



**FİZİK – I (MEKANİK) DENEY FÖYÜ**

**Hazırlayan:** Prof. Dr. İsmail POLAT

**EKİM 2025  
TRABZON**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No:

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| İÇİNDEKİLER.....                      | 1  |
| 1. DENEY – 1. Eğik Düzlem.....        | 2  |
| 1.1. Statik Sürtünme Katsayısı .....  | 3  |
| 1.2. Kinetik Sürtünme Katsayısı ..... | 3  |
| 2. DENEY– 2. Serbest Düşme .....      | 5  |
| 2.1. Yerçekimi ivmesi Tayini.....     | 6  |
| 3. DENEY – 3. Çarpışmalar.....        | 8  |
| 3.1. Elastik Çarpışma .....           | 10 |
| 3.2. İnelastik Çarpışma.....          | 11 |
| 4. Deney – 4. Hooke Yasası .....      | 12 |
| 4.1. Yay Sabitinin Belirlenmesi ..... | 13 |

## 1. DENEY – 1. Eğik Düzlem

Bu deneyin amacı, sürtünme katsayısını bulmak ve sürtünmenin hareket üzerindeki etkisini incelemektir.

**Kuramsal Ön Bilgi:** Statik sürtünme katsayısını ( $\mu_s$ ) bulmak için eğik düzlem (Şekil-1) üzerindeki bir bloğun hareketi incelenebilir. Eğik düzlemin eğim açısı, blok kaymaya başlayıncaya kadar artırılır. Tam kaymaya başladığı andaki kritik eğim açısı ölçülerek ( $\mu_s$ ) bulunur.

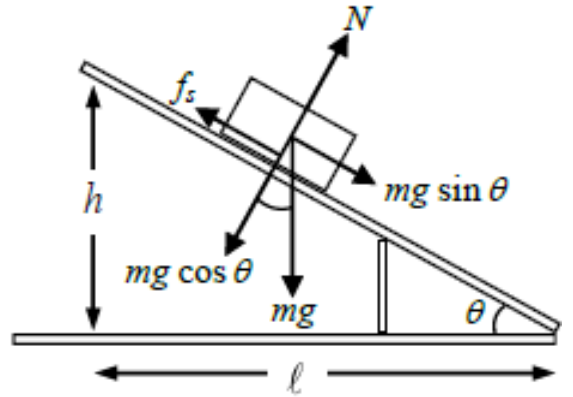
$$mg \sin \theta - f_s = 0; \text{ Burada } f_s = \mu_s N$$

$$mg \sin \theta - \mu_s N = 0$$

$$mg \sin \theta - \mu_s mg \cos \theta = 0$$

$$\mu_s = \tan \theta$$

Şekil-1



Kinetik sürtünme katsayısını ( $\mu_k$ ) bulmak için eğik düzlemin açısı (Şekil-2), kritik eğim açısının biraz üstündeki bir açı değerine ayarlanır. Blok ilk hızsız olarak eğik düzlem üzerine bırakılır. Bu şartlarda blok ivmeli hareket yapar. Bloğun belli mesafeleri ne kadar sürede aldığı ölçülür. Bloğun ivmesi hesaplanarak  $\mu_k$  bulunur.

$$F_{net} = ma; \text{ Newton'un 2. Hareket yasası,}$$

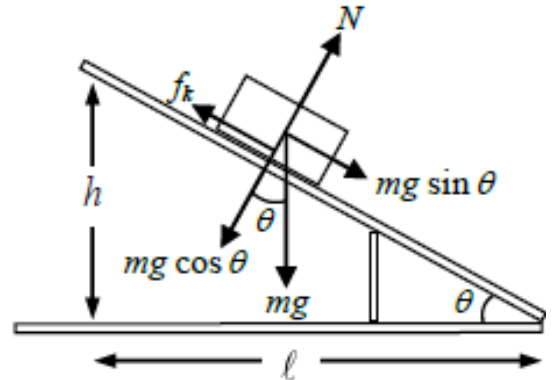
$$mg \sin \theta - f_k = ma; \text{ Burada } f_k = \mu_k N$$

$$mg \sin \theta - \mu_k N = ma; \text{ Burada } N = mg \cos \theta$$

$$mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta = ma$$

$$\mu_k = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta}$$

Şekil-2



### 1.1. Statik Sürtünme Katsayısı

#### Deneyin Yapılışı

- Bloğu, eğik düzlem üzerine yerleştiriniz.  $\theta$  Açısını yavaş yavaş artırarak bloğun harekete başladığı andaki  $\theta$  değerini 3 defa belirleyerek tabloya yazınız.
- Sürtünme katsayısını,  $\mu_s = \tan\theta$  ifadesini kullanarak bulunuz.

|          | $\theta (^{\circ})$ | $\theta_{ort} (^{\circ})$ | $\tan\theta$ | $\mu_s$ |
|----------|---------------------|---------------------------|--------------|---------|
| 1. Ölçüm |                     |                           |              |         |
| 2. Ölçüm |                     |                           |              |         |
| 3. Ölçüm |                     |                           |              |         |

### 1.2. Kinetik Sürtünme Katsayısı

#### Deneyin Yapılışı

- Zaman ölçeri, **MODE 1** (İvmeli hareket) konumuna alınız.

$T_1$ : Bloğun, 1. sensörden geçme zamanı (**Bu deneyde kullanılmıyor.**)

$T_2$ : Bloğun, 1. sensör ile 2. sensör arasındaki mesafeyi geçme zamanı

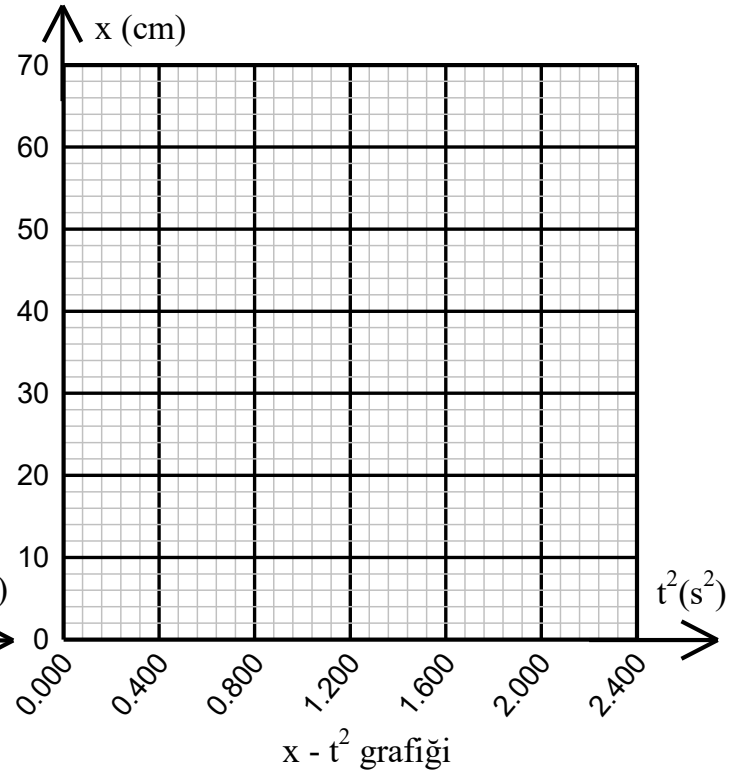
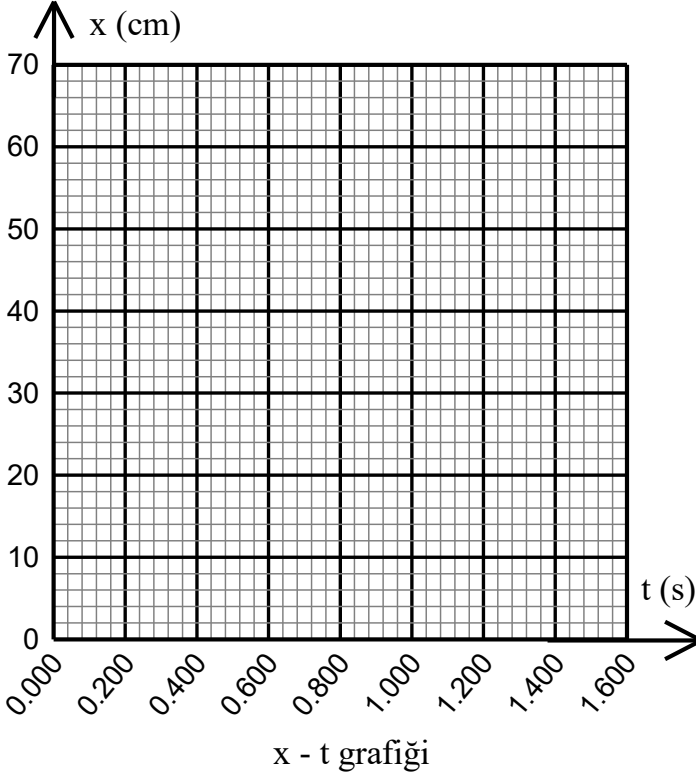
$T_3$ : Bloğun, 2. sensörden geçme zamanı (**Bu deneyde kullanılmıyor.**)

- Eğik düzlemi, blok için kritik açı değerinin biraz üzerindeki bir açı değerine ayarlayarak cismin ivmeli hareket yapmasını sağlayın ve açı değerini tabloya yazınız.
- Bloğu serbest bırakın ve tabloda verilen mesafeler için sensörler arası zamanı ( $t = T_2$ ) kaydedin.
- Tablodaki verileri kullanarak  $(x-t)$  ve  $(x-t^2)$  grafiklerini çiziniz.  $(x-t^2)$  grafiğinin eğimi, aşağıdaki ifadeye eşittir.

$$tg(\theta) = \frac{\Delta x}{\Delta t^2} = \frac{1}{2} a_{den}$$

- $a_{den}$  ivme değerini kullanarak,  $\mu_k = \frac{g \cdot \sin\theta - a_{den}}{g \cdot \cos\theta}$  ifadesinden kinetik sürtünme katsayısını hesaplayınız ve tabloya yazınız.

|                                  |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
|----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| $\theta = \dots\dots\dots^\circ$ |                 |                              | $g = 980 \text{ cm/s}^2$                                                                                             | $\mu_k = \frac{g \cdot \sin\theta - a_{den}}{g \cdot \cos\theta}$ |
| $x \text{ (cm)}$                 | $t \text{ (s)}$ | $(t)^2 \text{ (s}^2\text{)}$ | $a_{deneyse} \text{ (cm/s}^2\text{)}$                                                                                | $\mu_k$                                                           |
| 5                                |                 |                              | $tg(\theta) = \frac{1}{2} a_{den}$<br>$tg(\theta) = \frac{\Delta x}{\Delta t^2} = \frac{x_s - x_i}{[t_s^2 - t_i^2]}$ |                                                                   |
| 10                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 20                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 30                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 40                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 50                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 60                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |
| 70                               |                 |                              |                                                                                                                      |                                                                   |



**Yorum:**

## 2. DENEY– 2. Serbest Düşme

Bu deneyin amacı, serbest düşme ile deneysel olarak yerçekimi ivmesini tayin etmektir.

**Kuramsal Ön Bilgi:** Yukarı veya aşağı fırlatılan bir cismin ivmesi, durgun halden serbest bırakılan bir cismin ivmesi ile aynı (*yerçekimi ivmesi*) ivmeye sahip olur. Hava direnci ihmal edilir ve yerçekimi ivmesinin yükseklikle değişmediği kabul edilirse, serbest düşen bir cismin hareketi, bir-boyutlu sabit ivmeli harekete benzer olur. Düşey yukarı yön, pozitif y-ekseni olarak seçilirse, düşme olayının yönü aşağı doğru olur. Böylece ivme aşağıdaki gibi yazılır.

$$\vec{a} = -g\hat{j}$$

Burada  $g$ , yerin merkezine doğru yönelmiş olan, yerçekimi ivmesidir. Yer yüzeyinde  $g$ 'nin büyüklüğü CGS birim sisteminde yaklaşık olarak  $980 \text{ cm/s}^2$ 'dir. O halde, serbest düşen bir cismin kinematik eşitliği aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$y_s - y_i = v_{yo}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Cisim durgun halden harekete başlarsa ilk hızı sıfır olacağında yeni denklem aşağıdaki gibi olur.

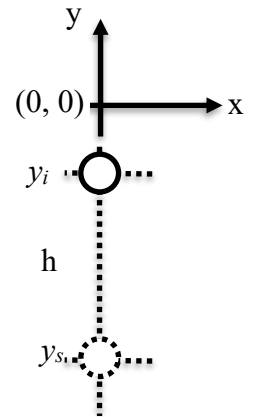
$$y_s - y_i = -h = -\frac{1}{2}gt^2 \rightarrow h = \frac{1}{2}gt^2$$

Burada;

$y_s$  : Cismin son konumunu,

$y_i$  : Cismin ilk konumunu,

$t$  : Hareket için geçen süreyi göstermektedir.



## 2.1. Yerçekimi ivmesi Tayini

### Deneyin Yapılışı

- Metal bilyeyi elektro mıknatısa yerleştiriniz.
- Sensörleri hareket ettirerek, sensörler arası mesafeyi ayarlayınız.
- Tabloda verilen yükseklik (***h***) değerlerine karşılık gelen zamanları ölçünüz.
- Tabloya kaydedilen değerleri kullanarak (***h – t***) ve (***h – t<sup>2</sup>***) grafiklerini çiziniz.
- (***h – t<sup>2</sup>***) grafiğinden elde edilen doğrunun eğimi aşağıdaki ifadeye eşittir.

$$tg(\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta t^2} = \frac{1}{2} g_{den}$$

- Grafikten deneysel yerçekimi (***g<sub>den</sub>***) ivmesinin büyüklüğünü bulunuz.
- Yerçekimi ivmesinin teorik değeri (980 cm/s<sup>2</sup>) ile deneysel değeri arasındaki %hatayı bulunuz.

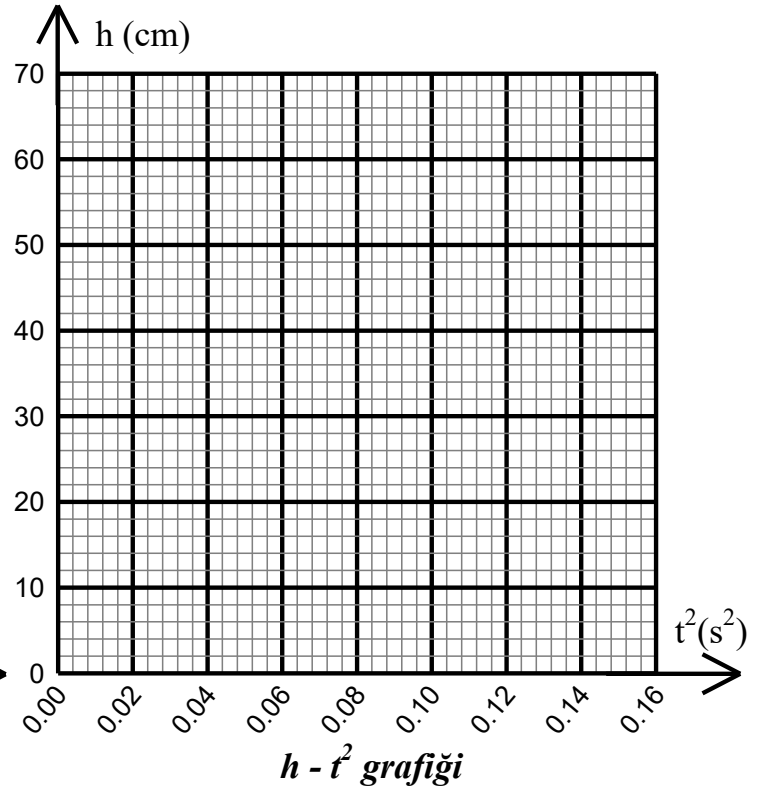
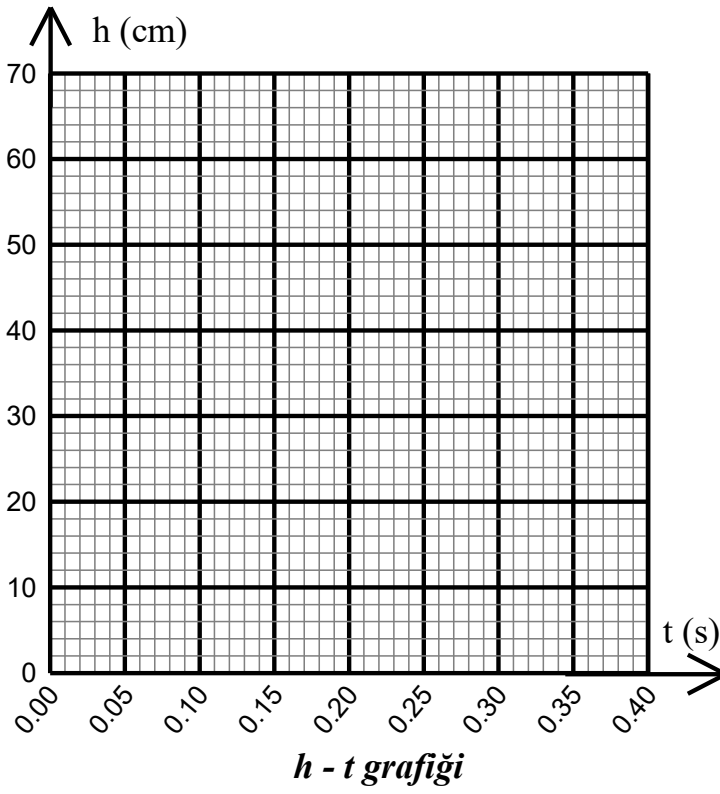
$$tg(\alpha) = \frac{1}{2} g_{den} = \frac{\Delta h}{\Delta t^2} = \frac{h_s - h_i}{[t_s^2 - t_i^2]} =$$

$$\% Hata = \frac{|Beklenen - Bulunan|}{Beklenen} \times 100 =$$

**Yorum:**

Tablo 1. Metal bilye için alınan ölçümler

| $h$ (cm) | $t$ (s) | $t^2$ (s <sup>2</sup> ) |
|----------|---------|-------------------------|
| 6        |         |                         |
| 10       |         |                         |
| 20       |         |                         |
| 30       |         |                         |
| 40       |         |                         |
| 50       |         |                         |
| 60       |         |                         |
| 70       |         |                         |

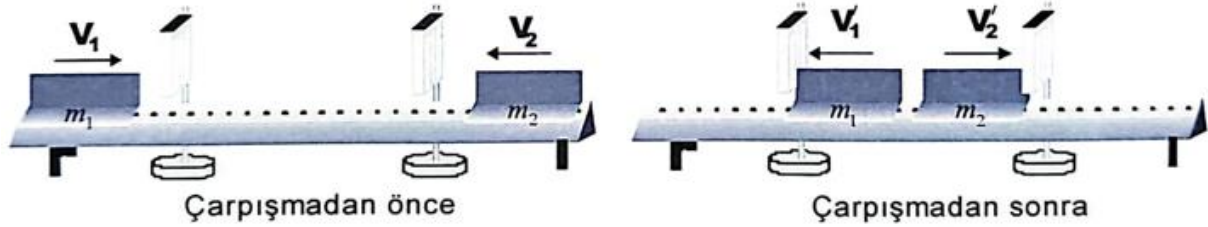


### 3. DENEY – 3. Çarpışmalar

Bu deneyin amacı, esnek ve esnek olmayan çarpışmalarda momentum ve kinetik enerjinin korunup korunmadığını incelemektir.

**Kuramsal Ön Bilgi:** Momentum ( $\vec{P} = m\vec{v}$ ), bir cismin kütlesi ( $m$ ) ile hızının ( $\vec{v}$ ) çarpımına eşittir. Vektörel bir büyüklüktür. Birimi “CGS” birim sisteminde g.cm/s’dir. Yalıtılmış sistemde cisimler çarpıştığı zaman çarpışmanın türüne bakılmaksızın toplam momentum korunur. Çarpışmalar esnek ve esnek olmayan (inelastik) çarpışma diye ikiye ayrılabilir.

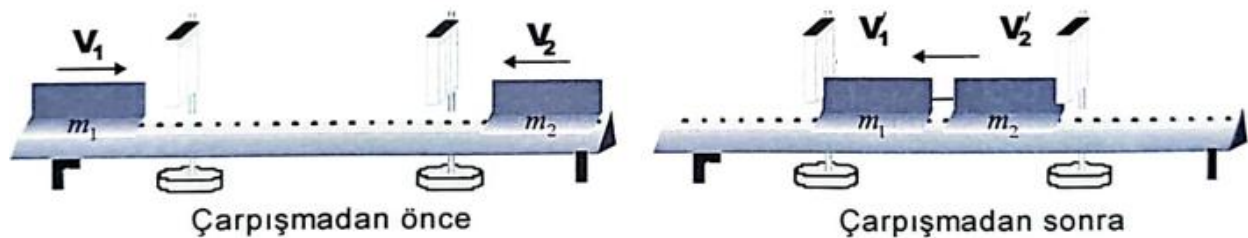
**1) Esnek Çarpışmalar:** Elastik çarpışmalarda hem toplam momentum hem de toplam kinetik enerji korunur.



$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{V}_1' + m_2\vec{V}_2' \quad (\text{Momentumun Korunumu})$$

$$\frac{1}{2}m_1V_1^2 + \frac{1}{2}m_2V_2^2 = \frac{1}{2}m_1V_1'^2 + \frac{1}{2}m_2V_2'^2 \quad (\text{Kinetik Enerjinin Korunumu})$$

**2) Esnek Olmayan Çarpışmalar:** Çarpıştığında cisimler birbirini ile yapışarak hareket ederse, bu tür çarpışmalara tamamen esnek olmayan çarpışma denir. Cisimler ortak hız ile hareket ederler. Bu çarpışma türünde çarpışan cisimlerin oluşturduğu sistemin kinetik enerjisi korunmaz. Kinetik enerjinin bir kısmı başka bir enerji formuna dönüşür.



$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = (m_1 + m_2)\vec{V}_{ortak} \quad (\text{Momentumun Korunumu})$$

$$\frac{1}{2}m_1V_1^2 + \frac{1}{2}m_2V_2^2 \neq \frac{1}{2}(m_1 + m_2)V_{ortak}^2 \quad (\text{Kinetik Enerjinin Korunumu})$$

## Deneye Hazırlık

- Kızak uzunluklarını ( $l_1$  ve  $l_2$ ) ölçün,  $m_1$  ve  $m_2$  kütlelerini tartın ve değerlerini tablo yazınız.
- Hava rayını mümkün olduğunca düz bir zemine yerleştiriniz ve basınçlı hava kaynağını açınız.

**ÖNEMLİ NOT: HAVA KAYNAĞINI ÇALIŞTIRMADAN KIZAKLARI HAVA RAYI ÜZERİNE KESİNLİKLE KOYMAYIN VE KIZAKLARI HAREKET ETTİRMEYİN!**

- Hava akış hızını uygun bir değere ayarladıktan sonra kızaklara elastik çarpışma aparatlarını takın (**MIKTATISLI**) ve hava rayı üzerine yerleştiriniz. Hava rayının ayaklarını kullanarak kızakların hareketsiz kalmasını sağlayınız. Eğer sorun yaşanırsa bu iş için su terazisi kullanabilirsiniz.
- Zaman sensörlerini uygun konumlara yerleştiriniz.

## Bazı Gözlemler

- Eğer çarpışan cisimlerin kütleleri ( $m_1 \cong m_2$ ) eşit ise cisimler çarpıştıktan sonra hızlarını birbirine aktarırlar.

***Kızaklardan birini duran kızağa doğru hareket ettirerek, kızakların çarpışmasını sağlayın. Çarpışmadan sonra kızakların hareketini gözlemleyin.***

- Momentumları büyüklükleri ( $|\vec{P}_1| = |\vec{P}_2|$ ) eşit (Örneğin  $m_1 = m_2$  ise  $|\vec{V}_1| = |\vec{V}_2|$ ) olacak şekilde cisimler çarpışırlarsa, çarpıştıktan sonra cisimler geldikleri hızlar ile geri dönerler.

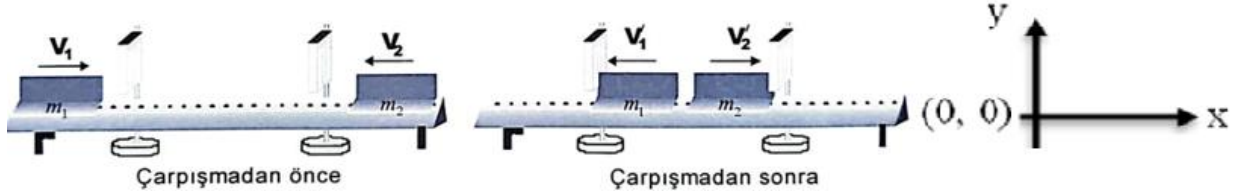
***Kütleleri aynı olan kızakları, yaklaşık hızları birbiriyle aynı olacak şekilde, birbirine doğru hareket ettirin ve kızakların hareketini gözlemleyin.***

**NOT:** Gerçek bir ortamda deney yapıldığı için teorik olarak korunmasını beklediğimiz büyüklüklerde bir kayıp olabilir.

## Yorum:

### 3.1. Elastik Çarpışma

- Zaman ölçeri, **MODE 2** (Elastik çarpışma) konumuna getiriniz ve kızaklara elastik çarpışma aparatlarının (*muknatıslı*) takıldığından emin olunuz.
- Kızakların her ikisini de rayların üzerinde makul bir hızla, birbirine doğru yollayın ve bu modda ölçülen zamanları kaydediniz.



$T_{11}$ : 1. Kızağın 1. sensörden geçme süresi ( $V_1$  için)

$T_{21}$ : 2. Kızağın 2. sensörden geçme süresi ( $V_2$  için)

$T_{12}$ : 1. Kızağın çarpışmadan sonra tekrar 1. sensörden geçme süresi ( $V_1'$  için)

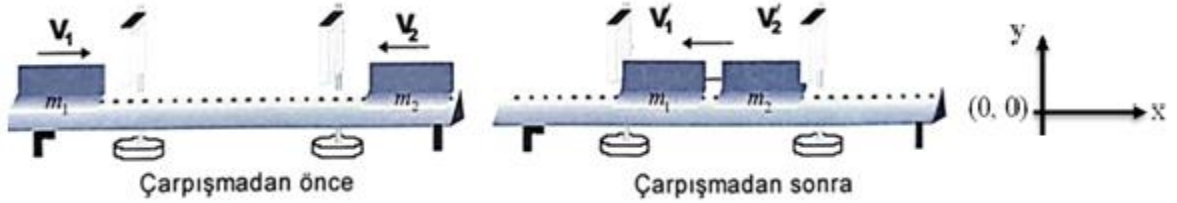
$T_{22}$ : 2. Kızağın çarpışmadan sonra tekrar 2. sensörden geçme süresi ( $V_2'$  için)

- $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_1'$  ve  $V_2'$  hızlarını, yönlerine dikkat ederek  $x = v \cdot t$  bağıntısı ile hesaplayınız.
- Momentum ve kinetik enerjinin korunup korunmadığını test ediniz.
- Momentum için % hatayı hesaplayınız. Hata kaynaklarını yorumlayınız.

| ELASTİK ÇARPİŞMA      | 1. Kızak             |               | 2. Kızak                   |               |
|-----------------------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|
|                       | $m_1$ (g)            |               | $m_2$ (g)                  |               |
|                       | $l_1$ (cm)           |               | $l_2$ (cm)                 |               |
|                       | $T_{11}$ (s)         |               | $T_{21}$ (s)               |               |
|                       | $T_{12}$ (s)         |               | $T_{22}$ (s)               |               |
|                       | $V_1$ (cm/s)         |               | $V_2$ (cm/s)               |               |
|                       | $V_1'$ (cm/s)        |               | $V_2'$ (cm/s)              |               |
|                       | Çarpışmadan önce     |               | Çarpışmadan sonra          |               |
|                       | Momentum<br>(g.cm/s) | K. E<br>(Erg) | Momentum<br>(g.cm/s)       | K. E<br>(Erg) |
| 1. Kızık              |                      |               |                            |               |
| 2. Kızık              |                      |               |                            |               |
| Toplam                |                      |               |                            |               |
| Momentum<br>(% Hata)  |                      |               | Momentum<br>korunuyor mu?  |               |
| K. Enerji<br>(% Hata) |                      |               | K. Enerji<br>korunuyor mu? |               |

### 3.2. İnelastik Çarpışma

- Arayüzünü **MODE 3** (Elastik olmayan çarpışma) konumuna getirin ve kızaklara elastik olmayan çarpışma aparatlarını (*Cirt – cirt bantları*) takın. Kızakların her ikisini de rayların üzerinde makul ölçüde birbirine doğru hareket ettirin ve bu modda ölçülen zamanları kaydedin.



T<sub>11</sub>: 1. Kızağın 1. sensörden geçme süresi ( $V_1$  için) (İlk momentumu küçük)  
T<sub>21</sub>: 2. Kızağın 2. sensörden geçme süresi ( $V_2$  için) (İlk momentumu büyük)  
T<sub>12</sub>: İlk momentumu küçük olan kızağın tekrar 1. sensörden geçme süresi ( $V_{ort}$  için)  
T<sub>13</sub>: İlk momentumu büyük olan kızağın, momentumu küçük olan kızak tarafındaki sensörden (1. Sensör) geçme süresi ( $V_{ort}$  için)

- $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_1'$  ve  $V_2'$  hızlarını yönlerine dikkat ederek hesaplayın.
- Momentum ve kinetik enerjinin korunup korunmadığını test edin.
- Momentum için % hatayı hesaplayın. Hata kaynaklarını yorumlayın.

| İNELASTİK ÇARPİŞMA    | 1. Kızak (momentumu küçük) |               | 2. Kızak (momentumu büyük) |               |
|-----------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
|                       | $m_1$ (g)                  |               | $m_2$ (g)                  |               |
|                       | $l_1$ (cm)                 |               | $l_2$ (cm)                 |               |
|                       | T <sub>11</sub> (s)        |               | T <sub>21</sub> (s)        |               |
|                       | T <sub>12</sub> (s)        |               | T <sub>13</sub> (s)        |               |
|                       | $V_1$ (cm/s)               |               | $V_2$ (cm/s)               |               |
|                       | $V_1' = V_2' = V_{ortak}$  | ..... (cm/s)  |                            |               |
|                       | Çarpışmadan Önce           |               | Çarpışmadan sonra          |               |
|                       | Momentum<br>(g.cm/s)       | K. E<br>(Erg) | Momentum<br>(g.cm/s)       | K. E<br>(Erg) |
| 1. Kızık              |                            |               |                            |               |
| 2. Kızık              |                            |               |                            |               |
| Toplam                |                            |               |                            |               |
| Momentum<br>(% Hata)  |                            |               | Momentum<br>korunuyor mu?  |               |
| K. Enerji<br>(% Hata) |                            |               | K. Enerji<br>korunuyor mu? |               |

#### 4. Deney – 4. Hooke Yasası

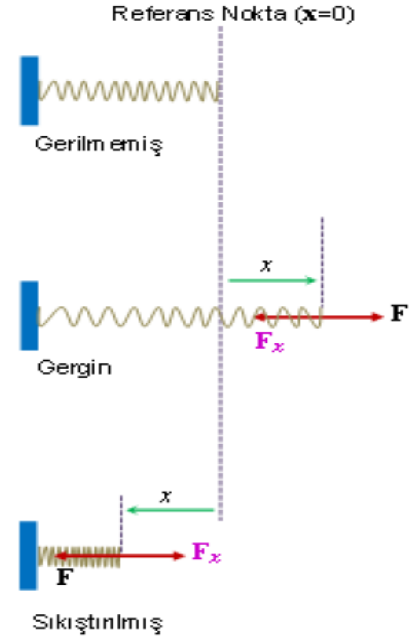
Bu deneyin amacı, Hooke yasasına uyan bir yayın yay sabitinin bulunmasıdır.

**Kuramsal Ön Bilgi :** Esnek bir yaya kuvvet uygulanması durumunda yayda gerilme veya sıkışma gerçekleşir. Yay normal (serbest durum) uzunluğundan  $x$  kadar gergin tutmak için gereken dış kuvvet aşağıdaki gibidir.

$$F = kx \quad (\text{Dış kuvvet})$$

Burada  $k$ , yayın kuvvet sabiti olup, yayın sertliğinin bir ölçüsüdür. Bununla birlikte aşağıdaki gibi yay, dış kuvvet ile ters yönde bir **geri çağırıcı kuvvet** oluşturur.

$$F = -kx \quad (\text{Hooke Yasası})$$



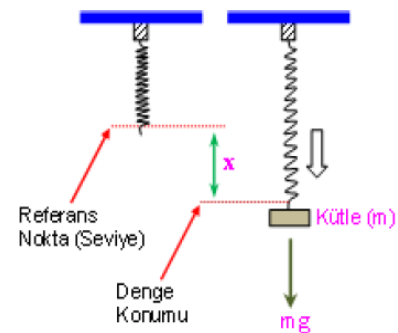
**Hooke Yasası**, esneklik sınırı aşılmadığı sürece geçerlidir. Buradaki **eksi** işareti, yayın uyguladığı kuvvetin geri çağırıcı olduğunu temsil eder ve her zaman denge konumuna doğru olduğunu gösterir. Yaylar seri ve paralel bağlanırsa eşdeğer yay sabiti ( $k_{eş}$ ) aşağıdaki gibi bulunur.

Seri Bağlı Yaylar :  $k_{eş} = k_1 + k_2 + k_3 + \dots$

Paralel Bağlı Yaylar :  $\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots$

Şekilde gösterildiği gibi, düşey doğrultuda bir yaya kütle ( $m$ ) bağlanırsa yayda bir kuvvet oluşur. Yayı geren kuvvetin büyüklüğü, kütle üzerine etki eden yerçekimi kuvvetinin (**ağırlık**) büyüklüğüne eşit olur.

$$mg = kx$$



#### 4.1. Yay Sabitinin Belirlenmesi

##### Deneyin Yapılışı

- **1. yayın** ucuna kütle yokken yayın denge konumunu ( $x_0$ ) belirleyiniz.
- Tabloda verilen kütleleri asarak, her bir ağırlık için yay konumunu ( $x_i$ ) ölçünüz.
- **(F – x) grafiğini** çiziniz. Grafiğin eğiminden  $tg(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} = k_1$  yay sabitini bulunuz.
- **2. yay** için aynı işlemleri tekrarlayarak  $k_2$  yay sabitini bulunuz.
- İki yayı uç uca (**Seri**) bağlayıp eşdeğer yayın ( $k_{eş}$ ) yay sabitini aynı yolla bulunuz.
- İki yayı yan yana (**Paralel**) bağlayıp eşdeğer yayın ( $k_{eş}$ ) yay sabitini aynı yolla bulunuz.
- Seri ve paralel yayların esneklik katsayılarını teorik formüller ile kıyaslayın.

$$1. \text{ Yay} \quad : k_1 = tg(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} =$$

$$2. \text{ Yay} \quad : k_2 = tg(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} =$$

$$\text{Seri bağlı yaylar} \quad : k_{Seri} = tg(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} =$$

$$\text{Paralel bağlı yaylar} \quad : k_{Paralel} = tg(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} =$$

$$\text{Seri Yaylar} \quad : k_{eş} = k_1 + k_2$$

$$\text{Paralel Yaylar} \quad : \frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} =$$

**Yorum:**

| Asılan kütle<br>$m_i$ , (g) | Kütlenin ağırlığı<br>$F=(m_i \cdot g)$ |       | 1. Yay                 |                                  | 2. Yay                 |                                  | Seri Bağlı Yaylar      |                                  | Paralel Bağlı Yaylar   |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------------|-------|------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                             |                                        |       | Konum<br>(cm)<br>$x_i$ | Uzama<br>(cm)<br>$x = x_i - x_0$ | Konum<br>(cm)<br>$x_i$ | Uzama<br>(cm)<br>$x = x_i - x_0$ | Konum<br>(cm)<br>$x_i$ | Uzama<br>(cm)<br>$x = x_i - x_0$ | Konum<br>(cm)<br>$x_i$ | Uzama<br>(cm)<br>$x = x_i - x_0$ |
| Boş Askı                    | —                                      | $x_0$ |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |
| 50                          |                                        | $x_1$ |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |
| 100                         |                                        | $x_2$ |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |
| 150                         |                                        | $x_3$ |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |
| 200                         |                                        | $x_4$ |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |                        |                                  |

$g =$

