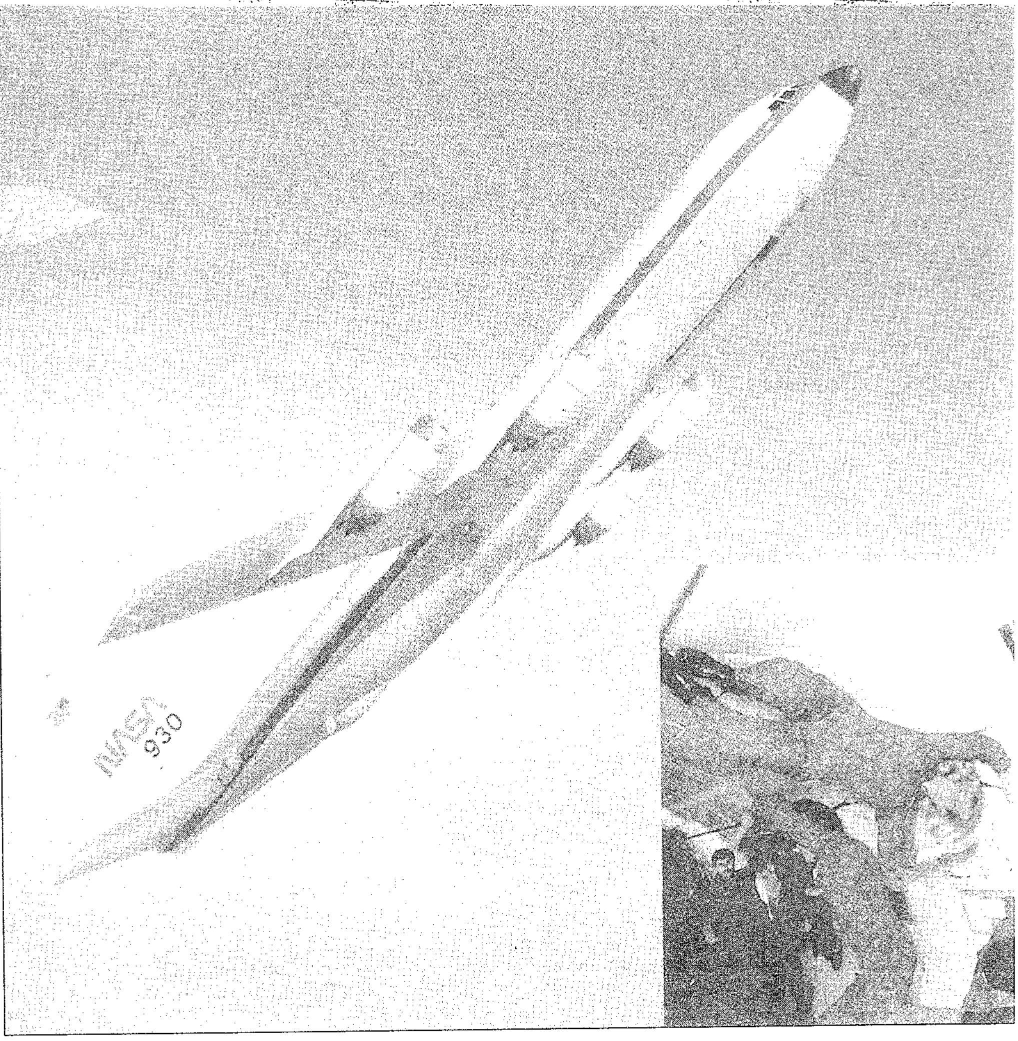
Sizce Nedir?

Bu uçak NASA tarafından astronot eğitimi amacı ile kullanılmaktadır. Uçak, belirli bir eğri yol boyunca uçarken, uçağın içerisinde bağlı olmayan herşey uçuşmaya başlar. Bu ilginç olayın sebebi ne olabilir? *(NASA)*



web

Bu uçağın nasıl kullanıldığı hakkında daha fazla bilgi için, **http://imocc.imoc.com/~acft-ops/rgpindex.htm** internet adresine giriniz.

b ö l ü m

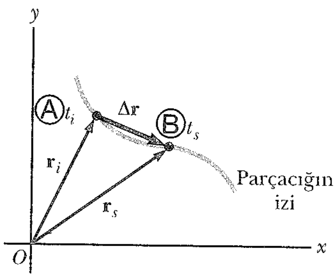
4 İki Boyutta Hareket

Bölüm İçeriği

Bu bölümde, iki-boyutta hareket eden bir cismin kinematiği ile ilgileneceğiz. İki boyutlu hareketin özümlenmesi, -sonraki bölümlerde- uyduların yörüngedeki hareketinden, elektronların düzgün bir elektrik alanı içerisindeki hareketine kadar bize geniş bir hareket türünü inceleme olanağı verir. Bu bölüme yerdeğiştirme, hız ve ivmenin vektör tabiatını ayrıntıları ile inceleyerek başlıyacağız. Bir-boyutlu harekette yaptığımız gibi, bu üç niceliğin temel tanıtımı yardımı ile, iki-boyutlu hareketin kinematik denklemlerini türeteceğiz. Daha sonra iki-boyutlu hareketin özel halleri olarak eğik atış hareketini ve düzgün dairesel hareketi ele alacağız. Ayrıca verilen bir parçacığın yerdeğiştirme, hız ve ivmesini farklı referans sistemlerindeki gözlemcilerin niçin farklı ölçebileceğini gösteren bağıl hareket kavramını tartışacağız.

4.1 YERDEĞİŞTİRME, HIZ VE İVME VEKTÖRLERİ

2 inci Bölümde bir doğru boyunca yol alan bir parçacığın konumu zamanın fonksiyonu olarak bilinirse, parçacığın hareketini tümüyle belirleyeceğimizi bulmuştuk. Bir doğru boyunca ilerleyen bir cismin koordinatları bilindiğinde, hareketinin de tam olarak belirleneceğini önceki bölümde gördük. Şimdi bu fikri, *xy* düzleminde hareket eden bir parçacığa uygulayalım. İşe Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi, *xy* düzleminde bulunan parçacığın yerini, herhangi bir referans sisteminin orijininden çizilen **r** konum vektörünü tanımlayarak başlıyoruz. Parçacık t_i anında Ⓐ noktasında ve belli bir t_s süresi sonunda, Ⓑ'dedir. Ⓐ'dan Ⓑ'ye olan yolun doğrusal olması gerekmez. Parçacık $\Delta t = t_s - t_i$ zaman aralığında Ⓐ'dan Ⓑ'ye hareket ederken, konum vektörü $\mathbf{r}_i$ 'den $\mathbf{r}_s$ 'ye değişir. İkinci bölümde öğrendik ki, yerdeğiştirme bir vektördür ve parçacığın yer değiştirmesi onun son konumu ile ilk konumu arasındaki farktır. Şekil 4.1'de görülen parçacık için, son konum ve ilk konum vektörü arasındaki fark olmak üzere $\Delta\mathbf{r}$ yerdeğiştirme vektörünü



Şekil 4.1 *xy* düzleminde hareket eden bir parçacığın yeri, parçacığa orijinden çizilen **r** konum vektörü ile belirlenir. Parçacık $\Delta t = t_s - t_i$ zaman aralığında Ⓐ 'dan Ⓐ 'ye hareket ederken yerdeğiştirmesi $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_s - \mathbf{r}_i$ vektörüne eşittir.

$$\Delta\mathbf{r} \equiv \mathbf{r}_s - \mathbf{r}_i \qquad \textbf{(4.1)}$$

Yerdeğiştirme vektörü

olarak tanımlıyoruz. $\Delta\mathbf{r}$ nin yönü şekil 4.1 de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi $\Delta\mathbf{r}$ nin büyüklüğü parçacık tarafından takip edilen eğri yol boyunca alınan yolun uzunluğundan küçüktür.

İkinci bölümde gördüğümüz gibi, yerdeğiştirmenin, gerçekleştiği zaman aralığına oranına bakarak hareketi nicelleştirmek çoğu zaman yararlı olur. İki boyutlu (veya üç-boyutlu) hareketin kinematiğinde, hareketin yönünü göstermek için artı ve eksi işaretlerinden ziyade şimdi vektörleri kullanmamız gerektiği dışında herşey bir boyutlu kinematikle aynıdır.

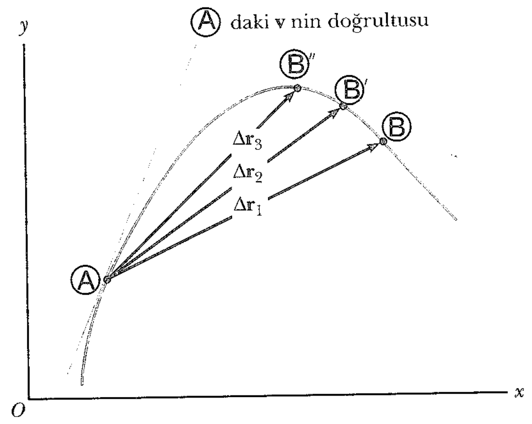
Şimdi Δt zaman aralığı süresince parçacığın **ortalama hızını**, yerdeğiştirmenin bu zaman aralığına bölümü olarak tanımlıyoruz:

$$\bar{\mathbf{v}} \equiv \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Ortalama hız

Bir vektörel niceliğin bir skalerle çarpılması veya bölünmesi, o vektörün yönünü değil, sadece büyüklüğünü değiştirir. Yerdeğiştirme vektör, zaman aralığı da bir skaler nicelik olduğundan, ortalama hızın $\Delta\mathbf{r}$ boyunca yönelen bir **vektörel** nicelik olduğu sonucuna varırız.

Ortalama hızın, iki nokta arasında gidilen *yoldan bağımsız* olduğuna dikkat ediniz. Bu, ortalama hızın, yalnız ilk ve son konum vektörlerine bağlı olan



Şekil 4.2 Bir parçacık iki nokta arasında hareket ederken ortalama hızı, $\Delta\mathbf{r}$ yerdeğiştirme vektörünün doğrultusundadır. Yolun uç noktası Ⓑ den Ⓑ′ ye oradan Ⓑ″ ye hareket ederken, buna göre yer değiştirmeler ve karşılık gelen zaman aralıkları gittikçe küçülür. Uç noktanın Ⓐ ya yaklaştığı limit durumunda, Δt sıfıra ve $\Delta\mathbf{r}$ nin yolu Ⓐ da eğriye çizilen teğetin yoluna yaklaşır. Tanıma göre, Ⓐ daki ani hız bu teğetin doğrultusundadır.

yerdeğiştirmeyle orantılı olması demektir. Tek boyutlu hareket halinde olduğu gibi, parçacık, herhangi bir noktada hareketine başlar ve herhangi bir yoldan bu noktaya geri dönerse, yerdeğiştirmesi sıfır olduğundan ortalama hızının sıfır olduğu sonucuna varırız.

Bir parçacığın Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi, *xy* düzleminde iki nokta arasındaki hareketini gözönüne alalım. Hareketi gözlediğimiz zaman aralığı küçüldükçe, yerdeğiştirmenin doğrultusu Ⓐ noktasında yola çizilen teğetin doğrultusuna yaklaşır.

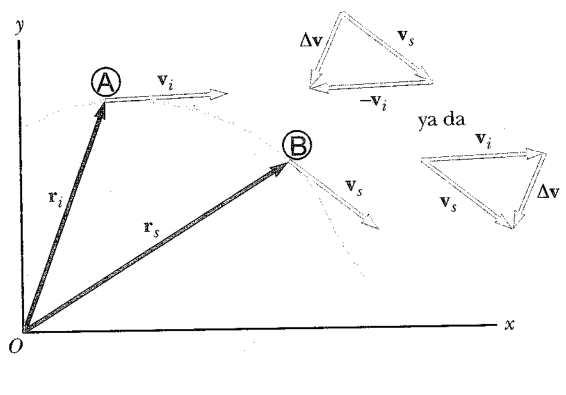
v ani hızı, Δt sıfıra yaklaşırken $\Delta\mathbf{r}/\Delta t$ ortalama hızının limiti olarak tanımlanır:

Ani hız

$$\mathbf{v} \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (4.3)$$

Yani, ani hız, konum vektörünün zamana göre türevine eşittir. Parçacığın yolunda bulunan herhangi bir noktadaki ani hız vektörünün doğrultusu, *O* noktada yola teğet ve hareket doğrultusunda olan bir doğru boyuncadır (Şekil 4.3).

Ani hız vektörünün büyüklüğü olan $v = |\mathbf{v}|$ ye *sürat* denir. Onun skaler bir nicelik olduğunu hatırlamalısınız.



Şekil 4.3 Bir parçacık Ⓐ konumundan Ⓑ konumuna hareket etmektedir. Parçacığın hız vekktörü $\mathbf{v}_i$ 'den $\mathbf{v}_s$ 'ye değişir. Sağ üst taraftaki vektör çizimleri ilk ve son hızlardan $\Delta\mathbf{v}$ vektörünü belirlemenin iki yolunu göstermektedir.

Parçacık herhangi bir yol boyunca bir noktadan diğerine hareket ederken, onun ani hız vektörü, t_i zamanındaki $\mathbf{v}_i$ 'den t_s zamanındaki $\mathbf{v}_s$'ye değişir. Bu noktalardaki hızın bilinmesi, parçacığın ortalama ivmesini belirleyebilmemize izin verir.

Parçacık bir noktadan diğer bir noktaya hareket ederken **ortalama ivmesi**, ani hız vektöründeki $\Delta\mathbf{v}$ değişiminin, değişim sırasında geçen Δt zamanına oranı olarak tanımlanır:

$$\bar{\mathbf{a}} \equiv \frac{\mathbf{v}_s - \mathbf{v}_i}{t_s - t_i} = \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Ortalama ivme

Ortalama ivme, bir $\Delta\mathbf{v}$ vektörünün bir Δt skalerine oranı ve Δt bir skaler nicelik olduğundan, $\bar{\mathbf{a}}$ ortalama ivmesinin, $\Delta\mathbf{v}$ ile aynı doğrultuda olan vektörel bir nicelik olduğu sonucuna varırız. Şekil 4.3 'de gösterildiği gibi, tanıma göre $\Delta\mathbf{v} = v_s - \mathbf{v}_i$ olduğundan, $\Delta\mathbf{v}$ 'nin yönü $-\mathbf{v}_i$ vektörünü ($\mathbf{v}_i$ 'nin negatifi) $\mathbf{v}_s$ vektörüne ilave ederek bulunur:

Parçacığın ortalama ivmesi farklı zaman aralıklarında değişiyorsa, **a** gibi bir ani ivme tanımlamak faydalıdır:

a ani ivmesi, Δt sıfıra yaklaşırken $\Delta\mathbf{v}/\Delta t$ oranının limit değeri olarak tanımlanır:

$$\mathbf{a} \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \qquad \textbf{(4.5)}$$

Ani ivme

3.5 Başka bir söyleyişle ani ivme, hız vektörünün zamana göre birinci türevine eşittir.

Bir parçacık ivme kazandığı zaman çeşitli değişimlerin olabildiğini bilmek önemlidir. Önce, hız vektörünün büyüklüğü (sürat) doğrusal (bir boyutlu) hareketteki gibi zamanla değişebilir. İkincisi, hız vektörünün doğrultusu, büyüklüğü (sürat) sabit kalsa bile zamanla eğri bir yolda olan (iki-boyutlu) hareketteki gibi değişebilir. Son olarak, hız vektörünün hem büyüklüğü ve hem de doğrultusu aynı anda değişebilir.

Sınama Sorusu 4.1

Bir otomobildeki gaz pedalına *hızlandırıcı* denir. (a) Bir otomobilde hızlandırıcı olarak göz önüne alınabilen başka herhangi bir kontrol var mıdır? (b) Gaz pedalı ne zaman bir hızlandırıcı değildir?

4.2 İKİ-BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

İvmenin hem büyüklükçe ve hem de doğrultuca sabit kaldığı, iki boyutlu hareketi ele alalım. *xy* düzleminde hareket eden bir parçacık için konum vektörü

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \qquad \textbf{(4.6)}$$

olarak yazılabilir. Burada parçacık hareket ederken **i** ve **j** sabit kaldığı sürece x, y ve **r**, zamanla değişirler. Konum vektörü bilinirse, parçacığın hızı, 4.3 ve 4.6 denklemlerinden

$$v = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \qquad \textbf{(4.7)}$$

biçiminde elde edilebilir. $\mathbf{a}$ 'nın sabit kabul edilmesi nedeniyle, a_x ve a_y bileşenleri de sabittir. Bu nedenle, kinematik denklemlerini, hız vektörünün hem x ve hem de y bileşenlerine uygulayabiliriz. $v_{xs} = v_{xi} + a_x t$ ve $v_{ys} = v_{yi} + a_y t$ bağıntıları herhangi bir t anındaki son hızı elde etmek için 4.7 Eşitliğinde yerine konulursa

Zamanın fonksiyonu olarak hız vektörü

$$\mathbf{v}_s = (v_{xi} + a_x t)\mathbf{i} + (v_{yi} + a_y t)\mathbf{j}$$
$$= (v_{xi}\mathbf{i} + v_{yi}\mathbf{j}) + (a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j})t$$
$$\mathbf{v}_s = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t \tag{4.8}$$

bulunur. Bu sonuç, parçacığın herhangi bir t anındaki hızının, $\mathbf{v}_i$ ilk hızı ile t süresi içinde sabit ivmesinden dolayı kazandığı $\mathbf{a}t$ hızının vektörel toplamına eşit olduğunu ifade eder.

Aynı şekilde, 2.11 Denklemi'nden, sabit ivmeyle hareket eden bir parçacığın x ve y koordinatlarının

$$x_s = x_i + v_{xi}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2 \qquad y_s = y_i + v_{yi}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2$$

ile verildiğini biliyoruz. Bu ifadeler. 4.6 Eşitliğinde yerine konulursa (ve son konum vektörüne $\mathbf{r}_s$ denirse)

$$\mathbf{r}_s = (x_i + v_{xi}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2)\mathbf{i} + (y_i + v_{yi}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2)\mathbf{j}$$
$$= (x_i\mathbf{i} + y_i\mathbf{j}) + (v_{xi}\mathbf{i} + v_{yi}\mathbf{j})t + \tfrac{1}{2}(a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j})t^2$$

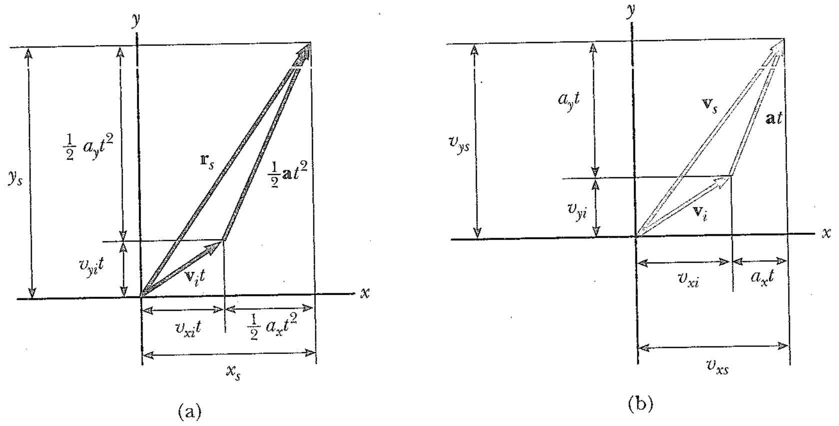
veya

Zamanın fonksiyonu olarak yer vektörü

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \tfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \tag{4.9}$$

yazılabilir. Bundan, $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r} - \mathbf{r}_i$ yerdeğiştirme vektörünün, parçacığın ilk hızından doğan $\mathbf{v}_i t$ yerdeğiştirmesiyle, parçacığın düzgün ivmesinden kaynaklanan $\tfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2$ yerdeğiştirmesinin toplamı olduğunu anlıyoruz.

4.8 ve 4.9 Eşitliklerinin grafikle temsili Şekil 4.4 'de gösterilmiştir. Şeklin çiziminde basitlik sağlamak için, Şekil 4.4a 'da $\mathbf{r}_i = 0$ alınmıştır. Yani, parçacığın $t = t_i = 0$ 'da orijinde olduğunu varsayıyoruz. $\mathbf{v}_i$ ve $\mathbf{a}$ nicelikleri arasındaki bağıntı bir vektörel ifade olduğundan, Şekil 4.4a 'dan $\mathbf{r}_s$ 'nin genel olarak bu niceliklerin doğrultusu boyunca olmadığına dikkat ediniz. Aynı nedenle, Şekil 4.4b 'den $\mathbf{v}_s$ 'nin genel olarak $\mathbf{v}_i$ veya $\mathbf{a}$ 'nın doğrultusu boyunca olmadığını anlarız. Son olarak, genellikle $\mathbf{v}_s$ ve $\mathbf{r}_s$ 'nin aynı doğrultuda olmadığını görürüz.



Şekil 4.4 Düzgün bir $\mathbf{a}$ ivmesiyle hareket eden bir parçacığın (a) yerdeğiştirmesinin ve (b) hızının vektörel olarak gösterilişi ve dik bileşenleri. Çizimi basitleştirmek için $\mathbf{r}_i = 0$ olarak alınmıştır.

4.8 ve 4.9 **vektörel** ifadeler olduklarından onları bileşen biçiminde

$$\mathbf{v}_s = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t \qquad \begin{cases} v_{xs} = v_{xi} + a_x t \\ v_{ys} = v_{yi} + a_y t \end{cases} \qquad \textbf{(4.8a)}$$

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \tfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \qquad \begin{cases} x_s = x_i + v_{xi} t + \tfrac{1}{2} a_x t^2 \\ y_s = y_i + v_{yi} t + \tfrac{1}{2} a_y t^2 \end{cases} \qquad \textbf{(4.9a)}$$

olarak yazabiliriz. Bu bileşenler Şekil 4.4 'de gösterilmektedir. $\mathbf{v}_s$ ve $\mathbf{r}_s$ denklemlerinin bileşen biçimi bize sabit ivmeli, iki-boyutlu bir hareketin – biri x doğrultusunda, diğeri y doğrultusunda olmak üzere sabit a_x ve sabit a_y ivmeli iki *bağımsız* harekete özdeş olduğunu gösterir.

ÖRNEK 4.1 Düzlemde Hareket

Bir parçacık 20 m/s 'lik x bileşenli ve –15 m/s 'lik y bileşenli ilk hızla t = 0 'da orijinden harekete geçmektedir. Parçacık sadece, a_x = 4 m/s^2 ile verilen ivmenin x bileşeniyle xy düzleminde hareket etmektedir. (a) Zamanın fonksiyonu olarak herhangi bir andaki hızın bileşenlerini ve toplam hız vektörünü bulunuz.

Çözüm Problemi dikkatle okuduktan sonra v_{xi} = 20 m/s, v_{yi} = – 15 m/s, a_x = 4.0 m/s^2 ve a_y = 0 alınacağı görülür. Bunlar kullanılarak kabaca bir hareket diyagramı taslağı çizilebilir. Hızın x bileşeni 20 m/s ile başlar ve her saniye 4 m/s artar. y bileşeni –15 m/s lik ilk değerini hep korur. Bu bilgilerle Şekil 4.5 de görüldüğü gibi belli sayıda hız vektörü çizilebilir. Ardışık görüntüler arasındaki aralıkların hızın artması nedeniyle zamanla arttığına dikkat ediniz.

Kinematik eşitlikler,

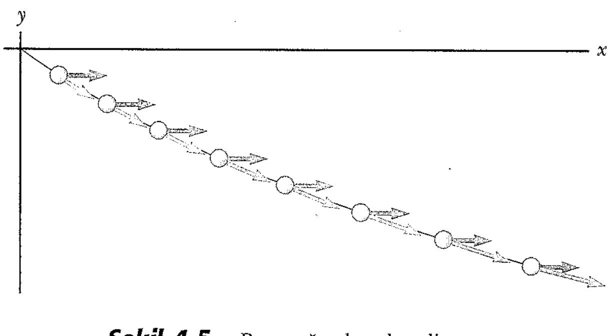
$$v_{xs} = v_{xi} + a_x t = (20 + 4t)\ \text{m/s}$$

$$v_{ys} = v_{yi} + a_y t = -15\ \text{m/s} + 0 = -15\ \text{m/s}$$

verir. O nedenle

$$\mathbf{v}_s = v_{xs}\mathbf{i} + v_{ys}\mathbf{j} = [(20 + 4t)\mathbf{i} - 15\mathbf{j}]\ \text{m/s}$$

elde ederiz.



Şekil 4.5 Parçacığın hareket diyagramı

Bu sonucu doğrudan doğruya 4.8 Eşitliğini kullanarak ve $\mathbf{a}$ = 4$\mathbf{i}$ m/s^2 ve $\mathbf{v}_i$ = (20$\mathbf{i}$ – 15$\mathbf{j}$) m/s olarak elde edebilirdik. Bu sonuca göre, hızın y bileşeni sabit kalırken x bileşeni artar, bu bizim önceden bildirdiğimiz sonuçla uyumludur. Uzun zaman sonra, x bileşeni öyle büyük olacaktır ki y bileşeni ihmal edilebilecektir. Eğer Şekil 4.5 'deki cismin yolunu uzatabilseydik, eninde sonunda o hemen x eksenine paralel olacaktı. Son cevaplar ve başlangıçta söylenen şartlar arasında karşılaştırmalar yapmak daima yararlıdır.

(b) t = 5 s 'de parçacığın hızının büyüklük, yön ve doğrultusunu hesaplayınız.

Çözüm t = 5 s ile, (a) dan çıkan sonuç

$$\mathbf{v}_s = \{[20 + 4(5)]\mathbf{i} - 15\mathbf{j}\}\ \text{m/s} = (40\mathbf{i} - 15\mathbf{j})\ \text{m/s}$$

verir. Yani, t = 5 s 'de, v_{xs} = 40 m/s ve v_{ys} = –15 m/s 'dir. Bu iki bileşenin bilinmesiyle, hız vektörünün hem doğrultusunu hem de büyüklüğünü bulabiliriz. t = 5s 'de $\mathbf{v}$ 'nin x ekseniyle yaptığı θ açısı, tan $\theta = v_{ys}/v_{xs}$ veya,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{ys}}{v_{xs}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-15\ \text{m/s}}{40\text{m/s}}\right) = -21^\circ$$

bulunur. Burada eksi işareti x ekseninin altında 21° 'lik bir açıyı gösterir. v 'nin büyüklüğü olarak

$$v_s = |\mathbf{v}_s| = \sqrt{v_{xs}^2 + v_{ys}^2} = \sqrt{(40)^2 + (-15)^2}\ \text{m/s} = 43\ \text{m/s}$$

bulunur. Bulduğumuz sonuca baktığımızda, eğer $\mathbf{v}_i$ 'nin x ve y bileşenlerinden v_i 'yi hesaplarsak $v_s > v_i$ olduğunu bulacağımızı farkederiz. Bu mantıklı mıdır?

(c) Herhangi bir t anındaki x ve y koordinatlarını ve bu andaki yer değiştirme vektörünü bulunuz.

Çözüm $t = 0$ da, $x_i = y_i = 0$ olduğundan 2.11 Eşitliği

$$x_s = v_{xi}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2 = (20t + 2t^2)\ \text{m}$$

$$y_s = v_{yi}t = (-15t)\ \text{m}$$

verir. O nedenle, herhangi bir t anındaki yerdeğiştirme vektörü

$$\mathbf{r}_s = x_s\mathbf{i} + y_s\mathbf{j} = [(20t + 2t^2)\mathbf{i} - 15t\mathbf{j}]\ \text{m}$$

olur, veya $\mathbf{r}$ 'yi 4.9 Eşitliğinde $\mathbf{v}_i = (20\mathbf{i} - 15\mathbf{j})$ m/s ve $\mathbf{a} = 4\mathbf{i}$ m/s^2 ile doğrudan elde edebilirdik. Deneyiniz. Böylece, örneğin, $t = 5$ s de, $x = 150$ m ve $y = -75$ m veya $\mathbf{r}_s = (150\mathbf{i} - 75\mathbf{j})$ m 'dir. Parçacığın $t = 5$ s 'de orijinden bu noktaya uzaklığı veya yerdeğiştirmenin büyüklüğü $\mathbf{r}_s$ 'nin bu esnadaki büyüklüğü olup,

$$r_s = |\mathbf{r}_s| = \sqrt{(150)^2 + (-75)^2}\ \text{m} = 170\ \text{m}$$

olacaktır. Bunun, parçacığın bu sırada aldığı yol *olmadığına* dikkat ediniz! Eldeki verilerden bu uzaklığı bulabilir misiniz?

EĞİK ATIŞ HAREKETİ

Eğik atış hareketinde kabuller

Bir beyzbol topunun (veya, bu amaçla, havaya fırlatılan herhangi bir cismin) hareketini izlemiş olan kimse bir eğik atış hareketi gözlemiştir. Top, bir eğri yol boyunca hareket eder ve şu iki kabul yapılırsa, bu hareket biçiminin analizini yapmak çok basitleşir. (1) $\mathbf{g}$ yerçekimi ivmesi hareket süresince sabit ve aşağıya doğru yöneliktir[1] (2) hava direncinin etkisi ihmal edilmektedir.[2] Bu varsayımlarla, eğik olarak atılan bir cismin *yolu* diyeceğimiz *eğrinin* daima bir parabol olduğunu bulacağız. **Bu varsayımları bu bölümün başından sonuna kadar kullanacağız.**

Eğik olarak atılan bir cismin yolunun parabol olduğunu göstermek için, referans sistemimizi, y doğrultusu düşey ve yukarı yön pozitif olacak şekilde seçelim. Hava direnci ihmal edildiğiden (bir boyutlu serbest düşmedeki gibi) $a_y = -g$ ve $a_x = 0$ 'dır. Ayrıca, $t = 0$ 'da, eğik atılan cismin, orijini ($x_i = y_i = 0$), Şekil 4.6 'daki gibi, bir v_i hızı ile terkettiğini varsayıyoruz. $\mathbf{v}_i$ vektörü yatayla θ_i açısı yapar. Burada θ_i atış açısıdır. Kosinüs ve sinüs fonksiyonlarının tanımlarından

3.5

$$\cos\theta_i = v_{xi}/v_i \qquad \sin\theta_i = v_{yi}/v_i$$

elde ederiz. Böylece, ilk hızın x ve y bileşenleri

$$v_{xi} = v_i\cos\theta_i \qquad v_{yi} = v_i\sin\theta_i$$

ile verilir. x bileşenini $x_i = 0$ ve $a_x = 0$ ile birlikte 4.9a Eşitliğinde yerine koyarak

Konumun yatay bileşeni

$$x_s = v_{xi}t = (v_i\cos\theta_i)t \qquad \textbf{(4.10)}$$

olduğunu buluruz. Aynı işlemi y bileşeniyle tekrar ederek ve $y_i = 0$ ve $a_y = -g$ kullanarak,

Konumun düşey bileşeni

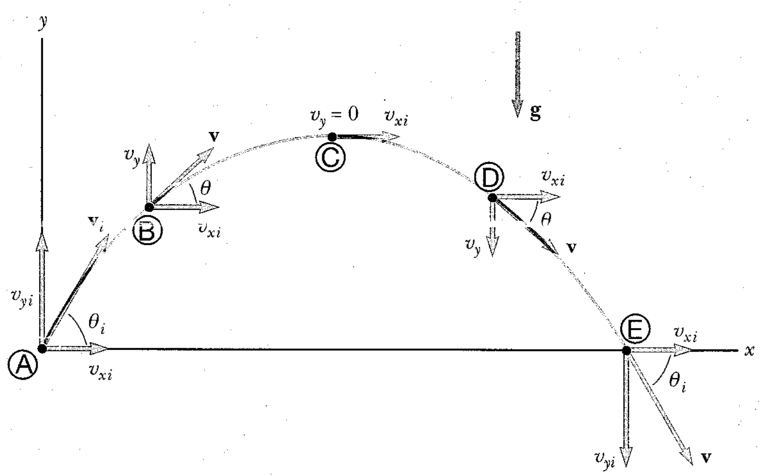
$$y_s = v_{yi}t + \tfrac{1}{2}a_y t^2 = (v_i\sin\theta_i)t - \tfrac{1}{2}gt^2 \qquad \textbf{(4.11)}$$

elde ederiz. 4.10 Eşitliğini $t = x_s/(v_i\cos\theta_i)$ 'ye göre çözer ve t için bu ifadeyi 4.11 Eşitliğinde yerine koyarsak aşağıdaki denklem elde edilir:

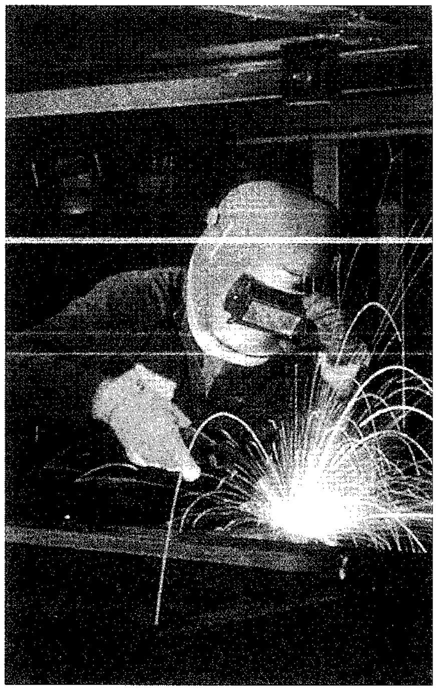
$$y = (\tan\theta_i)x - \left(\frac{g}{2v_i^2\cos^2\theta_i}\right)x^2 \qquad \textbf{(4.12)}$$

[1] Bu yaklaşım, hareketin menzili yerin yarıçapına (6.4×10^6m) kıyasla küçük olduğu sürece mantıklıdır. Gerçekten, bu yaklaşım yerin, göz önüne alınan hareketin menzili içinde, düz olduğunu kabul etmekle özdeştir.

[2] Bu yaklaşım özellikle yüksek hızlarda, *sağlanmaz*. Ayrıca, örneğin bir beyzbol oyununda atıcı, topu fırlattığı zaman, eğik atışa uğrayan cisme verilen kendi ekseni etrafındaki dönme hareketi, aerodinamik kuvvetlerle birlikte Bölüm 15 'de tartışılacak olan bazı çok ilginç olaylara neden olabilir.



Şekil 4.6 Orijini $\mathbf{v}_i$ hızıyla terkeden, eğik atılan bir cismin parabolik yolu. **v** hız vektörü zamanla hem büyüklük hem de doğrultuca değişmektedir. Bu değişme, negatif y doğrultusundaki ivme sonucudur. Yatay doğrultu boyunca hiç bir ivme olmadığından, hızın x bileşeni zamana göre sabit kalır. Yolun tepe noktasında hızın y bileşeni sıfırdır.



Bir kaynakçı ağır metalden inşaat direği içerisine hamlaçla delikler açmaktadır. İşlem sırasında oluşan kıvılcımlar parabolik yollar çizerler. (© *The Telegraph Colour Library/FPG*)

Bu ifade $0 < \theta_i < \pi/2$ aralığında geçerlidir. Bu eşitlik eğik olarak atılan cismin yolu boyunca herhangi (x, y) noktası için geçerli olduğundan x ve y indislerini attık. Bu, orijinden geçen bir parabol denklemi olan, $y = ax - bx^2$ biçimli bir bağıntıdır. Böylece, eğik olarak atılan bir cismin izlediği yolun bir parabol olduğunu görmüş olduk. Cismin izlediği yolun, v_i ilk hız ve θ_i atış açısı bilinirse tamamen belirlendiğine dikkat ediniz.

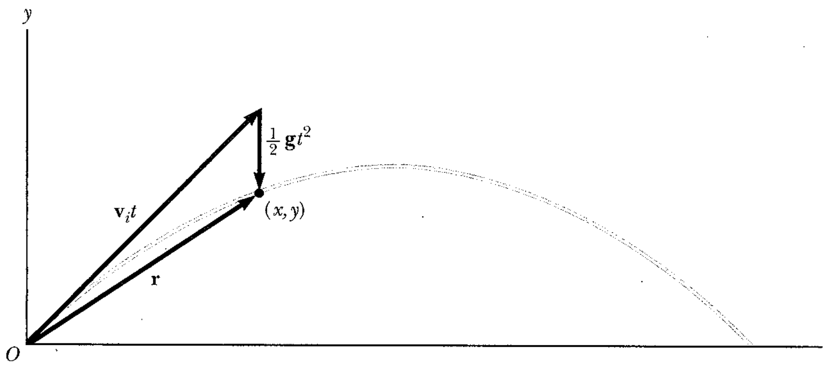
Eğik atış yapan bir cismin konum vektörünün ifadesi, $\mathbf{r}_i = 0$ ve $\mathbf{a} = \mathbf{g}$ alınmak suretiyle 4.9 Eşitliğinden doğrudan doğruya şu şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{r} = \mathbf{v}_i t + \tfrac{1}{2}\mathbf{g}t^2$$

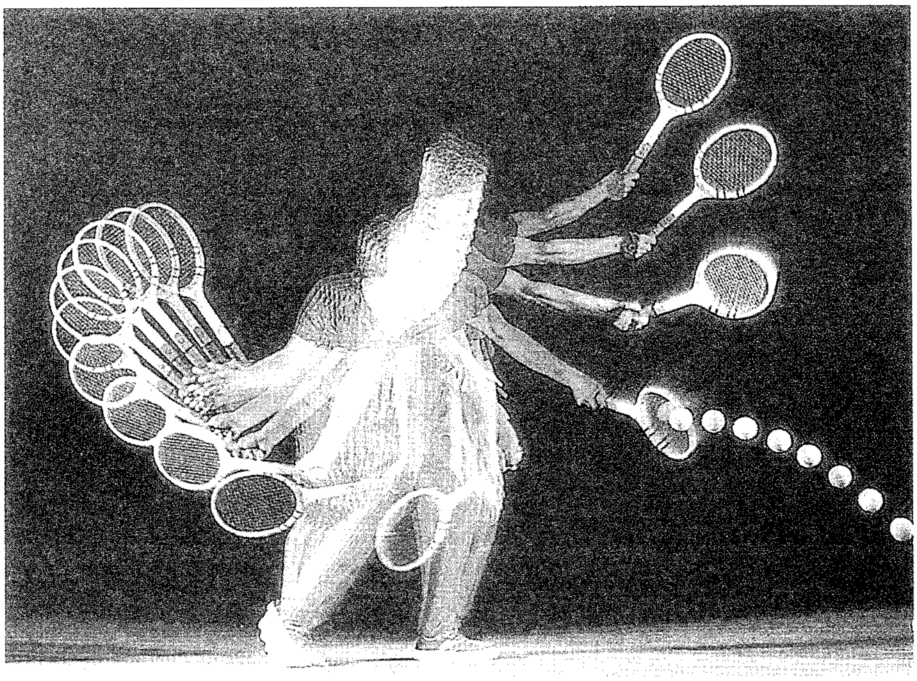
Bu ifadenin grafiği Şekil 4.7 'de çizilmiştir.

Ev Deneyi

Bir masanın üst kenarına iki tenis topu yerleştiriniz. Toplardan birine bir elinizle hafifçe vururken diğer topa yatay olarak masanın dışına doğru hızlı bir şekilde vurunuz. İkisinin zemine ulaşması için geçen zamanları karşılaştırınız.



Şekil 4.7 Orijinden $\mathbf{v}_i$ ilk hızıyla eğik atılan cismin **r** yerdeğiştirme vektörü. $\mathbf{v}_i t$ vektörü, yerçekimi olmasaydı eğik atılan cismin yerdeğiştirmesi olacaktı. $\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$ vektörü, t zamanında yerçekiminden ileri gelen düşey yerdeğiştirmedir.



Bir tenis oyuncusunun sağ vuruşunu yaparken ardışık flaş patlamalarıyla çekilen fotoğrafları. Eğik atışta top parabolik bir yolu takip ettiğine dikkat ediniz. Bu tür fotoğraflar spor donanımının kalitesini ve atletin performansını incelemek için kullanılabilir. (© *Zimmerman, FPG International*)

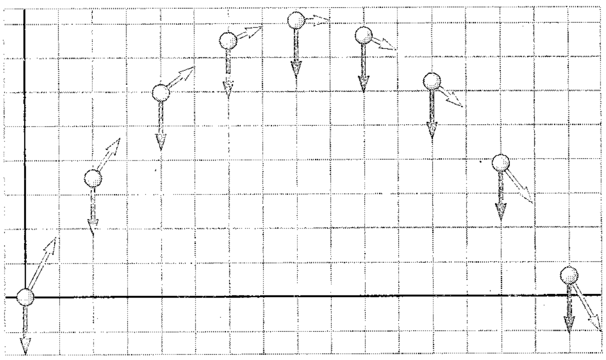
Hareketin, ivme olmadığında yerdeğiştirmeyi veren $\mathbf{v}_i t$ terimiyle, yerçekiminden kaynaklanan ivmenin oluşturduğu $\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$ teriminin toplamından ibaret olduğuna dikkat etmek ilginç olur. Diğer bir ifadeyle, yerçekimi ivmesi olmasaydı, parçacık $\mathbf{v}_i$ yönünde doğru bir yol boyunca hareket etmeye devam edecekti. Böylece, parçacığın y ekseni boyunca aldığı $\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$ yolu, serbest düşen cismin aynı zaman zarfında düşeceği yüksekliktir. Eğik atış hareketinin **iki hareketin üst-üste binmesi olduğu** sonucuna varırız. (1) **yatay doğrultuda sabit hızla hareket** (2) **düşey doğrultuda serbest-düşme hareketi.** Uçuş zamanı t hariç, eğik atış hareketindeki düşey ve yatay bileşenler tamamıyla birbirinden bağımsızdırlar.

ÖRNEK 4.2 Bir Eğik Atış Hareketi

İlk hızının düşey bileşeni 40 m/s, yatay bileşeni 20 m/s olacak şekilde bir top fırlatılmaktadır. Toplam uçuş zamanını ve top yere düştüğünde fırlatış noktasından olan uzaklığını tahmin ediniz.

Çözüm İki hız bileşeninin birbirinden bağımsız olduğunu hatırlayarak problemin çözümüne başlarız. Önce düşey hareketi gözönüne alarak, topun havada ne kadar süre kaldığını tahmin edebiliriz. Sonra, alınan yatay uzaklığı tahmin etmek için uçuş zamanını kullanabiliriz.

Şekil 4.8 'deki gibi bir hareket diyagramı, problemle ilgili bildiklerimizi organize etmemize yardım eder. İvme

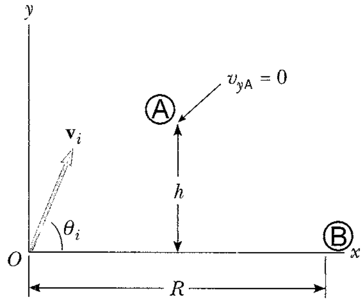


Şekil 4.8 Bir eğik atışın hareket diyagramı

vektörlerinin hepsi, hemen hemen 10 m/s^2 büyüklükte, aşağı yöndedir. Hız vektörleri yön değiştirir. Onların yatay bileşenlerinin hepsi aynıdır: 20 m/s. Düşey hareketi bir serbest düşme olduğundan, hız verkörlerinin düşey bileşenleri yukarı yönde 40/ms 'den kabaca 30, 20 ve 10 m/s 'ye sonra 0 'a saniye ye değişir. Ardından, topun hızı aşağı yönde 10, 20, 30 ve 40 m/s olur. Böylece yaklaşık 8 s 'lik bir toplam uçuş zamanı için, topun yükselmesi 4 s ve aşağıya geri gelmesi diğer bir 4 s kadar zaman alır. Hızın yatay bileşeninin 20 m/s olması ve bu hızda 8 s gitmesi nedeni ile, yolculuğu, harakete başlama noktasından itibaren yaklaşık 160 m 'de son bulur.

Eğik Atışta Cismin Menzili ve Maksimum Yüksekliği

Cismin Şekil 4.9 'daki gibi, pozitif v_{yi} bileşeniyle, $t_i = 0$ 'da orijinden atıldığını varsayalım. İncelenmesi gereken ilginç iki özel hal vardır: $(R/2, h)$ koordinatlarına sahip Ⓐ tepe ve $(R, 0)$ koordinatlara sahip Ⓑ noktaları. R uzaklığına eğik atılan cismin *menzili*, h uzunluğuna da *maksimum yüksekliği* denir. h ve R 'yi v_i, θ_i ve g cinsinden bulmak isteyelim.



Şekil 4.9 Bir $\mathbf{v}_i$ ilk hızıyla $t_i = 0$ 'da orijinden, eğik atılan bir cisim. Cismin maksimum yüksekliği h ve menzili R dir. Cismin yolunun tepe noktası olan Ⓐ 'da, parçacığın koordinatları $(R/2, h)$ dır.

Tepe noktasında $v_{yA} = 0$ 'ı kullanarak, cismin ulaştığı maksimum h yüksekliğini bulabiliriz. 4.8a Eşitliği cismin tepe noktasına ulaşması için geçen t_A zamanını hesaplamakda kullanılabilir:

$$v_{ys} = v_{yi} + a_y t$$
$$0 = v_i \sin\theta_i - g t_A$$
$$t_A = \frac{v_i \sin\theta_i}{g}$$

t_A 'nın bu ifadesi 4.9a Eşitliğinin y kısmında yerine konulursa h, ilk hız vektörünün büyüklüğü ve doğrultusu cinsinden bulunur:

$$h = (v_i \sin\theta_i)\frac{v_i \sin\theta_i}{g} - \frac{1}{2} g\left(\frac{v_i \sin\theta_i}{g}\right)^2$$

$$h = \frac{v_i^2 \sin^2\theta_i}{2g} \qquad \textbf{(4.13)}$$

Eğik atışta maksimum yükseklik

R menzili, cismin tepe noktasına ulaşmak için geçen zamanın iki katında yani, $t_B = 2t_A$ zamanı içinde alınan yatay uzaklıkdır. 4.9a Eşitliğinin x kısmını kullanarak, $v_{xi} = v_{xB} = v_i \cos\theta_i$ olduğuna dikkat ederek ve $t = 2t_A$ da $R \equiv x_B$ alarak,

$$R = v_{xi} t_B = (v_i \cos\theta_i) 2t_A$$

$$= (v_i \cos\theta_i)\frac{2v_i \sin\theta_i}{g} = \frac{2v_i^2 \sin\theta_i \cos\theta_i}{g}$$

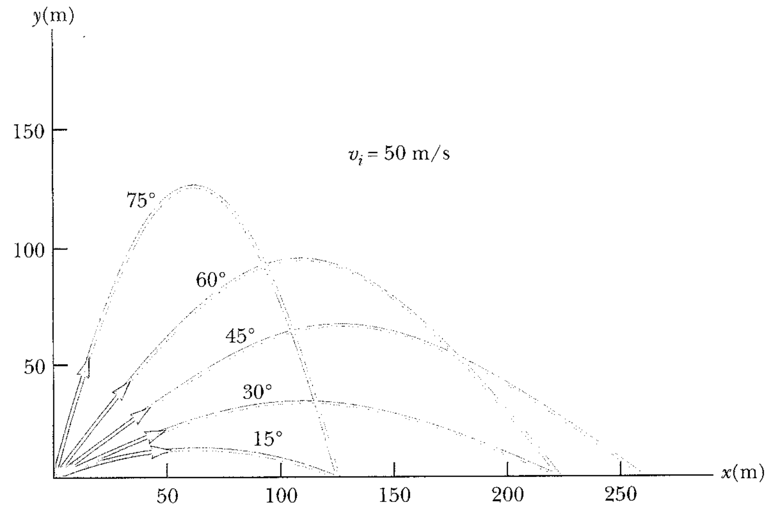
buluruz. $\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$ özdeşliğini kullanarak (Ek B.4'e bakınız), R daha sade biçimde

$$R = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g} \qquad \textbf{(4.14)}$$

Eğik atışta menzil

olarak yazılabilir. Sadece v_i ve θ_i biliniyorsa (yalnız v_i 'nin tanımlanmış olması gerektiği anlamına gelen ve Şekil 4.9 'da görüldüğü gibi, cisim fırlatıldığı yüksekliğe geri düşerse h ve r 'yi hesaplamak için 4.13 ve 4.14 Eşitliklerinin kullanılabileceği unutulmamalıdır.

4.14 Eşitliğinden, R 'nin maksimum değerinin $R_{maks} = v_i^2/g$ olduğuna dikkat etmelisiniz. Bu sonuç, $2\theta_i = 90°$ olduğunda, $\sin 2\theta_i$ 'ın maksimum değerinin 1 olması gerçeğinden çıkar. Böylece $\theta_i = 45°$ olduğu zaman R 'nin maksimum olduğunu görürüz.



Şekil 4.10 Farklı açılarda, 50 m/s 'lik ilk hızla orijinden atılan cisim. θ_i'nin bütünler açı değerleri sonuçlarının aynı x (cismin menzili) değerinde bulunduğuna dikkat ediniz.

Şekil 4.10 belli bir ilk hızla, farklı açılarda atılan bir cismin aldığı değişik yolları göstermektedir. Gödüğünüz gibi $\theta_i = 45°$ için menzil maksimum değere sahiptir. Ayrıca $\theta_i = 45°$ 'den farklı herhangi bir θ_i açısı için $(R, 0)$ kartezyen koordinatlarına sahip bir noktaya örneğin 75° ve 15° gibi, θ_i'nin iki bütünler değerinden herhangi biriyle ulaşılabilir. Kuşkusuz θ_i'nin bu iki değeri için maksimum yükseklik ve uçuş zamanı, bütünler değer için olan maksimum uçuş yüksekliği ve zamandan farklıdır.

Ev Deneyi

Bu keşfi yapmak için, örneğin tenis topu gibi küçük bir top ve bir kol saatiyle dışarıda olmalısınız. Olabildiğince kuvvetle topu yukarıya fırlatınız ve sadece saatinizi kullanarak fırlatışınızın ilk hızını ve topun yaklaşık maksimum yüksekliğini belirleyiniz. Tapu $\theta \neq 90°$ olan herhangi bir açıda fırlattığınız zaman ne olur? Bu uçuş zamanını değiştirir mi (belki fırlatmanın kolay olması sebebiyledir)? Gene maksimum yüksekliği ve ilk hızı bulabilir misiniz?

Sınama Sorusu 4.2

Eğik olarak atılan bir cisim parabolik yörüngesinde hareket ederken yol boyunca hız ve ivme vektörlerinin (a) birbirine dik (b) birbirine paralel olduğu herhangi bir nokta var mıdır? (c) En kısadan en uzuna , uçuş zamanına göre Şekil 4.10 daki beş yolu sıralayınız.

Problem Çözümünde İpuçları

Eğik Atış Hareketi

Eğik atış problemlerini çözerken aşağıdaki yaklaşımlardan yararlanmanızı öneririz:

- Bir koordinat sistemi seçiniz ve ilk hız vektörünü x ve y bileşenlerine ayırınız.
- Yatay hareketi analiz etmek için sabit -hızlı problemlerin çözüm tekniklerini izleyiniz. Düşey hareketi analiz etmek için sabit ivme problemleri çözüm tekniklerini izleyiniz. x ve y hareketleri için t uçuş zamanı aynı olur.

ÖRNEK 4.3 Uzun Atlama

Uzun atlama yapan bir sporcu, yatayla 20° açı altında 11 m/s 'lik hızla fırlıyor. (a) Sporcu ne kadar yatay uzaklığa sıçrayabilir? (Sporcunun hareketini bir parçacık hareketi gibi ele alınız.)

Çözüm İlk hız ve atış açısı verildiğinden, bu problemi çözmenin en kestirme yolu, 4.14 Eşitliği ile verilen menzil formülünü kullanmaktır. Fakat, daha genel bir yaklaşım yapmak ve Şekil 4.9 'dan yararlanmak öğretici olur. Önceki gibi, koordinatlarımızın orijinini çıkış noktasında alalım ve tepe noktasını Ⓐ ve iniş noktasını Ⓑ olarak işaretliyelim. Sporcunun yatay hareketi, 4.10 Eşitliği kullanılarak tasvir edilebilir:

Bir uzun atlama olayında, 1993 Birleşik Devletler şampiyonu Mike Powel en az 8 m uzun atlıyabilmektedir. (*Chuck Muhlstock/FGP international*)

$$x_s = x_B = (v_i \cos\theta_i)\, t_B = (11\ \text{m/s})(\cos 20°)\, t_B$$

Sıçramanın toplam süresi bilinirse x_B 'nin değeri bulunabilir. $a_y = -g$ olduğunu hatırlayarak ve 4.8a Eşitliğinin y kısmını kullanarak t_B'yi bulabiliriz. Sıçramanın tepe noktasında, hızın v_{yA} düşey bileşeninin sıfır olduğunu da gözönüne alıyoruz:

$$v_{ys} = v_{yA} = v_i \sin\theta_i - g t_A$$

$$0 = (11\text{m/s})\sin 20° - (9{,}80\ \text{m/s})^2 t_A$$

$$t_A = 0{,}384\ \text{s}$$

Bu, sıçramanın *tepe* noktasına ulaşmak için geçen zamandır. Düşey hareketin simetrisi nedeniyle uzun atlayıcı, zemine geri dönmeden önce aynı süre geçer. O nedenle, havadaki *toplam süre* $t_B = 2t_A = 0{,}768$ s 'dir. Bu, x_s 'nin yukarıdaki ifadesinde yerine konulursa

$$x_s = x_B = (11\text{m/s})\ (\cos 20°)\ (0{,}768\text{s}) = 7{,}94\ \text{m}$$

olur. Dünya çapında bir atlet için bu akla yatkın bir sonuçtur.

(b) Ulaşılan maksimum yükseklik nedir?

Çözüm Ulaşılan maksimum yüksekliği 4.11 Eşitliğini kullanarak buluruz:

$$y_{max} = y_A = (v_i \sin\theta_i)\, t_A - \tfrac{1}{2}\, g t_A^{\,2}$$
$$= (11\text{m/s})(\sin 20°)(0{,}384\ \text{s})^2$$
$$- \tfrac{1}{2}\ (9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (0{,}384\ \text{s})^2$$
$$= 0{,}722\ \text{m}$$

Sporcunun hareketinin eğik atılan bir cismin hareketi olduğu varsayımı, durumun basite indirgenişdir. Yine de, elde edilen değerler akla yatkındır.

Alıştırma Bu hesapları kontrol etmek için, maksimum yüksekliği ve menzili bulmak üzere 4.13 ve 4.14 Eşitliklerini kullanınız.

ÖRNEK 4.4 Hareketli Hedefe Atış

Bazen ders içi gösteri deneyinde, Şekil 4.11 'de görüldüğü gibi, hedef durgun halden serbest bırakıldığı anda, tabanca ile hedefe eğik atış yapılır. Başlangıçta durgun olan hedefe nişan alınırsa, eğik atış yapan merminin isabet edeceğini gösteriniz.

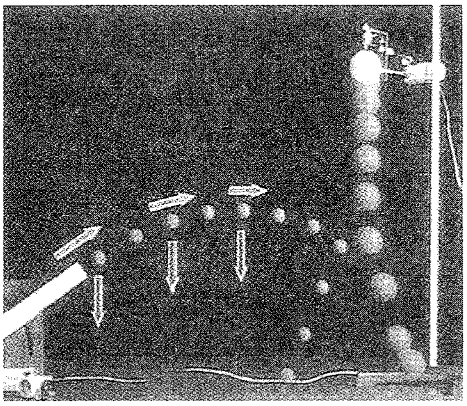
Çözüm Eğik atılan cisim ve hedef serbest bırakılır bırakılmaz her ikisinin aynı $a_y = -g$ ivmesi etkisinde kaldığını gözönüne alarak çarpışmanın söylenen koşullar altında gerçekleştiğini tartışabiliriz. Önce, Şekil 4.11b 'den hedefin ilk y koordinatının $x_T \tan\theta_i$ olduğuna ve bir t anında $\frac{1}{2} gt^2$ mesafesinden düştüğüne dikkat ediniz. Böylece, serbest bırakıldıktan sonra herhangi bir anda hedefin y koordinatı,

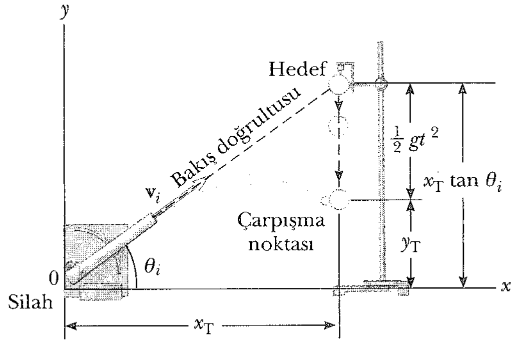
$$y_T = x_T \tan\theta_i - \tfrac{1}{2} gt^2$$

dir. Şimdi, eğik atılan cismin herhangi bir andaki y koordinatı için bir ifade yazmak için 4.9a Eşitliğini kullanırsak,

$$y_P = x_P \tan\theta_i - \tfrac{1}{2} gt^2$$

elde ederiz. Böylece, yukarıdaki iki denklemi karşılaştıra-


(a)



(b)

Şekil 4.11 (a) Bir eğik atış – hedef gösterisinin ardışık hızlı-çekim fotoğrafı. Tabancayla hedefe doğrudan nişan alınırsa ve hedef düşmeye başladığı anda tetiğe basılırsa eğik atılan cisim hedefe isabet edecektir. Aşağı yöndeki ivme (mor oklar) sabit kalırken, eğik atılan cismin hızının (kımızı oklar) doğrultuca değiştiğine dikkat ediniz. (*Central Scientific Company*) (b) Eğik olarak atılan cisim ve hedefin şematik diyagramı. Her iki eğik atılan cisim ve hedef aynı $a_y = -g$ ivmesi etkisinde kaldığından, bir t anında her ikisi de aynı düşey uzaklıktan düşerler.

rak eğik atılan cismin ve hedefin y koordinatları aynı olduğu zaman onların x koordinatlarının aynı olduğunu ve bir çarpışmayla sonuçlandığını anlarız. Yani, $y_P = y_T$ olduğu zaman $x_P = x_T$ dir.

Eğik atılan cisim ve hedef için konum vektörleri ifadelerini kullanarak, aynı sonucu elde edebilirsiniz.

Çarpışmanın her zaman *olmayacağını* da beklemelisiniz. Çarpışmanın yalnız $\theta_i \geq \sqrt{gd/2}$ olduğu zaman sonuçlanacağı başka bir kısıtlama vardır. Burada d, hedefin *zeminden* yukarıya başlangıç yüksekliğidir. $v_i \sin\theta_i$ bu değerden küçük ise, eğik atılan cisim hedefe ulaşmadan önce zemine çarpar.

ÖRNEK 4.6 Güçlü Bir Kol

Bir taş, Şekil 4.12 'deki gibi, bir binanın tepesinden yatayla 30° 'lik bir açı altında ve 20 m/s 'lik bir ilk hızla yukarıya doğru fırlatılmaktadır. Binanın yüksekliği 45 m ise, (a) taş ne kadar süre havada kalır?

Çözüm Şekil 4.12 de çeşitli parametreleri gösterdik. Problemleri kendi kendinize çözerken, daima bunun gibi bir çizim yapmalı ve çizimde değerleri yerli yerine koymalısınız.

Taşın ilk hızının x ve y bileşenleri,

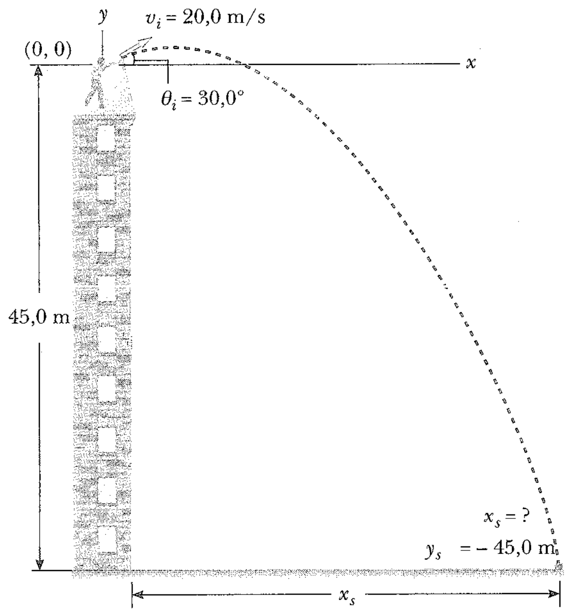
$$v_{xi} = v_i \cos\theta_i = (20\text{m/s})(\cos 30°) = 17{,}3\text{m/s}$$

$$v_{yi} = v_i \sin\theta_i = (20\text{m/s})(\sin 30°) = 10 \text{ m/s}$$

dir. t yi bulmak için, $y_s = -45$ m, $a_y = -g$ ve $v_{yi} = 10$ m/s alarak $y_s = v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2$ (4.9a Eşitliğini) kullanabiliriz (Binanın çatısını orijin olarak seçtiğimizden y_s nin sayısal değerinde eksi işareti vardır):

$$-45\text{m} = (10 \text{ m/s})t - \tfrac{1}{2}(9{,}80\text{m/s}^2)t^2$$

t için ikinci dereceden denklemin çözülürse, pozitif kök için, $t =$ 4,22 s olur. Negatif kökün herhangi bir anlamı



Şekil 4.12

var mıdır? (Verilen bilgilerden t yi bulmanın başka bir yolu olduğunu düşünebilir misiniz?)

(b) Zemine çarpmadan hemen önce taşın hızının büyüklüğü nedir?

Çözüm Taşın zemine çarpmadan hemen önce, hızının y bileşenini elde etmek için, $v_{ys} = v_{yi} + a_y t$ eşitliğinde t = 4,22 s koyarak bulabiliriz:

$$v_{ys} = 10{,}0 \text{m/s} - (9{,}80 \text{m/s}^2)(4{,}22 \text{s}) = -31{,}4 \text{ m/s}$$

Eksi işareti taşın aşağıya doğru hareket ettiğini gösterir. $v_{xs} = v_{xi} = 17{,}3$ m/s olduğundan, gerek duyulan hız

$$v_s = \sqrt{v_{xs}^2 + v_{ys}^2} = \sqrt{(17{,}3)^2 + (-31{,}4)^2} \text{ m/s} = 35{,}9 \text{ m/s}$$

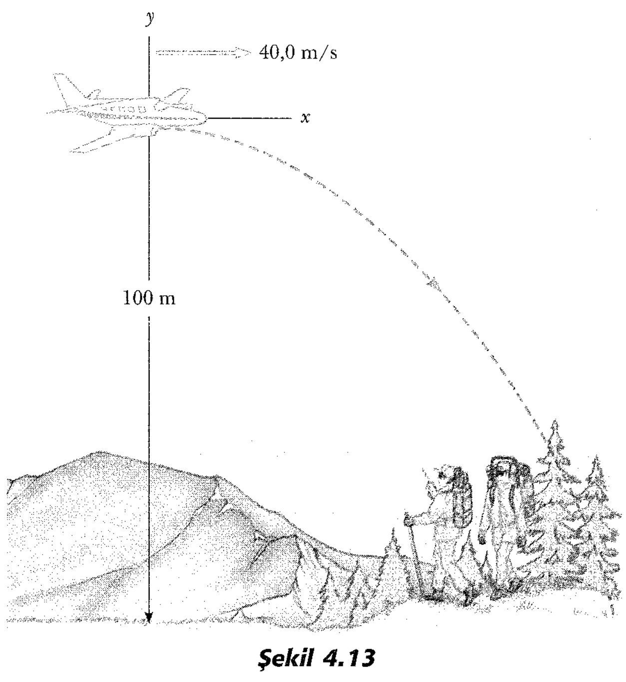
Alıştırma Taş zemine nerede çarpar?

Cevap Binanın zemininden itibaren 73 m.

ÖRNEK 4.6 Zor Durumdaki Kâşifler

Bir Alaska cankurtaran uçağı Şekil 4.13 'de gösterildiği gibi, zor durumdaki bir kısım kâşife acil kumanya paketi atıyor. Uçak yerden 100 m yüksekte 40 m/s hızla yatay olarak yol alıyorsa, paket, bırakıldığı noktaya göre yere nerede çarpar?

Çözüm Bu problem için, orijin paketin atıldığı nokta olmak üzere Şekil 4.13 'teki koordinat sistemini seçiyoruz. Önce paketin yatay hareketini inceleyelim. Yatay doğrultuda alınan yolu bulmak için elimizde bulunan tek denklem $x_s = v_{xi} t$ (4.9a Eşitliği)dir. Paketin ilk hızının x bileşeni, paket bırakıldığı zaman uçağın hızıyla aynı, 40 m/s dir. Böylece,



Şekil 4.13

$$x_s = (40 \text{ m/s})\, t$$

elde ederiz.

Paketin havada bulunduğu t süresi bilinirse, paket tarafından yatay doğrultuda alınan yolun x_s uzunluğu bulunabilir. t 'yi bulmak için, paketin düşey hareketini tanımlayan denklemlerden yararlanırız. Paket yere çarptığı anda y koordinatının $y_s = -100$ m olduğunu biliyoruz. Paketin düşey doğrultudaki ilk hızının v_{yi} bileşeninin de bırakılma anında hızın yalnız yatay bileşeni olması nedeniyle sıfır olduğunu biliyoruz.

4.9a Eşitliğinden,

$$y_s = -\tfrac{1}{2} g t^2$$

$$-100 \text{ m} = -\tfrac{1}{2}(9{,}80 \text{ m/s}^2)\, t^2$$

$$t = 4{,}52 \text{s}$$

Uçuş zamanının bu değeri x koordinatını veren eşitlikte yerine konularak,

$$x_s = (40 \text{m/s})(4{,}52 \text{s}) = 181 \text{ m}$$

bulunur. Paket atıldığı noktanın 181 m yere çarpar.

Alıştırma Tam yere çarpmadan önce paketin hızının yatay ve düşey bileşenleri nedir?

Cevap $v_{xs} = 40$ m/s; $v_{ys} = -44{,}3$ m/s.

Alıştırma Paket yere çarptığı zaman uçak nerededir? (Uçağın hızını veya rotasını değiştirmediğini varsayınız.)

Cevap Tam paketin üzerinde

ÖRNEK 4.7 **Kayakla Atlayışın Son Noktası**

Bir kayak sporcusu, kayak pistini Şekil 4.14 'deki gibi 25 m/s 'lik hızla yatay doğrultuda giderek terkeder. Aşağıya inişinde 35° 'lik bir eğimle düşer. (a) Sporcu tepeden aşağıya nereye düşer?

Çözüm Kayakçının havada 10 s 'den daha kısa süre kalacağını beklemek akla yatkındır ve böylece, yatay olarak 250 m 'den daha uzağa gitmeyecektir. Yokuş boyunca alınan d yolunun aynı mertebede olacağını bekleyecektik. Atlayışın başlangıcını orijin ($x_i = 0$, $y_i = 0$) olarak seçmek uygundur. Bu halde, $v_{xi} = 25$ m/s ve $v_{yi} = 0$ olduğundan, 4.9 Eşitliğinin x ve y bileşen biçimleri

(1) $x_s = v_{xi}t = (25\text{m/s})\text{t}$

(2) $y_s = \frac{1}{2}a_y t^2 = -\frac{1}{2}(9{,}80)\text{m/s}^2)t^2$

dir. Şekil 4.14 'deki dik üçgenden, iniş noktasında kayakçının x ve y koordinatlarının $x_s = d\cos 35°$ ve $y_s = -d\sin 35°$ ile verildiğini anlarız. Bu bağıntıların (1) ve (2) de yerine konulursa,

(3) $d\cos 35° = (25\text{m/s})t$

(4) $-d\sin 35° = \frac{1}{2}(9{,}8\ \text{m/s}^2)t^2$

bulunur. Bu denklemlerden t nin yok edilirse, $d = 109$ m bulunur. O halde, kayakçının yere indiği noktanın x ve y koordinatları

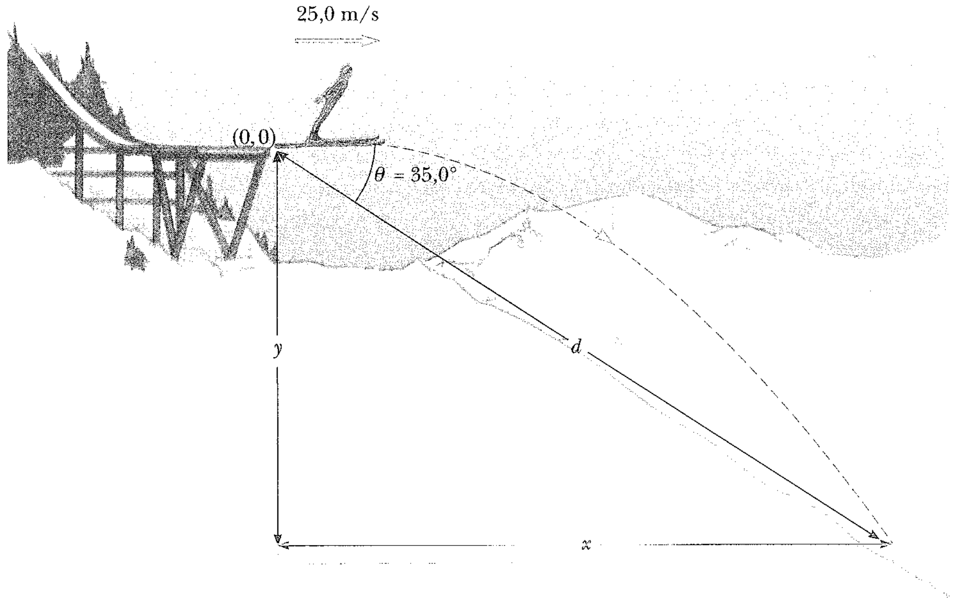
$x_s = d\cos 35° = (109\ \text{m})\cos 35° = 89{,}3\ \text{m}$

$y_s = -d\sin 35° = -(109\ \text{m})\sin 35° = -62{,}5\ \text{m}$

olursak bulunur.

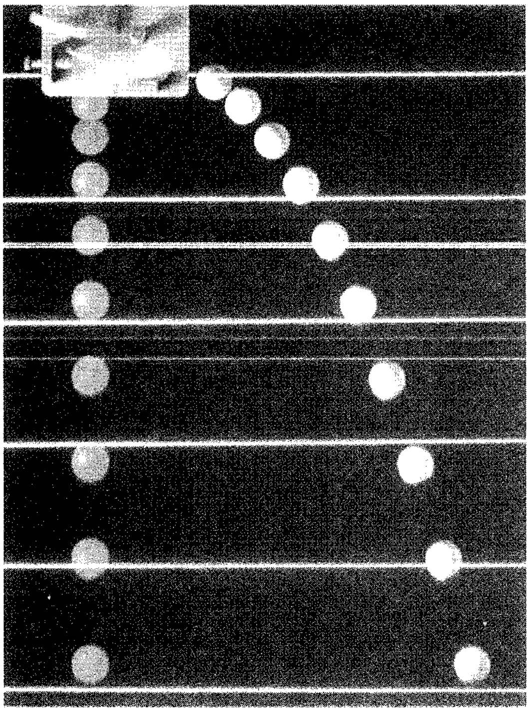
Alıştırma Sporcunun havada ne kadar süre kalacağını ve yere inmeden hemen önce hızının düşey bileşenini hesaplayınız.

Cevap 3,57 s ; −35,0 m/s



Şekil 4.14

Eğer son örnekteki kayakçı bir taş taşımakta olsaydı ve onu havada orta yerdeyken bıraksaydı ne olurdu? Taşın hızı kayakçının ilk hızı ile aynı olduğundan taş hareket ederken, kayakçının yanıbaşında kalacaktır yani, yol boyunca onunla birlikte gider. Bu NASA'nın astronotları eğitmek için kullandığı bir tekniktir. Bölümün başında resmi görülen uçan kayakçı taşın takip ettiği eğik atış yoluyla aynı tarzda uçmaktadır. Uçak içerisindeki yolcular ve kargo yanyana düşerler, yani onlar aynı yolu izlerler. Astronot bir eşyayı serbest



Şekil 4.15 Aynı anda bırakılan iki topun, ardarda hızlı çekim fotoğrafı ,hem serbest düşme (kırmızı top) ve hem de eğik atış hareketini (sarı top) göstermektedir. Kırmızı top durgun halden serbest bırakılırken, sarı top yatay olarak atılmıştı. (*Richard Megna/ Temel Fotoğraflar*)

Ev Deneyi

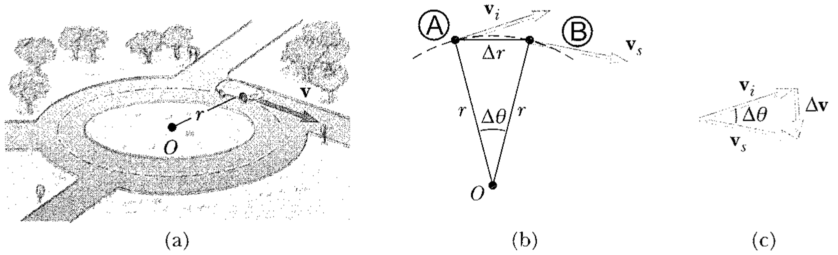
Görüntüler arasındaki zamanın 1/30s olduğu ve bir cetvelden başka hiçbir bilgi yoksa, Şekil 4.15 deki sarı topun yatay hızını bulunuz. (*İpucu:* Kırmızı topun hareketini analiz ederek işe başlayınız. Onun düşey ivmesini bildiğinizden, fotoğrafta belirtilen uzaklıkları kalibre edebilirsiniz. O zaman sarı topun yatay hızını bulabilirsiniz.)

bıraktığında, eşya elinin yanıbaşında serbestçe dolaşacaktır. Aynı şey uzay kapsülünde olur. Uçak ve içerisindeki herşey yerin çevresindeki yörüngelerinde dönerek düşerler.

4.4 DÜZGÜN DAİRESEL HAREKET

3.6 Şekil 4.16a, sabit v sürati ile dairesel yolda hareket eden bir arabayı göstermektedir. Böyle bir harekete **düzgün dairesel hareket** denir. Arabanın hareket doğrultusu değiştiğinden, nedeni ile Kesim 4.1 de öğrendiğimiz gibi, arabanın bir ivmesi vardır. Herhangi bir hareket için hız vektörü yola teğettir. Sonuç olarak bir cisim dairesel bir yolda hareket ettiği zaman, hız vektörü dairenin yarıçapına dik olur.

Düzgün dairesel hareketteki ivme vektörünün daima yola dik olduğunu ve



Şekil 4.16 (a) Sabit büyüklükde hızla dairesel bir yol boyunca hareket eden bir araba düzgün dairesel hareket yapar. (b) Parçacık Ⓐ dan Ⓑ ye hareket ederken, hız vektörünün doğrultusu $\mathbf{v}_i$ den $\mathbf{v}_s$ ye değişir. (c) Küçük $\Delta\mathbf{r}$ için dairenin merkezine doğru olan, hızdaki $\Delta\mathbf{v}$ değişiminin çizimle gösterilmesi.

dairenin merkezine yöneldiğini göstereceğiz. Bu tür ivmeye **merkezcil ivme** denir ve büyüklüğü

$$a_r = \frac{v^2}{r} \tag{4.15}$$

ile verilir. Burada r dairenin yarıçapıdır ve a_r merkezcil ivmenin radyal doğrultuda olduğunu göstermek için kullanılır.

4.15 Eşitliğini elde etmek için, önce parçacığın Ⓐ noktasında ve sonra Ⓑ noktasında olduğunu gösteren 4.16b şeklini ele alalım. Burada cisim önce t_i zamanında $\mathbf{v}_i$ hızıyla Ⓐ noktasında ve sonra t_s zamanında $\mathbf{v}_s$ hızıyla Ⓑ noktasında görülmektedir. $\mathbf{v}_i$ ve $\mathbf{v}_s$ 'nin sadece doğrultularının farklı olduğunu da kabul ediyoruz. Büyüklükleri (yani, $v_i = v_s = v$) aynıdır. Parçacığın ivmesini hesaplamak için işe, ortalama ivmenin (4.4 Eşitliği) tanımıyla başlayalım:

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\mathbf{v}_s - \mathbf{v}_i}{t_s - t_i} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

Bu eşitlik $\mathbf{v}_i$ 'yi $\mathbf{v}_s$ 'den vektörel olarak çıkartmamız gerektiğini söyler. Burada $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_s - \mathbf{v}_i$, hızdaki değişimdir. $\mathbf{v}_i + \Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_s$ olduğundan, Şekil 4.16c 'deki vektör üçgenini kullanarak, $\Delta \mathbf{v}$ vektörünü bulabiliriz.

Şimdi kenarları Δr ve r olan Şekil 4.16b 'deki üçgeni gözönüne alalım. Bu üçgen, Şekil 4.16c 'deki kenarları Δv ve v olan üçgene benzerdir. Bu özellik, kenarların uzunlukları arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı yazabilmemize olanak verir:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta r}{r}$$

Bu eşitlik Δv için çözülebilir ve elde edilen ifade

$$\bar{a} = \frac{v \Delta r}{r \Delta t}$$

yi elde etmek üzere $a = \Delta v / \Delta t$ de (4.4 Eşitliğinde) yerine konulabilir.

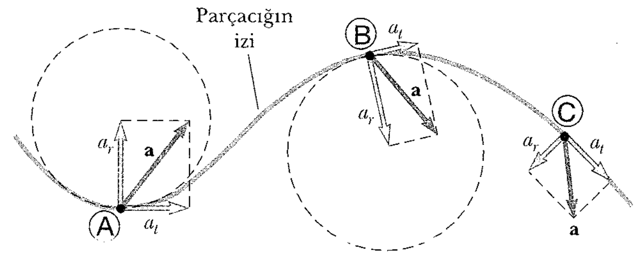
Şimdi Şekil 4.16b 'deki Ⓐ ve Ⓑ noktalarının birbirine son derece yakın olduğunu düşünelim. Bu durumda, $\Delta \mathbf{v}$ dairesel yolun merkezine doğru yönelecek ve ivme de, $\Delta \mathbf{v}$ doğrultusunda olduğundan, merkeze doğru yönelecektir. Ayrıca, Ⓐ ve Ⓑ noktası birbirine yaklaşırken, Δt sıfıra ve $\Delta r / \Delta t$ oranı da v süratine yaklaşır. O halde, $\Delta t \to 0$ limitinde ivmenin büyüklüğü

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

olur. Böylece düzgün dairesel harekette, ivmenin dairenin merkezine doğru yöneldiği ve büyüklüğünün v^2/r olduğu sonucunu çıkarırız. Burada v parçacığın sürati ve r dairenin yarıçapıdır. a_r 'nin boyutlarının L/T^2 olduğunu gösterebilmelisiniz. Kesim 6.1 'de dairesel hareket tartışmasına tekrar döneceğiz.

4.5 TEĞETSEL VE RADYAL İVME

3.6 Şekil 4.17 'de gösterildiği gibi, bir parçacığın hızının hem doğrultuca hem de büyüklükçe değiştiği, eğrisel bir yol boyunca hareketini inceleyelim. Hız vektörü daima yola teğettir; ancak $\mathbf{a}$, ivme vektörünün doğrultusu noktadan noktaya değişir. Bu vektör iki tane bileşen vektörüne ayrılabilir: biri $\mathbf{a}_r$ radyal bile-



Şekil 4.17 Bir parçacığın *xy* düzleminde yer alan herhangi bir eğrisel yörüngedeki hareketi. **v** (daima yörüngeye teğet) hız vektörünün doğrultusu ve büyüklüğü değişirse, parçacığın **a** ivmesinin bileşen vektörleri, $\mathbf{a}_t$ teğetsel ivme vektörü ve $\mathbf{a}_r$, radyal ivme vektörüdür.

şen vektörü, öteki $\mathbf{a}_t$ teğetsel bileşen vektörü. O halde **a**, bu bileşen vektörlerin vektörel toplamı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_t \qquad (4.16)$$

Toplam ivme

Teğetsel ivme, parçacığın hızının büyüklüğündeki değişimden kaynaklanır. Ani hıza paraleldir ve büyüklüğü,

$$a_t = \frac{d|\mathbf{v}|}{dt} \qquad (4.17)$$

Teğetsel ivme

ile verilir.

Radyal ivme, daha önce tanımlandığı gibi hız vektörünün doğrultusundaki değişmeden doğar ve büyüklüğü

$$a_r = \frac{v^2}{r} \qquad (4.18)$$

Radyal ivme

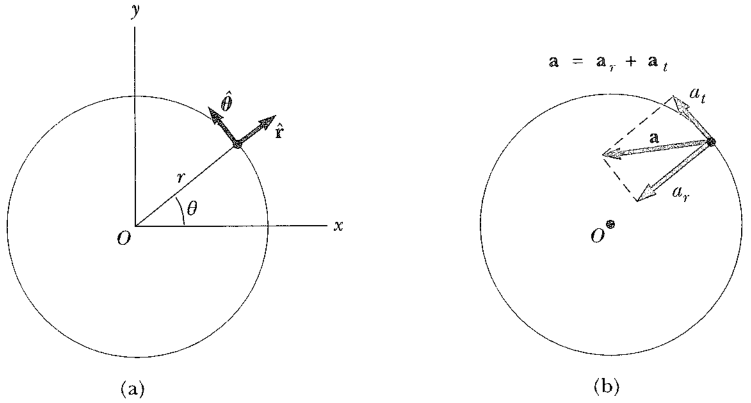
ile verilen mutlak değere sahiptir. Burada *r*, ivmenin sorulduğu noktadaki yolun eğrilik yarıçapıdır. $\mathbf{a}_r$ ve $\mathbf{a}_t$, **a** 'nın karşılıklı dik bileşen vektörleri olduklarından $a = \sqrt{a_r^2 + a_t^2}$ olduğu anlaşılır. Düzgün dairesel harekete benzer tarzda, düzgün olmayan dairesel harekettede $\mathbf{a}_r$ daima, Şekil 4.17 'de görüldüğü gibi eğrinin merkezine doğru yöneliktir. Aynı şekilde, belli bir hızda, eğrilik yarıçapı küçük olduğu zaman (Şekil 4.17 'de Ⓐ ve Ⓐ noktalarındaki gibi) a_r büyük; *r* büyük olduğu zaman (Ⓒ noktasındaki gibi) a_r küçüktür. $\mathbf{a}_t$ 'nin yönü ya (eğer *v* artıyorsa) **v** ile aynı yönde ya da (eğer *v* azalıyorsa) **v** ile zıt yöndedir.

v 'nin sabit olduğu düzgün dairesel hareket halinde, Kesim 4.4 de tanımladığımız gibi $a_t = 0$ ve ivme daima radyaldir (*Not*: 4.18 Eşitliği, 4.15 Eşitliğine özdeştir). Diğer bir ifadeyle, düzgün dairesel hareket, eğrisel bir yol boyunca olan hareketin özel bir halidir. Ayrıca **v** 'nin doğrultusu değişmez ise, o zaman radyal ivme yoktur ve hareket tek boyutludur ($a_r = 0$ fakat a_t sıfır olmayabilir).

Sınama Sorusu 4.3

(a) Daire çevresinde saat yönünün aksi yönünde bir hızla hareket eden bir cisim için hız ve ivme vektörlerini gösteren bir hareket diyagramı çiziniz. Bir daire çevresinde saat yönünün aksi yönünde fakat (b) sabit teğetsel ivmeyle yavaşlıyarak ve (c) sabit teğetsel ivmeyle hızlanarak hareket eden bir cisim için benzer diyagramlar çiziniz.

Dairesel yörüngede hareket eden parçacığın ivmesini birim vektörler cinsinden yazmak uygundur. Bunu, $\hat{\mathbf{r}}$ ve $\hat{\theta}$ birim vektörlerini tanımlayarak yaparız. Burada, $\hat{\mathbf{r}}$ yarıçap vektörü boyunca uzanan ve dairenin merkezinden dışa



Şekil 4.18 (a) $\hat{\mathbf{r}}$ ve $\hat{\theta}$ birim vektörlerinin tanımı. (b) Eğri bir yol (Herhangi bir anda r yarıçaplı bir dairenin parçası olan) boyunca hareket eden bir parçacığın toplam **a** ivmesi radyal ve teğet bileşenlerin toplamıdır. Radyal bileşen eğrinin merkezine yöneliktir. İvmenin teğet bileşeni sıfır olursa, parçacık düzgün dairesel hareket yapar.

doğru radyal olarak yönelen bir birim vektör ve $\hat{\theta}$, daireye teğet bir birim vektördür. $\hat{\theta}$ 'nın doğrultusu artan θ doğrultusundadır, burada θ pozitif x ekseninden itibaren saat yönünün aksi yönünde ölçülmektedir. Hem $\hat{\mathbf{r}}$ hem de $\hat{\theta}$ nın "parçacıkla birlikte hareket ettiğine" ve böylece zamanla değiştiğine dikkat ediniz. Bu gösterim şeklini kullanarak toplam ivmeyi,

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_r = \frac{d|\mathbf{v}|}{dt}\hat{\theta} - \frac{v^2}{r}\hat{\mathbf{r}} \tag{4.19}$$

olarak ifade edebiliriz. Bu vektörler Şekil 4.18b 'de gösterilmiştir. 4.19 Eşitliğinde v^2/r terimindeki eksi işareti radyal ivmenin daima, $\hat{\mathbf{r}}$ ile *aksi* yönde, radyal olarak içeriye doğru yönelik olduğunu gösterir.

Sınama Sorusu 4.4

Deneyiminizi esas alarak, merkezi düşey bir çizginin sağına doğru 45° olan bir ilk konumdan bu çizginin soluna doğru 45° olan bir son konuma taşıyan bir daire yayı boyunca sallanan bir sarkaç için konum, hız ve ivme vektörlerini gösteren bir hareket diyagramı çiziniz. Yay bir daire parçasıdır ve bu dairenin merkezini konum vektörleri için orijin olarak kullanmalısınız.

ÖRNEK 4.8 Sallanan Top

0,5 m uzunluğunda bir sicimin ucuna bağlanan bir top, Şekil 4.19 'daki gibi, yerçekiminin etkisi altında düşey bir daire çevresinde salınmaktadır. Sicim düşeyle $\theta = 20°$ 'lik açı yaptığı zaman, top 1,5 m/s 'lik hıza sahiptir. (a) İvmenin bu andaki radyal bileşenini bulunuz.

Çözüm Sayfa 109 daki Sınama Sorusu 4.4'e verilen cevapla ilgili şema bu duruma uygulanır ve böylece hareket sırasında ivme vektörünün nasıl değiştiği hakkında iyi bir fikir sahibi oluruz. Şekil 4.19 duruma daha yakından bakmamıza izin verir. Radyal ivme 4.18 Eşitliği ile verilmektedir. $v = 1{,}5$ m/s ve $r = 0{,}5$ m olduğundan,

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \frac{(1{,}50\ \mathrm{m/s})^2}{0{,}5\ \mathrm{m}} = 4{,}5\ \mathrm{m/s^2}$$

olduğunu buluruz.

(b) $\theta = 20°$ olduğu zaman teğetsel ivmenin büyüklüğü nedir?

Çözüm Top düşeyle θ açısı yaptığı zaman, $g\sin\theta$ büyüklüğünde bir teğetsel ivmeye sahiptir (**g** 'nin daire çevresine teğet bileşeni). Bu nedenle, $\theta = 20°$ 'de, $a_t = g\sin 20° = 3{,}4\ \mathrm{m/s^2}$ olduğunu buluruz.

(c) $\theta = 20°$ 'de toplam ivmenin büyüklüğünü ve doğrultusunu bulunuz.

Çözüm $\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_t$ olduğundan, **a** 'nın $\theta = 20°$ 'deki büyüklüğü

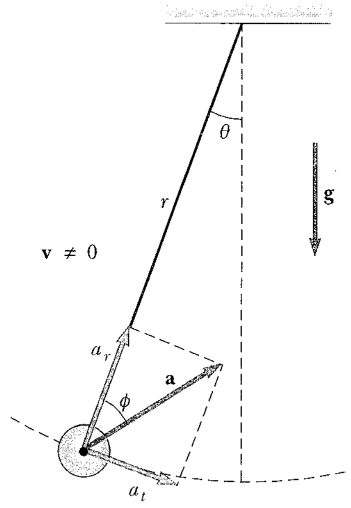
$$a = \sqrt{a_r^2 + a_t^2} = \sqrt{(4{,}5)^2 + (3{,}4)^2}\ \mathrm{m/s^2} = 5{,}6\ \mathrm{m/s^2}$$

ile verilir. Eğer ϕ, **a** ve sicim arasındaki açı ise, o zaman

$$\phi = \tan^{-1}\frac{a_t}{a_r} = \tan^{-1}\left(\frac{3{,}4\ \mathrm{m/s^2}}{4{,}5\ \mathrm{m/s^2}}\right) = 37°$$

dır.

a, $\mathbf{a}_t$ ve $\mathbf{a}_r$ vektörlerinin tümünün, top daire çevresinde salınırken doğrultu *ve* büyüklükçe değiştiğine dikkat ediniz. Top en alt seviyede olduğu zaman ($\theta = 0$), bu açıda **g** 'nin teğet bileşeni olmadığından $a_t = 0$ ve v maksimum olduğundan a_r *maksimum* dur. Top en yüksek noktasına ($\theta = 180°$) ulaşmak için yeterince hızlıysa o zaman, a_t yine sıfır fakat v minimum olduğundan, a_r minimumdur. Son olarak, iki yatay konumda ($\theta = 90°$ ve $270°$), $|\mathbf{a}_t| = g$ 'dir ve a_r minimum ve maksimum değerleri arasında belli bir değere sahiptir.



Şekil 4.19 (Örnek 4.7) r uzunluklu bir sicime bağlı bir topun dairesel hareketi. Top düşey bir düzlemde salınmakta ve onun **a** ivmesi bir $\mathbf{a}_r$ radyal bileşen vektörüne ve bir $\mathbf{a}_t$ teğetsel bileşen vektörüne sahiptir.

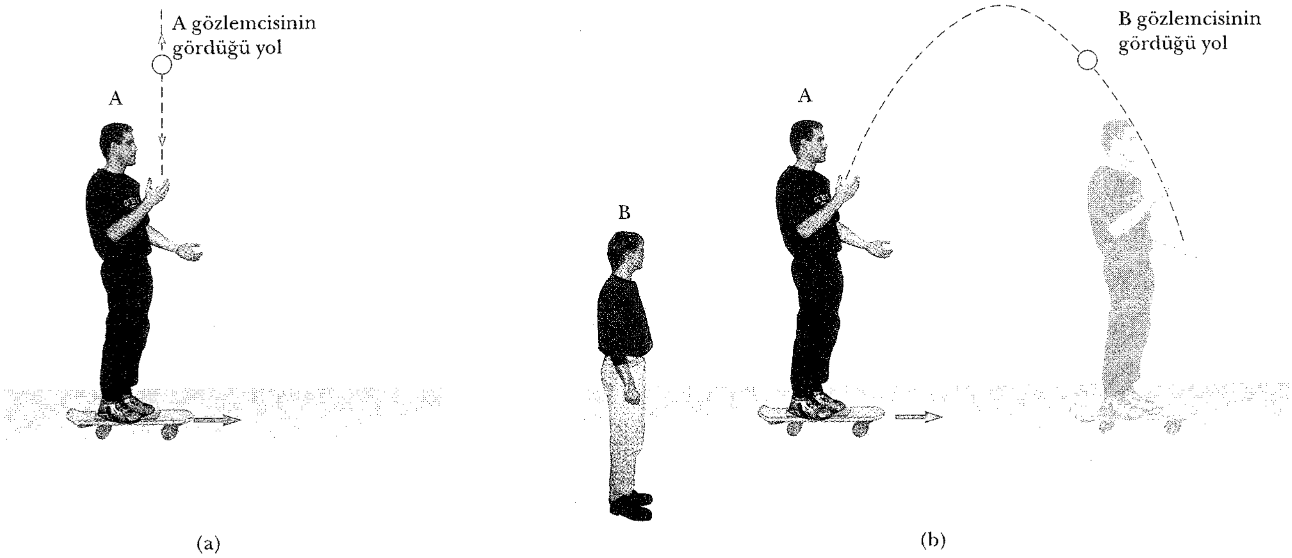
4.6 BAĞIL HIZ VE BAĞIL İVME

Bu kesimde, birbiriyle bağlantılı olan farklı referans sistemlerindeki farklı gözlemciler tarafından gözlemlerin nasıl yapıldığını tanımlıyoruz. Farklı referans sistemlerindeki gözlemcilerin verilen bir parçacık için farklı yerdeğiştirmeler, hızlar ve ivmeler ölçebildiğini buluruz. Yani birbirlerine göre hareketli iki gözlemci, ölçümlerinin sonuçlarında genel olarak hemfikir olmazlar.

Örneğin, iki otomobilin 50 mi/saat ve 60 mi/saat lik hızlarla aynı yönde hareket ettiklerini varsayalım. Yavaş olan otomobildeki bir yolcuya göre, süratli otomobilin hızı 10 mi/saat 'tir. Kuşkusuz, duran bir gözlemci daha hızlı olan otomobilin süratini 10 mi/saat değil 60 mi/saat olarak ölçecektir. Hangi gözlemci haklıdır? Onların her ikisi de haklıdır! Bu basit örnek bir cismin hızının onun içerisinde ölçüldüğü referans sistemine bağlı olduğunu gösterir.

Kaykay süren bir kişinin (A gözlemcisi) Şekil 4.20a da gösterildiği gibi, bir topu kendisinin referans sisteminde önce bir doğru boyunca yukarıya ve sonra aynı düşey çizgi boyunca aşağıya doğru hareket etmekteymiş gibi görünecek şekilde fırlattığını varsayalım. Duran bir gözlemci (B) Şekil 4.20b 'de gösterildiği gibi, topun yolunu bir parabol olarak görecektir. B gözlemcisine göre, topun (yukarıya doğru olan ilk hızdan ve aşağıya doğru olan çekim ivmesinden sonuçlanan) düşey bir hız bileşeni ve yatay bir hız bileşeni vardır.

Bu kavramın basit bir örneği, sabit hızla uçan bir uçaktan bir paket atılması örneğidir; bu örnek 4.6 'da çalıştığımız durumdur. Uçaktaki gözlemci paketin hareketini yere doğru düz bir çizgi olarak görür. Ancak, yerde bulunan bir kaşif, paketin havada çizdiği yolu bir parabol olarak görecektir. Bir kere pake-



Şekil 4.20 (a) Hareket eden bir araçtaki A gözlemcisi yukarı yönde bir top fırlatır ve topun doğru bir yolda yükseldiğini ve düştüğünü görür. (b) Duran bir B gözlemcisi aynı top için parabolik bir yörünge görür.

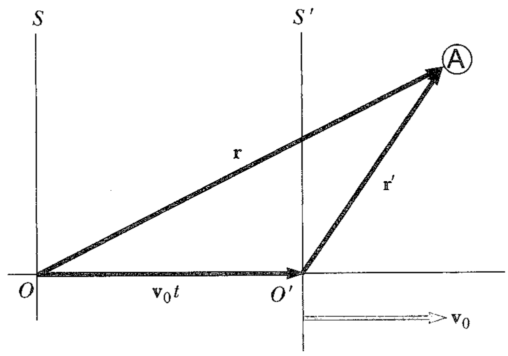
ti attıktan sonra, eğer uçak aynı hızla yatay olarak hareket etmeye devam ederse, paket (sürtünmenin ihmal edildiğini kabul edersek) uçağın tam altında yere çarpacaktır!

Daha genel bir durumda, Şekil 4.21 'de Ⓐ noktasına yerleşmiş bir parçacığı göz önüne alalım. Bu parçacığın hareketinin biri, yere göre sabit S referans sisteminde ve diğeri sabit bir $\mathbf{v}_0$ hızıyla S 'ye göre aşağa doğru (dolayısıyla yeryüzüne göre) hareket eden S' referans sisteminde bulunan iki gözlemci tarafından tanımlandığını düşünelim. (S' 'deki bir gözlemciye göre, S bir $-\mathbf{v}_0$ hızıyla sola doğru hareket eder.) Gözlemcinin referans sistemindeki yeri bu tartışmada anlamsızdır, fakat bu tartışmanın amaçları için herbir gözlemci kendi orijinine yerleştirilebilir.

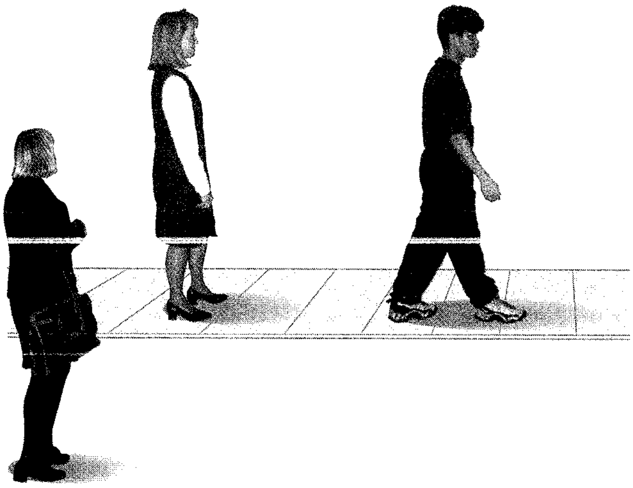
Parçacığın, S sistemine göre konumunu $\mathbf{r}$ konum vektörüyle ve belli bir t zaman sonra, S' sistemine göre konumunu $\mathbf{r}'$ vektörüyle belirleyelim. $\mathbf{r}$ ve $\mathbf{r}'$ vektörleri birbirine $\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{v}_0 t$ veya

Galile koordinat dönüşümleri

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{v}_0\mathbf{t} \qquad \textbf{(4.20)}$$



Şekil 4.21 Ⓐ noktasına yerleşmiş bir parçacık, biri sabit S' referans sisteminde, diğeri sağa doğru sabit $\mathbf{v}_0$ hızıyla hareket eden S' sisteminde olmak üzere iki gözlemci tarafından tanımlanmaktadır. $\mathbf{r}$ vektörü parçacığın S ye göre konum vektörü ve $\mathbf{r}'$, S' ye göre konum vektörüdür.



Hareketli yolda duran kadın, yürüyen adamı, hareket etmeden duran kadının gördüğünden daha yavaş bir süratle geçiyor görür

eşitliğiyle bağlıdır. Yani, bir t zaman sonra S' sistemi sağa doğru $\mathbf{v}_0 t$ miktarı kadar yer değiştirir.

4.20 Eşitliğinin zamana göre türevini alır ve $\mathbf{v}_0$ 'ın sabit olduğuna dikkat edersek,

$$\frac{d\mathbf{r}'}{dt} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} - \mathbf{v}_0$$

$$\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \qquad \textbf{(4.21)}$$

Galile hız dönüşümleri

elde ederiz. Burada $\mathbf{v}'$, parçacığın S' sisteminde gözlenen ve $\mathbf{v}_0$ S sisteminde gözlenen hızdır. 4.20 ve 4.21 Eşitlikleri **Galile dönüşüm denklemleri** olarak bilinir. Bu denklemler, Yeryüzü'ne göre sabit olan bir sistemde ölçüldüğü gibi, bir parçacığın koordinatlarını ve hızını yeryüzüne göre düzgün bir şekilde hareket eden bir sistemde ölçülen koordinatlar ve hızla ilişkilendirir.

Her ne kadar farklı iki referans sistemindeki gözlemciler, parçacıklar için farklı hızlar ölçerlerse de, $\mathbf{v}_0$ sabit olduğu zaman *aynı ivmeyi* ölçeceklerdir. Bunu,

$$\frac{d\mathbf{v}'}{dt} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} - \frac{d\mathbf{v}_0}{dt}$$

şeklinde 4.21 Eşitliğinin zamana göre türevini alarak sağlamasını yapabiliriz. $\mathbf{v}_0$ sabit olduğundan, $d\mathbf{v}_0/dt = 0$ 'dır. O nedenle $\mathbf{a}' = d\mathbf{v}'/dt$ ve $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$ olduğundan $\mathbf{a}' = \mathbf{a}$ sonucuna varırız. Yani, parçacığın, **yeryüzünün referans sistemindeki bir gözlemci tarafından ölçülen ivmesi, yeryüzünün referans sistemine göre sabit hızla hareket eden herhangi bir gözlemci tarafından ölçülen ivmeyle aynı değerde olacaktır.**

Sınama Sorusu 4.5

60 mi/saat süratla giden bir arabadaki yolcu, yorgun sürücü için bir fincan kahve koyar. Kahvenin, Termos'dan fincana boşalırken (a) yolcu tarafından ve (b) yolun kenarında ayakta duran ve araba geçerken aracın penceresinden içeriye bakan herhangi bir kişi tarafından görülen yolunu tanımlayınız. (c) Kahve koyulurken araba hızlanırsa ne olur?

ÖRNEK 4.9 Nehri Karşıdan Karşıya Geçen Bir Tekne

Kuzeye yönelen bir tekne, geniş bir nehri suya göre 10 km/saat 'lik bir hızla karşıdan karşıya geçmektedir. Nehirdeki su doğuya doğru yere göre 5 km/saat 'lik düzgün bir hıza sahiptir. Teknenin kıyılardan birinde duran bir gözlemciye göre hızını bulunuz.

Çözüm $\mathbf{v}_{tn}$ 'nin *teknenin nehre* göre ve $\mathbf{v}_{nY}$ 'nin *nehirin yere* göre hızı oluğunu biliyoruz. Bulmak istediğimiz *teknenin yere* göre olan $\mathbf{v}_{tY}$ hızıdır. Bu üç nicelik arasındaki bağıntı

$$\mathbf{v}_{tY} = \mathbf{v}_{tn} + \mathbf{v}_{nY}$$

dir. Denklemdeki terimler vektörel nicelikler olarak ele alınmalıdır; vektörler Şekil 4.22 'de gösterilmektedir. $\mathbf{v}_{tn}$ niceliği kuzeye, v_{nY} doğuya doğrudur ve iki vektörün vektörel toplamı olan $\mathbf{v}_{tY}$, Şekil 4.22 'de tanımlandığı gibi bir θ açısıyla yönelir. Böylece teknenin yere göre olan hızının v_{tY} büyüklüğünü Pisagor teoremini kullanarak bulabiliriz:

$$v_{tY} = \sqrt{v_{tn}^2 + v_{nY}^2} = \sqrt{(10)^2 + (5)^2} \text{ km/saat}$$

$$= 11{,}2 \text{ km/saat}$$

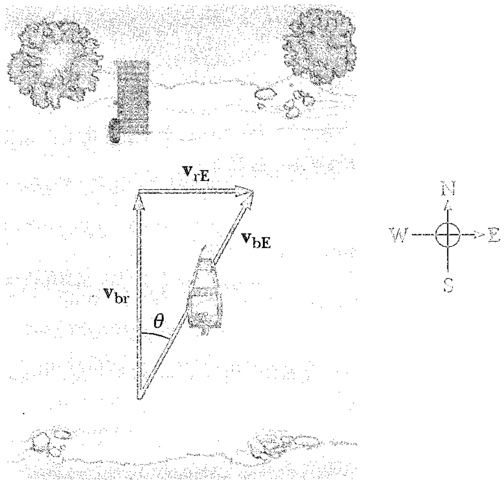
ve $\mathbf{v}_{tY}$ 'nin yönü

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{nY}}{v_{tn}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5}{10}\right) = 26{,}6°$$

dir. Tekne 11,2 km/saat hızla yere göre 26,6° kuzey doğu yönünde yol alacaktır.

Alıştırma Nehrin genişliği 3 km ise tekne karşıya ne kadar zamanda geçer?

Cevap 18 dakikada.



Şekil 4.22

ÖRNEK 4.10 Teknenin Başını Hangi Yöne Çevirmeliyiz?

Bir önceki örnekte tekne nehre göre aynı 10 km/saat lik hızla yol alıyor ve Şekil 4.23 'deki gibi kuzeye doğru gitmekte ise, baş tarafının çevrildiği yön ne olacaktır?

Çözüm Önceki örnekte olduğu gibi, $\mathbf{v}_{nY}$ 'yi ve $\mathbf{v}_{tn}$ vektörünün büyüklüğünü biliyoruz ve nehrin bir kıyısından karşı kıyısına yönelen $\mathbf{v}_{tY}$ 'yi bulmak istiyoruz. Şekil 4.23 teknenin nehrin karşı kıyısına geçerken doğruca kuzeye yol alması için akıntıya doğru baş vermesi gerektiğini göstermektedir. Şekil 4.22 'deki üçgenle Şekil 4.23'deki üçgen arasında farka -özellikle Şekil 4.23 'deki hipotenüsün $\mathbf{v}_{tY}$ 'den daha uzun olmadığına- dikkat ediniz. O nedenle, $\mathbf{v}_{tY}$ 'yi bulmak için Pisagor teoremini kullandığımız zaman

$$v_{tY} = \sqrt{v_{tn}^2 - v_{nY}^2} = \sqrt{(10)^2 - (5)^2} \text{ km/saat} = 8{,}66 \text{km/saat}$$

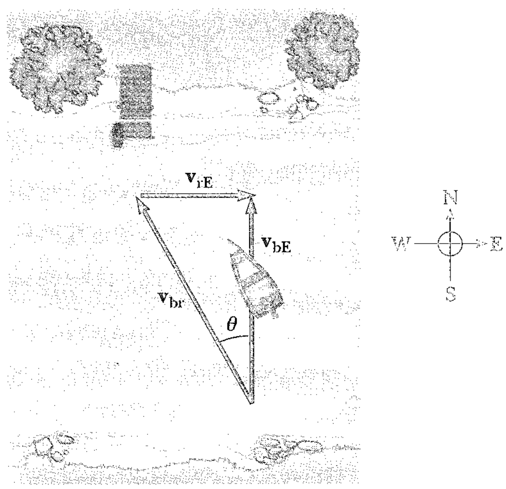
elde ederiz. Şimdi $\mathbf{v}_{tY}$ 'nin büyüklüğünü biliyoruz, teknenin baş verdiği doğrultuyu bulabiliriz:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{nY}}{v_{ty}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5}{8{,}66}\right) = 30°$$

Tekme dümeni 30° kuzey batıya kırmalıdır.

Alıştırma Nehrin genişliği 3 km ise tekne karşıya ne kadar zamanda geçer?

Cevap 21 dakikada.



Şekil 4.23

ÖZET

Bir parçacık *sabit* **a** ivmesiyle hareket ediyor ve $t = 0$ da bir $\mathbf{v}_i$ hızına ve $\mathbf{r}_i$ konumuna sahipse, herhangi bir t zaman sonra hızı ve konumu

$$\mathbf{v}_s = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t \tag{4.8}$$

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \tfrac{1}{2}\mathbf{a}t^2 \tag{4.9}$$

ile bulunur. xy düzlemindeki iki-boyutlu bir hareketin ivmesi sabitse; bu vektörel ifadelere iki bileşenli bir ifade olarak bakılabilir. Bileşenlerden biri, x-ekseni boyunca olan hareket; öteki, y ekseni boyunca olan harekettir.

Eğik atış hareketi, bir tür sabit ivmeli ve iki-boyutlu bir hareketdir. Bu harekette $a_x = 0$ ve $a_y = -g$ 'dir. Eğik atılan cismin hareketini iki hareketin bileşkesi olarak düşünmek yararlıdır: (1) v_x 'in sabit kaldığı x doğrultusundaki hareket, ve (2) $g = 9{,}80$ m/s^2 büyüklüğünde aşağı doğru bir ivmenin etkisinde düşey doğrultudaki hareket. Şekil 4.21 'deki gibi, hızı ayrı ayrı yatay ve düşey bileşenleri cinsinden analiz edebilmelisiniz.

r yarıçaplı bir daire çevresinde sabit v süratiyle hareket eden bir parçacık, **düzgün dairesel** hareket halindedir. Parçacık bir merkezcil (veya radyal) $\mathbf{a}_r$ ivmesi etkisi altındadır, zira **v** 'nin doğrultusu zamanla değişir. $\mathbf{a}_r$ 'nin büyüklüğü

$$a_r = \frac{v^2}{r} \tag{4.18}$$

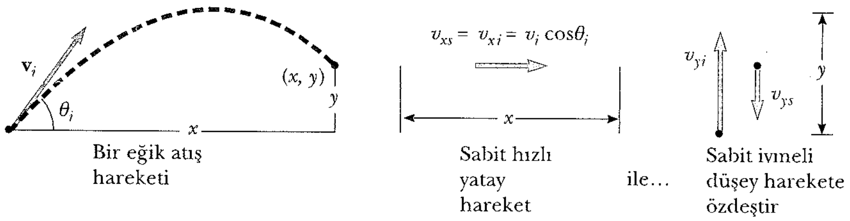
ile verilir ve yönü daima dairenin merkezine doğrudur.

Bir parçacık, hem **v** 'nin büyüklüğü ve hem de doğrultusu zamanla değişecek şekilde eğri bir yol boyunca hareket ederse, parçacık iki bileşen vektörüyle tanımlanabilen bir ivme vektörüne sahiptir: (1) **v** 'nin doğrultusundaki değişmenin sebep olduğu, bir $\mathbf{a}_r$ radyal bileşen vektörü ve (2) **v** 'nin büyüklüğündeki değişmenin sebep olduğu bir $\mathbf{a}_t$ teğetsel bileşen vektörü. $\mathbf{a}_r$ 'nin büyüklüğü v^2/r ve $\mathbf{a}_t$ 'nin büyüklüğü $d|\mathbf{v}|/dt$ 'dir. Eğri bir yol takip eden bir cisim için hareket diyagramlarını çizebilmeli ve cismin hareketi değişirken hız ve ivme vektörlerinin nasıl değiştiğini gösterebilmelisiniz.

Sabit bir S referans sisteminden ölçülen bir parçacığın **v** hızı, hareket eden bir S''referans sisteminde ölçülen aynı parçacığın $\mathbf{v}'$ hızına

$$\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \tag{4.21}$$

bağıntısıyla bağlıdır ve burada $\mathbf{v}_0$, S' nün S 'ye göre hızıdır.



Şekil 4.24 Hızın yatay ve düşey bileşenleri yardımıyla eğik atış hareketinin analizi.

SORULAR

1. Bir parçacığın süratı sabitse, parçacık ivmelenebilir mi? Cismin hızı sabitse ivmelenebilir mi?
2. Bir parçacığın ortalama hızı, herhangi bir zaman aralığında sıfırsa, parçacığın bu zaman aralığındaki yerdeğiştirmesi için ne söyleyebilirsiniz?
3. Bir parçacığın yolu boyunca iki noktadaki konum vektörlerini ve noktalardan birinden diğerine gitmesi için geçen zamanı bilirsek, ani hızını bulabilir misiniz? Ortalama hızını bulabilir misiniz? Açıklayınız.
4. Bir parçacığın hızının, konum vektörüne dik olduğu bir durumu tanımlayınız.
5. Şu parçacıkların ivmesi olup olmadığını açıklayınız: (a) Sabit süratle bir doğru boyunca hareket eden bir parçacık (b) Bir eğri çevresinde sabit süratle hareket eden bir parçacık.
6. Şu ifadeyi düzeltiniz: "Yarış otomobili virajı saatte 90 millik sabit hızla dönmektedir."
7. Aşağıdaki hareket eden cisimlerden hangisinin yaklaşık olarak parabolik bir yol çizeceğini belirtiniz: (a) Rastgele doğrultuda fırlatılan bir top. (b) Bir jet uçağı, (c) Rampayı terkeden bir roket, (d) Kalkıştan bir kaç dakika sonra motorları arızalanan bir roket. (e) Bir havuzun dibine atılan taş.
8. Bir topun yatay olarak fırlatıldığı aynı ilk yükseklikten bir kaya aynı anda düşmektedir. Hangisinin sürati yere ulaştığı zaman daha büyüktür?
9. Bir uzay gemisi sabit bir hızla uzayda sürüklenmektedir. Aynı anda uzay gemisinin yanındaki bir gaz kaçağı ilk hıza dik doğrultuda uzay gemisinin sabit bir ivme kazanmasına sebep oluyor. Uzay gemisinin doğrultusu değişmemekte ve böylece ivme hızın başlangıç doğrultusuna dik kalmaktadır. Uzay gemisinin takip ettiği yolun şekli nedir?
10. Bir top, bir binanın tepesinden yatay olarak atılmaktadır. Bir saniye sonra başka bir top aynı noktadan aynı hızla yatay olarak atılıyor. Hareketin hangi noktasında toplar birbirlerine en yakın durumda olacaklardır? İlk top daima ikinci toptan daha hızlı mı yol alır? Birinci topun yere çarptığı an ile ikincisinin yere çarptığı an arasında ne kadar zaman geçer? Toplar yere aynı zamanda varacak şekilde ikinci topun yatay atılma hızı değiştirelebilir mi?
11. Bir öğrenci; bir uydu, yerin çevresinde dairesel yörüngede dönerken, onun sabit bir hızla hareket ettiğini ve o nedenle hiçbir ivmeye sahip olmadığını iddia etmektedir. Profesör, uydu, dairesel yörüngesinde hareket ederken merkezcil bir ivmeye sahip olması gerektiğini söyleyerek öğrencinin yanıldığını iddia etmektedir. Öğrencinin iddiasındaki hata nedir?
12. $\hat{\mathbf{r}}$ ve $\hat{\theta}$ birim vektörleriyle, $\mathbf{i}$ ve $\mathbf{j}$ birim vektörleri arasındaki temel fark nedir?
13. Bir sarkacın hızı, salındığı dairesel yolun ucunda sıfırdır. Bu noktada ivmesi de sıfır mıdır?
14. Bir taş, bir yelken direğinin tepesiden aşağı düşerse, tekne dururken veya sabit hızla hareket halindeyken güvertede aynı noktaya mı çarpar?
15. Bir taş, binanın tepesinden yukarıya fırlatılmaktadır. Taşın yerdeğiştirmesi koordinat sisteminin orijininin yerine bağlı mıdır? Taşın hızı, orijinin yerine bağlı mıdır?
16. Bir taşıtın, bir virajda ivmelenmeden yol alması mümkün müdür? Açıklayınız.
17. Bir beyzbol topu, $(10\mathbf{i} + 15\mathbf{j})$ m/s 'lik ilk hızla fırlatılmaktadır. Top, çizdiği yolun en üst noktasına ulaştığı zaman (a) hızı ne olur? (b) İvmesi nedir? Hava direncini ihmal ediniz.
18. Bir cisim, sabit v skaler hızıyla dairesel bir yolda hareket etmektedir. (a) Cismin vektörel hızı sabit midir? (b) ivmesi sabit midir? Açıklayınız.
19. Eğik atılan bir mermi, yatayla belli bir açı altında ve belli bir skaler v_i ilk hızıyla ateşlenmekte ve hava direnci de ihmal edilmektedir. Mermi serbestçe düşen bir cisim midir? Merminin düşey yöndeki ivmesi nedir? Yatay doğrultudaki ivmesi nedir?
20. Eğik atılan bir mermi, herhangi bir ilk hız ile yatayla 30° 'lik bir açı altında ateşlenmektedir. Eğer ikinci bir eğik atılan mermi, aynı skaler ilk hızla ateşlenirse, hangi eğik atış açısı aynı menzili verecektir? Hava direncini ihmal ediniz.
21. Eğik atılan bir mermi herhangibir ilk hızla yerden ateşlenmektedir. Başka bir mermi de aynı ilk hızla ayda ateşlenmiştir. Hava direnci ihmal edilirse, hangi merminin menzili daha uzundur? Hangisi daha yükseğe ulaşır? (Aydaki çekim ivmesini 1,6 m/s^2 olarak alınız).
22. Eğik olarak atılan bir cisim, parabolik yolu boyunca giderken eğer varsa, şu niceliklerin hangisi sabit kalır? (a) hızın büyüklüğü, (b) ivme, (c) hızın yatay bileşeni, (d) hızın düşey bileşeni.
23. Bir yolcu, sabit hızla hareket eden trenden bir kaşık düşürüyor. Kaşığın (a) trene göre, (b) yere göre ivmesi nedir?

PROBLEMLER

1, 2, 3 = kolay, orta, zorca; □ = Bu problemin tam çözümü *Öğrenci Çözümlü El Kitabı ve Çalışma Kılavuzu'nda* bulunabilir

WEB = Çözüm **http = // www.saunderscollege.com/physics/** de bulunabilir = Problemi çözmek için bilgisayar kullanmak faydalı olabilir = "Etkileşimli Fizik" paket programında bulunabilir □ = Sayısal/sembolik problem çifti

Kesim 4.1 Yerdeğiştirme, Hız ve İvme Vektörleri

WEB **1.** Bir motorsikletli, motorunu 20 m/s hızla 3 dk güneye sürer, sonra batıya döner ve 2 dk, 25 m/s hızla yol alır ve son olarak da 30 m/s hızla 1 dk kuzey batıya doğru gider. Bu 6 dk'lık seyahat için, (a) motorsikletlinin net vektörel yerdeğiştirmesini, (b) motorsikletlinin ortalama hızının büyüklüğünü (süratini) ve (c) ortalama hızını bulunuz. Doğu yönünün pozitif x ekseni olduğu bir koordinat sistemi kullanınız.

2. Bir parçacık için konum vektörünün, $x = at + b$ ve $y = ct^2 + d$ olmak üzere $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$ olarak verildiğini varsayınız. Burada $a = 1$ m/s, $b = 1$ m, $c = 0{,}125$ m/s^2 ve $d = 1$ m 'dir. (a) $t = 2$ s ile $t = 4$ s zaman aralığında ortalama hızı hesaplayınız. (b) $t = 2$ s deki hızını ve süratini bulunuz.

3. Bir golf topuna, bir uçurumun kenarındaki kum tepeciğinden dışarı vurulmaktadır. Zamana göre x ve y koordinatları aşağıdaki ifadelerle verilmektedir:

$$x = (18\ \text{m/s})\,t$$

ve

$$y = (4\ \text{m/s})\,t - (4{,}9\ \text{m/s}^2)\,t^2$$

(a) **i** ve **j** birim vektörlerini kullanarak, **r** konumu için zamana göre vektörel bir ifade yazınız. Sonuçlarınızın türevlerini alarak, zamanın fonksiyonu olarak (b) hız vektörü (c) ivme vektörü için bağıntılar yazınız. Topun $t = 3$ s de, topun (d) konum, (e) hız ve (f) ivme ifadelerini yazmak için şimdi birim vektör notasyonunu kullanınız.

4. xy düzleminde hareket eden bir cismin koordinatları

$$x = -\,(5\ \text{m})\sin\omega t$$

ve

$$y = (4\ \text{m}) - (5\ \text{m})\cos\omega t$$

bağıntılarına göre değişmekte olup burada t nin birimi saniye ω nın birimi saniye^{-1} 'dir. (a) $t = 0$ 'da hız ve ivme bileşenlerini bulunuz. (b) Herhangi $t > 0$ zamanında konum vektörü, ve ivme vektörü için ifadeler yazınız. (c) Bir xy grafiği üzerinde cismin yolunu tanımlayınız.

Kesim 4.2 Sabit İvmeli İki-Boyutlu Hareket

5. $t = 0$ 'da, sabit ivmeyle xy düzleminde hareket eden bir parçacık orijinde $\mathbf{v}_i = (3\mathbf{i} - 2\mathbf{j})$ m/s 'lik bir hıza sahiptir. $t = 3$s 'de parçacığın hızı $\mathbf{v} = (9\mathbf{i} + 7\mathbf{j})$ m/s 'dir. (a) Parçacığın ivmesini ve (b) herhangi bir t anındaki koordinatlarını bulunuz.

6. Bir parçacığın vektörel konumu zamanla $\mathbf{r} = (3\mathbf{i} - 6t^2\mathbf{j})$ m ifadesine göre değişmektedir. (a) Hız ve ivme için zamanın fonksiyonları olarak ifadeler bulunuz. (b) $t = 1$s 'de parçacığın konumunu ve hızını bulunuz.

7. Yatay düzlemde yüzen bir balık, belli bir kayadan, yerdeğiştirmesi $\mathbf{r}_i = (10\mathbf{i} - 4\mathbf{j})$ m olan noktada $\mathbf{v}_i = (4\mathbf{i} + 1\mathbf{j})$ m/s hızına sahiptir. Balık 20 s sabit ivmeyle yüzdükten sonra hızı $\mathbf{v} = (20\mathbf{i} - 5\mathbf{j})$ m/s 'dır. (a) ivmenin bileşenleri nedir? (b) **i** birim vektöre göre ivmenin yönü nedir? Şayet balık başlangıçtaki ivmesini korursa $t = 25$ s 'de nerededir ve hangi yöne hareket etmektedir?

8. Başlangıçta orijinde yerleşmiş bulunan bir parçacık, $\mathbf{a} = 3\mathbf{j}$ m/s^2 'lik bir ivmeye ve $\mathbf{v}_i = 5\mathbf{i}$ m/s 'lik bir ilk hıza sahiptir. (a) Herhangi bir t zamanındaki vektörel konumu ve hızı (b) parçacığın $t = 2$ s 'deki koordinatlarını ve hızının büyüklüğünü (süratini) bulunuz.

Kesim 4.3 Eğik Atış Hareketi

(Bütün problemlerde hava direncini ihmal ediniz ve $g = 9{,}80$m/s^2 alınız.)

WEB **9.** Bir barda, müşteri, yeniden doldurulmak üzere boş bir bira bardağını tezgah üzerinde kaydırır. Barmen bir an dalar ve bardak tezgahın kenarından kayarak tabandan 1,4 m uzakta döşemeye çarpar. Tezgahın yüksekliği 0,86 m ise, (a) bardak tezgahı hangi hızla terkeder? (b) Tam döşemeye çarpmadan önce bardağın hızının doğrultusu nedir?

10. Bir barda müşteri, yeniden doldurulmak üzere boş bir bira bardağını tezgah üzerinde kaydırır. Barmen bir an dalar ve bardak tezgahın kenarından kayarak tabandan d uzakta döşemeye çarpar. Tezgahın yüksekliği h ise, (a) bardak tezgahı hangi hızla terkeder? (b) Tam döşemeye çarpmadan önce bardağın hızının doğrultusu nedir?

11. Kartopu savaşında uygulanan bir strateji, ilk kartopunu büyük bir açıyla ve birinciden önce veya aynı zamanda rakibinize fırlatırsınız ve belli zamanda ulaşmasını sağlarsınız. Her iki kartopunun 25 m/s 'lik bir hızla fırlatıldığını kabul ediniz. ilk top yatayla 70° 'lik bir açı altında fırlatılmaktadır. (a) Eğer ikinci top birinciyle aynı noktaya düşerse hangi açı altında (küçük açı) fırlatılmalıdır? (b) İkinci kartopu birinciyle aynı zamanda düşerse kaç saniye sonra fırlatılmalıdır?

12. Ağdan 12,6 m uzakta duran bir tenis oyuncusu topa yatayın 3° yukarısına doğru vurur. Ağı sıyırmak için, top en az 0,330 m yükselmelidir. Top, çizdiği yolunun en üst noktasında ağı sıyırırsa, raketi terkettiği zaman hızı nedir?

13. Bir top mermisi yatayın 55° yukarısına doğru 300 m/s 'ilk hızla ateşlenmektedir. Mermi ateşlendikten 42 s sonra dağın yamacında patlamaktadır. Merminin patladığı yerde, ateşleme noktasına göre, x ve y koordinatları nedir?

14. Garip bir gezegende bulunan bir astronot, ilk hızı 9 m/s iken 15 m 'lik maksimum yatay bir uzaklığa sıçrayabilmektedir. Gezegendeki çekim ivmesi nedir?

15. Bir mermi, yatay menzili, maksimum yüksekliğinin üç katına eşit olacak şekilde ateşlenmektedir. Atış açısı nedir? Cevabınızı üç anlamlı rakamla veriniz.

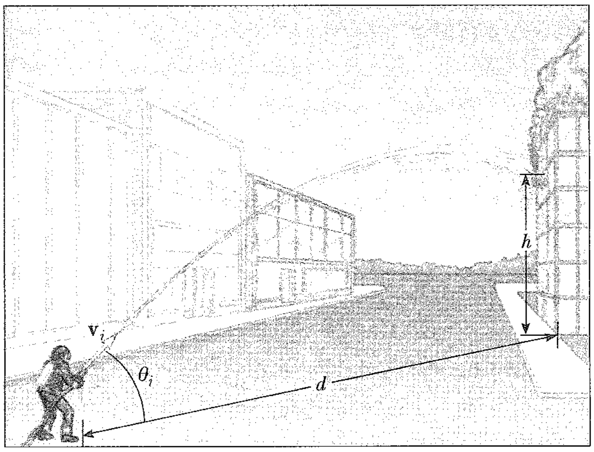
16. Bir top, bir binanın en üst penceresinden atılmaktadır. Topa yatayın altında 20° 'lik bir açıda 8 m/s 'lik bir ilk hız veriliyor. Top yere 3 s sonra çarpıyor. (a) Top binanın zemininden yatay olarak ne kadar uzakta yere çarpar? (b) Topun fırlatıldığı yüksekliği bulunuz. (c) Topun, atış seviyesinin 10 m altında bir noktaya ulaşması için ne kadar zaman geçer? Havanın sürtünmesini ihmal ediniz.

17. Namlu hızı 1000 m/s olan bir top bir dağın yamacı üzerinde bir çığ başlatmak için kullanılmaktadır. Hedef toptan yatay olarak 2000 m ve yukarıya doğru 800 m uzaktadır. Top yatayın yukarısında, hangi açı altında ateşlenmelidir?

18. Yatayın yukarısına doğru θ_i atış açısıda v_i hızıyla bir xy koordinat sisteminin orijininden eğik olarak fırlatılan bir cisim gözönüne alalım. Cismin izlediği yolun tepesinde yolunun eğimi sıfır olacak şekilde yatay olarak hareket ettiğine dikkat ediniz. Maksimum yükselliğe karşılık gelen x koordinatını bulmak için 4.12 Denkleminde verilen yörünge bağıntısını kullanınız. Eğik atılan cismin yatay menzilini tayin etmek için yörüngenin bu x koordinatından ve simetrisinden yararlanınız.

WEB 19. Bir futbolcu, topdan 36 m (yaklaşık 40 yarda) uzakdaki bir kaleye şut çekmekte ve kalabalığın yarısı topun 3,05 m yükseklikte olan kale üst direğini sıyırarak gideceğini ummaktadır. Şut çekildiği zaman, top, zemini yatayla 53° 'lik bir açı altında 20 m/s 'lik hızla terketmektedir. (a) Top, kale üst direğinin ne kadar açığından veya yakınından geçerek düşer? (b) Top, üst direğe yükselirken mi yoksa düşerken mi yaklaşır?

20. Yanan bir binadan 50 m uzakda bulunan bir itfaiyeci, hortumun ağzından çıkan tazyikli suyu Şekil P4.20 'de görüldüğü gibi yatayın üstünde 30° 'lik açıda sıkmaktadır. Tazyikli suyun hızı 40 m/s ise, su hangi yükseklikte binaya çarpar?

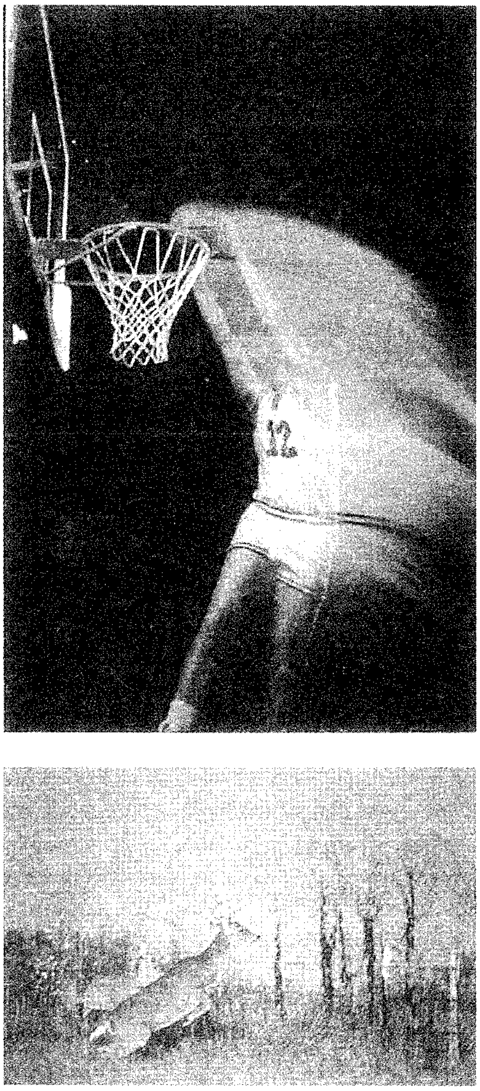


Şekil P4.20 20 ve 21. problemler. (*Frederick Mc Kinney/FPG International*)

21. Yanan bir binadan d uzaklıkta bulunan bir itfaiyeci, hortumun ağzından çıkan tazyikli suyu Şekil P4.20 'de görüldüğü gibi yatayın üstünde θ_i açıda sıkmaktadır. Tazyikli suyun hızı v_i ise su hangi h yükseklikte binaya çarpar?

22. Bir futbolcu, 40 m yükseklikteki bir uçurumdan bir su havuzu içerisine düşürmek için bir kayaya yatay olarak tekme vurur. Eğer fotbolcu suya çarpış sesini 3 s sonra işittiyse kayaya verilen ilk hız neydi? Sesin havadaki hızının 343 m/s olduğunu varsayınız.

23. Bir basketbol yıldızı, topu basket yapmak için bir sıçrayışta yatay olarak 2,80 m smaç yapar (Şekil P4.23). Onun havadaki hareketi (Bölüm 9 'da tanımlayacağımız) kütle merkezi adı verilen bir noktada parçacığın hareketiyle modellenebilir. Basketbolcu zemini terkettiği zaman kütle merkezi yerden 1,02 m yüksektedir. Sporcu yerden maksimum 1,85 m yükseğe ulaşır ve tekrar yere değdiği zaman 0,900 m yüksektedir. (a) Onun uçuş süresini ("havada kalış" süresini), (b) kalkış anındaki yatay ve (c) düşey hız bileşenlerini ve (d) kalkış açısını hesaplayınız. (e) Karşılaştırmak için, y_i = 1,20 m, y_{max} = 2,50 m, y_s = 0,700 m kütle merkezi yükselmesiyle sıçrayan bir beyaz kuyruklu karacanın havada kalış süresini hesaplayınız.

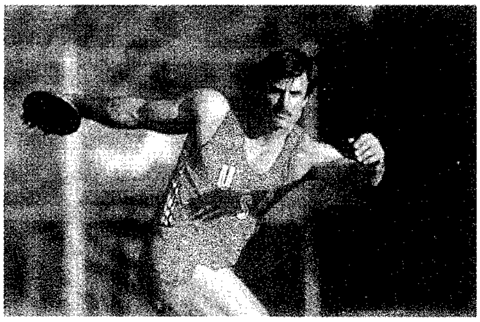


Şekil P4.23 (*Üstteki, Ron Chapple/FPG International; alttaki, Bill Lea/Dembinsky Photo Associates*)

Kesim 4.4 Düzgün Dairesel Hareket

24. Dünyanın çevresindeki ayın yörüngesi, yaklaşık olarak, $3{,}84 \times 10^8$ m yarıçaplı dairedir. Ayın, dünyanın etrafında bir devrini tamamlaması 27,3 gün alır. (a) Ayın ortalama yörünge hızını (b) merkezcil ivmesini bulunuz.

WEB 25. Şekil P4.25 'de görülen bir atlet, 1 kg 'lık bir diski 1,06 m yarıçaplı dairesel bir yol boyunca döndürmektedir. Diskin maksimum hızı 20 m/s 'dir. Diskin maksimum radyal ivmesinin büyüklüğünü hesaplayınız.



Şekil P4.25 (*Sam Sargent/Liaison International*)

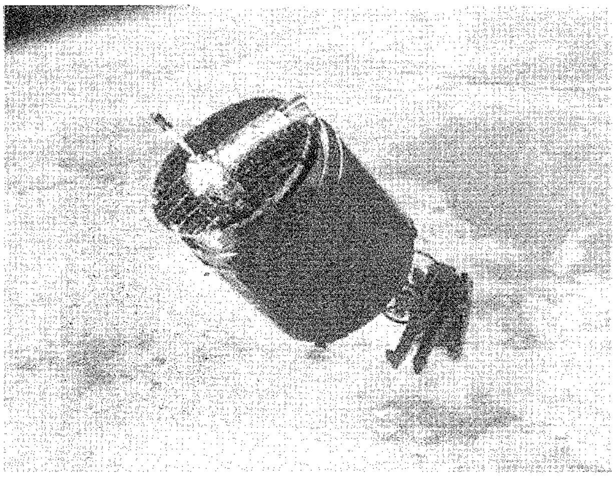
26. Bu kitabın ön kapağındaki bilgilerden, yerin ekseni çevresinde dönmesinden ileri gelen ekvatorda yerin yüzeyi üzerindeki bir noktanın radyal ivmesini hesaplayınız.

27. 0,5 m yarıçapında bir tekerlek, dakikada 200 devirlik sabit bir hızda dönmektedir. Tekerleğin tırnağı içerisine gömülü küçük (en dış kenarı üzerinde) bir taş parçasının hızını ve ivmesini bulunuz. (*Yol gösterme*: Bir devirde, taş daire çevresindeki $2\pi r$ yoluna eşit bir uzaklıkta yol alır.)

28. Kalkış sırasında, uzay mekiği astronotları tipik olarak 1,4*g* 'ye kadar olan ivmeleri hissederler. Burada g = 9,80 m/s^2 'dir. Eğitimleri sırasında, astronotlar sanki merkezcil ivme gibi bir ivmenin etkisinde kaldıkları bir araç sürerler. Özel olarak, astronot daha sonra yatay bir daire çevresinde sabit hızla dönen mekanik bir kolun ucuna güvenli bir şekilde bağlanır. Astronot 10 m yarıçaplı bir daire çevresinde hareket ederken ona 1,40*g* 'lik merkezcil bir ivme vermek için saniyedeki devir sayısı cinsinden gerekli dönme hızını tayin ediniz.

29. Dev Goliath'ı öldüren genç David, onu tutmadan önce sapanla bir deneme yapar. 0,6 m uzunluğundaki sapanı 8 dev/s hızla döndürebildiğini görür. Uzunluğu 0,9 m ye çıkarırsa sapanı sadece saniyede 6 kez döndürebilmiştir. (a) Hangi dönme sapanın ucundaki taş için daha büyük lineer hız kazandırır? (b) 8 dev/s 'deki merkezcil ivme nedir? (c) 6 dev/s 'deki merkezcil ivme nedir?

30. Şekil P4.30 'da yerin yörüngesinde seyir eden astronot Westar VI uydusuna yanaşmaya hazırlanmaktadır. Uydu yerçekimi ivmesinin 8,21 m/s^2 olduğu yerin yüzeyinden 600 km yukarıda dairesel bir yörüngededir. Yerin yarıçapı 6400 km 'dir. Uydunun hızının büyüklüğünü ve yeryüzü çevresindeki yörüngesinde bir tam deviri tamamlaması için gereken zamanı bulunuz



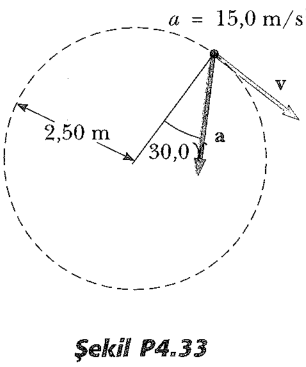
Şekil P4.30 *(Nasa'nın izniyle)*

Kesim 4.5 Eğrisel Yörüngede Teğetsel ve Radyal İvme

31. Bir tren, bir virajı dönerken hızı 15 s içinde 90 km/saat 'den 50 km/saat 'e düşürmektedir. Virajın yarıçapı 150 m 'dir. Trenin hızı 50 km/saat 'e ulaştığı anda ivmeyi hesaplayınız.

32. Sürati, 0,6 m/s^2 'lik bir değerle artan otomobil, 20 m yarıçaplı dairesel bir yol boyunca gitmektedir. Otomobilin ani hızı 4 m/s olduğu zaman (a) teğetsel ivme bileşenini, (b) merkezcil ivme bileşenini, (c) toplam ivmenin büyüklük ve yönünü bulunuz.

33. Şekil P4.33, belli bir anda 2,5 m yarıçaplı daire çevresinde saat yönünde hareket eden bir parçacığın toplam ivmesini ve hızını göstermektedir. Bu anda, (a) merkezcil ivmeyi, (b) parçacığın hızını, (c) teğetsel ivmesini bulunuz.



Şekil P4.33

34. Bir öğrenci, 0,6 m uzunluğundaki bir sicimin ucuna bağlı bir topu düşey bir daire çevresinde sallamaktadır. Topun en yüksek noktasındaki hızı 4,3 m/s ve en alt noktasında 6,5 m/s 'dir. Sicim düşey olduğu zaman topun (a) en yüksek noktasında (b) en alt noktasındaki ivmesini bulunuz.

35. Bir top 1,50 m uzunlukta bir sicimin ucunda düşey bir daire çevresinde sallanmaktadır. Top, en alt noktayı 36,9° geçtiği ve yükseldiği zaman toplam ivmesi $(-22{,}5\mathbf{i} + 20{,}2\mathbf{j})$ m/s^2 'dir. O anda, (a) bu ivmenin bileşenlerini gösteren bir vektör diyagramı çiziniz, (b) radyal ivmesinin büyüklüğünü ve (c) topun vektör ve skaler hızını tayin ediniz.

Kısım 4.6 Bağıl Hız ve Bağıl İvme

36. Jaguar ile Jill $(1\mathbf{i} + 3\mathbf{j})$ m/s^2 ile hızlanırken Corvette'indeki Heather $(3\mathbf{i} - 2\mathbf{j})$ m/s^2 değerde hızlanmaktadır. Onların her ikisi de bir *xy* koordinat sisteminin orijininde sükunetten harekete geçmektedir. 5 s sonra, (a) Heather'ın Jill'e göre hızının büyüklüğü nedir? (b) Birbirlerinden ne kadar uzaktadır ve (c) Heather'ın Jill'e göre ivmesi nedir?

37. Bir nehir, 0,5 m/s 'lik sabit bir hıza sahiptir. Bir öğrenci akıntıya karşı 1 km 'lik bir mesafeyi yüzer ve başlama noktasına geri döner. Öğrenci durgun suda 1,2 m/s 'lik hızla yüzebiliyorsa, gidiş - dönüş ne kadar zaman alır? Bunu, su durgun olsaydı gidiş - dönüşün alacağı zamanla karşılaştırınız.

38. Eğer arabaların ön tamponları başlangıçta birbirlerinden 100 m uzaktaysa, sol şeritte 60 km/saat hızla giden bir otomobilin sağ şeritte 40 km/saat hızla giden bir otomobili sollaması ne kadar zaman alır?

39. Bir uçakdaki pusula, uçağın batıya yöneldiğini göstermektedir. Uçağın havaya göre hızı 150 km/saat 'dir. Kuzeyden 30 km/saat 'lik rüzgar eserse uçağın yere göre hızı ne olur?

40. Alan ve Beth adlarında iki yüzücü v hızıyla akan bir ırmakta aynı noktadan yüzmeye başlarlar. Her ikisi de akıntıya göre aynı c $(c > v)$ hızıyla hareket etmektedirler. Alan, akıntıyla beraber bir L uzuklağa kadar yüzer ve sonra akıntıya karşı geri döner. Beth, yere göre hareketi ırmağın kenarlarına dik olacak şekilde yüzer. O bu doğrultuda bir L uzaklığa kadar yüzer ve geri döner. Alan ve Beth'in hareketlerinin sonucu her ikisinin de başlangıç noktasına dönmeleridir. Hangi yüzücü önce döner? (*Not*: Önce cevabı tahmin ediniz).

41. Bir çocuk, 2,50 km/saat hızla düzgün akan nehirde akıntıyla sürüklenmektedir. Çocuk kıyıdan 0,6 km uzaktadır. Kurtarma botunun bulunduğu yer ise akıntıya karşı 0,8 km uzaktadır. (a) Bot suya göre 20km/saat 'lik maksimum hızıyla ilerlerse, kaptanın botu, kıyıya göre hangi yönde ilerletmesi gerekir?

(b) Botun hızı, kıyı ile hangi açıyı yapar? (c) Botun çocuğa ulaşması ne kadar zaman alır?

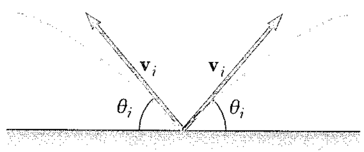
42. Bir civata, kuzeye doğru 2,5 m/s^2 'lik bir ivmeyle hızlanan tren vagonunun tavanından düşer. Civatanın (a) vagona göre (b) yere göre ivmesi nedir?

43. Bir fen öğrencisi, 10 m/s 'lik sabit bir hızla düz, yatay bir ray boyunca giden trenin üstü açık yük vagonundadır. Öğrenci yatayla 60° 'lik açı yaptığını tahmin ettiği doğrultuda ve trenin gittiği aksi yönde havaya bir top fırlatır. Vagonun yakınında yerde duran öğrencinin öğretmeni, topun düşey olarak yükseldiğini görür. Top ne kadar yükselir?

EK PROBLEMLER

44. Bir top yatayla θ_i açısı yapan bir doğrultuda bir v_i ilk hızıyla fırlatılmaktadır. Topun yatay menzili R 'dir ve top maksimum $R/6$ yüksekliğe ulaşır. R ve g cinsinden (a) topun hareket halinde olduğu süreyi (b) yolunun tepe noktasında topun tepe hızının büyüklüğünü, (c) onun hızının ilk düşey bileşenini, (d) ilk hızın büyülüğünü ve (e) θ_i açısını bulunuz. (f) Topun (d) şıkkında bulunan aynı ilk hızda fakat maksimum yüksekliğe ulaşmak için uygun açıda fırlatıldığını varsayınız. Bu yüksekliği bulunuz. (g) Topun aynı ilk hızla fakat maksimum menzil için gerekli açıda fırlatıldığını varsayınız. Bu menzili bulunuz.

45. Bir miktar ergimiş metal sıçrarken küçük bir damla, Şekil P4.45 'deki gibi, yatayla θ_i açısı yapan bir doğrultuda yukarı doğru v_i ilkhızıyla doğuya ve başka bir damla yatayla aynı açıyı yapan bir doğrultuda yukarı doğru aynı hızla batıya uçuyor. Zamanın fonksiyonu olarak damlalar arasındaki uzaklığı v_i ve θ_i cinsinden bulunuz.

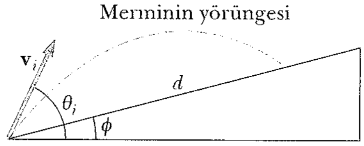


Şekil P4.45

46. Bir sicimin ucundaki top, yarıçapı 0,3 m olan yatay bir daire çevresinde dönmektedir. Dairenin düzlemi yerden 1,20 m yukarıdadır. İp kopar ve top, ip koptuğu zaman topun yerinin tam altında zemin üzerindeki noktadan (yatay olarak) 2 m uzağa düşer. Topun dairesel hareketi sırasındaki merkezcil ivmesini bulunuz.

47. Eğik atılan bir mermi, Şekil P4.47 'de gösterildiği gibi, yatayla θ_i açısı yapan doğrultuda bir v_i ilk hızıyla (eğim açısı ϕ olan) bir bayıra ($\theta_i > \phi$) doğru ateşlenmektedir. (a) Eğik atılan cismin bayırın yukarısına doğru bir d uzaklığı kadar gittiğini gösteriniz. Burada

$$d = \frac{2v_i^2 \cos\theta_i \sin(\theta_i - \phi)}{g \cos^2\phi}$$



Şekil P4.47

(b) θ_i 'nin hangi değeri için d bir maksimumdur ve d 'nin maksimum değeri nedir?

48. Bir öğrenci BB tüfeğinden çıkan saçmaların namlu hızını ölçmek istemektedir. O, tüfeği yatay olarak doğrultur. Tüfekten bir x uzaklığındaki düşey bir duvarın üzerine bir hedef yerleştirir. Atış tüfeğin aşağısında düşey bir y uzaklığında hedefe isabet eder. (a) Saçmalar havada giderken düşey yerdeğiştirme bileşeninin $y = Ax^2$ ile verildiğini gösteriniz. Burada A bir sabittir. (b) A sabitini ilk hız ve yerçekimi ivmesi cinsinden ifade ediniz. (c) Eğer $x = 3$ m ve $y = 0{,}210$ m ise saçmaların ilk hızı nedir?

49. Bir beyzbol oyununda oyuncu, top kendi sahasından 130 m uzakta ve 21 m yüksekliğindeki bir duvarı sıyırarak aşacak şekilde vuruş yapar. Topa yatayla 35° 'lik bir açıda vurulmakta ve hava direnci ihmal edilmektedir. (a) Topun ilk hızının büyüklüğünü, (b) Topun duvara ulaşması için geçen zamanı (c) Duvara ulaştığı zaman topun hız bileşenlerini ve büyüklüğünü bulunuz (Topa yerden 1 m yüksekte vurulduğunu kabul ediniz.

50. Ay'da ayakta duran bir astronot, mermi başlangıçta namluyu yatay doğrultuda hareket ederek terkedecek şekilde bir silahı ateşler. (a) merminin ayın çevresinde tam bir tur atması ve başlangıç yerine dönebilmesi için namlu hızı ne olmalıdır? (b) Ay çevresindeki bu yolculuk ne kadar sürer? Ay üzerindeki çekim ivmesinin, Yeryüzündekinin altıda biri olduğunu varsayınız.

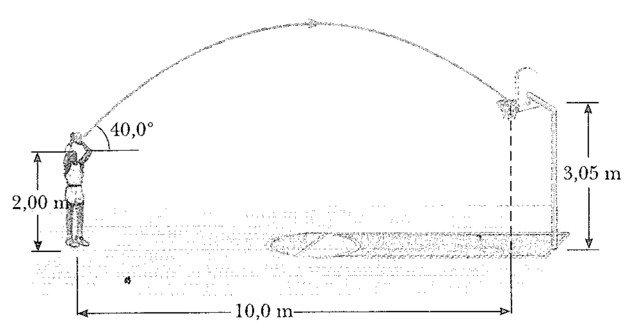
51. 1 m uzunluğundaki bir sarkaç düşey bir düzlemde sallanmaktadır. (Şekil 4.19). Sarkaç iki yatay $\theta = 90°$ ve $\theta = 270°$ konumunda olduğu zaman, hızı 5 m/s 'dir. (a) Bu konumlar için merkezcil ve teğetsel ivmelerin büyüklüğünü bulunuz. (b) Bu iki konum için toplam ivmenin doğrultusunu tayin etmek üzere bir vektör diyagramı çiziniz. (c) Toplam ivmenin büyüklük ve doğrultusunu hesaplayınız.

52. 2 m boyunda bir basketbol oyuncusu, Şekil P4.52 'deki gibi, potadan 10 m uzakta ayakta durmaktadır. Sporcu topu yatayla 40° yapan bir açıyla atarsa topun arka panoya çarpmadan çemberden geçirmesi için hangi ilk hızla atmalıdır? Potanın yüksekliği 3,05 m 'dir.

53. Bir parçacığın hız bileşenleri

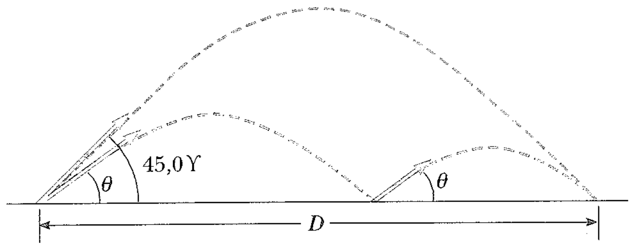
$$v_x = +\,4\text{m/s} \qquad v_y = -\,(6\text{m/s}^2)\,t + 4\text{m/s}$$

dir. Parçacığın hızının büyüklüğünü ve $t = 2$s 'deki hız vektörünün $\theta = \tan^{-1}(v_y/v_x)$ doğrultusunu hesaplayınız.



Şekil P4.52

54. Beyzbol oyuncuları topu iç sahasının dış tarafından içeri attıkları zaman, onlar çoğu zaman topun ancak o yolla daha çabuk vardığı teorisi üzerine, dört esas hatları dahilindeki sahada oynayan oyuncuya ulaşmadan önce topun bir kere sıçramasına izin verirler. Sıçrayan bir topun zemini terkettiği açının, Şekil P4.54 'deki gibi, oyuncunun onu fırlattığı açıyla aynı olduğu fakat sıçradıktan sonra topun hızının sıçrayıştan önceki hızın yarısı olduğu kabul edilmektedir. (a) Topun daima aynı ilk hızla atıldığını varsayarak, hiçbir sıçramanın olmadığı yukarıya doğru 45° açıyla atılan (yeşil yol) bir top gibi bir sıçramayla (mavi yol) aynı D uzaklığını gitmesi için top hangi θ açısıyla fırlatılmaktadır? (b) Bir sıçrama için ve sıçramasız atışlar için geçen zamanların oranını tayin ediniz.

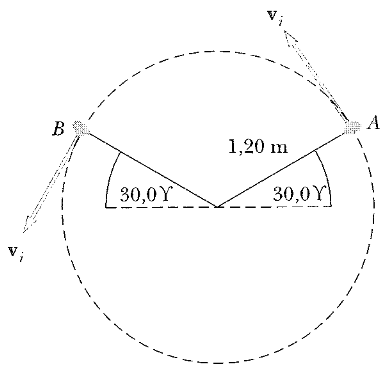


Şekil P4.54

55. Bir çocuk bir topu, düz bir alanda yatay olarak maksimum 40 m uzağa atabilmektedir. Çocuk aynı topu düşey olarak ne kadar uzağa atabilir? Kaslarının her durumda topa aynı hızı verdiğini varsayınız.

56. Bir çocuk bir topu, düz bir alanda yatay olarak maksimum R uzağa atabilmektedir. Çocuk aynı topu düşey olarak ne kadar uzağa atabilir? Kaslarının her durumda topa aynı hızı verdiğini varsayınız.

57. Bir sapanın ucundaki bir taş, Şekil 4.57 'daki gibi v_i= 1,5 m/s olan sabit bir hızda 1,2 m yarıçaplı düşey bir daire çevresinde döndürülmektedir. Sicimin merkezi yerden 1,5 m yüksektedir. Sapan yatayla (a) A 'da (b) B 'de 30° açı yaptığı zaman taş serbest bırakılırsa menzili nedir? (c) A 'da tam bırakılmadan önce (d) A 'da tam bırakıldıktın sonra taşın ivmesi nedir?

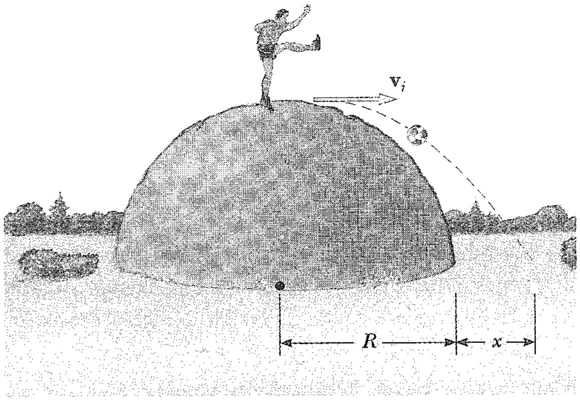


Şekil P4.57

58. Bir futbol topuyla, yatayla 30° 'lik açıda 20 m/s 'lik ilk hızla kaleciye doğru şut çekilmektedir. O anda kaleci, şut çeken oyuncudan 20 m uzaktadır. Kaleci topun atıldığı seviyede topu yakalaması için hangi yönde ve hangi sabit hızda koşmalıdır?

59. Bir bombardıman uçağı, yerden 3000 m yükseklikte yere göre 275 m/s 'lik hızla yatay olarak uçmaktadır. Hava direncini ihmal ediniz. (a) Bomba, bırakıldığı noktanın düşey olarak altında bulunduğu noktadan ne kadar uzakda yere çarpacaktır? (b) Uçak başlangıçtaki hızını ve rotasını korursa, bomba yere çarptığı zaman uçak nerede olacaktır? (c) Yukarıdaki şartlar için, bombanın bırakıldığı anda görülen hedefe isabet edecek şekilde, teleskobik bomba vizörü, bombanın bırakılma noktasında düşey doğrultudan itibaren hangi açı altında ayarlanmalıdır?

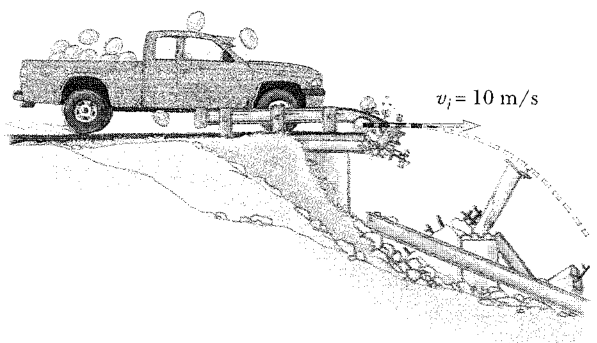
60. R yarıçaplı yarı küresel bir kayanın tepesinde ayakta duran bir kişi (kayanın tepesinde başlangıçta sükunette duran) bir topa Şekil P4.60 'daki gibi yatay $\mathbf{v}_i$ hızı vermek için tekme vurur. (a) Topa vurulduktan sonra, top asla kayaya çarpmazsa minimum ilk hızı ne olmalıdır? (b) Bu ilk hızla top, kayanın tabanından ne kadar uzağa çarpar?



Şekil P4.60

61. Bir şahin, yerden 200 m yüksekte bir doğru boyunca 10,0 m/s hızla yatay olarak uçmaktadır. Şahin, taşıdığı bir fareyi pençesinden bırakır ve yemini tekrar ele geçirmeye teşebbüs etmeden önce 2s yoluna devam eder. Geri almayı başarmak için, sabit hızla bir doğru boyunca dalışa geçer ve fareyi yerden 3 m yukarıda kapar. Hava direnci olmadığını kabul ederek (a) Şahinin dalış hızını bulunuz. (b) Şahin inişi sırasında yatayla hangi açıyı yapmıştır? (c) Fare, serbest düşmenin ne kadar süre "zevkini çıkarmıştır"?

62. Karpuz yüklü bir kamyon, kapanmış bir köprünün kenarına ulaşmamak için aniden durur (Şekil P4.62). Ani durma, bir çok karpuzun kamyondan dışarıya fırlamasına neden olur. Bir karpuz yatay doğrultuda v_i = 10 m/s ilk hızla kenardan yuvarlanır. Köprü altında hareketin kesiti, x ve y metre cinsinden olmak üzere $y^2 = 16x$ bağıntısıyla verilen, tepe noktası yolun kenarında olan bir parabolün alt yarısı şeklindedir. Karpuz aşağıya vurduğu zaman x ve y koordinatları nedir?



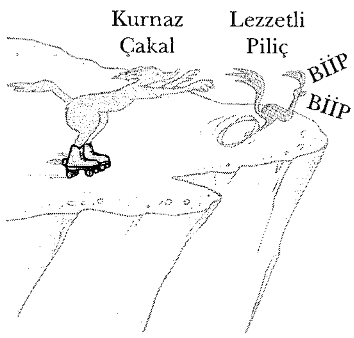
Şekil P4.62

63. Bir mancınık yatayla 53° yapan bir açı altında yukarıya doğru 100 m/s ilk hızla bir roket fırlatır. Roket motoru derhal ateşlenir ve 3 s için roket, hareketinin ilk hattı boyunca 30 m/s^2 'lik bir ivmeyle yol alır. Sonra motoru durur ve roket serbest düşme halinde haketine devam eder. (a) Roketin ulaştığı maksimum yüksekliği (b) toplam uçuş süresini ve (c) yatay menzilini bulunuz.

64. Bir nehir düzgün **v** hızıyla akmaktadır. Motorlu teknedeki bir kişi akıntıya karşı 1 km yol almakta olup, o anda yakında yüzen bir kütük görür. Kişi akıntıya karşı aynı hız ile 60dk daha yol almaya devam eder ve sonra tekrar aynı kütüğü gördüğü başlama noktasına akıntı yönünde geri döner. Nehrin hızını bulunuz. (*Yol gösterme*: Tekne, kütüğe rastladıktan sonra teknenin hereket süresi kütüğün hareket süresine eşittir.)

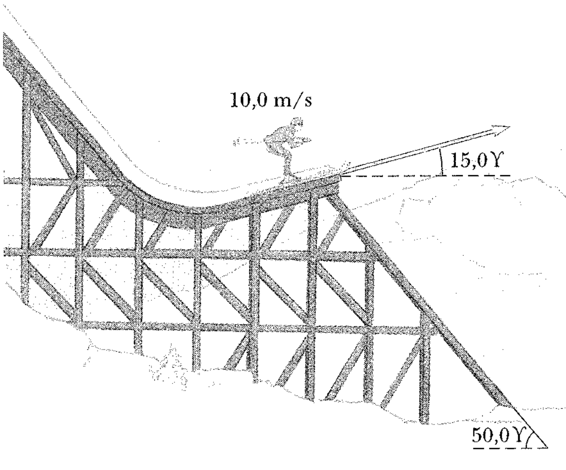
WEB 65. Bir otomobil, eğim açısının yatayın altına doğru 37° olduğu dik bir yamaca parkeder. Unutkan sürücü arabasını boşta bırakır ve el freni tutmamaktadır. Otomobil 4 m/s^2 'lik sabit bir ivmeyle, dik bir uçurumun kenarına doğru 50m yol alarak, bayırdan aşağıya sükunetten itibaren yuvarlanır. Uçurumun yüksekliği okyanustan 30m 'dir. (a) Uçurumun kenarına ulaştığı zaman otomobilin hızını ve oraya kadar gelmesi için geçen süreyi, (b) okyanusa düştüğü anda arabanın hızını, (c) arabanın hareket halinde olduğu toplam zamanı ve (d) otomobil okyanusa düştüğü anda, uçurumun dibine göre konumunu bulunuz.

66. Kararlı bir çakal, hızlı koşan avını yakalamak için bir deneme daha yapar. Çakal 15 m/s^2 'lik sabit yatay bir ivme sağlıyan Acme jet motorlu bir çift kaykay takar (Şekil P4.66). Av uçuruma doğru koşarken, tam çakalın yanından geçtiği anda çakal uçurumun kenarından 70 m uzaktan durgun halden harekete geçer. (a) Av, sabit hızla hareket ederse, çakaldan önce uçuruma ulaşmak için sahip olması gereken minimum hızı hesaplayınız. Uçurumun kenarında, çakal yola dosdoğru devam ederken av ani bir dönüş yaparak kaçar. (b) Uçurum bir kanyonun dibinden 100 m yukarıdaysa, çakalın kanyonda nereye düştüğünü bulunuz ("uçuş" halinde olduğu zaman, kaykayının hala yatay ve çalışır durumda olduğunu varsayınız). (c) Çakalın çarpma hız bileşenlerini hesaplayınız.



Şekil P4.66

67. Bir kayakçı, kayak sıçrama rampasını 10 m/s 'lik hızla, Şekil P4.67 'deki gibi, yatayla 15° açı yaparak terkeder. Yamacın eğim açısı 50° 'dir ve hava direnci ihmal edilmektedir. (a) Kayakçının yamaçta indiği d uzaklığını (d), (b) tam inmeden önce hız bileşenlerini bulunuz. (Hava direnci ihmal edilmeseydi sonuçlar nasıl etkilenirdi? Kayakçıların atlama uzaklıklarını arttırmak için elleri yanlarda öne doğru eğildiklerini hatırlayınız. Bu eylem niçin yararlıdır?)

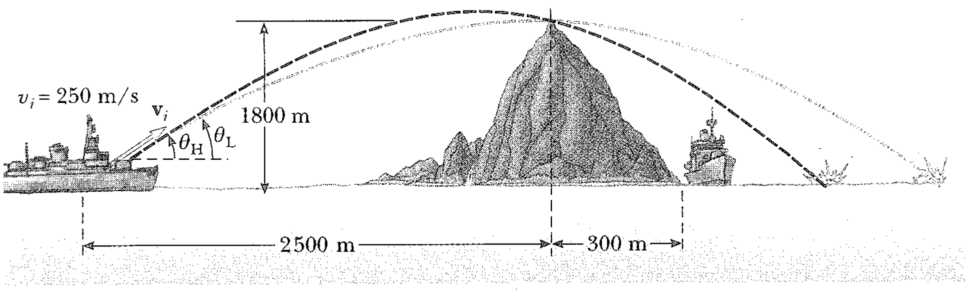


Şekil P4.67

68. İki sporcu, Mary ve Jane, hemen hemen aynı noktadan aynı zamanda koşmaya başlarlar. Jane 5,4 m/s hızla, 60° kuzey-doğu yönünde harekete başlarken, Mary 4,0 m/s hızla doğuya doğru koşar. (a) Birbirlerinden 25 m uzakta olmaları ne kadar sürer? (b) Jane'in Mary'e göre hızı nedir? (c) 4 s sonra birbirlerinden ne kadar uzaklıktadır?

69. Kendinizi incitmeden, elinizi herhangi bir şeye vurmadan, elinize büyük bir ivme vermek için yapmanız gereken şeyi anlatınız. Ölçtüğünüz veya tahmin ettiğiniz nicelikleri ve onların değerlerini ifade ederek, bu ivmenin tahmin ettiğiniz büyüklük mertebesini hesaplayınız.

70. Bir düşman gemisi, Şekil P4.70 'de görüldüğü gibi dağ şeklinde bir adanın batısındadır. Düşman gemisi 1800 m yükseklikteki dağın zirvesinden 2500 m açığına kadar manevra ve 250 m/s 'lik ilk hızla eğik atış yapabilmektedir. Doğu yakası kıyı şeridi, zirveden yatay olarak 300 m uzaktaysa, bir geminin, düşman gemisinin bombardımanından kurtulabildiği doğu yakası kıyısından olan uzaklığı nedir?



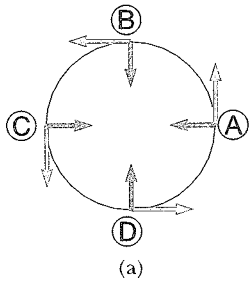
Şekil P4.70

SINAMA SORULARININ CEVAPLARI

4.1 (a) Her ne zaman herhangi bir yolla-hızdaki bir artış veya azalışla-hız değişirse, ivme oluşacağından, fren pedalı da arabayı yavaşlatması sebebiyle bir hız kontrol pedalı gibi gözönüne alınabilir. Keza hız vektörünün doğrultusunu değiştirmesi sebebiyle direksiyon da bir hız kontrol gerecidir. (b) Araba sabit hızla gittiği zaman, gaz pedalı bir ivmeye sebep olmaz; o yalnız hız göstergesinde bir değişmeye sebep olduğu zaman bir hız kontrol gerecidir.

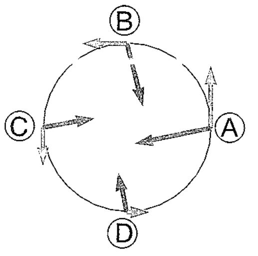
4.2 (a) Yalnız bir noktada-cismin çizdiği yolun en üst noktasında-hız ve ivme vektörleri birbirlerine diktir. (b) Eğer cisim dosdoğru yukarı veya aşağı fırlatılırsa, **v** ve **a** aşağı doğru harekette baştan sona birbirine paraleldir. Aksi halde, hız ve ivme vektörleri asla birbirine paralel değildir. (c) Makmimum yükseklik arttıkça, eğik atılan cismin o yüksekliğe ulaşması ve sonra oradan aşağı düşmesi için geçen zaman artar. Böylece, açı 0° 'den 90° 'ye artarken, uçuş zamanı artar. O nedenle, 15° ilk açı en kısa uçuş zamanı ve 75° 'lik açı en uzun uçuş zamanı verir.

4.3 (a) Cismin sabit bir hızla hareket etmesi sebebiyle hız vektörü daima aynı uzunluktadır. Hareket dairesel olduğundan, bu vektör daima daireye teğettir. Yegane ivme hız vektörünün doğrultusunu değiştiren ivme-



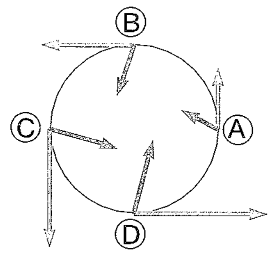
(a)

dir; bu ivme merkeze yöneliktir. (b) Şimdi daireye teğet ve hızla aksi yönde olan bir ivme vektörü bileşeni vardır. Bunun sonucu olarak, ivme vektörü merkeze yönelmez. Cisim yavaşlamaktadır ve böylece hız vektörleri gittikçe kısalır.



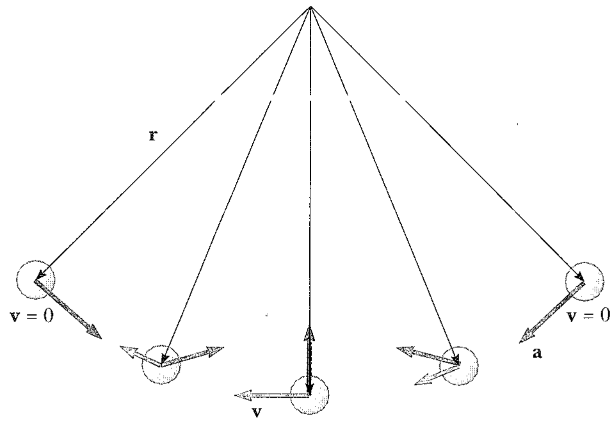
(b)

(c) Şimdi ivmenin teğet bileşeni hızla aynı doğrultuya yöneliktir. Cisim hızlanmakta olup hız vektörleri gittikçe büyür. Burada hız vektörünün büyüklüğünün çok çabuk, fakat (b) şıkkında yavaş yavaş değişmesi sebebiyle ivme vektörleri (b) şıkkındakinden daha uzundur.



(c)

4.4 Hareketin diyagramı aşağıda görüldüğü gibidir. Her konum vektörünün dairenin merkezinden geçen eksen noktasından topun bulunduğu konuma yöneldiğine dikkat ediniz.



4.5 (a) Yolcu, kahveyi boşaltırken sanki ayakta hareketsiz duruyormuş gibi kahvenin fincana hemen hemen düşey olarak döküldüğünü görür. (b) Hareket etmeyen gözlemci, kahvenin 60 mi/saat (= 88 ft/s) sabit yatay bir hızla ve aşağı doğru bir $-g$ ivmesiyle parabolik bir yolda hareket ettiğini görür. Eğer kahvenin fincana ulaşması 0,10 s alırsa, duran gözlemci kahvenin fincana değmeden önce yatay olarak 8,8 ft gittiğini görür. (c) Araba aniden yavaşlarsa, kahve hızda hiçbir değişme olmamış olsaydı fincanın bulunacağı yere ulaşır ve fincan henüz oraya varmadığından dökülmeye devam eder. Araba çabucak hızlanırsa, kahve fincanın berisine dökülür. Araba yanlara hızlanırsa, kahve gene fincandan başka yerlere dökülür.