ДӘРІС 1

Арнайы салыстырмалық теориясына кіріспе

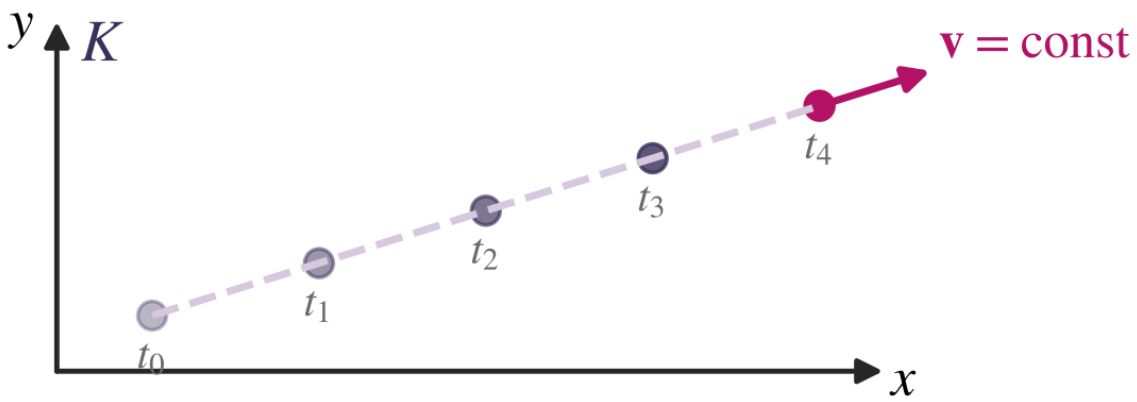
Қауымдастырылған профессор
Уразалина Айнур Адилхановна

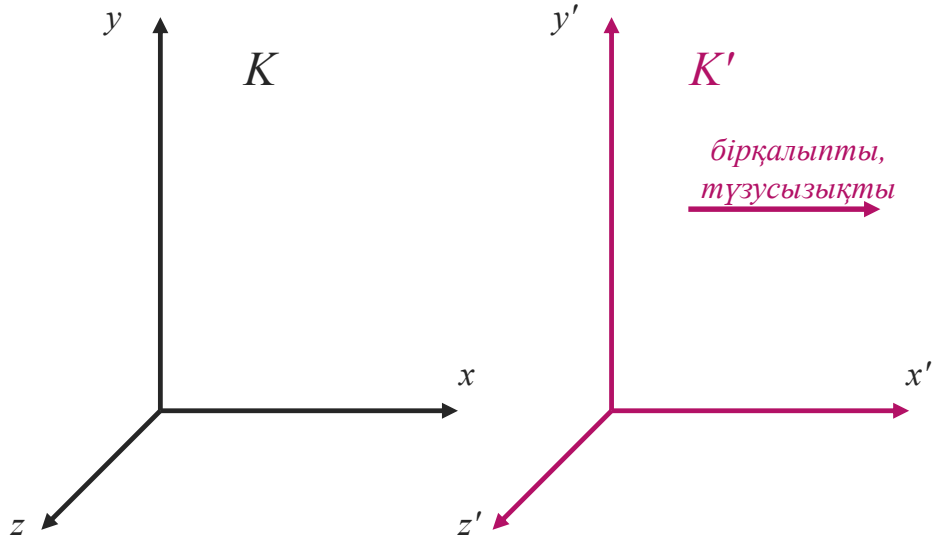
Дәріс мақсаты

БІЛІМ АЛУШЫЛАРҒА АРНАЙЫ САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ҚАҒИДАЛАРЫН ТҮСІНДІРУ, ЭЙНШТЕЙН ПОСТУЛАТТАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ МӘНІН АШУ, ЖАРЫҚ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ, УАҚЫТТЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ БАЯУЛАУЫ, ҰЗЫНДЫҚТЫҢ ҚЫСҚАРУЫ ЖӘНЕ МАССА МЕН ЭНЕРГИЯНЫҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫ ТУРАЛЫ ТҮСІНІК ҚАЛЫПТАСТЫРУ. ТЕОРИЯЛЫҚ БІЛІМДІ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ ТҮСІНДІРУДЕ ҚОЛДАНУ ДАҒДЫЛАРЫН ДАМЫТУ.

Санақ жүйесі. Инерциалдық санақ жүйелері

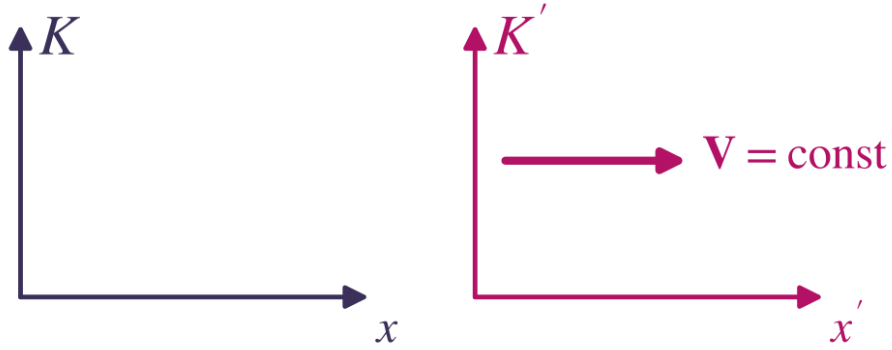
- Санақ жүйесі — координаттар жүйесі және онымен байланысқан сағат.
- Еркін дене тұрақты жылдамдықпен қозғалатын жүйе — инерциалдық санақ жүйесі (ИСЖ).
- Бір-біріне қатысты бірқалыпты қозғалатын ИСЖ-лер саны шексіз көп.





Салыстырмалылық принципі

- Салыстырмалылық принципі: табиғат заңдары барлық ИСЖ-де бірдей.
- Заңдардың теңдеулері бір ИСЖ-ден екіншісіне өткенде өз түрін сақтайды (инвариантты).
- Классикалық механикада өзара әрекеттесу лезде таралады деп есептеледі.



табиғат заңдары екі жүйеде де бірдей

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

K		K'
табиғат заңдары	$\equiv$ *бірдей теңдеулер*	табиғат заңдары

Өзара әрекеттесудің таралу жылдамдығы

- Тәжірибе: лездік өзара әрекеттесу жоқ — әсер біршама уақыттан кейін жетеді.
- Таралу жылдамдығының максимал мәні бар — бұл жарық жылдамдығы c (1.1).
- Денелер бұл жылдамдықтан артық жылдамдықпен қозғала алмайды.

әсер $\Delta t = r/c$ кешігіп жетеді



Жарық жылдамдығы

Салыстырмалылық принципінен таралу жылдамдығының барлық ИСЖ-де бірдей екені шығады, яғни ол – **универсал тұрақты**. Бұл жылдамдық жарықтың бос кеңістіктегі таралу жылдамдығына тең, сондықтан оны **жарық жылдамдығы** деп атап, c әрпімен белгілейді:

$$c = 2{,}998 \cdot 10^{10} \text{ см/с} \qquad (1.1)$$

Классикалық механиканың көп жағдайда жеткілікті дәл болуы осы жылдамдықтың өте үлкен болуымен түсіндіріледі: біз істес болатын жылдамдықтар c-мен салыстырғанда соншалықты аз, сондықтан оны шексіз үлкен деп алу нәтижелердің дәлдігіне әсер етпейді.

Галилей және Эйнштейн салыстырмалылық принциптері

Галилейдің салыстырмалылық принципі

Салыстырмалылық принципі + өзара әрекеттесудің таралу жылдамдығының **шексіздігі.**

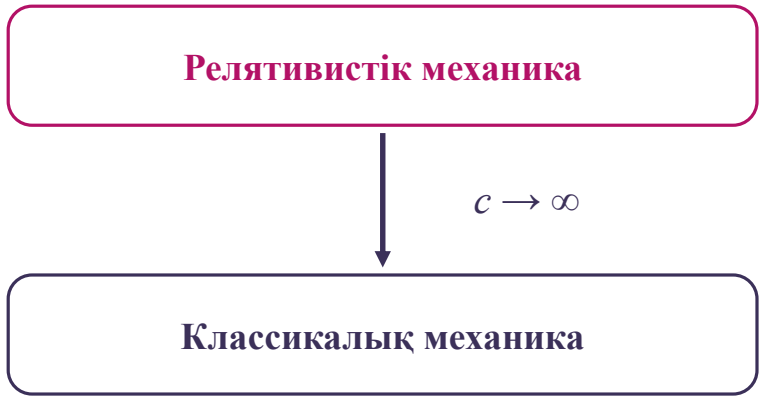
Осы принципке ньютондық (классикалық) механика негізделген: онда өзара әрекеттесу лезде таралады деп есептеледі.

Эйнштейннің салыстырмалылық принципі (1905 ж.)

Салыстырмалылық принципі + өзара әрекеттесудің таралу жылдамдығының **шектелгендігі** (тұжырымдаған – А. Эйнштейн).

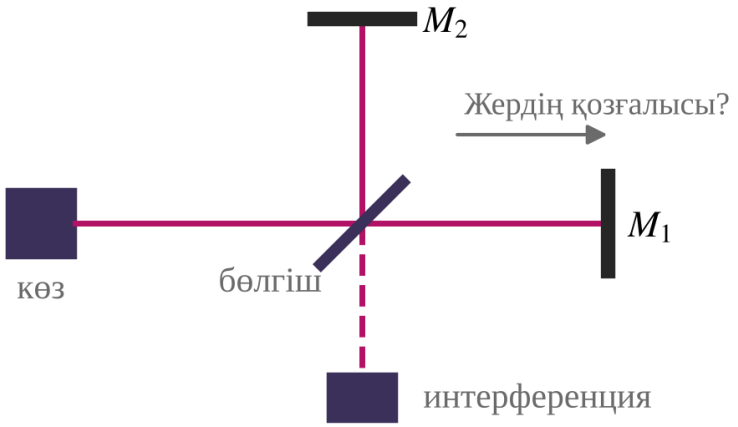
Осы принципке (оны жай ғана салыстырмалылық принципі деп атаймыз) негізделген механика **релятивистік** механика деп аталады.

- $v \ll c$ кезінде таралу жылдамдығының шектілігін ескермеуге болады — релятивистік механика классикалық механикаға өтеді.
- Формал түрде бұл $c \to \infty$ шегіне өтумен жүзеге асады.



Абсолют уақыт және Майкельсон тәжірибесі

- Классикалық механикада уақыт абсолютті: оқиғалар арасындағы уақыт аралығы барлық жүйеде бірдей.
- Жылдамдықтарды қосу заңы бойынша таралу жылдамдығы әр ИСЖ-де әр түрлі болар еді.
- Майкельсон тәжірибесі: жарық жылдамдығы бағытқа тәуелсіз — уақыт абсолютті емес.



Классикалық механика бойынша

жарықтың Жердің қозғалысы бағытындағы жылдамдығы қарама-қарсы бағыттағы жылдамдығынан өзгеше болуы керек

↓

Майкельсон тәжірибесі (1881 ж.)

тұңғыш рет жүргізілген өлшеулер жарық жылдамдығының таралу бағытына мүлдем тәуелсіз екенін көрсетті

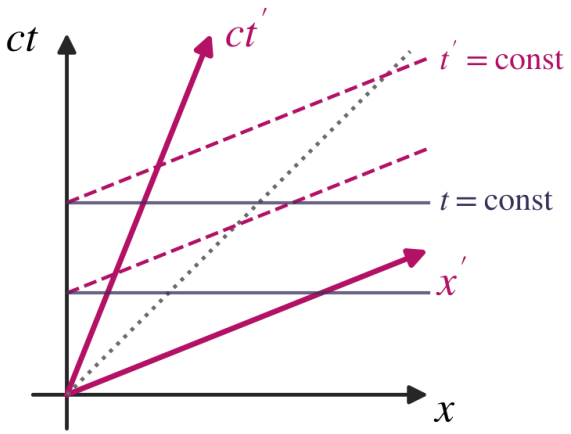
↓

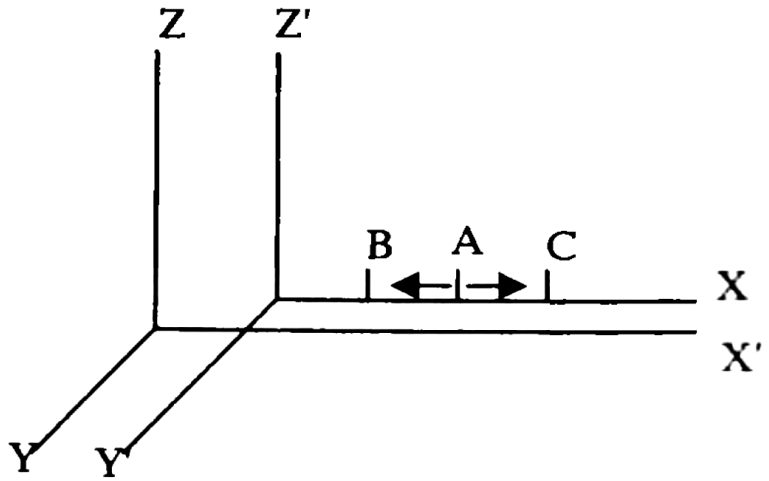
Қорытынды

уақыт абсолютті емес: ол әртүрлі санақ жүйелерінде әртүрлі өтеді

Бірмезгілділіктің салыстырмалылығы

- Бір жүйеде бір мезгілде өткен оқиғалар екіншісінде бірмезгілді емес.
- K'-та сигналдар B және C нүктелеріне бір мезгілде жетеді.
- K-да B сигналға қарсы қозғалады — сигнал оған ертерек жетеді.

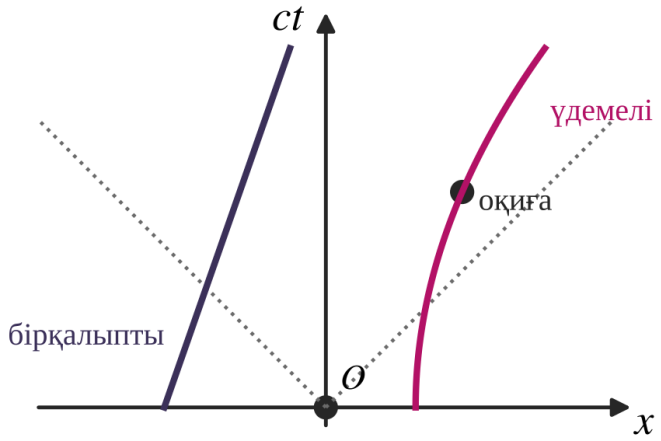




Эйнштейннің салыстырмалылық принципі негізгі физикалық түсініктерге түбегейлі өзгерістер енгізеді: кеңістік пен уақыт туралы күнделікті көзқарастарымыз тек жуық түрде орындалады, себебі күнделікті өмірде жарық жылдамдығымен салыстырғанда өте аз жылдамдықтар ғана кездеседі.

Оқиға. Әлемдік сызық. Интервал

- Оқиға — орны мен уақыты; төртөлшемді кеңістікте ол әлемдік нүкте.
- Бөлшектің қозғалысы — әлемдік сызық; бірқалыпты қозғалысқа түзу сәйкес.
- Интервал (1.4)–(1.5): $ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$.



Жарық сигналы үшін K және K' жүйелерінде:

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 - c^2(t_2 - t_1)^2 = 0 \quad (1.2)$$

$$(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2 - c^2(t'_2 - t'_1)^2 = 0 \quad (1.3)$$

Екі оқиғаның арасындағы интервал:

$$s_{12} = \left[c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - \right. \quad (1.4)$$

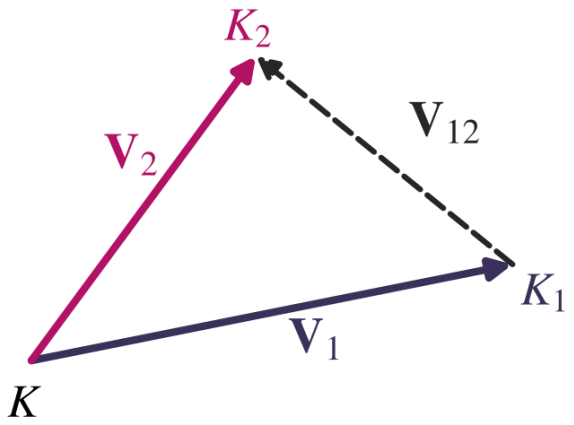
Шексіз жақын оқиғалар үшін:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (1.5)$$

Интервал бір санақ жүйесінде нөлге тең болса, ол кез келген басқа жүйеде да нөлге тең.

Интервалдың инварианттылығы

- $ds = 0$ бір ИСЖ-де болса, кез келген басқа ИСЖ-де де $ds' = 0$.
- Сондықтан $ds^2 = ads'^2$ (1.6); кеңістіктің біртектілігі мен изотроптығынан $a = 1$ (1.10).
- Интервал барлық инерциалдық санақ жүйелерінде бірдей: $s = s'$.



$$ds^2 = a\,ds'^2 \quad (1.6)$$

$$ds^2 = a(V_1)ds_1^2,\ ds^2 = a(V_2)ds_2^2 \quad (1.7)$$

$$ds_1^2 = a(V_{12})ds_2^2 \quad (1.8)$$

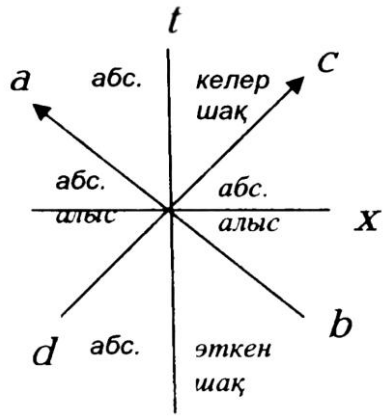
$$\frac{a(V_2)}{a(V_1)} = a(V_{12}) \quad (1.9)$$

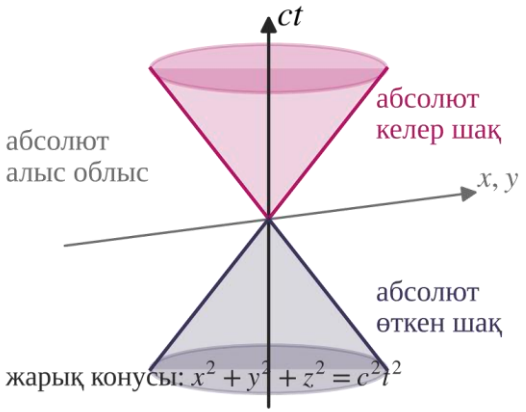
$$ds^2 = ds'^2 \quad (1.10)$$

Интервал барлық ИСЖ-де бірдей, яғни бір ИСЖ-нен басқасына түрлендіруге қатысты **инвариантты**. Бұл – жарық жылдамдығы тұрақтылығының математикалық өрнегі.

Уақытұқсас және кеңістікұқсас интервалдар

- Уақытұқсас интервал ($s^2 > 0$): оқиғалар бір нүктеде өтетін жүйе бар.
- Кеңістікұқсас интервал ($s^2 < 0$): оқиғалар бір мезгілде өтетін жүйе бар.
- Жарық конусы (1.13) келер шақты, өткен шақты және алыс облысты бөледі; себептік байланыс тек уақытұқсас интервалда мүмкін.





$$t'_{12} = \frac{1}{c}\sqrt{c^2t_{12}^2 - l_{12}^2} = \frac{s_{12}}{c} \qquad (1.11)$$

$$l'_{12} = \sqrt{l_{12}^2 - c^2t_{12}^2} = is_{12} \qquad (1.12)$$

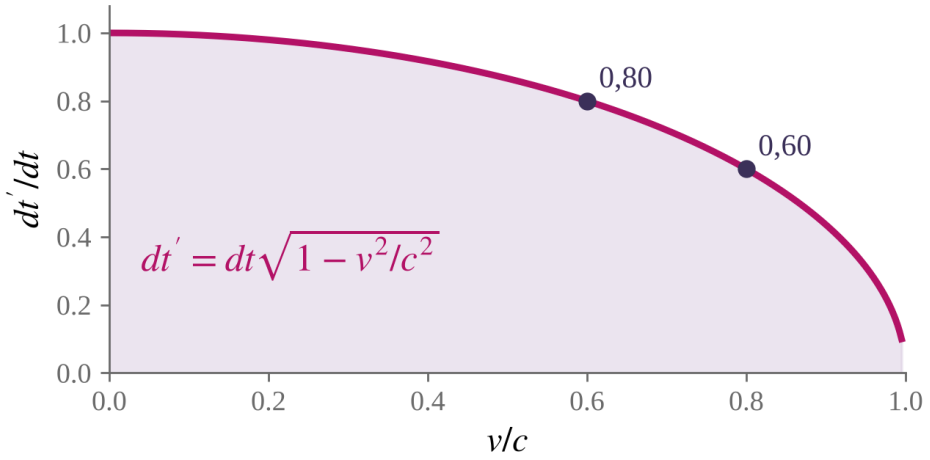
$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0 \qquad (1.13)$$

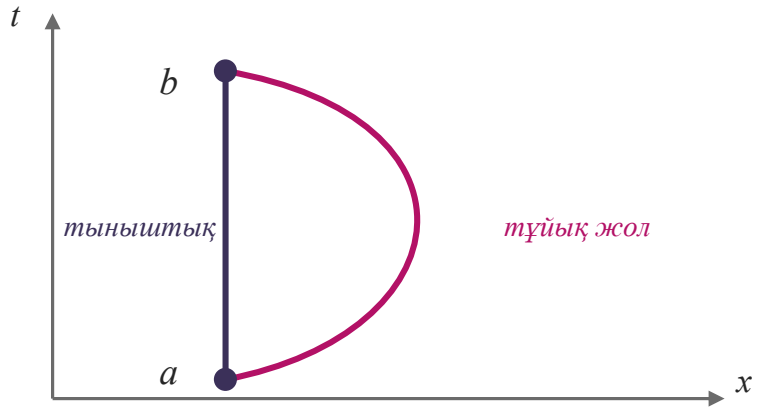
Меншікті уақыт

- Меншікті уақыт — объектімен бірге қозғалатын сағат көрсететін уақыт.
- $dt' = t\sqrt{1 - v^2/c^2}$ (1.14): қозғалыстағы сағат баяу жүреді.
- Түзу әлемдік сызық бойындағы меншікті уақыт максимал болады.

$$dt' = \frac{ds}{c} = dt\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (1.14)$$

$$t'_2 - t'_1 = \int_{t_1}^{t_2} dt\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad (1.15)$$





Қорытынды

- Салыстырмалылық принципі: табиғаттың барлық заңдары барлық инерциалдық санақ жүйелерінде бірдей.
- Өзара әрекеттесу шекті жылдамдықпен таралады; оның максимал мәні — жарық жылдамдығы c, ол барлық ИСЖ-де бірдей.
- Эйнштейн принципі = салыстырмалылық принципі + таралу жылдамдығының шектелгендігі; $c \to \infty$ шегінде — классикалық механика.
- Уақыт абсолютті емес: бір жүйеде бір мезгілде өткен оқиғалар екіншісінде бірмезгілді болмайды.
- Интервал барлық ИСЖ-де инвариантты; ол уақытұқсас, кеңістікұқсас немесе нөлдік болады.
- Меншікті уақыт: қозғалыстағы сағат тыныштықтағы сағатқа қарағанда баяу жүреді.

Негізгі формулалар

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

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

$$ds = s'$$

$$dt' = t\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Салыстырмалылық принципі

↓

Шекті және инвариантты c

↓

Интервалдың инварианттылығы

↓

Меншікті уақыт, уақыттың баяулауы

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.