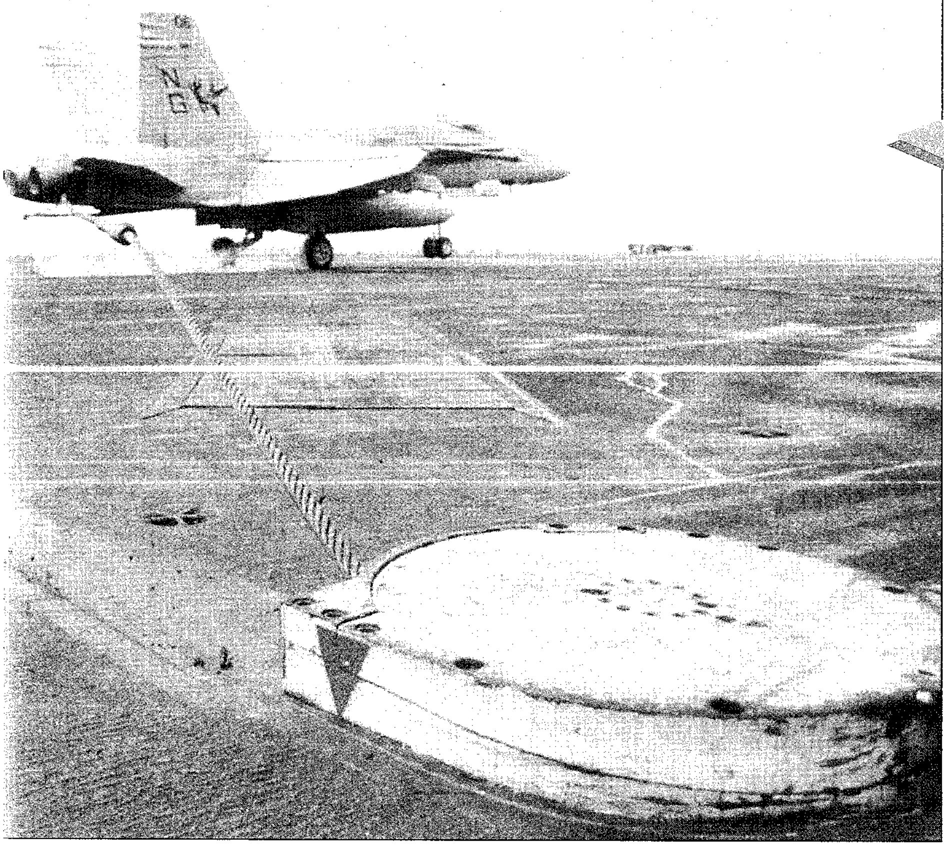


SİZCE NASIL?

USS Nimitz uçak gemisine 140 mil/saat hız ile iniş yapan F/A 18 Hornet uçağına bağlı tutucu kablo aniden gerilerek uçağı durduracaktır. Pilot motoru durdurur ve uçak 2 saniyeden daha kısa bir zamanda durur. Eğer tutucu kablo uçağa düzgün olarak takılmamış olsaydı, pilot uçuş pisti sona ermeden tekrar havalanmak zorunda kalırdı. Uçağın bu hareketi detaylıca çalışılarak, uçak tasarımcılarına ve pilotlara bir "posta pulu" üzerine iniş yapabilmeleri öğretilebilir mi? *(USS* Nimitz*/U.S. Navy'nin izniyle)*

b ö l ü m

2

Bir Boyutlu Hareket

Bölüm İçeriği

Klasik mekanikte bir hareketi incelerken ilk adım, hareketi oluşturan öğeleri göz ardı ederek hareketi uzay ve zaman cinsinden ifade etmektir. Klasik mekaniğin bu kısmına *Kinematik* denir (*Kinematik* sinema ile aynı kelime kökünden gelir, nedenini tahmin edebiliyor musunuz?). Bu bölümde Bir-boyutlu hareketi inceleyeceğiz. Öncelikle yerdeğiştirme, hız ve ivmeyi tanımlayıp, daha sonra bu kavramları kullanarak, sabit ivme ile bir-boyutlu hareketi inceleyeceğiz.

Günlük deneyimlerimizden biliyoruz ki hareket, bir cismin konumundaki sürekli değişimi temsil eder. Fizikte üç çeşit hareketle ilgileniriz: ötelenme, dönme ve titreşim. Yokuş aşağıya inen bir arabanın hareketi; ötelenme hareketine, Dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi; dönme hareketine ve ileri geri sallanan bir sarkacın hareketi ise titreşim hareketine birer örnektir. Bu ve sonraki bölümlerde sadece ötelenme hareketini inceleyeceğiz (kitabın ilerleyen kısımlarında dönme ve titreşim hareketlerini de tartışacağız).

Ötelenme hareketini incelerken, hareket eden cismi büyüklüğüne bakmaksızın bir *parçacık* olarak ele alacağız. Genel olarak, **parçacık terimi ile çok küçük, noktasal bir kütleyi anlayacağız.** Örneğin, Dünyanın Güneş etrafındaki hareketini incelemek istersek, Dünyayı bir parçacık olarak ele alırız, bu yaklaşıma rağmen Dünyanın yörüngesi ile elde ettiğimiz verilerin, gerçek değerlerine çok yakın olduğunu buluruz. Yaklaşımımızı geçerli kılan şey, Dünya ve Güneşin yarıçaplarının Dünya yörünge yarıçapı ile kıyaslandığında çok küçük olmasıdır. Bu yaklaşıma küçük ölçekte bir örnek olarak da, gaz moleküllerinin içinde bulunduğu kabın duvarına yaptıkları basıncı hesaplarken, gaz moleküllerini birer parçacık olarak almamız verilebilir.

2.1 YERDEĞİŞTİRME, HIZ VE SÜRAT

Bir parçacığın hareketi, uzaydaki konumu her an biliniyorsa tamamen bellidir. Bir arabanın Şekil 2.1a'da gösterildiği gibi x ekseni boyunca ileri-geri hareketini inceleyelim. Konum verilerini toplamaya başladığımızda araba, hız sınırını gösteren işaretin 30 m sağındadır (Bu örnekte anlamlı rakam sayısının iki olduğunu varsayalım, bu durumda arabanın ilk konumunu 3×10^1 m olarak vermeliyiz. Bu yazım şekli tartışmamızı kolaylaştırır.). Saatimizi çalıştırarak, Tablo 2.1'den görüldüğü gibi her 10 s'de arabanın işarete göre yerini kaydediyoruz. Araba ilk 10 s'de sağa doğru (pozitif yönü sağa doğru seçtik) Ⓐ noktasından Ⓑ noktasına hareket etmektedir. Araba Ⓑ noktasından Ⓕ noktasına hareket ederken konum değerleri azalmaktadır, bu durumda araba geriye doğru gitmektedir. Gerçekte, harekete başladıktan 30 s sonra araba Ⓓ noktasına gelir, bu nokta ölçüme başladığımızda arabanın bulunduğu noktadır. Ölçmeyi durdurduğumuz altıncı veri noktasına kadar araba 50 m daha sola hareket eder. Bu bilginin grafiksel gösterimine *konum-zaman* grafiği denir ve Şekil 2.1b'de verilmiştir.

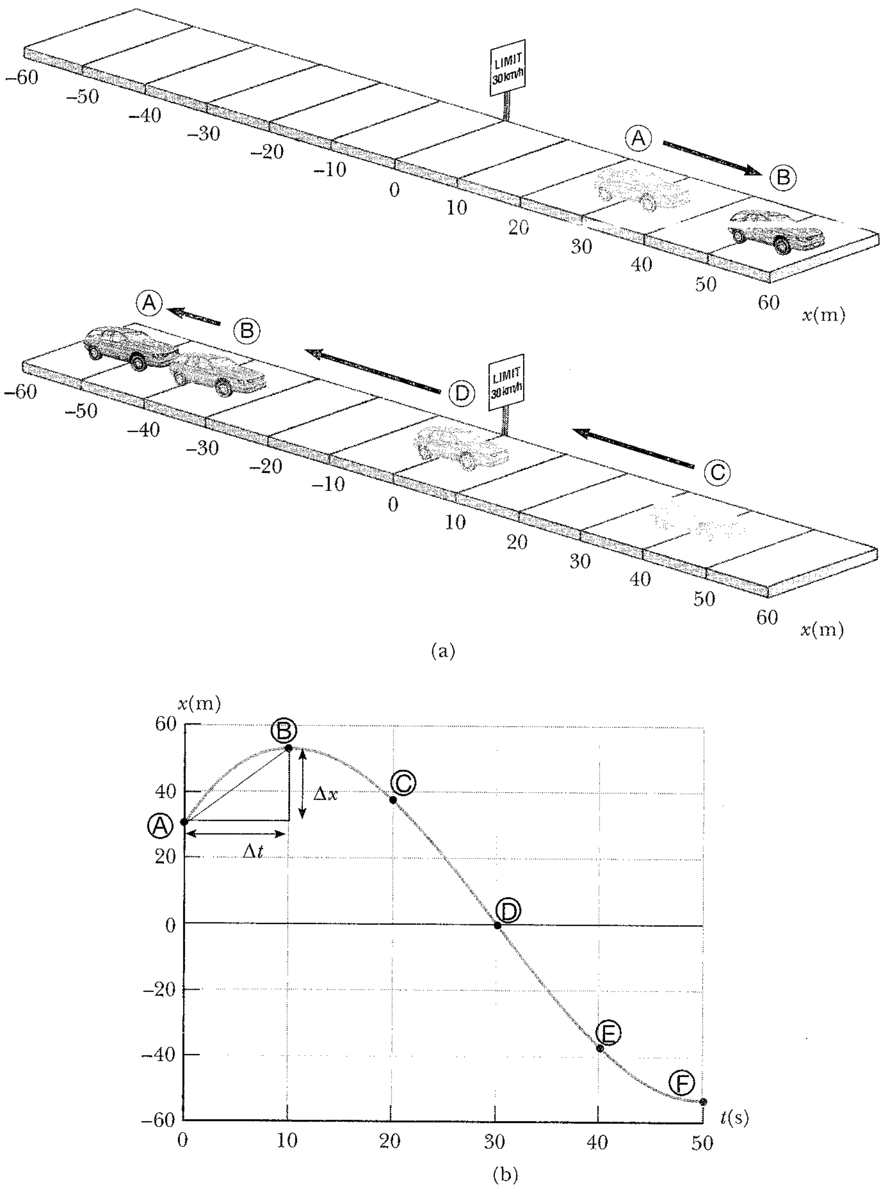
TABLO 2.1
Bir arabanın farklı zamanlardaki konumu

Konum	t(s)	x(m)
Ⓐ	0	30
Ⓑ	10	52
Ⓒ	20	38
Ⓓ	30	0
Ⓔ	40	−37
Ⓕ	50	−53

Hareket eden bir parçacığın konumundaki değişmeyi kolayca belirleyebiliriz. ***Parçacığın konumundaki değişim, onun yerdeğiştirmesi olarak tanımlanır.*** x_i başlangıç konumundan x_s son konumuna hareket eden bir parçacığın yerdeğiştirmesi $x_s - x_i$ ile verilir. Bir nicelikteki *değişim,* Yunan alfabesindeki (Δ) simgesi ile gösterilir. O halde bir parçacığın yerdeğiştirmesi ya da konumundaki değişim

$$\Delta x \equiv x_s - x_i \qquad \textbf{(2.1)}$$

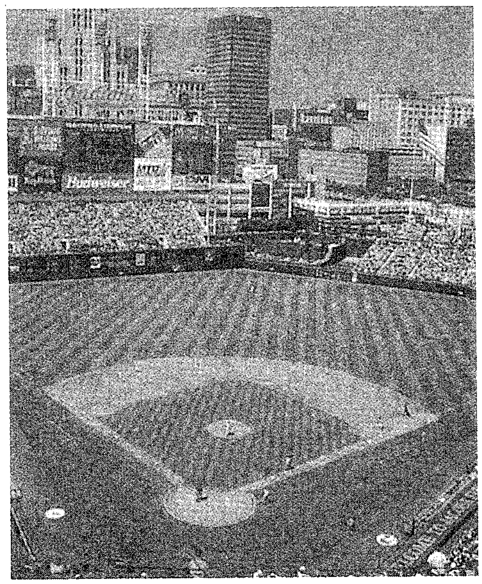
olarak yazarız. Bu tanımdan, Δx'in x_s, x_i'den büyükse pozitif, küçükse negatif olduğu görülür.



Şekil 2.1 (a) Bu araba, x ekseni olarak alınan doğrusal bir yol boyunca ileri-geri hareket edebilir. Biz sadece arabanın ötelenme hareketi ile ilgilendiğimizden, arabayı bir parçacık olarak ele alabiliriz. (b) "Parçacık" hareketinin konum-zaman grafiği.

Kolay düşülen bir hata, parçacığın aldığı yol ile yerdeğiştirmesinin birbirine karıştırılmasıdır (Şekil. 2.2). Bir beyzbol oyuncusunun yaptığı home run vuruşundan sonra saha etrafında bir tur atarak tekrar vuruş yaptığı noktaya gelmesi sonucunda aldığı yol 360 ft dır. Fakat yerdeğiştirmesi, $x_{ş}$, x_i'ye eşit olduğundan sıfırdır.

Yerdeğiştirme vektörel niceliğe bir örnektir. Hız, ivme gibi bir çok fiziksel nicelik de vektördür. Genel olarak **vektör, yönü ve büyüklüğü olan fiziksel bir niceliktir. Skaler nicelik ise, yönü olmayan sadece büyüklüğü olan bir niceliktir.** Bu bölümde vektörlerin yönlerini, artı ve eksi işaretleri kullanarak göstereceğiz. İncelediğimiz hareket bir-boyutlu olduğundan, yani hareket sadece doğrusal olduğundan, bu gösterimin bir sakıncası yoktur. Örneğin bir yatay hareket için sağa doğru olan yönü keyfi olarak pozitif seçelim. Buradan, sağa doğru hareket eden bir cismin yerdeğiştirmesinin pozitif $+\Delta x$, benzer şekilde



Şekil 2.2 Bir beyzbol alanının kuşbakışı görünüşü. Beyzbol vuruşu yapan bir oyuncu, saha etrafında 360 ft'lik bir yol alır ancak yerdeğiştirmesi sıfırdır. *(Mark C. Burnett/Photo Researchers, Inc.)*

sola doğru hareken eden bir cismin yerdeğiştirmesinin ise negatif $-\Delta x$ olduğunu söyleyebiliriz. Vektörleri Bölüm 3'te daha ayrıntılı inceleyeceğiz.

Henüz bahsetmediğimiz önemli bir nokta ise, Şekil 2.1b'de verilen grafiğin sadece altı nokta ile oluşmuş bir eğri değil, yumuşak ve sürekli bir eğri olmasıdır. Bu grafik arabayı izlediğimiz 50 s'lik konum-zaman bilgilerinin tümünü içermektedir. Arabanın yerdeğiştirmesini bir grafikten izlemek, sözel anlatımdan veya bir tablodan görmekten çok daha kolaydır. Örneğin grafikten, arabanın 50 s'lik zaman diliminin ilk yarısında, ikinci yarısından daha çok yol aldığı açıkça görülmektedir. Ⓒ ve Ⓓ noktaları arasında araba 40 m yol almışken Ⓔ ve Ⓕ noktaları arasında bu yolun yarısından daha az yol almıştır. Bu farklı hareketleri karşılaştırmanın alışılmış bir yolu; Δx yerdeğiştirmesini zaman aralığı Δt 'ye oranlamaktır. Oldukça kullanışlı olan ve sık kullanılan bu orana *ortalama hız* denir. **Bir parçacığın ortalama $\bar{v}_x$ hızı, parçacığın yerdeğiştirmesi olan Δx in, bu yerdeğiştirme süresi olan Δt ye oranı olarak tanımlanır:**

Ortalama hız

$$\bar{v}_x \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \textbf{(2.2)}$$

3.2 Burada x indisi, hareketin x ekseni boyunca olduğunu gösterir. Tanımı gereğince ortalama hızın birimi, uzunluğun zamana (L/T) bölümüdür ve SI birim sisteminde m/s ile verilir.

Herhangi bir hareket süresince alınan yol mutlaka pozitif iken ortalama hız pozitif ya da negatif olabilir. Bu tamamen yerdeğiştirmenin işaretine bağlıdır (zaman aralığı Δt daima pozitiftir). Parçacığın koordinatı ilerleyen zamanla birlikte artıyorsa (yani $x_s > x_i$), o zaman Δx pozitiftir, dolayısı ile $\bar{v}_x = \Delta x/\Delta t$ de pozitif olur. Hareket de pozitif x yönünde olur. Eğer parçacığın konumu ilerleyen zamanla birlikte azalıyorsa (yani $x_s < x_i$), o zaman Δx negatiftir; yani $\bar{v}_x$ de negatif olur. Bu durum hareketin negatif x yönünde olduğunu gösterir.

Ortalama hız, Şekil 2.1.b'deki herhangi iki nokta arasında bir doğru çizerek geometrik olarak da yorumlanabilir. Bu doğru, Δx yüksekliğinde ve Δt tabanlı bir dik üçgenin hipotenüsünü oluşturur ve eğimi $\Delta x/\Delta t$ ile verilir. Örneğin, Ⓐ ve Ⓑ noktaları arasındaki doğrunun eğimi, bu noktalar arasında hareket eden arabanın ortalama hızını verir ve değeri (52 m – 30 m) / (10 s – 0) = 2,2 m/s 'dir.

Günlük hayatta *hız* ve *sürat* kelimeleri aynı anlamda kullanılırlar. Oysa fizikte bu iki terim arasında açık bir anlam farkı vardır. 40 km 'lik koşu yapan ancak koşu sonunda başladığı noktaya dönen bir maraton koşucusu düşünelim. Koşucunun ortalama hızı sıfırdır! Buna karşın ne kadar hızlı koştuğunu bilmek isteriz. Bunun için ortalama hızın tanımına benzer bir tanım kullanırız. **Skaler bir nicelik olan bir parçacığın ortalama sürati, alınan toplam yolun geçen toplam zamana oranı olarak verilir**:

$$\text{Ortalama sürat} = \frac{\text{toplam yol}}{\text{toplam zaman}}$$

Ortalama sürat

Ortalama süratin SI sisteminde birimi, ortalama hızın birimi ile aynıdır ve m/s ile verilir. Ortalama hızdan farklı olarak, ortalama süratin yönü yoktur, bu nedenle pozitif, negatif gibi yön belirleyen cebirsel işaretlere de gerek yoktur.

Ortalama sürat, bize hareketin ayrıntıları hakkında herhangi bir bilgi vermez. Örneğin, arabanızla 280 km 'lik bir yolu 8 saatte aldığınızı varsayalım. Bu seyahat boyunca ortalama süratiniz 35 km/saat'dır. Fakat, seyahat esnasında muhtemelen farklı süratlerde yol aldınız. Dolayısı ile ortalama süratiniz olan 35 km/saat değerinin çok sayıdaki değişik sürat değerinden oluştuğu açıktır.

ÖRNEK 2.1 Hareket Değişkenlerinin Hesaplanması

Şekil 2.1a ile verilen araba hareketi için Ⓐ ve Ⓕ noktaları arasındaki yerdeğişirmeyi, ortalama hız ve ortalama sürati hesaplayınız.

Çözüm Yerdeğiştirmenin birimi metre olmalı ve sayısal hesaplamalarımızın sonucu verilen konum değerleri ile aynı büyüklük mertebesinde olmalıdır. (Yani 10 kat veya yüz kat daha büyük ya da küçük olmamalıdır.). Şekil 2.1.b'deki konum-zaman grafiğinde, $t_A = 0$ s 'de $x_A = 30$ m ve $t_F = 50$ s 'de $x_F = -53$ m 'dir. Bu değerler ve 2.1 Eşitliği ile verilen yerdeğiştirme tanımı kullanılarak,

$$\Delta x = x_F - x_A = -53 \text{ m} - 30 \text{ m} = -83 \text{ m}$$

bulunur. Bu sonuç arabanın başladığı noktadan negatif yönde (bu durumda sol tarafa doğru) 83 m yol aldığını gösterir. Bulunan bu değer hem birim, hem de mertebe olarak verilerle aynıdır. Şekil 2.1a'ya göz atarak sonucun doğruluğunu görebiliriz.

Hesap yapmaksızın ortalama hızı tahmin etmek zordur. Fakat, biriminin m/s olması gerektiğini biliyoruz. Arabanın son konumu başlangıç noktasına göre solda olduğundan, ortalama hızın negatif olması gerektiğini biliyoruz. Eşitlik 2.2 kullanılarak,

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_s - x_i}{t_s - t_i} = \frac{x_F - x_A}{t_F - t_A}$$

$$= \frac{-53\ m - 30\ m}{50\ s - 0\ s} = \frac{-83\ m}{50\ s} = 1{,}7\ \text{m/s}$$

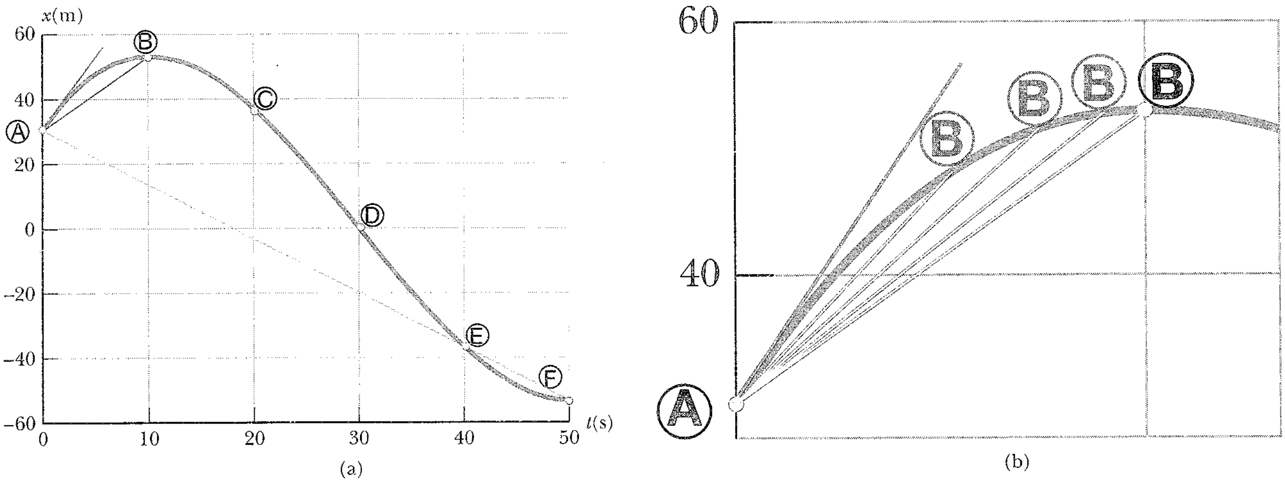
bulunur.

Arabanın ortalama süratini ise, bu hareket boyunca alınan tüm yolun toplamını, toplam zamana bölerek elde ederiz:

$$\text{Ortalama sürat} = \frac{22\text{ m} + 52\text{ m} + 53\text{ m}}{50\text{ s}} = 2{,}7\text{ m/s}$$

2.2 ANİ HIZ VE İVME

Bir parçacığın hızını, sadece belirli bir zaman aralığı için değil, herhangi bir an için de bilmek isteriz. Örnek olarak, araba ile yaptığınız bir yolculukta ortalama hızınızı bilmek istersiniz. Ancak, durmakta olan bir polis otosunu gördüğünüz an, bilmek istediğiniz o *andaki* hızınızdır. Başka bir deyişle, tam o es-



Şekil 2.3 (a) Şekil 2.1'deki arabanın hareketini gösteren grafik. (b) Grafiğin sol üst köşesinin büyütülmüş hali, A ile B noktaları arasındaki mavi çizginin, B noktası A noktasına yaklaştıkça eğriye teğet olacağını gösterir.

nada konumunuzu tam olarak belirlediğiniz gibi hızınızı da belirlemek isterseniz. Basitçe söylediğimiz bu işin nasıl yapılacağı hiç de açık değildir. Nitekim, diferansiyel hesabın bulunduğu 1600'lere kadar da açık olarak anlaşılamamıştır. Bilim adamları, ancak diferansiyel hesap yardımı ile bir parçacığın anlık hareketini açıklamayı başardılar.

Bunun nasıl yapıldığını görmek için Şekil 2.3a'yı inceleyelim. A, B aralığında hareket eden arabanın ortalama hızı (ince mavi doğrunun eğimi) ile A, F aralığındaki ortalama hızını (kalın mavi doğrunun eğimi) zaten tartışmıştık. Sizce bu doğrulardan hangisinin eğimi arabanın ilk hızına yakındır? Çıkışta, arabanın sağa doğru olan hareketi pozitif olarak tanımlanmıştı. O halde, A-B aralığında ortalama hızın pozitif değeri, muhtemelen ilk değere, A ve F aralığındaki ortalama hızdan daha yakındır; ki bunu Örnek 2.1'de belirlemiştik. Şimdi, Şekil 2.3b'deki gibi, A-B noktaları arasında çizdiğimiz doğrular vasıtası ile, B noktasını sola A noktasına doğru kaydıralım. Doğrunun eğimi gittikçe artarak iki noktanın birbirlerine yaklaştıkları yerde bu doğru eğriye yeşil çizgi ile gösterildiği gibi teğet olur. Bu teğetin eğimi, veri almaya başladığımız anda A noktasında bulunan arabanın ilk hızını temsil eder. Yaptığımız bu işleme A noktasında bulunan arabanın *ani hızını* bulma denir. Başka bir deyişle, **v_x ani hızı, $\Delta x/\Delta t$ oranının, Δt sıfıra yaklaşırken aldığı limit değeridir:**[1]

Ani hızın tanımı

3.3

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \textbf{(2.3)}$$

[1] Burada Δt sıfıra yaklaşırken, Δx yerdeğiştirmesinin de sıfıra yaklaştığına dikkat edin. Hem Δx hem de Δt değerleri küçüldükçe $\Delta x/\Delta t$ oranı x-t eğrisine bu noktada teğet olan doğrunun eğimine eşit olur.

Matematiksel yazımla bu limite x 'in t 'ye göre *türevi* denir ve dx/dt ile gösterilir.

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \textbf{(2.4)}$$

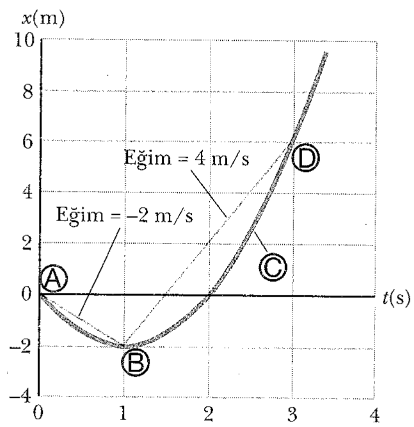
Ani hız pozitif, negatif ya da sıfır olabilir. Konum zaman grafiğinin eğiminin pozitif olması, Şekil 2.3 ile verilen grafiğin ilk 10 s 'sinde olduğu gibi, v_x'in pozitif olmasını sağlar. Ⓑ noktasından sonra v_x negatiftir. Çünkü, bu noktadan sonra eğim de negatif olur. Konum-zaman grafiğinin tepe noktasında, hem eğim hem de ani hız sıfırdır.

Bundan böyle ani hız yerine *hız* kelimesini kullanacağız. *Ortalama hız* ile ilgilendiğimizde ise *ortalama* kavramını açıkça ifade edeceğiz.

Bir parçacığın ani sürati, onun hızının büyüklüğü olarak tanımlanır. Ortalama süratte olduğu gibi, ani süratin de yönü yoktur, bu yüzden cebirsel bir işaret taşımaz. Örnek olarak, zıt yönlerde 25 m/s 'lik ve −25 m/s 'lik hızlara sahip iki parçacığın sürati[2] de 25 m/s dir.

ÖRNEK 2.2 Ortalama ve Ani Hız

Bir parçacık x ekseni boyunca hareket etmekte olup, x koordinatı $x = -4t + 2t^2$ ifadesine göre zamanla değişmektedir. Burada x, m ve t, s cinsindendir.[3] Bu hareket için konum-zaman grafiği Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Parçacığın, önce, hareketin birinci saniyesi için negatif x doğrultusunda hareket ettiğini, $t = 1$. s de aniden durduğunu ve sonra $t > 1$ s için pozitif x doğrultusunda geri döndüğüne dikkat ediniz. (a) $t = 0$ ile $t = 1$ s ve $t = 1$ s ile $t = 3$ s zaman aralıklarında parçacığın yerdeğiştirmesini bulunuz.



Şekil 2.4 x koordinatı zamana göre $x = -4t + 2t^2$ şeklinde değişen bir parçacığın konum-zaman koordinatı

Çözüm Birinci zaman aralığında, negatif eğime ve böylece negatif hıza sahibiz. Ⓐ ve Ⓑ arasındaki yerdeğiştirmenin metre cinsinden negatif değerde olduğunu biliyoruz. Benzer şekilde, Ⓑ ve Ⓓ aralığındaki yerdeğiştirmenin pozitif olmasını bekleriz.

Birinci zaman aralığında, $t_i = t_A = 0$ ve $t_s = t_B = 1$ s alalım. $x = -4t + 2t^2$ olduğundan, birinci yerdeğiştirme için

$$\Delta x_{A \to B} = x_s - x_i = x_B - x_A$$
$$= [-4(1) + 2(1)^2] - [-4(0) + 2(0)^2]$$
$$= -2 \text{ m}$$

elde ederiz.

Aynı şekilde, ikinci zaman aralığında $t_i = t_B = 1$ s ve $t_s = t_D = 3$ s alabiliriz. O nedenle, bu aralıkdaki yerdeğiştirme

$$\Delta x_{B \to D} = x_s - x_i = x_D - x_B$$
$$= [-4(3) + 2(3)^2] - [-4(1) + 2(1)^2]$$
$$= +8 \text{ m}$$

Bu yerdeğiştirmelerin, konum zaman grafiğinden de doğrudan doğruya okunabileceğine dikkat ediniz.

[2] Aynen hızda olduğu gibi, ani sürate de sadece "sürat" diyeceğiz.

[3] Okunması kolay olsun diye $x = (-4 \text{ m/s})t + (2 \text{ m/s}^2)t^2$ yerine $x = -4t + 2t^2$ şeklinde yazdık. Elinizde deneysel sonuçlardan türetilmiş bir denklem varsa, bu denklemin katsayılarının veriler ile aynı anlamlı rakam sayısına sahip olduğunu ve birimlerinin doğru birimleri verecek şekilde seçilmiş olduğunu düşünün. Saatimizi $t = 0$ anında başlatmış olmamız zaman ölçümlerinde sadece tek anlamlı rakama sahip olduğumuz anlamına gelmez. Bu kitap boyunca gördüğünüz sıfır değerlerinin gerektiği kadar anlamlı rakam sayısına sahip olduğunu varsayın.

(b) $t = 0$ ile $t = 1$ s ve $t = 1$ s ile $t = 3$ s zaman aralıklarındaki ortalama hızı hesaplayınız.

Çözüm Birinci zaman aralığında, $\Delta t = t_s - t_i = t_B - t_A = 1$ s 'dir. O nedenle, 2.2 Eşitliği ve (a)'dan elde edilen sonuçların kullanılması halinde

$$\bar{v}_{x(A\to B)} = \frac{\Delta x_{A\to B}}{\Delta t} = \frac{-2\text{ m}}{1\text{ s}} = -2\text{ m/s}$$

olur. Aynı şekilde, ikinci zaman aralığında, $\Delta t = 2$ s dir; o nedenle de

$$\bar{v}_{x(B\to D)} = \frac{\Delta x_{B\to D}}{\Delta t} = \frac{8\text{ m}}{2\text{ s}} = +4\text{ m/s}$$

dir. Bu değerler, Şekil 2.4'de bu noktaları birleştiren doğruların eğimleriyle aynı değerlere sahiptir.

(c) $t = 2{,}5$ s 'de parçacığın ani hızını bulunuz.

Çözüm Bu ani hızın, bir önceki sonuçla aynı mertebede olduğunu kestirebiliriz. Grafiği incelersek, Ⓒ noktasındaki eğimin Ⓑ ve Ⓓ yi birleştiren mavi çizginin eğiminden büyük olduğunu görürüz. Yani cevabın 4 m/s'den büyük olmasını bekleriz. Konum-zaman grafiğinin t = 2,5 s'deki eğimini ölçerek,

$v_x = +6$ m/s buluruz.

2.3 İVME

Son örnekte, parçacık hareket ederken hızı da değişmekte idi. Bu durumla oldukça sık karşılaşırız (Şehiriçi otobüste giderken hızınız sabit midir?). Hızın zamana göre değişimini, aynen konumun zamana göre değişimindeki gibi hesaplayabiliriz. Bir parçacığın hızı zamana göre değişiyorsa parçacık *ivmeli* hareket ediyor denir. Örneğin, bir arabanın gaz pedalına bastığımızda araba hızlanır, frene bastığımızda yavaşlar. Fakat, ivme için bundan daha iyi bir tanıma ihtiyacımız vardır.

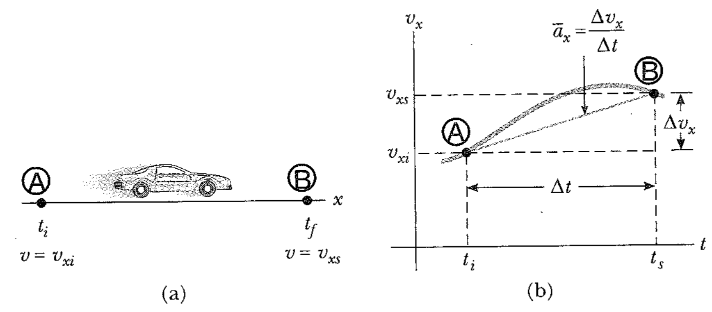
x ekseni boyunca giden bir parçacığın t_i anındaki hızı v_{xi}, t_s anındaki hızı v_{xs} olduğunu varsayalım (Şek. 2.5a).

Bir parçacığın ortalama ivmesi, parçacığın hızındaki *değişmenin*, bu değişimin olduğu Δt zaman aralığı oranı olarak tanımlanır:

Ortalama ivme

$$\bar{a}_x \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t_s - t_i} \qquad \textbf{(2.5)}$$

Hızda olduğu gibi, bir-boyutlu harekette de ivmenin yönünü belirtmek için pozitif ya da negatif işaretleri kullanırız. İvmenin birimi; hız birimi olan uzunluk/zamanın, zamana oranı olduğundan uzunluk/(zaman^2) 'dır. SI bi-



Şekil 2.5 (a) Ⓐ dan Ⓑ ye x ekseni boyunca hareket eden bir "parçacığın" $t = t_i$ anında hızı v_{xi}, $t = t_s$ anında hızı v_{xs} dir. (b) Parçacığın hız-zaman grafiği. Ⓐ noktasını Ⓑ noktasına birleştiren mavi doğrunun eğimi, $\Delta t = t_s - t_i$ zaman aralığında ortalama ivmeyi verir.

rim sisteminde ivmenin birimi m/s^2 ile verilir. Örneğin, 2 m/s^2 lik ivmeyi kafamızda, bir doğru boyunca her 1 s lik sürede 2 m/s lik bir artış olarak canlandıralım. Cisim durgun halden harekete başlıyorsa, cismin 1 s sonra 2 m/s hızla, 2 s sonra ise 4 m/s lik bir hızla hareket ettiğini düşünmeliyiz.

Bazı durumlarda ortalama ivme değeri farklı zaman aralıklarında farklı değerlerde olabilir. Bunun için *ani ivme* kavramını kullanmalıyız. Ani ivme, ortalama ivmenin Δt sıfıra yaklaşırken limiti olarak tanımlanır. Bu tanım, önceki kesimdeki ani hız tanımına benzer. Eğer Şekil 2.5a'daki Ⓑ noktası Ⓐ noktasına yaklaştırıldığında, $\Delta v_x / \Delta t$ oranının Δt sıfıra yaklaşırken limitini alırsak ani ivmeyi buluruz:

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt} \qquad \textbf{(2.6)}$$

Ani ivme

Yani, ***ani ivme, hızın zaman göre türevidir***. Bu ise hız-zaman grafiğindeki (Şekil 2.5b) doğrunun eğimidir. O halde, aynı ani hız, konum-zaman grafiğinin eğimi ile verildiği gibi, ani ivme de hız-zaman grafiğinin eğimi ile verilir. Hızın zamana göre türevi hızın zaman göre değişme hızı olarak yorumlanabilir. a_x pozitifse, ivme $+x$ ekseni yönünde, negatifse $-x$ ekseni yönündedir.

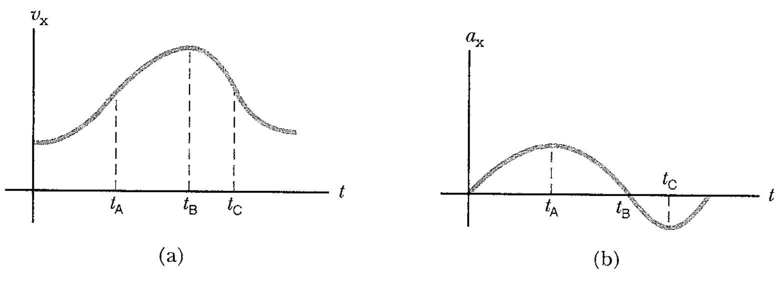
Bundan sonra ani ivme terimi yerine, sadece *ivme* terimini kullanacağız. Ortalama ivmeden bahsederken, *ortalama* terimini açıkça belirteceğiz.

$v_x = dx/dt$ olduğundan, ivme

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad \textbf{(2.7)}$$

şeklinde de yazılabilir. Başka bir deyişle, bir-boyutlu hareketin ivmesi konumun zamana göre *ikinci türevine* eşittir.

Şekil 2.6'da, ivme-zaman grafiğinin hız-zaman grafiğine nasıl bağlı olduğu gösterilmiştir. Herhangi bir andaki ivme, hız-zaman grafiğinin o andaki eğimi ile verilir. İvme, Şekil 2.6a'da hızın pozitif x yönünde arttığı noktalarda pozitif değerlere sahiptir. İvme t_A anında maksimum değerini alır; tam bu nokta-



Şekil 2.6 Ani ivme v_x-t grafiğinden elde edilebilir. (a) Bir hareketin hız-zaman grafiği, (b) Ayni Hareketin ivme-zaman grafiği. Herhangi bir t anı için a_x-t grafiği ile verilen ivme, o anda v_x-t grafiğine çizilen teğetin eğimine eşittir.

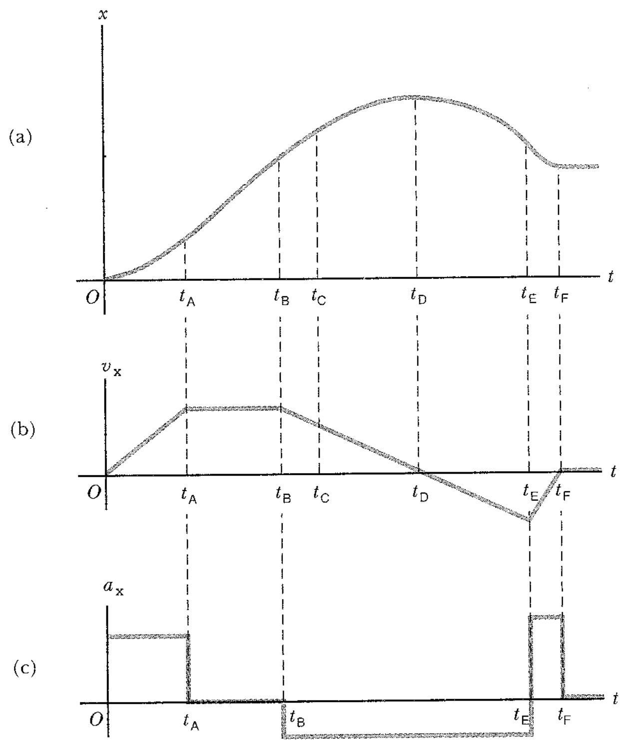
da hız-zaman grafiğinin eğimi de maksimumudur. t_B anında ivme sıfırdır, yine bu noktada hız maksimum değerindedir (yani burada v_x-t grafiğinin eğimi sıfırdır). Hız, pozitif x yönünde azalmaya başladığında ivme negatif olur ve t_C anında ivme en büyük negatif değerine ulaşır.

KAVRAMSAL ÖRNEK 2.3 x, v_x ve a_x Arasındaki Grafiksel İlişkiler

Şekil 2.7a'da, bir cismin x ekseni boyunca hareketinin zamana bağlı konumu verilmiştir. Hareketin hız-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çiziniz.

Çözüm Herhangi bir anda hız, x-t grafiğinde o andaki teğetin eğimi ile verilir. $t = 0$ ve $t = t_A$ anları arasında x-t grafiğinin eğimi düzgün olarak artar, dolayısı ile hız doğrusal olarak artar (Şekil 2.7b). t_A ve t_B noktaları arasında x-t grafiğinin eğimi sabittir. Dolayısıyla hız da sabittir. t_D noktasında, x-t grafiğinin eğimi sıfırdır, dolayısı ile burada hız da sıfırdır. t_D ve t_E noktaları arasında x-t grafiğinin eğimi negatiftir, bu nedenle hız da negatiftir ve düzgün olarak azalır. t_E-t_F aralığında ise, x-t grafiğinin eğimi halâ negatiftir ve t_F noktasında hız sıfır olur. Son olarak $t > t_F$ için, x-t grafiğinin eğimi sıfır olur ve bu, cismin durduğu anlamına gelir.

Herhangi bir anda ivme, o noktada v_x-t grafiğinin teğetinin eğimi ile verilir. Cismin ivme-zaman grafiği Şekil 2.7c'de gösterilmiştir. 0-t_A aralığında ivme sabit ve pozitiftir. Çünkü bu aralıkta v_x-t grafiğinin eğimi pozitiftir. $t_A - t_B$ ve $t > t_F$ aralığında v_x-t grafiğinin eğimi sıfır olduğundan, ivme de bu aralıklarda sıfırdır. t_B-t_E aralığında ivme negatiftir, çünkü, bu aralıkta v_x-t grafiğinin eğimi negatiftir.



Şekil 2.7 (a) x ekseni boyunca hareket eden bir cismin konum-zaman grafiği. (b) Cismin hız-zaman grafiği, her bir an için konum-zaman grafiğine çizilen teğetin eğiminden elde edilir. (c) Cismin ivme-zaman grafiği, hareketini her anında hız-zaman grafiğinin eğiminden bulunur.

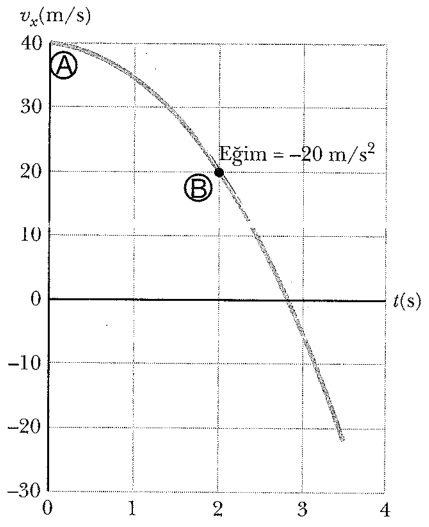
Sınama Sorusu 2.1

Şekil 2.1a'da verilen araba hareketi için hız-zaman grafiğini çizerek arabanın işarette belirlenmiş olan azami hızı (30 km/saat) aşıp aşmadığını belirleyin?

ÖRNEK 2.4 Ortalama ve Ani İvme

x ekseni boyunca hareket eden bir parçacığın hızı $v_x = (40 - 5t^2)$ m/s ifadesine göre zamanla değişmektedir. Burada t, s cinsindendir. (a) $t = 0$ ile $t = 2$ s zaman aralığındaki ortalama ivmeyi bulunuz.

Çözüm Şekil 2.8, problemdeki ifade kullanılarak oluşturulmuş $v_x - t$ grafiğini göstermektedir. $v_x - t$ eğrisinin tamamının eğimi negatif olduğundan, ivmenin de negatif olmasını bekleriz.



Şekil 2.8 $v = (40 - 5t^2)$ m/s bağıntısına göre x ekseni boyunca hareket eden bir parçacık için hız – zaman grafiği. $t = 2$ s 'deki ivmenin o andaki mavi renkli teğet çizginin eğimine eşit olduğuna dikkat ediniz.

$t_i = t_A = 0$ ve $t_s = t_B = 2$ s 'deki hızlar, t 'nin değerleri hız için verilen ifadede yerine konarak şu şekilde bulunur:

$$v_{xA} = (40 - 5t_A^2)\ \text{m/s} = [40 - 5(0)^2]\ \text{m/s} = +40\ \text{m/s}$$

$$v_{xB} = (40 - 5t_B^2)\ \text{m/s} = [40 - 5\ (2)^2]\ \text{m/s} = +20\ \text{m/s}$$

O halde $\Delta t = t_B - t_A = 2$ s zaman aralığında ortalama ivme,

$$\bar{a}_x = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t_s - t_i} = \frac{v_{xB} - v_{xA}}{t_B - t_A} = \frac{(20 - 40)\ \text{m/s}}{(2 - 0)\ \text{s}}$$

$$= -10\ \text{m/s}^2$$

ile verilir. Eksi işareti, hız – zaman grafiği üzerindeki ilk ve son noktaları birleştiren doğrunun eğiminin negatif olduğu gerçeği ile uyumludur.

(b) $t = 2$ s 'deki ivmeyi bulunuz.

Çözüm t anındaki hız $v_{xi} = (40 - 5t^2)$ m/s ile $t + \Delta t$ anındaki hız

$v_{xs} = 40 - 5\ (t + \Delta t)^2 = 40 - 5t^2 - 10\ t\Delta t - 5\ (\Delta t)^2$ ile verilir. O nedenle, Δt zaman aralığında hızdaki değişim,

$$\Delta v_x = v_{xs} - v_{xi} = [-\ 10t\,\Delta t - 5\ (\Delta t)^2]\ \text{m/s}$$

dir. Bu ifadeyi Δt ye bölerek ve sonucun Δt sıfıra yaklaşırkenki limitini alarak, *herhangi* bir t zamanındaki ivmeyi şu şekilde buluruz:

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} (-10t - 5\Delta t) = -10t\ \text{m/s}^2$$

$t = 2$ s de,

$$a_x = (-10)\ (2)\ \text{m/s}^2 = -20\ \text{m/s}^2$$

buluruz. Ⓐ ve Ⓑ arasındaki ortalama ivmeyi $(-10\ \text{m/s}^2)$ Ⓑ 'deki ani ivmeyle $(-20\ \text{m/s}^2)$ kıyaslayarak yaptığımız şey, Ⓐ 'yı Ⓑ 'ye bağlayan doğrunun (şekilde gösterilmemiştir) eğimini Ⓑ 'deki eğimle kıyaslamaktır.

Bu örnekte ivmenin sabit olmadığına dikkat ediniz. Sabit ivmeyi içeren durumlar kesim 2.5'de ele alınacaktır.

Şimdiye kadar bir fonksiyonun tanımı ile başlayıp sonra belli bir oranın limitini alarak fonksiyonun türevlerini hesapladık. İntegral hesapla aşina olanlarınız, değişik fonksiyonların türevlerini almak için belirli kurallar olduğunu bilirler. Ek B. 6'da listelenen bu kurallar türevleri çabucak hesaplamamızı sağlar. Farzedelim ki x, t 'nin herhangi bir kuvveti ile orantılı; yani

$$x = At^n$$

olsun. Burada A ve n sabitlerdir. (Bu çok genel fonksiyonel bir biçimdir.) x'in t 'ye göre türevi

$$\frac{dx}{dt} = nAt^{n-1}$$

ile verilir. Bu kuralı 2.4 Örneğine uygularsak, $v_x = 40 - 5t^2$ olduğundan $a_x = dv_x/dt = -10t$ olacaktır.

2.4 HAREKET DİYAGRAMLARI

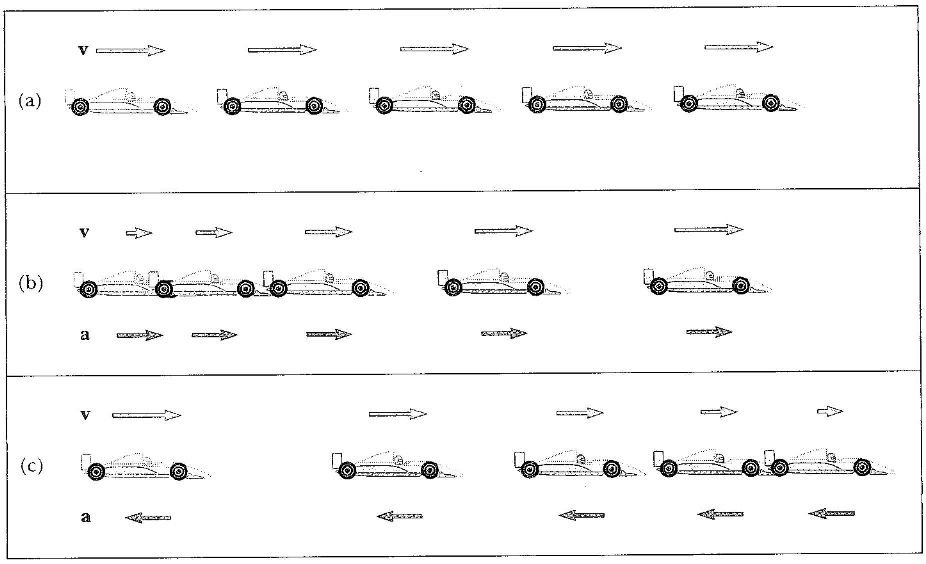
Hız ve ivme kavramları, gerçekte farklı nicelikler oldukları halde sık sık birbirlerine karıştırılırlar. Hareket halindeki bir cismin hız ve ivmesini betimlemek için, hareket diyagramları kullanmak öğreticidir. Yön ve büyüklüğe sahip olan bu vektörel nicelikleri birlerinden ayırt etmek için hız vektörlerini kırmızı, ivme vektörlerini mor renk ile göstereceğiz (Şek. 2.9). Cismin hareketinin çeşitli anlarını gösteren vektörler çizilmiş ve ardışık konumlar arasındaki zaman azalırken eşit olduğu varsayılmıştır. Şekil, soldan sağa doğru düzgün bir yolda hareket eden bir arabanın hız ve ivme vektörleri straboskop fotoğrafları ile temsil edilmiştir.

Şekil 2.9a'da araba görüntüleri arasında eşit aralık vardır, bu bize arabanın eşit zaman aralıklarında eşit yollar aldığını, yani *sabit, pozitif hızla ivmesiz* hareket ettiğini gösterir.

Şekil 2.9b'de zaman ilerledikçe arabaların arası açılmakta, dolayısı ile de arabanın hızı artmaktadır; çünkü ardışık konumları arasında yerdeğiştirmesi artmaktadır. Araba *pozitif hız* ve *pozitif ivme* ile hareket edecektir.

Şekil 2.9c'de, araba sağa doğru gittikçe yavaşladığını söyleyebiliriz. Çünkü araba şekilleri arasındaki mesafe zaman arttıkça azalmaktadır. Bu durumda araba sağa doğru sabit negatif bir ivme ile hareket etmektedir. Hız vektörü zamanla küçülür ve sonunda sıfır olur. Diyagramdan da görüldüğü gibi burada, hız ve ivme vektörleri aynı yönlü *değil*dir. Araba *pozitif hız*, fakat *negatif ivme* ile hareket etmektedir.

Siz de, sola doğru sabit, pozitif veya negatif ivme ile hareket eden bir arabanın hareket diyagramını çizebilmelisiniz.



Şekil 2.9 (a) Sabit hızla (ivmesiz) hareket eden bir arabanın hareket diyagramı (b) Sabit ivmesi, hızı ile aynı yönde olan bir arabanın hareket diyagramı. Hız vektörü kırmızı, ivme vektörü mor renkle gösterilmiştir. (c) Sabit ivmesi hareket yönüne *zıt* olan bir arabanın hareket diyagramı.

Sınama Sorusu 2.2

a) Doğuya doğru hareket eden bir arabanın ivmesi batıya doğru olabilir mi? b) Yavaşlayan bir arabanın, ivmesi pozitif olabilir mi?

2.5 BİR-BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Bir parçacığın ivmesi zamanla değişirse, hareketi, karmaşık ve analiz edilmesi zor olabilir. Fakat, bir-boyutlu hareketin çok genel ve basit bir tipi, ivmenin sabit veya düzgün olduğu durumdur. İvme sabit olduğunda, ortalama ivme ani ivmeye eşittir. Bu tür harekette hız, hareketin başından sonuna kadar aynı oranda artar veya azalır.

2.5 Eşitliğinde $\overline{a}_x$ yerine a_x koyarsak ve $t_i = 0$, daha sonraki t_s yerine de t alırsak

$$a_x = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t}$$

veya

$$v_{xs} = v_{xi} + a_x t \qquad (a_x \text{ sabit}) \qquad \textbf{(2.8)}$$

Zamanın fonksiyonu olarak hız

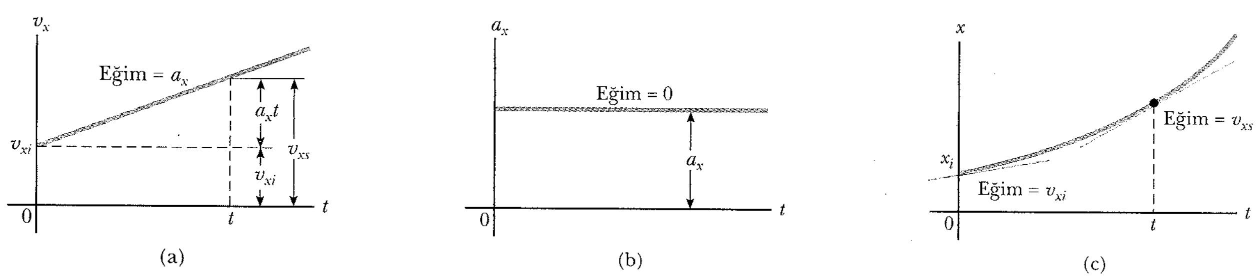
buluruz.

İlk hız, ve ivme (sabit) bilinirse, bu ifade yardımı ile *herhangi bir* andaki hızı kolayca bulabiliriz. Sabit ivmeli bir hareket için hızın zamana göre grafiği Şekil 2.10a'da gösterilmiştir. Grafik, $a_x = dv_x/dt$'nin sabit olması gerçeği ile uyumlu ve eğimi, a_x ivmesi olan bir doğrudur. Eğim, pozitiftir; Bu, ivmenin de pozitif olduğunu gösterir. İvme negatif olsaydı, Şekil 2.10a'daki çizginin eğimi de negatif olacaktı.

İvme sabit olduğunda, ivme-zaman grafiği (Şek. 2.10b), eğimi sıfır olan bir doğru olur.

Sınama Sorusu 2.3

2.8 Denklemindeki her terimin anlamını açıklayınız.



Şekil 2.10 Sabit a ivmesiyle x ekseni boyunca hareket eden bir parçacık; (a) hız–zaman grafiği, (b) ivme–zaman grafiği ve (c) konum–zaman grafiği

2.8 Eşitliğine göre, hız zamanla doğrusal olarak değiştiğinden, herhangi bir zaman aralığındaki ortalama hız, v_{xi} ilk hızı ile v_{xs} son hızın aritmetik ortalaması olarak ifade edilebilir:

$$\bar{v}_x = \frac{v_{xi} + v_{xs}}{2} \quad (\text{sabit } a_x \text{ için}) \tag{2.9}$$

Bu ifadenin *sadece*, ivme sabit olduğu zaman uygulanabileceğine dikkat ediniz.

Şimdi 2.1, 2.2 ve 2.9 Eşitliklerini, yerdeğiştirmeyi zamanın fonksiyonu olarak elde etmek için kullanabiliriz. 2.2 Eşitliğindeki Δx'in $x_s - x_i$ anlamına geldiğini anımsayarak (ilk anı $t_i = 0$ seçip) Δt yerine t alarak

Hız ve zamanın fonksiyonu olarak yerdeğiştirme

$$x_s - x_i = \bar{v}_x t = \tfrac{1}{2}(v_{xi} + v_{xs})t \quad (\text{sabit } a_x \text{ için}) \tag{2.10}$$

elde ederiz. 2.8 Eşitliğini 2.10 Eşitliğinde yerine koyarak, yerdeğiştirme için başka bir kullanışlı ifade elde edebiliriz:

$$x_s - x_i = \tfrac{1}{2}(v_{xi} + v_{xi} + a_x t)\, t$$

$$x_s - x_i = v_{xi} t + \tfrac{1}{2} a_x t^2 \quad (\text{sabit } a_x \text{ için}) \tag{2.11}$$

Şek. 2.10c'de gösterilen sabit (pozitif) ivmeli hareketin konum-zaman grafiği, 2.11 Eşitliğinden elde edilir. Eğri, bir paraboldür. Bu eğriye $t = t_i = 0$ noktasında çizilen teğetin eğimi, v_{xi} ilk hızına eşit olur. Daha sonraki bir t anında çizilen teğet doğrunun eğimi de, o andaki v_{xs} hızına eşit olur.

2.11 Eşitliğinin geçerliliği, zamana göre türevi alınarak kontrol edilebilir:

$$v_{xs} = \frac{dx_s}{dt} = \frac{d}{dt}\left(x_i + v_{xi}\, t + \frac{1}{2}a_x t^2\right) = v_{xi} + a_x t$$

olur.

Son olarak, 2.8 Eşitliğinden elde edilen t değerini 2.10 Eşitliğinde yerine koyarak zamanı içermeyen bir ifade elde edebiliriz:

$$x_s - x_i = \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xs})\left(\frac{v_{xs} - v_{xi}}{a_x}\right) = \frac{v_{xs}^2 - v_{xi}^2}{2a_x}$$

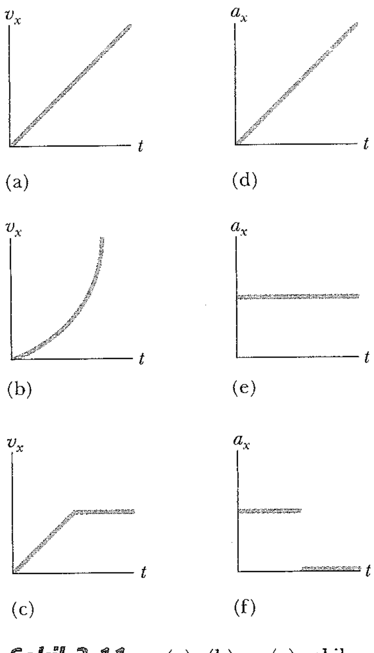
veya

$$v_{xs}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_s - x_i) \quad (\text{sabit } a_x \text{ için}) \tag{2.12}$$

İvmenin *sıfır* olduğu bir hareket için, 2.8 ve 2.11 Eşitliklerden

$$\left.\begin{aligned} v_{xs} &= v_{xi} = v_x \\ x_s - x_i &= v_x t \end{aligned}\right\} \quad (a_x = 0 \text{ iken})$$

olur. Yani, ivme sıfır olduğu zaman hız sabittir ve yerdeğiştirme zamanla doğrusal olarak değişir.



Şekil 2.11 (a), (b) ve (c) şekilleri bir-boyutta hareket eden v_x-t grafikleridir. Her cismin, mümkün olan ivmeleri zamanın fonksiyonu olarak (d), (e) ve (f)'de gösterilmiştir.

Sınama Sorusu 2.4

Şekil 2.11'de, hareketi en iyi tanımlayacak her v_x-t'ye, hangi a_x-t grafikleri karşılık gelir?

2.8 Denkleminden 2.12'ye kadar olan denklemler, **sabit ivmeli, bir boyutlu hareketle ilgili herhangi bir problemi çözmek için kullanılabilen kinematik**

TABLO 2.2 Sabit İvmeli Doğrusal Hareketin Kinematik Denklemleri

Denklem	Denklem Tarafından Verilen Bilgi
$v_{xs} = v_{xi} + a_x t$	Zamanın fonksiyonu olarak hız
$x_s - x_i = \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xs})t$	Hızın ve zamanın fonksiyonu olarak yerdeğiştirme
$x_s - x_i = v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2$	Zamanın fonksiyonu olarak yerdeğiştirme
$v_{xs}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_s - x_i)$	Yerdeğiştirmenin fonksiyonu olarak hız

Not: Hareket x ekseni boyuncadır.

ifadedir. Bu bağıntıların bazı basit cebirsel işlemlerle birlikte, hız ve ivme tanımından türetildiklerini ve ivmenin sabit olması gerektiğini hatırlayınız.

En çok kullanılan dört kinematik eşitlik topluca Tablo 2.2'de listelenmiştir. Hangi kinematik eşitlik veya eşitliklerin kullanılacağı, eldeki mevcut bilgilere göre seçilir. Örneğin herhangi bir anda yer değiştirme ve hız gibi, iki bilinmeyeni çözmek için, bu eşitliklerin ikisini kullanmak zorunludur. v_{xi} ilk hızı ile a_x ivmesinin verildiğini kabul edelim: (1) bir t zamanı geçtikten sonra hızı, $v_{xs} = v_{xi} + a_x t$ kullanarak, (2) bir t zamanı geçtikten sonra ivmeyi $x_s - x_i = v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2$ kullanarak bulabilirsiniz. Hareket sırasında değişen niceliklerin hız, yerdeğiştirme ve zaman olduğunu bilmelisiniz.

Çok sayıda alıştırma ve problem çözerek bu denklemlerin kullanımında önemli ölçüde deneyim kazanacaksınız. Çoğu zaman, bir çözüm elde etmek için birden fazla yöntemin var olduğunu keşfedeceksiniz. Kinematiğin bu eşitliklerinin ivmenin zamanla değiştiği hareketlerde kullanıla*maya*cağını unutmayınız. Bunlar sadece sabit ivmeli hareket için kullanılabilirler.

KAVRAMSAL ÖRNEK 2.5 Farklı Cisimlerin Hızları

Aşağıda verilen bir-boyutlu hareketleri tartışınız: (a) Yukarı doğru atılıp, maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra atan kişinin eline dönen top. (b) Durgun halden 100 m/s'lik hıza ulaşan bir yarış arabası. (c) Sabit hızla uzayda sürüklenen uzay gemisi. Bu farklı hareketlerin tüm hareketleri boyunca ani hız ile ortalama hızın aynı olduğu noktalar var mıdır? Yanıtınız evetse, bu nokta(ları) belirleyin.

Çözüm (a) Atılan topun ortalama hızı sıfırdır, çünkü top atıldığı noktaya geri dönmüştür; o halde yerdeğiştirmesi sıfırdır (ortalama hızın $\Delta x/\Delta t$ şeklinde tanımlandığını hatırlayın). Bu harekette sadece *tepe* noktasında anî hız sıfırdır ve ortalama hıza eşittir.

(b) Yarış arabasının ortalama hızı, verilen bilgiler yetersiz olduğundan hesaplanamaz. Fakat 0 ile 100 m/s arasında bir değer olabilir. Araba hızlanırken herhangi bir andaki ani hızı, 0 ile 100 m/s arasında bir yerde olabileceğinden, ani hız ile ortalama hızın birbirlerine eşit oldukları bir an mutlaka vardır.

(c) uzay gemisinin hızı sabit olduğundan, *herhangi* bir andaki anî hızı, *herhangi* bir zaman aralığındaki ortalama hızına eşittir.

ÖRNEK 2.6 Akan Trafiğe Girmek

(a) Bir otoyola tali yoldan giren arabanın ortalama ivmesini tahmin ediniz.

Çözüm Bu, yaptığımız tahminlerden biraz daha zor olacak, çünkü bu sefer a_x gibi tahmin edilmesi zor olan bir kavramı tartışıyoruz. Kinematikte gerekli olan diğer kavramlar, konum, hız ve zamandır. İçlerinde en kolay tahmin edebileceğimiz nicelik hızdır. Son hızınız 100 km/saat olsun. Bu değeri km'den m'ye çevirmek için 1000 ile çarpıp saatten saniyeye geçiş için de 3600 ile bölelim. Kabaca bu işlem 3 ile bölmeye eşdeğerdir. Daha da kolaylaştırarak son hızımızın $v_s \cong 30$ m/s olduğunu varsayalım. (Bu tip yaklaşımlar ile daima hesaplama yapabileceğinizi, akıldan hesaplamalarda basamakları düşürebileceğinizi hatırlayın. Örneğin, eğer İngiliz birimleri ile çalışıyor olsaydınız 1 mi/saat değerini yaklaşık 0,5 m/s alarak hesap yapabilirdiniz.)

Şimdi otoyola çıkış hızınızın, son hızınızın üçte biri yani $v_i \cong 10$ m/s olduğunu varsayalım. Son olarak da, ilk hızdan son hıza 10 s 'de ulaştığımızı daha önceki tecrübelerimize dayanarak tahmin edelim. Artık, Eşitlik 2.8'i kullanarak ivmeyi hesaplayabiliriz:

$$a_x = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t} \approx \frac{30\ \text{m/s} - 10\ \text{m/s}}{10\ \text{s}} = 2\ \text{m/s}^2$$

Bu sonucu elde ederken bir çok yaklaşımda bulunduk, fakat bu şekildeki akıl yürütmeler oldukça faydalıdır ve çoğu zaman bulunan sonuçlar, dikkatlice ölçülerek bulunan sonuçlardan çok farklı değildir.

(b) Hızlanırken geçen zamanın ilk yarısında ne kadar yol aldınız?

Çözüm Eşitlik 2.11 'i kullanarak ilk 5s 'de alınan yolu hesaplayabiliriz:

$$x_s - x_i = v_{xi}t + \tfrac{1}{2}a_x t^2 \approx (10\ \text{m/s})(5\ \text{s}) + \tfrac{1}{2}(2\ \text{m/s}^2)(5\ \text{s})^2$$
$$= 50\ \text{m} + 25\ \text{m} = 75\ \text{m}$$

Bu sonuç, hızlanmamış olsaydınız, 5s sonra 50 m yol alacağınızı ve 25 m'lik yolun da tamamen hızınızdaki artıştan kaynaklandığını gösterir.

Rakamları basitleştirerek kolaylaştırdığınız akıldan hesaplama ve bilgiye dayanan tahminler yapmaktan korkmayın. Fizikçiler bu şekildeki düşünce analizlerini her zaman yaparlar.

ÖRNEK 2.7 Uçak Gemisine İniş

Bir jet, uçak gemisine 140 mi/saat (63m/s) hızla 2 s'de iniyor. (a) Jet, 2 s sonra duruyorsa, ivmesi nedir?

Çözüm x ekseni jetin hareket yönünde olsun. Soruyu dikkatlice okuyunca, ilk hızının 63 m/s ve son hızın sıfır olduğunu görüyoruz. Ayrıca jet yavaşlarken ne kadar yol aldığı da verilmemiştir. Tablo 2.2'de, içerisinde konumu içermeyen tek denklem Eşitlik 2.8'dir. İvmeyi bulmak için bu eşitliği kullanabiliriz:

$$a_x = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t} \approx \frac{0 - 63\ \text{m/s}}{2\ \text{s}} = -31\ \text{m/s}^2$$

(b) Uçak yavaşlarken yerdeğiştirmesi nedir?

Çözüm Tablo 2.2'deki öteki denklemlerden birini kullanarak yerdeğiştirmeyi bulabiliriz. Eşitlik 2.10'u seçelim:

$$x_s - x_i = \tfrac{1}{2}(v_{xi} + v_{xs})t = \tfrac{1}{2}(63\ \text{m/s} + 0)(2\ \text{s}) = 63\ \text{m}$$

Uçak daha fazla yol alacak olsa idi okyanusa düşebilirdi. Her ne kadar uçak inişlerinde güvenlik açısından tutucu kabloların kullanılması Birinci Dünya Savaşından kalma bir fikirse de, günümüz uçak gemilerinde de vazgeçilemez bir gereçtir.

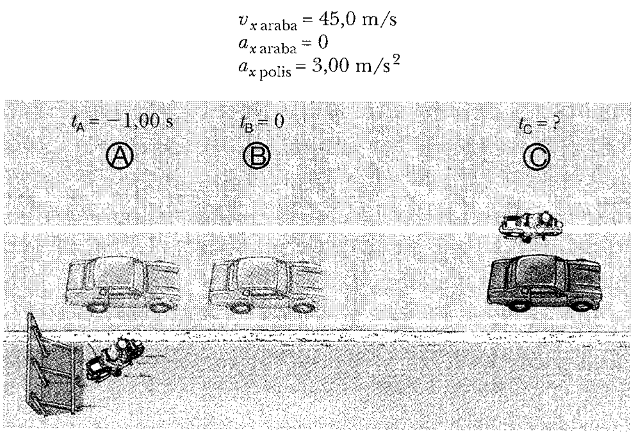
ÖRNEK 2.8 Hız Sınırına Dikkat!

45 m/s'lik sabit hızla giden bir araba, bir ilan tahtası arkasına saklanan trafik polisini geçiyor. Bundan 1 s sonra trafik polisi 3 m/s^2 lik sabit bir ivme ile arabayı kovalamaya başlıyor. Trafik polisi arabayı ne kadar zamanda yakalar?

Çözüm Dikkatlice okuyunca bunun bir sabit-ivmeli soru olduğunu anlıyoruz. Trafik polisi 1 s'lik gecikme ile takibe başladığından, arabanın hızına ulaşması için 15 s 'lik süre geçecektir. Bu zaman zarfında araba hareketine devam ettiğinden, cevabımızın 15 s 'den büyük olmasını bekliyoruz. Şekil 2.12 'de olay şematik olarak gösterilmiştir.

İlk olarak her biri için konumu zamana göre gösteren bağıntıları yazmalıyız. İlan tahtasının olduğu noktayı orijin ve trafik polisinin harekete geçtiği zamanı da $t_B \equiv 0$ seçelim. O ana kadar otomobil zaten 45 m yol almıştır, çünkü $v_x =$ 45 m/s sabit hızla 1 s hareket etmiştir. Dolayısı ile otomobilin başlangıç konumunu 45 m almalıyız.

Otomobilin hareketi ivmesiz olduğundan, Eşitlik 2.11'i



Şekil 2.12 Saklanmış polisi geçen bir araba.

kullanarak herhangi bir t anı için otomobilin konumunu

$$x_{araba} = x_B + v_{x\,araba}\, t = 45 \text{ m} + (45 \text{ m/s})\ t$$

şeklinde yazabiliriz. Elde ettiğimiz denklemi kontrol etmek için $t = 0$ alalım, gerçekten de arabanın başlangıç konumu için $x_{araba} = x_B = 45$ m değerini buluruz. Sonuçlarınızın doğruluğu açısından bu şekilde sınır değerlerine bakmak oldukça faydalıdır.

Trafik polisi $t = 0$ anında durgun halden harekete başlar ve 3.00 m/s^2 lik bir ivme ile hızlanır. Bu yüzden her hangi bir t anındaki konumu 2.11 Eşitliği ile verilir:

$$x_s = x_i + v_{xi}t + \tfrac{1}{2}\ a_x t^2$$

$$x_{polis} = 0 + 0t + \tfrac{1}{2}\ a_x t^2 = \tfrac{1}{2}\ (3 \text{ m/s}^2)\ t^2$$

Trafik polisi, otomobili her ikisinin de konumunun aynı olduğu Ⓒ noktasında yakalar:

$$x_{polis} = x_{araba}$$

$$\tfrac{1}{2}\ (3 \text{ m/s}^2)\ t^2 = 45 \text{ m} + (45 \text{ m/s})\ t$$

Buradan ikinci mertebeden bir denklem elde edilir:

$$1{,}5t^2 - 45t - 45 = 0$$

Bu denklemin pozitif kökü $t =$ 31 s dir.

(İkinci mertebeden denklemlerin çözümü için Ek B.2'ye bakınız.) 31 s'de trafik polisin 1440 m lik yol aldığına dikkat edin. [Bu mesafe, arabanın sabit hızı kullanılarak da hesaplanabilir: (45 m/s) (31 + 1) s = 1 440 m]

Alıştırma Bu problem grafik yolla da çözülebilir. Aynı grafik üzerinde, her bir aracın konum-zaman grafiğini çiziniz ve eğrilerin kesim noktalarından, polisin otomobili yakaladığı noktayı bulunuz.

2.6 SERBEST DÜŞEN CİSİMLER

Hava sürtünmesinin olmadığı durumlarda, Dünya yüzeyine yakın bir noktadan bırakılan bütün cisimlerin Dünyaya doğru, Dünyanın çekiminden ileri gelen sabit bir ivme ile düştükleri bilinen bir durumdur. Büyük düşünür Aristo'nun (384-322 M.Ö) ağır cisimler hafif cisimlerden daha hızlı düşer şeklindeki öğretisi, 1600'lere kadar kabul görmüştü.

Bizim düşen cisimler ile ilgili bu günkü bilgilerimizi ilk olarak İtalyan Galileo Galilei (1564-1642) ortaya koymuştur. Onun eğik pizza kulesinden aynı anda aşağıya bıraktığı farklı ağırlıktaki iki cismin hemen hemen aynı zamanda yere düştüğünü gösteren bir deney yaptığına dair söylentiler vardır. Her ne kadar bu deneyin yapıldığı hakkında bazı kuşkular varsa da, Galileo'nun eğik düzlemler üzerinde hareket eden cisimlerle bir çok deney yaptığı bilinmektedir. Deneylerinde, küçük bir topu eğimi az olan bir eğik düzlemden bırakarak ardışık zaman aralıklarında topun aldığı yolu ölçmüştür. Eğik düzlemi kullanmasının sebebi ivmeyi azaltmaktı, böylelikle zaman aralıklarının ölçümünü hassas bir şekilde yapabildi. Eğimi yavaş yavaş arttırarak sonunda serbest düşen cisimler hakkında yorum yapabildi, çünkü serbest düşen bir cisim dik açılı bir eğik düzlemden düşen cisim ile özdeştir.

Astronot David Scott bir çekiç ve bir tüyü aynı anda bırakıyor, bu cisimler ay yüzeyine birlikte düşüyorlar. (NASA'nın izniyle)

Ev Deneyi

Kağıttan bir bardağın tabanına kurşun kaleminizi kullanarak bir delik açın, deliği elinizle kapatarak bardağı su ile doldurun ve sonra bırakın. Bardak yere doğru düşerken tabanındaki delikten su akar mı, akmaz mı? Niçin akar, niçin akmaz? Açıklayınız

Siz de aşağıdaki deney ile bunu görebilirsiniz, bir bozuk para ile buruşturulmuş bir kağıt parçasını aynı anda, aynı yükseklikten bırakın. Hava sürtünmesinin etkisi fazla değilse, her ikisinin de aynı hareketi yaparak aynı zamanda yere düşeceğini görürsünüz. Hava sürtünmesinin olmadığı ideal durumda bu düşme hareketine *serbest düşme* denir. Bu deneyi vakum içerisinde yapmış olsaydık, hava direnci gerçekten de ihmal edilebilir olduğu için, kağıt parçasını buruşturmasak da kağıt ile paranın aynı ivme ile düştüğünü görürdük. 2 Ağustos 1971 tarihinde böyle bir deney, astronot David Scott tarafından Ay'da gerçekleştirilmiştir. Aynı anda bıraktığı bir çekiç ile bir tüy, eşzamanlı olarak Ay yüzeyine düşmüştür. Bu gösteri mutlaka Galileo'nun hoşuna giderdi!

Serbest düşmenin tanımı

Serbest düşme terimini kullandığımızda elbette sadece durgun halden bırakılan cisimleri kastetmiyoruz. **Serbest düşen cisim, başlangıçtaki hareketi ne olursa olsun sadece yerçekimi etkisi ile düşen cisimdir. Yukarı doğru veya aşağı doğru atılan cisimler veya durgun halden bırakılan cisimlerin hepsi de harekete başladıkları andan itibaren serbest düşen cisimlerdir. Aşağıya doğru düşen her cisim, başlangıçtaki hareketi ne olursa olsun, *aşağıya* doğru bir ivme etkisinde kalır.**

Serbest düşme ivmesi $g = 9{,}80$ m/s^2

Serbest düşme ivmesinin büyüklüğünü g harfi ile göstereceğiz. Dünya yüzeyine yakın yerlerde g'nin değeri yükseklik arttıkça azalır. Ayrıca, dünya üzerinde enlem ve boylamlara bağlı olarak da g'nin değeri biraz değişir. Genelde kinematik denklemlerde yukarı yön $+y$ olarak seçilir ve konumu belirten değişken olarak da y kullanılır. Dünya yüzeyinde g'nin değeri yaklaşık olarak 9,80 m/s^2 dir. Aksi söylenmedikçe hesaplamalarımızda g'nin bu değerini kullanacağız. Hızlı tahmin gerektiren hesaplamalarınızda g'nin değerini 10 m/s^2 alabilirsiniz.

Hava sürtünmesini ihmal edersek ve kısa düşey mesafelerde g'nin değerinin değişmediğini varsayarsak, o zaman serbest düşen bir cismin hareketi sabit ivmeli bir-boyutlu harekete özdeş olur. Bu durumda, Bölüm 2.5'de geliştirdiğimiz sabit ivmeli harekete ait eşitlikler geçerli olur. Sadece eşitlikleri hareketin yatay x doğrultusunda değil düşey y doğrultusunda olduğu ve sabit ivme yerine aşağıya doğru yönelmiş ve büyüklüğü 9,80 m/s^2 olan ivme değerlerini koyarak değiştirmeliyiz. Yani, her zaman $a_y = -g = -9{,}80$ m/s^2 almalıyız, buradaki – işareti serbest düşen cismin ivmesinin aşağıya doğru olduğunu gösterir. g'nin yükseklikle nasıl değiştiğini Bölüm 14'te inceleyeceğiz.

KAVRAMSAL ÖRNEK 2.9 Cesur Hava Dalgıçları

Bir hava dalgıcı, havada sabit duran bir helikopterden atlar, birkaç s sonra başka bir dalgıç onu takip eder. Hava sürtünmesini ihmal ederek, aynı düşey çizgi üzerinde düşen bu dalgıçların aynı ivme ile hareket ettiklerini söyleyebiliriz. Süratleri arasındaki fark düşüş süresince aynı kalır mı? Aralarındaki düşey mesafe, düşüş süresince aynı kalır mı? Bir birlerine bangi ipi (esnek bir ip)ile bağlanmışlarsa, düşüş sırasında bu ipteki gerilme artar mı, azalır mı, yoksa aynı mı kalır?

Çözüm Birisi daha önceden harekete başladığı için herhangi bir anda iki dalgıcın süratleri biri birinden farklıdır. Buna rağmen dalgıçların ivmeleri aynı olduğundan, herhangi bir Δt zaman aralığında süratlerindeki artış miktarı aynıdır. Dolayısı ile düşüş süresince süratleri arasındaki fark aynı kalır.

İlk dalgıcın sürati, herhangi bir zaman için ikinci dalgıcın süratinden fazladır; bu yüzden birinci dalgıç aynı zaman aralığında daha fazla yol alır, dolayısı ile düşüş sırasında aralarındaki düşey uzaklık artar.

Dalgıçlar arasındaki uzaklık, Bangi ipinin boyuna eriştikten sonra ip gerilmeye başlar. İp gerildikçe de dalgıçlar arasındaki mesafe artar.

ÖRNEK 2.10 Havaya Atılan Top

25 m/s lik bir hızla düşey olarak yukarı atılan bir topun hızını 1 s'lik aralıklarla bulunuz.

Çözüm Yukarı yönü pozitif seçelim. Top havada kaldığı sürece hareket yönü ister yukarı ister aşağı olsun, düşey hızı saniyede yaklaşık -10 m/s değişir. Top yukarı doğru 25 m/s lik hızla harekete başlıyor, 1 s sora hızı 15 m/s ve halâ yukarı doğru, ivmesi ise aşağıya doğrudur (aşağı doğru olan ivme hızını azaltır). Bundan 1 s sonra hızı 5 m/s'ye düşer. Şimdi dikkat etmemiz gereken noktadayız, yarım s sonra hızı sıfır olur. Top çıkabileceği kadar yükseğe çıkmıştır. Son 1 s'lik zaman aralığının ikinci yarısının sonunda topun hızı –5 m/s dir (eksi işareti, topun *aşağı* doğru hareket ettiğini gösterir. Topun hızı son 1s'lik aralıkta +5 m/s'den –5 m/s'ye değişmiştir. Dolayısı ile 1 s'de hızın değişim miktarı yine –5 – (+5) = –10 m/s'dir. Top hareketine aşağıya doğru devam eder ve sonraki 1 s de hızı –15m/s olur. Son 1 s'lik zaman aralığı sonunda top başladığı noktaya döner aşağıya doğru hareket etmektedir ve hızı –25 m/s dir. Eğer topu bir uçurum kenarından yukarı doğru atmış olsaydık, top aşağıya doğru hareketine her 1 s'de hızını –10 m/s azaltarak devam edecekti.

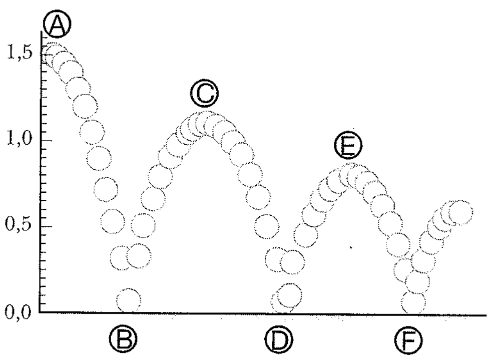
KAVRAMSAL ÖRNEK 2.11 Zıplayan Top

Omuz yüksekliğinden (yaklaşık 1,5 m) bırakılan bir pinpon topu yakalanmadan önce üç kere zıplamıştır. $+y$ yönünü yukarı doğru alarak, topun konumunu, hızını ve ivmesini zamana göre çiziniz.

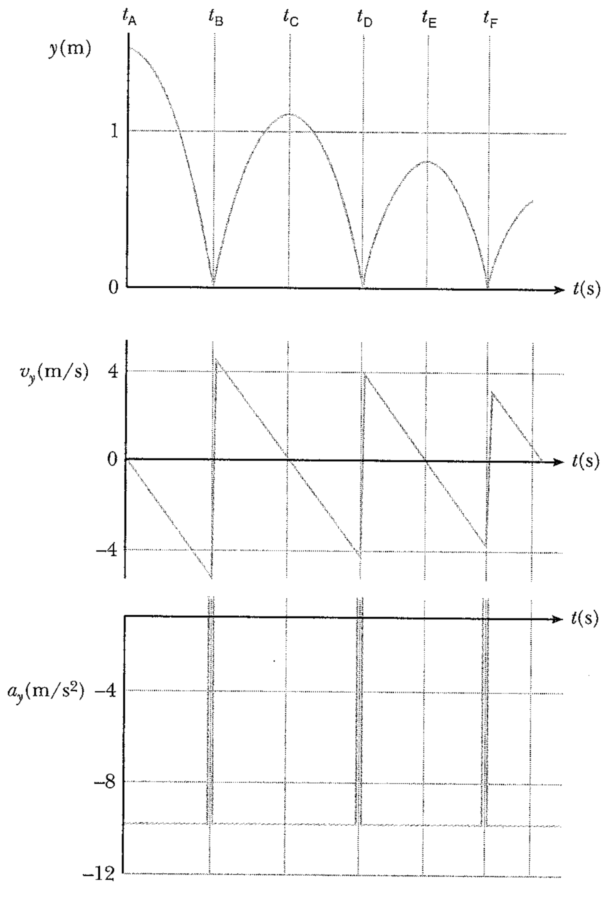
Çözüm Olayı daha iyi görebilmek için şematik çizimimizi yatayda genişletelim (topun hareketi sadece yatay doğrultuda da olsa bu durum hareketin düşey bileşenini hiç etkilemez).

Şekil 2.13'den topun yere Ⓑ, Ⓓ ve Ⓕ noktalarında temas ettiğini görüyoruz. Bu temaslar esnasında topun hızı üç kere negatiften pozitife geçtiğine göre, konum-zaman grafiğinin eğimi de aynı davranışı göstermelidir. Zıplamalar arasındaki sürenin gittikçe kısaldığını görüyoruz, neden?

Topun hareketinin zıplamalar dışında kalan kısmında hız-zaman grafiğinin eğimi –9,80 m/s^2 olmalıdır. İvme-zaman grafiği bu sürelerde bir yatay doğrudur, çünkü top serbest düşme yaparken ivme değişmez. Top yerle temasta iken, esasen çok çok küçük bir zaman içinde hızı değişir, dolayısı ile de bu ivme çok büyük olmalıdır. Bu durum, hız-zaman grafiğindeki düşey çizgilere, ivme-zaman grafiğinde de düşey çift çizgilere karşılık gelir.



(a)



(b)

Şekil 2.13 (a) 1,5 m yüksekten bırakılan bir top, yere çarparak zıplar (Buradaki yatay hareket, düşey hareketi etkilemediğinden incelenmemiştir). (b) Zamana göre konum, hız ve ivme grafikleri

Sınama Sorusu 2.5

Şekil 2.13'teki Ⓐ, Ⓒ ve Ⓔ noktalarında hız ve ivme değerleri aşağıdakilerden hangisidir?

(a) $v_y = 0$, $a_y = 0$
(b) $v_y = 0$, $a_y = 9{,}80\ \text{m/s}^2$
(c) $v_y = 0$, $a_y = -9{,}80\ \text{m/s}^2$
(d) $v_y = -9{,}80\ \text{m/s}^2$, $a_y = 0$

ÖRNEK 2.12 Bir acemi için, iyi bir atış!

Bir binanın tepesinden yukarı doğru düşey olarak 20 m/s ilk hızla bir taş atılmıştır. Taş düşerken yüksekliği 50 m olan binanın çatısını Şekil 2.14'te gösterildiği gibi sıyırarak geçer. Taşın atıldığı Ⓐ noktasında $t_A = 0$ seçerek, (a) taşın maksimum yüksekliğe ulaştığı zamanı, (b) Maksimum yüksekliği, (c) Taşın atıldığı noktaya geri dönüş zamanını, (d) taşın bu andaki hızını ve (e) $t = 5$ s'deki taşın hızını ve konumunu bulunuz.

Çözüm (a) Taş, Ⓐ dan Ⓑ ye giderken hızı 20 m/s lik bir değişime uğramalıdır. Çünkü, Ⓑ'de durur. Serbest düşmede, yerçekiminden kaynaklanan hız değişimi her saniye yaklaşık 10 m/s olduğuna göre, taşın Ⓑ noktasına ulaşma süresi 2 s'dir (Böyle problemler için şekil çizmek çok yararlıdır.). Taşın maksimum yüksekliğe ulaşma zamanı t_B'yi hesaplamak için 2.8 Eşitliğini, yani $v_{yB} = v_{yA} + a_y t$'yi kullanırız. Burada $v_{yB} = 0$ dır. Ayrıca başlangıç zamanı ve saat $t_A = 0$ çalışmaya başlıyor:

$$20\ \text{m/s} + (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ t = 0$$

$$t = t_B = \frac{20\ \text{m/s}}{9{,}80\ \text{m/s}^2} = 2{,}04\ \text{s}$$

Bu, tahminimize oldukça yakın bir sonuçtur.

(b) Hareket sırasınca ortalama hız 10 m/s (0 m/s ile 20 m/s değerlerinin ortalaması) ve toplam hareket süresi yaklaşık 2 s olduğundan, taşın 20 m gitmesini bekleriz. Eşitlik 2.11'e bulduğumuz süreyi koyarsak, taşın atıldığı noktadan ($y_i = y_A = 0$) itibaren ölçülen maksimum yüksekliği hesaplarız:

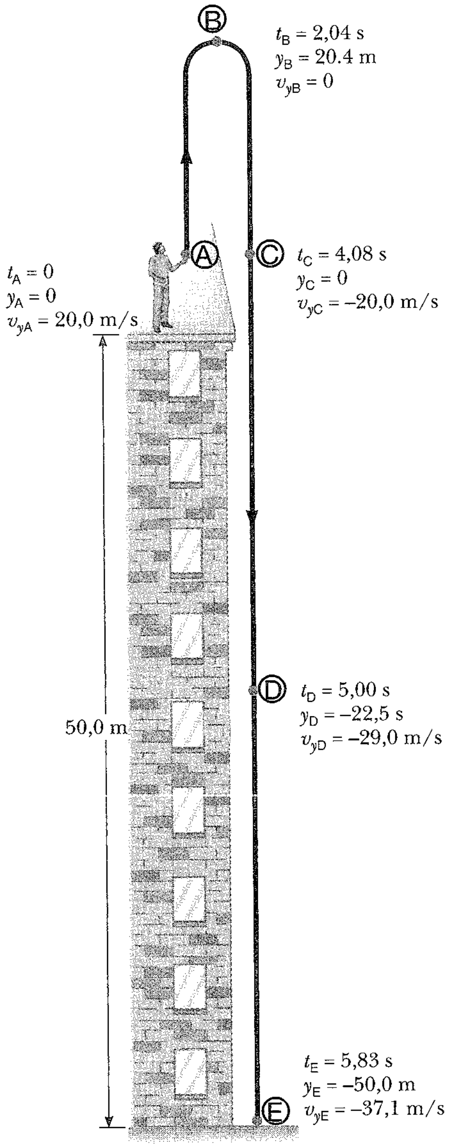
$$y_{\text{maks}} = y_B = v_{yA} t + \tfrac{1}{2}\, a_y t^2$$

$$y_B = (20\ \text{m/s})\ (2{,}04\ \text{s}) + \tfrac{1}{2}\ (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (2{,}04\ \text{s})^2$$

$$= 20{,}4\ \text{m}.$$

Tahminlerimiz yine oldukça doğru görünüyor.

(c) Taşın Ⓑ den Ⓒ ye kadar olan hareketi, Ⓐ dan Ⓑ ye kadar olan hareketinin tam tersidir. O halde Ⓐ dan Ⓒ ye kadar geçen süre Ⓐ dan Ⓑ ye kadar geçen zamanın iki katıdır. Taş tekrar atıldığı noktaya geldiğinde (Ⓒ



Şekil 2.14 Yukarı doğru $v_{yi} = 20$ m/s hızla atılan bir taşın serbest düşme hareketinin çeşitli zamanlarda konum ve hız değerleri.

noktası) y koordinatı yine sıfırdır. $y_s = y_C = 0$ ve $y_i = y_A = 0$ olarak 2.11 Eşitliğini kullanırsak

$$y_C - y_A = v_{yA}t + \tfrac{1}{2}\ a_y t^2$$

$$0 = 20t - 4{,}9t^2$$

elde ederiz.

Bu ikinci dereceden bir denklemdir ve $t = t_c$ için iki çözümü vardır. Eşitliği çarpanlarına ayırırsak,

$$t(20 - 4{,}9t) = 0$$

olur. Çözümlerden biri $t = 0$ olup, bu, taşın harekete başladığı andır. Diğeri $t = 4{,}08$ s'dir ve aradığımız çözümdür. Bu sonucun t_B değerinin iki katı olduğuna dikkat edin.

(d) A ve C noktasında, hızların zıt yönlü olması dışında her şey aynıdır. (c) şıkkında bulunan t değerini Eş. 2.8'de yerine koyarak

$$v_{yC} = v_{yA} + a_y t = 20\ \text{m/s} + (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (4{,}08\ \text{s})$$

$$= -20\ \text{m/s}$$

bulunur. Taş, atıldığı noktaya geri geldiğinde hızı büyüklükçe aynı, yönce zıt olduğundan hareket simetriktir.

(e) Bu şık için, taşın B noktasından ilk hızsız olarak D noktasına serbest düşmesini inceleyelim. Bu hareket için geçen süre yaklaşık 3 s olduğundan, yerçekimi ivmesi, hızı 30 m/s değerine kadar değiştirebilecektir. Eş. 2.8'i kullanarak bunu hesaplayabiliriz. $t = t_D - t_B$ alınarak,

$$v_{yD} = v_{yB} + a_y t = 0\ \text{m/s} + (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (5\ \text{s} - 2{,}04\ \text{s})$$

$$= -29\ \text{m/s}$$

bulunur.

Zaman aralığını doğru seçerek, hareketi A dan D ye kadar da inceleyebilirdik, bu durumda $t = t_D - t_A = 5$ s alınacaktı ve sonuçta

$$v_{yD} = v_{yA} + a_y t = 20\ \text{m/s} + (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (5\ \text{s})$$

$$= -29\ \text{m/s}$$

bulunacaktı.

Kinematik denklemlerinin ne kadar kullanışlı olduğunu göstermek için, Eşitlik 2.11 kullanarak, $t_D = 5$ s'de taşın konumunu, C ve D noktaları arasındaki yerdeğişimi hesaplanarak bulabiliriz. Bu durumda zamanı $t = t_D - t_C$ alarak,

$$y_D = y_C + v_{yC}t + \tfrac{1}{2}\ at^2$$

$$= 0\ \text{m} + (-20\ \text{m/s})\ (5\ \text{s} - 4{,}08\ \text{s})$$

$$+ \tfrac{1}{2}\ (-9{,}80\ \text{m/s}^2)\ (5\ \text{s} - 4{,}08\ \text{s})^2$$

$$= -22{,}5\ \text{m.}$$

bulunur.

Alıştırma (a) Taşın yere çarptığı andaki (E noktası) hızını, (b) Taşın havada geçirdiği toplam süreyi bulunuz.

Cevap (a) –37,1 m/s (b) 5,83 s

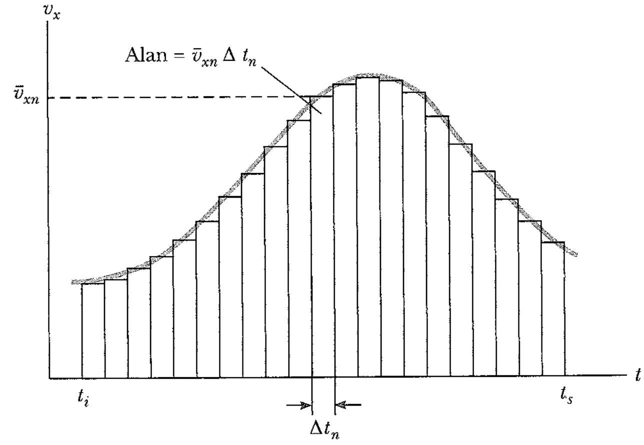
Seçmeli Kesim

2.7 KİNEMATİK DENKLEMLERİN MATEMATİK YÖNTEMLE TÜRETİLMESİ

Bu kesim, okuyucunun integral hesap tekniklerini bildiği varsayımına dayanan seçmeli bir kesimdir. Henüz integral almayı bilmiyorsanız, bu kesim atlanabilir veya öğrendikten sonra çalışabilirsiniz.

Doğru boyunca hareket eden bir parçacığın hızı, konumu zamanın fonksiyonu olarak bilinirse elde edilebilir. Matematik olarak hız, konumun zamana göre türevine eşittir. Bir parçacığın hızı, zamanın fonksiyonu olarak bilinirse yerdeğiştirmesini de bulmak mümkündür. İntegral hesapda, bu işlem *integral alma* veya anti–türev olarak nitelendirilir. Grafik olarak bu, bir eğri altında kalan alanı bulmaya eşdeğerdir.

x ekseni boyunca hareket eden bir parçacığın v_x -t, grafiği Şekil 2.15'de gösterildiği gibi olsun. $t_s - t_i$ zaman aralığını birçok küçük Δt_n zaman aralıklarına bölelim. Ortalama hız tanımından, örneğin Şekil 2.15'deki taralı aralık gibi, herhangi küçük bir aralıktaki yer değiştirmenin $\Delta x_n = \bar{v}_{xn}\ \Delta t_n$ ile verildiğini anlarız. Buradaki $\bar{v}_{xn}$, aynı aralıktaki ortalama hızdır. O, bu küçük aralık-



Şekil 2.15 x ekseni boyunca hareket eden bir parçacık için hızın zamana göre türevi. Taralı dikdörtgenin alanı Δt_n zaman aralığında Δx yer değiştirmesine eşittir, oysa eğri altındaki toplam alan parçacığın toplam yerdeğiştirmesidir.

taki yer değiştirme, basitçe taralı bölgenin alanıdır. $t_s - t_i$ aralığı için toplam yerdeğiştirme bütün dikdörtgenlerin alanları toplamıdır:

$$\Delta x = \sum_n \bar{v}_{xn}\,\Delta t_n$$

Buradaki Σ sembolü, bütün terimler üzerinden alınan toplamı ifade eder. Bu durumda toplam; t_i'den t_s'ye kadar bütün diktörtgenler üzerinden alınır. Şimdi her aralık gittikçe küçültülürse, toplam içindeki terimlerin sayısı artar ve toplam, hız–zaman grafiği altındaki alana eşit bir değere yaklaşır. Böylece, $n \to \infty$ veya $\Delta t_n \to 0$ durumunda yerdeğiştirme,

$$\Delta x = \lim_{\Delta t_n \to 0} \sum_n v_{xn}\,\Delta t_n \tag{2.13}$$

ile verilir veya,

Yerdeğiştirme = $v_x - t$ grafiğinin altındaki alan olur.

$\bar{v}_{xn}$ ortalama hız yerine, toplamda v_{xn} ani hızı aldığımıza dikkat ediniz. Şekil 2.15'den görebildiğiniz gibi, bu yaklaşım ancak çok küçük aralıkların limitinde geçerlidir. Doğru boyunca olan bir hareket için hız–zaman grafiği bilinirse, herhangi bir zaman aralığı sırasındaki yerdeğiştirme, eğrinin altında kalan alan ölçülerek elde edilebileceği sonucuna varırız.

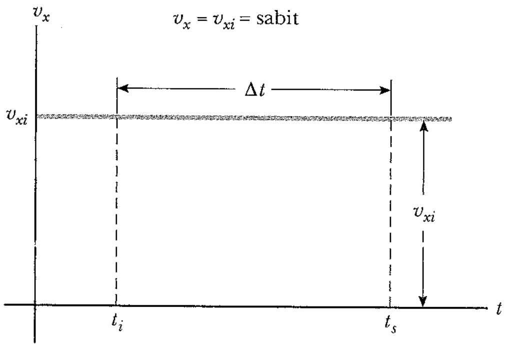
2.13 Eşitliğindeki toplamın limitine **belirli integral** denir ve

Belirli integral

$$\lim_{\Delta t_n \to 0} \sum_n v_{xn}\,\Delta t_n = \int_{t_i}^{t_s} v_x(t)\,dt \tag{2.14}$$

olarak yazılır. Burada $v_x(t)$, herhangi bir t zamanındaki hızı göstermektedir. $v_x(t)$ fonksiyon olarak açıkca bilinirse belirli integral hesaplanabilir.

Hareketli bir parçacık için $v_x - t$ grafiği, bazen, Şekil 2.15'de gösterilenden daha basit bir şekle sahiptir. Örneğin bir parçacık Şekil 2.16'daki gibi sabit bir



Şekil 2.16 Sabit v_{xi} hızıyla hareket eden parçacık için hız-zaman grafiği. Parçacığın $t_s - t_i$ zaman aralığındaki yerdeğiştirmesi, taralı dikdörtgenin alanına eşittir.

v_{xi} hızıyla hareket ederse, Δt zaman aralığındaki yerdeğiştirmesi açıkça taralı dikdörtgenin alanıdır, yani,

$$\Delta x = v_{xi}\ \Delta t \quad (v_{xs} = v_{xi} = \text{sabit ise})$$

dır.

İkinci bir örnek olarak, Şekil 2.17'deki gibi t ile orantılı bir hızla hareket eden bir parçacık alalım. a_x (ivme) orantı sabiti olmak üzere, $v_x = a_x t$ alarak, $t = 0$ ile $t = t_A$ zaman aralığı sırasında parçacığın yerdeğiştirmesi, Şekil 2.17'deki taralı üçgenin alanı olduğu görülür:

$$\Delta x = (\tfrac{1}{2} t_A)\ (a_x t_A) = \tfrac{1}{2}\ a_x t_A^{\ 2}$$

Kinematik Denklemler

Şimdi 2.8 ve 2.11 Eşitlikleri ve ile ifade edilen kinematik denklemlerini elde etmek üzere hız ve ivmenin tanımlarını kullanacağız.

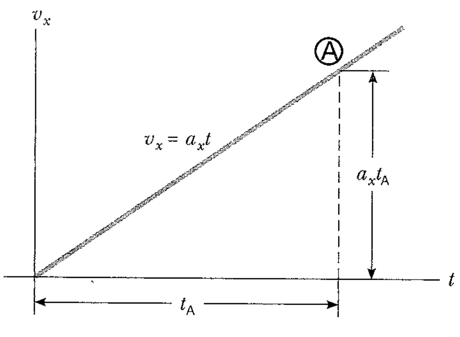
İvmenin tanımı olan,

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}$$

ifadesinden $dv_x = a_x dt$ yazılarak, integral (veya ters türev) yardımıyla

$$v_x = \int a_x\ dt + C_1$$

elde edilir.



Şekil 2.17 Zamanla orantılı bir hız ile hareket eden parçacığın hız-zaman grafiği.

Burada C_1 integral sabitidir. a_x ivmesinin sabit olduğu özel durumda bu ifade,

$$v_x = a_x \int dt + C_1 = a_x t + C_1 \qquad (2.15)$$

olur. C_1 'in değeri hareketin başlangıç şartlarına bağlıdır. Eğer $t= 0$ olduğu zaman $v_x = v_{xi}$ alırsak ve bunları son eşitlikte yerine koyarsak,

$$v_{xi} = a_x\,(0) + C_1$$

$$\text{veya } C_1 = v_{xi}$$

olur. $v_x = v_{xs}$ dersek, yani bu t süresi sonunda ulaşılan hız olursa, bunu ve C_1 in değerini 2.15'te yerine koyarsak 2.8 Eşitliği ile verilen kinematik denklemimiz

$$v_{xs} = v_{xi} + a_x t \qquad (\text{sabit } a_x \text{ için})$$

olur. Şimdi Eş. 2.4 ile verilen hızın tanımını ele alalım:

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

Bunu $dx = v_x dt$ alarak integral biçiminde

$$x = \int v_x \, dt + C_2$$

şeklinde yazabiliriz. Burada C_2 başka bir integral sabitidir. $v_x = v_{xs} = v_{xi} + a_x t$ olduğundan bu ifade,

$$x = \int (v_{xi} + a_x t)\; dt + C_2$$

$$x = \int v_{xi}\; dt + a_x \int t\; dt + C_2$$

$$x = v_{xi}\, t + \tfrac{1}{2}\, a_x t^2 + C_2$$

olur. C_2 'yi bulmak için, $t = 0$ olduğu zaman $x = x_i$ olan başlangıç şartından yararlanırız. Bu $C_2 = x_i$ verir. O halde, x yerine x_s konulursa,

$$x_s = x_i + v_{xi} t + \tfrac{1}{2}\, a_x t^2 \qquad (\text{sabit } a_x \text{ için})$$

elde ederiz. Bu, Eş. 2.11 ile verilen kinematiğin ikinci denklemidir. $x_s - x_i$ cismin yerdeğiştirmesine eşit olup, x_i cismin ilk konumudur.

Bu derste, önemli fizik kavramlarını öğrenmenizin yanı sıra, karmaşık problemleri de çözebilmek için gerekli olan teknikleri öğrenmeyi amaçlamalısınız. Fizikçilerin, karmaşık problemleri çözebilmek için küçük parçalara ayırma yöntemi oldukça faydalıdır. Bunun için problem çözerken kullanacağınız adımları gösteren bir ayrıntılı çözüm reçetesi hazırladık. Problemler üzerinde çalışırken, GOAL'ü unutmayın!*

PROBLEM ÇÖZÜM ADIMLARI (GOAL)

Bilgi toplama (G)

Probleme yaklaşırken atılacak ilk adım soruyu anlamaktır. Problemi dikkatlice okuyun, *durgun, serbest düşme* gibi anahtar kavramlara dikkat edin. Hangi bilgiler verilmiş? Tam olarak ne soruluyor? Günlük deneyimlerinizden ve sağduyunuzdan gelen bilgileri değerlendirmeyi unutmayın. Makûl cevap ne olabilir? Bir arabanın hızını 5×10^6 m/s bulacağınızı beklemeyin. Sonucunuzun birimlerini biliyor musunuz? Dikkate almanız gereken sınır durumları var mı? Bir açı 0° ya da 90° yaklaşırken veya bir kütle çok büyük ya da sıfır olduğunda ne oluyor? Ayrıca problemde verilen şekilleri dikkatlice incelemeyi unutmayın.

Yaklaşımınızı organize edin (O)

Problemi iyice anladıktan sonra ne yapmanız gerektiğini düşünün. Bu tip bir soru ile daha önce karşılaşmış mıydınız? Problemi sınıflandırmak, uygulayacağınız yöntemi belirlemede yardımcı olur. Durumu gösteren basit bir çizimi hemen hemen her problem için mutlaka yapın. Önemli noktaları daire içine alınmış harflerle belirleyin. Bilinen değerleri çiziminiz üzerinde veya bir tabloda gösterin.

Problemin analizi (A)

Problemi sınıflandırdıktan sonra, kullanmanız gereken eşitlikleri belirlemeniz hiç de zor değildir. Verilenleri kullanarak, istenenleri elde etmek için gerekli matematiksel işlemleri yapın. Uygun rakamları yerlerine koyun, gerektiği kadar anlamlı rakam kullanarak sonuçları elde edin.

Çabalarınızdan öğrendikleriniz (L)

Burası en önemli kısımdır. Sayısal sonuçlarınızı kontrol edin. Birinci adımdan beklediklerinizle uyuşuyor mu? Henüz sayısal değerleri koymadan ifadenizin biçimi mantıklı görünüyor mu? (değişkenlere bakarak, değerlerini çok büyültüp, küçülttüğünüzde veya sıfır değerini verdiğinizde elde ettiğiniz sonuçlar fiziksel olarak anlamlı kalıyor mu?) Diğer çözdüğünüz problemler ile karşılaştırın. Benzer yönleri nelerdir? Hangi yönlerden çok farklıdır? Bu problem neden ödev olarak verildi? Problemin çözümünden bir şeyler öğrenmeniz amaçlanmıştır, bunların neler olduğunu bulabiliyor musunuz?

Zor problemleri çözerken, onları küçük problemlere ayırarak bu adımları (GOAL) her birine uygulayınız. Çok basit problemler için bu adımlara ihtiyacınız olmayabilir. Fakat zor bir problemle karşılaştığınızda ne yapacağınızı bilmiyorsanız, GOAL'ı mutlaka hatırlayıp uygulayınız.

*İngilizce metinde, bu adımların baş harflerinden oluşan sözcüğe GOAL denilmiştir.

ÖZET

Bir parçacık, x ekseni boyunca bir x_i ilk konumundan bir x_s son konumuna vardığında **yerdeğiştirmesi**

$$\Delta x \equiv x_s - x_i \quad (2.1)$$

olur.

Herhangi bir zaman aralığında bir parçacığın **ortalama hızı,** Δx yerdeğiştirmesinin, Δt zaman aralığına oranına eşittir:

$$\bar{v}_x \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Bir parçacığın **ortalama sürati**, alınan toplam yolun, bu yolu almak için geçen toplam zamana oranıdır.

Bir parçacığın **ani hızı,** Δt sıfıra yaklaşırken $\Delta x/\Delta t$ oranının limiti olarak tanımlanır. Tanıma göre, bu , x'in t'ye göre türevine veya konumun zamanla değişme hızına eşittir:

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (2.4)$$

Bir parçacığın **ani sürati,** hızının büyüklüğüne eşittir.

Herhangi bir zaman aralığında bir parçacığın **ortalama ivmesi** onun, Δv_x hız değişiminin, Δt zaman aralığına oranı olarak tanımlanır:

$$\bar{a}_x \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t_s - t_i} \quad (2.5)$$

Ani ivme $\Delta t \to 0$ iken, $\Delta v_x/\Delta t$ oranının limitine eşittir. Tanıma göre bu, v_x in t'ye göre türevine veya hızın zamanla değişim hızına eşittir:

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt} \quad (2.6)$$

x ekseni boyunca düzgün a_x ivmesiyle (büyüklük ve doğrultuca sabit) hareket eden bir parçacık için **kinematik denklemler:**

$$v_{xs} = v_{xi} + a_x t \quad (2.8)$$

$$x_s - x_i = \bar{v}_x t = \tfrac{1}{2}(v_{xi} + v_{xs})\, t \quad (2.10)$$

$$x_s - x_i = v_{xi}\, t + \tfrac{1}{2} a_x t^2 \quad (2.11)$$

$$v_{xs}^{\,2} = v_{xi}^{\,2} + 2a_x (x_s - x_i) \quad (2.12)$$

Sabit ivme ile hareket eden bir cismin hareketini incelemek için, bu denklemlerle bu bölümde verilen tanımları kullanmalısınız.

Yer çekiminin bulunduğu ortamda serbest düşen bir cisim, yerin merkezine doğru yönelmiş serbest-düşme ivmesi etkisinde kalır. Havanın sürtünmesi ihmal edilir ve hareketin yüksekliği yerin yarıçapına oranla küçükse, g serbest-düşme ivmesinin hareketin menzili içinde sabit olduğu kabul edilebilir. Burada g, 9,80 m/s^2 ye eşittir. Karmaşık problemlere, en iyisi organize bir şekilde yaklaşmaktır. İhtiyacınız olduğunda, GOAL'ın adımlarını hatırlayarak uygulayabilmelisiniz.

SORULAR

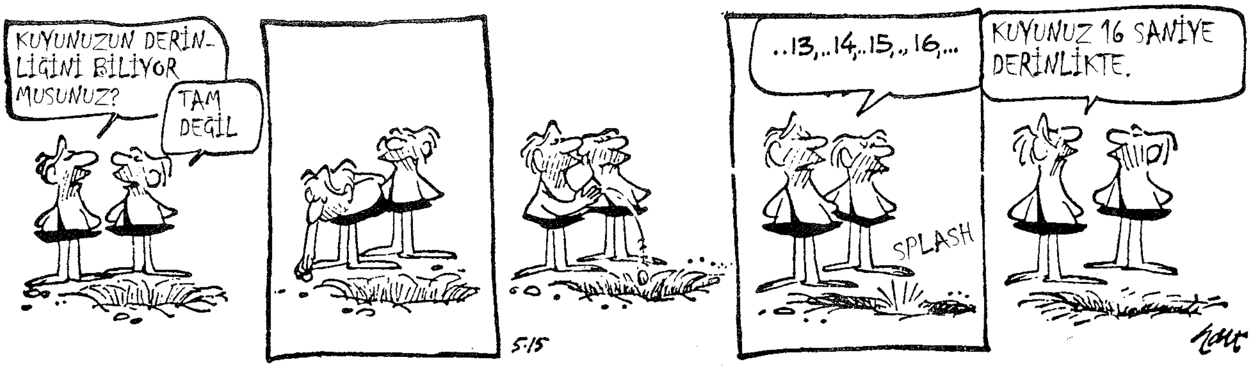
1. Ortalama hız ve ani hız, genelde farklı niceliklerdir. Bunlar özel bir hareket için eşit olabilirler mi? Açıklayınız.
2. Ortalama hız, herhangi bir zaman aralığı için sıfır değilse; bu, ani hızın, gözönüne alınan zaman aralığında asla sıfır olmaması mı demektir? Açıklayınız.
3. Ortalama hız, herhangi bir Δt zaman aralığı için sıfıra eşit, ve $v\ (t)$ sürekli bir fonksiyon ise, ani hızın bu zaman aralığı içinde herhangi bir an sıfıra gitmesi gerektiğini gösteriniz. (İspatınızda x'in t'ye göre bir çizimi yararlı olabilir.)
4. Hız ve ivmenin zıt işaretlere sahip olduğu bir durum mümkün müdür? Öyle ise, düşüncenizi kanıtlamak için bir hız–zaman grafiği çiziniz.
5. Bir parçacığın hızı sıfır değilse, ivmesinin sıfır olduğu bir durum mümkün müdür? Açıklayınız.
6. Bir parçacığın hızı sıfırsa, ivmesi sıfırdan farklı olur mu? Açıklayınız.
7. Sabit ivmeli bir cisim durabilir mi? Durgun kalabilir mi?
8. Bir taş bir binanın çatısından yukarı doğru fırlatılmaktadır. Taşın yerdeğiştirmesi, koordinat sisteminin orijininin yerine bağlı mıdır? Taşın hızı orijine bağlı mıdır? (Koordinat sisteminin binaya göre kararlı olduğunu kabul ediniz.) Açıklayınız.
9. Yüksekliği h olan bir binanın tepesindeki öğrenci, yukarı doğru bir v_0 ilk hızıyla bir top atmakta ve sonra aynı ilk hızla aşağı doğru ikinci bir top fırlatmaktadır. Toplar yere vardıkları zaman son hızları ne olur?
10. Bir cismin ani hızı, ortalama hızdan büyüklükçe daha büyük olabilir mi? Küçük olabilir mi?
11. Bir cismin ortalama hızı herhangi bir zaman aralığında sıfırsa, bu aralık için cismin yerdeğiştirmesi hakkında ne söyliyebilirsiniz?
12. Çok çabuk büyüyen bir bitkinin boyu her hafta iki kat uzamaktadır. 25'inci günün sonunda, bitki bir binanın yüksekliğine ulaşır. Bitki ne zaman binanın yüksekliğinin dörtte birindedir?
13. İki otomobil bir kara yolunda aynı yönde paralel şeritlerde gitmektedir. Herhangi bir anda, A otomobilinin hızı, B otomobilinin hızını aşar. Bu, A'nın ivmesinin B'nin ivmesinden daha büyük olduğu anlamına gelir mi? Açıklayınız.
14. Bir elma, yerden belirli bir yükseklikten bırakılıyor. Hava direncini ihmal ederek, hareketin her saniyesinde hızındaki artış ne olur?
15. x ekseni boyunca hareket eden bir parçacığın hızının ve ivmesinin değişimi aşağıda verilmiştir.

Hız	İvme
a. Pozitif	Pozitif
b. Pozitif	Negatif
c. Pozitif	Sıfır
d. Negatif	Pozitif
e. Negatif	Negatif
f. Negatif	Sıfır
g. Sıfır	Pozitif
h. Sıfır	Negatif

Bunlara bakarak her durum için parçacığın hareketini açıklayınız. Doğuyu pozitif yön seçerek, doğu-batı doğrultusunda hareket eden bir araba için hareket nasıl olur?

16. Bir çakıl taşı Şekil Q2.16 gösterildiği gibi, bir su kuyusuna düşmekte ve çarpış sesi 2 s sonra işitilmektedir. Kuyunun yaklaşık derinliği nedir?
17. Ortalama hız kavramı kolaylık olması açısından üretilmiş bir kavramdır. Farklı problemler için başka kavramları kullanmak daha uygun olabilir. Örneğin, jeofizikçiler kıta tabakalarının hareketlerini tartışırken, "yavaşlık" adı verilen oranı kullanırlar. Bu niceliğin anlamını açıklayınız.

B.C. John Hart



John Hart ve Field Enterprises Inc.'in izniyle.

Şekil Q2.16

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

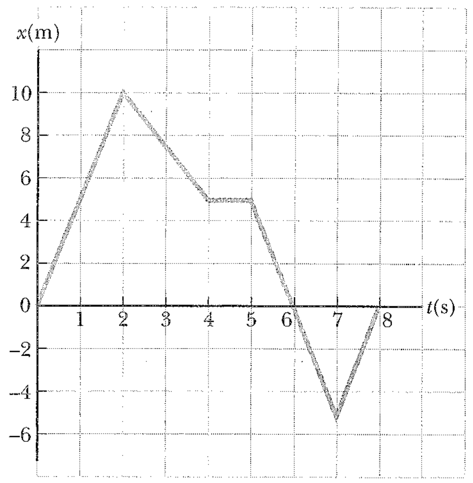
Kesim 2.1 Yerdeğiştirme, Hız ve Sürat

1. Bir arabanın konumu değişik zamanlarda gözlenmiş ve sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir. Arabanın ortalama hızını (a) ilk saniye, (b) son üç saniye, (c) tüm gözlem zamanı için bulunuz.

x (m)	0	2,3	9,2	20,7	36,8	57,5
t (s)	0	1	2	3	4	5

2. Bir motosikletli 85 km/saat ile 35 dakika kuzeye gider ve sonra 15 dakika durur. Sonra 2 saat, 130 km yol alarak kuzeye devam eder. (a) Motosikletlinin toplam yerdeğiştirmesi nedir? (b) Ortalama hızı nedir?

3. x ekseni boyunca hareket eden belli bir parçacık için yerdeğiştirmenin zamana göre değişimi Şekil P2.3'de görülmektedir. (a) 0 ile 2 s, (b) 0 ile 4 s, (c)2 s ile, 4 s (d) 4 s ile 7 s, (e) 0 ile 8 s zaman aralıklarında ortalama hızı bulunuz.



Şekil P2.3 Problem 3 ve 11

4. Bir parçacık $x = 10\ t^2$ denklemine göre hareket etmekte olup, x metre ve t saniye cinsindendir. (a)2s'den 3 s'ye kadar olan zaman aralığı için ortalama hızı bulunuz. (b) 2 s'den 2,1 s'ye kadar olan zaman aralığı için ortalama hızı bulunuz.

5. Düzgün bir doğru boyunca yürüyen bir kişi A noktasından B noktasına 5 m/s lik sabit hız ile yürür ve B den A ya 3 m/s lik sabit hız ile geri döner. Bu kişinin (a) tüm hareketi boyunca ortalama süratini, (b) tüm hareketi boyunca ortalama hızını bulunuz.

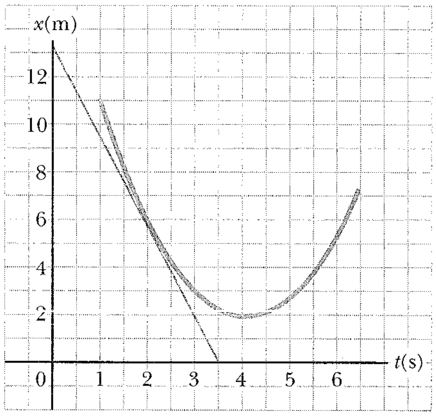
6. Düzgün bir doğru boyunca yürüyen bir kişi, A noktasından B noktasına v_1 m/s'lik sabit hız ile yürür ve B'den A'ya v_2 m/s'lik sabit hız ile geri döner. Bu kişinin; (a) tüm hareketi boyunca ortalama süratini, (b) tüm hareketi boyunca ortalama hızı bulunuz.

Kesim 2.2 Anî Hız ve Sürat

7. Sabit hızla hareket eden bir parçacık $t = 1$ s'de, $x = -3$ m de ve $t = 6$ s'de $x = 5$ m'de bulunmaktadır. (a) Bu bilgiden, konumun grafiğini zamanın fonksiyonu olarak çiziniz. (b) Bu grafiğin eğiminden parçacığın hızını hesaplayınız.

8. Bir parçacık, x ekseni boyunca $x = 3t^2$ denklemine göre hareket ediyor, x, m ve t, s cinsindendir. (a) $t = 3$ s'deki (b) $t = 3$ s + Δt'deki konumlarını hesaplayarak, (c) Δt sıfıra yaklaşırken $\Delta x/\Delta t$ oranını hesaplayarak $t = 3$ s anındaki hızı bulunuz.

WEB 9. x ekseni boyunca hareket eden bir parçacık için konum – zaman grafiği Şekil P2.9'da gösterildiği gibidir. (a) $t = 1{,}5$ s'den $t = 4$ s'ye kadar geçen zaman aralığındaki ortalama hızı bulunuz. (b) Grafikte görülen teğet çizginin eğimini ölçerek $t = 2$ s deki ani hızı hesaplayınız. (c) t'nin hangi değerinde hız sıfırdır?



Şekil P2.9

10. (a) Problem 1'deki verileri kullanarak düzgün bir konum-zaman grafiği çiziniz. (b) Arabanın ani hızını, konum-zaman grafiğine teğetler çizerek değişik zamanlar için bulunuz. (c) Ani hız-zaman grafiğini çizerek, grafikten arabanın ortalama ivmesini bulunuz. (d) Arabanın ilk hızı ne idi?

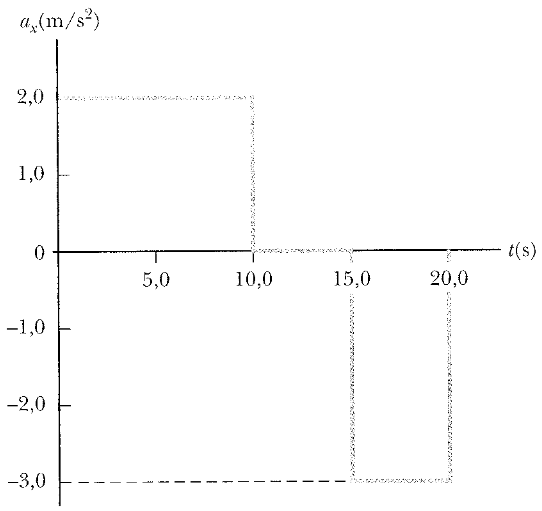
11. Şekil P2.3'de tanımlanan parçacığın ani hızını şu zamanlarda bulunuz: (a) $t = 1$ s, (b) $t = 3$ s, (c) $t = 4{,}5$ s ve $t = 7{,}5$ s.

Kesim 2.3 İvme

12. Bir parçacık $t = 0$'da $v_0 = 60$ m/s hız ile hareket etmektedir. $t = 0$ ve $t = 15$ s arasında hız düzgün olarak sıfıra gitmektedir. Bu 15 s'lik aralık sırasında ortalama ivme nedir? Cevabınızdaki negatif işaretin anlamı nedir?

13. 50 g'lık esnek bir top, 25 m/s hızla bir duvara çarpıyor ve 22 m/s'lik bir hızla geri dönüyor. Bu olayı hızlı bir kamera kaydediyor. Top duvar ile 3,50 ms temasta oluyorsa bu zaman aralığında topun ortalama ivmesinin büyüklüğü nedir? (1 ms = 10^{-3} s)

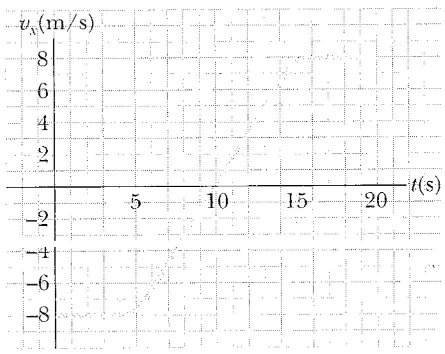
14. Durgun halden hızlanan bir parçacığın ivme-zaman grafiği Şekil P2.14 ile verilmiştir. Buna göre, (a) Parçacığın $t = 10$ s ve $t = 20$ s'deki süratini hesaplayınız. (b) ilk 20 s'de parçacığın aldığı yolu bulunuz.



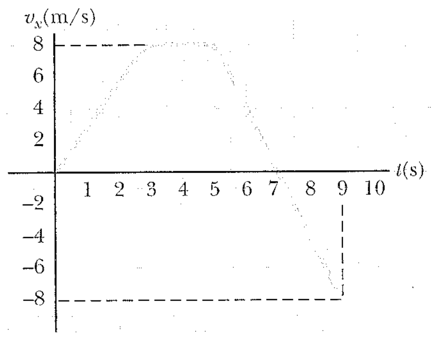
Şekil P2.14

15. x ekseni boyunca hareket eden bir cisim için hız zaman grafiği Şekil 2.15'de görüldüğü gibidir. (a) İvmenin zamana göre grafiğini çiziniz. (b) $t = 5$ s'den $t = 15$ s'ye kadar ve $t = 0$'dan $t = 20$ s'ye kadar olan zaman aralıklarında cismin ortalama ivmesini hesaplayınız.

16. Bir öğrencinin doğrusal bir yol boyunca sürdüğü mopedinin hız-zaman grafiği Şekil P2.16 ile veriliyor. Bu grafiği bir kağıt üzerine yeniden çiziniz. (a) çizdiğiniz grafiğin üzerinde zaman eksenini ortak kullanarak, konum-zaman grafiğini çiziniz. (b) Çizdiğiniz grafiğin hemen altına, zaman eksenleri alt alta olacak şekilde v_x–t grafiğiniz çiziniz, grafikler üzerinde dönüm noktalarındaki x ve a_x değerlerini yazınız. (c) $t = 6$s deki ivmeyi bulunuz, (d) $t = 6$ s deki konum değerini başlangıç noktasına göre bulunuz, (e) $t = 9$ s de mopedin son konumu nedir?



Şekil P2.15

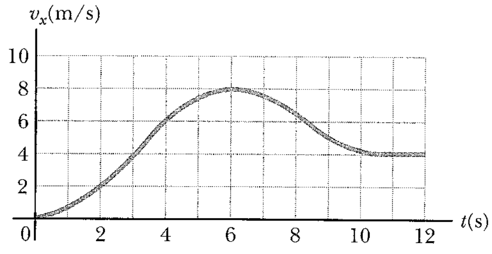


Şekil P2.16

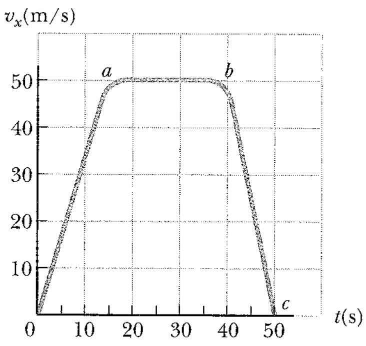
WEB 17. Bir parçacık $x = 2 + 3t - t^2$ denklemine göre x ekseni boyunca hareket etmekte olup, x, m ve t, s cinsindendir. $t = 3$ s de (a) parçacığın konumunu, (b) hızını ve (c) ivmesini bulunuz.

18. Bir cisim $x = 3t^2 - 2t + 3$ denklemine göre x ekseni boyunca hareket etmektedir. (a) $t = 2$ s ve $t = 3$ s arasında cismin ortalama hızını hesaplayınız. b) $t = 2$ s ve $t = 3$ s anlarında cismin ani hızını hesaplayınız. (c) $t = 2$ s ve $t = 3$ s arasında cismin ortalama ivmesini hesaplayınız. (d) $t = 2$ s ve $t = 3$ s anlarında cismin ani ivmesini hesaplayınız.

19. Şekil P2.19, bir motosikletlinin durgun halden, doğrusal bir yol boyunca olan hareketi için, v_x'nin t'ye göre grafiğini göstermektedir. (a) $t = 0$ ile $t = 6$ s 'ye kadar zaman aralığı için ortalama ivmeyi bulunuz. (b) İvmenin en büyük pozitif değerindeki zamanı ve bu andaki değerini tahmin ediniz. (c) İvme ne zaman sıfırdır? (d) İvmenin maksimum negatif değerini ve bu değere karşılık gelen zamanı tahmin ediniz.



Şekil P2.19



Şekil P2.26

Kesim 2.4 Hareket Diyagramları

20. Aşağıdaki durumlar için hareket diyagramlarını çiziniz. (a) Sabit hızla sağa doğru hareket eden bir cisim, (b) Düzgün olarak hızlanan ve sağa doğru hareket eden bir cisim, (c) Düzgün yavaşlayarak sağa doğru hareket eden bir cisim, (d) Düzgün olarak hızlanan ve sola doğru hareket eden bir cisim, (e) Düzgün yavaşlayan ve sola doğru hareket eden bir cisim, (f) Eğer hızdaki değişimler düzgün olmasaydı, çizimleriniz nasıl değişirdi?

Kesim 2.5. Sabir İvmeli Bir-Boyutlu Hareket

21. 1865 de Jules Verne, 220 m uzunluğundaki bir top içerisine yerleştirilen bir kapsülü 10,97 km/s hıza ulaşacak şekilde fırlatarak insanları aya göndermeyi önerdi. Fırlatma esnasında uzay yolculuğu yapacak kişinin gerçek olamayacak kadar büyük olan ivmesi nedir? Bu değeri 9,8 m/s^2 ile karşılaştırınız.

22. Bir otomobil üreticisi, ürettikleri süper lüks yarış otosunun 8 s 'de durgun halden 42 m/s 'lik hıza ulaştığını iddia etmektedir. İvmenin sabit kaldığını (gerçekçi olmasa da) varsayarak, (a) Otomobilin ivmesini bulunuz, (b) İlk 8 s 'de otomobilin aldığı yolu bulunuz, (c) Araba aynı ivme ile harekete devam ederse, 10 s sonra sürati ne olur?

23. Bir kamyon 8,50 s 'de 40 m yol alarak düzgün yavaşlıyor ve süratini 2,80 m/s 'ye düşürüyor. (a) Kamyonun ilk hızını, (b) İvmesini bulunuz.

24. 35 mil/saat hızla giden bir arabanın minimum durma mesafesi 40 ft 'dir. Buna göre arabanın hızı 70 mil/saat olsaydı, durabileceği minimum mesafe ne olurdu?

WEB **25.** Düzgün ivmeyle hareket eden bir cismin x koordinatı 3 cm olduğu zaman hızı 12 cm /s 'dir. 2 s sonra x koordinatı –5 cm ise, ivmesinin büyüklüğü nedir?

26. Şekil P2.26, bir fizik öğrencisinin sahip olduğu otomobilin performans verilerinin bir kısmını göstermektedir. (a) Grafikden, gidilen toplam uzaklığı hesaplayınız. (b) t = 10 s ve t = 40 s arasında ne kadar uzağa gider? (c) Hareketlinin ivmesinin t = 0 ve t = 50 s arasında zamana göre grafiğini çiziniz. (d) (i) Oa (ii) ab, (iii) bc ile gösterilen, hareketin herbir evresi için zamanın fonksiyonu olarak x için bir eşitlik yazınız. (e) t = 0 ve t = 50 s arasında otomobilin ortalama hızı nedir?

27. Bir parçacık, $x = 2 + 3\,t - 4\,t^2$ denklemine göre x ekseni boyunca hareket ediyor. x, metre ve t saniyedir. (a) yön değiştirdiği andaki konumunu, (b) ilk konumuna geri geldiğindeki hızını bulunuz.

28. Bir cismin ilk hızı 5,2 m/s dir. Cisim (a) 3 m/s^2 ivme ile düzgün olarak hızlanırsa (b) –3 m/s^2 ivme ile düzgün olarak hızlanırsa (yani, negatif x yönünde hızlanırsa) 2,5 s sonra cismin hızı ne olur?

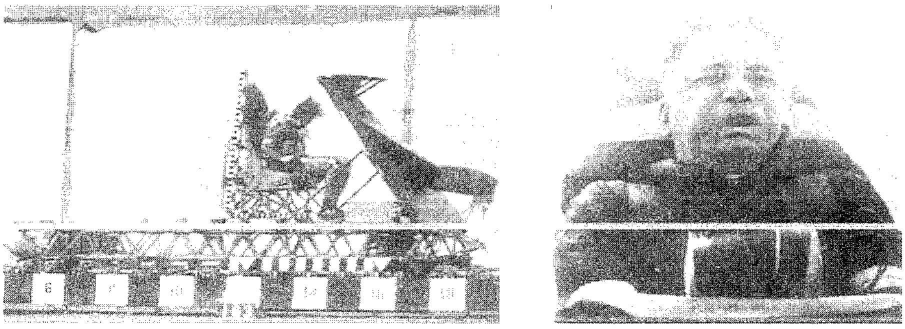
29. Bir atlı araba yarışçısı arabasını durgun halden harekete geçirir ve 400 m ($\frac{1}{4}$ mil) 'lik yolun tamamı için 10 m/s^2 ivme ile hızlanır (a) Yarış arabasının bu mesafeyi gitmesi için geçen zaman nedir? (b) Yarışın sonunda yarış arabasının hızı nedir?

30. 30 m/s 'lik sabit bir hızla giden otomobil, bir tepenin eteğinde aniden hızını keser. Otomobil tepeyi çıkarken –2 m/s^2 'lik sabit bir ivme (hareketine zıt) etkisindedir (a) Tepenin eteğinde x = 0 ve v_i = 30 m/s alarak, hız ve konumu zamanın fonksiyonu olarak yazınız, (b) Otomobil hızını kestikten sonra çıkabileceği yolun uzunluğunu bulunuz.

31. Bir jet 100 m/s lik bir hızla inmekte ve durgun hale gelirken maksimum –5 m/s^2 ivmeye sahip olabilmektedir. (a) Piste dokunduğu andan itibaren, durmadan önce geçen minimum zaman nedir? (b) Bu uçak, pisti 0,80 km uzunluğunda olan küçük bir tropikal adanın hava alanına inebilir mi?

32. Bir şoför, yolu kapatan bir ağaç gördüğü anda frene basar ve –5,60 m/s^2 'lik bir ivme ile 4.20 s 'de 62,4 m 'lik fren izi bırakarak ağaca çarpar. Otomobilin ağaca çarpış hızını bulunuz.

33. *İmdat! Bir denklem kayıp!* Sabit ivmeli hareketi, v_{xi}, v_{xs}, a_x, t ve x_s-x_i cinsinden tanımladık. Tablo 2.2 'deki ilk denklemde x_s-x_i, ikincide a_x, üçüncü de v_{xs} ve sonuncuda *t yoktur.* Denklemlerimizin tamamlanması için bir de v_{xi} i içermeyen bir denklem bulmalıyız. Bu



Şekil P2.37 *(Solda)* Subay John Stapp roket kızağında *(ABD Hava Kuvvetlerinin izniyle)*. *(Sağda)* Subay Stapp'in yüzü ani negatif ivmenin gerginliğiyle değişmiştir. *(Photri Inc.)*

denklemi diğer denklemlerden yaralanarak türetin ve problem 32 'yi tek adımda çözün.

34. 2 cm boyunda bir mermi, kalınlığı 10 cm olan bir ağaca doğrudan doğruya ateşlenmektedir. Mermi ağaca 420 m/s süratle çarpar ve 280 m/s süratle ağaçtan çıkar. (a) Merminin ağacın içinden geçerken ortalama ivmesi ne olur? (b) Merminin ağaçla temasta olduğu toplam süre nedir? (c) mermiyi durduracak olan ağacın kalınlığı nedir? Merminin ağacı geçtiği süre içinde aynı ivmede olduğunu kabul ediniz.

35. Düzgün bir yol boyunca durgun halden harekete geçen bir kamyon 20 m/s lik hıza ulaşana kadar 2 m/s^2 lik bir ivme ile hareket ediyor. Kamyon, bu hızla 20 s hareket ettikten sonra 5 s 'de duracak şekilde fren yapıyor. (a) Kamyonun toplam hareket süresini, (b) Bu hareket için kamyonun ortalama hızını bulunuz.

36. 20 m/s 'lik hızla giden bir tren, fren yaparak hareket ettiği sürece –1 m/s^2 'lik ivme ile yavaşlıyor. Frenlediği andan itibaren 40 s 'lik bir sürede trenin aldığı yolu bulunuz.

37. Dünyaya iniş hızı rekoru uzun bir süre Albay John P. Stapp, USAF a aittir (Şek. P2.37). 19 Mart 1954 de roket itmeli bir kızak kullanarak raylar üzerinde 632 mi/saat hızla hareket ederken 1,40 s içerisinde güvenli bir şekilde durduruldu. (a) Üzerine uygulanan negatif ivmenin büyüklüğünü, b) Yavaşlama sırasında aldığı toplam yolu bulunuz.

38. Katot ışını tüpündeki bir elektron, 2×10^4 m/s den 6×10^6 m/s 'lik hıza 1,50 cm 'lik bir mesafede hızlandırılmıştır. (a) elektronun, 1,50 cm 'lik mesafeyi alış süresini, (b) ivmesini bulunuz.

39. 9 m uzunluğundaki bir eğik düzlemin tepesinden, durgun halden harekete başlayan bir top 0,5 m/s^2 lik ivme ile eğik düzlemden iniyor ve başka bir eğik düzleme tırmanarak hareketine 15 m devam ettikten sonra duruyor. (a) Topun ilk eğik düzlemden indiği andaki süratini, (b) Topun ilk eğik düzlemden iniş süresini, (c) Topun ikinci eğik düzlemdeki ivmesini, (d) Topun İkinci eğik düzlemin 8 m'sindeki süratini bulunuz.

40. Hızlı Sue, arabasını 30 m/s hızla sürerken tek şeritli bir tünele giriyor ve önünde 5 m/s hızla gitmekte olan bir minibüs görerek frene basıyor. Yol ıslak olduğundan ivmesi sadece –2 m/s^2 dir. Bir çarpışma olur mu? Eğer çarpışma olacaksa, tünelin içerisinde ne kadar yol aldıktan sonra olur, olmayacaksa Sue'nun arabası ile minibüsün birbirlerine olan en kısa mesafesi nedir?

Kesim 2.6 Serbest Düşen Cisimler

Not: Bu kesimdeki problemler için hava direncini ihmal ediniz.

41. Bir golf topu, yüksek bir binanın tepesinden bırakılıyor. (a) Konumunu, b) hızını, top bırakıldıktan 1 s, 2 s ve 3 s sonrası için bulunuz.

42. *İncecikten kar yağır*
tozar Elif Elif diye
deli gönlüm apdal olmuş
gezer Elif Elif diye

Elif'in uğru nakışlı
yavru balaban bakışlı
yayla çiçeği kokuşlu
kokar Elif Elif diye

Elif kaşlarını çatar
gamzesi sineme batar
ak elleri kalem tutar
yazar Elif Elif diye

Evlerinin önü çardak
Elif'in elinde bardak
sanki yeşil başlı ördek
yüzer Elif Elif diye

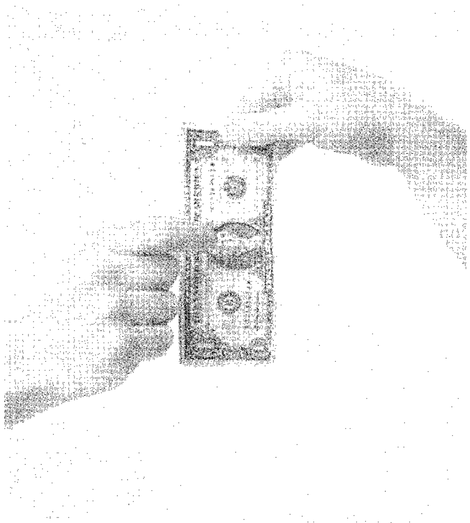
Karacaoğlan

(Çevirici notu: Burada, bir Amerikan halk şarkısı vardı.)

WEB 43. Bir öğrenci, 4,0 m yukarıda bulunan bir penceredeki kız kardeşine düşey olarak yukarı doğru bir anahtar takımı fırlatır. Kız kardeş anahtarları 1,5 s sonra tutmuştur. (a) Anahtarlar hangi ilk hız ile fırlatılmıştır? (b) Anahtarların yakalanmadan hemen öncesi hızı nedir?

44. Bir top, 30 m yükseklikten 8 m/s 'lik bir ilk hız ile aşağıya doğru fırlatılmaktadır. Top yere ne zaman çarpar?

45. Emily arkadaşı David ile aşağıdaki bir dolarlık banknotu yakalayacağına dair iddiaya girer. Buna göre Emily banknotu Şekil P.2.45 'de görüldüğü gibi tutacak, ve David baş parmağı ve işaret parmağını banknotun merkezine gelecek şekilde bekleyecek ve banknot bırakıldığında, elini aşağı doğru hareket ettirmeksizin banknotu yakalayacaktır. Eğer David'in reaksiyon süresi 0,2 s ise iddiayı kim kazanır? Neden açıklayınız.



Şekil P2.45 *(George Semple)*

46. Bir top h yüksekliğinden durgun halden düşmeye bırakıldığı anda, yukarı doğru başka bir top düşey olarak atılmıştır. İki topun h/2 yüksekliğinde karşılaşabilmeleri için, ikinci topun ilk hızı ne olmalıdır?

47. Bir beyzbol topuna beyzbol sopasıyla yukarı yol alacak şekilde vurulmaktadır. Bir seyirci topun maksimum yüksekliğine ulaşması için 3 s gerektiğini gözler. (a) Topun ilk hızını ve (b) Maksimum çıkış yüksekliği bulunuz. Hava direncini ihmal ediniz.

48. Bir kadın bir binanın 17. katından 144 ft düşüyor ve düştüğü kutunun üzerinde 18 inç derinliğinde ezikliğe neden oluyor. Kadın hafifçe yaralanıyor. Hava direncini ihmal ederek, (a) kutuya çarpmadan hemen önce kadının hızını, (b) kutuyla temas halinde iken ivmesini ve (c) kutunun ezilmesi için geçen zamanı hesaplayınız.

WEB 49. Bir ağacın dalı üstünde oturan cesur bir kovboy, ağacın altından dört nala geçen bir atın üstüne düşey olarak atlamak istemektedir. Atın sürati 10 m/s dir ve eyerin daldan uzaklığı 3 m 'dir. (a) Kovboy harekete geçtiği zaman eyer ve dal arasındaki yatay uzaklık ne olmalıdır? (b) Kovboy havada ne kadar kalır?

50. Düşey olarak yukarı doğru fırlatılan bir top, fırlatan tarafından 20 s sonra yakalanmaktadır. (a) Topun ilk hızını ve (b) ulaştığı maksimum yüksekliği bulunuz.

51. Bir top 15 m/s lik bir ilk hızla yerden yukarı doğru düşey olarak fırlatılmaktadır. (a) Topun maksimum yüksekliğine ulaşması için geçen zaman nedir? (b) Maksimum yükseklik nedir? (c) Topun t = 2 s deki hızını ve ivmesini hesaplayınız.

52. Bir helikopterin yerden yüksekliği $h = 3.00t^3$ denklemi ile verilmektedir; burada h metre, t saniye cinsindendir. Havalandıktan 2 s sonra helikopterden bir posta çantası bırakılıyor. Çantanın yere ulaşma süresini bulunuz.

(Seçmeli)

Kesim 2.7 Kinematik Denklemlerin Matematik Yoldan Türetilmesi

53. Makine mühendisleri ivmenin zamana göre değişimini "jerk"(J) olarak tanımlarlar. Bir-boyutta sabit jerk ile hareket eden bir cisim için, (a) ivme (a_x), hız (v_x) ve konumu (x) veren ifadeleri, ilk ivme (a_{xi}), ilk hız (v_{xi}) ve ilk konum (x_i) cinsinden bulunuz. (b) $a_x^2 = a_{xi}^2 + 2J\,(v_x - v_{xi})$ olduğunu gösteriniz.

54. Bir tüfek namlusundan çıkan merminin sürati $v = (-5 \times 10^7)\,t^2 + (3 \times 10^5)\,t$ ile verilmektedir, burada v metre/saniye ve t saniyedir. Merminin namludan ayrıldığı anda ivmesi sıfırdır. (a) Mermi namludayken ivmesini ve konumunu zamanın fonksiyonu olarak bulunuz, (b) Merminin ne kadar süre ivmeli hareket ettiğini bulunuz, (c) Merminin namludan çıkış hızını bulunuz, (d) Namlunun uzunluğunu bulunuz.

55. Bir bilyenin belirli bir sıvı içerisindeki hareketi, $v > 0$ olmak üzere, $a = -3v^2$ şeklinde veriliyor. Bilye, 1,50 m/s lik bir hız ile sıvıya girmiş ise, bilyanın hızı ilk hızının yarısına düşene kadar geçen süreyi bulunuz.

Ek Problemler

56. Bir motosikletli 18 m/s 'lik hızla giderken, 38 m ilerisinde bir geyik görür. (a) Aracın maksimum ivmesi $-4{,}5$ m/s^2 ise, motosikletlinin geyiğe çarpmaması için mümkün olan Δt reaksiyon süresi nedir? Bu reaksiyon süresi 0,30 s ise, geyiğe vurduğu zaman hızı ne kadardı?

57. Ünlü çizgi film karakteri Loderunner, yine tilki Wile E. Coyote'nin elinden kurtulmuş ve 25 m yükseklikten tilkiye doğru düşen bir kaya ile onu baş başa bırakmıştır. Tilki kayayı, 15 m düştükten sonra gördüğüne göre, kaçmak için ne kadar zamanı vardır?

58. Bir köpeğin kılları her gün 1,04 mm uzamaktadır. Fakat kış gelince her hafta uzama hızı 0,132 mm/gün olmaktadır. Köpeğin kılları 5 haftada ne kadar uzamış olur?

59. Bir roket 80 m/s lik bir ilk hızla düşey olarak yukarı doğru ateşlenmektedir. Roket 1000 m yüksekliğe ulaşana kadar yukarı yönde 4 m/s^2 lik ivmeyle hızlanır. O noktada, roketin motorları arızalanır ve roket –9,80 m/s^2 lik ivmeyle serbest düşme haline geçer. (a) Roket ne kadar süre havada kalmıştır? (b) Maksimum yüksekliği nedir? (c) Yer yüzüne çarpmadan hemen önce hızı nedir? (*İpucu:* Hareketi, motor serbest uçuş hareketinden ayrı çalışırken gözönüne alınız.)

60. Bir motorsikletli bir doğru yol boyunca 15 m/s 'lik sabit bir hızla gitmektedir. Motosikletli, parketmiş motosikletli bir polis memurunu geçer geçmez, polis 2 m/s^2 'lik ivmeyle harekete geçer. Bu sabit ivme değerini koruyarak, (a) Polis memurunun motorsikletliye yetişmesi için geçecek zamanı hesaplayınız. (b) Polis memurunun hızını ve (c) motorsikletliyi geçerken toplam yer değiştirmeyi bulunuz.

61. Şekil 2.10a 'daki hız-zaman eğrisinin altında kalan alan, yerdeğiştirmeyi verir. Bir dikdörtgen ve bir üçgenden oluşan bu alanların toplamını, Eş. 2.11'in sağ tarafı ile karşılaştırınız.

62. Bir banliyö treni, bir t_1 süresinde hızlanıyor (a_1 = 0,1 m/s^2); bir t_2 süresince frenlerini kullanarak negatif bir ivmenin (a_2 = –0,5 m/s^2) etkisinde kalıyor. Böylece iki istasyon arasındaki t zamanını minimuma indirebilmektedir. İstasyonlar birbirlerinden sadece 1 km uzakda olduklarından, tren asla maksimum hızına ulaşmamaktadır. Minimum t seyahat süresini ve t_1 süresini bulunuz.

63. Bir 100 m yarışında, Maggie ve Judy, her ikisi 10,2 s koşarak aynı anda bitiş çizgisini geçerler. Düzgün şekilde hızlanarak yarışın geri kalan kısmında koştukları maksimum hıza Maggie 2,0 s 'de ve Judy 3,0 s 'de ulaşmaktadır. (a) her iki kısa mesafe yarışçısının ivmesi nedir? (b) Birbirlerine göre maksimum hızları nedir? (c) Hangi koşucu 6 s işaretinde ne kadar öndedir?

64. Sert bir lastik top, göğüs hizasından bırakıldıktan sonra yere çarparak aynı yüksekliğe geri sıçrıyor. Top yere çarptığında alt kısmı geçici olarak düzleşir. Bu düzleşmenin maksimum derinliğini 1 cm varsayarak, top yerle temasta iken maksimum ivmesini tahmin ediniz. Varsayımları, tahmin edeceğiniz nicelikleri ve bunların değerlerini belirtiniz.

65. 3 m/s^2 ile hızlanabilen ve –4,50 m/s^2 ile yavaşlayabilen arabası ile alışverişe giden bir genç, durgun halden 12m/s lik bir hıza çıkıyor ve 5 s bu sabit hızda hareket ederek bir kavşağa gelip aniden duruyor. Sonra tekrar hızlanarak 18m/s lik bir hıza ulaşıyor ve 20 s bu hızda yoluna devam ettikten sonra 2,67 s 'de yavaşlar ve 4 s de bu hızda yoluna devam ettikten sonra duruyor. (a) gezintisi ne kadar sürmüştür?, (b) Ne kadar yol almıştır?, (c) Tüm gezintisi için ortalama hızı nedir?, (d) Eğer 1,50 m/s hızla yürüse idi, alışverişe gidip gelmesi ne kadar sürerdi?

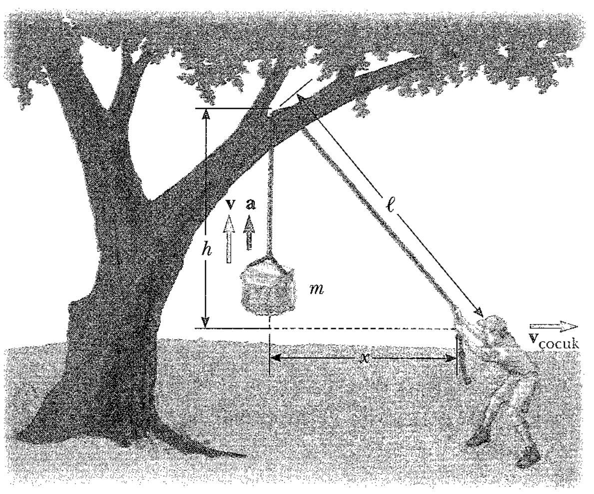
66. Bir taş durduğu yerden bir kuyunun içine düşer. (a) Suya çarpma sesi 2,40 s sonra işitilirse, su, kuyunun ağızından ne kadar aşağıda bulunur? Sesin havadaki hızı (mevcut sıcaklık için) 336 m/s dir. (b) Sesin yol alma zamanı ihmal edilirse, kuyunun derinliği hesaplandığı zaman yüzde kaç hata yapılır?

67. Meraklı bir fizik öğrencisi ve bir dağcı durgun bir su birikintisinin üzerinde asılı kaldıkları 50 m yüksekliğindeki bir uçuruma tırmanırlar. 1 s ara ile düşey olarak aşağıya doğru iki tane taş fırlatırlar ve bir tek çarpma sesine neden olduklarını gözlerler. Birinci taş 2 m/s 'lik bir ilk hıza sahiptir. (a) Birinci taşın atılmasından ne kadar zaman sonra iki taş suya çarpar? (b) İki taş aynı anda suya çarpıyorlarsa, ikinci taşın ilk hızı ne olmalıdır? (c) Suya çarptıkları sırada her bir taşın hızı ne olacaktır?

68. Bir otomobil ve bir tren 25 m/s ile paralel yollar boyunca beraber gitmektedirler. Otomobil kırmızı ışık nedeniyle –2,5 m/s^2 'lik düzgün bir ivmenin etkisinde kalır ve durur. Otomobil 45 s hareketsiz kalır, sonra 2,5 m/s^2 lik bir ivme ile 25 m/s 'lik hıza ulaşır. Trenin hızının 25 m/s 'de kaldığını kabul ederek, otomobil 25 m/s 'lik hıza ulaştığı zaman trenin ne kadar gerisindedir?

69. Kathy Kool isimli genç bir bayan, 16 ft/s^2 lik bir ivmeyle hızlanabilen superlüks bir otomobil satınalır. Başka bir sürat meraklısı, Stan Speedy ile yarışarak otomobili test etmeye karar verir. Her ikisi durgun halden harekete geçerler, fakat Stan, Kathy'den 1 s önce başlama yerini terkeder. Eğer Stan 12 ft/s^2 'lik sabit bir ivmeyle giderse ve Kathy 16 ft/s^2 'lik bir ivmeyi korursa; (a) Kathy'nin Stan'i geçtiği zamanı, (b) Kathy'nin, Stan'e yetişmeden önce aldığı yolu ve (c) Stan'i geçtiği anda her iki otomobilin hızını bulunuz.

70. Yiyeceğini ayılardan korumak için, bir erkek izci, kütlesi m olan yiyecek paketini ellerinin yukarısında h yüksekliğindeki bir ağaç dalının üstünden fırlatılan bir ip ile yukarıya kaldırır. İpin serbest ucunu ellerinde tutarak düşey ipden sabit v_0 hızıyla yürüyerek uzaklaşır. (Şekil 2.70 'e bakınız). (a) Yiyecek pa-



Şekil P2.70

ketinin v hızının $x\,(x^2 + h^2)^{-1/2}\,v_0$ olduğunu gösteriniz. Burada x izcinin düşey ipden uzağa yürüdüğü uzaklıktır. (b) Yiyecek paketinin a ivmesinin $h^2\,(x^2 + h^2)^{-3/2} v_0^{\,2}$ olduğunu gösteriniz. (c) İzci düşey ipi bıraktıktan kısa bir zaman sonra, ivme ve v hızının değerleri nedir? (d) x uzaklığı sürekli artarken hız ve ivme hangi değerlere ulaşır?

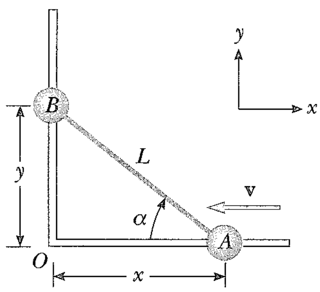
71. Problem 70 'de h yüksekliği 6 m ve v_0 hızı 2 m/s 'ye eşit olsun. Yiyecek paketinin erkek izcinin ellerinin aşağısında 6 m 'lik bir uçurumun tepesindeki bir kaya çıkıntısı üzerinden durgun halden harekete geçtiği kabul edilmektedir. (a) Hız–zaman grafiğini tablo halinde gösteriniz ve grafiğini çiziniz. (b) İvme–zaman grafiğini tablo halinde gösteriniz ve grafiğini çiziniz. (zaman süresi 0 s 'den 6 s 'ye kadar ve zaman aralıkları 0,5 s olsun)

72. Uzak bir gezegende bulunan bir astronot, elindeki taşı havaya atarak bir fotoğraf makinesi ile eşit zaman aralıklarında resim çekerek taşın konumunu zamana göre ölçer. Sonuçlar, Tablo P2.72'de verilmiştir. (a) Ardışık iki ölçüm arasındaki ortalama hızı bulunuz. (b) Bulduğunuz değerleri kullanarak iki ölçümün tam orta noktasındaki ani hızı yaklaşık olarak belirleyip, hız-zaman grafiğini çiziniz. Taş sabit bir ivme ile mi hareket etmektedir? Eğer öyle ise, grafiğe en iyi uyan bir doğru çizerek, eğiminden ivmeyi tayin ediniz.

TABLO P2.72 Zamana Göre Taş Yüksekliği

Zaman (s)	Yükseklik (m)	Zaman (s)	Yükseklik (m)
0,00	5,00	2,75	7,62
0,25	5,75	3,00	7,25
0,50	6,40	3,25	6,77
0,75	6,94	3,50	6,20
1,00	7,38	3,75	5,52
1,25	7,72	4,00	4,73
1,50	7,96	4,25	3,85
1,75	8,10	4,50	2,86
2,00	8,13	4,75	1,77
2,25	8,07	5,00	0,58
2,50	7,90		

73. İki A ve B cismi, uzunluğu L olan katı bir çubukla bağlıdır. Cisimler, Şekil P2.73 'de görüldüğü gibi, düşey kılavuz raylar boyunca kayar. A sabit bir v hızıyla sola kayarsa, $\alpha = 60°$ olduğu zaman B'nin hızını bulunuz.



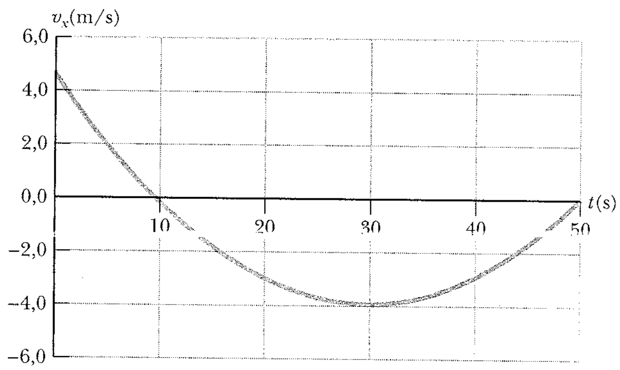
Şekil P2.73

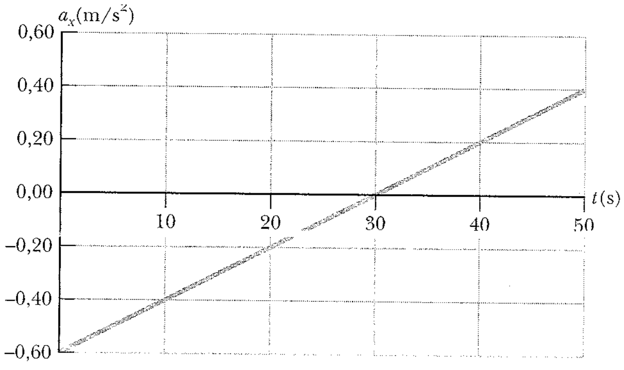
SINAMA SORULARININ CEVAPLARI

2.1 Grafiğiniz (a) daki grafiğe benzemelidir. Bu v_x-t grafiği, maksimum hızın 5 m/s olduğunu gösterir. Bu değer yaklaşık 18 km/saat (= 11 mi/saat) dolayısı ile sürücü hız limitini aşmamıştır. İvme-zaman grafiğini Hız-zaman grafiğinden faydalanarak çizebilir misiniz? Sonucunuz (b) ye benzemelidir.

2.2 Evet. Bu, araba yavaşlarken gerçekleşir. Dolayısı ile arabanın ivmesi ile gittiği yön birbirine zıttır. (b) Evet. Eğer hareketin yönü negatif seçilirse pozitif ivme yavaşlamaya sebep olur.

2.3 Sol taraf cismin son hızını gösterir. Sağ taraftaki ilk terim, cismi izlemeye başladığımız andaki hızını gösterir. İkinci terim ivmeden dolayı hızdaki değişimi gösterir. Eğer bu ikinci terim pozitifse, hız artar ($v_{xs} > v_{xi}$). Negatifse hız azalır ($v_{xs} < v_{xi}$).





2.4 (a) Grafiği sabit eğimlidir, bu ivmenin sabit olduğunu gösterir ve (e) grafiği ile gösterilmiştir.

(b) grafiği, sabit bir şekilde artan fakat düzgün olmayan bir hızı gösterir. O halde ivme artmalıdır. Bu durumu en iyi gösteren grafik (d) dir.

(c) deki grafiği önce düzgün hızlanan, dolayısı ile sabit ivmeli, daha sonra sabit hızdaki sıfır ivmeli bir hareketi gösterir ve bu duruma en iyi uyan grafik (f) dir.

2.5 Şekil 2.13b'den görüldüğü gibi c'dir. Top çok kısa süreler boyunca bu üç noktada durgundur. Buna rağmen yerçekimi, top durgunken dahi ona etkimektedir.