The Essence of Special Relativity

Daniel Berdine* Department of Physics and Astronomy University of Rochester





What is time?





Speed with respect to you is 4 mi/hr



Speed with respect to you is 2 + 4 = 6 mi/hr

The speed of the ball is greater for toss I, toss II or toss III?



Experiment says the speed of ball I is the fastest, just like at the airport.

The speed of light is greater for beam I, beam II or beam III?



Weird, huh? What does it mean for the real world?

Enter our man Einstein!



Einstein thought experiment:

Consider a beam of light that is emitted from the floor of a train that bounces off a mirror on the ceiling and returns to the point on the floor where it was emitted.



Fact: Light is emitted and detected at point A. This fact must be true no matter who makes the measurement!!!!



Sam is on the train



Sally watches the train pass and makes the same measurement.



Light is emitted



Sally is standing still, so it takes two clocks



Sam Sally Sally sees the light traveling further. If light travels at a constant speed, the same "event" must seem to take longer to

Sally than Sam!

Time is relative ... not absolute!!

From Sally's point of view



From Sally's point of view



Sam (on train)

Sally (on ground)

$$c = 2H/T_{Sam}$$

$$c = 2D/T_{Sally}$$

$$c = \frac{2}{T_{Sally}}\sqrt{H^2 + \left(\frac{v}{2} T_{Sally}\right)^2}$$

$$\frac{2H}{T_{Sam}} = \frac{2}{T_{Sally}}\sqrt{H^2 + \left(\frac{v}{2} T_{Sally}\right)^2} \xrightarrow{\text{square}}_{\text{both sides}}$$

$$\left(\frac{2H}{T_{Sam}}\right)^2 = \left(\frac{2H}{T_{Sally}}\right)^2 + \left(\frac{2}{T_{Sally}}\right)^2 \left(\frac{v}{2} T_{Sally}\right)^2$$

$$\left(\frac{2H}{T_{Sam}}\right)^2 = \left(\frac{2H}{T_{Sally}}\right)^2 + v^2$$
$$\left(\frac{1}{T_{Sam}}\right)^2 = \left(\frac{1}{T_{Sally}}\right)^2 + \frac{v^2}{\left(2H\right)^2}$$

Recall that $2H/T_{Sam} = c$ or $2H = cT_{Sam}$

$$\left(\frac{1}{T_{Sam}}\right)^{2} = \left(\frac{1}{T_{Sally}}\right)^{2} + \frac{v^{2}}{(cT_{Sam})^{2}}$$

$$Call th_{is} \gamma$$

$$c^{2} = \frac{c^{2} T_{Sam}^{2}}{T_{Sally}^{2}} + v^{2} \longrightarrow T_{Sally} = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^{2}}}\right] T_{Sam}$$

Sam (on train)



Think about it!

me event. What is so special is that about light? Yet, $\overline{T_{Sally}} > \overline{T_{Sam}}$

Nothing! Everything acts this way.

Time is not absolute! It is relative!

Can this be true?? Experiment says YES!



Can this be true?? Experiment says YES!



Less time elapsed on the clocks carried on the airplane



$$.98^2 = .9604$$

 $1 - .9604 = .0396$
 $\sqrt{.0396} = .1999$
 $\frac{1}{.1999} = 5.025$
 $70 * 5.025 = 352$

$$T_{Earth} = \gamma T_{Ship}$$

V=0.98c

Lifetime=70 years on spaceship

Earth at rest

How long does person appear to live to astronomers on earth?





Measure the length of a boxcar where you are on the car.



Measure the length of a boxcar moving by you.

Length is relative, too!





Lorentz transformations



Lorentz transformations



How are (x,y,z,t) related to (x',y',z',t')?

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

Lorentz transformations



Space and time get all mixed up when you relate observations made from different points of view



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

All other things that can be observed must have "relativisitic transformations", too!



y

LEIPZIG, 1905. VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.



MIT FÜNF FIGURENTAFELN.

PAUL DRUDE.

MERAUSOHONDERN VON

M. PLANCK

UNTER MITWIRKUNG DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT UND INSHESONDERE VON

F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE, KURATORIUM:

W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

VIERTE FOLGE. BAND 17. DEE GANZEN REIHE 322. BAND.

REORÜNDET UND PORTORFÜHRT DURCH F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDEMANN.

PHYSIK. DER

ANNALEN

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells - wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt - in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng vondinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft an sich keine Energie entspricht, die aber - Gleich lcher Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten vorausgesetzt - zu elektrischen Strömen von derselben und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten die elektrischen Kräfte:

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuch eine Bewegung der Erde relativ zum "Lichtmedium" zu kon statieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden "Prinzip Relativität" genannt werden wird) zur Voraussetzung erand außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche