

Постулати теорії відносності. Релятивістський закон додавання швидкостей

«Відтоді як за теорію відносності взяли математики, — зізнався А. Ейнштейн, — я її вже й сам не розумію».

1. Принцип відносності Галілея – Ньютона

Механічний принцип відносності (принцип відносності Галілея–Ньютона):

Будь-які механічні процеси в усіх інерціальних СВ відбуваються однаково, тобто жодними механічними дослідами всередині системи не можна встановити, рухається система рівномірно прямолінійно чи перебуває в стані спокою.

В інерціальних СВ виконується класичний закон додавання швидкостей:

Швидкість $\vec{v}$ руху тіла відносно нерухомої СВ дорівнює сумі швидкості $\vec{v}_1$ руху тіла відносно рухомої СВ і швидкості $\vec{v}_2$ руху рухомої СВ відносно нерухомої:

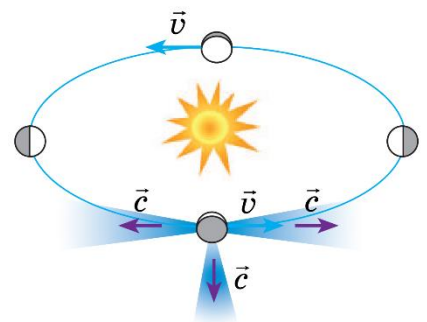
$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

2. Передумови створення спеціальної теорії відносності

Питання

- Чи поширюється принцип відносності Галілея – Ньютона на електромагнітні явища?
- Чи відбуваються електромагнітні процеси (взаємодія електричних зарядів, явище електромагнітної індукції, поширення електромагнітних хвиль тощо) однаково в усіх інерціальних СВ?
- Чи залежить швидкість поширення світла ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) від вибору СВ?

Американські вчені Альберт Майкельсон (1852–1931) і Едвард Морлі (1838–1923) у 1887 р. поставили експеримент. Якщо від джерела світла на Землі спрямувати промінь світла спочатку вздовж лінії руху Землі, а потім перпендикулярно до неї, то кожного разу швидкість поширення світла відносно нерухомої СВ має бути різною.



Згідно з класичним законом додавання швидкостей, швидкість світла, яка поширюється:

- в напрямку руху Землі $c_1 = c + v$
- в напрямку, протилежному напрямку руху Землі $c_2 = c - v$
- перпендикулярно до напрямку руху Землі $c_3 = \sqrt{c^2 + v^2}$

Досліди А. Майкельсона й Е. Морлі показали, що **швидкість поширення світла в будь-якому випадку є однаковою**.

Питання

- Чому одержаний результат суперечив класичному закону додавання швидкостей?
- Як вирішити дану проблему?

3. Постулати спеціальної теорії відносності

Спеціальна теорія відносності (СТВ) розглядає взаємозв'язок фізичних процесів тільки в інерціальних СВ, тобто в СВ, які рухаються одна відносно одної рівномірно прямолінійно.

Перший постулат СТВ:

В інерціальних СВ всі закони природи однакові.

Це означає, що всі інерціальні СВ еквівалентні (рівноправні).

Другий постулат СТВ:

Швидкість поширення світла у вакуумі однакова в усіх інерціальних СВ.

Це означає, що швидкість поширення світла у вакуумі інваріантна – вона не залежить від швидкості руху джерела або приймача світла. Матеріальні об'єкти не можуть мати швидкість більшу, ніж швидкість світла.

4. Подія

Питання

- Чи є абсолютним час?

Подія – будь-яке явище, що відбувається в певній точці простору в певний момент часу.

Подія для матеріальної точки вважається заданою, якщо задано координати (x, y, z) місця, де подія відбувається, і час t , коли ця подія відбувається.

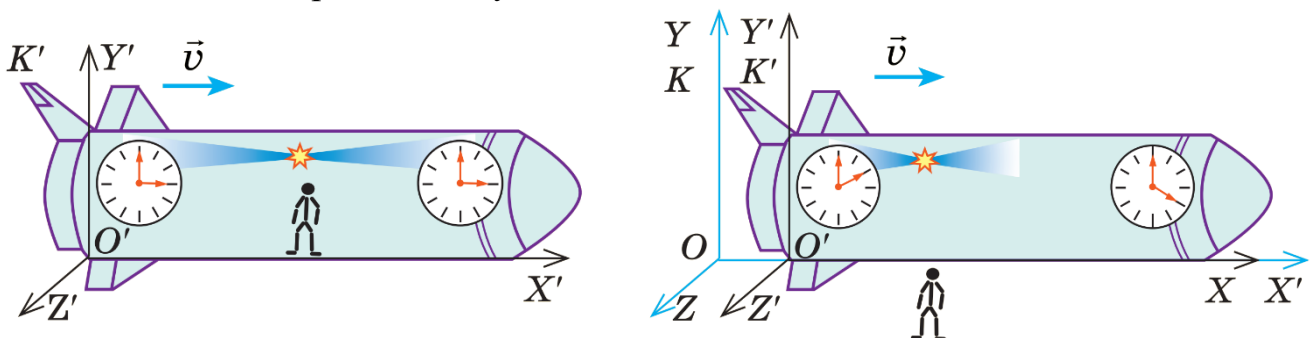
З геометричної точки зору, задати подію означає задати точку в чотиривимірному просторі «координати – час».

У класичній механіці І. Ньютона час однаковий у будь-якій інерціальній СВ.

У релятивістській механіці час залежить від вибору СВ.

Проведемо уявний експеримент

Нехай посередині космічного корабля, який рухається зі швидкістю v відносно зовнішнього спостерігача, відбувся спалах світла.

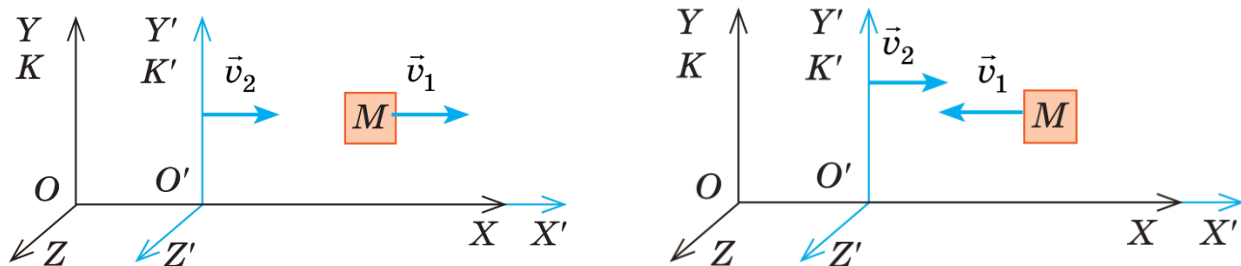


Відносність одночасності подій:

Для спостерігача всередині корабля світло досягає носа і корми корабля одночасно.

Для спостерігача поза кораблем світло досягає носа корабля пізніше, ніж корми (тому що корма наближається до спостерігача, а ніс корабля віддаляється від нього)

5. Релятивістський закон додавання швидкостей



Релятивістський закон додавання швидкостей для випадку додавання швидкостей, напрямлених уздовж однієї прямої, наприклад осі OX :

$$v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$$

v_x – проекція швидкості руху тіла відносно нерухомої СВ K

v_{1x} – проекція швидкості руху тіла відносно рухомої СВ K'

v_{2x} – проекція швидкості рухомої СВ K' відносно нерухомої СВ K

• Для чого стільки часу було витратити на вивчення класичної механіки, якщо ця теорія суперечить експериментам?

Зіставимо релятивістський і класичний закони додавання швидкостей.

Якщо швидкості набагато менші від швидкості світла ($v_1 \ll c, v_2 \ll c$), то $1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2} \approx 1$ і релятивістський закон додавання швидкостей набуває вигляду класичного: $v_x = v_{1x} + v_{2x}$.

Розв'язування вправ

1. Протон і нейтрон рухаються назустріч один одному зі швидкостями $2,1 \cdot 10^5$ км/с та $1,5 \cdot 10^5$ км/с відповідно. Визначте швидкість руху протона відносно нейтрона за класичною та релятивістською формулами додавання швидкостей. Який висновок можна зробити?

Дано:

$$v_1 = 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

$v = ?$

Розв'язання

Згідно з класичним законом додавання швидкостей:

$$v_x = v_{1x} + v_{2x} \quad OX: v = v_1 + v_2$$

$$v = 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3,6 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Це значення відносної швидкості перевищує швидкість поширення світла, що неможливо згідно із постулатами СТВ.

Згідно з релятивістським законом додавання швидкостей:

$$v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$$

$$OX: v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1v_2}{c^2}} \quad [v] = \frac{\frac{M}{C} + \frac{M}{C}}{\frac{\frac{M}{C} \cdot \frac{M}{C}}{\left(\frac{M}{C}\right)^2}} = \frac{M}{C}$$

$$v = \frac{2,1 \cdot 10^8 + 1,5 \cdot 10^8}{1 + \frac{2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,5 \cdot 10^8}{(3 \cdot 10^8)^2}} = \frac{3,6 \cdot 10^8}{1,35} \approx 2,7 \cdot 10^8 \left(\frac{M}{C}\right)$$

Відповідь: За релятивістською формулою $v \approx 2,7 \cdot 10^8 \frac{M}{C}$.
За класичною $v = 3,6 \cdot 10^8 \frac{M}{C}$; це значення відносної швидкості перевищує швидкість поширення світла у вакуумі, що неможливо згідно постулатам Ейнштейна.

2. Дві ракети віддаляються одна від одної зі швидкостями $0,7c$ відносно нерухомого спостерігача. Якою є відносна швидкість руху ракет?

Дано:

$$v_1 = v_2 = 0,7c$$

$v = ?$

Розв'язання

Згідно з релятивістським законом додавання швидкостей:

$$v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$$

$$OX: v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1v_2}{c^2}}$$

$$v = \frac{0,7c + 0,7c}{1 + \frac{0,7c \cdot 0,7c}{c^2}} = \frac{1,4c}{1,49} \approx 0,94c$$

Відповідь: $v = 0,94c$.