FİZİK – I (MEKANİK) DENEY FÖYÜ (07.10.2026)

Hazırlayan: Prof. Dr. İsmail POLAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

İÇİNDEKİLER 1
1. EĞİK DÜZLEM 2
1.1. Statik Sürtünme Katsayısı 3
1.2. Kinetik Sürtünme Katsayısı 3
2. SERBEST DÜŞME 6
2.1. Yerçekimi ivmesi Tayini 7
3. ÇARPIŞMALAR 9
3.1. Esnek Çarpışma 11
3.2. Esnek olmayan Çarpışma 12
4. HOOKE YASASI 13
4.1. Yay Sabitinin Belirlenmesi 14

EKİM 2026

1. EĞİK DÜZLEM

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

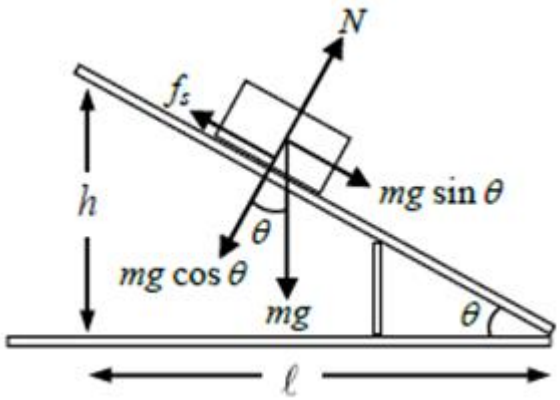
Kuramsal Ön Bilgi: Statik sürtünme katsayısını (μ_s) bulmak için eğik düzlem (Şekil-1) üzerindeki bir bloğun hareketi incelenebilir. Eğik düzlemin eğim açısı, blok kaymaya başlayıncaya kadar artırılır. Tam kaymaya başladığı andaki kritik eğim açısı ölçülerek (μ_s) bulunur.

$mgsin\theta - f_s = 0;\ Burada\ f_s = \mu_s N$

$mgsin\theta - \mu_s N = 0$

$mgsin\theta - \mu_s mgcos\theta = 0$

$\mu_s = tan\theta$



Şekil-1

Kinetik sürtünme katsayısını (μ_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 μ_k bulunur.

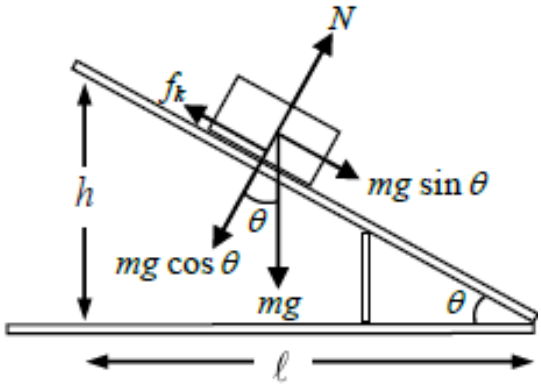
$F_{net} = ma$; Newton'un 2. Hareket yasası,

$mgsin\theta - f_k = ma;\ \ Burada\ f_k = \mu_k N$

$mgsin\theta - \mu_k N = ma;\ Burada\ N = \ mgcos\theta$

$mgsin\theta - \mu_k mgcos\theta = ma$

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



Şekil-2

1.1. Statik Sürtünme Katsayısı

Deneyin Yapılışı

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

	$\theta\,(°)$	$\theta_{Ort}\,(°)$	$Tan\theta$	μ_s
1. Ölçüm	16	16.17	0.290	0.290
2. Ölçüm	16.5			
3. Ölçüm	16			

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.**)

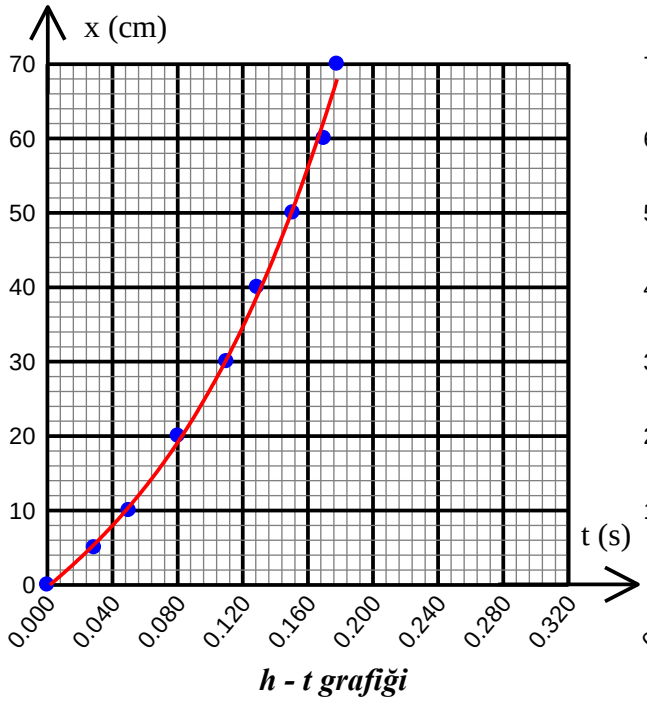
- Eğik düzlemi, blok için kritik açı değerinin biraz üzerindeki bir açı değerine ayarlayarak cismin ivmeli hareket yapmasını sağlayın ve açı değerini tabloya yazınız.
- Bloğu serbest bırakın ve tabloda verilen mesafeler için sensörler arası zamanı (***t* = T_2**) kaydedin.
- Tablodaki verileri kullanarak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

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

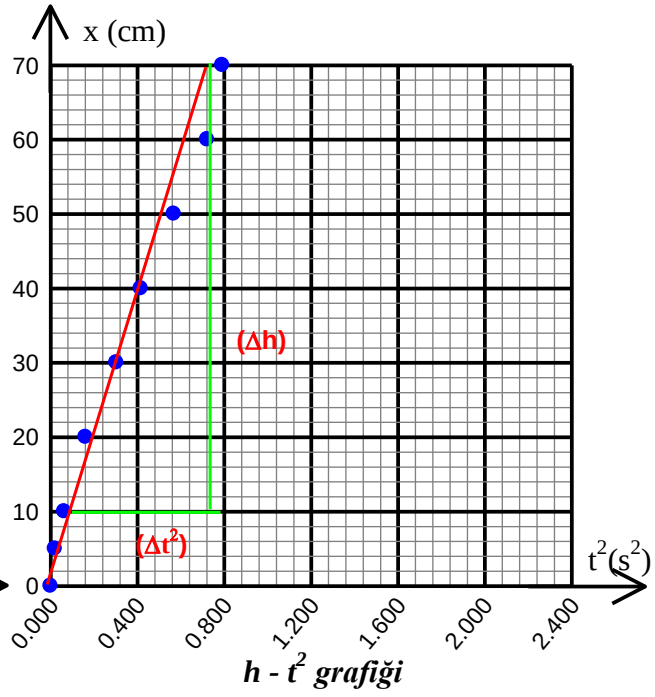
- $\boldsymbol{a_{den}}$ ivme değerini kullanarak, eğik düzlemin açısı θ olmak üzere, $\mu_k = \frac{g.sin\theta - a_{den}}{g.cos\theta}$ ifadesinden kinetik sürtünme katsayısını hesaplayınız ve tabloya yazınız.

θ = … 22 … ° (Eğik düzlemin açısı)	$g = 980\ cm/s^2$	$\mu_k = \frac{g.sin\theta - a_{den}}{g.cos\theta}$

x (cm)	*t (s)*	$(t)^2(s^2)$	$a_{deneysel}\ (cm/s^2)$	μ_k
0	0	0	β açısı, $x - t^2$ grafiğinden oluşturulun doğrunun eğim açısıdır.	$\mu_k = \frac{980.sin22 - 187.5}{980.cos22}$
5	0.1436	0.02062		
10	0.2505	0.06275	$tan(\beta) = \frac{\Delta x}{\Delta t^2} = \frac{x_s - x_i}{(t_s{}^2 - t_i{}^2)} = \frac{1}{2} a_{den}$	
20	0.4015	0.16120		$\mu_k = 0.198$
30	0.5507	0.30327	$tan(\beta) = \frac{70-10}{(0.720-0.08)} = 93.75$	
40	0.6448	0.41577		
50	0.7539	0.56837	$a_{den} = 2.tan(\beta) = 187.5\ cm/s^2$	
60	0.8495	0.72166		
70	0.8895	0.79121		



h - t grafiği



h - t^2 grafiği

Yorum: Deneyde elde ettiğiniz değerler fiziksel beklentilerle uyum içindedir. **Statik sürtünme katsayısı (μ_s = 0.290)** her zaman kinetik sürtünme katsayısından **(μ_k = 0.198)** büyük olmalıdır. Yapılan deneyde bu durum doğrulanmıştır. Bu bir cismi hareketten durdurmaktansa, harekete geçirmenin daha fazla kuvvet gerektirdiği anlamına gelir.

Sürtünme katsayısı	Bulunan Değer	Açıklama
μ_s	0.290	Cisim yaklaşık 16.17° eğim açısında kaymaya başlar.
μ_k	0.198	Cisim yaklaşık 16.17° den büyük açılarda ivmeli hareket yapar.

Hata Kaynakları ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

- **Yüzey pürüzlülüğünün homojen olmaması:** Farklı bölgelerde ölçüm yapılırsa değerler değişebilir.
- **Açı ölçüm hassasiyeti:** Eğim açısını ölçerken yapılan küçük hatalar katsayıyı doğrudan etkiler.
- **Cismin sürüklenmesi vs. yuvarlanması:** Cisim kaymak yerine kısmen yuvarlandıysa elde edilen değer gerçek sürtünme katsayısını yansıtmaz.
- **Tekrar sayısı:** Daha fazla ölçüm yapıp ortalama almak güvenilirliği artırır.

Deneyin sonuçları teorik çerçeveyle uyumlu, tutarlı ve fiziksel açıdan anlamlıdır. $\mu_s > \mu_k$ koşulunun sağlanmış olması, deneyin doğru yürütüldüğüne işaret etmektedir. Kullanılan yüzey ve cismin malzeme özelliklerine göre bu değerler değişebilir.

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 cisin 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.

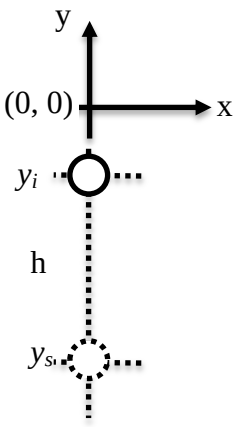
$$\vec{a} = -g\hat{j}$$

Burada ***g***, yerin merkezine doğru yönelmiş olan, yerçekimi ivmesidir. Yer yüzeyinde ***g***'nin büyüklüğü CGS birim sisteminde yaklaşık olarak 980 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.

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



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 – t²***) grafiklerini çiziniz.
- (***h – t²***) grafiğinden elde edilen doğrunun eğimi aşağıdaki ifadeye eşittir.

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

- Grafikten deneysel yerçekimi ***(g_{den})*** ivmesinin büyüklüğünü bulunuz.
- Yerçekimi ivmesinin teorik değeri (980 cm/s^2) ile deneysel değeri arasındaki % hatayı bulunuz.

$$tan(\alpha) = \frac{1}{2} g_{den} = \frac{\Delta h}{\Delta t^2} = \frac{h_s - h_i}{({t_s}^2 - {t_i}^2)} = \frac{52-8}{(0.096-0.016)} = 550$$

$$g_{den} = 2x550 = 1100\ cm/s^2$$

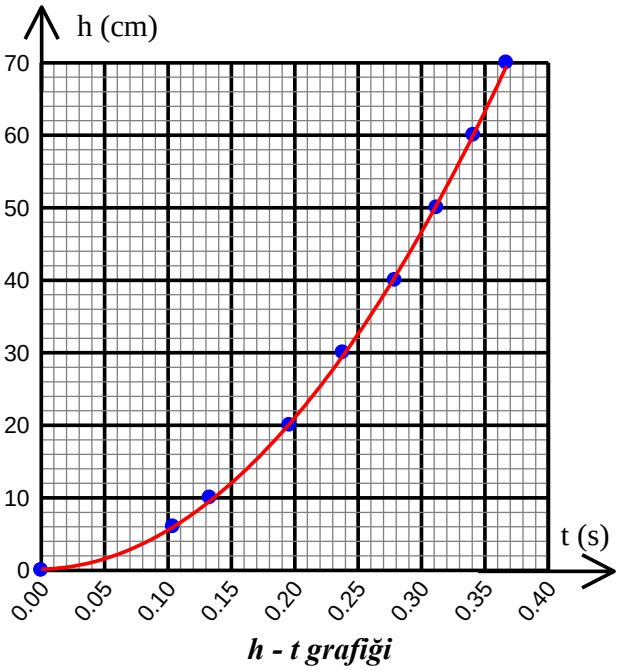
$$\%\ Hata = \frac{|980-1100|}{980} x100 = 12.2 \rightarrow \%12.2$$

Yorum: Serbest düşme deneyinde yerçekim ivmesinin deneysel değeri $\mathbf{g_{den}}$ **= 1100 cm/s²** olarak ölçülmüştür. Teorik değer olan 980 cm/s² ile karşılaştırıldığında yüzde hata **%12.2** olarak hesaplanmıştır. Bu sapma, deneysel çalışmalarda kabul edilebilir sınır olarak benimsenen %15'in altında kaldığından deney sonucu **geçerli** kabul edilebilir.

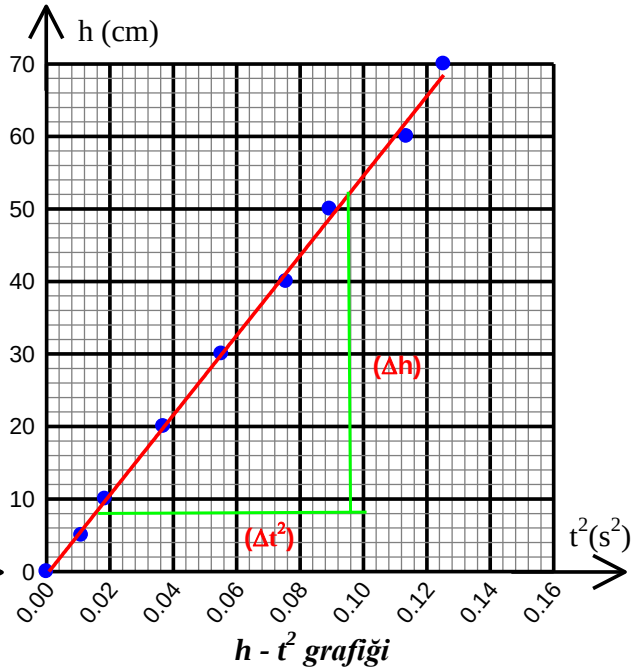
Ölçülen değerin teorik değerin üzerinde çıkmasının başlıca nedeni olarak elektromıknatısın topu serbest bırakma anı ile sayacın tetiklenme anı arasındaki küçük zaman gecikmesi gösterilebilir. Bu gecikme ölçülen düşme süresini kısaltarak hesaplanan g değerini olduğundan yüksek göstermektedir. Bunun yanı sıra elektromıknatısın alt ucu ile alttaki sensörün merkezi arasındaki mesafenin tam olarak ölçülememesi de hataya katkıda bulunmuş olabilir. Daha hassas bir mesafe ölçümü ve düzeneğin sistematik gecikmesinin kalibrasyon ile giderilmesi durumunda teorik değere daha yakın sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 1. Metal bilye için alınan ölçümler

h (cm)	***t* (s)**	**t^2 (s^2)**
0	**0**	**0**
6	0.104	0.01082
10	0.133	0.0177
20	0.196	0.0384
30	0.238	0.0566
40	0.279	0.0778
50	0.312	0.0973
60	0.341	0.1163
70	0.367	0.1347



h - t grafiği



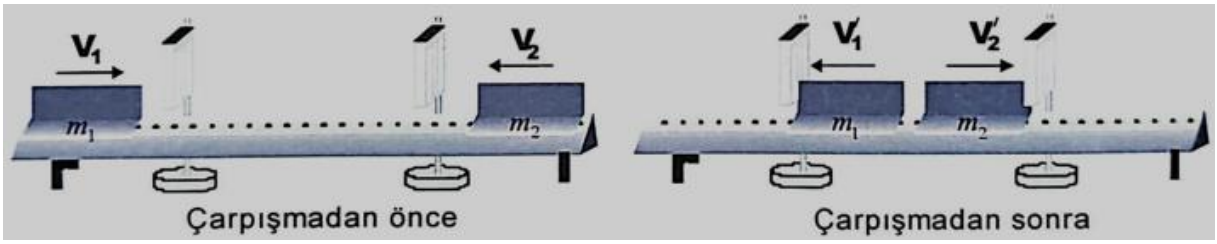
h - t^2 grafiği

3. ÇARPIŞMALAR

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.

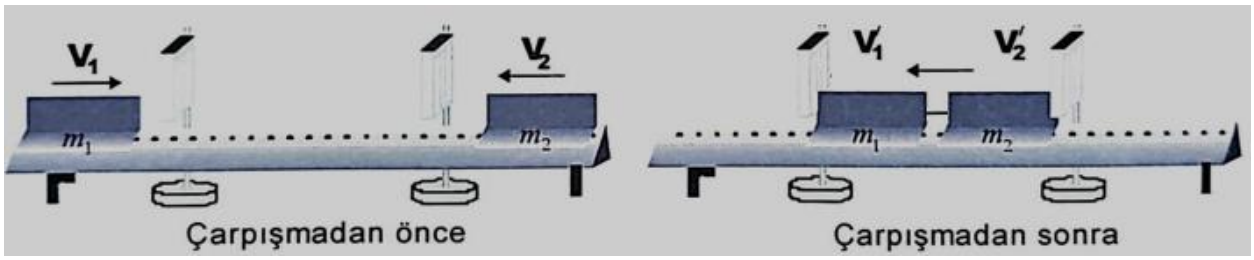
1) Esnek Çarpışmalar: Elastik çarpışmalarda hem toplam momentum hem de toplam kinetik enerji korunur.



$m_1\overrightarrow{V_1} + m_2\overrightarrow{V_2} = m_1\overrightarrow{V_1'} + m_2\overrightarrow{V_2'}$ (Momentumun Korunumu)

$\frac{1}{2}m_1{V_1}^2 + \frac{1}{2}m_2{V_2}^2 = \frac{1}{2}m_1{V_1'}^2 + \frac{1}{2}m_2{V_2'}^2$ (Kinetik Enerjinin Korunumu)

2) Esnek Olmayan Çarpışmalar: Çarpıştığında cisimler birbiri 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.



$m_1\overrightarrow{V_1} + m_2\overrightarrow{V_2} = (m_1 + m_2)\vec{V}_{ortak}$ (Momentumun Korunumu)

$\frac{1}{2}m_1{V_1}^2 + \frac{1}{2}m_2{V_2}^2 \neq \frac{1}{2}m_1{V_{ortak}}^2 + \frac{1}{2}m_2{V_{ortak}}^2$ (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 ($\left|\overrightarrow{P_1}\right| = \left|\overrightarrow{P_2}\right|$) eşit (Örneğin $m_1 = m_2$ ise $\left|\overrightarrow{V_1}\right| = \left|\overrightarrow{V_2}\right|$) olacak şekilde cisimler çarpışırlarsa, çarpıştıktan sonra cisimler geldikleri hızlar ile geri dönerler.

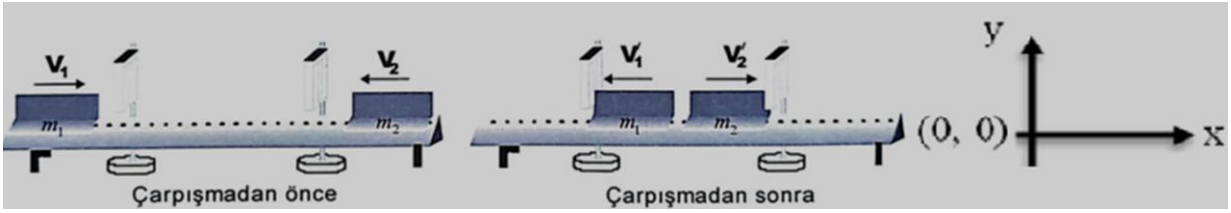
Kütleleri aynı olan kızakları, yaklaşık hızları birbiriyle aynı olacak şekilde, birbirine doğru hareket ettirin ve kızakların hareketini gözlemleyin.

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

Yorum:

3.1. Esnek Çarpışma

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



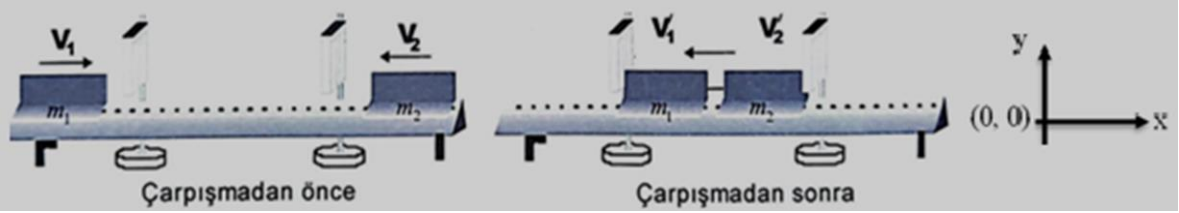
T_{11}: 1. Kızağın 1. sensörden geçme süresi (V_1 için)
T_{21}: 2. Kızağın 2. sensörden geçme süresi (V_2 için)
T_{12}: 1. Kızağın çarpışmadan sonra tekrar 1. sensörden geçme süresi (V_1' için)
T_{22}: 2. Kızağın çarpışmadan sonra tekrar 2. sensörden geçme süresi (V_2' için)

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

ELASTİK ÇARPIŞMA	**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 (g.cm/s)	**K. E (Erg)**	**Momentum (g.cm/s)**	**K. E (Erg)**
1. Kızık				
2. Kızık				
Toplam				
Momentum (% Hata)			**Momentum korunuyor mu?**	
K. Enerji (% Hata)			**K. Enerji korunuyor mu?**	

3.2. Esnek olmayan Çarpışma

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



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

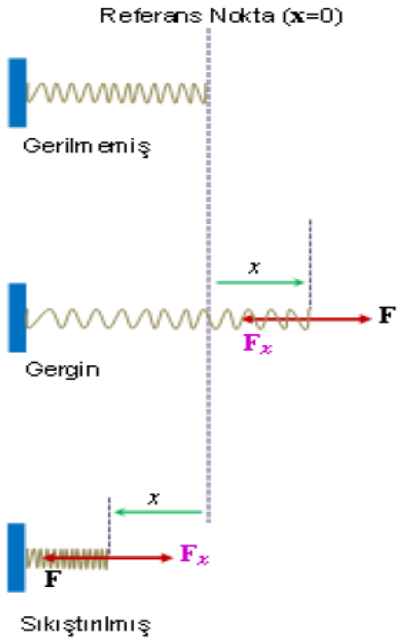
- V_1, V_2, V_1' ve V_2' hızlarını yönlerine dikkat ederek hesaplayın.
- Momentum ve kinetik enerjinin korunup korunmadığını test edin.
- Momentum için % hatayı hesaplayın. Hata kaynaklarını yorumlayın.

İNELASTİK ÇARPIŞMA	**1. Kızak (momentumu küçük)**		**2. Kızak (momentumu büyük)**	
	m_1 (g)		m_2 (g)	
	l_1 (cm)		l_2 (cm)	
	T_{11} (s)		T_{21} (s)	
	T_{12} (s)		T_{13} (s)	
	V_1 (cm/s)		V_2 (cm/s)	
	$V_1' = V_2' = V_{ortak}$	……. (cm/s)		
	Çarpışmadan Önce		**Çarpışmadan sonra**	
	Momentum (g.cm/s)	**K. E (Erg)**	**Momentum (g.cm/s)**	**K. E (Erg)**
1. Kızık				
2. Kızık				
Toplam				
Momentum (% Hata)			**Momentum korunuyor mu?**	
K. Enerji (% Hata)			**K. Enerji korunuyor mu?**	

4. HOOKE YASASI

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. Yayı normal (serbest durum) uzunluğundan x kadar gergin tutmak için gereken dış kuvvet aşağıdaki gibidir.



$$F = kx \quad (Dış\ kuvvet)$$

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.

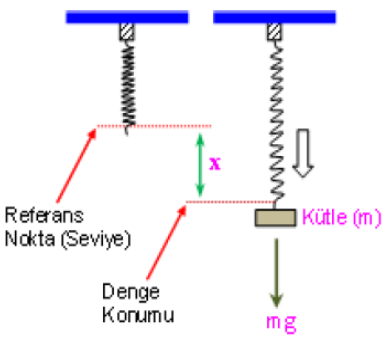
$$F = -kx \quad (Hooke\ Yasası)$$

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.

Paralel Bağlı Yaylar : $k_{eş} = k_1 + k_2 + k_3 + \cdots$

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

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.



$$mg = kx$$

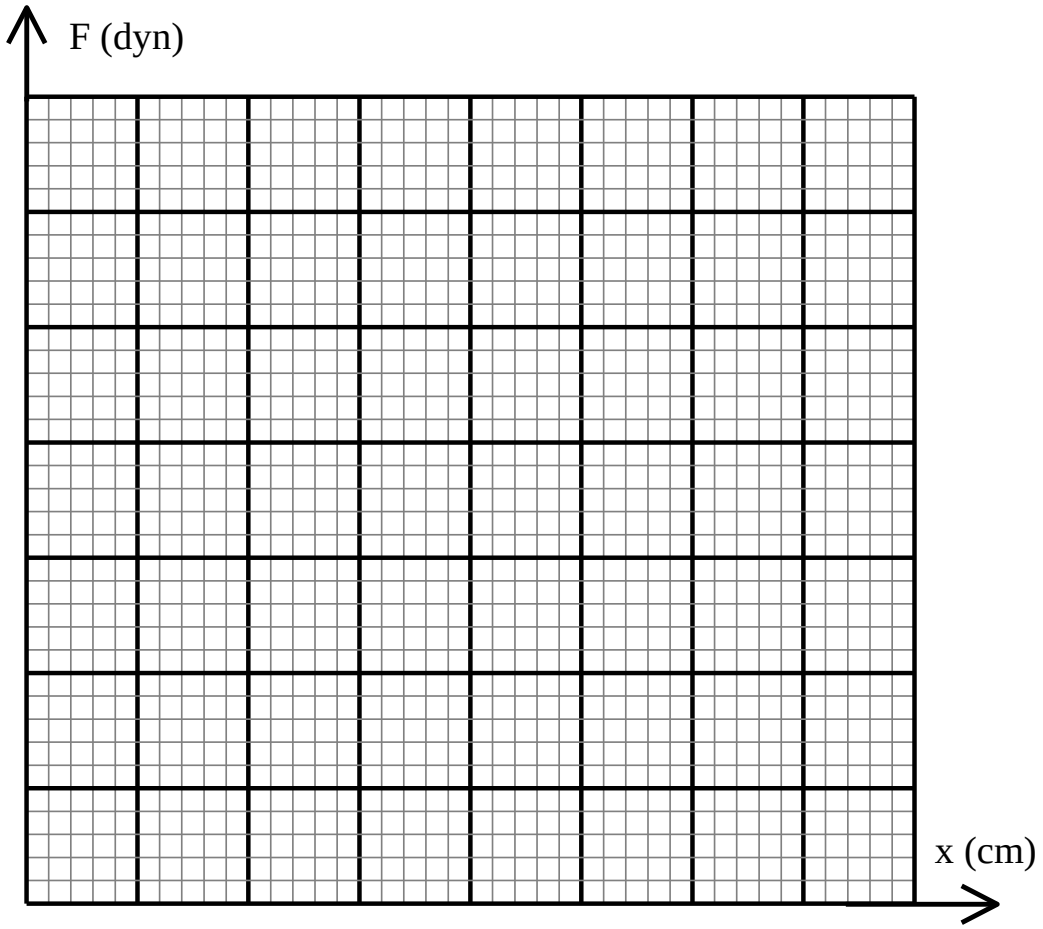
Deneyin Yapılışı

- **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 $Tan(\alpha) = \frac{\Delta F}{\Delta x} = k_1$ 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.

4.1. Yay Sabitinin Belirlenmesi

g = 1000 cm/s^2		**1. Yay**		**2. Yay**		**Seri Bağlı Yaylar**		**Paralel Bağlı Yaylar**	
Asılan kütle (g)	**Kütlenin ağırlığı (mg) (dyn)**	Konum (cm) x_i	Uzama (cm) $x = x_i - x_0$	Konum (cm) x_i	Uzama (cm) $x = x_i - x_0$	Konum (cm) x_i	Uzama (cm) $x = x_i - x_0$	Konum (cm) x_i	Uzama (cm) $x = x_i - x_0$
Boş Askı	–								
50				-		-		-	
100									
150									
200									

Yorum:



1. Yay için F - x grafiği

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

200 g'lık kütle için aşağıdaki hesaplamaları yapınız.

2. Yay : $k_2 = \frac{mg}{\Delta x} =$

Seri bağlı yaylar : $k_{Seri} = \frac{mg}{\Delta x} =$

Paralel bağlı yaylar : $k_{Paralel} = \frac{mg}{\Delta x} =$

****

Seri Yaylar : $k_{eş} = k_1 + k_2$

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