

Тема 5.3 ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

Тема 5.3.1 Принцип відносності А.Ейнштейна. Основні положення спеціальної теорії відносності(СТВ). Швидкість світла вакуумі.

Релятивістський закон додавання швидкостей. Закон взаємозв'язку маси і енергії.

План

1. Принцип відносності Галілея
2. Класичний закон додавання швидкостей
3. Основні положення спеціальної теорії відносності
4. Наслідки спеціальної теорії відносності

Класична механіка - це розділ фізики який розглядає рухи тіл з малими швидкостями (набагато меншими за швидкість світла).

Основні уявлення класичної фізики

1. Простір є трьохвимірним і евклідовим.
2. Час не залежить від простору.
3. Розміри твердих тіл (масштаби) і проміжки часу між даними подіями однакові в різних системах відліку.
4. Принцип відносності Галілея є однією з цеглинок фундаменту класичної фізики. Цей принцип стверджує існування інерціальних систем відліку. З вищезазначених уявлень випливають **перетворення Галілея для простору – часу**.
5. Виконується **принцип відносності Галілея**, тобто всі закони механіки однакові у всіх інерціальних системах відліку, тобто вони є інваріантними відносно перетворень Галілея.
6. Виконується **принцип дальності**: взаємодія поширюється миттєво, тобто з нескінченною швидкістю.

При подальшому розвитку фізики виникло питання чи поширюється принцип відносності Галілея на немеханічні явища? Якщо ні, то за допомогою цих немеханічних явищ можна розрізнити інерціальну і неінерціальну системи відліку.

В класичній механіці справедливі закони Ньютона і принцип відносності Галілея.

Принцип відносності Галілея: ніякими механічними дослідженнями всередині інерціальної системи неможливо встановити, перебуває система в стані

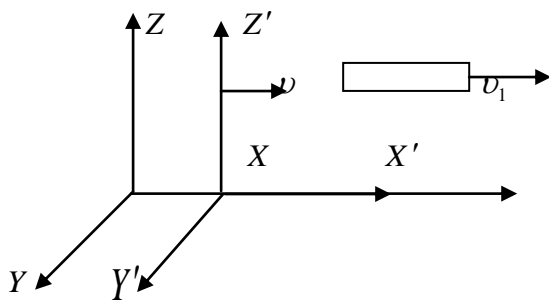
спокую чи рухається прямолінійно і рівномірно. Закони механіки залишаються незмінними в усіх інерціальних системах відліку.

Класичний закон додавання швидкостей

Розглянемо рух тіла в рухомій системі відліку.

$XOYZ$ – нерухома система відліку (зв'язана з Землею)

$X'O'Y'Z'$ -рухома система відліку (зв'язана з вагоном)



v – швидкість рухомої системи відліку

v_1 – швидкість тіла відносно рухомої системи відліку

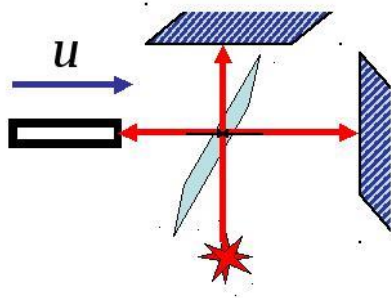
v_2 - швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку

$v_2 = v + v_1$ - класичний закон додавання швидкостей (якщо швидкості v_1 і v співнаправлені)

$v_2 = v - v_1$ - класичний закон додавання швидкостей (якщо швидкості v_1 і v протилежно напрямлені).

Досліди Майкельсона і Морлі

За допомогою інтерферометра Майкельсона вчені вимірювали швидкість світла у двох перпендикулярних напрямках. При цьому обертання Землі мало привести до того, що світло мало проходити однакові відстані за різні проміжки часу. Але такої різниці часу не було виявлено.



Ці досліди багатократно повторювалися. З'ясувалося, що всупереч існуючим на той час уявленням **швидкість світла однакова у всіх інерціальних системах відліку.**

Спеціальна теорія відносності (СТВ)

Спеціальна теорія відносності - це нове вчення про простір, час і рух.

Основні положення спеціальної теорії відносності:

Постулати СТВ

Перший постулат СТВ (принцип відносності Ейнштейна)

Усі закони природи однакові у всіх інерціальних системах відліку. Цей постулат є поширенням принципу відносності Галілея на усі фізичні явища.

Другий постулат СТВ (принцип сталості швидкості світла):

Швидкість світла у вакуумі однакова у всіх інерціальних системах відліку і не залежить від швидкостей руху як джерел, так і приймачів світла.

Швидкість світла у вакуумі є однією із найважливіших фізичних констант, це гранична швидкість у природі.

Релятивістський закон додавання швидкостей.

$$v_2 = \frac{v + v_1}{1 + \frac{v \cdot v_1}{c^2}} - \text{релятивістський закон додавання швидкостей}$$

$$\text{а) } v_1 = c \Rightarrow v_2 = \frac{v + c}{1 + \frac{v \cdot c}{c^2}} = \frac{v + c}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{v + c}{\frac{c + v}{c}} = c$$

$$\text{б) } v = v_1 = c \Rightarrow v_2 = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c$$

Задача.

Два літальні апарати (**A** і **B**) наближаються до Землі з протилежних напрямів, швидкість кожного **0.75c**. Яка швидкість літального апарата **B** наближено?

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}} = \frac{0.75c + 0.75c}{1 + \frac{0.75c \cdot 0.75c}{c^2}} = \frac{1.5c}{1 + 0.75^2} = 0.96c$$

Наслідки спеціальної теорії відносності:

1) **відносність одночасності:** дві події, які відбуваються в один і той же момент часу в одній точці простору, будуть одночасними й у будь-якій іншій інерціальній системі відліку. Дві події, які відбуваються в один і той же момент часу, але в різних точках простору, будуть неодночасними в будь-якій іншій інерціальній системі відліку.

2) **відносність проміжків часу:** хід рухомого годинника сповільнюється відносно нерухомої системи відліку.

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

τ_0 – власний час (вимірюється в рухомій системі відліку)

τ – час виміряний відносно нерухомої системи відліку

а) $v \ll c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} \approx 0 \Rightarrow \tau \approx \tau_0$ (час не змінюється)

б) швидкість v близька до швидкості $c \Rightarrow \tau > \tau_0$ (час в рухомих системах відліку сповільнюється)

3) **відносність відстаней:** довжина рухомого предмета зменшується в напрямі руху. Розміри тіл у напрямку, перпендикулярному до напрямку руху, не змінюються.

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

l_0 - власна довжина тіла

l – довжина тіла, що рухається

а) $v \ll c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} \approx 0 \Rightarrow l \approx l_0$ (довжина не змінюється)

б) швидкість v близька до швидкості $c \Rightarrow l < l_0$ (довжина рухомого тіла зменшується)

Залежність маси від швидкості. Зв'язок маси і енергії

1. Залежність маси від швидкості.

Згідно класичної механіки маса тіла при русі не змінюється. Згідно теорії відносності маса рухомого тіла змінюється.

$$\boxed{m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} \text{ - формула залежності маси від швидкості}$$

а) $v \ll c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} \approx 0 \Rightarrow m \approx m_0$ (при малих швидкостях маса тіл не змінюється)

б) v близька до $c \Rightarrow m > m_0$ (при великих швидкостях маса тіл зростає)

$$m_0 = 3 \text{ кг}, \quad v = 240000 \frac{\text{км}}{\text{с}} \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 0,64 \Rightarrow \sqrt{1 - 0,64} = \sqrt{0,36} = 0,6 \quad m = \frac{3}{0,6} = 5 (\text{кг})$$

2. Релятивістський імпульс тіла (частинки).

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

Другий закон Ньютона в імпульсній формі такий самий, як і у класичній

$$\text{механіці: } \vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}, \quad \vec{F}\Delta t = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3. Закон взаємозв'язку маси і енергії.

$$\boxed{E = mc^2}, \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Якщо тіло перебуває в стані спокою, то воно має енергію спокою.

$E_0 = m_0 \cdot c^2$ - енергія спокою тіла

Рухоме тіло має крім енергії спокою ще і кінетичну енергію.

$E = E_0 + \frac{m \cdot v^2}{2}$ - енергія рухомого тіла

Зміні енергії тіла відповідає зміна маси тіла і навпаки: $\Delta E = \Delta m c^2$, $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$

Релятивістський зв'язок енергії та імпульсу: $E^2 = E_0^2 + p^2 c^2$

Питання для самоконтролю

Оберіть одну, правильну на вашу думку відповідь.

I. Тіло чи частинка рухається зі швидкістю, близькою до швидкості світла. При цьому її маса щодо нерухомого спостерігача ...

- A. збільшується;
- B. зменшується;
- C. не змінюється.

II. Яка з частинок не має маси спокою?

- A. електрон;
- B. фотон;
- C. нейтрон;
- D. протон.

III. При нагріванні тіл їх маса ...

- A. збільшується;
- B. зменшується;
- C. не змінюється.

IV. На ракеті, швидкість якої відносно Землі, дорівнює 0,6c, увімкнули прожектор у напрямі руху ракети. Якою є швидкість поширення світла відносно Землі?

- A. 0,4 c;
- B. 0,6 c;
- C. c;

D.1,6 с.

V. Якій зміні маси відповідає зміна енергії на $9 \cdot 10^{13}$ Дж?

A. 10^3 кг;

B. 10^{-3} кг;

C. 100г;

Творче завдання

Визначте енергію спокою Вашого тіла.

Задача-жарт

У лісничого зупинився настінний годинник. Іншого годинника у нього не було. Після деяких роздумів лісник вирішив сходити в село, яке знаходилося кілометрах в п'яти від його сторожки. У селі лісничий помітив час на годиннику, встановленому на будівлі пошти, повернувся додому, завів годинник і досить точно поставив їх.

Як це вдалося йому зробити ?

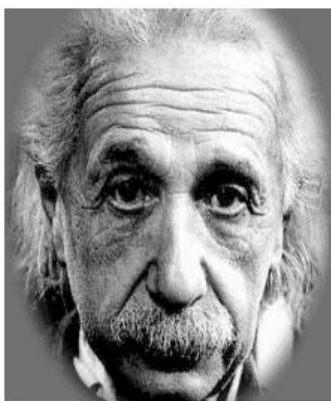
(швидкість лісничого наскільки близька до c ?)

Знайомимося з визначними вченими



**Майкельсон Альберт
Абрахам**
(1852 – 1931)
Американський
фізик.

Основна галузь досліджень Майкельсона - фізична оптика. У 1881 експериментально довів і разом з Е. У. Морлі (1885-1887) підтвердив з великою точністю незалежність швидкості світла від швидкості руху Землі. Ці роботи стали експериментальним обґрунтуванням спеціальної теорії відносності. У своєму досліді Майкельсон застосував винайдений ним інтерферометр, за допомогою якого в 1892-1893 провів вимірювання спектральних ліній різних елементів. Запропонував за еталон довжини взяти довжину хвилі червоної лінії кадмію. У 1907 р. Майкельсону - першому з вчених США - була присуджена Нобелівська премія за створені їм оптичні прилади і проведені з їх допомогою дослідження.



Альберт Ейнштейн
(1879 – 1955)

Творець спеціальної і загальної теорій відносності, які повністю змінили уявлення про простір, час і матерію.

У 1902-1908 роках працював експертом у патентному бюро в Берні, у 1909-1913 роках - професор Цюрихського політехнікуму, у 1914-1933 роках - професор Берлінського університету і директор Інституту фізики. Після приходу до влади фашистів був змушений залишити Німеччину. У 1933 році переїхав у США, де до кінця життя працював у Принстонському інституті перспективних досліджень.

У 1905 році в статті "До електродинаміки тіл, що рухаються," розробив основи спеціальної теорії відносності (СТВ). У статистичній фізиці розвинув у 1905 році молекулярно-статистичну теорію броунівського руху, у 1924-1925 роках створив квантову статистику частинок з цілим спіном (статистика Бозе-Ейнштейна). Починаючи з 1933 року, праці Ейнштейна були присвячені питанням космології і єдиної теорії поля. Однак спроби побудувати таку теорію закінчилися невдачею.

Член багатьох академій наук і наукових товариств, зокрема іноземний член АН СРСР (1926).



Лоренц Хендрік Антон
(1853-1928)

Лоренц Хендрік Антон - нідерландський фізик. Створив класичну електронну теорію, за допомогою якої пояснив величезну кількість електричних і оптичних явищ, у т. ч. ефект Зеємана.

Розробив електродинаміку рухомих середовищ. Вивів перетворення, назване його ім'ям. Дуже наблизився до створення теорії відносності. Лауреат Нобелівської премії у 1902 р. (Разом із П. Зеєманом).