

Paketleme Listesi

Tanım	Miktar
1. Serbest Düşme Deney Düzenegi	1 Set
1.1. Photogate (Fotosensör)	2
1.2. Farklı Yarıçaplarda Küresel Küteller (Çelik Bilyeler)	3
1.3. Elektromıknatıslı Bilye Tutucusu	1
1.4. Başlatma Butonu (Elektromıknatıs Düğmesi)	1
1.5. Dijital Gösterge Ekranı	1
1.6. Bilye Yakalayıcısı	1
1.7. Taşıyıcı Çubuk	1
1.8. Destek Tabanı	1
1.9. Su Terazisi	1
2. Bağlantı Kabloları	1 Set
2.1. Güç Kablosu	1
2.2. Mıknatıs Tutacağı Kablosu	2
2.3. Photogate Kablosu	2
3. Deney Föyleri (Öğretmen ve Öğrenci Deney Föyleri)	2

İçindekiler

1.	Amaç	.....	4
2.	Serbest Düşme	.....	4
3.	Deney Düzeneği	.....	9
4.	Deneyin Yapılışı	.....	10
5.	Deney Raporu	.....	11

Rentech

1. Amaç

Bu deneyde;

1. Serbest düşmede **konum, hız, ivme** ve **zaman** arasındaki bağıntıların araştırılması,
2. Düşme hareketinde alınan yolun, **yerçekimi ivmesi** ve **zamanın karesiyle** doğru orantılı olduğunun gösterilmesi,
3. **Yerçekimi ivmesinin** hesaplanması,

amaçlanmıştır.

2. Serbest Düşme

Serbest düşme hareketi ilk hızsız bırakılan bir cismin ağırlığının etkisi ile aşağı yönlü (düşey doğrultulu) yaptığı harekettir. Düzgün değişen (hızlanan) bu doğrusal harekette, birim zamanda hızda meydana gelen değişim miktarına **ivme** denir. Serbest düşen cisimlerin ivmesine ise **yerçekimi ivmesi** denir, **g** harfi ile gösterilir. Hız ile ivme aynı yönlüdür. Serbest düşme ifadesi, hareketin ivmesinin **sabit** ve yerçekiminden dolayı olduğu anlamına gelir. Dünya yüzeyi üzerinde yerçekimi ivmesinin büyüklüğü;

$$g = 9.80m/s^2$$

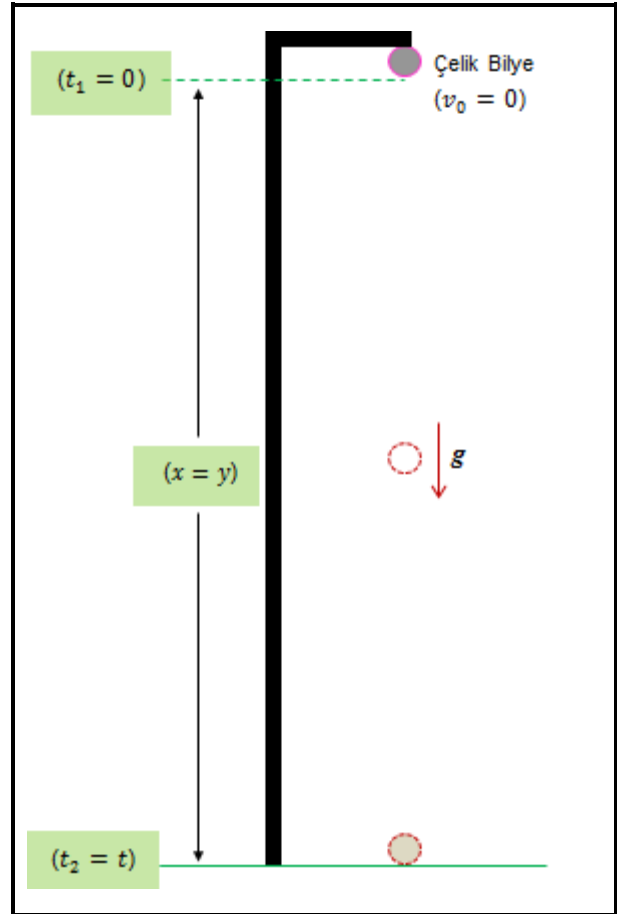
(1)

olarak verilir. İlk hızsız serbest düşmeye bırakılan bir cisim sabit "g" yerçekimi ivmesi ile aşağı doğru hızlanmaya başlar. Dünya yüzeyi üzerinde bu ivmenin büyüklüğü $g = 9.80m/s^2$ olarak verilir. Serbest düşme sabit ivmeli bir hareket (düzgün değişen doğrusal hareket) olduğundan, dünya yüzeyine doğru düşmekte olan bir cisim için hareket denklemleri;

$$v = v_0 + gt \quad (2)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (3)$$

bağıntılarıyla ifade edilebilir.



Şekil-1: Serbest düşme hareketi yapan bir cisim için düşme süresi (t) ve mesafesi (y).

Burada;

- x: Cismin t sürede düştüğü mesafe (**son** konum),
- x₀: Cismin başlangıç (**ilk**) konumu,
- v₀: İlk hız (cismin t = 0 anındaki hızı),
- t: Düşme süresi,
- g: Yerçekimi ivmesi.

Hava direncini ihmal edersek, serbest düşen bir cismin hareket denklemleri için **Eşitlik-(2)** ve **(3)** ile verilen sabit ivmeli ($a = g$) doğrusal hareket denklemlerini kullanabiliriz. **Eşitlik-(2)**, **sabit** ivmeli hareketteki hız bağıntısıdır. Burada, hareketin $a = g$ ivmesi, hızın birim zamandaki değişimi olarak verilir ve sabittir. Hızın birim zamandaki değişimi ile hareket süresinin çarpımı olan "**gt**" ifadesi, "**t**" zamanı süresince hızın değişme miktarını verir. Sabit ivme ile hareket eden bir cismin herhangi bir andaki konum (**yer değiştirme**) ifadesi ise **Eşitlik-(3)** tarafından verilir.

Tek boyutta **sabit ivmeli** hareket olan serbest düşme hareketi, hava direncinin olmadığı ideal durumlarda ilk hızsız düşmeye bırakılan cisimlerin yaptıkları harekettir (**Şekil-1**). Seçilen bir referans (başlangıç) noktasına göre bir cismin konum değişimine **yer değiştirme** denir. Cismin yer değiştirmesi, $t_1 = 0$ anında ilk (x_0) ve $t_2 = t$ anında son (x) konumu arasındaki fark olarak tanımlanır. Yeryüzü üzerinde bütün cisimler serbest bırakıldıklarında sabit bir ivme ile düşey doğrultuda ve aşağı yönde yere doğru düşerler. Dünya yüzeyi üzerinde ilk hızsız serbest düşmeye bırakılan bütün cisimlerin bir saniyede **hızlarında** oluşacak artış miktarı $9.80m/s$ kadardır (m/s^2 değil). Bu harekette hız, eşit zaman aralarında eşit miktarda artış gösterir. Sabit ivmeli harekete cisme etki eden iki kuvvet vardır;

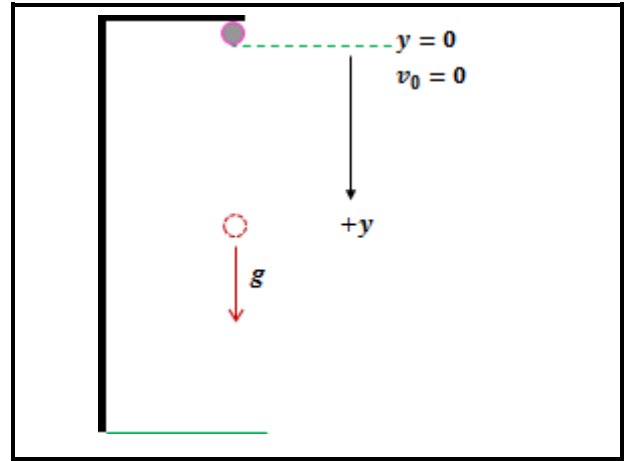
- (1) Bu kuvvetlerden biri **yerçekimi kuvveti**,
- (2) Diğeri ise **sürtünme kuvvetidir** (yukarıya doğru havanın direnç kuvveti).

Kütlesi m olan bir cisim üzerine etki eden **yerçekimi** kuvvetinin büyüklüğüne (mg) o cismin **ağırlığı** denir ve $F_g = mg$ ile verilir. Yer değiştirmenin küçük olduğu koşullarda, cismin hareketi üzerindeki havanın direnç kuvvetinin etkisi ihmal edilebilir. Bu durumda, serbest bırakılan bir cismin yalnızca yerçekimi kuvvetinin etkisi altında sabit bir kuvvet ve sabit " g " yerçekimi ivmesiyle serbest düşme hareketi yaptığı kabul edilir. **Hava direncinin önemsiz** olduğu ortamlarda ilk hızsız serbest bırakılan bir cismin yere düşme süresi (t) ve yere çarpma hızı (v), cismin serbest bırakıldığı **yükseklığe** (dikey konum değişiminde aldığı yola) ve yerçekimi ivmesine bağlıdır. Dikey konum (y), hız (v) ve ivme (g) aşağıya yönde **pozitif** olarak alınabilir. İlk hızsız ($v_0 = 0$) serbest düşmeye bırakılan bir cisim için ilk konum $x_0 = 0$ olarak alınır ve pozitif y -yönü **aşağıya doğru** seçilirse, zamana bağlı düşey yer değiştirme (konum);

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

(DeneySEL) (4)

eşitliği ile verilir.

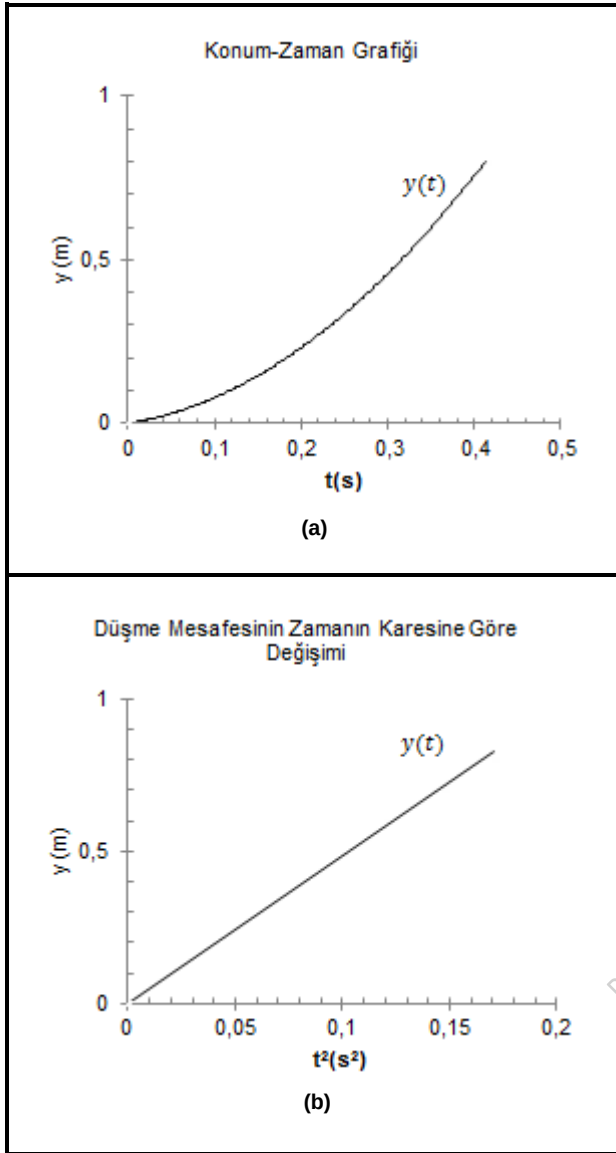


Şekil-2: Koordinat sisteminde **pozitif y-ekseni yönü** aşağı doğru seçilir.

NOT

Serbest düşme hareketi **düşey doğrultuda** olduğundan cismin **konumunu** " y " koordinatı ile gösterebilir ve koordinat sisteminde aşağı yönü **pozitif** " y " **ekseni** olarak alabiliriz (**Şekil-2**).

Eşitlik-(4)'de verilen konum bağıntısı **hava direncinin önemsiz** olduğu ortamlarda geçerlidir. Serbest düşme hareketi ilk hızsız düzgün hızlanan doğrusal bir harekettir. Cisimler serbest düşmeye bırakıldığında yerçekiminden dolayı aşağı yönlü bir **ivmeye** sahip olacaktır. Kütlesi m olan cisme ivme kazandıran kuvvet cismin **ağırlığıdır**. Hava direncinin (sürtünmesinin) olmadığı durumlarda, ağırlıklarından ve şekillerinden bağımsız olarak her cisim dünya yüzeyine aynı **sabit ivme** (g) ile düşer. Hareket esnasında **ivme** değişmez (serbest düşme hareketinde cismin ivmesi kütlesine bağlı değildir). Şimdi, **hava direncinin önemli** olduğu bir ortamda serbest düşmeye bırakılan bir cisim düşünelim. Cisim, serbest bırakıldığı anda ilk hızı sıfır olduğundan ivmesi $a = g$ olur. Bu, en büyük ivme değeridir. Zamanla, cismin **hızı** artarken, bu cisme etki eden **sürtünme kuvveti** de artar. Dolayısıyla, cisme etki eden net kuvvet ve ivme azalır. Belirli bir zaman sonra **sürtünme kuvveti**, yerçekimi kuvvetine (cismin ağırlığına) eşit olur. Bu durumda **net kuvvet** ve **ivme** sıfırdır. Cismin bundan sonraki hızı sabit kalır ve o andaki **sabit hızıyla** hareketini sürdürür.



Şekil-(3): Sabit ivmeli harekette **konum-zaman** grafiği (ilk hız sıfır) bir parabol olur (a). Bununla beraber, alınan yol (konum) **zamanın karesiyle** orantılı olarak artar (b).

Hava sürtünmesinin önemsiz olduğu bir ortamda ilk hızsız serbest düşmeye bırakılan cismin ivmesi kütlelerine bağlı değildir ($\vec{a} = \vec{g}$). Hareketin hız vektörü ($\vec{v}$) ile ivme vektörü ($\vec{g}$) aynı (aşağı) yöndedir. Bu nedenle cisim **g** ivmesiyle düzgün **hızlanan** doğrusal hareket yapar. Hızın artışı zamanla orantılı olarak değişir. Cismin t kadar zaman sonra sahip olacağı hız $v = gt$ ile bulunur. Serbest düşme hareketinde alınan yol (**konum**), düşey doğrultuda olduğundan yani koordinat sisteminde y eksenine karşılık geldiğinden y sembolü ile gösterilir. Aşağı doğru olan yön pozitif $+y$ eksenini olarak alınabilir.

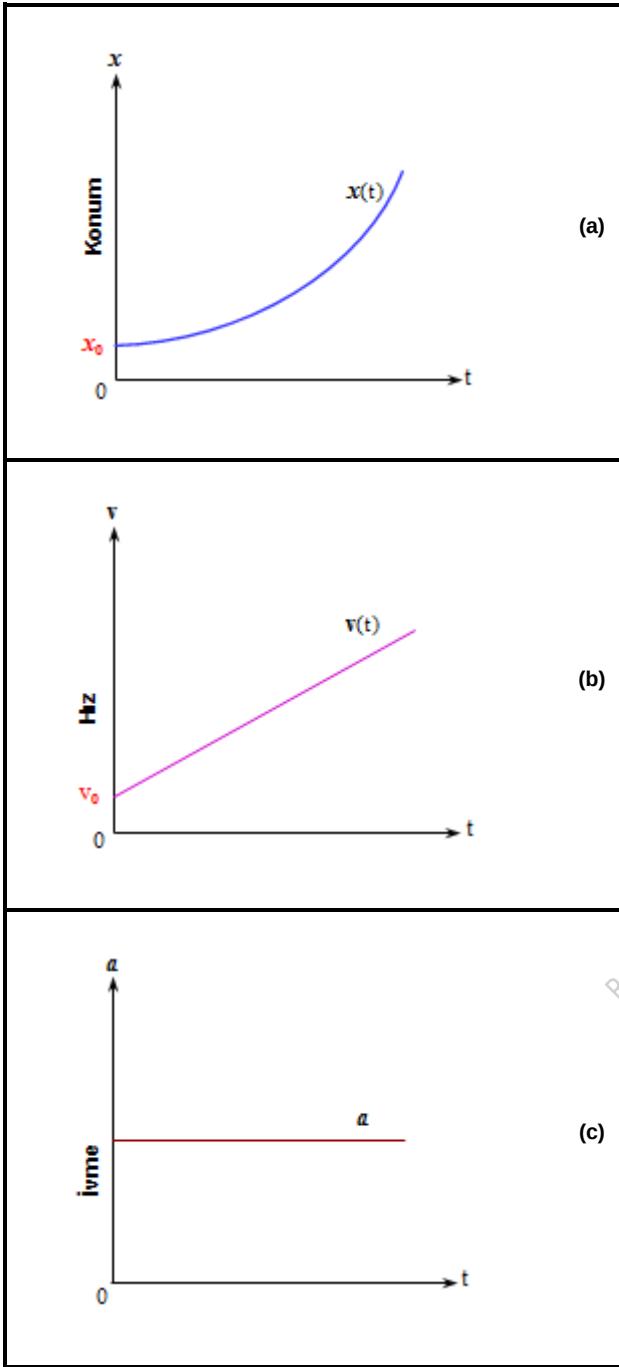
Pozitif $+y$ eksenini aşağı doğru kabul edilirse, yerçekimi ivmesinin işareti pozitif olur ($g = +9.80 \text{ m/s}^2$). Cismin herhangi bir t süresi sonunda aldığı **yol Eşitlik-(4)**'de verilen bağıntı ile bulunur. Bu bağıntıya göre cismin konum-zaman ($y - t$) grafiği **Şekil-(3a)**'da gösterildiği gibidir. Eğer, serbest düşme hareketine ait $y - t^2$ grafiği çizilirse, " $\frac{1}{2}a$ " **eğimi** olan düz bir çizgi (doğrusal bir grafik) bulunur (**Şekil-3b**). Orijinden geçen bu doğrunun denklemi $y = Ax$ olarak ifade edilirse, $y - t^2$ grafiğinin **eğimi (A)** aşağıda verildiği gibi olacaktır;

$$A = \frac{1}{2} g \quad (\text{Eğim}) \quad (5)$$

Grafikte bulunan doğrunun **eğimi** bize o cismin ivmesinin yarısını verecektir. Hareket sırasında değişen büyüklükler hız, konum ve zamandır. Hareketin ivmesi (g) ise sabittir. Yerçekimi ivmesi için **Eşitlik-(4)** tekrar düzenlenirse;

$$g = \frac{2y}{t^2} \quad (\text{Deneyssel}) \quad (6)$$

bağıntısı bulunur. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi, düşme mesafesi (y) ve bu mesafeye karşılık gelen düşme süresi (t) ölçülürse, yerçekimi ivmesi (g) deneysel olarak ayrıca hesaplanabilir.



Şekil-4: Bir boyutta sabit ivmeli (düzgün hızlanan) hareketin grafikleri. Sabit ivmeli hareket yapan bir cismin konum-zaman grafiği (a), hız-zaman grafiği (b) ve cismin sabit ivmesi (c).

- 1) Sabit ivmeli harekette konum-zaman grafiği bir **parabol** olur (**Şekil-4a**). Alınan yol, zamanla doğrusal olarak değil zamanın karesiyle (t^2) orantılı olarak artmaktadır. Bu **parabolün** denklemi;

$$✓ \quad x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Bir cismin hızını, bir zaman aralığı yerine, herhangi bir " t " anında tanımlamak istediğimizde **anlık hız** veya ani hız tanımını kullanırız. Konum-zaman grafiğinde eğriye bir noktadan çizilen **teğetin eğimi** o andaki ani hızı (**anlık hızı**) verir.

- ♦ Serbest düşmeye bırakılan bir cismin konum zaman ($x - t$) grafiğinde, cismin $t = 0$ anında harekete başladığı konum (ilk konum), başlangıç noktası olarak alınır ($x_0 = 0$). İvme sabit ($a = g$), ilk hız sıfır ($v_0 = 0$) olduğundan, yer değiştirme (yani yükseklik) zamanın karesiyle doğru orantılı olacaktır.

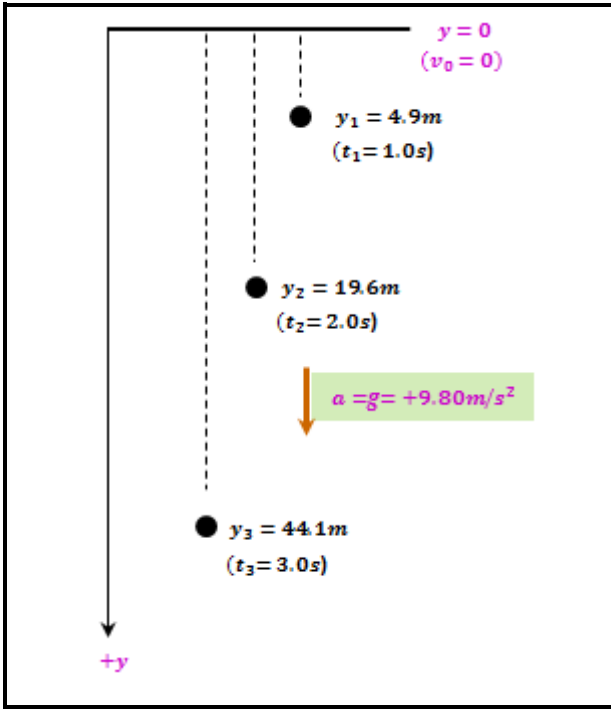
- 2) Benzer şekilde, sabit ivmeli doğrusal harekette $v - t$ grafiğini analiz edebiliriz. Bir doğru boyunca hareket eden cismin ivmesi sabit ise o cismin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarlarda artar. Bu düzgün değişen doğrusal harekette hız-zaman grafiği, hızın zamanla doğrusal olarak artması nedeniyle, **Şekil-(4b)**'de görüldüğü gibi bir doğru olur. Bu doğrunun denklemi için;

$$✓ \quad v = v_0 + at$$

bağıntısı geçerlidir. Düzgün değişen harekette ilk hız yoksa ($v_0 = 0$ durumunda) cismin t zamanda kazanacağı hız $v = at$ ile verilir. Herhangi bir t anındaki anlık **hız**, $v - t$ grafiği üzerinde direkt olarak bulunabilir. Hız-zaman grafiğinde doğrunun eğimi **ivmeye** eşittir ($a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - 0}$).

- ♦ Serbest düşme hareketinde $v_0 = 0$ koşulu geçerli olduğundan hız zaman ($v - t$) grafiği bu durumda başlangıç noktasından geçen bir doğrudur. Dolayısıyla, grafiğin eğimi yerçekimi ivmesine (g) eşit olacaktır.

- 3) Düşey eksenini aşağıya doğru **pozitif** alırsak, serbest düşme hareketinin ivme-zaman ($a - t$) grafiği, **Şekil-(4c)**'deki gibi zaman eksenine paralel bir doğru olur. Düzgün değişen doğrusal harekette hız düzgün değiştiği için **ivme sabittir** ($a = \text{Sabit}$), yani ivme zamana bağlı olarak değişmez.



Şekil-5: Serbest düşme hareketi yapan bir cismin zamana göre yer değiştirmesi (y -ekseni aşağı yönde pozitif).

Şimdi, hava direncinin önemsiz olduğu bir ortamda $h = 70.0m$ yükseklikten ilk hızsız ($v_0 = 0$) serbest bırakılan bir cisim düşünelim (Şekil-5). Bu cismin, $t_1 = 1.0s$, $t_2 = 2.0s$ ve $t_3 = 3.0s$ süre içinde aldığı yolu hesaplayabiliriz. Serbest düşen bir cismin hareket denklemleri için **sabit ivmeli** doğrusal hareket denklemlerini kullanabiliriz. İlk hızı sıfır olan düzgün hızlanan doğrusal hareket bağıntılarında, " a " yerine " g " yazılırsa ($a = g$) serbest düşme hareketinde kullanılan bağıntılar elde edilir. Bu nedenle, serbest düşmeye bırakılan cismin t sürede aldığı yol için;

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

bağıntısını yazabiliriz. Eğer, pozitif y -ekseninin yönü aşağı doğru alınır cismin **ivmesi** (a);

$$a = g = +9.80m/s^2$$

olur. Bu durumda serbest düşme hareketi, $a = g$ ivmesi ile yapılan düşey doğrultuda düzgün hızlanan harekettir. Yerçekimi ivmesinin işareti pozitifdir.

Serbest düşme hareketinde $v_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ değerleri yerine yazılırsa;

$$y = 0 + 0 + \frac{1}{2} a t^2$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2$$

eşitliğini buluruz. Serbest düşmeye bırakılan cisim sabit " g " yerçekimi ivmesi ($a = g$) ile aşağı doğru düzgün hızlanan hareket yapmaya başlar. Cismin $t_1 = 1.0s$ sürede aldığı yol;

$$y_1 = \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{1}{2} (9.80m/s^2)(1.0s)^2$$

$$y_1 = 4.90m$$

bulunur. Benzer şekilde, $t_2 = 2.0s$ zaman sonrası cismin konumu;

$$y_2 = \frac{1}{2} a t_2^2 = \frac{1}{2} (9.80m/s^2)(2.0s)^2$$

$$y_2 = 19.6m$$

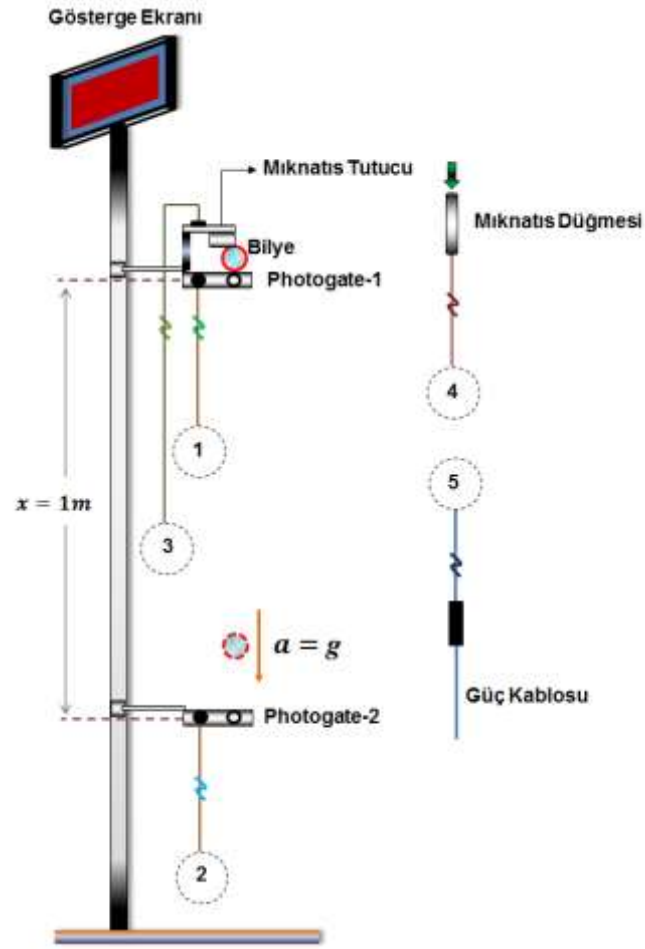
olur. Son olarak, $t_3 = 3.0s$ için düşme mesafesi;

$$y_3 = \frac{1}{2} a t_3^2 = \frac{1}{2} (9.80m/s^2)(3.0s)^2$$

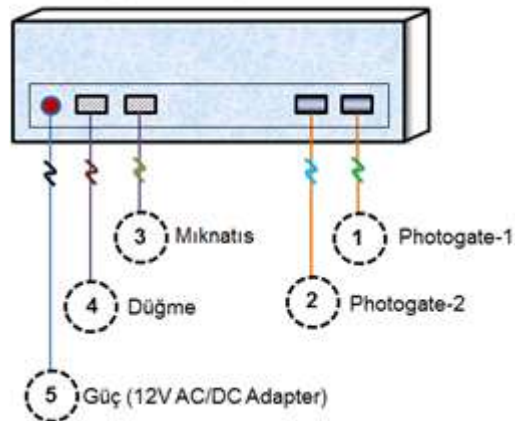
$$y_3 = 44.1m$$

olacaktır. Bu örnekte görüldüğü gibi ilk hız ve ilk konum sıfır olmak üzere, serbest düşen bir cismin aldığı yol (yer değiştirmesi) **zamanın karesiyle** doğru orantılı olarak değişmektedir.

3. Deney Düzeneği



Gösterge Ekranı Bağlantı Girişleri



Şekil-6: Serbest düşme deney düzeneği.

4. Deneyin Yapılışı

NOT

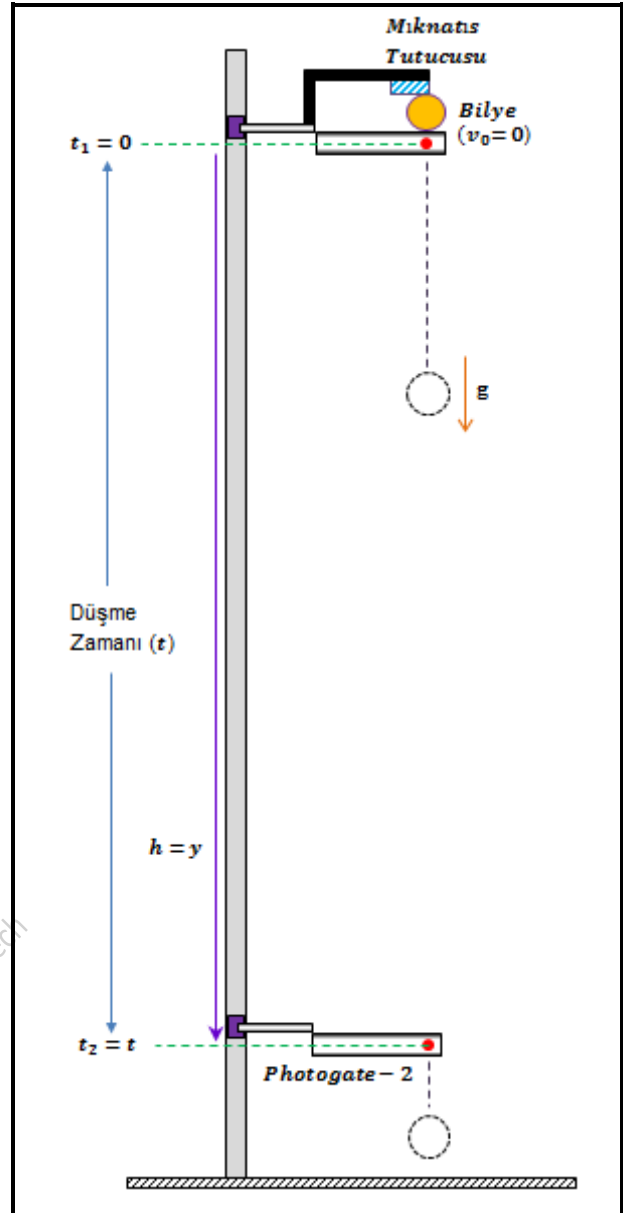
Deney düzeneğinde yerçekimi ivmesinin büyüklüğü (g), iki photogate arasındaki serbest düşme mesafesi ($h = y$) ve bu düşme mesafesine ait düşme süresi (t) ölçülerek bulunur. Herhangi bir düşme yüksekliği (y) için düşme süresi (t) gösterge ekranı üzerinden ölçülür.

1. Serbest düşme deney düzeneği elektriksel olarak **Şekil-(6)**'da gösterildiği gibi kurulur.

- 1.1. Bilye tutucusu elektromıknatis içerir ve elektrik akımı ile aktiftir.
- 1.2. Elektromıknatisli bilye tutucusuna metal bir bilye tutturulduğunda gösterge ekranındaki kronometre kendini otomatik olarak sıfırlar.
- 1.3. Elektro-mıknatis düğmesine (başlatma butonuna) basıldığında elektromıknatisa giden elektrik akımı kesilir, böylece kütle serbest kalarak kronometre çalışmaya başlar. Serbest düşme hareketi yapan bilye Photogate-2 içinden geçtiği anda kronometre durur.
- 1.4. İki photogate arası düşey mesafe (yükseklik) değiştirilebildiği için farklı yükseklikler için deney tekrarlanabilir. Yükseklik ölçümlerinde milimetre hassasiyeti dikkate alınmalıdır.

2. Photogate-1 ve photogate-2 düşey doğrultuda hareket ettirilerek aralarında $1m$ ($100cm$) mesafe olacak şekilde ayarlanır. Bu mesafe, serbest düşme hareketi yapacak olan cismin $t = 0$ anında $y = 0$ başlangıç konumuna göre düşey doğrultuda **yer değiştirmesini** verecektir (**Şekil-7**).

3. Çelik bilye, photogate-1 üstünde konumlanmış **elektromıknatis tutucusuna** yerleştirilir. Bilyenin, serbest düşme hareketine başladığında photogate kenarlarına çarpymasına dikkat edilmelidir.



Şekil-7: Düşme mesafesi (y) ve düşme süresi (t). Herhangi bir cisim serbest (ilk hızsız) bırakıldığında sabit bir **çizgisel ivme** ile hareket eder (düşer). Bu ivmenin büyüklüğü $9.80m/s^2$ 'dir ve g ile gösterilir.

4. Çelik bilyenin düşey doğrultuda düşmesi için mıknatis butonuna basılır ve böylece bilyenin iki photogate arasından geçme süresi (t) gösterge ekranından ölçülür. Bu değer, cismin $y = 1m$ yer değiştirmesine karşılık gelen **düşme zamanını** verecektir. Bu işlem üç kez tekrarlanır ve ölçülen zaman değerlerinin **ortalaması** alınır.

$y(m):$	$1m$	(Alınan Yol)
$t(s):$	.....	(ORTALAMA)

5. Şimdi, yerçekimi ivmesinin büyüklüğü (g) **deneysel** olarak hesaplanır;

5.1. Düşme süresinin **ortalaması** (t) ve **düşme mesafesi** (y) kullanılarak, yerçekimi ivmesi (g) aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanır;

$$g = \frac{2y}{t^2}$$

$y(m)$:	1m	(Alınan Yol)
$t(s)$:	.....	(ORTALAMA)
$g(m/s^2)$:	.....	(DENEYSEL)

5.2. Bulunan DENEYSEL değer, g' olarak veri tablosuna not edilir. İvmenin beklenen değeri $g = 9.80m/s^2$ olarak alınırsa, deneysel ve beklenen yerçekimi ivmesi arasındaki fark $\Delta g = |g - g'|$ ne olur?

5.3. Deneysel bulunan yerçekimi ivmesi, **beklenen** değerle karşılaştırılarak aradaki **yüzdelik fark** belirlenir;

$$Fark (\%) = \left| \frac{Beklenen - Deneysel}{Beklenen} \right| \times 100$$

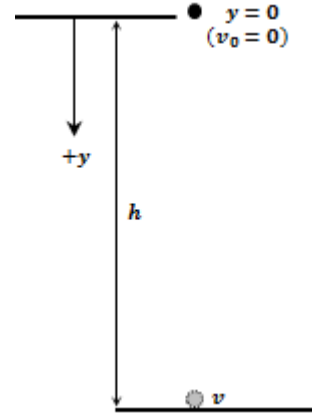
6. Deney, farklı yarıçaplı metal bilyeler kullanılarak tekrar edilir.
7. Hava direncinin önemsiz olduğu sürtünmesiz bir ortamda $h = 1m$ yüksekten serbest bırakılan cisim v hızıyla yere çarpıyor ($g = 9.80 m/s^2$).

7.1. Cismin yere düşme zamanı (t) kaç saniyedir?

7.2. Buna göre, v kaç m/s dir?

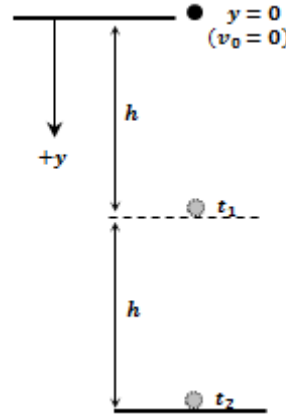
8. Yerden $h = 5m$ yükseklikten serbest düşme hareketine bırakılan bir cisim kaç saniye sonra yere çarpar, hızı kaç m/s olur ($g = 9.80m/s^2$)?

9. Hava direncinin önemsiz olduğu bir ortamda yerden h kadar yükseklikten serbest bırakılan bir cisim 4s sonra yere çarpıyor ($g = 9.80m/s^2$).



- 9.1. Cismin yere çarpma hızı kaç " m/s " dir?
- 9.2. Düşme mesafesi (h yüksekliği) kaç " m " dir?

10. Yerden $2h$ kadar yükseklikte serbest bırakılan cisim ilk h mesafesini t_1 , ikinci h mesafesini ise t_2 saniyede alıyor. Düşme mesafesi $2h$ için **toplam** düşme zamanı $t_1 + t_2$ olarak verilmektedir.



- 10.1. Buna göre $\frac{t_1}{t_2}$ oranı kaçtır?
- 10.2. Cismin serbest düşme hareketi sabit ivmeli düzgün hızlanan bir hareket midir?

5. Deney Raporu

Adı ve Soyadı: _____

Bölüm: _____

Öğrenci No: _____

Tarih: _____

Düşme Mesafesi, $x(m)$: 1.0

Kütle, $m_1(kg)$: 0.007kg (7.0g)

Yarıçap, $r_1(m)$: 0.012m (12.0mm)

Kütle, $m_2(kg)$: 0.011kg (11.0g)

Yarıçap, $r_2(m)$: 0.014m (14.0mm)

Kütle, $m_3(kg)$: 0.017kg (17.0g)

Yarıçap, $r_3(m)$: 0.016m (16.0mm)

Kütle, $m_4(kg)$: 0.017kg (17.0g)

Yarıçap, $r_4(m)$: 0.027m (27.0mm)

Tablo-1: Düşme zamanının (t) ölçülmesi ve yerçekimi ivmesinin (g) belirlenmesi.

$y(m)$	$m(kg)$		$r(m)$	ÖLÇÜLEN			ORTALAMA	DENEYSEL
				$t_1(s)$	$t_2(s)$	$t_3(s)$	$t(s)$	$g'(m/s^2)$
1.0	m_1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tablo-2: Deneysel bulunan yerçekimi ivmesinin beklenen değer ile karşılaştırılması.

$y(m)$	$m(kg)$		$r(m)$	$t(s)$	$g'(m/s^2)$	$\Delta g (m/s^2)$	%Fark($\pm$)
1.0	m_1	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_2	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_3	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	m_4	.....	.....	.....	.....	.....	.....