

Наслідки постулатів спеціальної теорії відносності

«Вік існування речей лишається тим самим незалежно від того, чи швидкі їх рухи, чи повільні, а чи їх немає взагалі», – писав І. Ньютон.

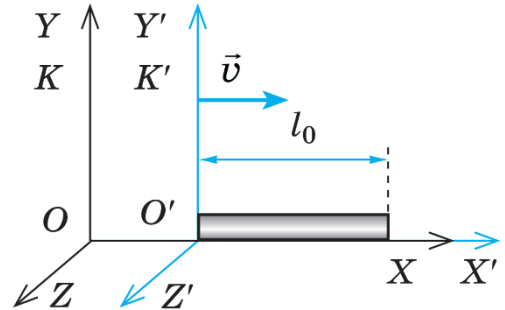
1. Лінійні розміри предметів під час їхнього руху

Довжина l рухомого предмета відрізняється від довжини l_0 того самого предмета в його «власній» системі відліку (тобто в тій, у якій цей предмет нерухомий).

Лоренцеве скорочення довжини:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < l_0$$

l_0 – довжина стрижня в СВ K' , відносно якої стрижень перебуває у спокої;
 l – довжина стрижня в СВ K , відносно якої стрижень рухається/



Зверніть увагу!

1. Розміри тіла зменшуються тільки вздовж його руху: якщо стрижень розташований вздовж свого руху, то його довжина зменшується, а от діаметр залишається незмінним.

2. Релятивістський ефект скорочення довжини стає помітним тільки у випадку руху тіла зі швидкістю, яка порівнянна зі швидкістю поширення світла.

2. Ефект уповільнення часу

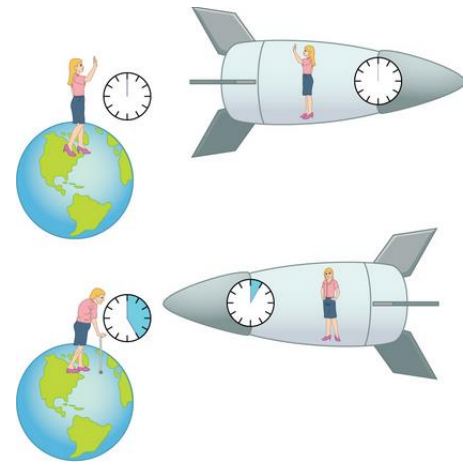
• У чому ж полягає ефект уповільнення часу?

Час τ_0, вимірюваний спостерігачем, відносно якого годинник перебуває у спокої: $\tau_0 = \frac{L_0}{c}$	Час τ, вимірюваний спостерігачем, відносно якого годинник рухається: $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Інтервал часу τ_0 , відлічуваний у СВ, відносно якої годинник перебуває у стані спокою (власний час події), менший, ніж інтервал часу τ , відлічуваний у СВ, відносно якої годинник рухається. Інакше кажучи, час у рухомій СВ уповільнюється.

Уявний експеримент «Парадокс близнюків»

Уявімо, що перший із двох близнюків подорожуватиме в космічному кораблі з великою швидкістю відносно Землі, а другий чекатиме на нього вдома. Тоді після повернення космічного корабля на Землю після 20-річної подорожі виявиться, що близнюк-космонавт біологічно набагато молодший за свого брата. Та й бортові годинники покажуть, що на кораблі минуло далеко не 20 років.



3. Маса та енергія

- Як пов'язані маса та енергія?

Якщо тіло масою m рухається зі швидкістю v відносно якоїсь СВ, то енергія E тіла в цій СВ становить:

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

Наслідки

1. Будь-яке тіло (будь-яка частинка), що має масу, несе із собою запас енергії. Навіть якщо $v = 0$, то тіло все одно має енергію (енергія спокою): $E = mc^2$
2. Зміна енергії тіла прямо пропорційна зміні його маси: $\Delta E = \Delta mc^2$
3. У випадках, коли тіло (частинка) рухається зі швидкістю, яка набагато менша, ніж швидкість світла ($v \ll c$), то:

$$E(v) = mc^2 + \frac{mv^2}{2}$$

mc^2 – енергія спокою; $\frac{mv^2}{2}$ – кінетична енергія.

Розв'язування вправ

1. Визначте енергію спокою сталевій кулі масою 2 кг. Чи зміниться відповідь, якщо куля того самого розміру буде дерев'яною? Швидкість поширення світла у вакуумі $3 \cdot 10^8$ м/с.

Дано:

$$\begin{aligned} m &= 2 \text{ кг} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ E &= ? \end{aligned}$$

Розв'язання

$$\begin{aligned} E &= mc^2 & E &= \text{кг} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж} \\ E &= 2 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 18 \cdot 10^{16} \text{ (Дж)} \end{aligned}$$

Відповідь: $E = 18 \cdot 10^{16}$ Дж.

Енергія дерев'яної кулі також розміру зменшиться, бо маса дерев'яної кулі буде менша від маси сталевій кулі.

2. Який розмір матиме 20-метрова ракета відносно інерціальної системи відліку в напрямку руху, якщо швидкість руху ракети відносно цієї системи становить $2,4 \cdot 10^8$ м/с?

Дано:

$$l_0 = 20 \text{ м}$$

$$v = 2,4 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l - ?$$

Розв'язання

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad [l] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}} = \text{м}$$

$$l = 20 \cdot \sqrt{1 - \frac{(2,4 \cdot 10^8)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}} = 12 \text{ (м)}$$

Відповідь: $l = 12 \text{ м}$.

3. Ракета рухається зі швидкістю $2,2 \cdot 10^5 \text{ км/с}$ відносно нерухомого спостерігача. Поточний контроль систем ракети космонавти виконали за 5 год. Визначте, скільки часу тривав контроль за годинником спостерігача.

Дано:

$$v = 2,2 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\tau_0 = 5 \text{ год} \\ = 1,8 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\tau - ?$$

Розв'язання

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [\tau] = \frac{\text{с}}{\sqrt{\frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}}} = \text{с}$$

$$\tau = \frac{1,8 \cdot 10^4}{\sqrt{1 - \frac{(2,2 \cdot 10^8)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}}} \approx 2,65 \cdot 10^4 \text{ (с)}$$

Відповідь: $\tau = 7,36 \text{ год}$.

4. Яке значення мала б повна енергія ракети, маса якої 15 т, у системі відліку, яка пов'язана із Землею, якби ракета рухалася відносно Землі зі швидкістю $2,7 \cdot 10^8 \text{ м/с}$?

Дано:

$$m = 15 \text{ т}$$

$$= 15 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$v = 2,7 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$E - ?$$

Розв'язання

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [E] = \frac{\text{кг} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\sqrt{\frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}}} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$E = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{\sqrt{1 - \frac{(2,7 \cdot 10^8)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}}} \approx 3 \cdot 10^{21} \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $E \approx 3 \cdot 10^{21} \text{ Дж}$.