ДӘРІС 3

Арнайы салыстырмалық теориясының принциптері. Лоренц түрлендірулері

Қауымдастырылған профессор
Уразалина Айнур Адилхановна

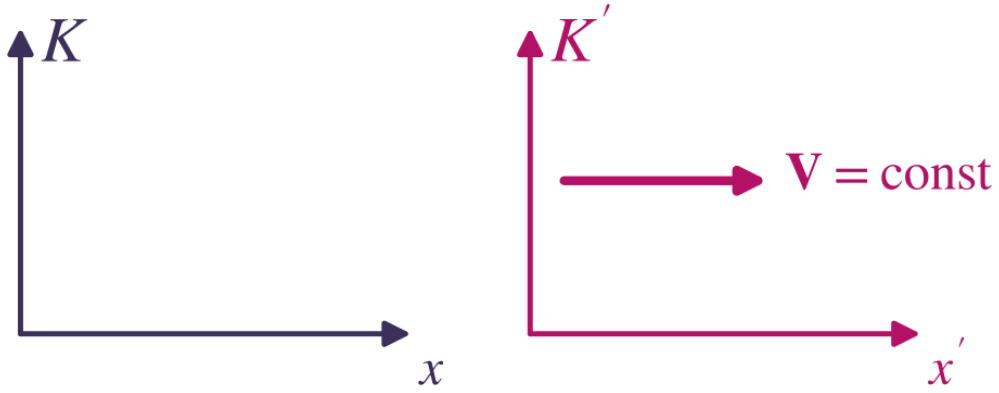
Дәріс мақсаты

БІЛІМ АЛУШЫЛАРҒА АРНАЙЫ САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ПРИНЦИПТЕРІН ТҮСІНДІРУ, ЭЙНШТЕЙН ПОСТУЛАТТАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ МӘНІН АШУ ЖӘНЕ ЛОРЕНЦ ТҮРЛЕНДІРУЛЕРІНІҢ КӨМЕГІМЕН ӘРТҮРЛІ ИНЕРЦИЯЛЫҚ САНАҚ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ КЕҢІСТІК ПЕН УАҚЫТ КООРДИНАТАЛАРЫНЫҢ БАЙЛАНЫСЫН АНЫҚТАУДЫ ҮЙРЕТУ. УАҚЫТТЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ БАЯУЛАУЫ, ҰЗЫНДЫҚТЫҢ ҚЫСҚАРУЫ ЖӘНЕ ЖАРЫҚ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ ТУРАЛЫ БІЛІМДЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРЫП, ТЕОРИЯЛЫҚ БІЛІМДІ ФИЗИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕР ШЫҒАРУДА ҚОЛДАНУ ДАҒДЫЛАРЫН ДАМЫТУ.

Бірінші принцип: салыстырмалылық принципі

- Санақ жүйесі — координаттар және сағат; еркін қозғалыс бірқалыпты болатын жүйелер — ИСС.
- Бірінші принцип: табиғат заңдары барлық ИСС-те бірдей.

«Табиғаттың барлық заңдары барлық инерциалдық санақ системаларына қатысты бірдей болады»

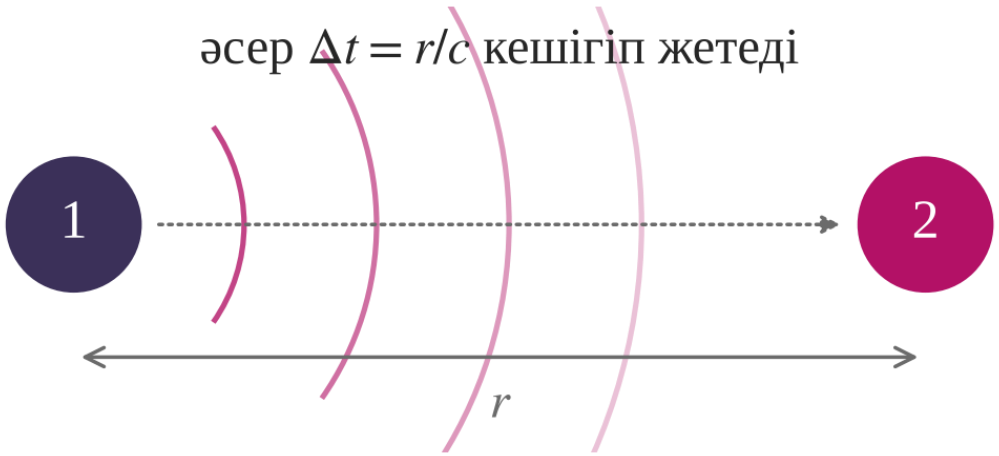


табиғат заңдары екі жүйеде де бірдей



Екінші принцип: таралу жылдамдығының шектелгендігі

- Классикалық механикада әсер лезде таралады деп есептеледі — тәжірибе мұны жоққа шығарады.
- Екінші принцип: өзара әрекеттесудің максимал таралу жылдамдығы бар — c (3.1).
- Бұл жылдамдық барлық ИСС-те бірдей — универсал тұрақты.



Жарық жылдамдығы

$$c = 2{,}998 \cdot 10^{10} \text{ см/с} \qquad (3.1)$$

Лездік өзара әрекеттесу жоқ

↓

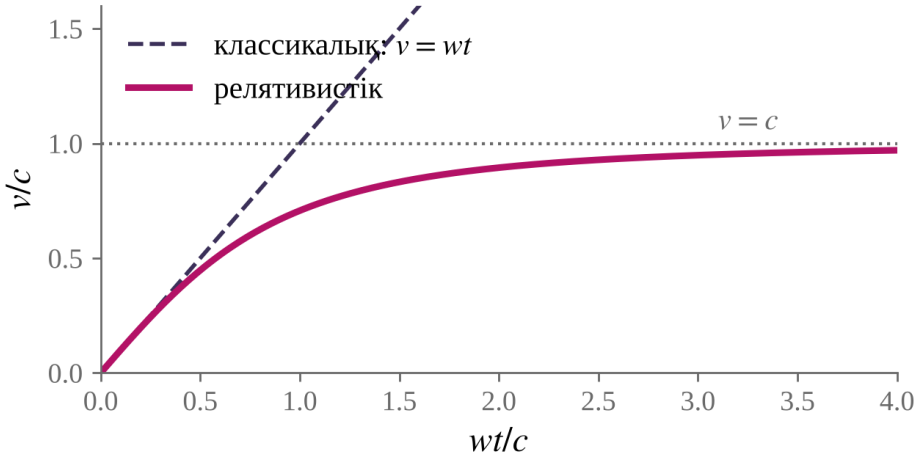
Максимал таралу жылдамдығы бар

↓

Ол барлық ИСС-те бірдей: c = const

Эйнштейннің салыстырмалылық принципі

- Эйнштейн принципі (1905) = салыстырмалылық принципі + таралу жылдамдығының шектелгендігі.
- Осы принципке негізделген механика — релятивистік механика.
- $v \ll c$ кезінде ол классикалық механикаға өтеді.



1-принцип
салыстырмалылық принципі

+

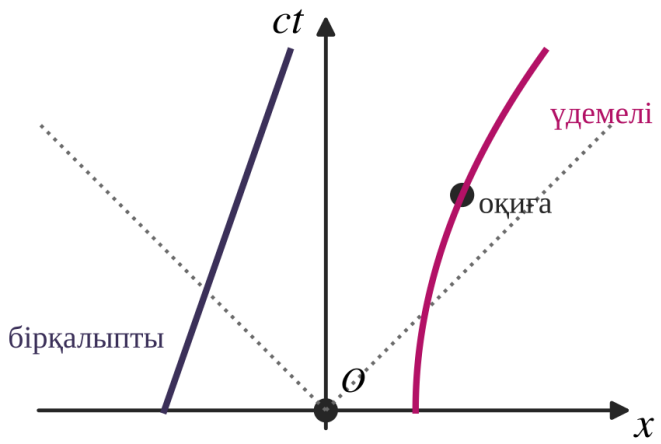
2-принцип
таралу жылдамдығы шекті және барлық ИСС-те бірдей (c)

↓

Эйнштейннің салыстырмалылық принципі (1905 ж.)
→ релятивистік механика; уақыт абсолютті емес

Принциптердің математикалық өрнегі: интервал

- Оқиға — төртөлшемді кеңістіктегі әлемдік нүкте.
- Шексіз жақын оқиғалар үшін интервал (3.2): $ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$.
- Жарық жылдамдығының тұрақтылығы ⇒ интервал инвариантты: $ds = ds'$ (3.3).



Шексіз жақын оқиғалар арасындағы интервал:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \qquad (3.2)$$

Интервалдың инварианттылығы:

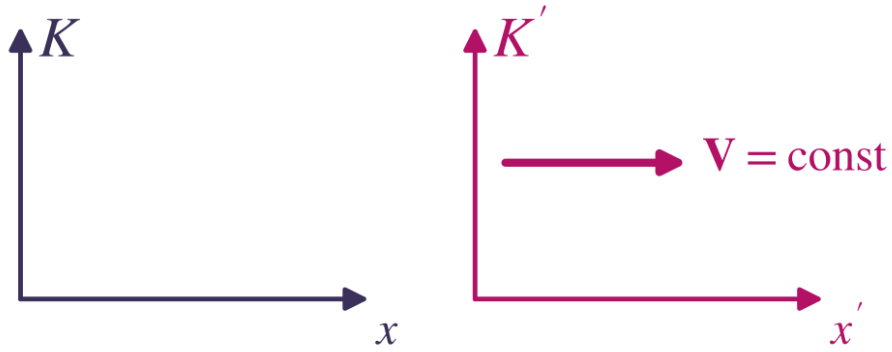
$$ds^2 = ds'^2 \qquad (3.3)$$

c = **const** ⇔ $ds^2 = ds'^2$

жарық жылдамдығының тұрақтылығы ⇔ интервалдың инварианттылығы

Лоренц түрлендірулерін іздеу есебі

- Мақсат: K-дағы x, y, z, t бойынша K'-тағы координаттарды табу.
- Галилей түрлендірулері (3.4) интервалды сақтамайды.
- Ізделген түрлендіру төртөлшемді кеңістіктегі «ұзындықтарды» сақтауы тиіс — бұл бұрылыс.



табиғат заңдары екі жүйеде де бірдей

Галилей түрлендірулері (интервалды сақтамайды)

$$x = x' + Vt, y = y', z = z', t = t' \qquad (3.4)$$

Төртөлшемді кеңістіктегі алты бұрылыс жазықтығы

xy	zy	xz

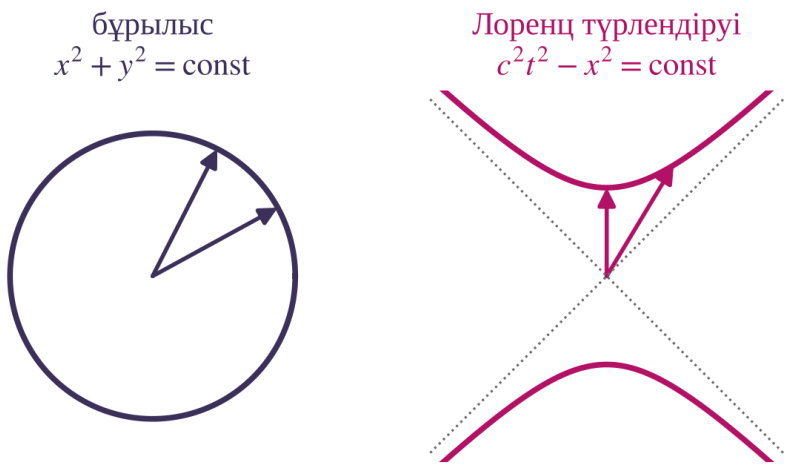
кеңістіктік бұрылыстар

tx	ty	tz

кеңістік пен уақытты араластырады

Уақыт пен координатты араластыратын бұрылыс

- x осі бойындағы қозғалыс — tx жазықтығындағы бұрылыс; y, z өзгермейді.
- Ол $c^2t^2 - x^2$ шамасын сақтауы тиіс (3.5).
- Тригонометриялық функциялардың орнына гиперболалық функциялар тұрады (3.6).



Сақталатын шама:

$$c^2t^2 - x^2 = c^2t'^2 - x'^2 \qquad (3.5)$$

***tx* жазықтығындағы бұрылыс:**

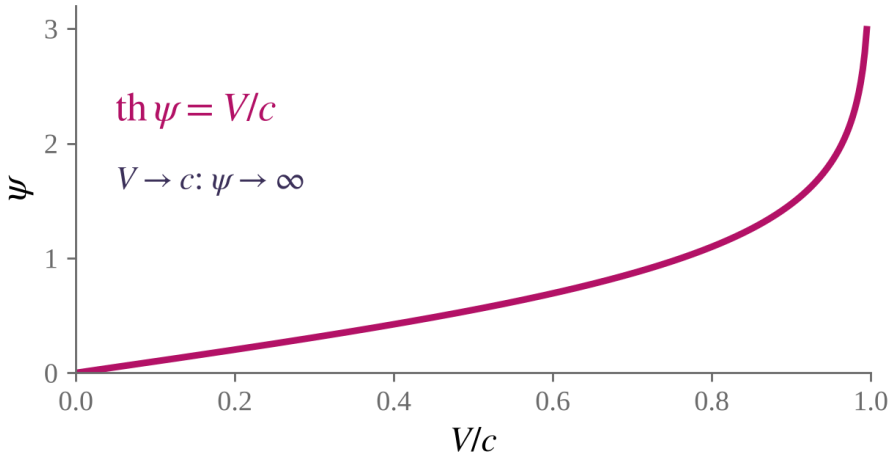
$$x = x'\text{ch}\psi + ct'\text{sh}\psi,\ ct = x'\text{sh}\psi + ct'\text{ch}\psi \qquad (3.6)$$

Евклидтік бұрылыс
тригонометриялық функциялар

Лоренц түрлендіруі
гиперболалық функциялар: $\text{sh}\psi$, $\text{ch}\psi$

Бұрылу бұрышын анықтау

- ψ бұрышын K' жүйесінің координат басының қозғалысынан табамыз: $x' = 0$ (3.7).
- Бөлу арқылы (3.8): $\text{th}\psi =/$ (3.9).
- Осыдан $sh\psi$ және $ch\psi$ өрнектері шығады (3.10).



$x' = 0$ **кезінде:**

$$x = ct'\text{sh}\psi,\ ct = ct'\text{ch}\psi \tag{3.7}$$

$$\frac{x}{ct} = \text{th}\psi \tag{3.8}$$

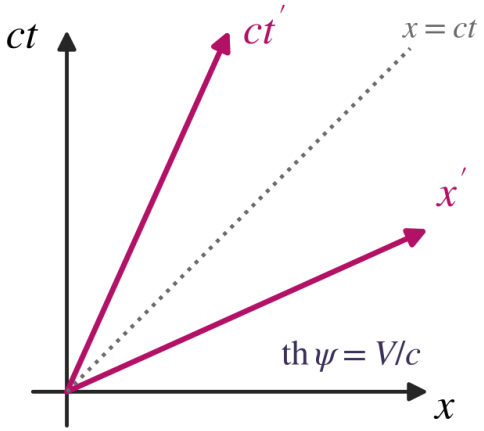
$\frac{x}{t} = V$ **болғандықтан:**

$$\text{th}\psi = \frac{V}{c} \tag{3.9}$$

$$\text{sh}\psi = \frac{\frac{V}{c}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ \text{ch}\psi = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \tag{3.10}$$

Лоренц түрлендірулері

- (3.10)-ды (3.6)-ға қойып, Лоренц түрлендірулерін аламыз (3.11).
- x пен t араласып түрленеді: уақыт координатқа да тәуелді.
- Кері түрлендіру $V \to -$ ауыстыруымен алынады (3.12).



Лоренц түрлендірулері

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ y = y',\ z = z',\ t = \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \qquad (3.11)$$

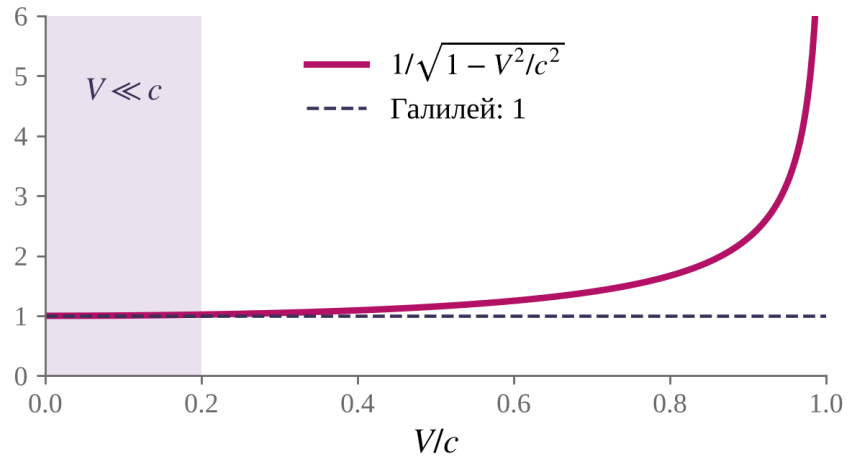
Кері түрлендірулер ($V \to -V$)

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ y' = y,\ z' = z,\ t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \qquad (3.12)$$

- y, z координаттары өзгермейді;
- x пен t бір-бірімен араласып түрленеді;
- интервал инвариантты қалады.

Лоренц түрлендірулерінің шектік жағдайлары

- $c \to \infty$ шегінде Лоренц түрлендірулері Галилей түрлендірулеріне өтеді.
- $V > c$ кезінде координаттар жорамал — мұндай қозғалыс мүмкін емес.
- $V \ll c$ кезінде жуық өрнек (3.13) қолданылады.



$V \ll c$

жуықталған (3.13) өрнектері

↓

$c \to \infty$

Галилей түрлендірулері (3.4)

↓

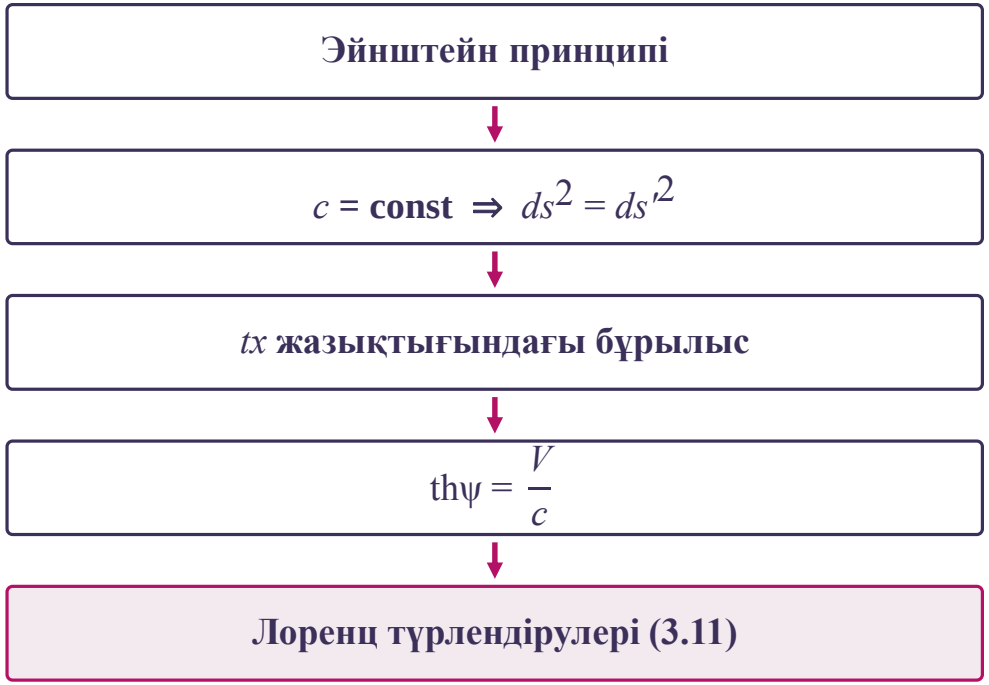
$V \geq c$

мүмкін емес: координаттар жорамал немесе түбір нөлге тең

$$x = x' + Vt', y = y', z = z', t = t' + \frac{V}{c^2}x' \qquad (3.13)$$

Лоренц түрлендірулерін қорытудың логикасы

- 1. Эйнштейн принципі: c барлық ИСС-те бірдей.
- 2. Интервалдың инварианттылығы (3.3).
- 3. Интервалды сақтайтын түрлендіру — tx жазықтығындағы бұрылыс; $\text{th}\psi =/.$
- 4. Нәтиже — Лоренц түрлендірулері (3.11).



Қорытынды

- Арнайы салыстырмалық теориясының екі принципі: салыстырмалылық принципі және өзара әрекеттесудің таралу жылдамдығының шектелгендігі.
- Жарық жылдамдығының тұрақтылығы математикалық түрде интервалдың инварианттылығымен өрнектеледі (3.3).
- Интервалды сақтайтын түрлендіру — tx жазықтығындағы гиперболалық бұрылыс (3.6).
- Бұрылу бұрышы салыстырмалы жылдамдықпен анықталады: $\text{th}\psi =/$ (3.9).
- Нәтиже — Лоренц түрлендірулері (3.11): x пен t араласып түрленеді, y, z өзгермейді.
- $c \to \infty$ шегінде — Галилей түрлендірулері; $V > c$ болатын қозғалыс мүмкін емес.

Негізгі формулалар

$$ds = s'$$

$$x = x'\text{ch}\psi + t'\text{sh}\psi$$

$$\text{th}\psi =/$$

$$x = x' + t'/\sqrt{1 - V^2/c^2}$$

Эйнштейн принципі

↓

Интервалдың инварианттылығы

↓

tx жазықтығында бұрылыс, $\text{th}\psi =/$

↓

Лоренц түрлендірулері

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Шмутцер Э. Теория относительности. Современное представление. М., 2001 г.
2. Эйнштейн А. Теория относительности. Избранные работы. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2000 г.
3. Бейзер А. Основные представления современной физики. М.: Атомиздат, 2003 г.
4. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 2001 г.
5. Фридман А.А. Мир как пространство и время (2-е изд.). М.: Наука, 1995 г.
6. Шарипов Р.А. Классическая электродинамика и теория относительности. Уфа: БашГУ, 1997 г.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля. Физматлит, 536 с., 2003 г.
8. Мармо С.И., Фролов М.В. Лекции по электродинамике, Часть 1, 2. ВГУ, 2009 г.
9. Faraoni V. Special Relativity. Springer, 2013 y.
10. Матвеев А.Н. Электродинамика и теория относительности. Высшая школа, 2010 г.
11. Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М. Задачи по теоретической физике. Издательство Мир, 1997 г.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теориялық физика. II том: Өріс теориясы: оқулық / ауд. Т.Ә. Қожамқұлов, Н. Қойшыбаев. – Алматы: Қазақ университеті, 2009. – 563 б. – ISBN 9965-30-772-5.