

*Әл-Фараби атындағы Қазақ  
Ұлттық Университеті  
Физика-техникалық факультеті*



# ***Механика***

# \*Эдебиеттер:

- 1) Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1990.- 478 с.
- 2) Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики М.: Высш. шк., 1989.- 608 с.
- 3) Савельев И.В. Общий курс физики. Т1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1988.- 416 с.
- 4) Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики.- М.: Наука, 1985.
- 5) Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.1,2,3.-М.: Наука, 1974,1980
- 6) Сивухин Д.В. Курс общей Физики. - М.: Наука,



# \* 1. Механика, оның бөлімдері және қозғалысты оқып үйренуде қолданылатын абстракциялық ұғымдар

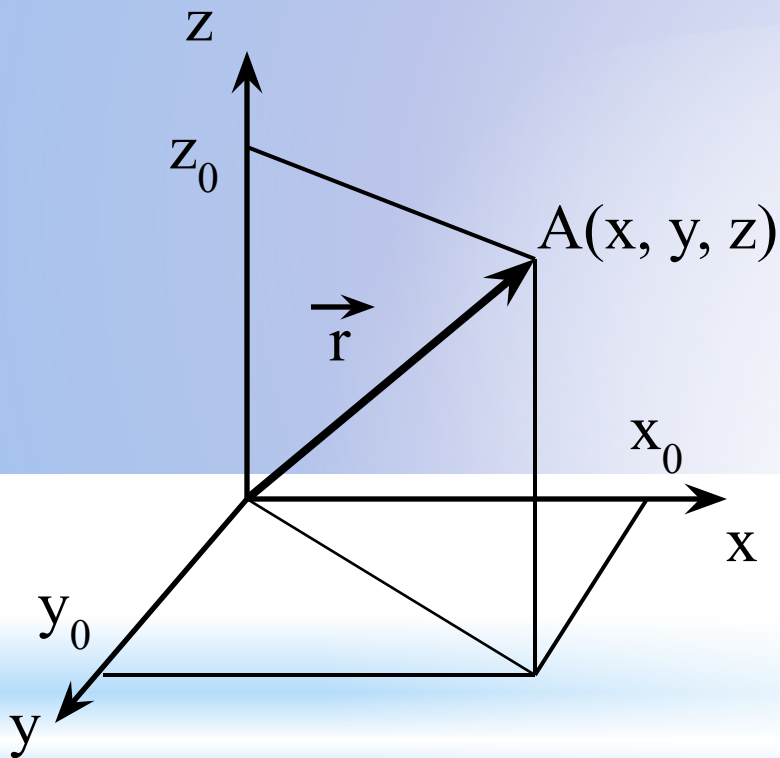
- Табиғатта кездесетін қозғалыстардың ең қарапайымы *механикалық қозғалыс* болып табылады. Механикалық қозғалыстардың заңдылықтарын зерттейтін физиканың бөлімі механика деп аталады.
- Материалдық нүкте деп қарастырылып отырған есептің берілу шарттарында өлшемдері мен пішінін (формасын) ескермеуге болатын денені айтамыз.
- Механика мынадай үш бөлімнен тұрады: статика, кинематика және динамика.

✓ Абсолют қатты дене деп нақты бір есептің берілу жағдайында деформациясын ескермеуге болатын денені анықтаймыз.

✓ Механикалық қозғалыс дегеніміз денелердің немесе олардың бөліктерінің кеңістіктегі орындарының уақыт бойынша өзгеруі немесе кеңістікте орналасқан дененің орнының сол денені қоршай орналасқан басқа денелермен салыстырғанда өзгеруі.

✓ Денелер мен бөлшектердің кеңістіктегі орындарын әртүрлі уақыт мезеттерінде анықтау мақсатында қолданылатын абсолют қатты денені және осы денемен қатқыл түрде байланысқан, әрі сағатпен жабдықталған координаттар жүйесін санақ жүйесі деп айтады.

## \* 2. Кинематика



Қандай да бір нүктесінің кеңістіктегі орны координаттардың басын (нүктесі) нүктесімен қосатын радиус-вектормен сипатталады және осы вектор - базистер бойынша мына түрде өрнектеледі:

$$\vec{r} = \vec{i} x_0 + \vec{j} y_0 + \vec{k} z_0$$

мұндағы және  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  – векторының әрбір осьтердегі құраушылары, ал  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  – жіктеу коэффициенттері

Егер де уақыттың үздіксіз және бірімәнді  
 $x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$

функциялары берілген болса, онда материалдық нүктенің қозғалысын толығымен анықталған деп есептеуге болады. Бұл функциялар нүктенің координаттарының уақыт бойынша өзгерісін сипаттайды және олар нүкте қозғалысының *кинематикалық теңдеулері* деп аталады. Бұл теңдеулер қозғалыстың векторлық теңдеуімен эквивалентті.

Кеңістікте қозғалып жүрген нүктенің сызатын сызығын осы нүктенің *траекториясы* деп атайды. Нүктенің траекториясының түріне (формасына) қарай осы нүктенің қозғалысын *түзусызықты* және *қисықсызықты* деп бөледі,<sup>7</sup>

Кеңістікте еркін түрде қозғалып отырған материалдық нүкте бір-біріне тәуелсіз үш қозғалыс жасай алады.

Олай болса, механикалық жүйенің жасайтын бір-біріне тәуелсіз қозғалыстарының саны осы жүйенің **еркіндік дәрежелерінің саны** деп аталынады.

Еркін түрде қозғалатын материалдық нүктенің үш еркіндік дәрежесі бар.



Декарт координат жүйесінде нүктенің орны радиус вектормен берілген болса, онда орын ауыстыру векторы

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

уақыт аралығында қозғалғанда нүктенің соңғы (2) және алғашқы (1) орындарын сипаттайтын  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$  радиус вектордың өзгерісі ретінде анықтауға болады.

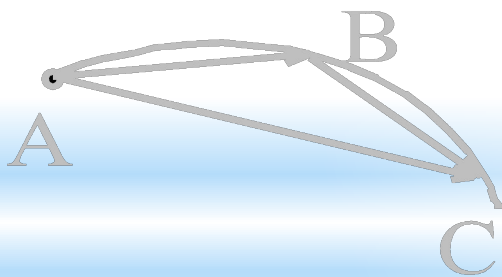
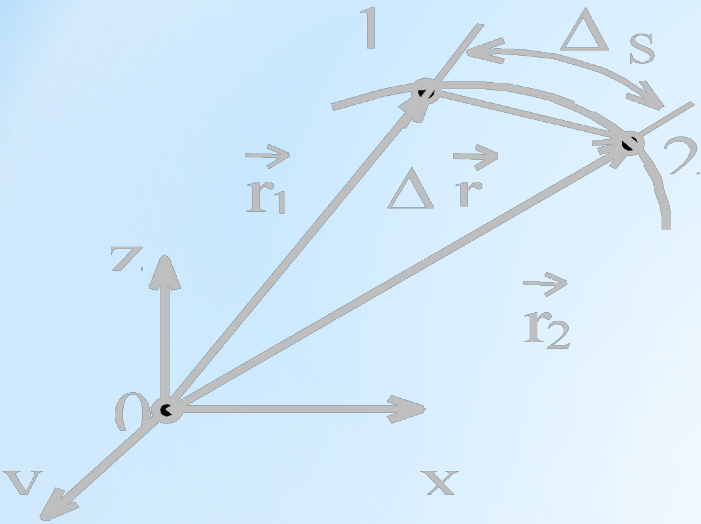
OX, OY, OZ координат осьтеріне орын ауыстыру векторларының проекциялары

$$\Delta r_x = x_2 - x_1 = \Delta x$$

$$\Delta r_y = y_2 - y_1 = \Delta y$$

$$\Delta r_z = z_2 - z_1 = \Delta z$$

$\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  қарастырылып отырған уақыт аралығындағы нүктенің координаттарының өзгерісі.



## Материалдық нүктенің жылдамдығы

Денелердің қозғалыстарының тездігін сипаттап көрсету үшін механикада **жылдамдық** деген ұғым енгізіледі. Қозғалыстағы нүктенің ден дейінгі уақыт аралығындағы *орташа жылдамдығы* деп нүктенің радиус векторының өсімшесінің осы өзгеріс болып өткен аралыққа қатынасына тең болатын

векторды атайды,

мұндағы — нүктенің радиус-векторының осы уақыт аралығындағы өсімшесі (өзгерісі), вектордың бағыты -дің бағытымен бағыттас болады.

# Материалдық нүктенің жылдамдығы

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}'$$

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

**Лездік жылдамдық** – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

$$\vec{v}_{\text{cp.}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

**Лездік жылдамдық** – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

## Нүктенің үдеуі

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең:

Полное ускорение:

$$\vec{a}_{\text{полное}} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

Численное значение  
полного ускорения:

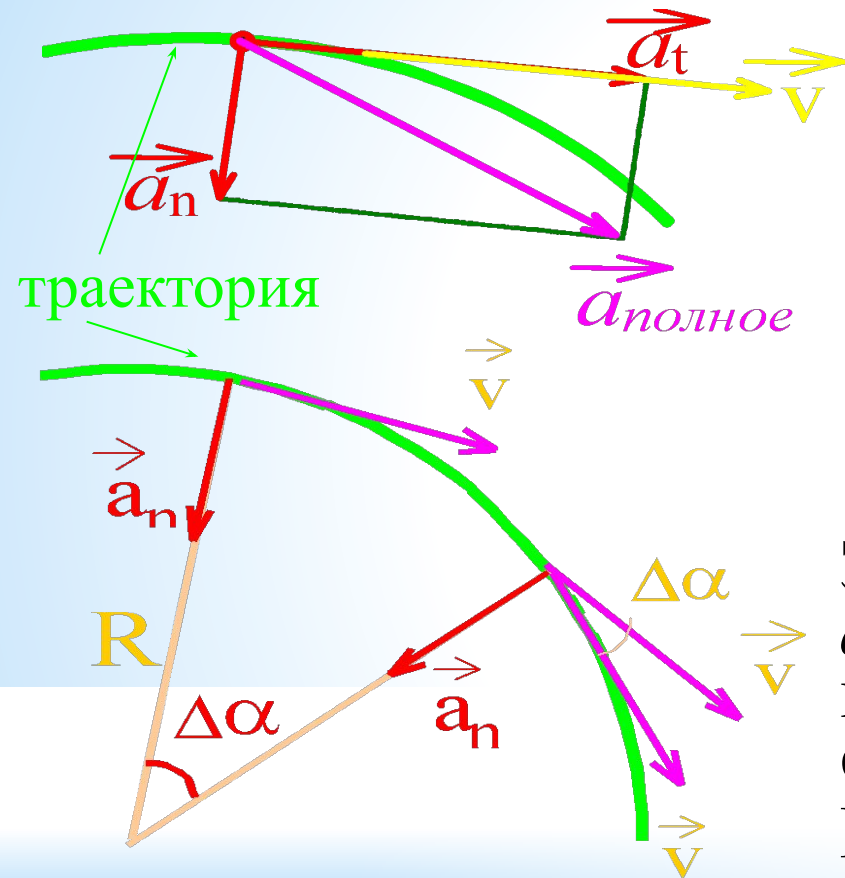
$$|\vec{a}_{\text{полное}}| = \sqrt{|\vec{a}_n|^2 + |\vec{a}_\tau|^2}$$

За малый промежуток времени  $dt$  тангенциальное ускорение изменяет только величину скорости, но не ее направление. Нормальное ускорение  $a_n$  изменяет только направление скорости.

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

где  $\tau$ ,  $n$  – единичные вектора (тангенциаль и нормаль).



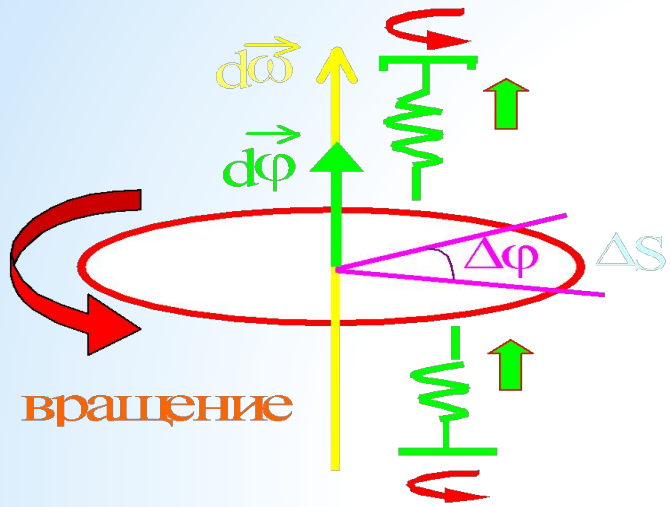
# АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС БҰРЫШТЫҚ ЖЫЛДАМДЫҚ

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

шегіне тең:

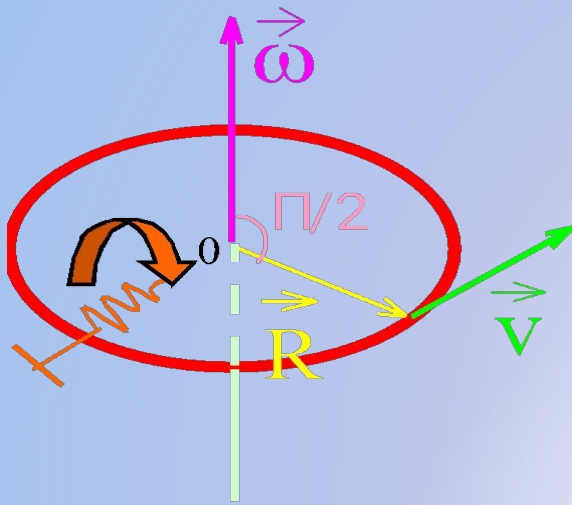


Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең:





Направление скорости  $V$  определяется правилом правого винта (буравчика). Винт располагаем перпендикулярно оси и вращаем от  $\omega$  к  $R$ .

Таким образом, чем дальше отстоит точка от оси вращения, тем больше ее линейная скорость.

При  $\omega = \text{const}$  существует время полного оборота тела.

Период вращения  $T$  – это время за которое совершается телом один полный оборот. При этом:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\pi}{T} \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad d\varphi = 2\pi \rightarrow (360^\circ) \quad dt = T$$

Число оборотов в единицу времени есть частота вращения.

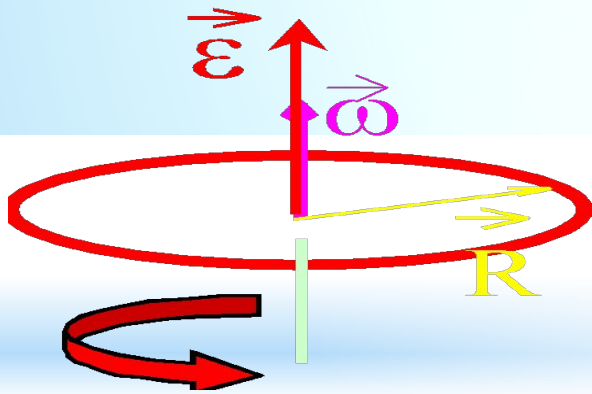
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad \omega = 2\pi\nu$$

## 4. 2. Угловое

### ускорение

Угловое ускорение — это вектор, модуль которого равен первой производной от угловой скорости, а направление определяется правилом правого винта (буравчика).

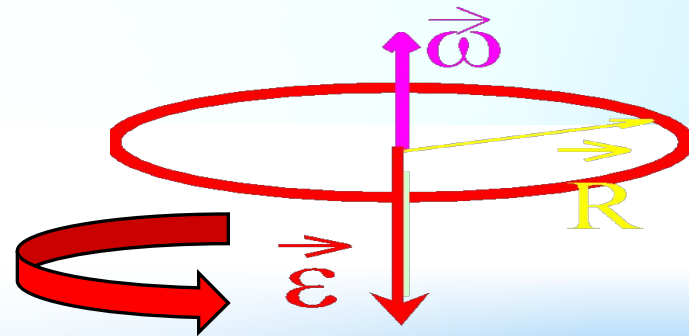
$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \vec{\omega}$$



Направления  $\vec{\omega}$  и  $\vec{\varepsilon}$  совпадают при:  $\frac{d\vec{\omega}}{dt} > 0$

Тело раскручивается.

Лекции по физике Часть 1.



Направления  $\vec{\omega}$  и  $\vec{\varepsilon}$  противоположны при:  $\frac{d\vec{\omega}}{dt} < 0$

Тело замедляется.

Найдем связь между линейными ускорениями и угловыми:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \left\{ v = \omega R \right\} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R \varepsilon$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} n = \left\{ v = \omega R \right\} = \frac{\omega^2 R^2}{R} n = \omega^2 R$$

Итого:

$$a_{\tau} = R \varepsilon \quad a_n = \omega^2 R \quad a_{\text{полное}} = R \varepsilon + \omega^2 R$$

$$S = R\varphi \quad v = R\omega$$

$$\text{При } \varepsilon = \text{const} : \quad \omega = \omega_0 + \varepsilon t \quad \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

## Инерциалдық санақ жүйелері

Механикада еркін материалдық нүктенің қозғалысы *бірқалыпты және түзу сызықты* түрде өтетін санақ жүйесін таңдап алады. Материалдық нүктенің мұндай қозғалысын инерция жүйелері бойынша қозғалыс деп атайды, ал санақ жүйелері **инерциалдық санақ жүйелері** деп аталады.

Дененің тыныштық күйін немесе бірқалыпты және түзусызықты қозғалысын сақтап қалуға тырысуын дененің **инерттілігі** деп атайды. Сондықтан Ньютонның бірінші заңы көбіне инерция заңы деп аталады.

Инерциалдық санақ жүйелеріне қатысты үдемелі қозғалыста болатын санақ жүйелері **инерциалдық емес санақ жүйелері** деп аталады.

## **Кеңістік пен уақыттың симметриялық қасиеттері**

Инерциалдық санақ жүйелерінде уақыт біртекті, ал кеңістік біртекті және изотропты болады.

**Уақыттың біртектілігі** дегеніміз физикалық құбылыстардың түрлі уақыт мезеттерінде бақылаған кездерде бірдей өтуі болып табылады.

**Кеңістіктің біртектілігі мен изотроптылығы** деп кеңістіктің қасиеттерінің түрліше нүктелерде бірдей (біртектілік), ал ірбір нүкеде барлық бағыттар бойынша бәрдей (изотроптық) болатындығы аталады.

# Галилейдің салыстырмалылық принципі

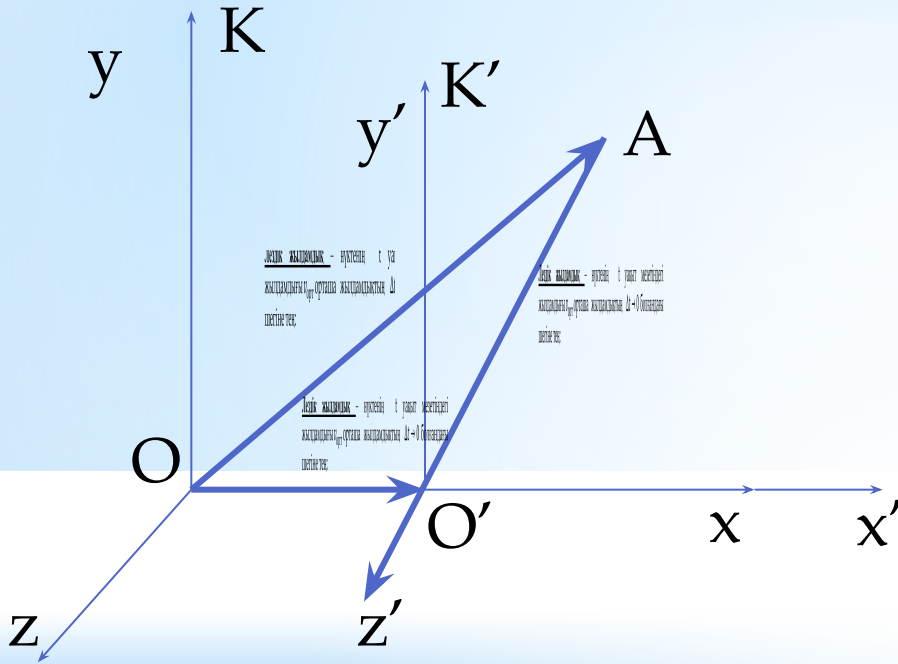
Инерциалдық санақ жүйелері үшін *салыстырмалылық принципі* орындалады: өздерінің механикалық қасиеттері бойынша барлық инерциалдық санақ жүйелері өзара эквиваленті болады.

*Кеңістік пен уақыттың қасиеттері* барлық инерциалдық санақ жүйелерінде бірдей болады, сонымен қатар оларда механиканың барлық заңдары да бірдей болады.

Осы айтылған тоқтам классикалық механиканың аса маңызды принциптерінің бірі – *Галилейдің салыстырмалылық принципінің* мазмұны болып табылады.

# Галилейдің түрлендіруі

Енді бір инерциалдық санақ жүйесінен екіншісіне өткен кездегі координаттардың түлену өрнектерін табайық.



Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{орт}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{орт}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі жылдамдығы  $v_{орт}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы шегіне тең:

*Арнайы салыстырмалылық теориясы* кеңістік пен уақыттың қазіргі заманғы физикалық теориясы болып табылады.

Арнайы салыстырмалылық теориясы (бұл теорияны ендігі жерде қысқаша АСТ деп жазамыз) мен кванттық механика қазіргі заманғы физика мен техниканың теориялық негізін қалайды.

АСТ-ны тағы да *релятивистік теория* деп те атайды, ал осы теория бойынша сипатталатын құбылыстар *релятивистік эффекттер* деп аталады.



Релятивистік эффекттер дененің қозғалыс жылдамдығы вакуумдегі жарық жылдамдығына жуық болған кездерде байқалады және мұндай жылдамдықтар *релятивистік жылдамдықтар* деп аталады.

*Релятивистік механика* деп релятивистік жылдамдықтармен қозғалатын денелердің қозғалыс заңдылықтарын АСТ-ға сүйене отырып қарастыратын механиканы айтады.

Классикалық ньютондық механикадағы тәрізді, АСТ-да да уақытты біртекті, ал кеңістікті біртекті әрі изотропты деп атайды.

АСТ мынадай екі принципті негізге алады және олар алғашқы постулаттар болып табылады.

*Бірінші постулат* Галилейдің салыстырмалылықтың механикалық принципін кез-келген физикалық процеске жалпылау жайында айтылады да, *салыстырмалылық принципі* немесе *Эйнштейннің релятивистік салыстырмалылық принципі* деп аталады

*Екінші постулат жарық жылдамдығының инварианттылық принципі*н тұжырымдап көрсетеді: жарықтың вакуумдегі жылдамдығы осы жарықты шығарушы жарық көзінің қозғалысына тәуелсіз болады және ол барлық бағытта, барлық инерциалдық санақ жүйелерінде бірдей.

Сондықтан да оны фундаментал физикалық тұрақтылардың бірі деп аламыз. Жарықтың вакуумдегі жылдамдығы (м/с) табиғаттағы ең шекті жылдамдық болып табылады. Кез-келген бөлшектің немесе дененің жылдамдығы жарықтың вакуумдегі жылдамдығынан артық бола алмайды.

# Лоренц түрлендірулері

Арнайы салыстырмалылық теориясының постулаттарынан және кеңістіктің біртектілігі мен изотроптылығынан, уақыттың біртектілігінен мынадай қорытындыға келеміз: **екі инерциялдық санақ жүйесінде өтіп жатқан бір ғана оқиға (физикалық процесс) кезіндегі координаттар мен уақыттың арақатынасы классикалық механикадағы Галилейдің түрлендірулерімен емес, *Лоренцтің түрлендірулері* бойынша өрнектеледі.**

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең:

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең:

## Лоренц түрлендірулерінің салдарлары:

1 Әр түрлі санақ жүйелеріндегі оқиғалардың бірмезгілді еместегі (мысалы К жүйесінде оқиғалар кеңістікті алшақтанған болса, онда олар жүйесінде бірмезгілді емес).

2 Әр түрлі санақ жүйелеріндегі дененің ұзындығы . Оған салыстырғанда қозғалысқа келетін жүйеде өлшенген таяқшаның ұзындығы, оған салыстырғанда тыныштықта тұратын жүйеде өлшенген таяқшаның ұзындығынан қысқа.

3 Оқиғалар арасындағы уақыт аралығы , денемен бірге қозғалатын сағаттардың көрсететін уақыты, оны *меншікті уақыт* деп атайды, ал - тыныштықтағы сағаттардың көрсетуі. Формуладан көрініп тұрғандай қозғалыстағы сағаттардың жүрісі тыныштықтағы сағаттардан баяу.

Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең:



Лездік жылдамдық – нүктенің  $t$  уақыт мезетіндегі

жылдамдығы  $v_{\text{орт}}$  орташа жылдамдықтың  $\Delta t \rightarrow 0$  болғандағы

шегіне тең: