



*Елементи  
спеціальної теорії  
відносності.*

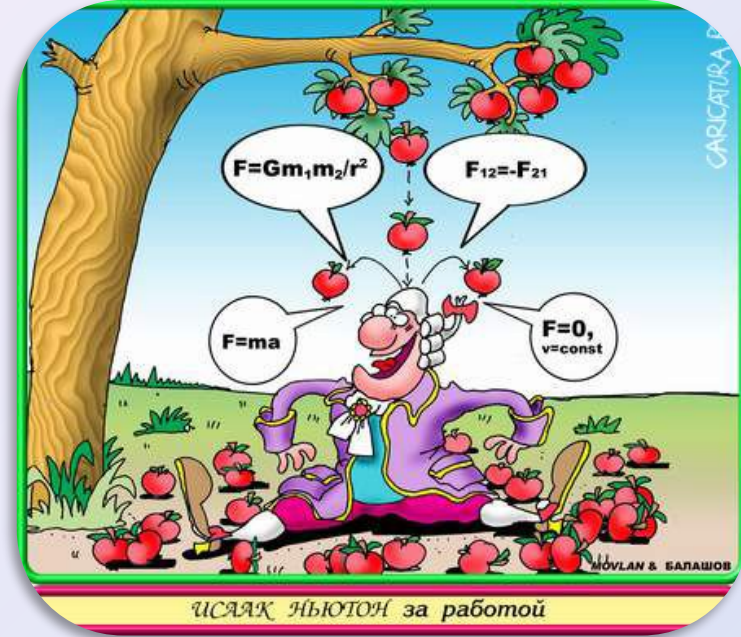
Einstein

# План

1. Основні положення СТВ.
2. Відносність одночасності подій.
3. Закон взаємозв'язку маси і енергії.
4. Релятивістський закон додавання швидкостей.

# Класична механіка

- Простір тривимірний і одномірний час
- Зворотність простору і незворотність часу
- Однорідність простору і часу (усі точки простору рівноправні і проміжки часу)
- Ізотропність простору (однаковість властивостей в усіх напрямках)
- Абсолютність простору і часу.



XIX-

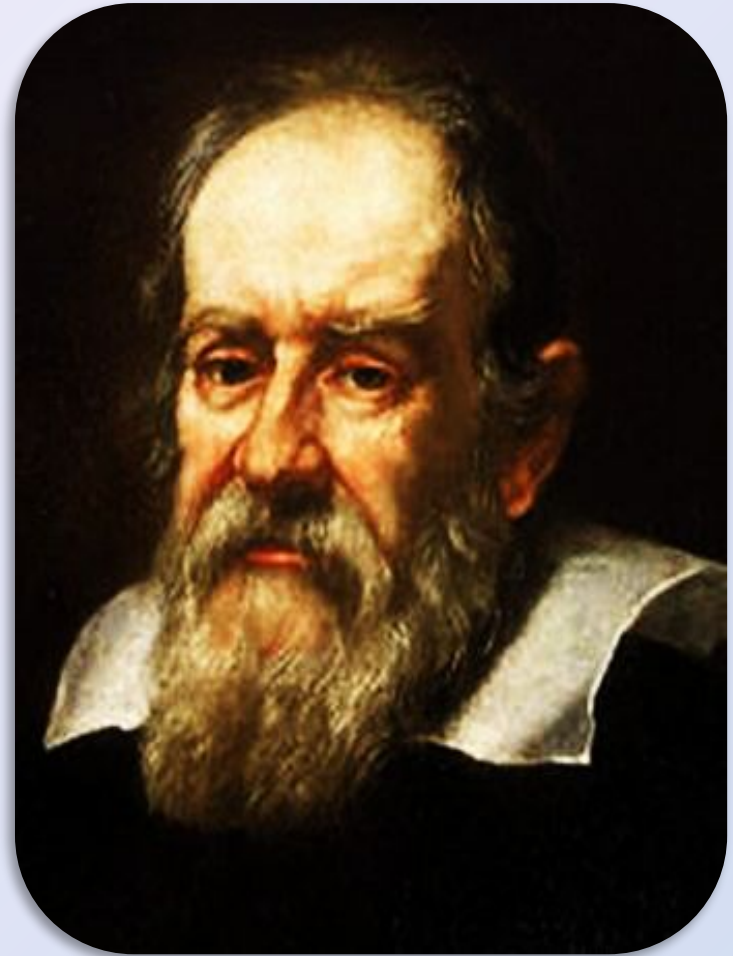
XX

СТ

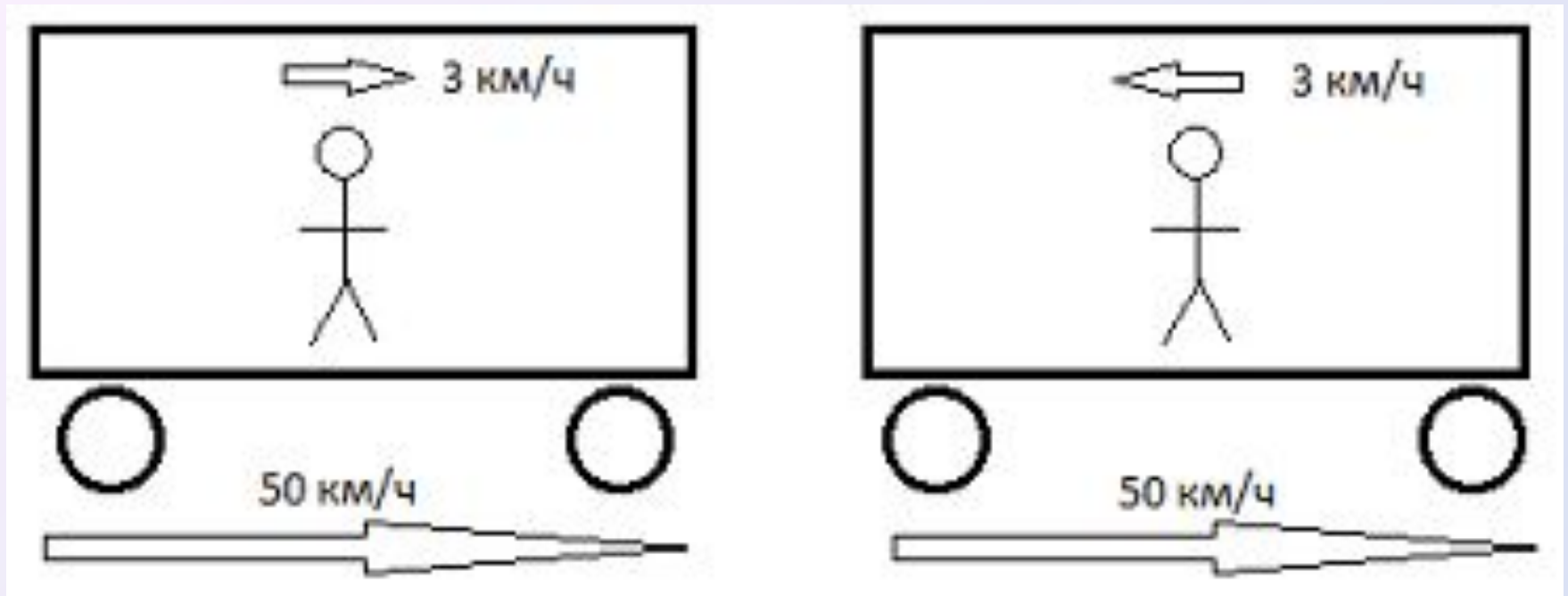


# В основі класичної механіки – принцип відносності Галілея

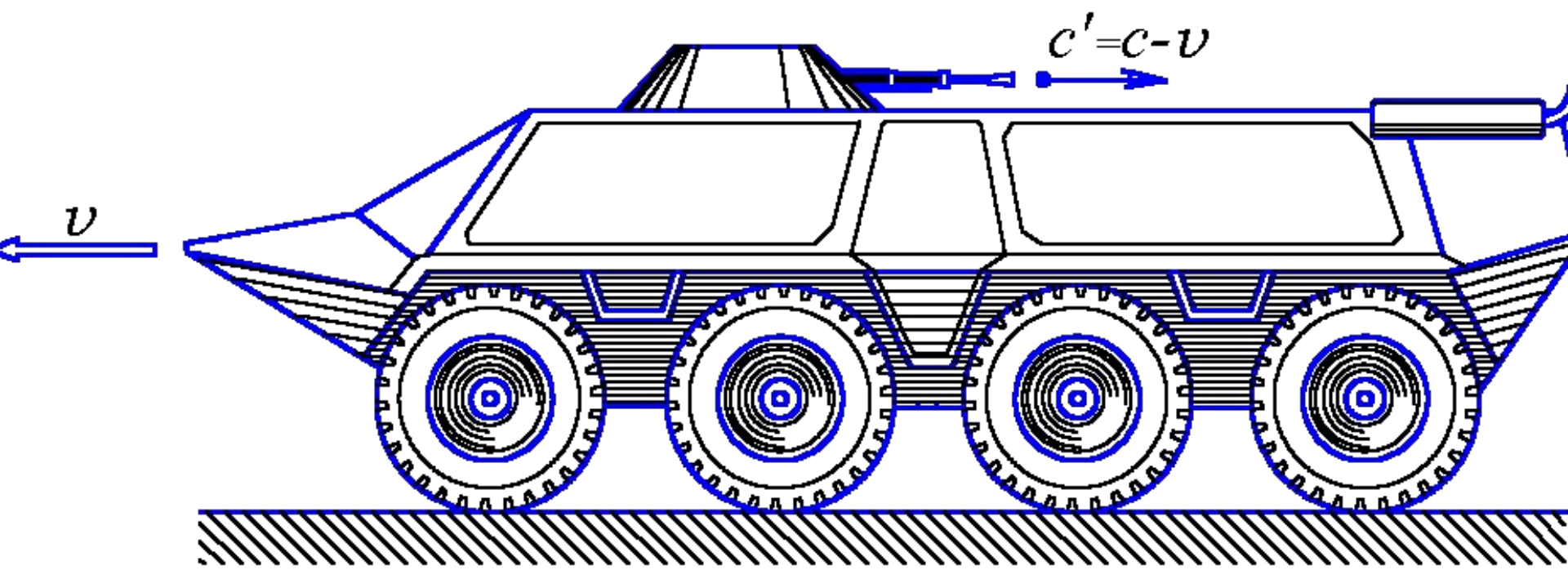
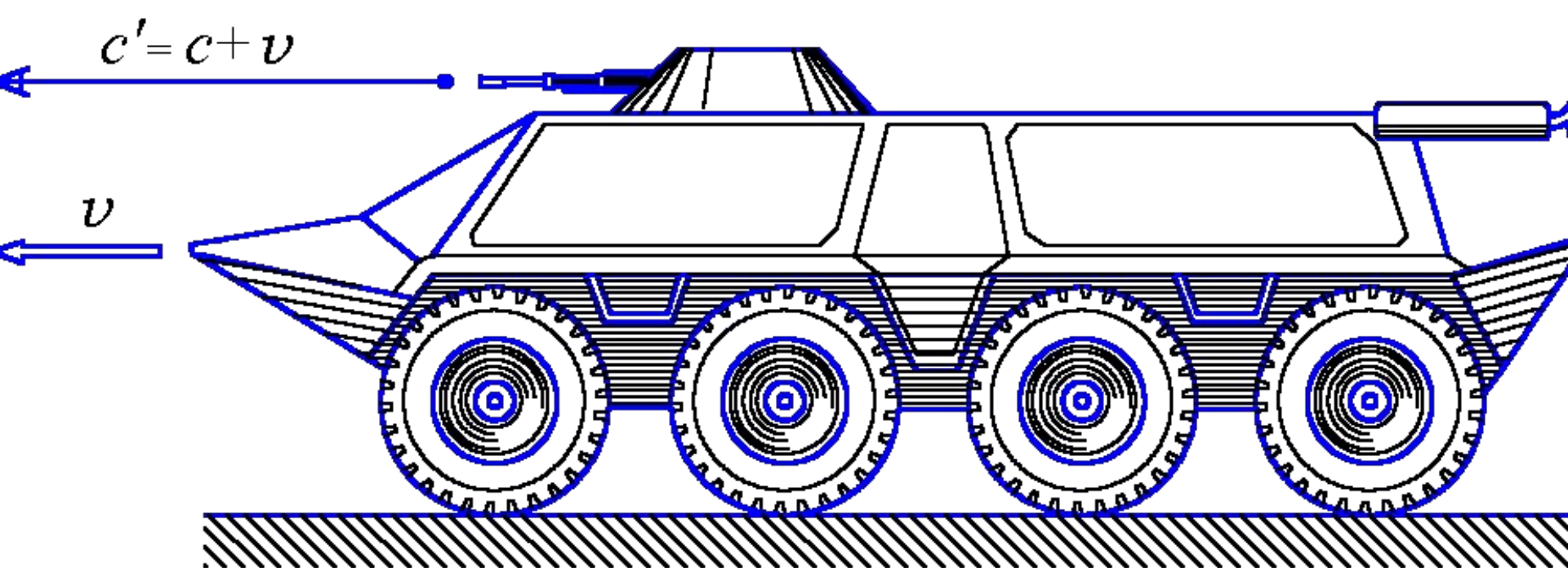
- Будь-які механічні процеси в будь-якій інерційній СВ відбуваються однаково.
- Ніякими механічними дослідженнями не можна встановити, чи тіло перебуває в стані спокою чи в стані руху.



# Закон додавання швидкостей

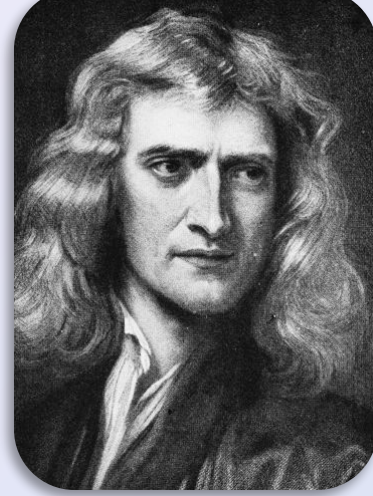


$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$





# Суперечності між електродинамікою та механікою



За законами  
електродинаміки  
швидкість  
електромагнітних  
хвиль у вакуумі  
однакова по всіх  
напрямах і дорівнює  
 $c = 3 \cdot 10^8$  м/с

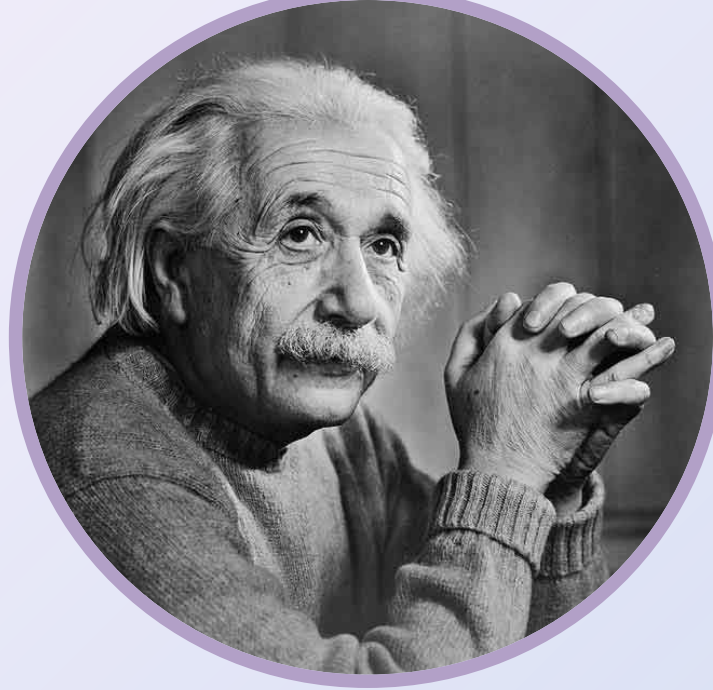
Але відповідно до  
ньютонівської механіки  
швидкість може  
дорівнювати  $c$  тільки у  
вибраній системі відліку.  
У будь-якій іншій, яка  
рухається зі швидкістю  $v$ ,  
швидкість світла  
повинна змінюватися



# Посєднання непосєднуваного

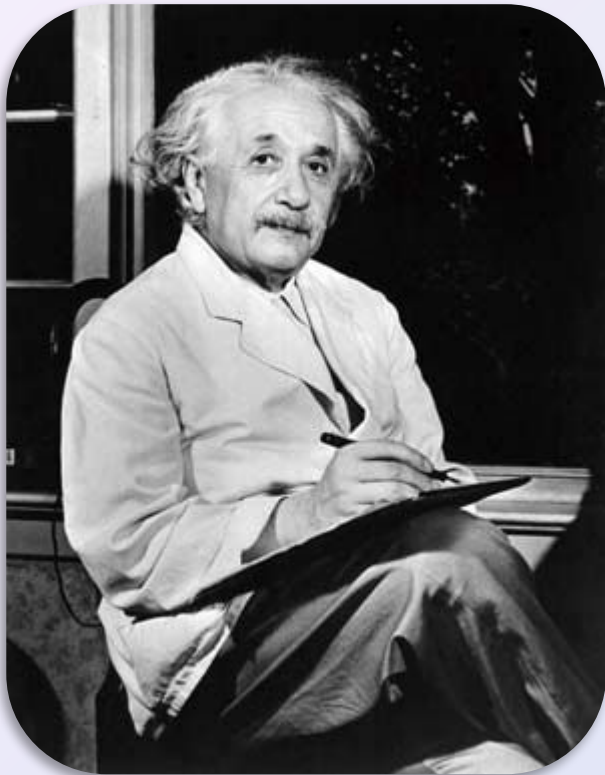
Усі суперечності були блискуче розв'язані 26-річним Альбертом Ейнштейном, який видав невелику, всього на 30 сторінок, роботу під назвою «До електродинаміки рухомих середовищ».

У ній Ейнштейн без жодного нового експерименту, проаналізувавши й узагальнивши уже відомі дослідні факти, вперше виклав ідеї теорії відносності.





«Коли Ви годину знаходитеся в товаристві симпатичної дівчини, вам здається, що пройшла тільки хвилинка; але коли ви хвилину сидите на гарячій плиті, вам здається, що пройшла ціла година. Ось це і є відносність.»



**У 1905 р. учений  
видав основні ідеї  
спеціальної теорії  
відносності.**

# Постулати теорії відносності

## 1) Принцип відносності:

- *усі фізичні явища протікають однаково в усіх інерціальних системах відліку.*

## 2) Принцип сталості швидкості світла:

- *В усіх інерціальних системах відліку швидкість світла у вакуумі однакова (300 000 км/с) і не залежить ні від швидкості джерела, ні від швидкості приймача.*

# Спеціальна теорія відносності (СТВ)

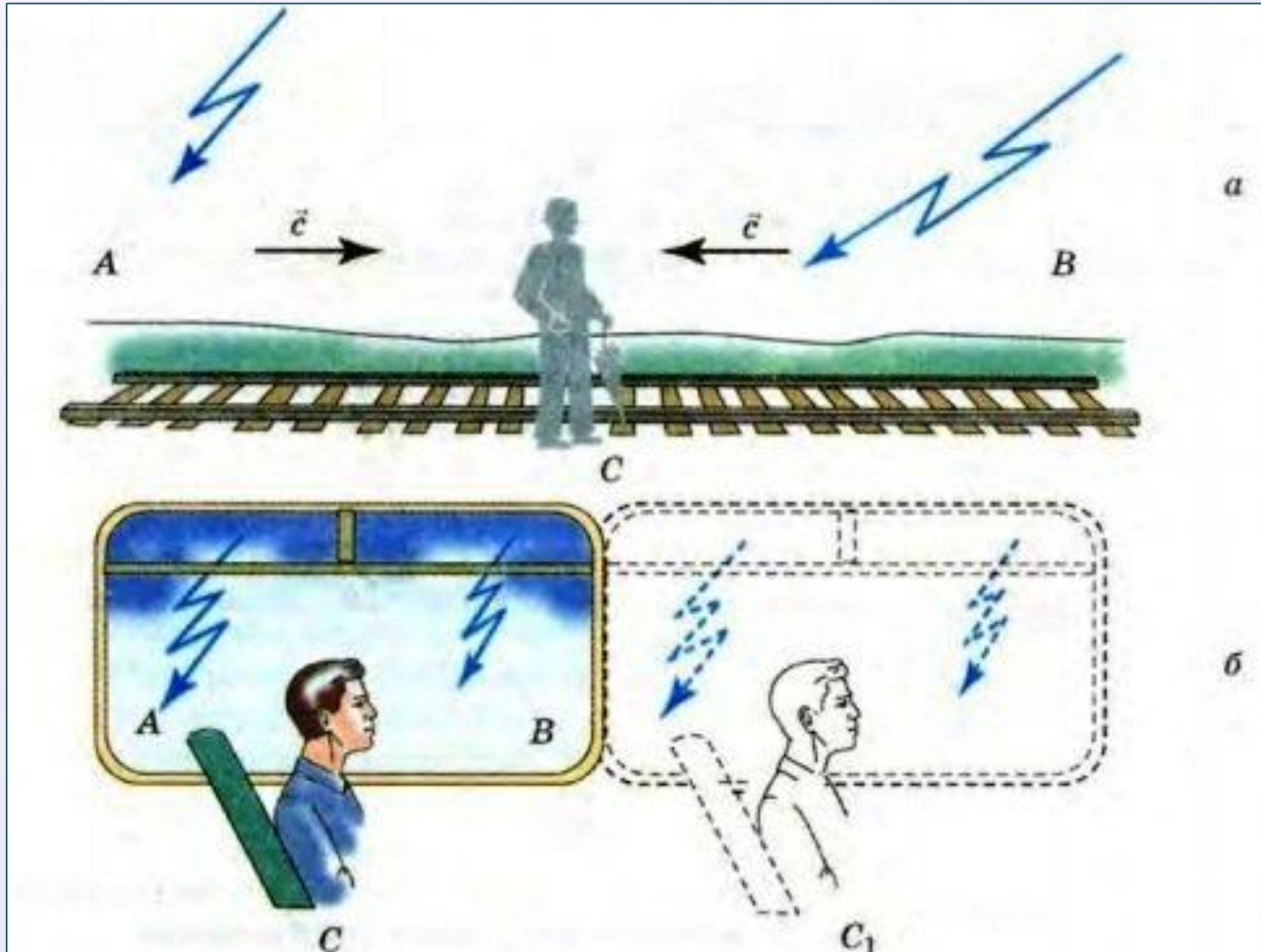
– фізична теорія, що розглядає просторово-часові закономірності, справедливі для будь-яких фізичних процесів.

СТВ стала фундаментом сучасної механіки, яка дістала назву «Релятивістська механіка».

Закони класичної механіки працюють коли швидкості руху тіла  $\ll$  швидкості світла.

Закони релятивістської механіки працюють коли швидкості руху тіла  $\approx$  швидкості світла

## 2. Відносність одночасності подій





# Висновок:

- дві події, які відбуваються в різних точках простору і є одночасними в одній системі відліку, не будуть одночасними в інших.



ВІДЕО 1





**Наслідки**

**постулатів**

**СТВ**

# Відносність часу

- тривалість самої події в різних інерціальних системах відліку неоднакова.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\Delta\tau_0$  – інтервал часу в нерухомій системі.

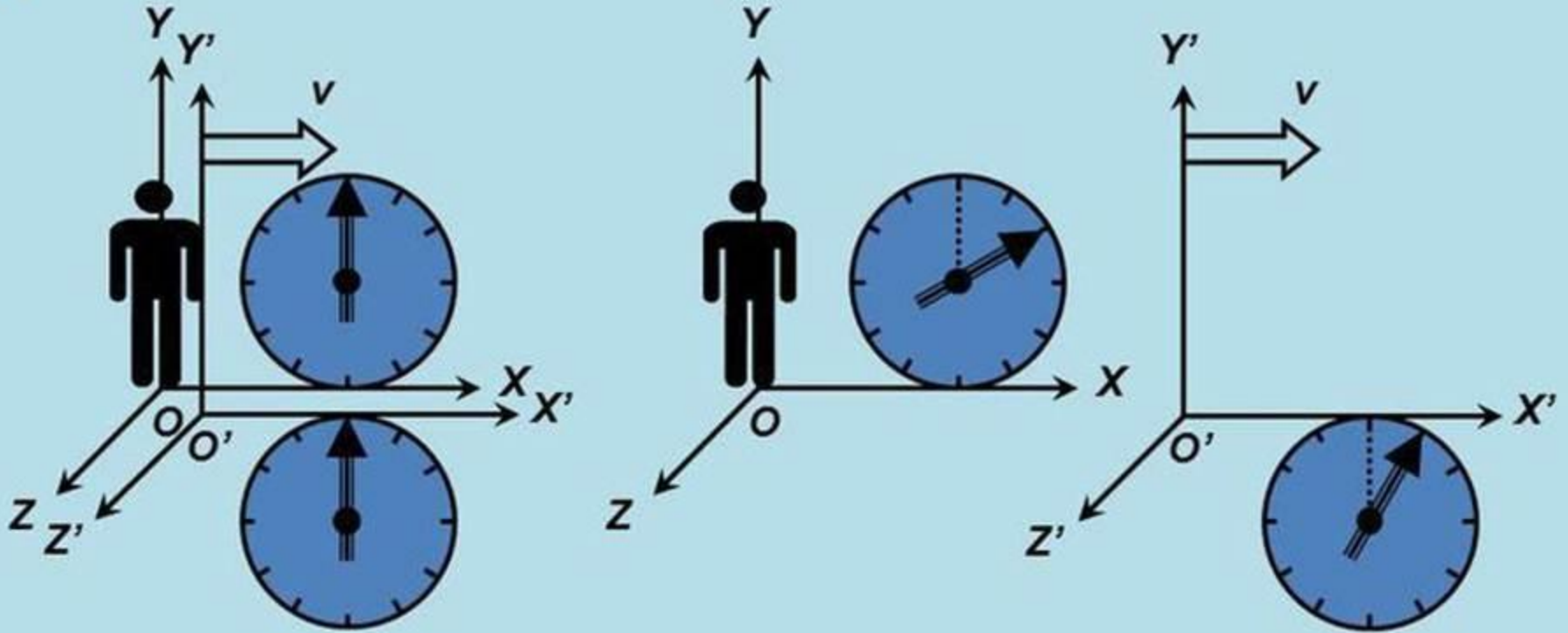
$\Delta\tau$  – інтервал часу виміряний у системі, що рухається зі швидкістю  $v$ .

$v$  – швидкість руху корабля (м/с).

$c$  – швидкість світла.

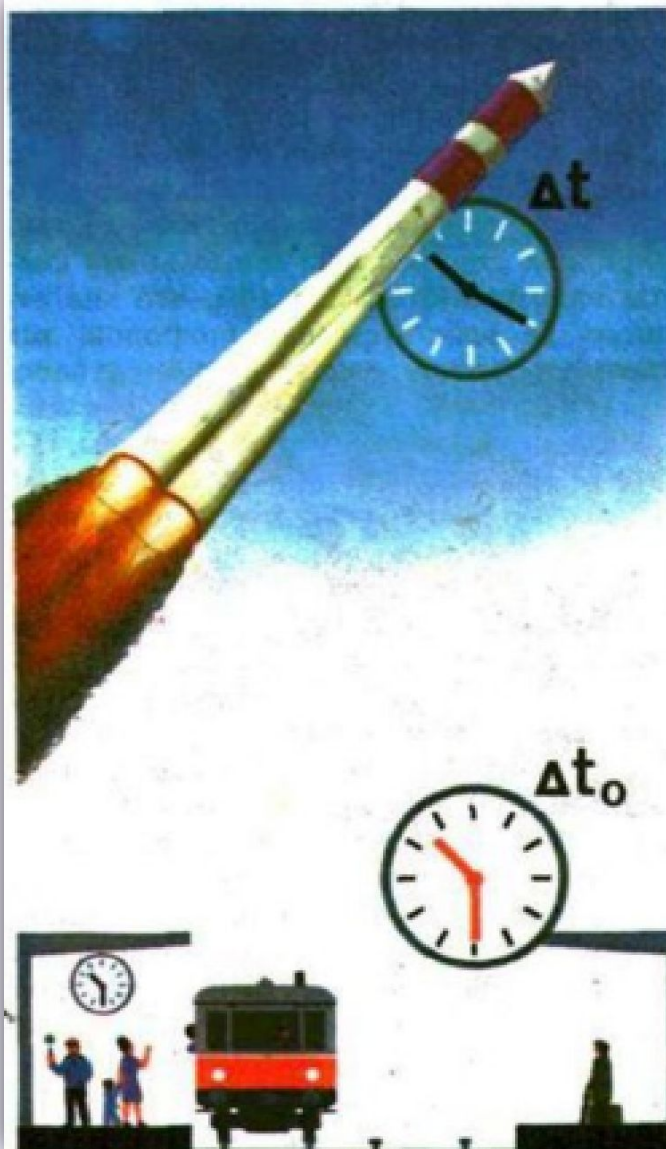


**Інтервал часу, відлічуваний у СВ, відносно якої годинник перебуває у стані спокою (власний час події), менше ніж інтервал часу, відлічуваний у СВ, відносно якої годинник рухається.**





# Відносність часу



Годинник на борту космічного корабля, що рухається, йде повільніше, ніж годинник, що перебуває у стані спокою.

ВІДЕО 2

# Відносність довжини

- відстань між двома будь-якими точками простору – не абсолютна величина, вона залежить від швидкості руху тіла відносно даної системи відліку.

$l_0$  – довжина нерухомого предмета, м.

$l$  – довжина рухомого предмета, м.

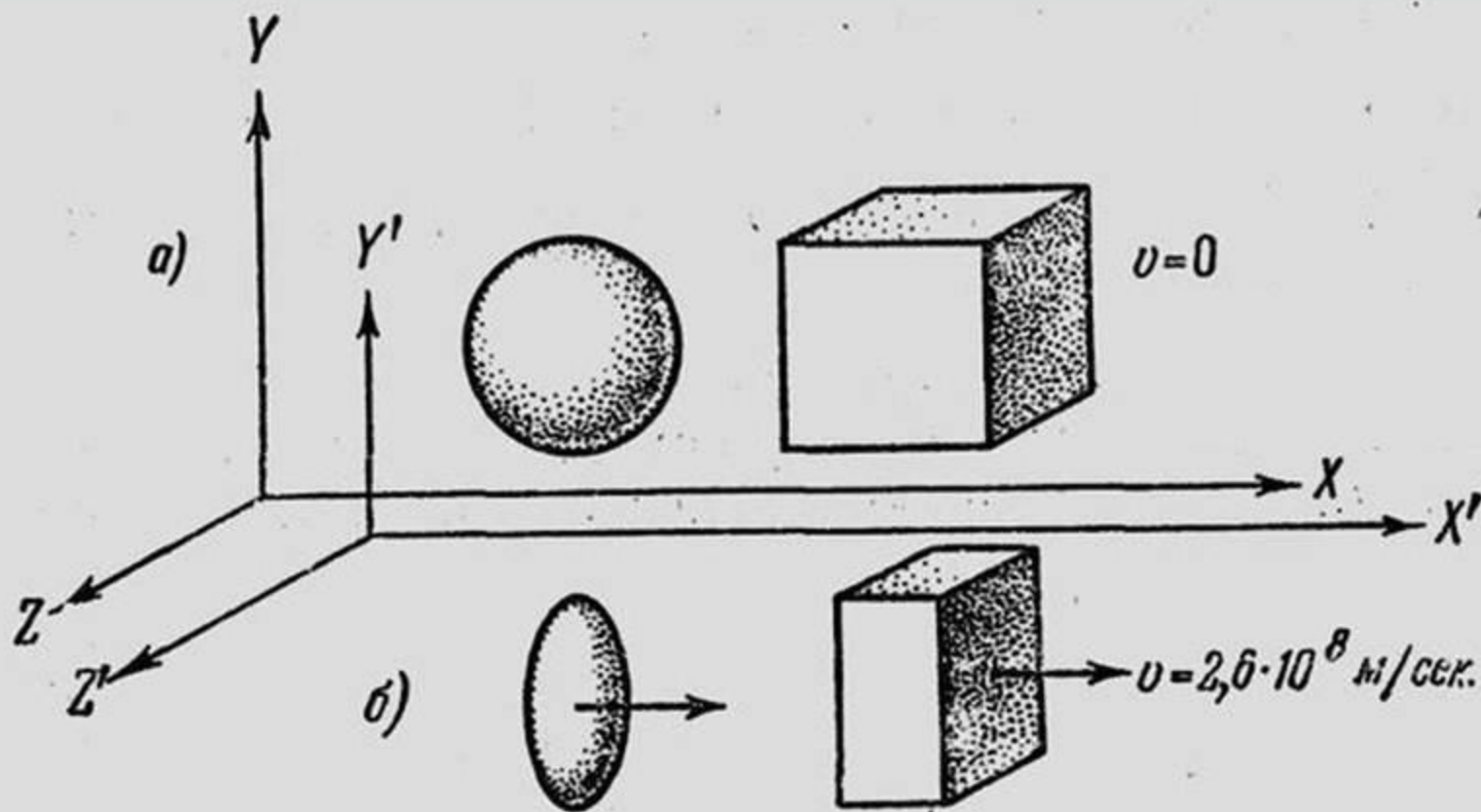
$v$  – швидкість руху корабля (м/с).

$c$  – швидкість світла.

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

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

Розміри тіла зменшуються тільки вздовж його руху!



Дано

$$l_0 = 100 \text{ м}$$

$$v = 0,8c$$

$l$ -?

## Приклад задачі

Довжина космічного корабля відносно нерухомого земного спостерігача, 100 м. Яким стане його довжина при русі зі швидкістю 0,8 швидкості світла  $c$  ?

Розв`язок:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} ; l = l_0 \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - 0,64} = 0,6l_0 ;$$

$$l = 0,6 * 100 \text{ м} = 60 \text{ м}$$

Відповідь: 60 метрів.



### 3. Закон взаємозв'язку маси і енергії.

А. Ейнштейн встановив співвідношення між масою і повною енергією тіла:

$$E = mc^2$$

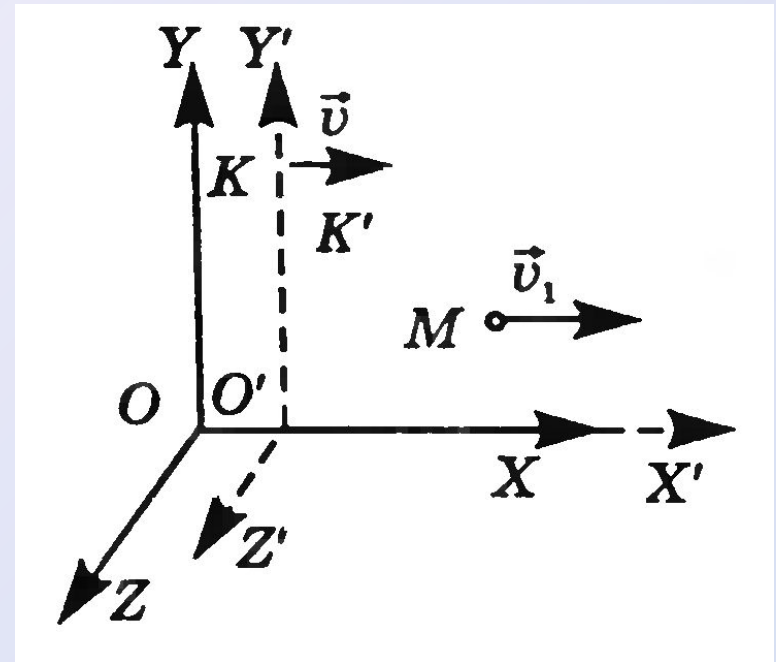
де  $E$  – енергія (Дж, eВ);  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с;  $m$  – маса (кг).

Ця знаменита формула взаємозв'язку маси та енергії є універсальною щодо будь-яких видів енергії.

# 4. Релятивістський закон додавання швидкостей

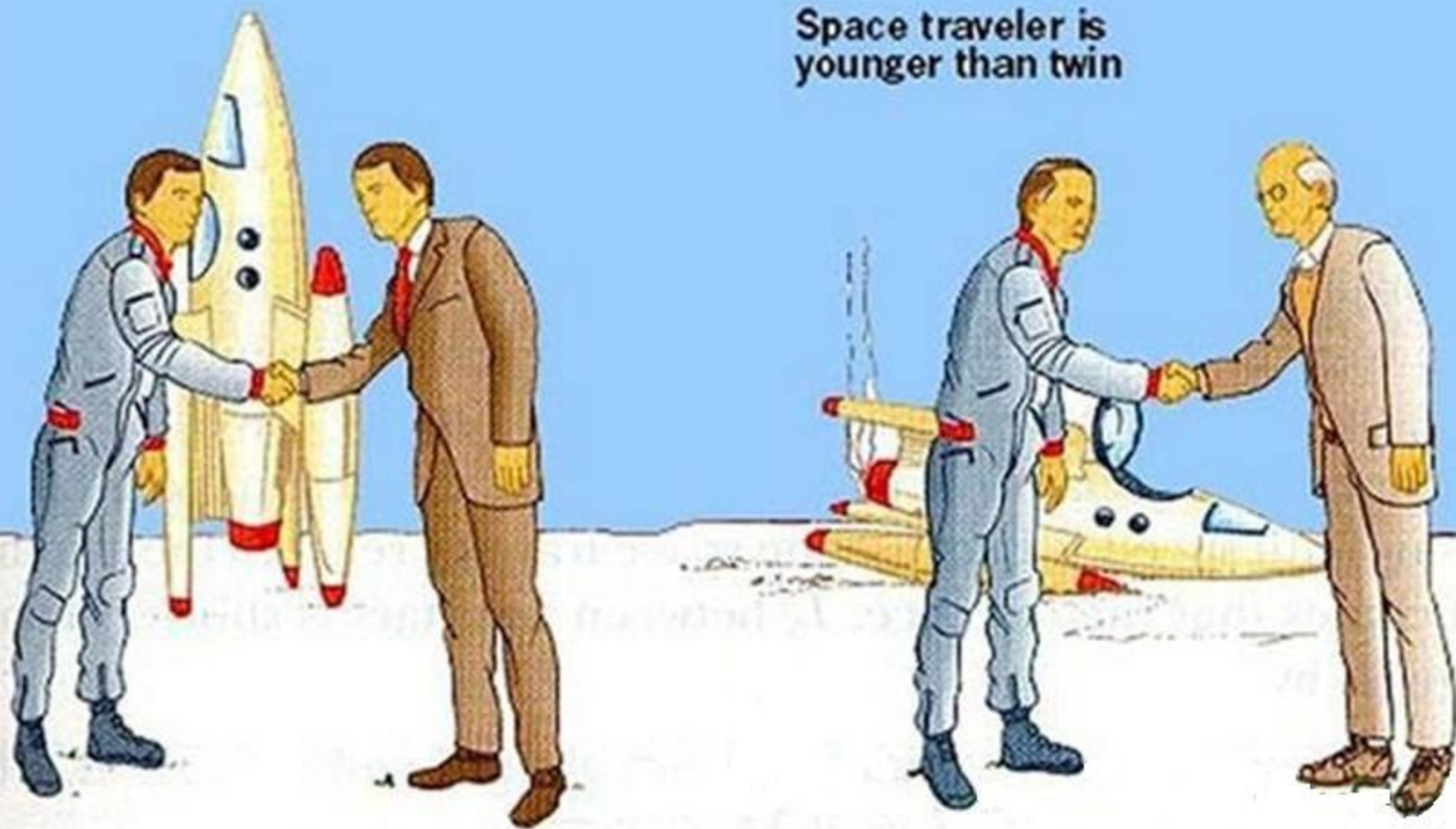
Він набуває вигляду класичного, коли швидкості набагато менші від швидкості світла

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



# «Парадокс близнюків»

Space traveler is younger than twin

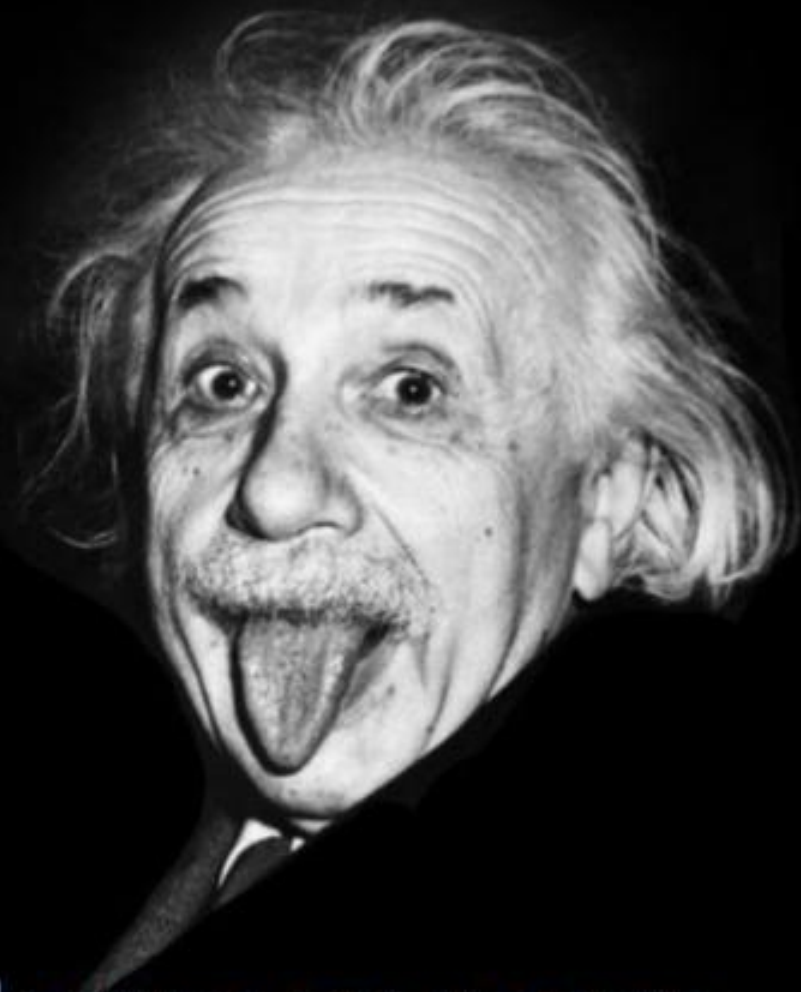


# Розв`яжи задачу

Синхрофазотрон дає пучок протонів, швидкість яких дорівнює  $0,99c$ . Знайти:

- 1) зменшення розмірів протонів  $\frac{l}{l_0}$  у напрямі їх руху;
- 2) час  $\tau_0$ , з точки зору земного спостерігача, який відповідає проміжку часу в  $1\text{с}$ , виміряному годинником, зв'язаним з протоном.





**Дякую за увагу**