


Örnek

Durgun hâlde dairesel biçimde olan Şekil 1'deki cisim, ışık hızına yakın bir hızla hareket ettiğinde durgun hâldeki bir gözlemci tarafından Şekil 2'deki gibi gözleniyor.



Şekil 1



Şekil 2

Buna göre,

- Cisim $+x$ yönünde hareket ediyor olabilir.
- Cisim $+y$ yönünde hareket ediyor olabilir.
- Cisim $-x$ yönünde hareket ediyor olabilir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) II ve III

GÖRELİ ZAMAN

Einstein'ın 2. postülasına göre, ışık hızına yakın hızlarla hareket eden araç içinde ışığın hızının yine c değerinde ölçülebilmesi için araç içindeki zamanın daha yavaş akması gerekir.

Bir olayın durgun olduğu referans sisteminde ölçülen zamanına **mutlak zaman** denir. Hareketli bir gözlem çerçevesinde mutlak zamanın farklı olarak ölçülen değerine **görelî zaman** denir.

- ❖ Işık hızına yakın v hızıyla hareket eden bir aracın içinde gerçekleşen bir olayın gerçekleşme süresi, yerdeki durgun gözlemci tarafından, "daha uzun sürede" gerçekleşiyor gibi ölçülür. Bu duruma **zamanın genişlemesi** denir.
- ❖ Atmosferde oluşan ve Dünya'ya doğru hareket eden müonlar kendi yarılanma sürelerinin çok üzerinde yol katedebilirler. Bu da; yüksek hızlarından dolayı müonların yarılanma ömrünün genişlediğini kanıtlar.

Örnek

Dünya'daki bir gözlemci, ışık hızına yakın hızla hareket eden bir araçtaki saat 10.00 iken, kendi saatini de 10.00'a ayarlıyor.

Dünya'daki gözlemciye göre,

- Saatlerin gösterdiği değerler aynıdır.
- Kendi saati, araçtaki saate göre ileridir.
- Aracın hareket yönüne göre, araçtaki saat ileri ya da geri olabilir.

yargılarından hangileri doğrudur?

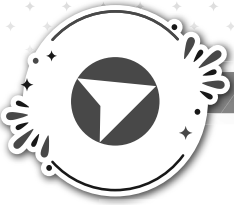
- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

Örnek

Bir elmanın ağaçtan düşme süresi Dünya'daki durgun bir gözlemciye göre t_1 , $0,4c$ hızıyla hareket eden uzay aracındaki bir gözlemciye göre t_2 , $0,7c$ hızıyla hareket eden uzay aracındaki bir gözlemciye göre t_3 tür.

Buna göre; t_1 , t_2 ve t_3 arasındaki ilişki aşağıdakilerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A) $t_1 > t_2 > t_3$ B) $t_3 > t_2 > t_1$ C) $t_2 > t_1 > t_3$
D) $t_1 = t_2 = t_3$ E) $t_1 = t_3 > t_2$



KÜTLE - ENERJİ EŞDEĞERLİĞİ

Einstein'ın geliştirdiği kütle - enerji eşdeğerliği, $E = mc^2$ denklemi ile ifade edilir. (E: Enerji, m: Kütle, c: Işık hızı)

- ❖ $E = mc^2$ denkleme göre, madde ile enerji birbirine dönüşebilmektedir.
- ❖ Özellikle çekirdek ve parçacık fiziğinde kütle - enerji eşdeğerliğinden faydalanılmakta ve denklemin doğruluğu anlaşılmaktadır.
- ❖ Çift oluşum ve yok olma tepkimelerinde enerji kütle dönüşümlerini görürüz.

Örnek

Bir madde, laboratuvar ortamında;

- ısıtma,
- ışığı soğurma,
- sıkıştırma

işlemlerine ayrı ayrı tabi tutulup, her seferinde çok hassas kütle ölçümü yapıldığında hangi işlemlerden sonra maddenin kütlelerinde artış olduğu gözlemlenebilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

Örnek

Aynı maddelerden yapılmış K, L ve N cisimlerinin kütleleri sırasıyla m, 2m ve 3m'dir.

Kütle - enerji eşdeğerliği bakımından bu cisimlerin enerji değerleri sırasıyla E_K , E_L ve E_N olduğuna göre bunlar arasındaki ilişki aşağıdakilerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

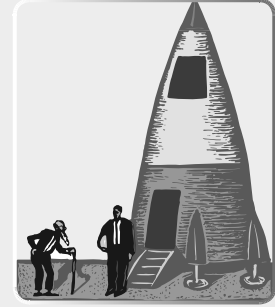
- A) $E_K > E_L > E_N$ B) $E_K = E_L = E_N$ C) $E_N > E_L > E_K$
D) $E_N > E_K > E_L$ E) $E_K = E_N > E_L$

MERAKLISINA BİLGİ

İKİZLER PARADOKSU

Zamanın genişlemesi ile ilgili ortaya atılan önemli bir düşünce deneyidir. Buna göre, ikiz kardeşlerden biri roketle ışık hızına yakın bir hızla Dünya'dan uzaklaşırken, diğer kardeş Dünya'da kalır.

Roketteki kardeş kendini durgun Dünya'yı ise ışık hızına yakın bir hızla kendinden uzaklaşıyor gördüğü için roketteki kardeşe göre Dünya'daki kardeş daha yavaş yaşlanacaktır. Dünya'daki kardeş ise kendini durgun roketteki ikiz kardeşini ise ışık hızına yakın bir hızla kendinden uzaklaşıyor gördüğü için Dünya'daki kardeşe göre roketteki kardeş daha yavaş yaşlanacaktır. Her iki kardeş kendisinin yaşlı ve diğerinin daha genç olduğunu iddia ettiği için burada bir paradoks vardır.



Paradoksun çözümü özel değil genel görelilikle yapılabilir. Dünya'daki kardeş haklıdır. Çünkü roketteki ikiz, gidip geri gelirken hızlanma ve yavaşlama yani ivmeli hareket yapar. Bu nedenle, özel görelilik değil genel görelilik kuralları geçerli olacağından, buluştuklarında, Dünya'daki kardeş daha yaşlıdır.

GÜNLÜK HAYAT VE TEKNOLOJİDEKİ YERİ

- ❖ Küresel Konumlama Sistemi (GPS), Dünya'nın etrafında dönen uydulardan gelen hassas zamanlamaya dayanır. Zaman genişlemesi, GPS'in doğruluğunu sağlamak için göz önünde bulundurulmalıdır. Einstein'ın görelilik teorisine dayanan bu düzeltmeler yapılmazsa GPS sinyalleri hatalı olur ve navigasyon hatalarına yol açar.
- ❖ Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) gibi parçacık hızlandırıcılar da parçacıklar ışık hızına yakın hızlara kadar hızlandırılır. Bu parçacıklar ışık hızına yaklaştıkça kütleleri özel görelilik etkilerine bağlı olarak artar. Bu relativistik etkiler, parçacık fiziği ve yüksek enerjili deneyleri anlamak için kritik öneme sahiptir.