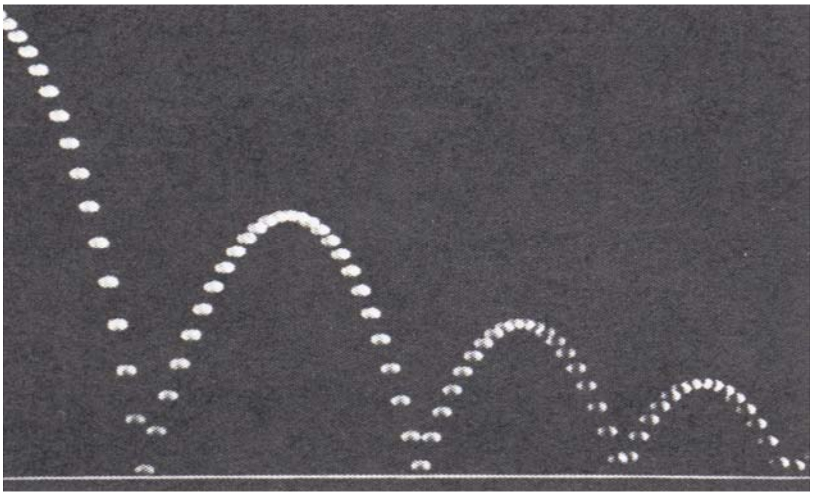


I. 3.EĞRİSEL HAREKET

I.3.01. YER DEĞİŞTİRME

Kinematik-1 'de hızın doğrultusunun yörünge doğrultusunda olduğu doğrusal hareket incelendi. Hızın bu harekette doğrultusu sabit kalıyor yalnızca büyüklüğü değişiyordu. Kinematikte zamanın fonksiyonu olarak bir maddesel noktanın yerinin de belirlemesi istenebilir. Hızın değeri sadece maddesel noktanın zaman birimi içinde ne kadar çabuk hareket ettiğini belirtir ve onun hareket doğrultusu hakkında hiç bir bilgi vermez. Bu nedenle hareketli maddesel noktanın, hareket doğrultusunu belirlemek amacıyla, hız ivmenin vektörel olarak ele alınmasıyla bunların doğrultu ve yönlerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu konunun incelenmesinde, uzaysal koordinat dik koordinat sistemi yerine, düzlemsel iki boyutlu dik koordinat sisteminin kullanılması daha uygun olacaktır.

Zamanın fonksiyonu olarak yer vektörünün uzaysal dik koordinat sistemindeki yazılımı,

$$\mathbf{r} = \mathbf{i}\ x + \mathbf{j}\ y + \mathbf{k}\ z \qquad (01)$$

dır.

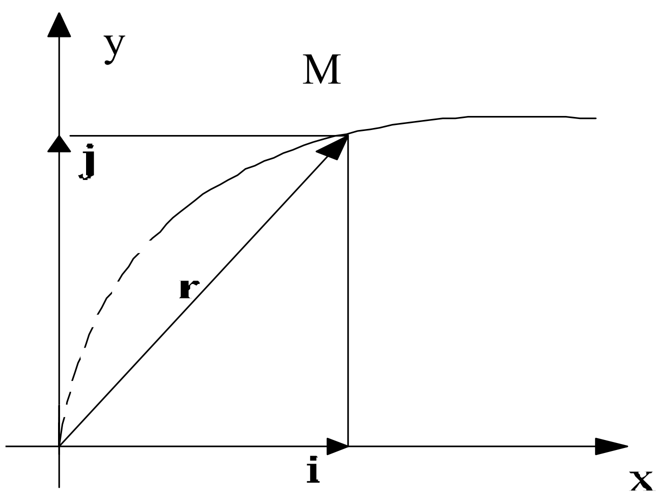
x,y ve z hareketli maddesel noktanın t anındaki koordinatların **i**, **j** ve **k** birim vektörlerdir.

Yer değiştirme vektörü dik koordinat sisteminde düzlemsel olarak,

$$\mathbf{r} = \mathbf{i}\ x + \mathbf{j}\ y \qquad (02)$$

dır.

Düzlemsel hareketli noktanın bir eğri yörüngesi üzerindeki bir t anındaki konumu ve sonra bunun (t+Δt) anındaki diğer konumu saptanır. Bu durumda hareketli maddesel noktanın koordinat sisteminin başlangıç noktasına göre olan yer değiştirmesi **r** *yer değiştirme* vektörüyle belirtilmiş olur (Şekil 01).



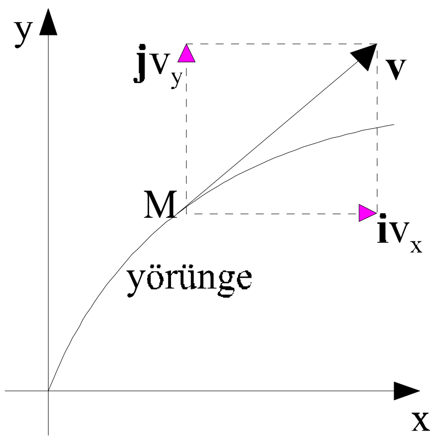
Şekil 01 . Dik koordinat sisteminde yer değiştirme vektörü.

I.3.02. HIZ VE İVME

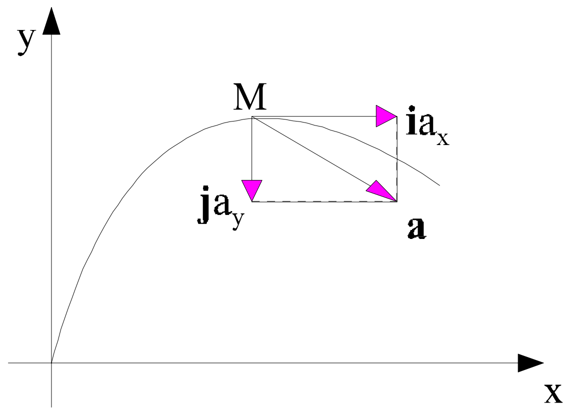
Yer değiştirme vektörü **r**, hız **v** ve ivme **a** vektörleri, Bölüm I.2. açıklandığı gibi birbirleriyle ilişkilidirler buna göre düzlemsel harekette hız (Şekil 02),

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{i}\, v_x + \mathbf{j}\, v_y \qquad (03)$$

ve ivme (Şekil 03),



Şekil 02..Dik koordinatlarda hız vektörü



Şekil 03.Dik koordinatlarda ivme vektörü

$$\mathbf{a} = \mathbf{i}\,\frac{dv_x}{dt} + \mathbf{j}\,\frac{dv_y}{dt}$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} \quad \text{ve} \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}$$

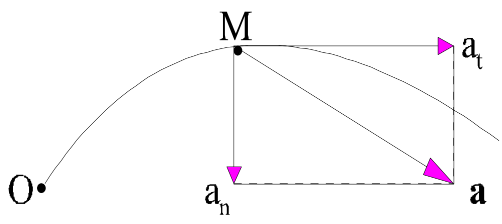
ivme vektörünün skaler büyüklükleri olmak üzere,

$$\mathbf{a} = \mathbf{i}\, a_x + \mathbf{j}\, a_y \qquad (04)$$

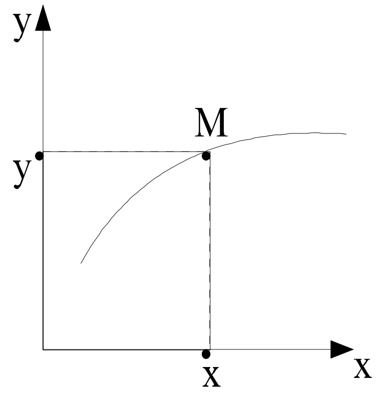
bağıntılarıyla belirlenir.

I.3.03. TEĞET İVME NORMAL İVME

Hareketin *geometrik tanımına göre,* eğrisel hareket yapan bir maddesel noktanın herhangi bir M noktasındaki ivmesi, biri M noktasına teğet diğeri de normal olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Hareketlinin yörüngesi düzlemsel olduğunda bu iki ivme bileşeni de, ivmeyle aynı düzlem içinde olurlar. İvmenin teğet bileşenine (a_t) *teğet ivme* ve normal bileşeninde (a_n) *normal ivme* (merkezcil ivme) adı verilir (Şekil 04).



Şekil 04.Eğrisel harekette ivme bileşenleri.



Şekil 05. Maddesel noktanın koordinatları

Bu ivmelerin yönleri, yayların artma yönünde olduğu zaman pozitif alınır. İvmenin teğet ve normal bileşenlerinin değerleri,

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

$$a_n = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{1}{\rho}\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = \frac{1}{\rho}v^2$$

dir. Burada ρ eğrinin M noktasındaki eğrilik yarıçapıdır, örnek olarak yörünge dairesel ise eğrilik yarıçapı ρ, dairenin yarıçapı r ' ye eşit olur. Şekil 04 'ten ivme değeri için,

$$a = a_t^2 + a_n^2 = \left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2 \qquad (05)$$

elde edilir.

Hareketin *analitik tanımına* göre, hareketli M maddesel noktasının, iki boyutlu koordinat sistemindeki, x, y koordinatları zamanın fonksiyonu olarak, $x=f_1.(t)$ ve $y=f_2.(t)$ olarak tanımladığında, M noktasının bir t anındaki hız ve ivme vektörlerinin eksenler üzerindeki iz düşümleri sırasıyla,

$$v_x = \frac{dx}{dt} \qquad v_y = \frac{dy}{dt} \qquad (06)$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \qquad (07)$$

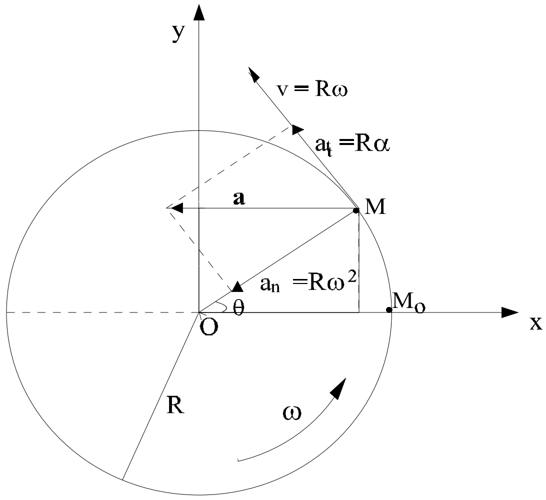
olur (Şekil.05).

I.3.04. DAİRESEL HAREKET

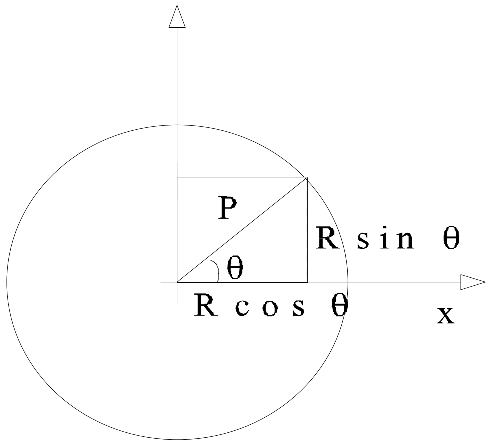
Yörüngesi R yarıçaplı bir daire üzerinde olan maddesel bir noktanın hareketine *dairesel hareket* (dönme hareketi) denir. Bir cismi oluşturan maddesel noktalar,sabit bir eksen etrafında, değişik yarıçaplı dairesel yörüngeler üzerinde hareket ediyorsa,buna *dönme hareketi* denir.
Katı bir cismim tüm maddesel noktaları aynı hız ve aynı ivmeye sahip olduklarında bu harekete *ötelenme* hareketi adı verilir. Bir uçağın pervanesi kendi etrafında dönerken dairesel hareket yaptığı gibi uçağın ötelenmesi nedeniylede aynı zamanda ötelenme hareketi yapar.

Genelde bir cismin hareketi, biri cismin ağırlık merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme hareketi, diğeri de ağırlık merkezinin ötelenme hareketi olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Ötelenme hareketlerinde, *çizgisel hız* ve çizgisel *ivme* büyüklükleri olduğu gibi dairesel harekette de, *açısal ötelenme*, *açısal hız* ve *açısal ivme* büyüklükleri vardır.

Dairesel hareket geometrik ve analitik olmak üzere iki türlü incelenebilir ;
Geometrik inceleme; Şekil 06'da, t=0 anında hareketin başlangıcı M_O ve okun gösterdiği dönme yönü de pozitif olsun, buna göre herhangi bir t anında maddesel noktanın konumu θ açısı ile belirlenir.



Şekil 06.Dairesel hareketin geometrik incelenmesi



Şekil 07.Dairesel hareketin Analitik incelenmesi.

Böylece,

$$s=f(t)=R\,\theta$$

olur. θ açısı t zamanının bir fonksiyonudur. Yörünge denkleminden, v teğet hızı ve ω *açısal hızı*

$$v=\frac{ds}{dt}=R\frac{d\theta}{dt}$$

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

dır ve iki bağıntıdan,

$$v=R.\omega \qquad (08)$$

dır. İvmenin bileşenleri de, *teğet ivme* ,

$$a_t=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2s}{dt^2}=R\frac{d^2\theta}{dt^2}=R\frac{d\omega}{dt} \qquad (09)$$

$$a_t=R\frac{d\omega}{dt}=R\alpha$$

burada α = dω/dt *açısal ivme* denir. *Normal ivme*, eğrilik yarıçapı ρ=R olacağından,

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 = v\omega \qquad (10)$$

dir. Böylece ivmenin değeri ,

$$a^2 = a_t^2 + a_n^2 = R^2\alpha^2 + R^2\omega^4 \qquad (11)$$

olur ve bağıntılardaki açısal ivme α=dω/dt nin birimi **rad/s²** 'dir.

Analitik inceleme; Yarıçapı R olan bir daire denklemi $x^2+y^2=R^2$ dir. Dik koordinat sisteminde x=Rcosθ ve y=R sinθ ile belirlenir(Şekil 07). Burada θ=f(t) ile tanımlanacağından,hızın koordinat eksenleri üzerindeki bileşenleri,

$$v_x = \frac{dx}{dt} = -R\sin\theta\frac{d\theta}{dt} = -y\omega$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = R\cos\theta\frac{d\theta}{dt} = x\omega$$

ve hız değeri de,

$$v^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dt}\right)^2 = R\omega^2 \quad \text{ve} \quad v = R\omega$$

olacaktır. Diğer taraftan ivmenin bileşenleri,

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = -\omega\frac{dy}{dt} - y\frac{d\omega}{dt} = -\omega^2 x - \alpha y$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv_y}{dt} = \omega\frac{dx}{dt} + x\frac{d\omega}{dt} = -\omega^2 y + \alpha x$$

ve ivme değeri de,

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 = R^2\alpha^2 + R^2\omega^4$$

olarak bulunur.

Sonuçlardan görüldüğü gibi hareketin geometrik veya analitik olarak incelenmesi sonunda aynı fiziksel bağıntılar elde edilmektedir.

I.3.05. DÜZGÜN DEĞİŞEN (SABİT İVMELİ) DÜZLEMSEL HAREKET

Adından da belli olduğu gibi iki boyutlu (düzlemsel) dik koordinat sistemindeki hareketli maddesel noktanın **a** ivmesinin büyüklüğü sabittir ve yönünde de değişme olmaz. Böylece **a** ivmesinin de a_x ve a_y bileşenlerinin değeri sabit olacaktır. Buna göre sabit ivmeli hareketin genel bağıntıları,

$$a_x = \text{sabit} \qquad \text{ve} \qquad a_y = \text{sabit}$$

dır. Bu durumda parçacık düzlemdeki eğrisel yörüngede hareket ederken, ivmenin bileşenlerinden biri örneğin a_x sıfır olduğu halde v_x bileşeni sabit değere sahiptir. Hava direncinin ihmal edildiği, y ekseni boyunca düşey olarak etkiyen yerçekimi ivmesi etkisindeki bir maddesel noktanın hareketi, daha açık olarak eğik atış hareketi sabit ivmeli düzlemsel harekete güzel bir örnektir. Bölüm I.2.de verilen bir boyuttaki ötelenme bağıntılarından esinlenerek; düzlemsel sabit ivmeli bir hareketin, vektörel konum, vektörel hız ve ivmesinin x ve y eksenlerindeki bileşenleri ele alınarak, onun x ve y eksenine ait hareket bağıntıları da aşağıdaki gibi,

Nicelik x boyunca hareket denklemleri y boyunca hareket denklemleri

Hız	$v_x=v_{ox}+a_x$	(a)	$v_y= v_{oy} +a_y.t$	(a') (12)
Ötelenme	$x=x_0+1/2\ (v_{ox} +v_x)\ t$	(b)	$y =y_0+1/2.(v_{0y}+v_y).t$	(b') (13)
Ötelenme	$x = x_0+v_{0x}.t+1/2.a_x.t^2$	(c)	$y=y_0+v_{0y}.t+1/2.a_y.t^2$	(c') (14)
Hız	$v_x^2 = v_{0x}^2 +2.a_x.(x - x_0)$	(d)	$v_y^2=v_{oy}^2 +2.a_y.(y - y_0)$	(d') (15)

elde edilir. Son bağıntılardan hız vektörü için,

$$\mathbf{v}=\mathbf{i}\ x+\mathbf{j}\ y=\mathbf{i}\ (v_{0x}+a_x\ t)+\mathbf{j}\ (v_{0y}+a_y\ t) \qquad (16)$$

ve ötelenme konum vektörü için,

$$\mathbf{r}=\mathbf{r_0} + \mathbf{v_0}\ t + \frac{1}{2}\mathbf{a}\ t^2 \qquad (17)$$

yazılabilir.

I.3.06. DÜZGÜN DEĞİŞEN DAİRESEL HAREKET.

Açısal hızın birin zaman aralıklarında eşit olarak değiştiği dairesel harekete, *düzgün değişen dairesel hareket* denir. Burada açısal ivme, $\alpha = d\omega/dt$ = sabit 'tir. Bölüm I.2 'deki bir boyuttaki düzgün değişen harekete ait bağıntılar burada düzgün değişen dairesel harekete de, anlam bakımından uygulanabilirler.

Bir boyutlu hareketteki tüm işlemler, açısal hareket içinde geçerlidirler. Bir boyutlu hareketteki lineer apsis x yerine, açısal apsis θ, lineer hız v yerine açısal hız ω ve lineer ivme a yerine açısal ivme α değerleri konularak, düzgün değişen dairesel hareketin, hareket bağıntıları elde edilir. Bu bağıntılar karşılaştırmalı olarak,

Hız	$v = \frac{dx}{dt}$ veya $x = vt$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$ veya $\theta = \omega t$
İvme	$a = \frac{dv}{dt}$ veya $v = at$	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ veya $\omega = \alpha t$
Ötelenme	$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
İlk hızlı hız	$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
Zamansız hız	$v^2 = v_0^2 + 2ax$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

I.3.07. DÜZGÜN DAİRESEL HAREKET. PERYOT VE FREKANS

Hızın birim zamandaki değişimi bir fiziksel büyüklük olan ivmenin nedenidir. Serbest düşme hareketinde hızın büyüklüğü değiştiği halde yönü değişmez ve yer çekim ivmesi değerce ve doğrultuca sabittir. Yatay atışlarda, bir futbol topunun veya tenis topunun eğrisel hareketinde olduğu gibi ivme değerce ve doğrultuca sabittir.

Düzgün dairesel harekette, hız vektörünün büyüklüğü sabit kaldığı halde doğrultusu ve yönü değişir. Dairesel harekette hızın bu şekilde yönce ve doğrultuca değişimi normal ivmenin doğmasına neden olur.

Dairesel harekette açısal hız, ω = sabit 'tir ve bu durumda açısal ivme $\alpha = d\omega/dt = 0$ olur. Daha önceki dairesel harekete ait bağıntılardan, düzgün dairesel hareketin, hareket bağıntıları,

$$\omega = \text{sabit}, \qquad \alpha = \frac{d\omega}{dt} = 0$$
$$v = R\omega, \qquad a_t = 0, \qquad a_n = R\omega^2 = v\omega = \frac{v^2}{R} \tag{18}$$

olur. ω=sabit olduğunda açısal yer değiştirme,

$$\theta = \theta_0 + \omega t \tag{19}$$

dır. Dairesel hareketin yörüngesinin çevresi 2πR, hareketin hızı v=Rω olduğuna göre, maddesel noktanın dairesel yörüngeyi bir tam devri için geçen zaman, (*periyot*),

$$T = \frac{\text{Yol}}{\text{Hız}} = \frac{2\pi R}{\omega R} = \frac{2\pi}{\omega} \tag{20}$$

dır. Bu harekette saniyede devir sayısına *frekans,* f=1/T denir ve frekansın birimi olarak devir/s veya Hz. (hertz) kullanılır. Yukarıdaki bağıntılara periyot ve frekans terimleri iletilince,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi f R, \quad a = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 f^2 R \tag{21}$$

elde edilir.

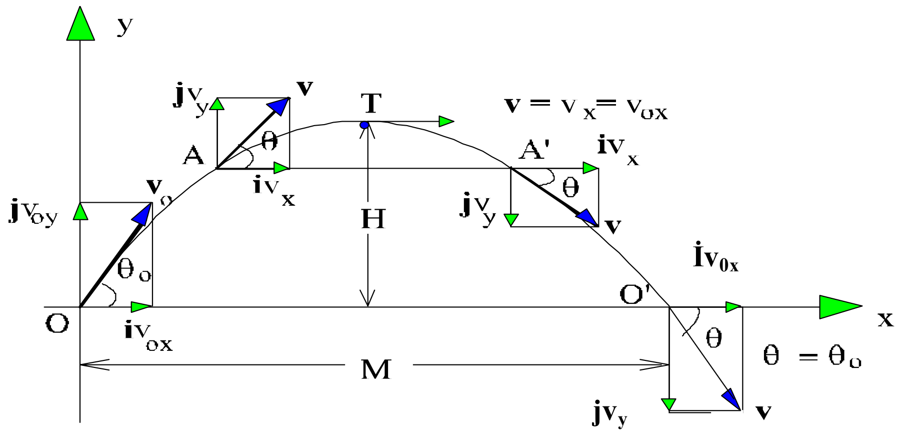
I.3.08. EĞİK ATIŞ, PARABOLİK YÖRÜNGE.

Sabit ivmeli düzlemsel eğri hareketin en belirgin örneği eğik atış hareketidir. Pinpon, tenis ve futbol topunun eğrisel yörüngeli ötelenmesi bir eğik atış hareketidir. Burada maddesel noktanın ötelenmesi inceleneceğinden, hava direncinin etkisi ele alınmayacaktır. Eğik atış hareketinin ivmesi **g** yerküreye dik doğrultulu, aşağı yönlüdür ve bu ivmenin yatay bileşeni yoktur.

Yerkürede iki boyutlu, geleneksel pozitif yönlü bir dik koordinat sistemi seçelim. Bu sistemde, maddesel noktanın ivme bileşenleri, a_x=0 ve a_y= - g olur. Eğik atışın başlangıç noktası koordinat sisteminin başlangıç noktası olarak kabul edilsin ve buradan t=0 anında, bir maddesel nokta $\mathbf{v_O}$ hızı ile ve x ekseni ile θ_0 yapacak şekilde atılmış olsun (Şekil 08). İlk hız vektörünün yatay ve düşey bileşenleri,

$$v_{0x} = v_0.\cos\theta_0 \qquad \text{ve} \qquad v_{0y}=v_0.\sin\theta_0$$

olur. Düzlemsel eğrisel hareketin x (yatay) ve y (düşey) ekseni üzerindeki hareket bağıntıları,



Şekil.08. Eğik atış, Parabolik yörünge

	x-ekseni hareket bağıntıları	y-ekseni hareket bağıntıları
İlk hız	$v_{0x} = v_0 \cos\theta_0$ (a)	$v_{0y} = v_0 \sin\theta_0$ (a') (22)
İvme	$a_x = 0$ (b)	$a_y = -g$ (b') (23)
Hız	$v_x = v_0 \cos\theta_0$ (c)	$v_y = v_0 \sin\theta_0 - gt$ (c') (24)
Ötelenme	$x = v_0 t \cos\theta_0$ (d)	$y = v_0 t \sin\theta_0 - \frac{1}{2} gt^2$ (d') (25)

Bu bağıntılara yörüngenin parametrik bağıntıları denilmektedir. Burada maddesel noktanın hareketi bileşke bir harekettir. Düzlemsel eğri hareket yapan maddesel noktanın hareketinde;

Hareketin yörüngesi (parabolük yörünge); ötelenmeleri veren tablodaki (25) bağıntıları arasında t yok edilirse, maddesel noktanın yörünge bağıntısı elde edilir.

$$y = x\tan\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta_0} \qquad (27)$$

$$y=Ax-Bx^2 \qquad (27^1)$$

Bu bağıntı matematiksel olarak bir parabolü göstermektedir. Bu nedenle bu tür bir hareketin yörüngesine *parabolik yörünge* denir.

Tepe noktası; Maddesel noktanın x eksenine göre en yüksek noktasına *tepe noktası* denilmektedir. Bu nokta, yörüngenin maksimum olduğu ($dy/dx=0$, ve $v_y=dy/dt=0$) noktadır. (24.c') bağıntısında $v_y=0$ olduğunda maddesel noktanın tepe noktasına çıkması için geçen zaman bağıntısı,

$$t_t = \frac{v_0}{g}\sin\theta_0 \qquad (28)$$

bulunur. Bu değer (25.d') bağıntısına iletilirse, tepe noktasının yüksekliğini veren,

$$H = \frac{v_0^2}{2g}\sin^2\theta \qquad (29)$$

bağıntısı bulunur.

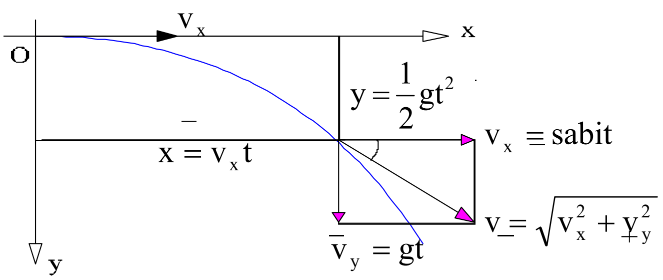
Atış uzaklığı (Menzil); (27) bağıntısında Maddesel noktanın düştüğü noktada y=0 olacağından, (27) bağıntısında y=0 yapılarak, atış uzaklığı veren bağıntı,

$$M = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta$$

olarak elde edilir.

I.3.09. YATAYATIŞ

Şekil 09'da şekildeki gibi yerküreyi referans alan ve seçilmiş yönlü düzlemsel dik koordinat sisteminin başlangıç noktasından bir maddesel nokta t_0=0 anında v_x ilk hızı ile x eksenine paralel olarak (yatay olarak) atılmıştır.



Şekil.09. Yatay atış

Bu harekette yatay ivme (a_x=0) sıfır olup, v_x hız bileşeni tüm hareket botunca sabit olacaktır. Düşey ivmenin doğrultusu yerküreye dik, yönü aşağı doğru ve büyüklüğü g olduğundan herhangi bir t anındaki düşey hız bileşeni (başlangıç düşey hız bileşeni sıfırdır),

$$v_y = g\,t$$

olur. Böylece maddesel noktanın herhangi bir t anındaki hızı,

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

ve doğrultusu,

$$tg\theta = \frac{v_y}{v_x}$$

olacaktır.

Diğer taraftan herhangi bir t anındaki yatay ötelenme ve düşey ötelenme sırasıyla,

$$x = v_x t \qquad \text{ve} \qquad y = \frac{1}{2}gt^2$$

olur. Bu iki bağıntı arasında t yok edilirse, hareketin yörünge bağıntısı,

$$y = \frac{1}{2}\left(\frac{g}{v_x^2}\right)x^2 \qquad (30)$$

olur. (30) bağıntısı da bir parabol bağıntısıdır.

I.3.10. BAĞIL HIZ, BAĞIL İVME.

Hareket konularını incelerken, seçilen bir referans sistemindeki bir koordinat sistemine göre hızların ve ivmelerin toplama işlemlerinin yöntemlerini inceledik. Örnek olarak, aynı yönde giden bir otobüsü geçen bir otodaki insan, kendi otosunun çok yavaş gittiği izlenimine kapılabilir. Gerçekten, otobüsle otonun hızlarını birbirine göre karşılaştırdığımızda bunların birbirine göre geçme hızının çok küçük olduğunu anlarız.
Otobüs 80 km / saat hızla giderken, oto onu 100 km /saat hızla geçiyorsa, otonun, otobüsü geçme hızı (*bağıl hızı*) + 20 km /saat veya otobüsün otoya göre hızı - 20 km /saat olacaktır. Buna göre, oto 20 km/saat hızla ileriye doğru ve otobüsün 20 km /saat hızla geriye doğru gittiği görülür. Eğer bunlar aynı hızlarıyla birbirlerine doğru hareket ediyorlarsa, otonun otobüse göre hızı ve otobüsün otoya göre hızı 80+100=180 km/saat olur.

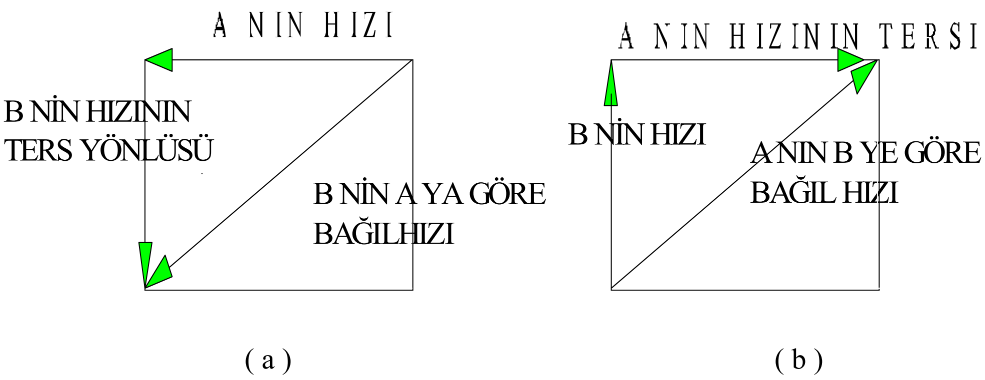
Diğer bir örnek olarak, büyük çarşı mağazalarındaki, döner merdivenin hızı, tabana göre 1,5 m/s ise ve bu merdivende bulunan bir insanda merdiven üzerinde hareket yününde 3 m/s hızla yürürse, insanın mutlak hızı 4,5 m/s olur.

Burada karşımıza iki farklı referans sistemi çıkmaktadır, bunlardan biri insanın yürüdüğü ve hızının tayin edildiği merdivendeki referans sistemi, diğeri de binanın tabanında (yerkürede) bulunan ve merdivenin hızının tayin edildiği referans sistemidir. Bu durumda, bir referans sistemindeki özlemci tarafından hareketli bir maddesel noktanın ölçülen hızı ile bu referans sistemine göre hareket eden ikinci bir referans sisteminde bulunan diğer gözlemci tarafından aynı maddesel noktanın ölçülen hızı arasında bir bağıntının bilinmesine ihtiyaç vardır.

Bu tür çalışmalarda genelde referans sistemlerinden biri olarak, çoğu hareketlerin incelenmesinde sabitliği kabul edilebilir olması nedeniyle yerküre seçilir ve diğer referans sistemi olarak hareketli maddesel noktanın bulunduğu referans sistemi alınır.

Bağıl hızın hesaplanmasındaki kural, ***bağıl hız****; iki maddesel nokta ve hareketli arasındaki uzaklık değer ve doğrultuca değişirse, noktalardan birinin diğerine göre bağıl bir hızı vardır. Bir A* *noktasının bir B noktasına göre bağıl hızını vektörel olarak bulmak için, A nın hızı B nin hızına zıt işaretle eşit olan bir hızla vektörel işleme tabi tutulur, daha açık olarak bu iki hız vektörünün farkı bulunur. Bu durumda farkı veren vektör, A nın B 'ye göre bağıl hızına eşit olur.*

Hareketli iki maddesel noktanın veya hareketlinin ötelenme doğrultuları aynı değilse yukarıdaki tanıma göre bağıl hızın vektörel olarak hesaplanması, paralel kenar uygulamasıyla yapılır (Şekil10.a.b.)

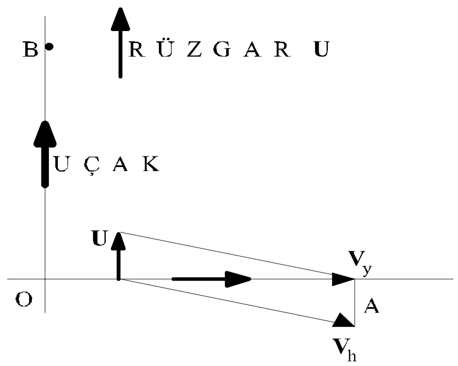


Şekil 10.a,b. Bağıl hız ve bağıl ivmenin paralel kenar kuralına göre gösterimi

Göreli ivme; birbirine göre sabit hızla hareket eden farklı iki referans sisteminde bulunan gözlemciler, referans sistemlerinden birinde bulunan maddesel noktanın hızlarını farklı olarak ölçeceklerdir. Oysa maddesel noktanın hızında olan bir değişme her iki gözlemci içinde aynı olacaktır. Bu nedenle her iki gözlemcide, maddesel noktanın ivmesini aynı ölçerler. Her iki referans sisteminde de ivmenin değeri aynıdır.

Konunun daha iyi anlaşılması yönünden bir örnek daha verelim; havaya göre hızları v_h olan iki uçak bir O noktasından kalkarak birbirlerine dik doğrultularda hareket ediyorlar. Birinci uçak O dan A ya y ekseni boyunca gidiyor ve A da durmadan O ya dönüyor. İkinci uçak x ekseni boyunca O dan B ye gidiyor ve orda durmadan B den O ya dönüyor. Düzgün olarak esen rüzgar U hızında ve doğrultusu OB yönündedir. Bu verilere göre, Birinci uçağının O ya gitme ve dönme hızlarını, ikinci uçağının B ye gitme ve dönme hızlarını bulunuz. Uçakların havaya göre hızı $\mathbf{v_h}$ içinde hareket

etmekte olduğu havaya göre hızına (bağıl) eşittir ve uçakta bulunan hız göstergesinden bu değer bulunur. Rüzgarın yerküreye göre hızı **u** ve uçağın yere göre hızı $\mathbf{v_y}$ dır. (Şekil 11).



Şekil.11. Bağıl hız

Verilere göre ve şekilden,

$$\mathbf{v_y = v_h + u}$$

olur. Şekilden, uçağın A ya gidip dönmesindeki hızın büyüklüğü, $v_y = (v_h^2 - u^2)^{1/2}$ dır. Uçağın B 'ye gitmesindeki (v_g) ve dönmesindeki (v_d)hızları da, $v_g = v_h + u$ ve $v_d = v_h - u$ olacaktır.
Uçakların uçuş rotaları yardımcı pilotlarca düzenlenirken, uçuş kulesinden rüzgarın hızı ve doğrultusu öğrenilir, bu bilgilere göre uçağın ne kadar lık bir hava hızı ile bu yolculuğu yapacağı bilinir.

I.3.11. ÖRNEK PROBLEMLER

1) Yarıçapı 2 m olan bir hareket sağlayan tekerlek normal halde dakikada 80 devirle düzgün dönme hareketi yapıyor. Tekerleğin normal hale gelmesi için 90 s. geçtiği ve bu sırada hızın geçen zamanla orantılı olarak arttığı kabul edilirse, **a-** normal hal hareketinde tekerleğin açısal hızını, teğet hızını ve ivmesini, **b-** tekerleğin normal hale gelmesi süresinde açısal ivmesini ve kaç devir yapacağını hesaplayınız.

Çözüm ; **a-** $f = \frac{1}{T} = \frac{80}{60}$ devir/s. $\Rightarrow$ $\omega = 2\pi f = 2\pi . \frac{80}{60} = 8{,}37$ radyan / s.

dir. Tekerleğin bir kenarındaki bir noktanın teğet hızı,

$$v = R\omega = 2.8{,}33 = 16{,}75 \text{ m/s.}$$

Bu durumda volanın teğet ivmesi sıfır olduğundan, ivmesi normal ivmeye eşit olacağından ,

$$a=a_n=R\omega^2=2.(8,37)^2\cong 140 \text{ m/s}^2.$$

b- Tekerleğin açısal hızı zamanla orantılı olarak arttığından, acısal ivme sabit olacaktır. Böylece

$$\omega=\alpha.t \qquad \text{den,}$$

$$\alpha=\frac{8,37}{90}=0,093 \text{ rad/s}^2$$

dir: Tekerleğin kenarındaki bir noktanın teğet ivmesi de,

$$a_t=R\frac{d\omega}{dt}=R\alpha=2.0,093=0,186 \text{ m/s}^2 .$$

2) DÜZGÜN DEĞİŞEN DOĞRUSAL VE DÜZGÜN DEĞİŞEN DAİRESEL HAREKET ARASINDAKİ BAĞINTI BENZERLİĞİNE İLİŞKİN ÖRNEK;

Şekil 12.a
Düzgün değişen doğrusal harekette
hız zaman diyagramı

Şekil 12.b.
Düzgün değişen dairesel harekette
açısal hız zaman diyagramı

DÜZGÜN DEĞİŞEN DOĞRUSASL HAREKETE ÖRNEK .Bir metronun hızı durgun halden düzgün artarak 48 s de 45 km /sa çıkıyor. metro bu hızla bir süre gidiyor ve sonra fren yaparak hızı düzgün olarak azalıyor ve 30 s de duruyor. Harekette alınan toplam yol 4 km. olduğuna göre hareketlerde geçen toplam zamanı bulunuz.Şekil.12a

Çözüm. 45 km./sa. = 45 1000/ 3600 = 12,5 m/s . dir

I. Hareket $v = v_1 = v_2 = a_1 t_1$ $v^2 = 2 a_1 x_1$ ve $v_1 = a_1 t_1$ buradan

$$t_1 = \frac{v_1}{a_1} \quad \text{ve} \quad x_1 = \frac{v^2}{2a_1}$$

II. Hareket düzgün doğru hareket olduğundan

$$t_2 = \frac{x_2}{v}$$

III. Hareket $v_3 = v_2 - a_3 t_3$ ve $v_3^2 = v_2^2 - 2a_3 x_3$ durunca, $v_3 = 0$ olacağından

$$t_3 = \frac{v}{a_3} \quad \text{ve} \quad x_3 = \frac{v^2}{2a_3} \quad \text{buradan}$$

$$a_3 = \frac{12{,}5}{30} = 0{,}42 \text{ m/s}^2 \quad \text{ve} \quad a_1 = \frac{12{,}5}{48} = 0{,}26 \text{ m/s}^2 \quad \text{bulunur.}$$

$x = x_1 + x_2 + x_3$ ve $t = t_1 + t_2 + t_3$ olduğundan $t = \frac{v}{a_1} + \frac{x_2}{v} + \frac{v}{a_3}$ burada x_2 yerine iletilirse

$$t = \frac{v}{a_1} + \frac{x - x_1 - x_3}{v} + \frac{v}{a_3} \quad \text{ve} \quad x \text{ değerleri yerine iletilirse,}$$

$$t = \frac{v}{a_1} + \frac{x - \frac{v^2}{2a_1} - \frac{v^2}{2a_3}}{v} + \frac{v}{a_3}$$

$$t = \frac{x}{v} + \frac{v}{2a_1} + \frac{v}{2a_3} \quad \text{ve} \quad t = \frac{4000}{12{,}5} + \frac{12{,}5}{2.0{,}26} + \frac{12{,}5}{2.0{,}42} \quad \text{ve}$$

t = 360 s = 6 dak. elde edilir.

DÜZGÜN DEĞİŞEN DAİRESEL HAREKETE ÖRNEK .Bir tekerin hızı durgun halden düzgün artarak 5 s. sonra 200 dev./ dak. Çıkıyor ve bu hızla bir süre dönüyor daha sonra fren yapılarak hızı düzgün azalarak 15 s. sonra duruyor Teker durgun halden duruncaya kadar 3100 devir yaptığına göre bu hareketlerde geçen toplam zamanı bulunuz. Şekil 12.b.

Çözüm; $w = w_1 = w_2 = 2\,\pi\, f = 2\pi\; 200 / 60 = 20{,}93$ rad./ s. ve 3100 devir = $2\pi.3100 = 19468$ rad.

I. Hareket;. $w = w_1 = w_2 = \alpha_1\, t_1$ ve $w^2 = 2\,\alpha_1\theta_1$ buradan $t_1 = \dfrac{w_1}{\alpha_1}$ ve $\theta_1 = \dfrac{w^2}{2\alpha_1}$

II. Hareket ; buradaki hareket düzgün dönme hareketi olduğundan $t_2 = \dfrac{\theta_2}{w_2}$

III. Hareket; $w_3 = w_2 - \alpha_2\, t_2$ teker durunca $w_3 = 0$ ve $t_3 = \dfrac{w_2}{\alpha_3}$ ve $w_3^{\,2} = w_2^{\,2} - 2\,\alpha_3$ durunca

$w_3 = 0$ ve $\theta_3 = \dfrac{w_2^2}{2\alpha_3}$ ayrıca $\alpha_3 = \dfrac{w}{t_3} = \dfrac{20{,}93}{1} = 293\,\text{rad}/\text{s.}$ ve

$$\alpha_1 = \frac{20{,}93}{5} = 4{,}19\,\text{rad.}/\text{s.} \quad \text{olur.}$$

$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$ ve $t = t_1 + t_2 + t_3 = \dfrac{w_1}{\alpha_1} + \dfrac{\theta_2}{w} + \dfrac{w}{\beta_3}$ burada

$\theta_2 = \theta - \theta_1 - \theta_3$ alınır ve yerine konursa;

$$t = \frac{w_1}{\alpha_1} + \frac{\theta - \theta_1 - \theta_2}{w} + \frac{w}{\alpha_3} \qquad \text{ve}$$

$$t = \frac{w}{\alpha_1} + \frac{\theta - \dfrac{w^2}{2\alpha 1} - \dfrac{w^2}{2\alpha_2}}{w} + \frac{w}{\alpha_3}$$

gerekli işlemler yapılırsa;

$$t = \frac{\theta}{w} + \frac{w}{2\alpha_1} + \frac{w}{2\alpha_3} \qquad \text{ve} \qquad t = \frac{19468}{20{,}93} + \frac{20{,}93}{2.4{,}19} + \frac{20{,}93}{2.20{,}93}$$

$t = 930{,}15 + 2{,}5 + 0{,}5 \cong 933$ s = 15,.55 dak.

Bulunur.

Bu uygulamadan görüleceği gibi , düzgün değişen doğrusal hareket ile düzgün değişen dairesel hareketin hareket bağıntıları birbirlerinin aynıdır. Yalnızca uygulamalarda hareket cinsine göre

düzgün doğrusal hareket bağıntılarında çizgisel hız yerine açısal hız , çizgisel ivme yerine açısal ivme, değerleri kullanılmıştır.

3) Yatayla 45^o'lik açı ile atılan bir mermi düştüğü yerde hemen patlıyor. Düştüğü yerden patlayan merminin sesi atıldıktan 19,1 s sonra duyulduğuna göre, merminin atıldığı noktadan olan uzaklığını hesaplayınız. Sesin havada yayılma hızı 340 m/s dir.(g = 9,81 m/s^2).

Cevap ; Atış uzaklığı, $M = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta$ olduğundan, $\theta = 45^o$ den $M = \frac{v_0^2}{g}$ olacaktır. Merminin uçuş süresi $t_{uç} = \frac{v_0}{g}\sin\theta = \frac{v_0}{g}\sin 45 = 1{,}414\ \frac{v_0}{g}$ dir. Merminin patlama sesinin atıldığı noktaya gelmesi için geçen zaman, M/340 s. dir ve buradan,

$$\frac{v_0^2}{340.g} + 1{,}41\frac{v_0}{g} = 19{,}9 \qquad\qquad \frac{v_0^2}{340.g} + 1{,}41\frac{v_0}{g} - 19{,}9 = 0$$

ve

$$v_0^2 + 480{,}76.v_0 - 63706{,}14 = 0 \qquad \text{buradan} \qquad v_0 = 108{,}19\,\text{s}$$

bulunur. Böylece,

$$M = \frac{v_0^2}{9{,}81} = \frac{(108{,}19)^2}{9{,}81} = 1194\ \text{m.}$$

bulunur. Hıza göre ikinci dereceden olan denklemden köklerden bir tanesi eksi işaretli olarak bulunur, eksi değerli hız büyüklüğünün (problemin verilerine göre) fiziksel anlamı olmadığı için işlemlerde kullanılmaz.

4) 40 km/saat hızla giden bir tren vagonunun tepesindeki bir noktadan bir taş 18 m/s. .hızla düşey ve yukarı doğru atılıyor. Taşın birinci saniye sonundaki hızını ve vagonun tepesiyle yer arası 4 m olduğuna göre, taşın atıldığı noktadan düşeceği yere olan uzaklığını hesaplayınız.(g =10 m/s^2 alınız)
Cevap; 1.s sonundaki taşın hızı; v_x= 40 km/saat = 40.1000/3600 m/s. = 11,11 m/s. ve

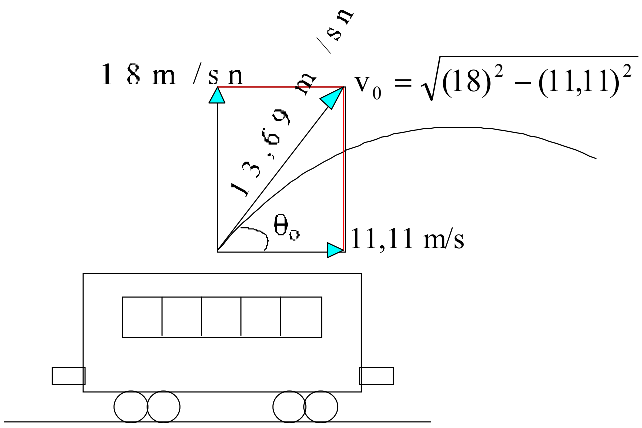
v_y = 18 – g.t = 18 - 10.1 =8 m/s. olduğuna göre,

$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (100)^2 + 8^2$ ve $v = 13{,}69$ m/s

olur. Merminin yere değdiği noktanın koordinatları (x, - 4 m) olduğundan ve hız dik üçgeninden

$$\tan\theta_0 = \frac{18}{100/9} = 1{,}62 \qquad v_0 = \sqrt{(11{,}11)^2 + (18)^2} \qquad \text{ve} \quad \cos\theta_0 = \frac{11{,}11}{\sqrt{(11{,}11)^2 + (18)^2}}$$

olduğundan (Şekil 13).



Şekil.13.Örnek problem 4

$$y = x\tan\theta_0 - \frac{1}{2}\frac{gx^2}{v_0^2}\left(\cos^2\theta_0\right)^{-1}$$

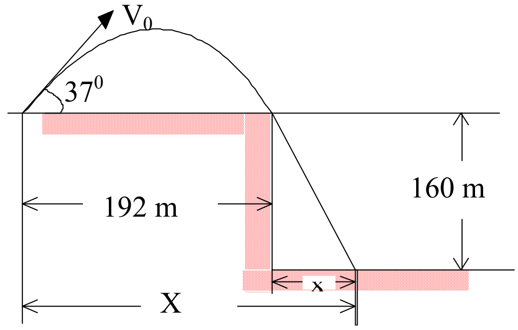
$$-4 = 1{,}62x - \frac{1}{2}\frac{10.x^2}{\left[(11{,}11)^2 + (18)^2\right]}\frac{\left[(11{,}11)^2 + (18)^2\right]}{(11{,}11)^2}$$

ve bu bağıntıdan,

$-4 = 1{,}62.x - 0{,}0405.x^2$ elde edilir ,buradan

$x^2 - 40.x - 98{,}76 = 0$ ve $x = 42{,}33$ m

5) Şekil 14' teki gibi bir top yatayla 37^{o} 'lik açı yapacak şekilde v_o hızı ile atılıyor ve top tam uçurumun kenarından geçiyor. **a-** topun ilk hızını, **b-** topun düştüğü yerin uçurumun kenarından olan yatay uzaklığını bulunuz (Şekil.14)



Şekil 14. Problem 5

Cevap; **a-** 37^o lik açı ile atılan top 192 m.lik menzile ulaşmıştır,

$$M = \frac{2v_0^2}{g}\sin\theta_0\cos\theta_0 = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\theta_0$$ bağıntısından,

$$v_0 = \left(\frac{Mg}{\sin 2\theta_0}\right)^{1/2} = \left(\frac{192.9,8}{\sin(2.37^0)}\right)^{1/2}$$

$v_o = 44{,}3$ m/s.

dir. Topun düştüğü yerin koordinatları (x, - 160 m) dir. Topun herhangi bir t anındaki koordinatı,

$$y = v_0 \sin\theta_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

dır. Verilenleri yerine iletirsek,

$$-160 = 44{,}3\sin 37^0\, t - \frac{1}{2}9{,}8\, t^2$$

t^2 - 5,42.t - 32,65=0, buradan t=9 s bulunur.

b- topun düştüğü noktanın atıldığı noktaya olan uzaklığı,

$$X = v_x t = v_0 \cos 37^0 t = 44{,}3\,.\,0{,}8.\,9 \text{ dir.}$$

Uçurumun kenarından olan yatay uzaklı x,

x = X - 192 = 318,96 - 192 = 126, 96 m dir.

6) 150 m/s hızla 980 m. yükseklikten yatay olarak uçan bir avcı uçağı, 15 m/s hızla giden bir hücumbotunu aynı doğrultuda takip ediyor. Uçağın hücumbotu vurabilmesi için, bombayı hücumbotun kıç tarafından ne kadar uzakta bırakması gerektiğini hesaplayınız.

Cevap; bombanın düşüş zamanı,

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \qquad \text{ve buradan} \quad ,$$

$$t = \left(\frac{2y}{g}\right)^{1/2} = \left(2\frac{980}{9,8}\right)^{1/2} = 14,14 \text{ s.}$$

olur. Bu sürede bombanın aldığı yatay yol

$$x_1 = v_x.t = 150.14,4 = 2121 \text{ m. olur.}$$

Yine aynı sürede hücumbot

$$x_2 = v.t = 15.14\,,4 = 216 \text{ m olur.}$$

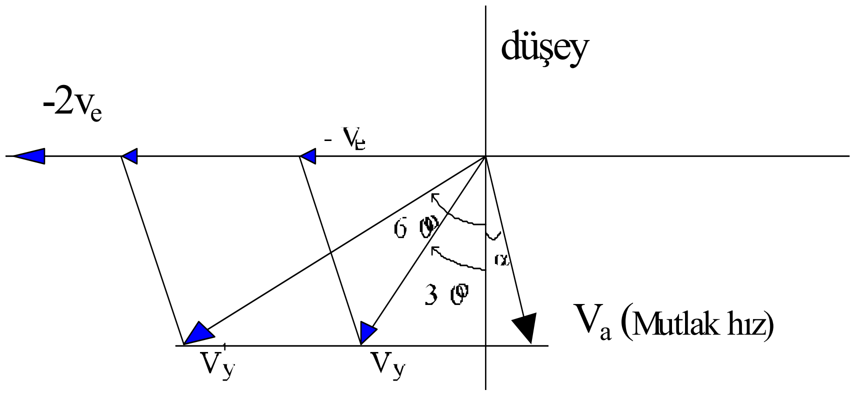
Bombanın hücumbota vurması için, hücumbotun kıç tarafından,

$$x = x_1 - x_2 = 2121 - 216 = 1905 \text{ m}$$

uzaktan bırakılmalıdır.

7) Doğuya doğru 30 km/saat hızla giden tirende oturan bir yolcu,pencereden yağmur damlalarının düşeyle batıya doğru 30^{o} yapan bir doğrultuda düştüğünü görüyor. Trenin hızı 60 km/saat olduğunda bu açı 60^{o} oluyor. **a-** yağmur damlalarının mutlak hızını ve hızın doğrultusunu, **b-** yağmur damlaları düşey olarak düştüğü izlenirse bu durumda trenin hızını hesaplayınız (Şekil 15)

Cevap ; a - Sinüs teoremi kullanılarak birinci hareket için, (30 km/sa)



Şekil 15. Örnek problem 7.

$$\frac{v_a}{\sin 60^0} = \frac{v_e}{\sin(30^0 + \alpha)}$$

ikinci hareket için, (60 km/sa)

$$\frac{v_a}{\sin 30^0} = \frac{2v_e}{\sin(60^0 + \alpha)}$$

bu iki bağıntıdan,

$$\frac{\sin 30^0}{\sin 60^0} = \frac{\sin(60^0 + \alpha)}{2.\sin(30^0 + \alpha)}$$

dır ve buradan $\alpha=30^o$ bulunur. Buna göre $v_a=v_e=30$ km/saat dır. Verilerden, $v_y=v_a=30$ km/saat ve $v'_y=51{,}96$ km/saat bulunur.

Not: $\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$ olduğunu hatırlayınız.

b- bu durumda,

$$\frac{v_a}{\sin 90^0} = \frac{v_e}{\sin 30^0}$$

olur ve buradan

$$v_e = \frac{1}{2} v_a = \frac{1}{2} 30 = 15 \text{ km/saat}$$

8) Yatayla 60^o yapacak şekilde atılan bir cisim 80 m uzaklıktaki bir binanın yerden 48 m. yükseklikteki bir noktasına çarpıyor. **a-** cismin atılma hızını, **b-** cismin çarpma anındaki hızının büyüklüğünü ve **c-** doğrultusunu hesaplayınız.

Cevap ; a- $x = v_x.t = v_0 \cos 60^0.t = 0{,}5.v_0.t$ burada

$$t = \frac{x}{0{,}5.v_0} = \frac{80}{0{,}5.v_0} = \frac{160}{v_0}$$

Bu zaman içinde cisim 48 m. yükselmiştir,

$$y = v_0 \sin 60^0\, t - \frac{1}{2} g t^2 \qquad \text{den,}$$

$$48 = v_0.0{,}86.\frac{160}{v_0} - \frac{1}{2} 9{,}8\left(\frac{160}{v_0}\right)^{1/2} \qquad \text{ve}$$

$$89{,}6\, v_0^2 = 125440, \qquad v_O = 37{,}4 \text{ m/s.} \qquad \text{bulunur.}$$

b- cisim binaya t=160/37,4=4,3 s. de çarptığına göre bu andaki hız bileşenleri,

$$v_x = V_0.\cos 60^0 = 37{,}4.0{,}5 = 18{,}7 \text{ m/s.} \qquad \text{ve}$$

$$v_y = v_0 \sin 60^0 - g.t = 37{,}4.0{,}86 - 9{,}8.4{,}3 = -10 \text{ m/s.}$$

olduğuna göre, hızın büyüklüğü,

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(18{,}7)^2 + (-10)^2} = 21{,}2 \text{ m/s.}$$

doğrultu da

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-10}{18{,}7} = -0{,}535 \quad \text{ve} \quad \theta = 331^0{,}10' \qquad \text{ve yatayla açı dördüncü bölgededir.}$$

9) Bir uçak 2400 m. yükseklikteyken yatayla 53^{o} lik açı yapacak şekilde pikeye geçtiği anda bir bomba bırakıyor. Bomba yere 5 s.de çarptığıma göre, **a-** uçağın hızını, **b-** bomba yere çarparken hızının yatay ve düşey bileşenini, **c-** bombanın düşme sırasında aldığı yatay yolu hesaplayınız.

Cevap; **a-** Hareket düşey ve iniş hareketidir buradan,

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad \text{ve} \quad v_0 = \frac{y}{t} - \frac{1}{2} g t = \frac{2400}{5} - \frac{1}{2} 9{,}8.5 = 455{,}5 \text{ m/s}$$

olur.

b- hızın sabit olan yatay bileşeni,

$v_{0x} = v_0 \cos 53^0$=455,5.0,6=273,3 m/s

ve düşey bileşeni

$v_{0y} = v_0.\sin 53^{o}+g.t$=455,5.0,8+9,8.5=413,4 m/s dir.

c- bombanın yatay doğrultuda aldığı yol,

$x=v_{0x}.t$=273,3.5=1366,5 m. olur.

I.3.12. PROBLEMLER

1) Çapı 25. cm. olan bir tekerlek durgun halden başlayarak, düzgün bir hareketle 20 s 'de 1200devir/dak eşit bir açısal hıza ulaşıyor. **a-** Bu tekerleğin açısal ivmesini, **b-** 20 saniyedeki dönme sayısını hesaplayınız.

Cevap ; a - 2 π rad/s., b - 200 dönme./s^2, t =70 s.

2) Bir uçak pervanesi 1200 devir /dak hızla dönmektedir. Motorun durdurulması anından itibaren 80 devir yaparak durmaktadır. Pervanenin durması için geçen zamanı hesaplayınız. Hareket düzgün yavaşlayandır.

cevap ; 8 s

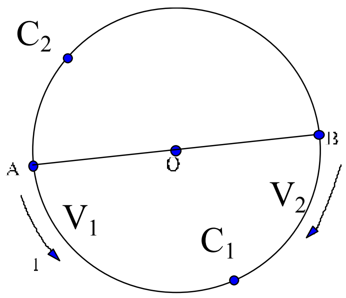
3) 60 km/saat hızla giden bir otonun tekerlek dış yarıçapı 30 cm. olduğuna göre, tekerleklerin saniyedeki devir sayısını bulunuz.
Cevap; 9 devir/s (Hz).

4) Bir elektrik sayacı üzerinde, döner diskin 1500 devrinin 1 kilowatt-saat 'a karşılık olduğu yazılıdır. Bu diskin bir devrini kaç saniyede yaptığını (periyodunu) bularak, diski döndüren elektrikli aletin kaç watt'lık olduğunu hesaplamak için kullanılabilecek bir bağıntı bulunuz.

Cevap; Çalışan elektrikli aletin gücü P watt ve bu çalışırken diskin bir tam devri T saniyede olsun.1500 devir için geçen zaman 1500 .T.s. olacaktır. Bu sürede elektrikli ev aletinin harcadığı elektrik enerjisi P.1500.T Joulle olur. Sayacın 1500 devri 1 kilowatt-saat = 1000. 3600 = 36.10^5 Joulle olduğundan,

$$P.1500.\ T = 36.10^5 \qquad \text{ve} \qquad P = \frac{2400}{T}\ \text{watt.}$$

5) İki oto dairesel bir oto pistinde, merkeze göre simetrik A ve B noktalarından birbirleriyle karşılaşmak üzere hareket ediyorlar. Otolar düzgün dönme hareketi yaptıklarına göre, birinci karşılaşmada B 'den 421 m. uzaklıkta c_1 ve ikinci karşılaşma da A dan 221 m uzaklıkta c_2 de olmaktadır. **a-** Pistin uzunluğunu, **b-** otoların hızları arasındaki oranı hesaplayınız (Şekil 16).



Şekil 16. Problem 5

Cevap ; **a-** 2πR=2084 m, **b-** v_1/v_2 = 621/421.

6) Bir uçak pervanesi dakikada 4000 devirle düzgün olarak dönmektedir. Bu pervanenin merkezden itibaren hangi noktasında teğet hız, sesin havadaki yayılma hızı 340 m/s 'ye eşit olur ?.
Cevap ; 0,81 cm.

7) Düzgün dönme hareketi yapan 1m. çapındaki kamyon tekerleği, dakikada 1884 m yol aldığına göre, tekerleğin dakikadaki devir sayısını ve açısal hızını hesaplayınız.

Cevap ; 600 devir/dak, 62,8 rad/s

8) Yerkürenin ortalama yarıçapı 6400 km. olarak kabul edilmektedir Yerküreden 640 km . uzaklıktaki bir yörüngede dönen bir uydunun, yerküreyi bir tam dolanımı için geçen zaman 98 dakika olduğuna göre, uydunun, yörüngenin herhangi bir noktasındaki teğet hız ve ivme değerini hesaplayınız.

9) Bir çocuk 1,5 m. uzunluğundaki ipin uçuna bağladığı taşı, yerden 2 m. yükseklikte olacak şekilde yere yatay bir çember yörünge üzerinde döndürüyor. İp koptuğunda taş yatay olarak 10 metre giderek yere çarpıyor. Taşın dairesel hareket yaptığındaki ivmesini hesaplayınız.

10) Bir uzay gemisi, 20 g lik bir ivmeye kadar dayanabiliyor. **a-** ışık hızının onda biri kadar hareket eden böyle bir uzay gemisinin minimum dönme yarıçapını, **b-** bu hızla 90^{o} lik dönmeyi ne kadar zamanda yaptığını hesaplayınız.

11) Yağmur, düşey doğrultuda ve sabit bir 8 m/s lik hızla yağmaktadır, düz yolda 50 km/saat hızla giden bir otonun sürücüsü, yağmur tanelerinin düşey doğrultuyla kaç derecelik açı yaparak yağdığını görür ?

12) New-York ve Londra arasındaki uçuş uzaklığı yaklaşık olarak 4320 km dir. Kıtalar arası bir uçuş yapan uçağın, New-York' tan Londra ya uçuş süresi, Londra dan New-York' a uçuş süresinden 50 dakika daha kısa sürelidir. Böyle kıtalar arası bir uçağın havaya göre hızı 960 km/saat olduğuna göre, devamlı olarak batıdan doğuya esmekte olan rüzgarın hakkında ne söyleyebilirsiniz?.

13) Bir insan durgun bir suda, 6 km/saat 'lik hızla kürek çekiyor. **a-** harekete başladığı noktadan akış hızı 3 km/saat olan bir nehri bir yakadan diğer yakasına doğrudan geçmek isterse kayığın yönünü bulunuz. **b-** nehrin genişliği 3 km. olduğuna göre geçiş süresini hesaplayınız. **c-** nehrin akış yönüne doğru 1 km. hareket ederse, başladığı noktaya ne kadar zamanda geleceğini hesaplayınız. **d-**nehrin akışına dik yönde hareket ederse, başladığı noktaya ne kadar zamanda geleceğini hesaplayınız. **e-** nehri en kısa zamanda geçilebilmesi için, hangi yönde kürek çekileceğini bulunuz.

14) Bohr atom modeline göre, bir elektron $2,18.10^{6}$ m/s. lik hızla, yarıçapı $5,28.10^{-11}$ m. olan dairesel bir yörünge üzerinde, bir proton etrafında dönmektedir. Bu modeldeki elektronun ivmesini hesaplayınız.

15) a- Yerkürenin ekvatoru üzerinde, yerküre ile birlikte dönmekte olan bir cismin merkezcil ivmesini, **b-** yerkürenin ekvatoru üzerindeki bir cismi, g merkezcil ivmesi ile yerküre üzerinde tutmak için, yerkürenin dönme hızındaki artımın ne olacağını hesaplayınız.