

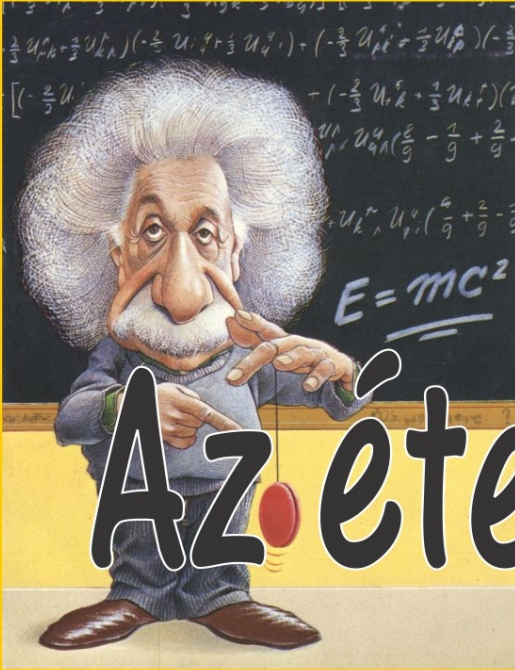


ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
NEMZETI OKTATÁSI MINISZTERISÉG
LICEUL TEORETIC ADY ENDRE ELNÉVELTY LICEUM
ORADEA - NAGYVÁRAD
JUDEȚUL BIHOR BIHAR MEGYE

Rendhagyó fizikaóra a nagyváradi Adyban

Fizikum, 2008. június 5-én délután 6 órától

A relativitáselmélet dióhéjban ...



Mottó: az elméleti fizikusok csak a kísérletezők mérései alapján építhették fel az új Fizikát

Az étertől Hiroshimáig

(egy teljesen ártatlannak tűnő kísérlettől az atombombáig)

Rendhagyó fizikaóra

Előadást tart: NAGY Zsolt, L2004C

tanára: dr. BARTOS-ELEKES István

Fizikum, 2008. június 5-én délután 6 órától

Minden érdeklődőt szeretettel várunk

A hónapokkal azelőtti leckéket egy órában összefoglalja egy vállalkozó szellemű diák. Csak az a feladata, hogy az előre felírt komplex levezetések fizikai lényegét mindenki által érthető szinten elmagyarázza.

A relativitáselmélet dióhéjban ...



A diák úgy válassza ki a levezetés részleteit, hogy a sok számításnak csak a lényeges lépéseit tartsa meg, de egészként is érthető legyen. A biztosan létező éter fogalmától, a bizonyító, majd tagadó kísérleteken át jusson el a biztos tagadásig, és építse fel az új fizikát. A Lorentz-transzformációtól a tömegdefektusig mindent vezessen le.

A relativitáselmélet dióhéjban ...



Felvezetem a témát, majd bemutatom az előadót és az opponenst, valamint az újságíró

Fizeau kísérlete (1851)



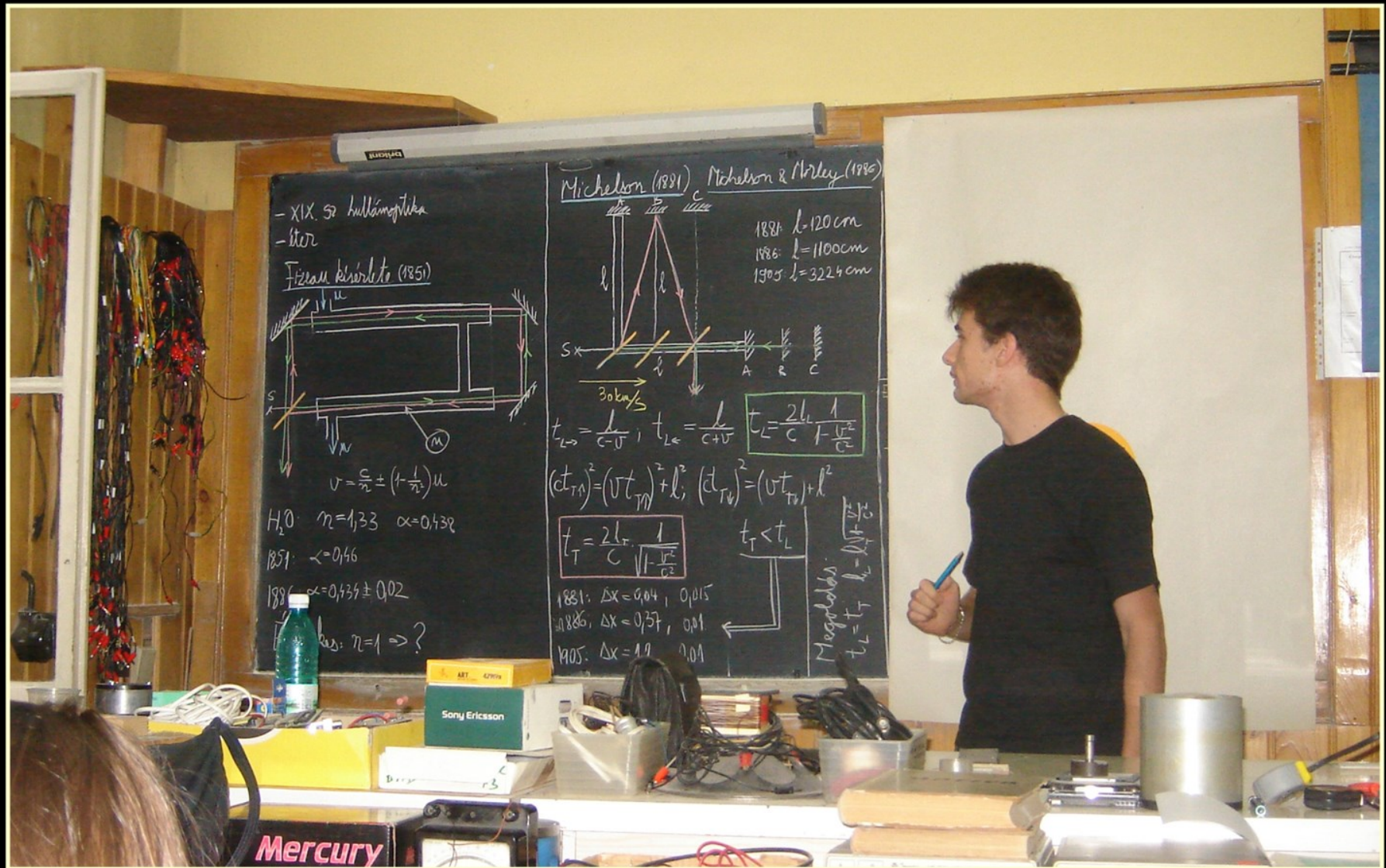
A XIX. század elején a fizikusok a fény terjedését csak egy anyagi közegben tudták elképzelni. Kitalálták az étert, felruházták a legjobb tulajdonságokkal, majd bizonyítani kezdték a létét. A Fizeau-kísérlet eredménye az elvárhatónál jobban egyezett az elmélettel, ami azt jelentette, hogy az éter létezése nem kérdőjelezhető meg!

A Fizeau-kísérlet sikere



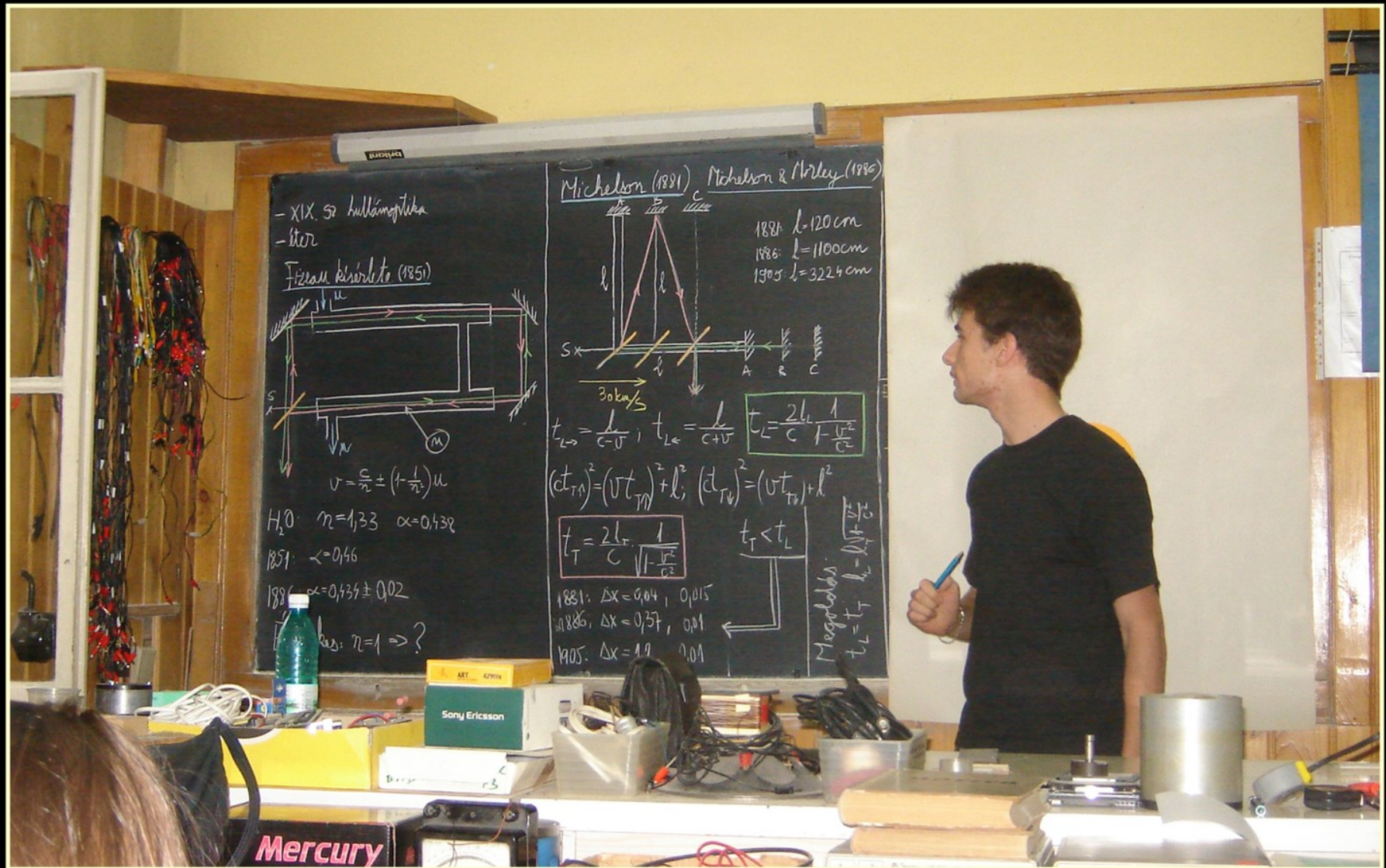
Nagy Zsolt leemeli az új témát eltakaró csomagolópapírt. A Fizeau-kísérlet sikere elindította a fizikusok fantáziáját. Ha a törésmutató $n=1$, akkor az étert egyáltalán nem sodorná magával az elmozduló közeg, vagyis az éterhez egy fix pontot köthetnénk az Univerzumban.

Michelson (1881) és Michelson-Morley kísérlete (1886)



Michelson egy interferométert épített, amelynek karjait a Föld keringési irányával megegyező és arra merőleges irányban helyezte el. A longitudinális és a tranzverzális irányba egy-egy koherens fénysugarat indított el, melyek az újratalálkozásukkor interferenciaképet adtak.

Michelson (1881) és Michelson-Morley kísérlete (1886)



Michelson 90°-kal elforgatta az interferométert, a karok szerepet cseréltek. A klasszikus fizika és a Fizeau-kísérlet alapján levezetett képletek szerint az utak megtételéhez szükséges idők különbözőek ($t_T < t_L$), tehát várható volt az interferenciakép elmozdulása. **Semmi sem történt!**

Michelson (1881) és Michelson-Morley kísérlete (1886)

- XIX. sz. hullámoptika
- éter

Fizeau kísérlete (1851)

$v = \frac{c}{n} \pm (1 - \frac{1}{n^2})u$

H₂O: $n = 1,33$ $\alpha = 0,432$
 1851: $\alpha = 0,46$
 1886: $\alpha = 0,434 \pm 0,02$
 kes: $n = 1 \Rightarrow ?$

Michelson (1881) Michelson & Morley (1886)

1881: $l = 120 \text{ cm}$
 1886: $l = 1100 \text{ cm}$
 1905: $l = 3224 \text{ cm}$

$t_{L \rightarrow} = \frac{l}{c-v}$, $t_{L \leftarrow} = \frac{l}{c+v}$ $t_L = \frac{2l}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$(ct_{TA})^2 = (vt_{TA})^2 + l^2$; $(ct_{TB})^2 = (vt_{TB})^2 + l^2$

$t_T = \frac{2l_T}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ $t_T < t_L$

1881: $\Delta x = 0,04$, $0,015$
 1886: $\Delta x = 0,37$, $0,01$
 1905: $\Delta x = 1,9$, $0,01$

Megoldás:
 $t_L = t_T$ $l_L = l_T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Született egy „kísérleti” alapokon nyugvó, megnyugtató, de spekulatív megoldás, ugyanis a két idő egyenlősége csak akkor jöhetne létre, ha a valamilyen okból a longitudinális kar fizikailag „összegyűrődne”. Ennek kimutatása lehetetlen, mert a mérőeszközünk is megrövidülne.

Az egyidejűség viszonylagossága

1905 Einstein: 1) $|a=a'|$ 2) c -állandó

- Mielőtt: az egyidejűség relativitása
- Galilei Transzformáció

Diagram showing two coordinate systems, x and x' , with axes y, z and y', z' . A point M is shown in the x' system. Vectors $\vec{r}$ and $\vec{r}'$ are drawn from the origins to point M . The velocity of x' relative to x is $\vec{v}$.

Galilei Transzformáció

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \vec{v} \Rightarrow \vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$$

$$\frac{d\vec{r}'}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} - \vec{v} \Rightarrow \vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}$$

Itt $|a=a'|$ (Bulldog)

Lorentz Transzformáció

Esemény az O -ban

$$O: x=0, t=0$$

$$O': x'=0, t'=0$$

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

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

Esemény az O' -ben

$$O': x'=0, t'=0$$

$$O: x=0, t=0$$

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

$$ct = k(ct' + vt')$$

Diagram showing the Lorentz transformation between x and x' axes. The origin O' of the x' system is moving with velocity v relative to the x system. The transformation equations are written on the board.

1) $y=0, z=0$

2) $t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

3) $y=0, z=0$

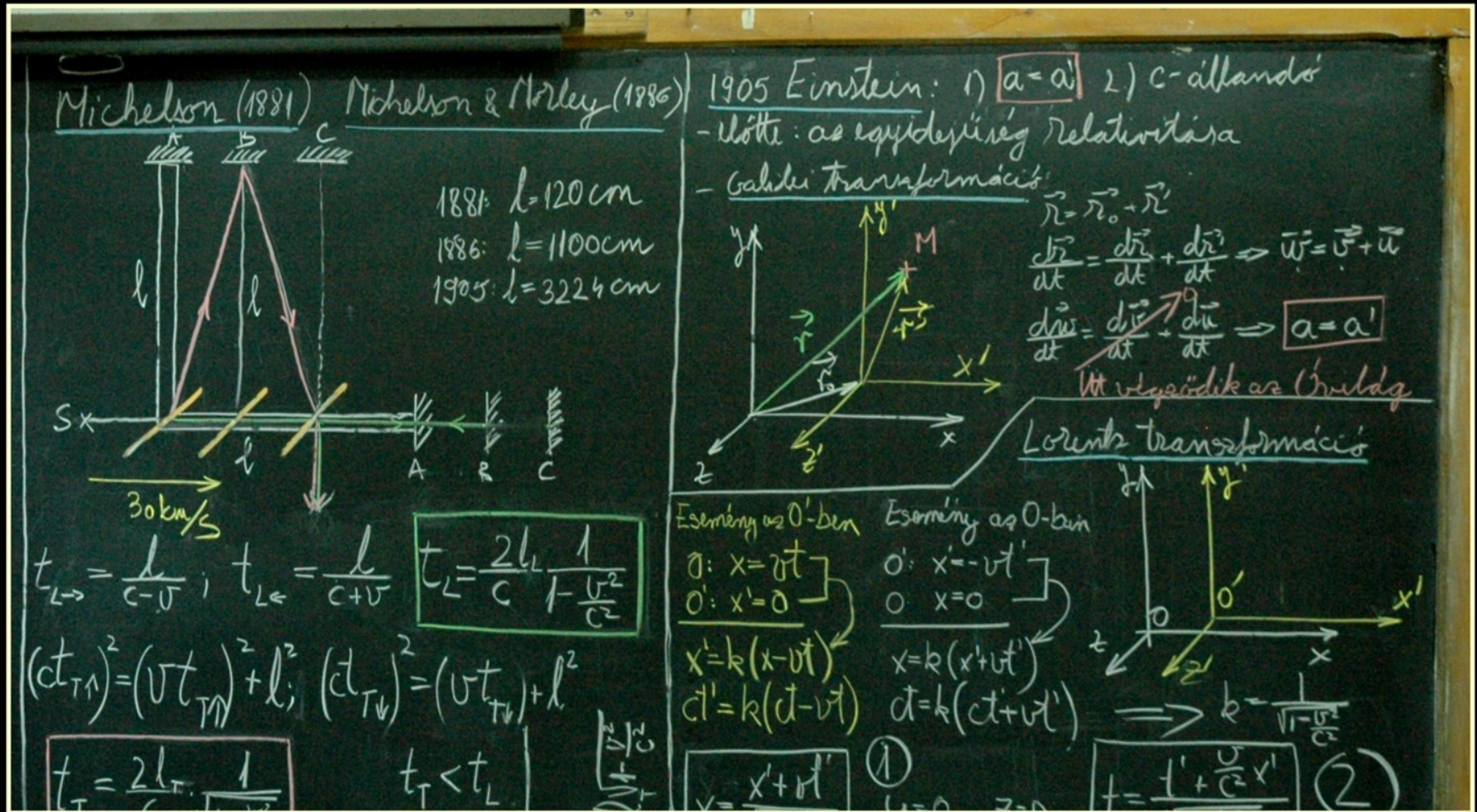
4) $t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

5) $x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

6) $x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Elképzeltek kísérlet. Egy űrhajós valamilyen tökéletes eszközzel fényt bocsájt ki az űrhajó két végén levő érzékelők felé. Addig állítgatja a berendezést, ameddig az visszajelzi a megérkezések egyidejűségét. Ezt a jelenséget az álló megfigyelő nem láthatja egyidejűnek. **Az egyidejűség viszonylagos!**

Albert Einstein elképzelése (1905)

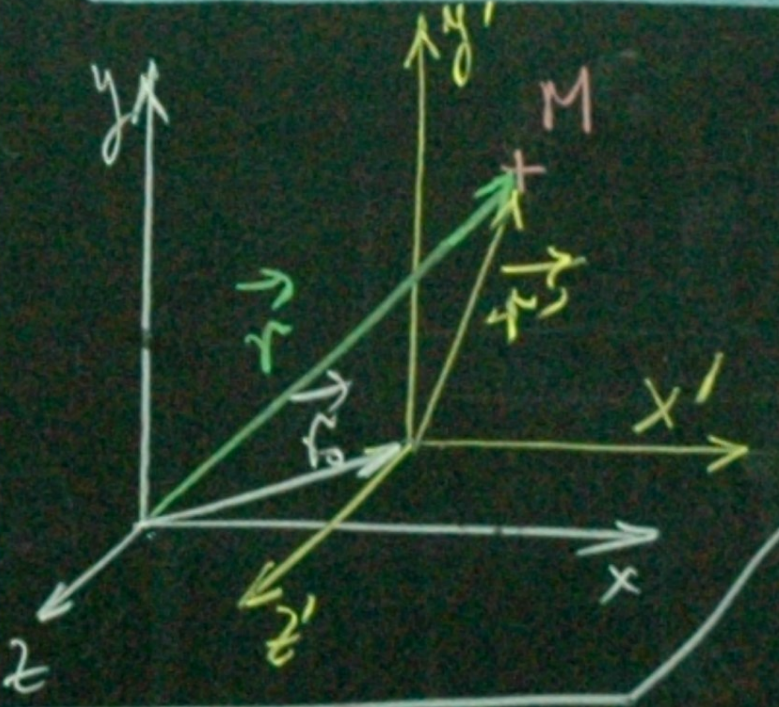


Einstein elfogadja a Fizeau- és a Michelson-kísérlet egymásnak ellentmondó eredményeit. Az összeegyeztetésük magyarázatára két posztulátumot vezet be: az inerciarendszerek ekvivalenciáját, és a fény terjedési sebességének a viszonyítási rendszerektől való függetlenségét. A Galilei-transzformáció érvénytelenné válik a már ismert egyidejűség viszonylagossága miatt, ezért új Fizikát kell felépítenünk, de annak kisebbességű alkalmazásai határesetként legyenek kompatibilisek a klasszikus fizikával.

A nagy sebességeknél érvényét veszti a Galilei-transzformáció

1905 Einstein: 1) $a = a'$ 2) c -állandó

- előtte: az egyidejűség relativitása
- Galilei transzformáció:


$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$$
$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_0}{dt} + \frac{d\vec{r}'}{dt} \Rightarrow \vec{u} = \vec{v} + \vec{u}'$$
$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{d\vec{u}'}{dt} \Rightarrow \boxed{a = a'}$$

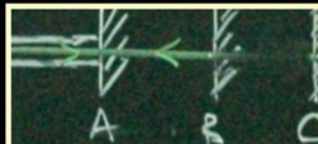
Itt végződik az Óvilág

Lorentz transzformáció



A Galilei-transzformáció érvényét veszti, mert ott az egyidejűség abszolút. A du/dt nem egyenlő a mozgó viszonyítási rendszerben mért gyorsulással, hiszen a dt nem egyenlő a dt' -tel! Ennél a pontnál ér véget az Óvilág. Meg kell találnunk a tér- és időkoordináták átalakítási képleteit. Ebből születik majd meg a Lorentz-transzformáció.

A Lorentz-transzformáció



$$t_L = \frac{2l}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$(ct_L)^2 = (vt_L)^2 + l^2$$

$$t_T < t_L$$

Megoldás:

$$t_L = t_T \quad l = l_T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Lorentz transzformáció

Esemény az O -ban

$$\begin{aligned} O: x &= vt \\ O': x' &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x' &= k(x - vt) \\ ct' &= k(ct - vt) \end{aligned}$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Esemény az O' -ben

$$\begin{aligned} O': x' &= -vt' \\ O: x &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= k(x' + vt') \\ ct &= k(ct' + vt') \end{aligned}$$

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

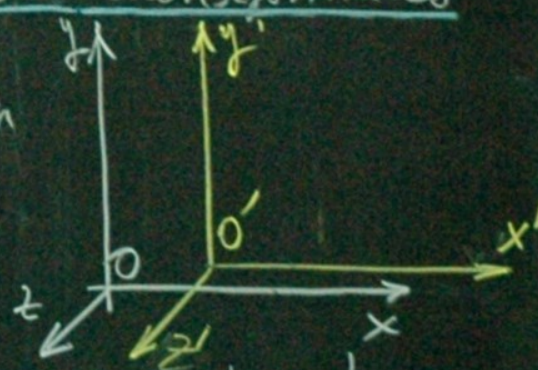
$\Rightarrow k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

① $y=0 \quad z=0$

③ $y=0 \quad z'=0$

②

④



A Lorentz-transzformáció a térközök és az időközök kiszámítását elősegítendő, az időpontok viszonylagosságát figyelembe véve, először a tér- és időkoordinátákat határozza meg. Az eseményeket ebben az újfajta koordinátarendszerben írjuk le, majd oda-vissza módon kiszámításra kerülnek a tér-és időkoordináták.

A viszonylagos időintervallum (időtágulás) kiszámítása



Egy mozgó rendszerbeli esemény $\Delta t'$ lezajlási idejét ugyanabban a x' térkoordinátában vizsgáljuk. Ha az esemény a mozgó rendszerben történik, akkor a (2) képletet írjuk fel a két időpontra. A két képlet különbségéből megkapjuk az álló rendszerbeli Δt -t. A (4) képletből a fordított esetre kapunk választ.

A viszonylagos térintervallum (térzsugorodás) kiszámítása



A térintervallumot az (1) és (3) képletből hasonló módon számítjuk ki, de figyelembe kell vennünk, hogy a „méréskor” a másik viszonyítási rendszerből átnyúló tolómérő két mérőpofájának azonos időkoordinátában kell érintenie a mérendő tárgyat. A tolómérővel a kezében ezt szemlélteti az előadó.

A sebességek összeadása és a Fizeau kísérlet sikere

Időintervallum:

- esemény a mozgó rendszerben x' -ben

$$t_2 - t_1 = \frac{t_2' + x' \frac{v}{c^2} - t_1' - x' \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

 $\Delta t = \frac{2l}{300000} = 70 \text{ ns}$

- esemény az álló rendszerben x -ben

$$t_2' - t_1' = \frac{t_2' - x \frac{v}{c^2} - t_1' + x \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

az idő relatív és kitágul

Térintervallum

- esemény a mozgó rendszerben

$$x_2' + vt_2' - x_1' - vt_1'$$

Sebesség

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d \left(\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)}{dt} = \frac{d \left(\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)}{dt'} \cdot \frac{dt'}{dt}$$

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \cdot \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

KINEMATIKA VÉGE

$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$

A Fizeau kísérlet magyarázata

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} = \frac{u + \frac{c}{n}}{1 + \frac{u}{c} \cdot \frac{c}{n}} = \frac{u + \frac{c}{n}}{1 + \frac{u}{cn}}$$

$$w = \frac{(u + \frac{c}{n})(1 - \frac{u}{cn})}{1 - \frac{u^2}{c^2 n^2}} = \frac{u + \frac{c}{n} - \frac{u^2}{cn} - \frac{u}{n^2}}{1 - \frac{u^2}{c^2 n^2}} =$$

$$= \frac{u(1 - \frac{u}{cn}) + \frac{c}{n} - \frac{u}{n^2}}{1}$$

$w = \frac{c}{n} + u \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$

A Lorentz-transzformáció képletei segítségével (egyszerű deriválással) kiszámíthatjuk a viszonylagos sebességeket. A Fizeau-kísérlet sikere véletlen, mert relativisztikus sebesség-összeadással hasonló értékeket kapunk. Így a Fizeau-kísérlet az első sikeres bizonyítéka lett a későbbi relativisztikus fizikának.

A tehetetlenség - Tolman virtuális kísérlete

Sebesség

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \cdot \frac{dt'}{dt}$$

$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{uv}{c^2}} \cdot \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \boxed{w = \frac{v+u}{1 + \frac{vu}{c^2}}}$$

KINEMATIKA VÉGE

A Fizika kísérlet magyarázata

$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{uv}{c^2}} = \frac{u + \frac{c}{n}}{1 + \frac{u}{c} \cdot \frac{c}{n}} = \frac{u + \frac{c}{n}}{1 + \frac{u}{cn}}$$

$$w = \frac{(u + \frac{c}{n})(1 - \frac{u}{cn})}{1 - \frac{u^2}{c^2 n^2}} = \frac{u + \frac{c}{n} - \frac{u^2}{cn} - \frac{u}{n^2}}{1 - \frac{u^2}{c^2 n^2}} = \frac{u(1 - \frac{u}{cn}) + \frac{c}{n} - \frac{u}{n^2}}{1}$$

$$\boxed{w = \frac{c}{n} + u(1 - \frac{1}{n^2})}$$

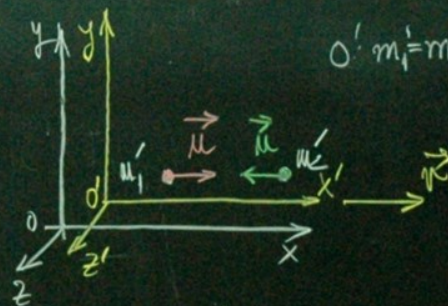
más: $w = \frac{v+c}{1 + \frac{vc}{c^2}} = \frac{v+c}{\frac{c+v}{c}} = c$

$$\frac{v}{c} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$$w = \frac{c+c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = c$$

$$w = \frac{2c+c}{1 + \frac{2c^2}{c^2}} = c$$

Tolman kísérlete



$$O': m'_1 = m'_2$$

$$O': m'_1 u - m'_2 u = 0$$

$$O: m_1 u_1 + m_2 u_2 = (m_1 + m_2) v$$

$$m_1 \frac{v+u}{1 + \frac{uv}{c^2}} + m_2 \frac{v-u}{1 - \frac{uv}{c^2}} = (m_1 + m_2) v$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1 + \frac{uv}{c^2}}{1 - \frac{uv}{c^2}} \Rightarrow m_1 \neq m_2$$

$$u = v$$

$$w_1 = \frac{2v}{1 + \frac{v^2}{c^2}}; w_2 = 0$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1 + \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$O': m'_1 = m'_2$$

$$O: \text{ha } u=0 \Rightarrow m_1 = m_2$$

$$m_{10} = m_{20}$$

$$\frac{m_1}{m_{20}} = \frac{1 + \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{m_{20}}{m_1} = \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{1 + \frac{v^2}{c^2}}$$

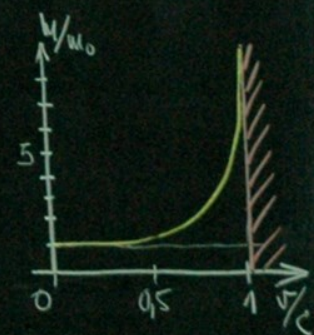
$$\left(\frac{m_{20}}{m_1} \right)^2 = \frac{(1 + \frac{v^2}{c^2})^2 - \frac{4v^2}{c^2}}{(1 + \frac{v^2}{c^2})^2} = 1 - \frac{\frac{4v^2}{c^2}}{(1 + \frac{v^2}{c^2})^2}$$

$$W_1 = \frac{2V}{1 + \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\left(\frac{m_{20}}{m_1} \right)^2 = 1 - \frac{W_1^2}{c^2}$$

$$m_1 = \frac{m_{20}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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



ATOMKI 5 MeV

A természet legalapvetőbb megmaradási törvényét alkalmazza. Azonos tömegű testek rugalmatlanul ütköznek a mozgó viszonyítási rendszerben. Mivel a sebességük nagysága is azonos, az ütközés után megállnak. Az ütközés utáni impulzusukat az álló rendszerbeli megfigyelő $(m_1 + m_2) \cdot v$ -nek látja. Ebből kiindulva könnyen meghatározható a relativisztikus tehetetlenség.

Dinamika II. főtörvénye a relativisztikus fizikában

1972
1987. május 15.

A dinamika II. főtörvénye

$$\frac{d(mv)}{dt} = F, \quad \frac{d(mv)}{dt} = F, \quad \frac{dm}{dt} v + m \frac{dv}{dt} = F$$

$$\frac{dm}{dt} \frac{dv}{dt} v + m \frac{dv}{dt} = F$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$$

$$\frac{dm}{dv} = m_0 \left(-\frac{1}{2}\right) \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} \left(-\frac{2v}{c^2}\right)$$

$$\frac{dm}{dv} = m_0 \frac{v}{c^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2}$$

$$\frac{m_0 v^2}{c^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} a + \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} a = F$$

$$\frac{m_0 v^2}{c^2} \frac{a}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} + \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} a = F$$

$$\frac{m_0 a}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(\frac{v^2/c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} + 1 \right) = F$$

$$\frac{m_0 a}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = F \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\boxed{m \cdot a = F \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

Az energia

$$L \rightarrow E, \quad E \rightarrow L$$

$$dL = \vec{F}(v) \cdot d\vec{r} = F \cdot dr \quad F = \frac{dE}{dt} = \frac{dE}{dv} \frac{dv}{dt}$$

$$dL = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} v \cdot dv$$

$$dL = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} v \cdot dv$$

$$d\left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}\right] = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} \cdot \frac{v \cdot dv}{c^2}$$

$$dL = c^2 m_0 d\left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}\right]$$

$$L = m_0 c^2 \int d\left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}\right] = m_0 c^2 \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}\right]_0^v$$

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

$$L = mc^2 - m_0 c^2$$

$$\boxed{E = mc^2} = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{v^4}{c^2} \dots$$

$$E = m_0 c^2 + E_k, \quad m = \frac{E}{c^2} = m_0 + \frac{E_k}{c^2}$$

az anyag mag-
maradék elve

$^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} = ^4_2\text{He} + \dots$
Teller-Ede
fúzió

Időintervallum

$$t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sebesség

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt'} \frac{dt'}{dt}$$

$$v = \frac{u + v'}{1 + \frac{uv'}{c^2}}$$

Időintervallum

$$x_2 - x_1 = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sebesség

$$\Delta x \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \Delta x'$$

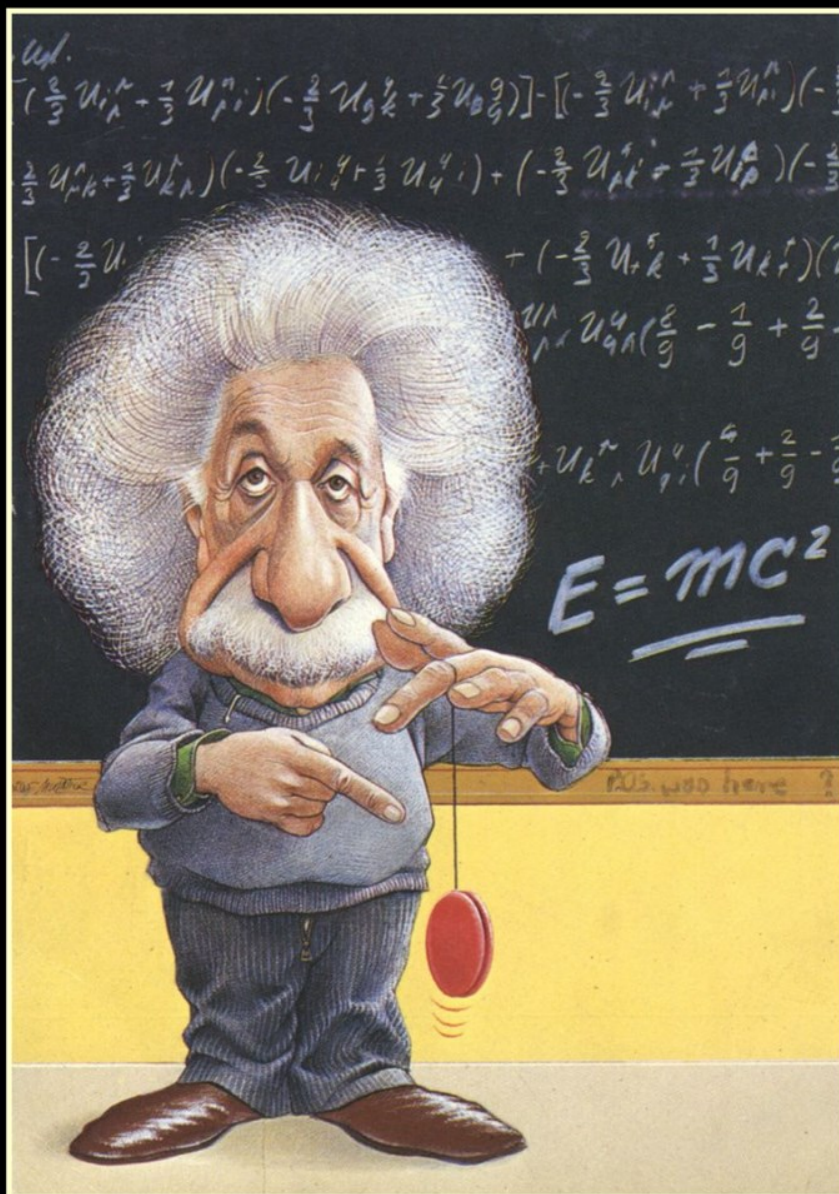
A relativisztikus tömeg és sebesség birtokában építeni kezdjük a dinamikát. Relativisztikusan írjuk fel a dinamika II. főtörvényét, majd az mv szorzat időszerinti deriválása után megkapjuk a relativisztikus dinamika II. főtörvényét. Látható, hogy a nagysebességű rendszerek további gyorsításához fokozottan nagyobb erő szükséges.

Az energia és a tömegdefektus

[illegible]

Kiszámítjuk a véges elmozduláshoz tartozó munkát, ebből származik a rendszer energiájának változása. Az elemi munka differenciálegyenletét egy speciális behelyettesítéssel könnyen integráljuk, majd megkapjuk a testben rejlő teljes energia jól ismert képletét: $E=mc^2$. A tömegdefektus bemutatása után az atomenergia felhasználása következett.

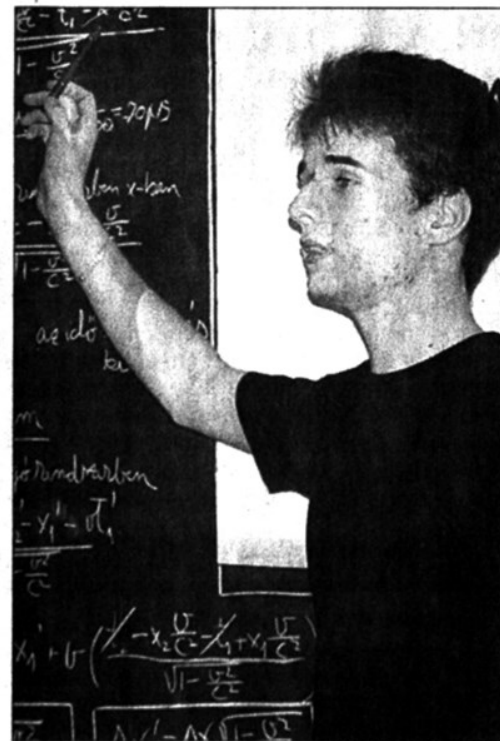
Köszönjük a figyelmet!



A felvételeket Szíjjártó Tibor készítette

Az étertől Hirosimáig

Csütörtök délután az Ady Endre Líceum fizikaborjában Az étertől Hirosimáig címmel rendhagyó fizikaóra volt. Az előadás különlegessége abban állt, hogy egy XII.-es diák, a tehetséges Nagy Zsolt magyarázta el negyven percbe sűrítve tizenöt fizikaóra tananyagát. Felkészítő tanára dr. Bartos-Elekes István, az Ady fizikatanára volt, akivel három napig állították össze az előadásban elhangzó tananyagot, illetve táblára írták a képleteket és magyarázatokat. Nagy Zsolt, az Ady Endre Líceum éltanulója előadásában nemcsak felkészültségéről, de beszédképességéről is bizonyosságot tett. Előadásában kötetlenül beszélt többek között az olyan nehéz fizikai témákról, mint az éter létezése, a relativitáselmélet, a dinamika törvénye vagy az atom-bomba feltalálása.



Nagy Zsolt élvezetesen magyarázott

Foto: Mészáros Tímea