Осындай құбылыстардың арасындағы байланыстарды зерттей келе, физикада Ньютон заңдары, астрономияда Кеплер заңдары ашылды. Осылайша табиғат құбылыстары арасындағы байланыстарды табу арқылы физика заңдары ашылады. Табиғаттағы өте кең тараған күштер электромагниттік болып есептеледі. Олар атом ядросында, молекулада, микроспиялық денелердің молекулаларының арасында да әсер етеді. Мұның себебі барлық атомдардың құрамына кіретін электрлік зарядталған бөлшектердің болуында. Электромагтниттік күштердің әсері шағын аралықтарда да, ғарыштық арақашықтықтарда да байқалады.

Қазіргі уақытта денелердің бір-бірімен өзара әсерлесуінің табиғатта төрт түрлі күші бар. Олар: гравитациялық, электромагниттік, ядролық және әлсіз өзара күштері. Осы күштердің бәрі байқалатын жағдайларды біз Әлемнің шексіз кеңістігінен Жердегі кез келген денелерден, атомдық ядролардан, элементар бөлшектердің барлық түрленулерінен кездестіреміз.

Физикада анықталған іргелі заңдар өзінің күрделілігі мен орнықтылығы жөнінен кез келген құбылыстарды зерттеуде бастау алатын деректерден әлдеқайда асып түседі. Физика табиғаттанудағы озат ғылымдардың бірі болып табылады. Ол ғылымның, техниканың, өндірістің әртүрлі салаларына.

Механикалық қозғалыстың ең қарапайым мысалы ретінде материалық нүкте қозғалысын қарастыруға болады. **Материалдық нүкте** деп массасы қарастырылып отырған дененің массасына тең, берілген есептің шартында өлшемін елемеуге болатын денені айтады.

Материалдық нүкте орнын қандай-да бір болмасын кез-келген денеге, яғни санақ денесіне қатысты анықтауға болады. Кез-келген таңдап алынған нүкте тыныштықта тұр деп аламыз, ал соған қатысты кез-келген координат жүйесін кеңістіктік санақ жүйесі деп атайды. Кеңістіктік санақ жүйесіндегі әрбір нүктенің орны x, y, z координаттарымен анықталады. Осы үш координаттың орнына $\vec{r}$ радиус-векторды алуға болады. **Радиус-вектор** деп координаттар басынан қарастырылып отырған нүктеге дейін бағытталған кесіндіні айтады. Қозғалысты сипаттау үшін кеңістіктік санақ жүйесі жеткіліксіз болып саналады.

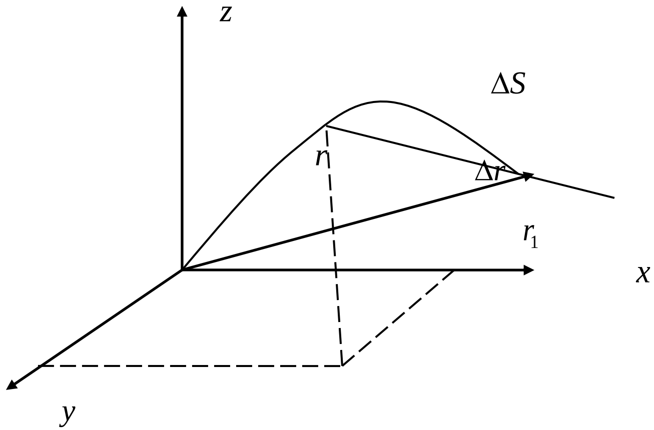
Қозғалысты тек кеңістік – уақыт санақ жүйесінде ғана толық сипаттауға болады. Уақыт өзгерісіне байланысты материалдық нүкте қозғалысы мына теңдеумен беріледі

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \tag{1.1}$$

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \tag{1.2}$$

(1.1) және (1.2) теңдеулері материалдық нүктенің **кинематикалық теңдеулері** деп аталады.

Материялдық нүктенің қозғалысы кезінде із қалдыруын оның траекориясы екені және траекторияның формасына қарай түзу сызықты және қисық сызықты деп екіге бөлінетіні белгілі болды. Материялдық нүкте қозғалысын траекториямен беттестіре сызсақ (1.1-сурет), AB траектория ұзындығын материялдық нүктенің **жүрген жолы** деп атайды. Оны S әрпімен белгілейді, жүрілген жол скаляр шама $\Delta S = \Delta S(t)$



1.1-сурет

$\Delta\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_0$ -бастапқы моменттен соңғы уақыт мезетіне дейінгі ара қашықтық $\Delta\vec{r}$, **орын ауыстыру** деп аталады. Ол – векторлық шама. Егер траектория түзу сызықты болса, онда **жүрілген жол** мен **орын ауыстыру беттеседі.** Дене түзу бойымен қозғалса**, қозғалыс түзу сызықты** деп аталады.

Егер қозғалған дене кез-келген өзара тең уақыт аралығында бірдей жол жүрсе, ондай қозғалысты **бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс** деп атайды. Қозғалыстардың бір-бірінен айырмашылығы болады, өйткені әр түрлі дене бірдей уақыт аралығында түрліше жол жүруі мүмкін. **Жылдамдық** деп орын ауыстыру векторының уақыт бойынша алынған туындысына тең және траекторияға берілген нүктеде жүргізілген жанамамен бағыттас векторды айтады. Яғни дене берілген уақыт аралығында неғұрлым көп жол жүрсе, ол шама соғұрлым үлкен болады. Сонымен, бірқалыпты қозғалыстың **жылдамдығы** жүрілген жолға тура пропорционал, ал сол жолды жүруге кеткен уақытқа кері пропорционал: өлшем бірлігі $1 м/с$ **,**

$$\vartheta = \frac{S}{t} \quad . (1.2)$$

Біқалыпсыз қисық сызықты қозғалыс. Айнымалы қозғалыс кезінде бірдей уақыт аралығында материалдық нүктенің жүрген жолдары бірдей болмайды. Мұндай жағдайда қозғалыстың **орташа жылдамдығы** деген ұғым енгізуіміз керек. Орташа жылдамдық векторы деп нүктенің радиус векторының өсімшесінің осы уақыт аралығына қатынасын айтамыз

$$\langle \vec{\vartheta} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (1.3)$$

Материалдық нүктенің берілген уақыт мезетіндегі қозғалысын лездік жылдамдық арқылы сипаттайды. Лездік жылдамдық Δt уақыт аралығы шексіз кемігендегі орташа жылдамдық ұмтылатын шекке тең

$$\vec{\vartheta} = \lim_{\Delta t \to 0} \langle \vec{\vartheta} \rangle = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.4)$$

Жылдамдық деп орын ауыстыру векторының уақыт бойынша алынған туындысына тең және траекторияға берілге нүктеге жүргізілген жанамамен бағыттас векторды айтады. Δt уақыт аралығы азайған сайын ΔS жүрілген жолы $\Delta \vec{r}$ орын ауыстыруға жақындап беттеседі.

Сонда уақыттың кез-келген мезетіндегі қозғалыс жылдамдығы деп, жүрілген жолдың уақыт бойынша алынған бірінші ретті туындысын айтамыз

$$\vec{\vartheta} = \frac{dS}{dt} \quad (1.5)$$

Бұдан $dS = \vartheta dt$. t- дан $t + \Delta t$ шектерінде интегралдап жүрілген жолдың ұзындығын анықтаймыз

$$S = \int_{t}^{t+\Delta t} \vartheta dt \qquad (1.6)$$

Бірқалыпсыз қозғалыс кезінде біз уақыт өтуіне байланысты жылдамдықтың қалай өзгеретіндігін қарастырамыз. Егер қозғалыс жылдамдығы ұдайы артып отырса, үдемелі қозғалыс деп, егер жылдамдығы ұдайы кеміп отырса, онда кемімелі қозғалыс деп атайды. Олай болса уақытқа байланысты жылдамдықтың қаншалықты тез өзгеретіндігін сипаттайтын **үдеу** деген физикалық шаманы енгіземіз. **Бірқалыпсыз қозғалыстың үдеуі** дегеніміз жылдамдықтың өсімшесіне тура пропорционал және осы өсімше пайда болған уақыт өсімшесіне кері пропорционал шама

$$a = \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}. \qquad (1.7)$$

Бұл жағдайда қозғалыс айнымалы болғандықтан жылдамдық өсімшесінің өзгеруіне сәйкес үдеу де өзгерісте болады, олай болса **орташа үдеу** деген ұғым енгізуге тура келеді: $\langle a \rangle = \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}$. Орташа үдеу алынып отырған Δt уақыт аралығы шексіз кемігенде, сол орташа үдеудің ұмтылатын шегін лездік үдеу деп атайды

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \langle \vec{a} \rangle = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{d\vec{\vartheta}}{dt}. \qquad (1.8)$$

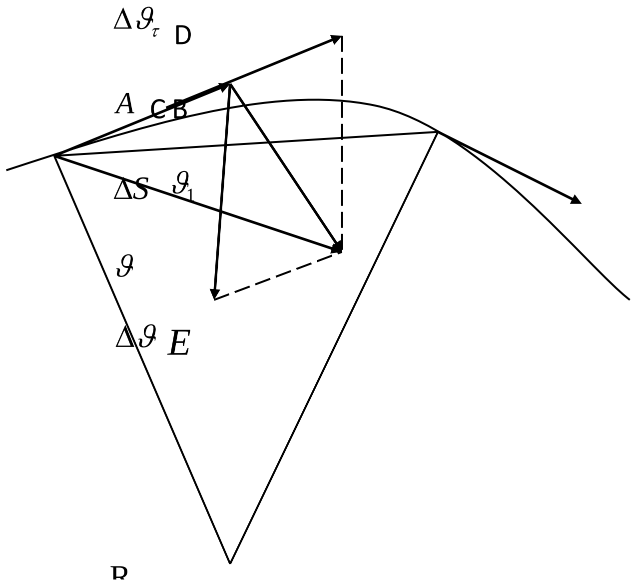
Демек, үдеу шама жағынан жылдамдықтың уақыт бойынша алынған бірінші ретті туындысы, ал жүрілген жолдың уақыт бойынша алынған екінші ретті туындысына тең

$$a = \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dS}{dt}\right) = \frac{d^2S}{dt^2}. \tag{1.9}$$

Үдеу қозғалыс жылдамдығын саны жағынан да, бағыты жағынан да сипаттайды. Сондықтан ол векторлық шама, өлшем бірлігі: $a = 1м/c^2$. Бастапқы уақыт мезетінде қозғалыс жылдамдығы ϑ_0, ал t уақыттан кейін ϑ_t болсын, онда қозғалыс үдеуі $a = \frac{\vartheta_t - \vartheta_0}{t}$ болады. Қозғалыстың кез-келген уақыт мезетіндегі жылдамдығы: $\vartheta_t = \vartheta_0 + at$. Олай болса бірқалыпты айнымалы қозғалыс теңдеуін шығарып алуға болады

$$S = \int_0^t \vartheta_t dt = \int_0^t (\vartheta_0 + at)dt = \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ яғни } S = \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2} \tag{1.10}$$

Дененің қисық сызық бойымен қозғалысын қарастырайық (1.2- сурет). Бастапқы t уақыт мезетіеде A нүктесінің жылдамдығы $\vec{\vartheta}$ болсын. Қозғалыстағы нүкте Δt уақытта B нүктесіне көшіп, $\vec{\vartheta}$ жылдамдығынан бағыты жағынан да, модулы жағынан да өзгеше $\vec{\vartheta}_1$ жылдамдыққа ие болады: $\vec{\vartheta}_1 = \vec{\vartheta} + \Delta\vec{\vartheta}$. Енді $\vec{\vartheta}_1$ векторын A нүктесіне көшіріп, $\Delta\vec{\vartheta}$ табамыз. $\Delta\vec{\vartheta}$ векторын екі құраушыға жіктеуге болады. Ол үшін A нүктесінен жылдамдық бағытымен бағыттас, модулы жағынан ϑ_1 векторына тең $\vec{AD}$ векторын жүргіземіз. Бұдан $\vec{CD}$ векторы шамасы жағынан $\Delta\vartheta_\tau$-ға тең, Δt уақыт аралығында жылдамдық өзгерісін модулы жағынан сипаттайды: $\Delta\vartheta_\tau = \vartheta_1 - \vartheta$. Екінші құраушы вектор $\Delta\vec{\vartheta} - \Delta\vec{\vartheta}_n$, Δt уақыт аралығында жылдамдық өзгерісін бағыты жағынан сипаттайды.



1.2-сурет

Үдеудің тангенциал құраушысы

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vartheta_\tau}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{d\vartheta}{dt}\,. \tag{1.11}$$

Яғни жылдамдық модулынан уақыт бойынша алынған бірінші ретті туындыға тең, жанамаға бағыттас жылдамдықтың өзгеріс шапшаңдығын модулы жағынан сипаттайды.

Енді үдеудің екінші құраушысын табайық. A нүктесі B нүктесіне орын ауыстырып, ΔS доғасына тең элементар жол жүреді. Δt уақыт аралығы өте аз болғандықтан ΔS доғасының AB хордасынан айырмашылығы аз болады.

Онда AOB және EAD үшбұрыштарының ұқсастығынан $\frac{\Delta\vartheta_n}{AB}=\frac{\vartheta_1}{R}$ шығады.

Ал $AB=\vartheta\Delta t$, онда $\frac{\Delta\vartheta_n}{\Delta t}=\frac{\vartheta\vartheta_1}{R}$. $\Delta t\to 0$ шегінен, $\vartheta_1\to\vartheta$ аламыз. EAD бұрышы нольге ұмтылады, себебі EAD үшбұрышы тең қабырғалы. $\vec{\vartheta}$ мен $\Delta\vec{\vartheta}_n$ векторының арасындағы ADE бұрышы тік бұрышқа ұмтылады.

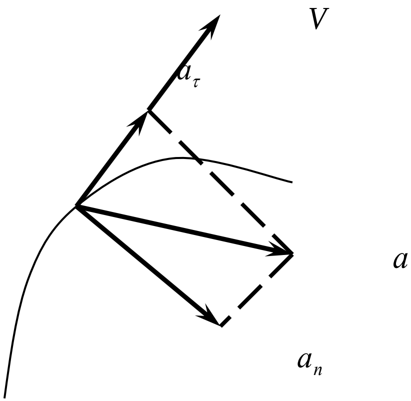
Бұдан $\Delta t\to 0$, $\vec{\vartheta}$ және $\Delta\vec{\vartheta}_n$ векторлары өзара перпендикуляр болады. Жылдамдық векторы $\vec{\vartheta}$ қозғалыс траекториясына жанамаға бағытталғандықтан, $\Delta\vec{\vartheta}_n$ векторы жанамаға перпендикуляр бағытталады да, жылдамдықтың бағыты бойынша өзгерісін сипаттайды.

Үдеудің екінші құраушысы

$$a_n=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vartheta_n}{\Delta t}=\frac{\vartheta^2}{R}. \qquad (1.12)$$

Үдеудің нормаль құраушысы деп аталады және қозғалыс траекториясының радиус бойымен центріне бағытталады (сондықтан оны центрге тартқыш үдеу деп те атаймыз).

Дененің толық үдеуі тангенциаль және нормаль құраушылардың геометриялық қосындысынан тұрады $\vec{a}=\frac{d\vec{\vartheta}}{dt}=\vec{a}_\tau+\vec{a}_n$ (1.3-сурет)



1.3-сурет

Толық үдеудің модулы мынаған тең

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 + \left(\frac{\vartheta^2}{R}\right)^2} \quad (1.13)$$

Тангенциал және нормаль құраушыларына байланысты үдеудің қозғалысын былай сипаттауға болады:

1) $a_\tau = 0, a_n = 0$ – бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс;

2) $a_\tau = const, a_n = 0$ – бірқалыпты айнымалы қозғалыс;

3) $a_\tau = f(t), a_n = const$ – үдеуі айнымалы түзу сызықты қозғалыс;

4) $a_\tau = 0, a_n = const$ – шеңбер бойымен қозғалыс;

5) $a_\tau = 0, a_n \neq 0$ – бірқалыпты қисық сызықты қозғалыс;

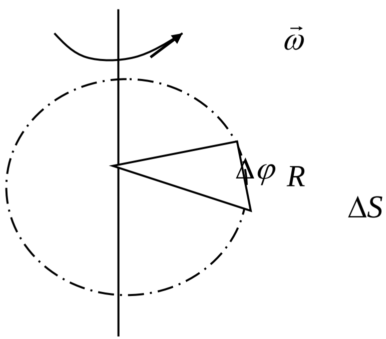
6) $a_\tau = const, a_n \neq 0$ – қисық сызықты айнымалы қозғалыс;

7) $a_\tau = f(t), a_n \neq 0$ –үдеуі айнымалы қисық сызықты қозғалыс.

Қозғалыс кезінде дененің барлық нүктелері шеңберлер сызатын және олардың центрлері айналыс осі деп аталатын бір түзудің бойында жататын қозғалысты айналмалы қозғалыс деп атайды. Айналмалы қозғалысты қарастырғанда бұрыштық жылдамдық және бұрыштық үдеу ұғымдарын енгіземіз.

Материалдық нүкте радиусы R шеңбер бойымен қозғалып, Δt уақыт мезетінде $\Delta\varphi$ бұрышына бұрылсын (1.4-сурет). Бұрыштық жылдамдық ω деп, дененің бұрылу бұрышынан уақыт бойынша алынған бірінші ретті туындысына тең физикалық векторлық шаманы айтады

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (1.14)$$



1.4-сурет

Бұрыштық жылдамдықтың өлшем бірлігі: $\omega = 1 рад/с$. Сызықтық жылдамдық пен бұрыштық жылдамдықтың арасында мынадай байланыс бар

$$\vartheta = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R \cdot \omega, \text{ яғни } \vartheta = \omega \cdot R \quad (1.15)$$

Бұрыштық жылдамдықтың бағыты оң бұрғанда ережесімен анықталады. Нүктенің шеңбер бойымен толық бір айналым жасауға қажетті уақытын период деп атайды және T әріпімен белгілейді. Нүктенің уақыт бірлігі ішіндегі жасайтын айналым саны периодқа кері шама жиілік деп аталады $n = \frac{1}{T}$. Нүкте шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалып, бір периодқа тең уақыт аралығында $(\Delta t = T)$ толық бір айналым $(\Delta\varphi = 2\pi)$ жасайды, яғни $\Delta S = 2\pi \cdot R$-ға орын ауыстырады. Осыдан $\vartheta = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi \cdot R \cdot n$. Екі қатынасты салыстырудан алатынымыз

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot n \quad (1.16)$$

Бірлік уақыт ішінде бұрыштық жылдамдықтың өзгерісін сипаттайтын шаманы бұрыштық үдеу ε деп атап, оны математикалық түрде былай жазады: $\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$. Айналыс бір қалыпты болмаған кезде берілген уақыт мезетіндегі бұрыштық үдеу мынаған тең

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.17)$$

Егер $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ екендігін ескерсек, онда $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ болады, яғни айналмалы қозғалыстың бұрыштық үдеуі бұрыштық жылдамдықтан уақыт бойынша алынған бірінші ретті,ал бұрылу бұрышының екінші ретті туындысына тең болады. Бұрыштық үдеу векторлық шама оның бағыты бұрыштық үдеудің бағытымен бағыттас, өлшем бірлігі $\varepsilon = 1 рад/с^2$ болады.

Егер қозғалыс үдемелі болса, $\vec{\varepsilon}$ векторы мен $\vec{\omega}$ векторы бағыттас болады, егер кемімелі болса $\vec{\varepsilon}$ векторы мен $\vec{\omega}$ қарама-қарсы бағытта болады (1.4.а-сурет).

Материалдық нүктенің ілгерімелі және айналмалы қозғалыстарын сипаттайтын шамалар өзара мынадай қатынаста болады:

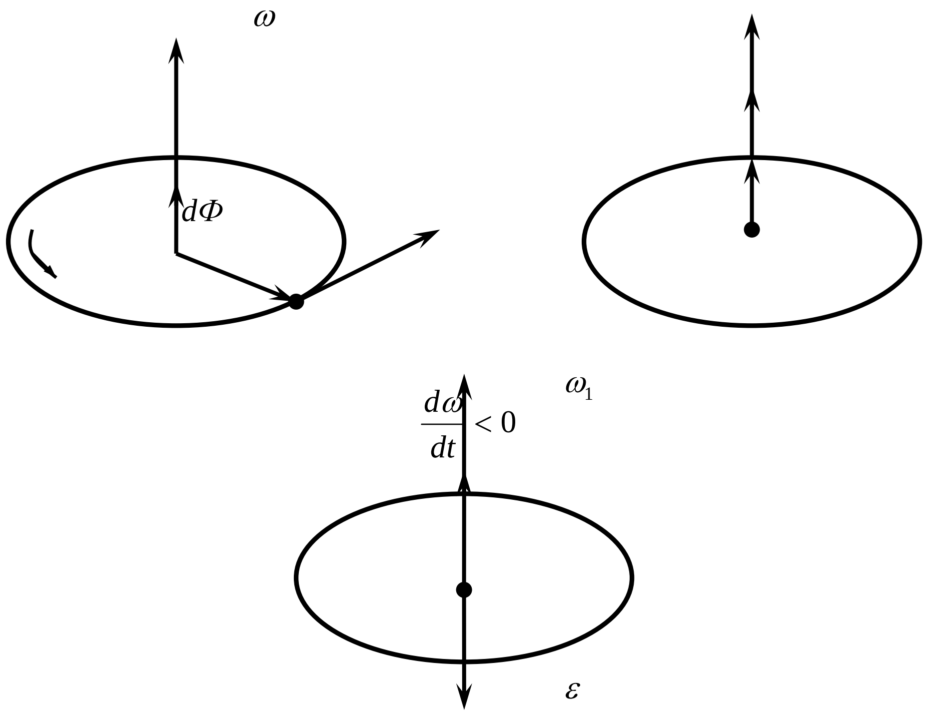
1) $a_\tau = \frac{d\vartheta}{dt}$, бұдан $a_\tau = \frac{d(R\omega)}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon$ немесе $a_\tau = R\varepsilon$

2) $a_n = \frac{\vartheta^2}{R} = \frac{R^2\omega^2}{R} = R\omega^2$, немесе $a_n = R\omega^2$.

Айналмалы бірқалыпсыз қозғалыс кезіндегі қозғалыс теңдеулері

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t\,,\ \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (1.18)$$

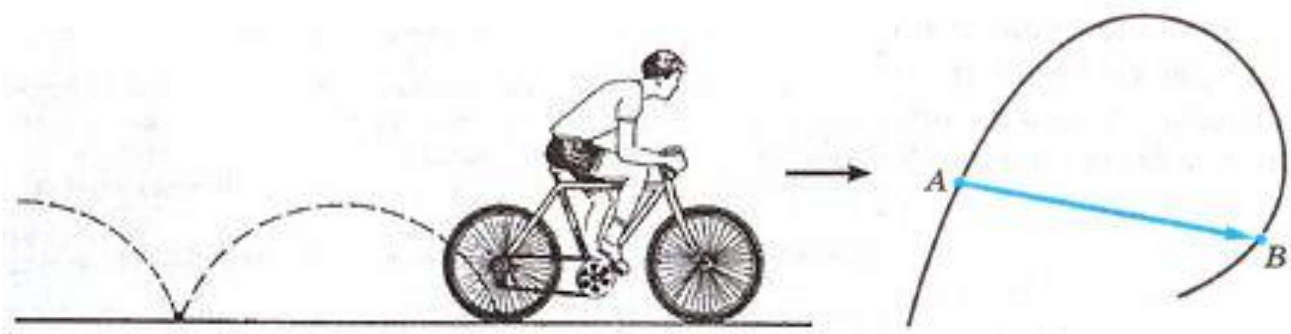
мұндағы ω_0 – бастапқы бұрыштық үдеу.



(1.5 -сурет)

Қисық сызықты қозғалыс

Дененің **қисық** траектория бойымен қозғалысы **қисық сызықты қозғалыс** деп аталады. Дененің қисық сызықты қозғалысы, оның түзу сызықты қозғалысы кезіндегі **орын ауыстыру**, **жылдамдық** және **үдеу** сияқты кинематикалық шамалар арқылы сипатталады.



1.6-сурет

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы, Жердің Күнді айнала қозғалысы кисықсызықты болып табылады. Велосипед немесе автомобиль доңғалақтарындағы нүктелер де кисық сызық бойымен қозғалады, т.с.с.

Мысалы, дене қайсыбір қисықсызықты траекторияның бойымен, оның A нүктесінен B нүктесіне қарай қозғалады делік (1.6-сурет).

Сонда дененің жүрген жолы AB доғасының ұзындығына тең болады. Ал хорда бойымен бағытталған AB векторы дененің орын ауыстыруын көрсетеді.

Түзу сызықты қозғалыс кезінде жылдамдық векторының бағыты әркашан орын ауыстыру векторының бағытымен бағыттас болатыны белгілі. Ал біз қарастырып отырған жағдайда, дененің жылдамдық векторы AB орын ауыстыру векторының бойымен бағытталған деп айта алмаймыз.

Оның бағыты бұл жағдайда Δt уақыт интервалына тәуелді болады.

Δt уақыт интервалы азайған сайын дененің бастапқы A нүктесінен орын ауыстыруының шамасы ғана өзгеріп қоймай, олардың бағыттары да өзгеретінін көруге болады.

1.7-сурет

Δt неғұрлым азайған сайын S_1, S_2 және т.с.с. орын ауыстыру векторлары траекторияның берілген А нүктесіне жүргізілген жанаманың бағытына соғұрлым жақындай түседі. Δt мейлінше аз болған кезде орын ауыстыру векторының бағыты жанаманың бағытымен сәйкес келеді. Бұдан шығатын қорытынды: дененің қисық сызықты траекторияның кез келген нүктесіндегі қозғалыс жылдамдығы траекторияның осы нүктесіне жүргізілген жанаманың бойымен бағытталады.

Қисық сызықты қозғалыс кезіндегі дене жылдамдығы шынында да траекторияға жанама бойымен бағытталатынына қайрақ тастан шыққан ұшкын (1.6-сурет), автомобиль доңғалақтарынан ұшқан саз балшық дәлел бола алады (1.7-сурет).

Алайда кисық сызықты қозғалыстың траекториясына жүргізілген жанаманың бағыты нүктеден-нүктеге өткен сайын үздіксіз өзгеріп отырады. Бұдан қисык сызықты қозғалыс жылдамдығының бағыты бір уақыт мезетінен екінші уақыт мезетіне еткен сайын үнемі өзгеріп отыратыны шығады. Олай болса, **қисық сызықты қозғалыс** әрқашан **айнымалы қозғалысына** жатады. Егер қозғалыс жылдамдығының модулі тұрақты болса, мұндай қозғалыс **бірқалыпты қисықсызықты қозғалыс** деп аталады.

Қисык сызықты қозғалыстың қарапайым түріне материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы жатады. Өйткені кез келген қисық сызықты қозғалысты шеңбер бойымен, дәлірек айтқанда, шеңбердің бөліктері бойымен қозғалысы деп карастыруға болады.

Шеңбер бойындағы бірқалыпты қозғалыста нүкте белгілі бір уақыт аралығында өзінің бастапқы орнына ауық-ауық қайта оралып отырады. Сондықтан нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын сипаттау үшін **айналу периоды** және **айналу жиілігі** деп аталатын шамалар енгізіледі. Егер дене белгілі уақыт ішінде толық бір айналып шығатын болса, онда оны период деп атайды.