

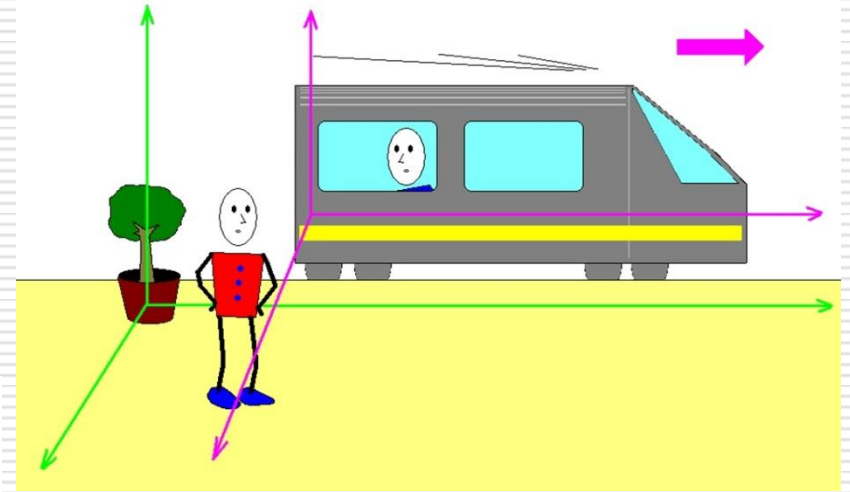
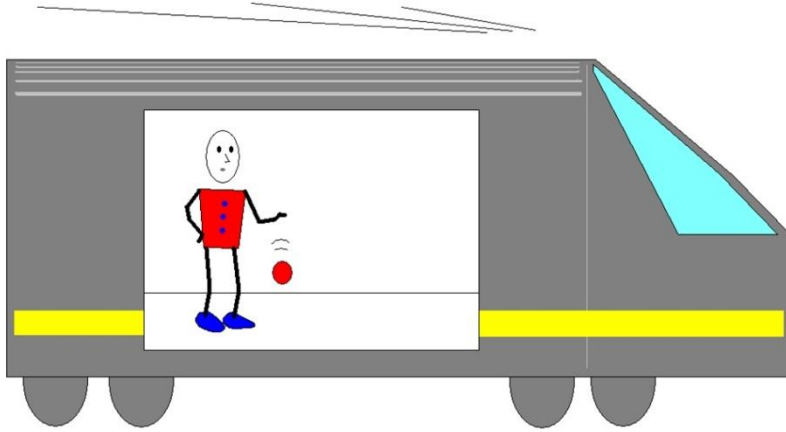
EINSTEIN NE YAPTI?

ÖZGÜR GÜLTEKİN

*İstanbul Üniversitesi
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği*

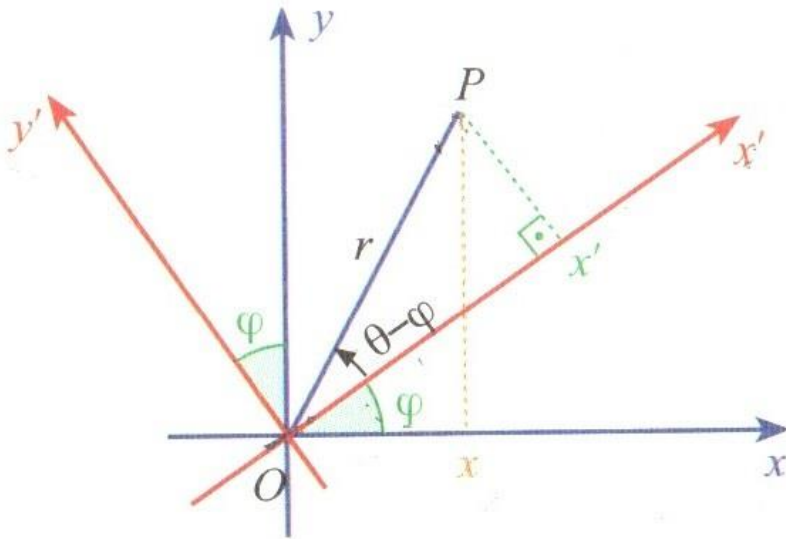
Kavramsal Çerçeve: Bazı Tanımlar

- Görelilik ilkesi
- Fiziğin nesnelliği
- Eylemsizlik sistemi



- Koordinat dönüşümleri
- İnvaryant (değişmez) kavramı

Özel Bir Dönüşüm: Dönme Dönüşümü



$$x = r \cdot \cos \theta \quad y = r \cdot \sin \theta$$

$$x' = r \cdot \cos (\theta - \varphi)$$

$$y' = r \cdot \sin (\theta - \varphi)$$

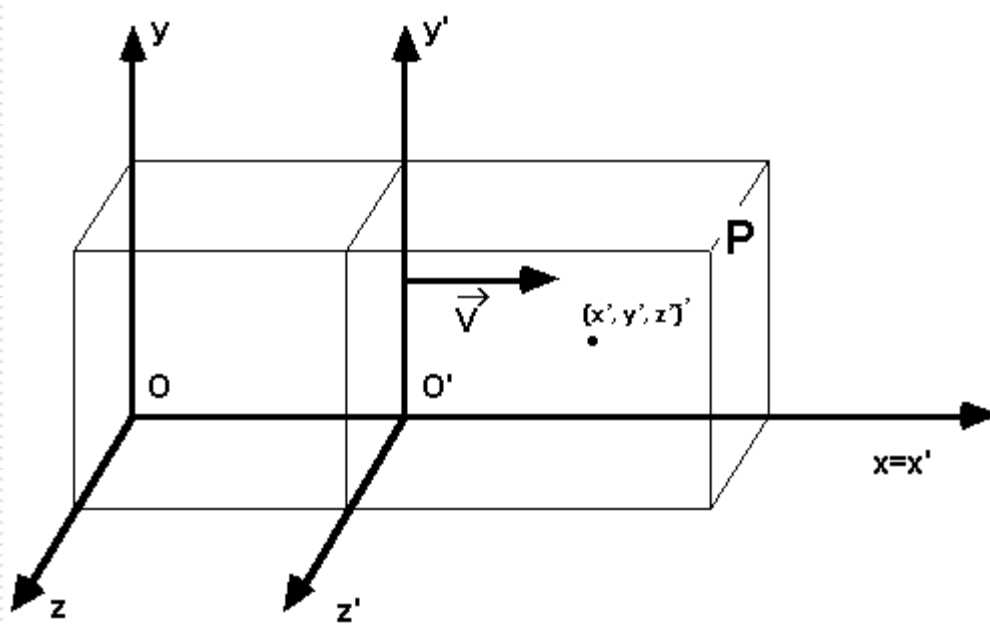
$$\begin{aligned} x' &= r \cdot \cos (\theta - \varphi) = r (\cos \theta \cdot \cos \varphi + \sin \theta \cdot \sin \varphi) \\ &= r \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi + r \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi = x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y' &= r \cdot \sin (\theta - \varphi) = r (\sin \theta \cdot \cos \varphi - \cos \theta \cdot \sin \varphi) \\ &= r \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi - r \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi = y \cdot \cos \varphi - x \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

$$x' = x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi$$

$$y' = -x \cdot \sin \varphi + y \cdot \cos \varphi$$

Galileo Dönüşümleri



$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Fiziğin Nesnelliği ve Elektromanyetizma

Klasik mekanik yasaları Galileo dönüşümleri altında **değişmez** (invariant) kalır.

$$F = m \cdot a \qquad F' = m \cdot a'$$

Ancak klasik elektromanyetizmanın temel denklemleri (Maxwell denklemleri) Galileo dönüşümleri altında **değişmez** kalmaz.

Fiziğin Nesnelliği ve Elektromanyetizma

Klasik mekanik Galileo dönüşümleri altında **değişmez** (invariant) kalır.

$$F = m \cdot a$$

$$F' = m \cdot a'$$

Ancak klasik elektromanyetizmanın temel denklemleri (Maxwell denklemleri) Galileo dönüşümleri altında **değişmez** kalmaz.

Einstein: Maxwell denklemlerini değişmez bırakan koordinat dönüşümleri nasıl olmalıdır ve bu dönüşümlere hangi ilkeler ışığında ulaşılabilir ?

Lorentz Dönüşümleri

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

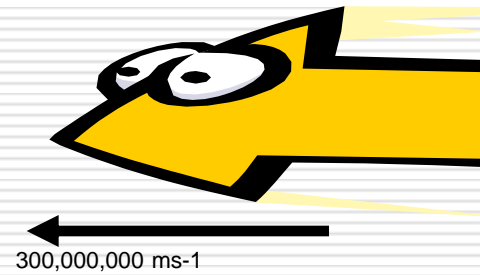
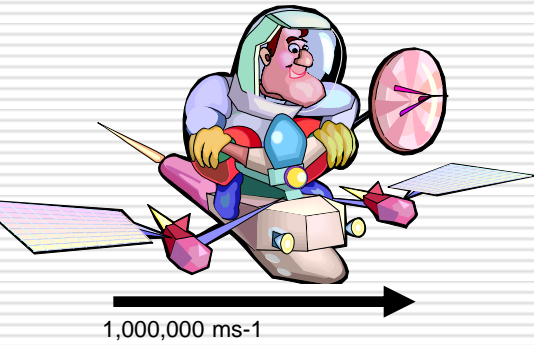
$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

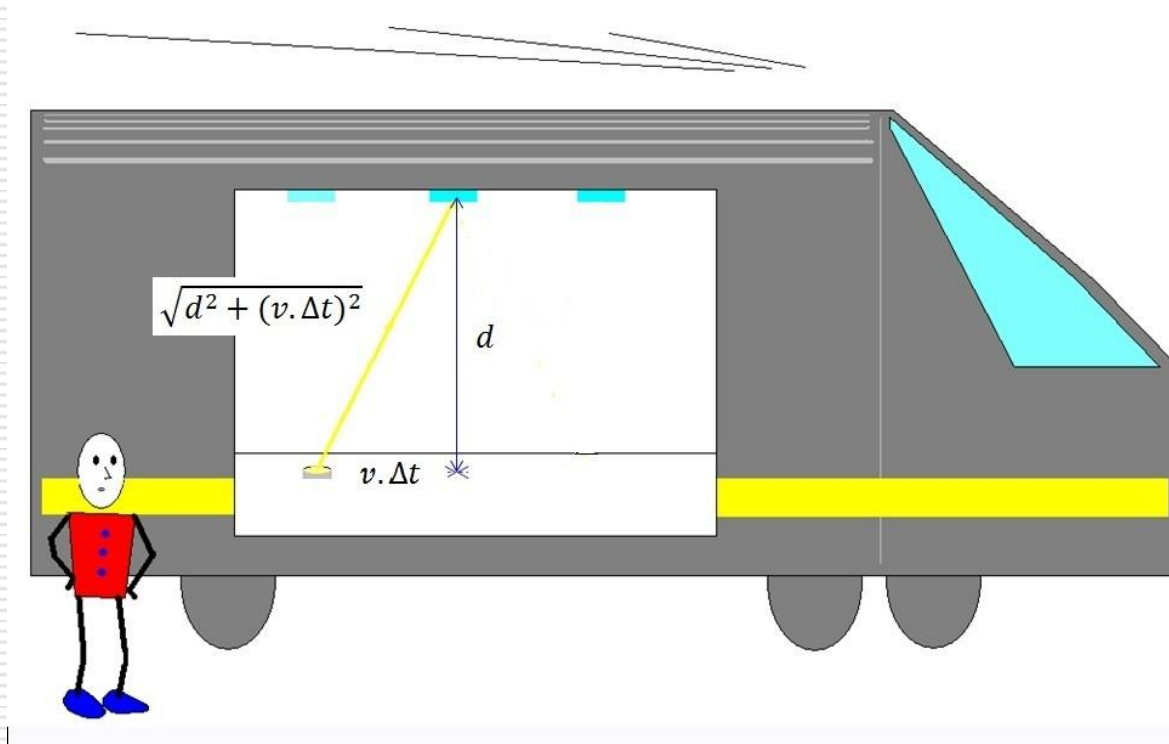
Özel Görelilik Teorisinin İlkeleri

- 1.) Fizik yasaları bütün eylemsizlik referans sistemlerinde **değişmez** kalır.
 - 2.) Işığın boş uzaydaki hızı bütün eylemsizlik referans sistemleri için **değişmezdir**.
-

Michelson-Morley Deneyi



Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 1: Hareketli Saatler Yavaş İşler!



$$c = \frac{d}{\Delta t'}$$

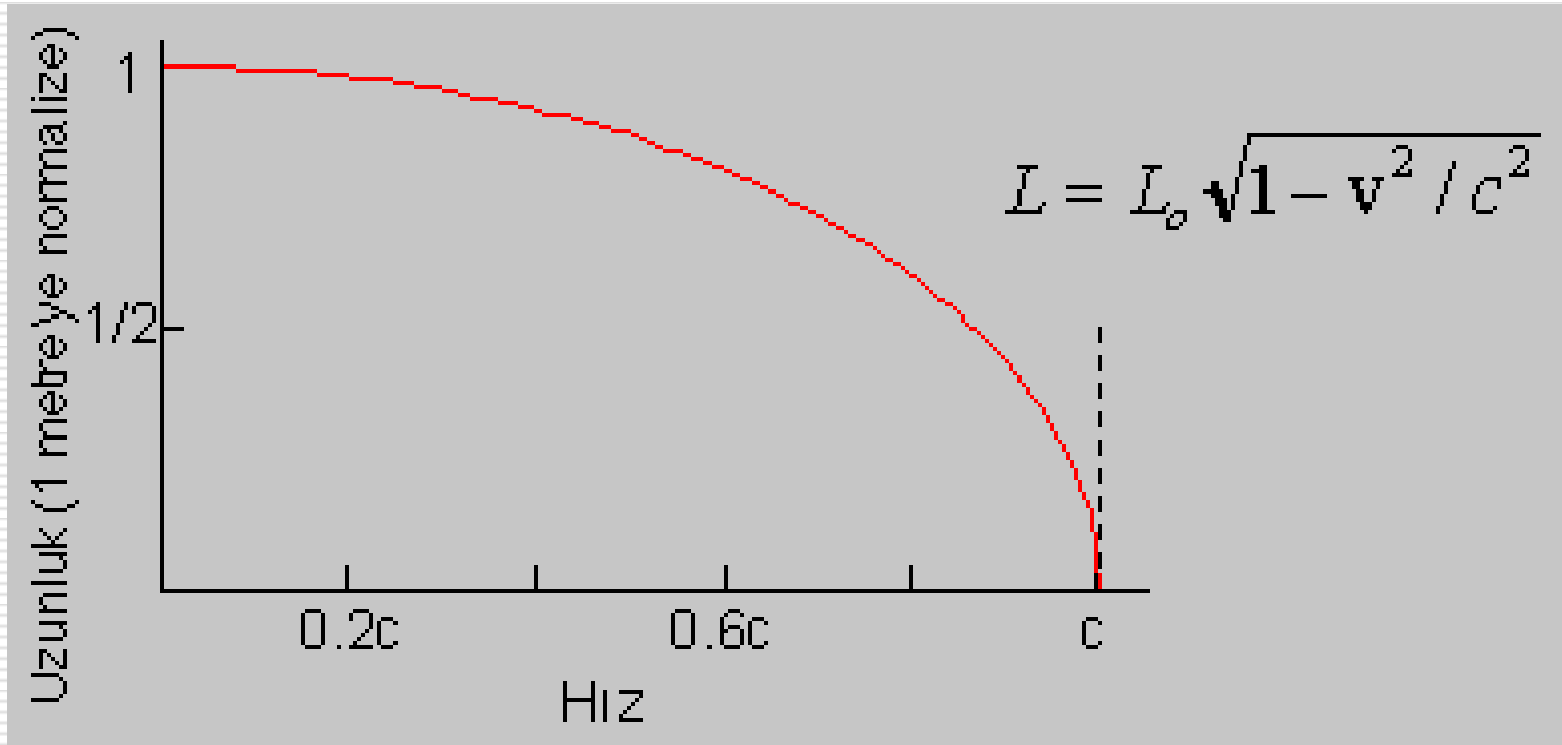
$$c = \frac{\sqrt{d^2 + (v \cdot \Delta t)^2}}{\Delta t}$$

İkisi birbirine eşitlenir
ve $\Delta t'$ çekilirse...

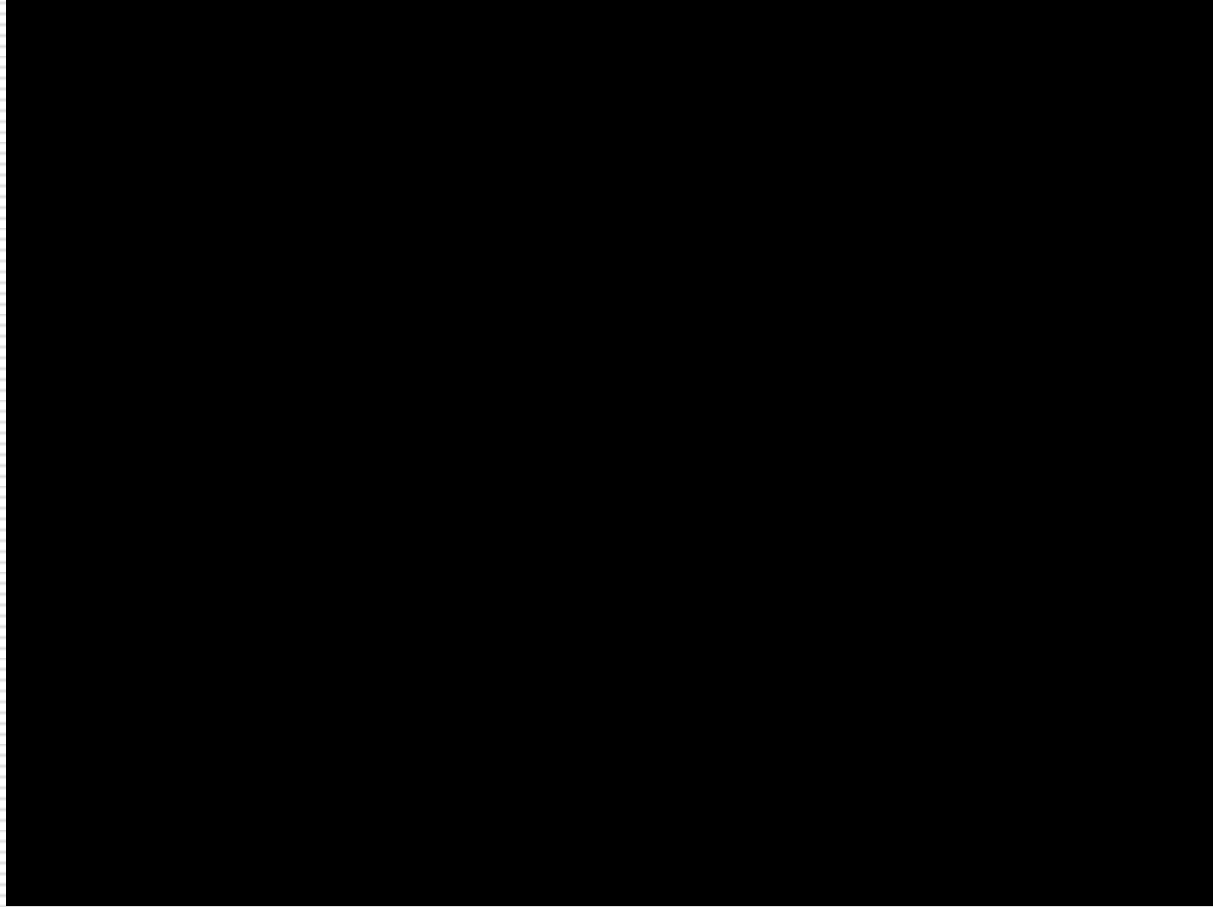
$$\Delta t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$$

Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 2: Hareketli Cisimler Kısalır!

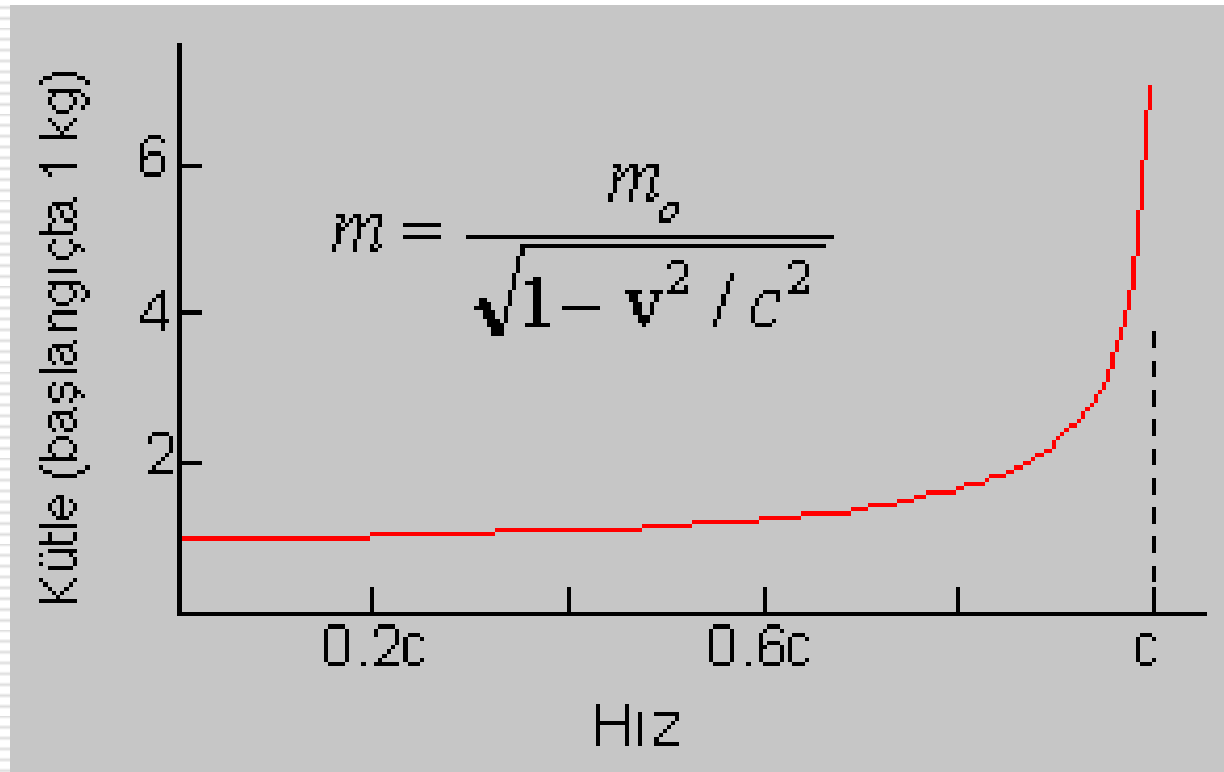


Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 2: Hareketli Cisimler Kısalır!



Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 3: Hız ile Değişen Kütle

Kütleyle sahip hiçbir şey ışık hızına ulaşamaz!



Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 4: Görelî Dinamik

$$\mathbf{P} = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ = \gamma m_0 \mathbf{v}$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

$$E = mc^2$$

$$E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = c^2 (m - m_0)$$

$$= \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \longrightarrow \frac{1}{2} m_0 v^2$$

Özel Görelilik Teorisinin Öngörüsü 4: Görelî Dinamik II

$$E^2 - p^2 c^2 = \frac{m_0^2 c^4 - m_0^2 v^2 c^2}{1 - v^2/c^2} = \frac{m_0^2 c^4 (1 - v^2/c^2)}{(1 - v^2/c^2)} = m_0^2 c^4$$

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = \sqrt{E_0^2 + p^2 c^2}$$

Kütlesiz parçacık
için... $m_0 = 0$

$$E = pc$$

Yeni Bir Anlayış: Uzay-Zaman Kavramı

Minkowski Uzayı $s^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - c^2t^2$

$$x_4 = ict$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 > c^2t^2 \longrightarrow \text{Uzaysal}$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 < c^2t^2 \longrightarrow \text{Zamansal}$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = c^2t^2 \longrightarrow \text{Işıksal}$$

**Lorentz Dönüşümlerinin Gerçek Anlamı:
4 boyutlu uzayda dönme dönüşümleridir !**