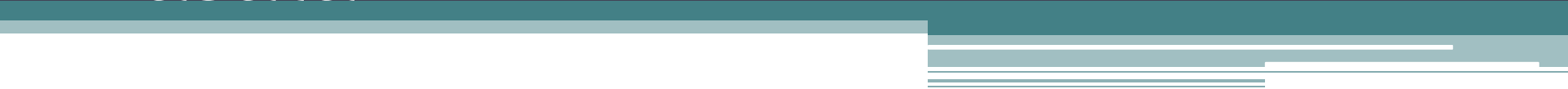


Paracık Fiziğinde Korunum Yasaları



I. Elektrik Yükünün Korunumu

II. Lepton Sayılarının Korunumu

III. Baryon Sayısının Korunumu

IV. Renk Yükünün Korunumu

V. Görelî Mekanik

i. Görelî Konum

ii. Lorentz Denklemleri

iii. Zaman Genişlemesi

iv. Lorentz Büzülmesi

v. Dört-Vektörler

vi. Çarpışmalar

Elektrik Yükünün Korunumu

<i>Parçacıklar</i>		<i>Elektrik Yükleri</i>
Kuarklar	u, c, t	+2/3
	d, s, b	-1/3
Leptonlar	ν_e, ν_μ, ν_τ	0
	e^-, μ^-, τ^-	-1
Bozonlar	W^+	+1
	W^-	-1
	Z, γ, g, H	0

Anti-parçacıkların elektrik yükleri, kendi parçacıklarının elektrik yüklerinin negatifidir!

Elektrik Yükünün Korunumu

- $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$
 $-1 \quad -1 \quad 0 \quad 0$

- $\bar{u} + d \rightarrow W^-$
 $-\frac{2}{3} \quad -\frac{1}{3} \quad -1$

Soru:

- $t \rightarrow W^+ + b$  $\frac{2}{3} = 1 - \frac{1}{3}$
- $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \tau^-$  $-1 + 1 \neq -1 - 1$
- $u + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$  $\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1 = 1 + 0$
- $e^- + g \rightarrow e^- + d$  $-1 + 0 \neq -1 - \frac{1}{3}$

Lepton Sayılarının Korunumu

Parçacıklar		e Lepton Sayısı	μ lepton sayısı	τ lepton sayısı
Kuarklar	u, d, c, s, t, b	0	0	0
Leptonlar	e^-, ν_e	+1	0	0
	μ^-, ν_μ	0	+1	0
	τ^-, ν_τ	0	0	+1
Bozonlar	$W^+, W^-, Z, \gamma, g, H$	0	0	0

Anti-Parçacıkların Lepton Sayıları, kendi parçacıklarının lepton sayılarının negatif işaretlisidir!

Lepton Sayılarının Korunumu

- $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$

+1 0 +1 0

müon sayısı

0 +1 0 -1

elektron sayısı

- $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

-1 0 0 -1

müon sayısı

0 -1 +1 0

elektron sayısı

Soru:

$$\mu^- + e^- \rightarrow \mu^- + e^+ + \tau^- + \tau^-$$


$$\tau^- \rightarrow W^- + \nu_\tau$$


$$W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$


Baryon Sayısının Korunumu

Baryon, üç kuarktan oluşan yapıdır (Kuarklar farklı renklerde bir araya gelirler ve renksiz baryonu oluştururlar.).

- p (uud)
- n (udd)

Baryon Sayısı, baryonlar için +1 anti-baryonlar için -1 ve diğer tüm parçacıklar için 0'dır.

Baryon Sayısının Korunumu

- $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
 $+1 \quad +1 \quad 0 \quad 0$

- $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$
 $+1 \quad +1 \quad +1 \quad +1 \quad +1 \quad -1$

Renk Yükünün Korunumu

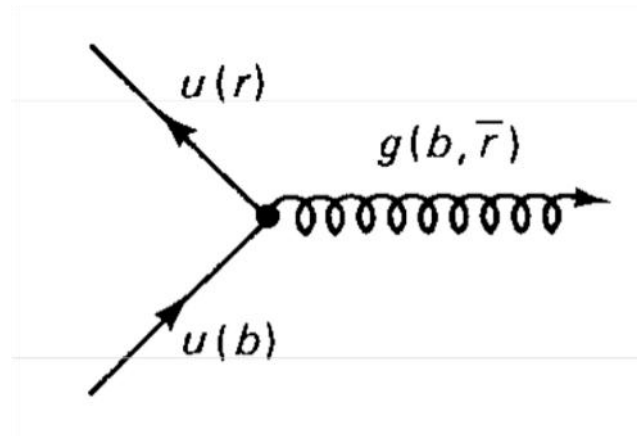
- Kuarklar ve gluon renk yükü taşırlar.
 - Diğer parçacıklar renk yükü taşımazlar!

Kuarklar $\longrightarrow$ 3 renk yükü
Gluon $\longrightarrow$ 8 renk yükü

Blue

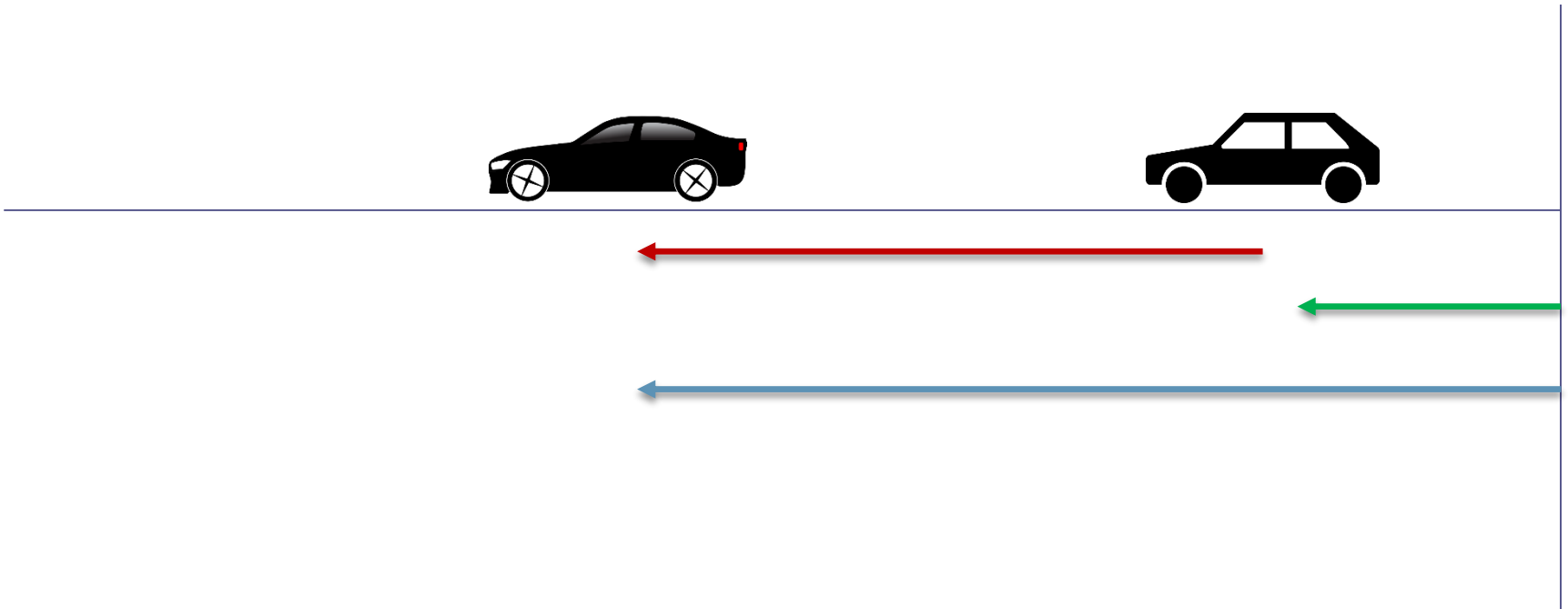
Red

Green



Görelî Mekanik

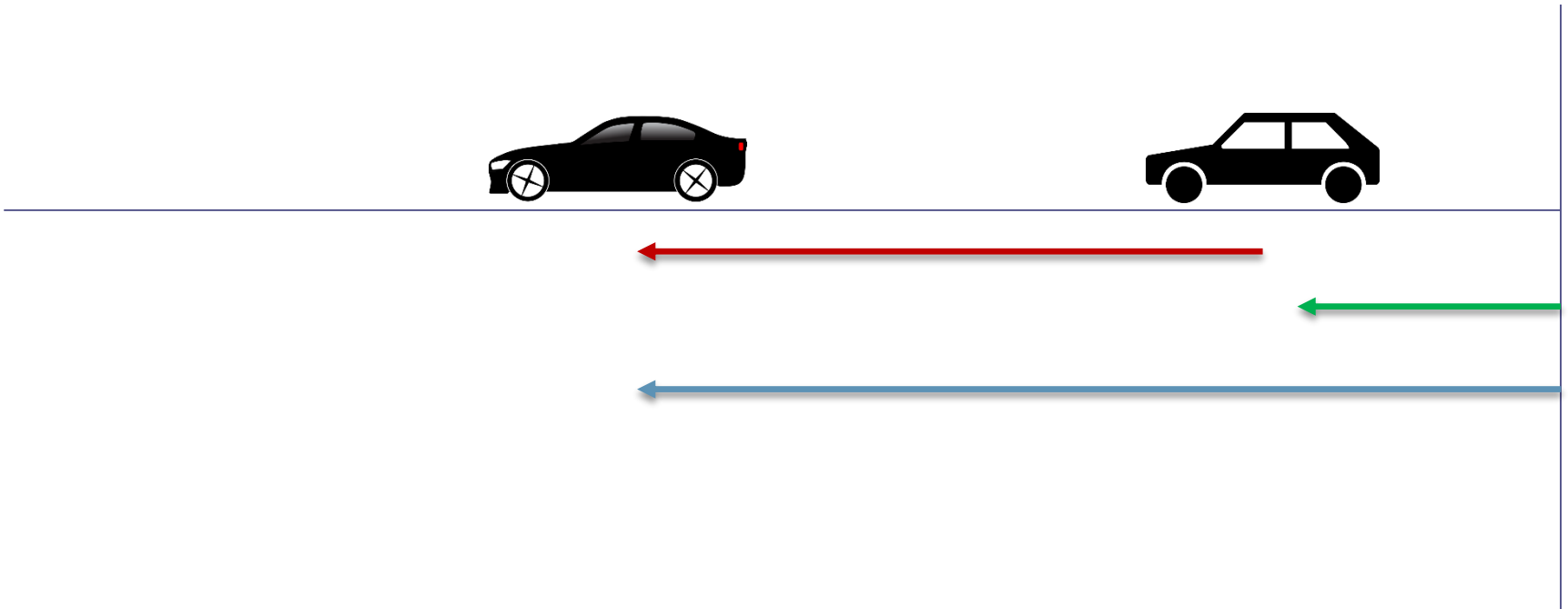
Görelî Konum



Görelî Konum



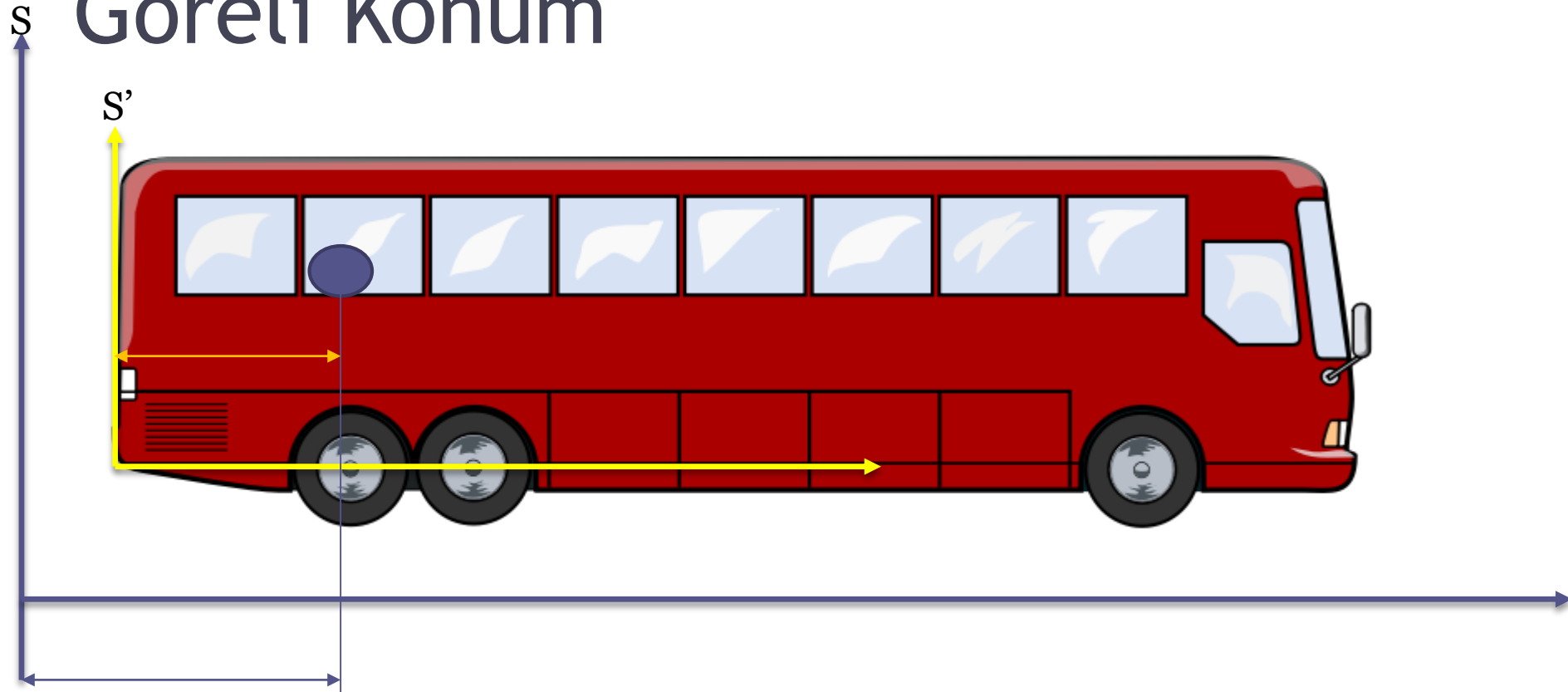
Görelî Konum



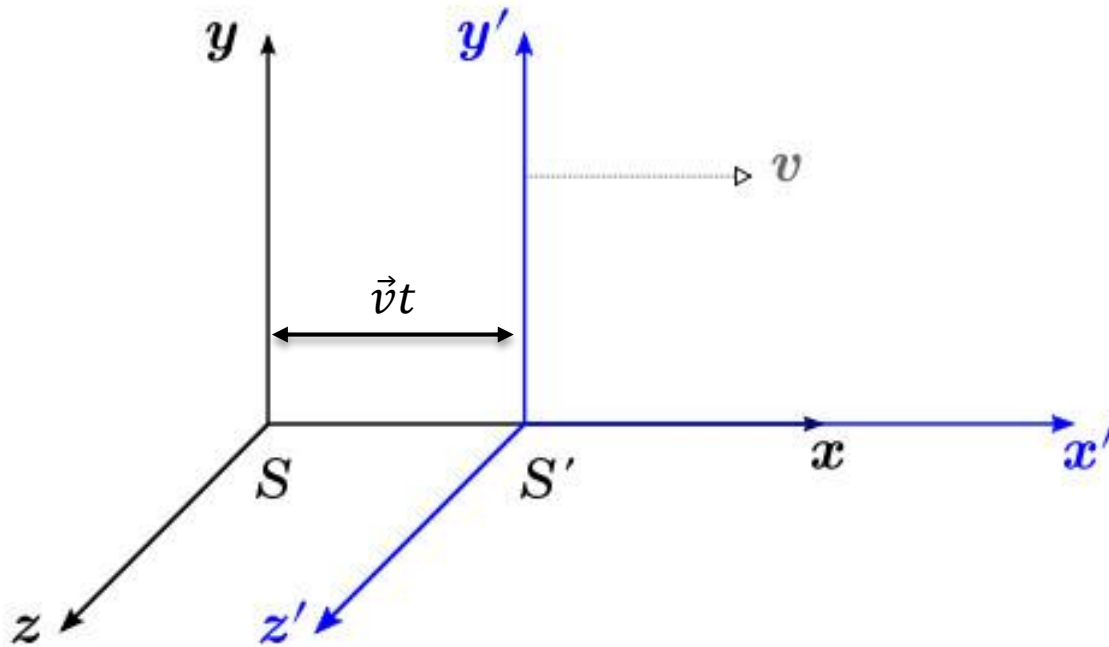
Görelî Konum



Görelî Konum



Görelî Konum



$$x' = x - vt$$

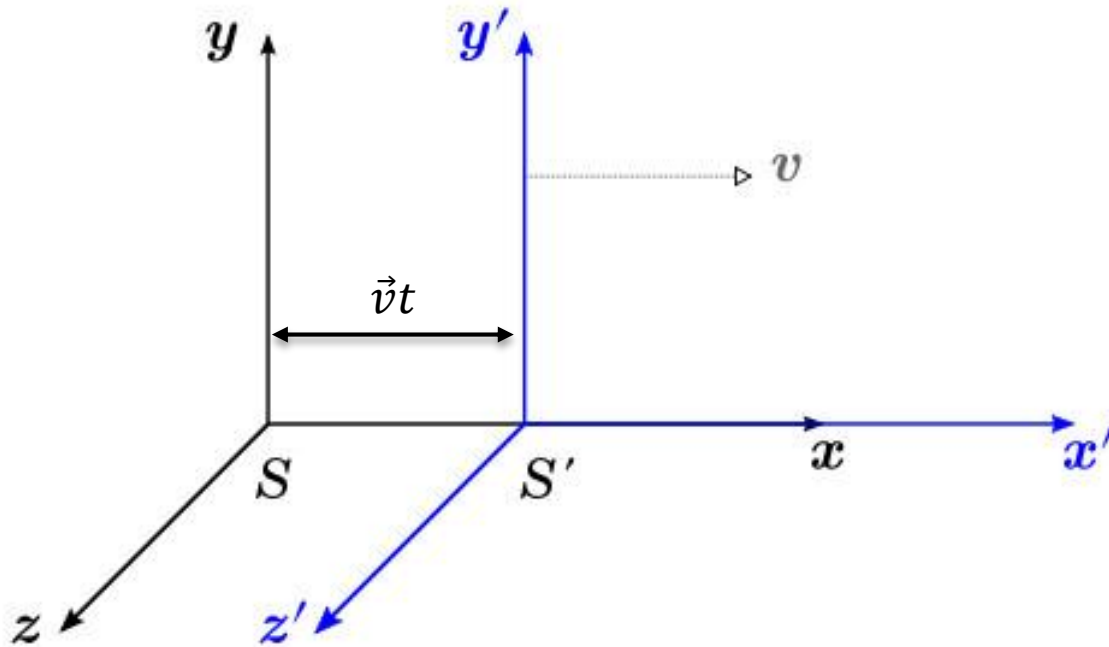
$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Galileo Dönüşümleri

Görelî Konum



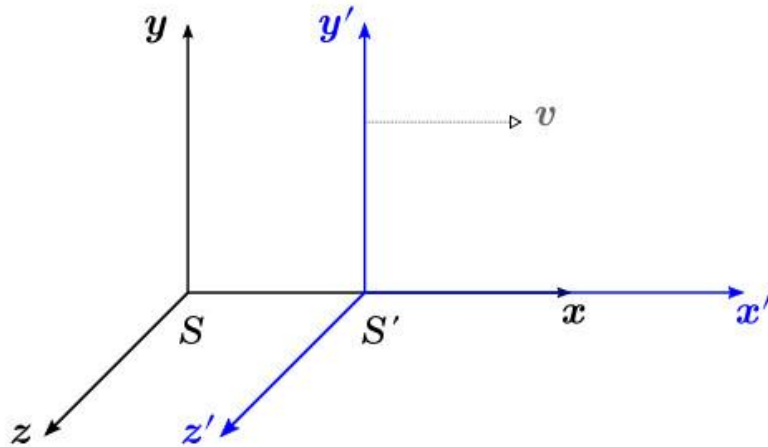
$$x' = k(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Lorentz Dönüşümleri

S sisteminde (x,y,z) konumunda ve t anında gerçekleşen bir olayın S' sistemindeki uzay-zaman koordinatları (x',y',z') ve t' zamanı:



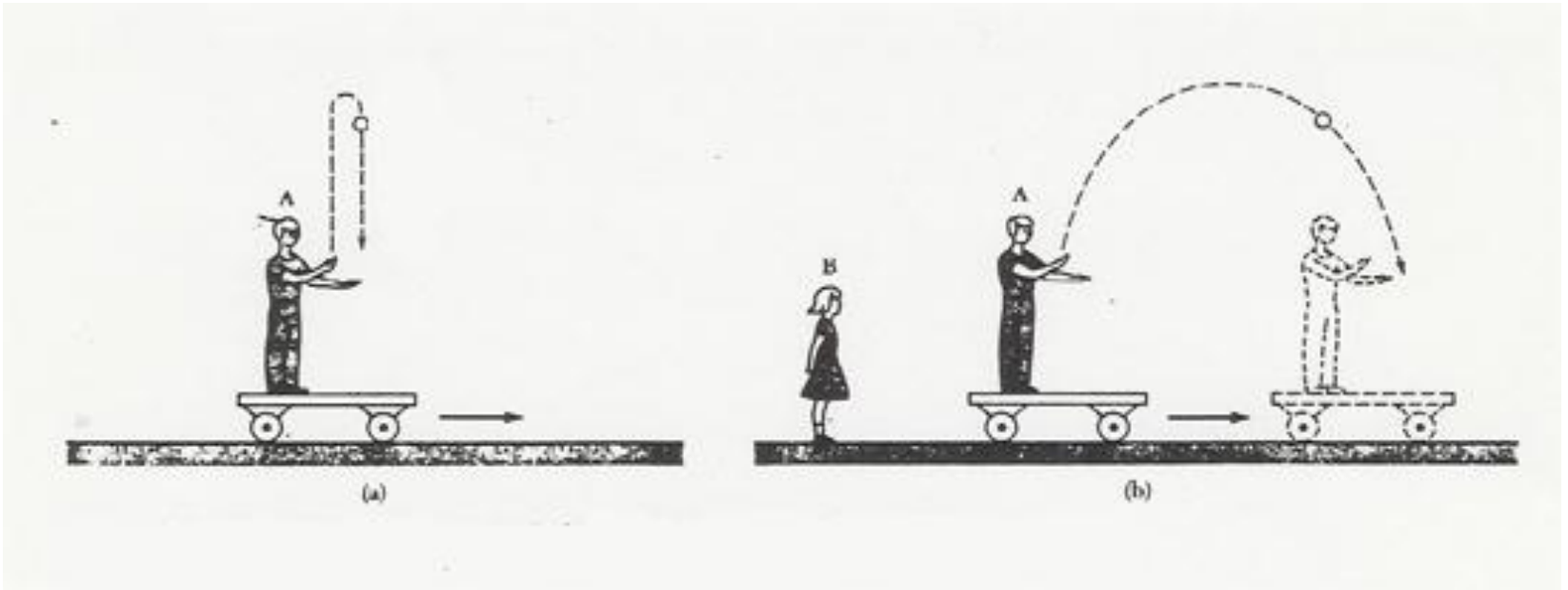
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\begin{aligned} x' &= \gamma (x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) \end{aligned}$$

S' sisteminden S sistemine geri götüren ters dönüşümler v 'nin işareti değiştirilerek bulunur:

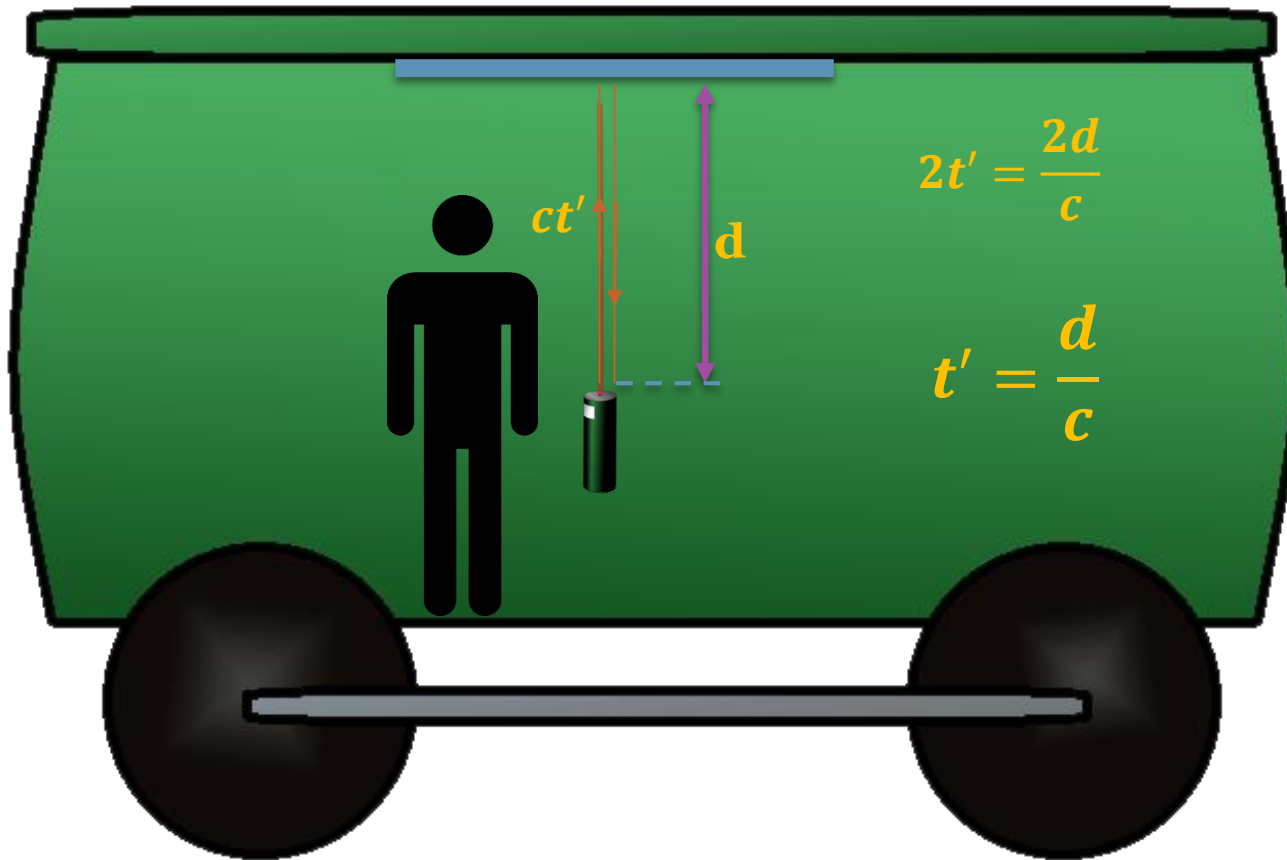
$$\begin{aligned} x &= \gamma (x' + vt') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \gamma \left(t' + \frac{v}{c^2} x' \right) \end{aligned}$$

Zaman Genleşmesi

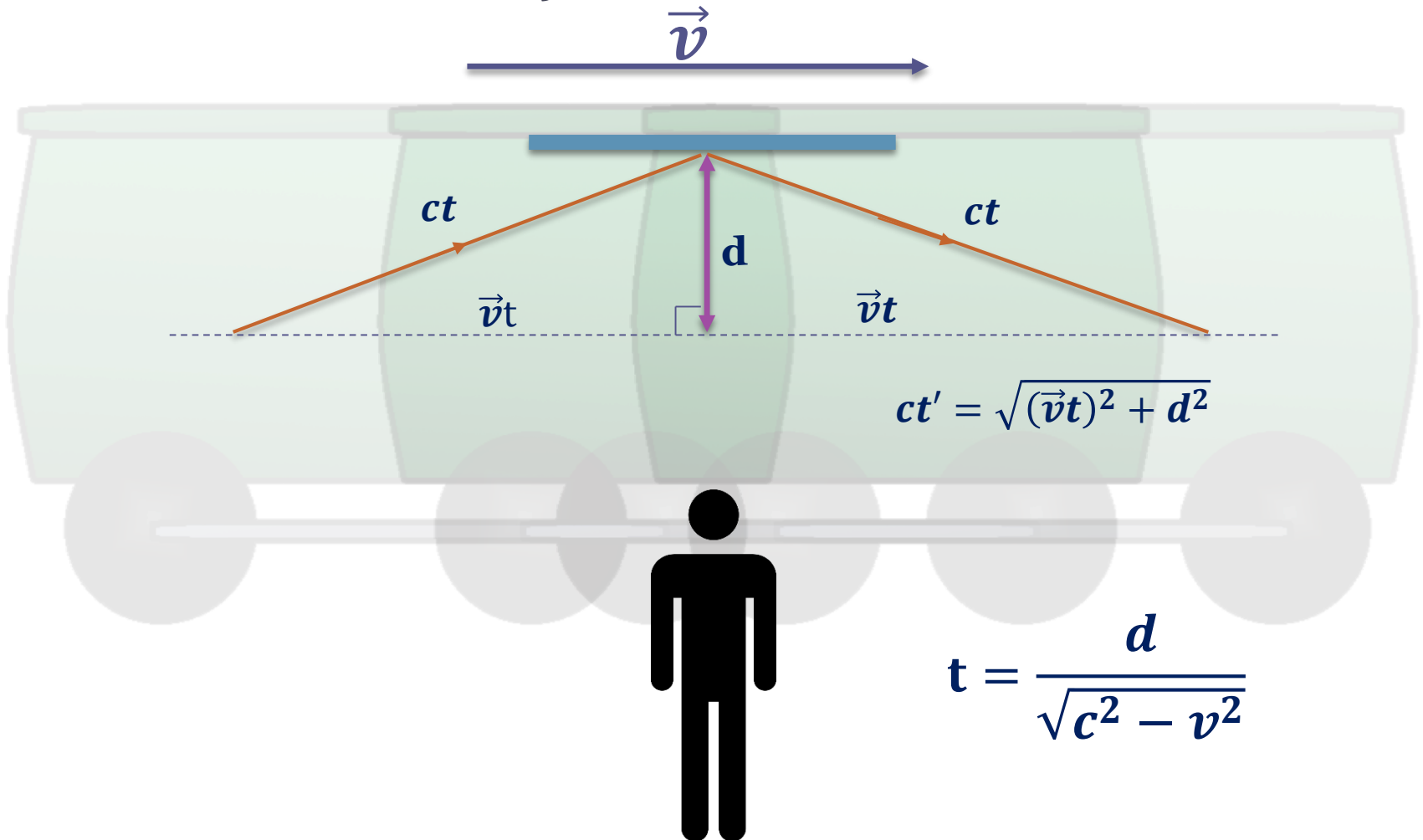


<http://demoweb.physics.ucla.edu/content/20-galilean-relativity>

Zaman Genleşmesi



Zaman Genleşmesi



Zaman Genleşmesi

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

$$d = ct'$$

$$t = \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$t = \frac{ct'}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \frac{1}{\gamma}$$

$$T = \gamma T'$$

Hareketli sistemler, hareketsiz sistemlere göre zamanı γ çarpanı kadar uzun yaşar.

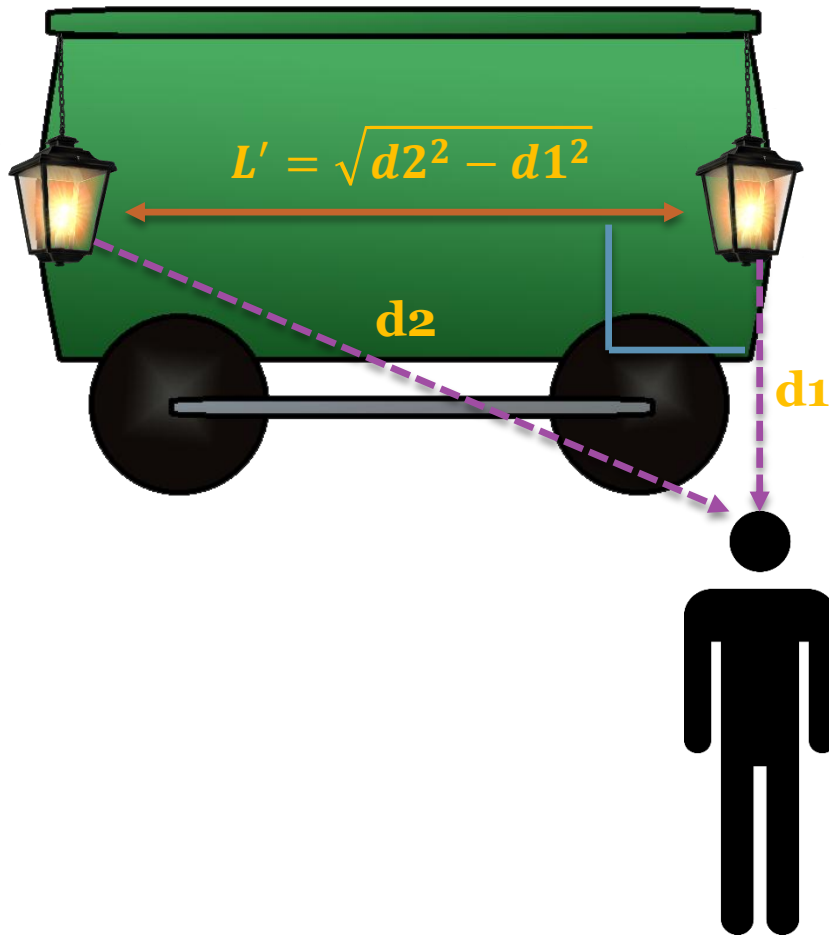
Soru:

0.6c hızıyla hareket etmekte olan bir roketteki deneye dünyadan bakan gözlemci deneyin 40 dakika sürdüğünü görmüştür. Aynı deneye roketin içerisinde bakan gözlemci bu süreyi ne kadar ölçer?

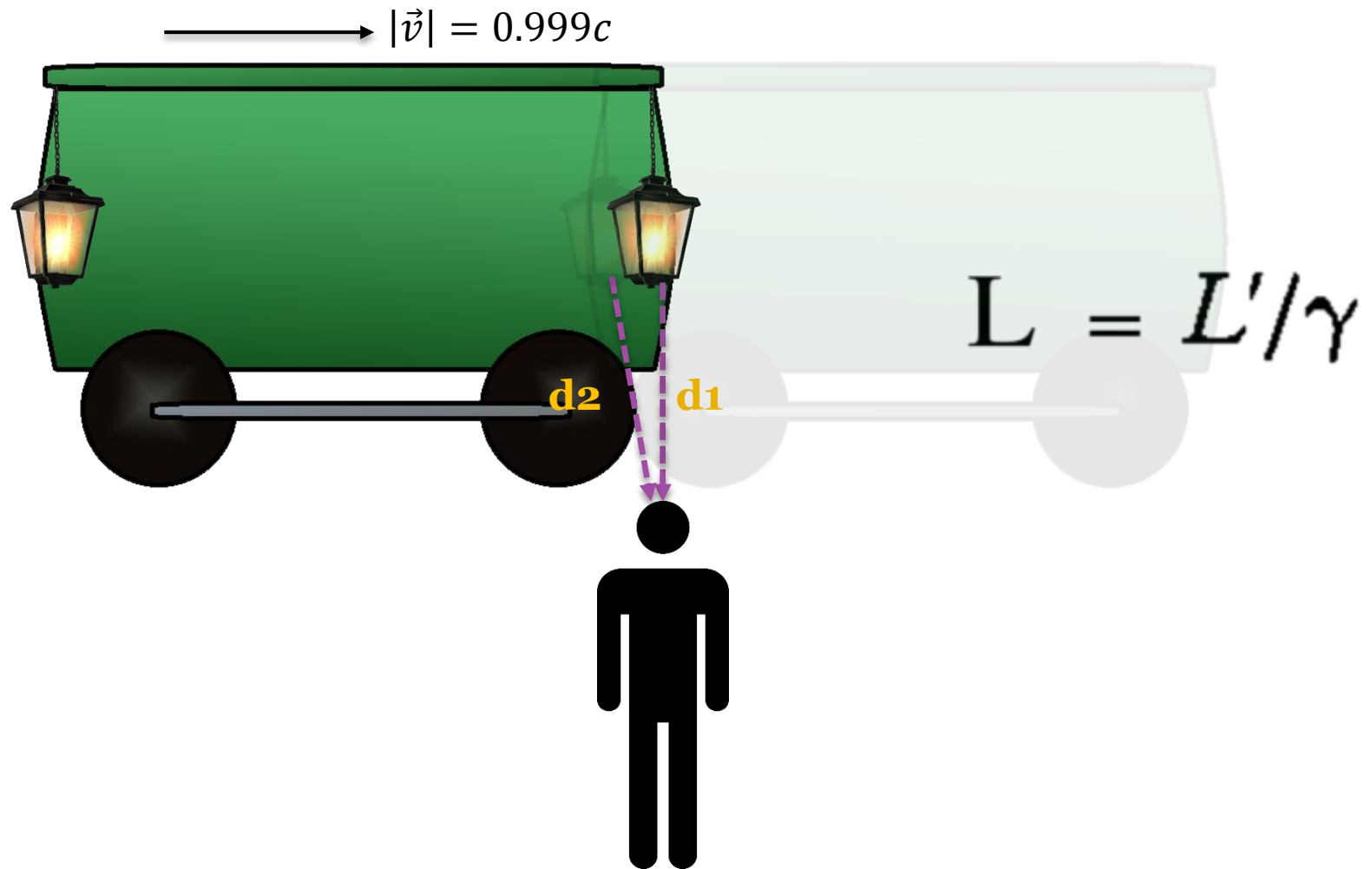
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.36c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0.64}} = \frac{5}{4}$$

$$t' = \frac{t}{\gamma} = \frac{40}{\frac{5}{4}} = 32$$

Lorentz Büzülmesi



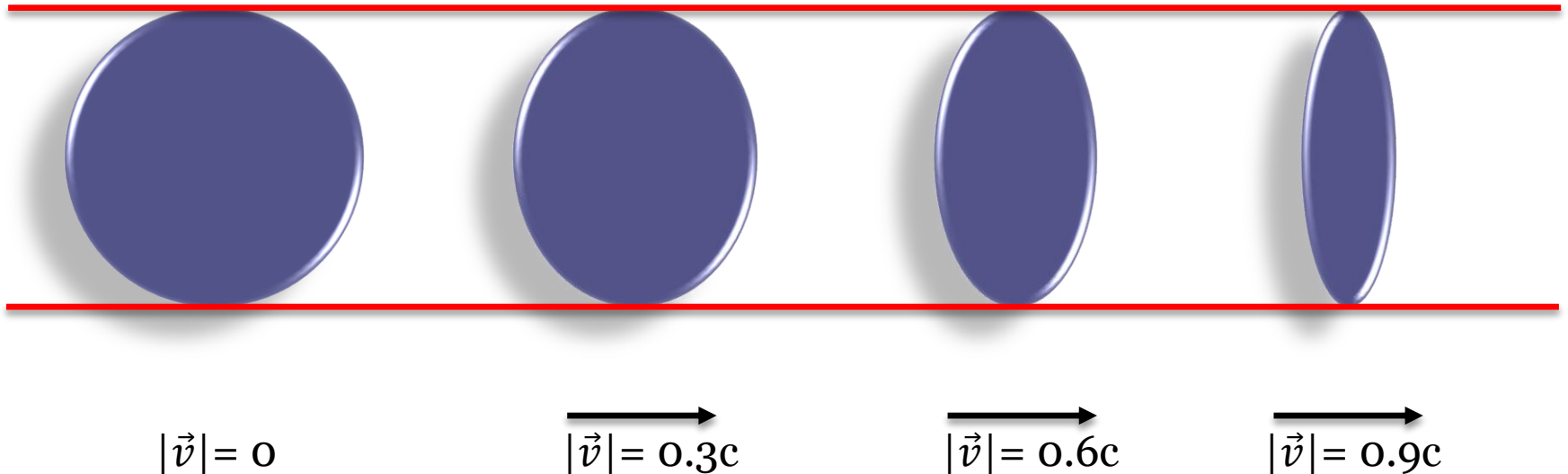
Lorentz Büzülmesi



Lorentz Büzülmesi

$$L = L'/\gamma$$

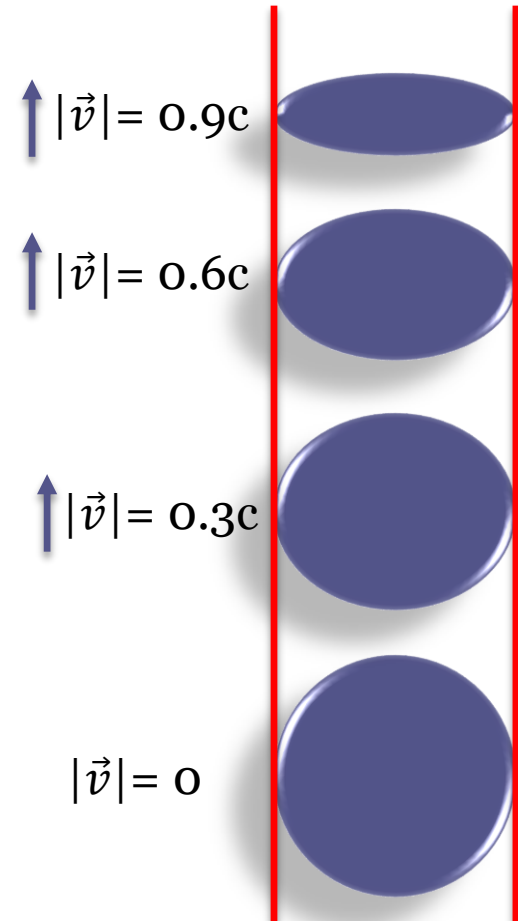
Hareketli bir cisim durgun olan sistemdeki gözlemciye göre hareket doğrultusunda γ çarpanı kadar kısalır.



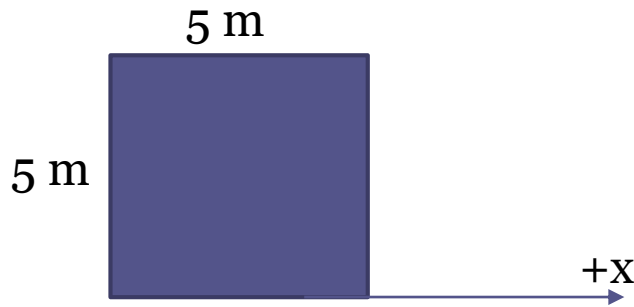
Lorentz Büzülmesi

Hareketli bir cisim durgun olan sistemdeki gözlemciye göre hareket doğrultusunda γ çarpanı kadar kısalır.

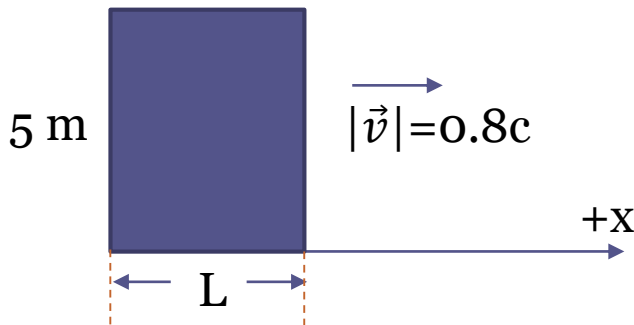
$$L = L'/\gamma$$



Soru:



Şekildeki kare levha +x doğrultusunda $0.8c$ hızla hareket ederse, durgun bir sistemdeki gözlemci şeklin alanını kaç m^2 olarak ölçer?



$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.64c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0.36}} = \frac{1}{0.6} = \frac{5}{3}$$

$$L = \frac{L'}{\gamma} = \frac{5}{\frac{5}{3}} = 3m \quad A = 5 \cdot 3 = 15m^2$$

Lorentz Dönüşümlerinin Önemli Sonuçları:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma (x - vt) \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)\end{aligned}$$

1. Eşzamanlılığın Göreliliği:

S sistemindeki iki olay , aynı anda farklı yerlerde meydana geliyorsa, bunlar S' sisteminde aynı anda meydana gelmezler.

$$t'_A = t'_B + \frac{\gamma v}{c^2} (x_B - x_A)$$

2. Lorentz Büzülmesi:

Hareketli bir cisim, durgun olduğu sistemdeki uzunluğuna göre γ çarpanı ile kısalır (Ancak bu kısalma sadece hareket doğrultundaki uzunluklara uygulanır.)

$$L = L'/\gamma$$

3. Zaman Genleşmesi:

Hareketli sistemler, hareketsiz sistemlere göre zamanı γ çarpanı kadar uzun yaşar.

$$T = \gamma T'$$

$$\begin{aligned}x &= \gamma (x' + vt') \\y &= y' \\z &= z' \\t &= \gamma \left(t' + \frac{v}{c^2} x' \right)\end{aligned}$$

4. Hızların toplanması:

S' sistemine göre x doğrultusunda u' hızı ile hareket etmekte olan bir parçacığın S sistemindeki u hızını nasıl bulabiliriz?

Parçacık $\Delta t = \gamma[\Delta t' + (v/c^2) \Delta x']$ süresinde $\Delta x = \gamma[\Delta x' + v\Delta t']$ mesafesini alır. Böylece,

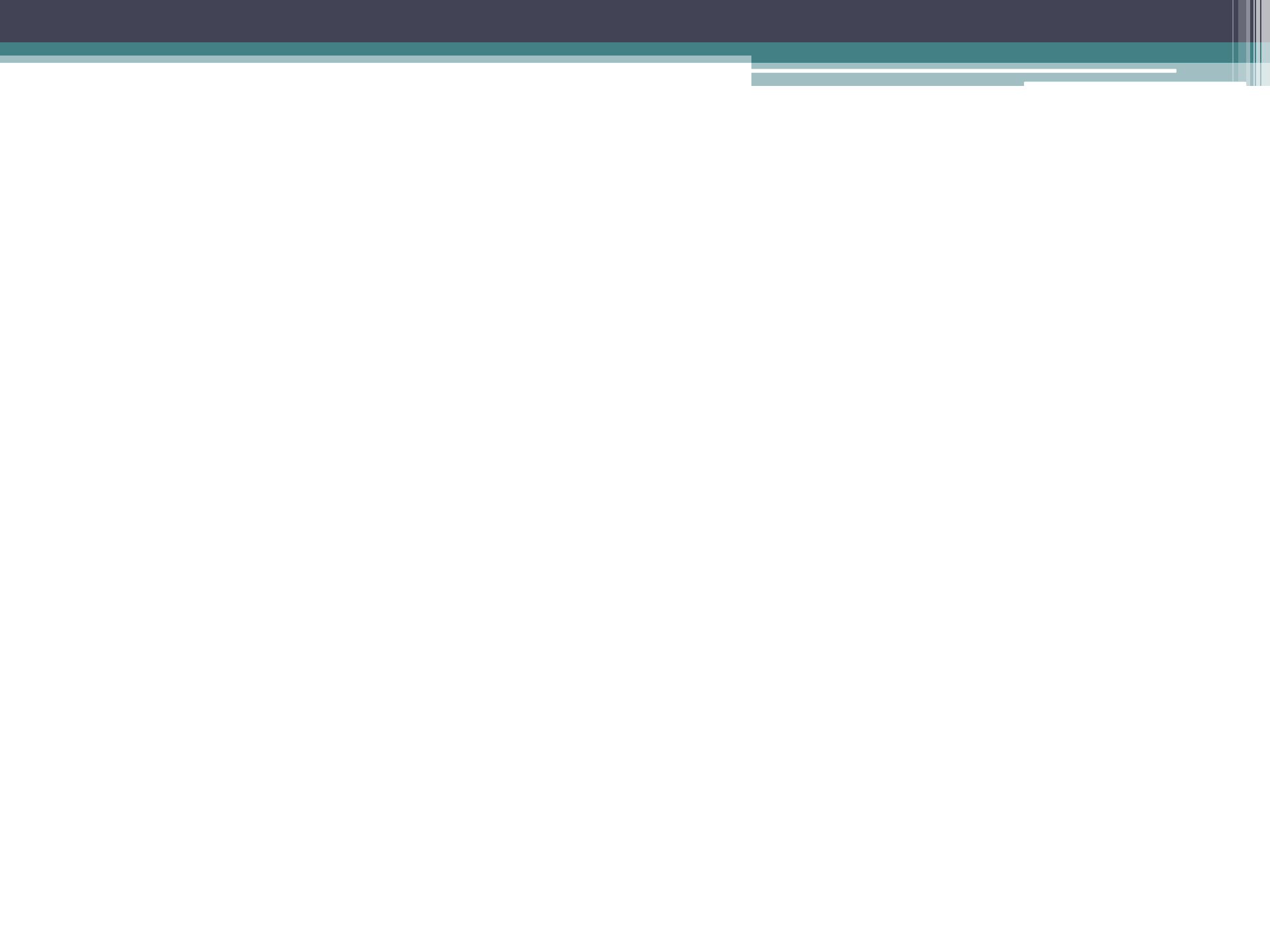
$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x' + v\Delta t'}{\Delta t' + (v/c^2) \Delta x'} = \frac{(\Delta x' / \Delta t') + v}{1 + (v/c^2)(\Delta x' / \Delta t')}$$

olur.

$\Delta x / \Delta t = u$ ve $\Delta x' / \Delta t' = u'$ olduğundan:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \left(\frac{u'v}{c^2}\right)}$$

elde edilir.



Dört-Vektörler

konum-zaman dört-vektörü: x^μ

$$x^0=ct \quad , \quad x^1=x \quad , \quad x^2=y \quad , \quad x^3=z$$

x^μ cinsinden yazıldığında,

$$x^\mu \equiv (x^0, x^1, x^2, x^3)$$

$$x'^\mu \equiv (x'^0, x'^1, x'^2, x'^3)$$

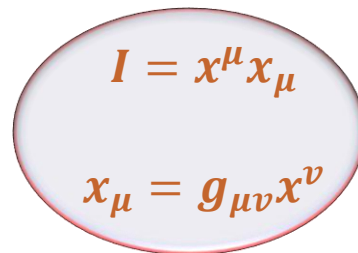
Lorentz Değişmezi:

$$I = (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2$$

$$I = (x^0)^2 - (\vec{x})^2$$

I, tüm referans sistemlerinde **aynı** kalan bir **sabittir**.

$$I = (x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2 = (x'^0)^2 - (x'^1)^2 - (x'^2)^2 - (x'^3)^2$$


$$I = x^\mu x_\mu$$
$$x_\mu = g_{\mu\nu} x^\nu$$

Momentum:

Görelî momentum:

$$\mathbf{p} \equiv \gamma m \mathbf{v}$$

p^μ 'nin uzaysal bileşenleri (görelî) momentumun üç-vektörünü oluşturur.

$$\mathbf{p} = \gamma m \mathbf{v} = \frac{m \mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Zamana ait bileşeni ise şöyledir:

$$p^0 = \gamma m c$$

$$p^0 = \gamma mc$$

Enerji:

Görelî enerji:

$$E \equiv \gamma mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

dir. Buradan da görüleceği üzere, p^μ 'nin sıfırcı bileşeni aslında E/c ' dir. Böylece enerji ve momentum birlikte bir dört-vektör oluşturur. Enerji-Momentum dört-vektörü:

$$p^\mu \equiv \left(\frac{E}{c}, p_x, p_y, p_z \right)$$

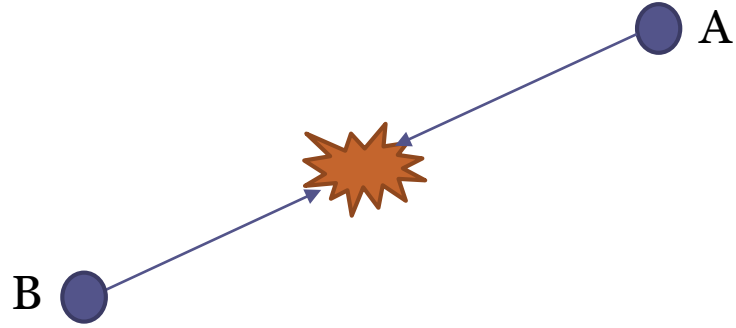
dir. O halde:

$$p_\mu p^\mu = \frac{E^2}{c^2} - \mathbf{p}^2 = m^2 c^2$$

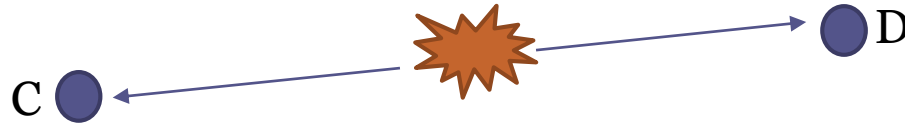
in bir değişmez olduğunu görebiliriz.

$$E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4 \quad (\text{Görelî enerji-momentum formülü})$$

Çarpışmalar



Çarpışmalar

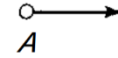


Doğası gereği bir çarpışma öyle hızlı gerçekleşir ki, kütle çekimi veya yolla sürtünme gibi herhangi bir dış kuvvetin kayda değer bir etkisi olmaz.

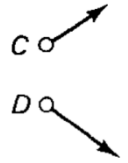
$$A + B \rightarrow C + D + \dots$$

Klasik Çarpışmalar :

1. Kütle korunur: $m_A + m_B = m_C + m_D$
2. Momentum korunur: $\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B = \mathbf{p}_C + \mathbf{p}_D$
3. Kinetik enerji korunabilir de, korunmayabilir de.



önce



sonra

Çarpışmalar üç farklı tipe ayrılır:

1. *Yapışkan* (kinetik enerji azalır): $T_A + T_B > T_C + T_D$
2. *Patlamalı* (kinetik enerji artar): $T_A + T_B < T_C + T_D$
3. *Esnek* (kinetik enerji korunur): $T_A + T_B = T_C + T_D$

Görelî Çarpışmalar :

Bir görelî çarpışmada enerji ve momentum daima korunur. Yani enerji-momentum dört-vektörünün tüm bileşenleri korunur.

1. Enerji korunumludur: $E_A + E_B = E_C + E_D$
2. Momentum korunumludur: $\mathbf{P}_A + \mathbf{P}_B = \mathbf{P}_C + \mathbf{P}_D$
3. Kinetik enerji korunabilir de, korunmayabilir de.

(ilk iki özellik aslında $p_A^\mu + p_B^\mu = p_C^\mu + p_D^\mu$ şeklinde tek ifadede birleştirilebilir.)

Görelî çarpışmalar da üçe ayrılır:

1. *Yapışkan* (kinetik enerji azalır): durgunluk ve kütle enerjisi artar.
2. *Patlamalı* (kinetik enerji artar): durgunluk ve kütle enerjisi azalır.
3. *Esnek* (kinetik enerji korunur): durgunluk ve kütle enerjisi korunur.

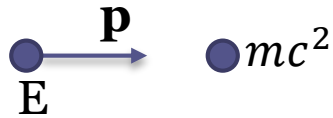
Esnek çarpışmalar hariç kütle korunumsuzdur!

Soru:

Durgun haldeki bir protona başka bir proton gönderilip,

$$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p} \quad (\text{Antiproton oluşum süreci})$$

süreci oluşturulmak isteniyor. Bu sürecin gerçekleşebilmesi için gönderilen protonun en düşük kinetik enerjisi ne olmalıdır?



$$P_i^\mu = \left(\frac{E+mc^2}{c}, P_x, 0, 0 \right)$$

$$P_s^\mu = \left(\frac{4mc^2}{c}, 0, 0, 0 \right)$$

$$(P_i^\mu)^2 = (P_s^\mu)^2$$

$$\left(\frac{E + mc^2}{c} \right)^2 - P_x^2 = \left(\frac{4mc^2}{c} \right)^2$$

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

$$\frac{E^2 + 2Emc^2 + m^2 c^4}{c^2} - P_x^2 = \frac{16m^2 c^4}{c^2}$$

$$\frac{P_x^2 c^2 + m^2 c^4 + 2Emc^2 + m^2 c^4}{c^2} - P_x^2 = \frac{16m^2 c^4}{c^2}$$

$$P_x^2 + 2m^2 c^2 + 2Em - P_x^2 = 16m^2 c^2$$

$$E = 7mc^2$$

$$E = KE + mc^2$$

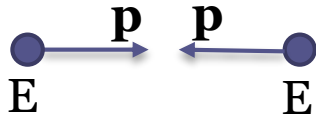
$$KE = 6mc^2$$

Soru:

İki protonu aynı doğrultu üzerinde birbirine çarptırıp,

$$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p} \quad (\text{Antiproton oluşum süreci})$$

süreci oluşturulmak istenseydi, bu sürecin gerçekleşebilmesi için gönderilen protonun en düşük kinetik enerjisi ne olmalıdır?



$$P_i^\mu = \left(\frac{2E}{c}, 0, 0, 0\right)$$

$$P_s^\mu = \left(\frac{4mc^2}{c}, 0, 0, 0\right)$$

$$(P_i^\mu)^2 = (P_s^\mu)^2$$

$$\left(\frac{2E}{c}\right)^2 = \left(\frac{4mc^2}{c}\right)^2$$

$$\frac{4E^2}{c^2} = \frac{16m^2c^4}{c^2}$$

$$E^2 = 4m^2c^4$$

$$E = 2mc^2$$

$$E = KE + mc^2$$

$$KE = mc^2$$

