

3 лекция

Релятивистік механика

- 3.1 Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық теориясы
- 3.2 Лоренц түрлендірулері
- 3.3 Лоренц түрлендірулерінің салдарлары
- 3.4 Түрлендірулердің инварианттары
- 3.5 Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы

Ньютондық механика вакуумдағы жарық жылдамдығынан анағұрлым кем жылдамдықпен қозғалушы денелер үшін ғана әділетті. Жарық жылдамдығымен (c) салыстыруға болатын жылдамдықтармен болатын қозғалыстарды сипаттау үшін Эйнштейн **релятивистік механиканы**, яғни, **арнайы салыстырмалылық теориясы** (1905 ж.) талаптарын ескеруші механиканы жасады.

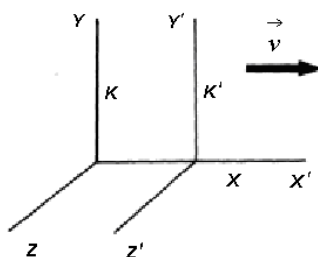
Бұл теорияның негізін Эйнштейннің **салыстырмалылық принципі** және **жарық жылдамдығының тұрақтылығы принципі** деп аталатын екі постулаты құрайды. Біріншісіне сәйкес, табиғаттың барлық заңдары барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей. Жарық жылдамдығының тұрақтылығы – вакуумдағы жарық жылдамдығының барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей, және жарықтың қозғалыс көздері мен қабылдағыштарына тәуелсіз екендігін қуаттайды.

Төртөлшемді кеңістік. Әлемдік нүкте. Әлемдік сызық.

Екі әлемдік нүктелердің арасындағы қашықтықтың квадраты (бұл қашықтықты **кеңістіктік-уақыттық интервал** деп атайды және ΔS символымен белгілейді) мына формуламен анықталады:

$$\Delta S^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 \quad (22)$$

Лоренц түрлендірулері. Инерциялық екі санақ жүйесін қарастырайық та оларды K және K' деп белгілейік. K' жүйесі K жүйесіне қарасты $\vec{V}$ жылдамдығымен қозғалсын делік. x және x' өстерін $\vec{V}$ векторы бойымен бағыттап, y және y' , сонымен қоса z және z' өстерін бір біріне параллелді деп жорамалдайық (5 Сурет). Салыстырмалылық принципінің айтуына сай K және K' жүйелері мүлдем тең құқықты.



5 Сурет.

Галилей түрлендірулерінен жылдамдықтарды қосу заңы шығады:

$$U_x = U_x' + v \quad (23)$$

Бұл заң жарық жылдамдығының тұрақтылығы принципімен қарама-қайшылықта болады. Расында да, егер K' жүйесіндегі жарық сигналы $\vec{V}$ векторы бағытында c жылдамдығымен таралатын болса, онда (23) сәйкес, K жүйесіндегі сигнал жылдамдығы $c+v$ тең болып шығады, яғни c -дан асып түседі. Бұдан шығатыны, Галилей түрлендірулерінің басқа формулалармен алмастырылулары қажеттігі туындайды. Осы формулаларды келтірейік:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \left(\frac{v}{c^2}\right)x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (24)$$

(24) формулаларының жиынтығы **Лоренц түрлендірулері** атына ие.

Егер (24) теңдеуі штрихталған шамаларға қатысты шешілетін болса, K жүйесінен K' жүйесіне өтуге керекті түрлендірулер формулалары пайда болады:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \left(\frac{v}{c^2}\right)x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (25)$$

$v \ll c$ жағдайында Лоренц түрлендірулерінің Галилей түрлендірулеріне өтетінін оңай түсінуге болады.

Лоренц түрлендірулерінің салдарлары:

1 Әр түрлі санақ жүйелеріндегі оқиғалардың бірізгілігі (мысалы K жүйесінде оқиғалар кеңістікті алшақтанған болса, онда олар K' жүйесінде бірізгілігі емес).

2 Әр түрлі санақ жүйелеріндегі дененің ұзындығы $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Оған салыстырғанда қозғалысқа келетін жүйеде өлшенген таяқшаның l ұзындығы, оған салыстырғанда тыныштықта тұратын жүйеде өлшенген таяқшаның l_0 ұзындығынан қысқа.

3 Оқиғалар арасындағы уақыт аралығы $\Delta\tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$, $\Delta\tau$ денемен бірге қозғалатын сағаттардың көрсететін уақыты, оны *меншікті уақыт* деп атайды, ал Δt - тыныштықтағы сағаттардың көрсетуі. Формуладан көрініп тұрғандай қозғалыстағы сағаттардың жүрісі тыныштықтағы сағаттардан баяу.

Түрлендірулердің инварианттары. Әрбір оқиғаға жорамал төртөлшемді кеңістікте ct, x, y, z координаталы әлемдік нүктені қатар қоюға болады. Бір оқиға ct, x_1, y_1, z_1 координаталы, ал екіншісі – ct, x_2, y_2, z_2 координаталы болсын делік. Белгілерді енгізелік: $t_2 - t_1 = \Delta t$, $x_2 - x_1 = \Delta x$, т.т.

K жүйесіндегі интервал квадраты (22) формуласымен анықталады. K' жүйесіндегі тап сол оқиғалардың арасындағы интервал квадраты мынаған тең:

$$\Delta S'^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2 - \Delta y'^2 - \Delta z'^2. \quad (26)$$

(25) формулаларына сай, ал одан әрі осы мәндерді (26) формуласына салсақ, онда азғантай түрлендірулерден кейін $\Delta S'^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2 - \Delta y'^2 - \Delta z'^2$ екендігін көреміз, яғни,

$$\Delta S'^2 = \Delta S^2.$$

Осылайша, интервал бір инерциялы санақ жүйесінен екіншісіне өтуге қарағанда инвариант боп табылады.

Тура осылайша, меншікті уақыттың аралығы (денемен бірге қозғалатын сағат бойынша алынған уақыт осы дененің меншікті уақыты деп аталады да, әдетте τ әрпімен белгіленеді) оқиғалар арасындағы интервалға пропорционалды:

$$\Delta \tau = \frac{1}{c} \Delta S.$$

Интервал инвариант болып табылады. Демек, меншікті уақыт тура солай инвариант болып саналады.

Релятивистік механикадағы жылдамдықтарды қосудың формулалары:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{vu_x'}{c^2}}, \quad u_y = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot u_y'}{1 + \frac{vu_x'}{c^2}}, \quad u_z = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot u_z'}{1 + \frac{vu_x'}{c^2}}. \quad (27)$$

$v \ll c$ болған жағдайда (27) арақатынастары классикалық механикадағы жылдамдықтарды қосудың формулаларына айналады.

1 Модуль үшін студенттердің өздік жұмысы (СӨЖ)

1. Векторлар және оларға қолданылатын операциялар: қосу, алу, көбейту, проекцияларын табу.
2. Кинематикалық шамаларды график түрінде көрсете білу. Координаттар жүйесі. Координаттарды түрлендіру.
3. СИ Халықаралық бірліктер жүйесі.
4. Жарықтың табиғаты. Жарық жылдамдығын өлшеу. Майкельсон-Морли тәжірибесі.