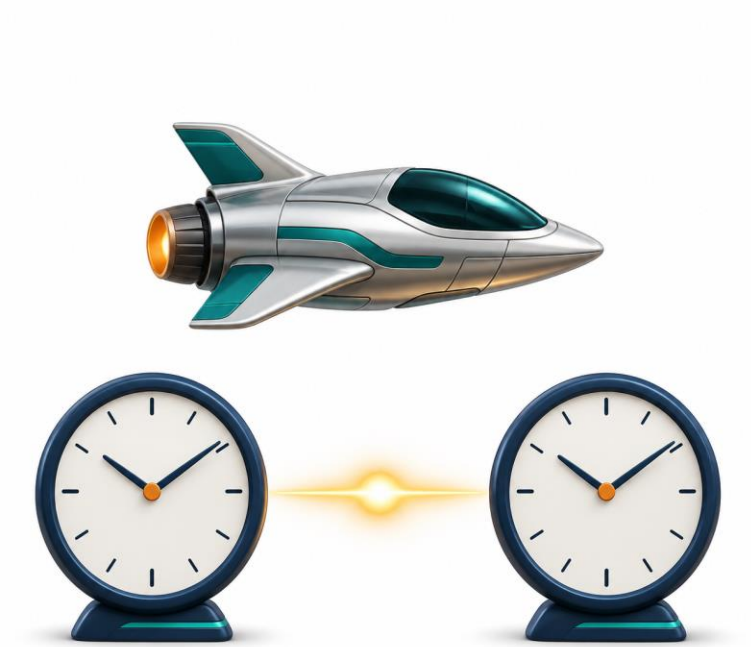
3-ДӘРІС

Релятивистік механика

Арнайы салыстырмалылық теориясы және Лоренц түрлендірулері



Исатаев М.С.

Дәрістің мақсаты, нәтижелері және мазмұны

Мақсаты

Жарық жылдамдығына жуық қозғалыстың кеңістік пен уақыт өлшемдеріне әсерін түсіндіру.

Оқыту нәтижелері

Лоренц түрлендірулерін қолданады.
Уақыт пен ұзындық өзгерісін есептейді.
Кеңістік-уақыт интервалын анықтайды.

Мазмұны

1. Эйнштейн постулаттары және төртөлшемді кеңістік-уақыт.
2. Лоренц түрлендірулері және Лоренц коэффициенті.
3. Бірмезгілділік, ұзындықтың қысқаруы және уақыттың баяулауы.
4. Кеңістік-уақыт интервалы және жылдамдықтарды релятивистік қосу.

Эйнштейннің екі постулаты

1. Салыстырмалылық принципі

Табиғаттың барлық заңдары барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей түрде орындалады.

2. Жарық жылдамдығының тұрақтылығы

Вакуумдағы жарық жылдамдығы жарық көзі мен қабылдағыштың қозғалысына тәуелді емес.

Оқиға және төртөлшемді кеңістік-уақыт

Оқиға кеңістіктегі орынмен және уақыт мезетімен анықталады.

(ct, x, y, z)

ct уақыт координатасын ұзындық бірлігімен өрнектейді.

Әлемдік нүкте

Бір оқиғаны бейнелейді.

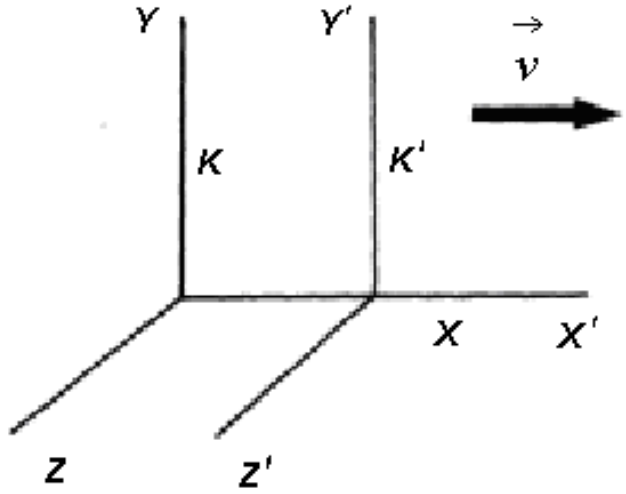
Әлемдік сызық

Дененің оқиғалар тізбегін, яғни кеңістік-уақыттағы қозғалысын бейнелейді.

Лоренц түрлендірулері

K′ жүйесі K-ға қатысты x осі бойымен тұрақты V жылдамдықпен қозғалады.

$$x' = \gamma(x - Vt)$$
$$t' = \gamma(t - Vx/c^2)$$
$$y' = y,\ \ z' = z$$



Кері түрлендірулерде V таңбасы өзгереді.

t = t′ = 0 кезінде жүйелердің бастары сәйкес келеді.

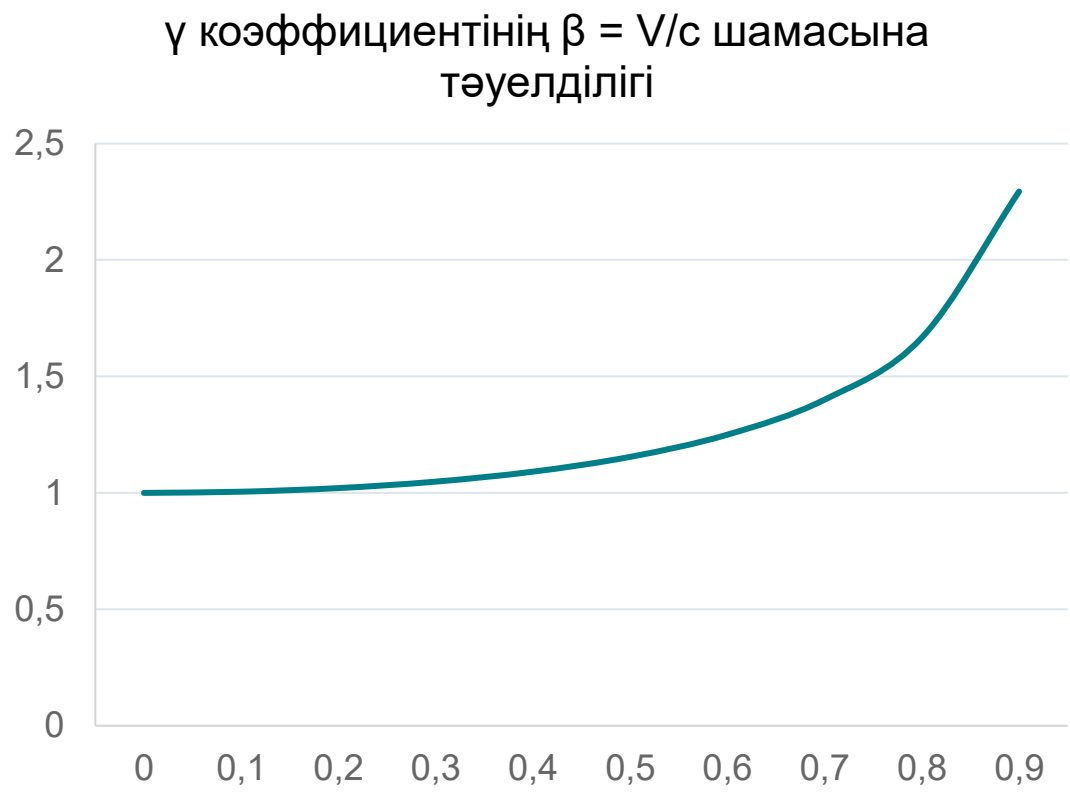
Лоренц коэффициенті

$$\gamma = 1/\sqrt{(1 - \beta^2)}$$

$\beta = V/c, \quad |V| < c$

$V \ll c$ болса, $\gamma \approx 1$. Лоренц түрлендірулері Галилей түрлендірулеріне жуықтайды.

$V = 0{,}8c$ кезінде $\gamma \approx 1{,}667$.



Бірмезгілділік және ұзындық

Бірмезгілділіктің салыстырмалылығы

$$\Delta t' = \gamma(\Delta t - V\Delta x/c^2)$$

K жүйесінде $\Delta t = 0$ болса да, $\Delta x \neq 0$ және $V \neq 0$ кезінде K′ жүйесінде оқиғалар бір мезгілде өтпейді.

Ұзындықтың қысқаруы

$$L = L_0/\gamma$$

L_0 дененің тыныштықтағы ұзындығы. Қысқару қозғалыс бағыты бойында байқалады.

L_0 = 10 м, V = 0,8c:
L = 6 м.

Уақыттың баяулауы

$$\Delta t = \gamma \Delta \tau$$

Δτ меншікті уақытты денемен бірге қозғалатын сағат өлшейді. Екі оқиға осы сағаттың орнында өтеді.

K жүйесінде қозғалыстағы сағат үшін сол оқиғалар арасындағы уақыт аралығы ұзағырақ болады.

Мысал: V = 0,8c, Δτ = 3 с болса, Δt = 5 с.

Кеңістік-уақыт интервалы

$$\Delta s^2 = c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2$$

Интервал Лоренц түрлендірулеріне қатысты инвариантты: $\Delta s'^2 = \Delta s^2$.

Бірқалыпты қозғалатын сағаттың екі оқиғасы үшін:

$$\Delta s^2 = c^2\Delta \tau^2$$

Жарық сигналы үшін
$\Delta s^2 = 0$.

Мұнда уақыттық мүше оң таңбамен алынған.

Жылдамдықтарды релятивистік қосу

$$u_x = (u_x' + V)/(1 + Vu_x'/c^2)$$

$$u_y = u_y'/[\gamma(1 + Vu_x'/c^2)]$$
$$u_z = u_z'/[\gamma(1 + Vu_x'/c^2)]$$

Бір бағыттағы қозғалыс: $u_x' = 0{,}8c$, $V = 0{,}8c$.
$u_x = 1{,}6c/1{,}64 \approx 0{,}976c$.

$u_x' = c$ болса, $u_x = c$. Жарық жылдамдығы өзгермейді.

Қорытынды және өзін өзі тексеру

Жеке кеңістік және уақыт аралықтары санақ жүйесіне тәуелді. Кеңістік-уақыт интервалы өзгермейді.

1. Арнайы салыстырмалылық теориясының екі постулаты қандай?
2. Меншікті уақыт пен координаталық уақыттың айырмашылығы неде?
3. Ұзындықтың қысқаруы қай бағытта байқалады?
4. Неліктен 0,8c және 0,8c жылдамдықтарының қосындысы 1,6c болмайды?