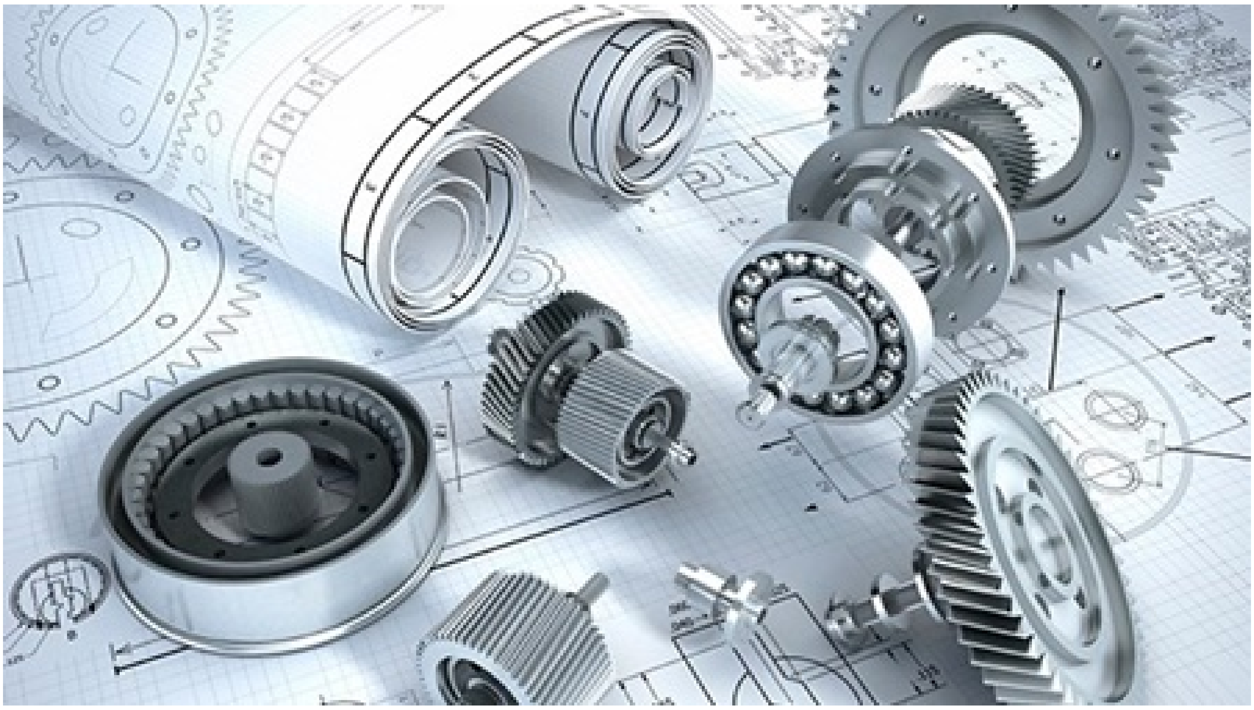
T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

FİZİK - I DENEYLERİ DENEY KILAVUZU
(MEKANİK)

Doç. Dr. Songül AKBULUT ÖZEN



BURSA - 2017

İÇİNDEKİLER

DENEY 6

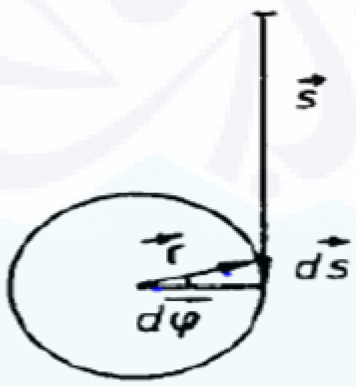
MAXWELL DİSKİ VE MEKANİK ENERJİNİN KORUNUMU

DENEYİN AMACI: Maxwell diskini kullanılarak sistemin mekanik enerjisinin incelenmesi ve Maxwell diskinin eylemsizlik momentinin belirlenmesi.

KULLANILAN ARAÇ GEREÇ: Maxwell diski, optik kapı düzeneği, ip cetvel

TEORİK BİLGİ

Açısal Hız ve Açısal İvme: Bir eksen etrafında dönmekte olan katı bir cismin, dönme ekseninden r kadar uzaklığındaki m kütleli bir parçası, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde çizgisel hızı ile hareket eder. Çizgisel hız r yarıçapına her noktada diktir. Cismin konumunu belirleyen φ açısına karşılık olan çizgisel yol ise $s = r\,\varphi$ olduğundan, cismin çizgisel hızının şiddeti (Şekil 6.1)



Şekil 6.1. Dairesel hareket

$$v = \frac{ds}{dt} = r\frac{d\varphi}{dt} \quad (6.1)$$

olarak verilir. (6.1) bağıntısındaki açının zamanla değişme hızına açısal hız denir. Birimi rad/s'dir ve

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{r} \quad (6.2)$$

şeklinde ifade edilir. Çizgisel hız vektörel bir büyüklük olduğuna göre, (6.2) bağıntısından açısal hızın da vektörel bir büyüklük olduğu anlaşılır. (6.2) bağıntısının türevi alınarak çizgisel ivme

$$a_t = \frac{dv}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} \quad (6.3)$$

olarak elde edilir. Açısal hızın zamanla değişme hızına açısal ivme denir ve

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \tag{6.4}$$

olarak verilir. Birimi rad/s^2'dir. Buna göre, dönen cismin açısal ivmesi ile a_t teğetsel ivmesi arasında

$$a_t = r\alpha \tag{6.5}$$

ilişkisi vardır. Ayrıca, teğetsel ivme vektörel bir fiziksel nicelik olduğundan, açısal ivme de vektörel bir büyüklüktür.

Eylemsizlik Momenti: Bir cismin dönme hareketine karşı gösterdiği direncin ölçüsüne eylemsizlik momenti denir. Bir eksen etrafında ω açısal hızıyla dönen katı bir cismi oluşturan tüm parçacıklar, belirli kinetik enerjilere sahiptir. Dönme ekseninden *r* kadar uzakta bulunan *m* kütleli bir parçacık, *r* yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile dönerken

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \tag{6.6}$$

ile ifade edilen bir kinetik enerjiye sahip olacaktır (Şekil 6.1). Dolayısıyla, dönme ekseninden farklı uzaklıklarda bulunan çok sayıda parçacıktan oluşmuş katı bir cisim için (6.6) ifadesi

$$K = \frac{1}{2}\,(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots)\omega^2 = \frac{1}{2}\,[\sum_i m_i r_i^2\,]\omega^2 \tag{6.7}$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı kesikli sistemler (parçacıklar sistemi) için geçerlidir. (6.7) bağıntısındaki

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \tag{6.8}$$

ifadesine yani parçacıkların kütleleri ile dönme eksenine olan uzaklıklarının karelerinin çarpımlarının toplamına eylemsizlik momenti denir. Diğer taraftan, cismin sürekli bir yapıya sahip olduğu kabul edilirse, (6.8) denklemindeki toplam, integrale dönüşür ve tüm cisim üzerinden integral alınarak eylemsizlik momenti

$$I = \int r^2 dm \tag{6.9}$$

şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla eylemsizlik momenti, cismin hem şekli ve kütle dağılımına hem de dönme eksenine bağlıdır. Eylemsizlik momentinin SI sistemindeki birimi kg.m^2'dir. Buna göre, bir eksen etrafında dönmekte olan bir cismin, (6.9) ile verilen toplam kinetik enerjisi,

$$I = \int r^2 dm \tag{6.10}$$

olur. (6.10) denkleminden görüldüğü gibi eylemsizlik momenti büyüdükçe, cismin dönme hareketi yapabilmesi için daha fazla iş yapması gerekir.

Düzgün Bir Cismin Eylemsizlik Momentinin Belirlenmesi: Belirli bir geometrik şekle sahip olmayan bir cismin eylemsizlik momentinin (6.9) bağıntısı yardımıyla hesaplanması oldukça zor iken, basit şekilli katı cisimlerinki gayet kolaydır. Örneğin, R yarıçaplı M kütleli düzgün bir diskin merkezinden geçen ve disk düzlemine dik olan bir eksene göre eylemsizlik momenti,

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \tag{6.11}$$

ile verilir.

Mekanik Enerji: Mekanik enerjinin korunumu yasasına göre bir sisteme sadece korunumlu kuvvetler etkiyor ise sistemin toplam mekanik enerjisi sabit kalır. Sürtünme gibi korunumlu olmayan kuvvetler sisteme etkidiği zaman mekanik enerji korunmaz. Yalıtılmış bir sistemi analiz ettiğimizde enerjinin tüm biçimlerini hesaba kattığımız zaman sistemin toplam enerjisini bulabiliriz. Yalıtılmış bir sistemin toplam enerjisi daima sabittir, yani enerji ne yaratılabilir ne de yok edilebilir. Enerji bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. Bu eğer korunumlu bir sistemin kinetik enerjisi bir miktar artar veya azalır ise potansiyel enerjinin de aynı miktarda azalacağı veya artacağı anlamına gelmektedir.

$$\Delta E_K + \Delta E_p = 0 \tag{6.12}$$

Bir sistemin toplam mekanik enerjisi o sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve hareket boyunca sabittir.

$$E_K + E_P = E_M \tag{6.13}$$

Tekerlek gibi büyük bir cisim, kendi ekseni etrafında döndüğünde, herhangi bir anda cismin farklı kısımları farklı hız ve ivmelere sahip olacağından, bu cismin hareketini bir parçacık gibi düşünerek analiz edemeyiz. Bu cismi her biri kendi hız ve ivmesi ile hareket eden pek çok parçacıktan oluşmuş bir sistem olarak kabul etmek uygundur. Dönen katı bir cismin toplam kinetik enerjisi onun kütle merkezinin öteleme kinetik enerjisinin ve dönme kinetik enerjisinin toplamına eşittir.

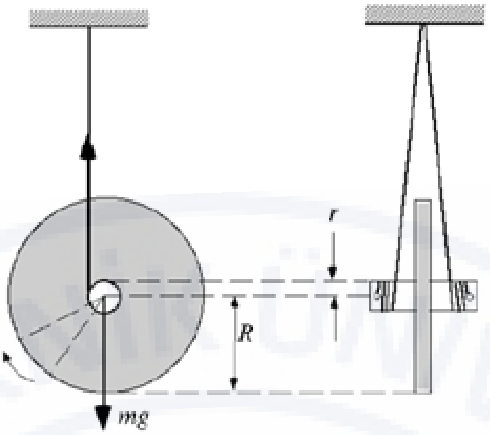
$$E_{Ö} + E_D = E_K \tag{6.14}$$

$$E_{Ö} = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \textit{Öteleme Kinetik Enerjisi}$$

$$E_D = \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad \textit{Dönme Kinetik Enerjisi}$$

Kendi ekseni üzerindeki iki ip üzerinde gravitasyonel alanda dönebilen Maxwell diskinin ait olduğu sistemi düşünelim (Şekil 6.2). Diskin toplam mekanik enerjisi; m kütlesi ve dönme ekseni etrafındaki I eylemsizlik momenti, E_P potansiyel enerjisi, $E_{Ö}$ öteleme enerjisi ve E_D dönme enerjisinin birleşimidir. ω açısal hız ve v öteleme hızı olmak üzere;

$$E_M = E_P + E_{Ö} + E_D = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \tag{6.15}$$



Şekil 6.2. Kendi ekseni üzerindeki iki ip üzerinde gravitasyonel alanda dönebilen Maxwell diski

Bu durumda sistemin toplam enerjisi;

$$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I(\frac{v}{r})^2 = mgh + \frac{1}{2}\left(m + \frac{1}{r^2}\right)v^2 \tag{6.16}$$

Sistemin toplam enerjisi zamanla değişmediğinden, türevi;

$$\frac{dE_M}{dt} = mg\frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{2}\left(m + \frac{I}{r^2}\right)\frac{d}{dt}[v(t)^2] = mgv(t) + \left(m + \frac{I}{r^2}\right)v(t)\frac{dv(t)}{dt} = 0 \tag{6.17}$$

Sistemin hızı aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilir.

$$v(t) = \frac{1}{\left(m + \frac{I}{r^2}\right)}mgt = \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}}\right)t \tag{6.18}$$

Düşey yer değiştirme; (6.1) bağıntısı kullanılarak

$$h(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}}\right)t^2 \tag{6.19}$$

olarak elde edilir. Böylece Maxwell tekerleğinin eylemsizlik momenti;

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h(t)} - 1\right) \tag{6.20}$$

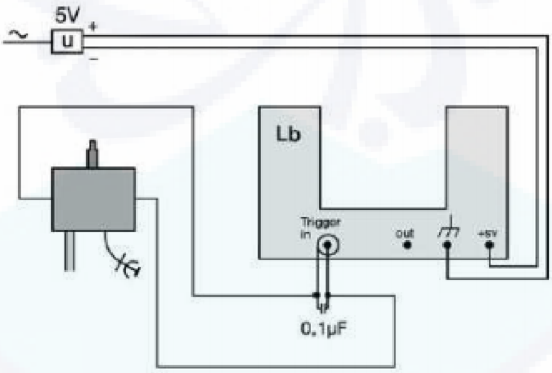
bağıntısı ile hesaplanabilir.

DENEYİN YAPILIŞI

Şekil 6.3’teki deney düzeneğini kurunuz.

Şekil 6.3. Maxwell diski ve deney düzeneği

Işık bariyerinin ve sebest bırakma anahtarının bağlantılarını Şekil 6.4’te gösterildiği gibi yapınız.



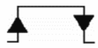
Şekil 6.4. Işık bariyernin bağlantısı.

1. Diski ekseni yardımı ile dikkatli bir şekilde yukarı doğru sarınız ve serbest bırakma anahtarını açık durumda iken serbest bırakma kilidini diskin çevresinde bulunan deliğe yerleştiriniz.
2. Diskin h, düşey yerdeğiştirme uzaklığını ölçünüz.
3. Maxwell diskini tutan mili basılı şekilde tutup diski sabitleyiniz. Daha sonra mili serbest bırakıp tekrar basılı tutunuz. Disk ışık bariyerini geçene kadar mili basılı tutunuz. Bu diskin düşüş süresini hesaplamak için gereklidir.
4. Işık bariyeri üzerinde yer alan modunu seçiniz.
5. Ölçütüğünüz yüksekliği *h(m)* ve disk ışık bariyerini geçtikten sonra kaydedilen düşüş süresini *t(s)* Tablo 6.1’e işleyiniz.

Tablo 6.1. Farklı yükseklikler için kaydedilen süreler ve hesaplamalar.

h(m)	***t(s)***	***Δt(s)***	***I (kgm²)***	***v(t)(m/s)***	***ω (rad/s)***
I_{ort} (kgm²)=		***I_{h-t2} (kgm²)=***		***I_{v-t} (kgm²)=***	

6. Maxwell diskinin çizgisel hızı, diske takılı olan silindirin çapı *(Δs=5mm)* ve ışık bariyerini geçme süresini *(Δt)* kullanılarak $v(t) = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ bağıntısına uygun olarak hesaplanır.

7. Diskin ışık bariyerini geçme süresini bulmak için ışık bariyeri üzerindeki  modunu seçiniz.

8. Diskin çizgisel hızını hesaplamak için serbest bırakmak anahtarı üzerinde takılı olan mavi kabloyu sökünüz ve mili serbest bırakınız. Disk ışık bariyerini geçtikten sonra kaydedilen zamanı *(Δt)* Tablo 6.1'e kaydediniz.

9. Diskin çizgisel hızını ve açısal hızını *(ω=v/r)* hesaplayarak Tablo 6.1.'e not ediniz. Bu ölçümleri farklı yükseklikler için tekrarlaynız.

10. (h-t^2) ve (v-t) grafiklerini çiziniz ve Denklem 6.18 ve denklem 6.19'a uygun olarak diskin eylemsizlik momentini hesaplayınız.

11. Denklem 6.20 yi kullanarak her bir yükseklik için Maxwell diskinin eylemsizsilik momentini hesaplayarak ortalamasını *(I_{ort})* bulunuz. Grafiklerden elde edilen eylemsizlik momenti değerleri *(I_{v-t} ve I_{h-t2})* ile kıyaslayınız.

12. Mekanik enerjinin korunumunu göstermek amacıyla Denklem 6.14'te verilen ifadelere bağlı olarak her bir yükseklik için diskin potansiyel enerjisini *(E_P(J))*, öteleme kinetik enerjisini *($E_Ö$(J))* ve dönme kinetik enerjisini *(E_D(J))* hesaplayınız ve Tablo 6.2'ye kaydediniz.

13. $E_P=f(t)$, $E_Ö=f(t)$ ve $E_D=f(t)$ grafiklerini çiziniz ve bu grafikleri karşılaştırınız.

14. Tablo 6.2'de yer alan verilere dayanarak potansiyel enerjinin, öteleme kinetik enerjisi ve dönme kinetik enerjisine eşit olduğunu gösteriniz. Eşit olmadığı durumda nedenlerini açıklayınız.

Tablo 6.2. Farklı yükseklikler için kaydedilen hesaplamalar.

h(m)	***E_P(J)***	***$E_Ö$(J)***	***$E_Ö$(J)***

SORULAR

1. Mekanik enerji nedir? Bir sistemin mekanik enerjisi hangi şartlar altında korunur?

2. Öteleme, dönme ve yuvarlanma hareketi yapan bir silindir için farklı noktalardaki hız vektörlerini çizerek hareketini açıklayınız.

3. Eylemsizlik momenti 950 g.cm2, kütlesi 120 g, dönme ekseninin yarıçapı 3.2 mm ve üzerinde bulunduğu ipin uzunluğu 120 cm olan bir yo-yo oyuncağını düşünelim.

a) Yo-yo'nun çizgisel ivmesi nedir?

b) Yo-yo ne kadar süre sonra ipin sonuna ulaşır?

Yo-yo ipin sonuna ulaştığında,

c) Çizgisel hızı, öteleme kinetik enerjisi, dönme kinetik enerjisi ve açısal hızı nedir?

DENEY 7

BASİT HARMONİK HAREKET DENEYLERİ

DENEYİN AMACI: 1. Basit harmonik hareket için kullanılacak yayın yay sabitinin belirlenmesi, 2. Basit harmonik hareketin deneysel olarak incelenmesi ve teori ile karşılaştırılması, 3. Bir sarkacın hareketinin deneysel olarak incelenmesi, teori ile karşılaştırılması ve yay-kütle sistemi ile olan benzerliğinin gözlenmesi.

KULLANILAN ARAÇ GEREÇ: İp, cetvel, zaman ölçer, ağırlık seti, açı ölçer, kancalı ağırlık, yay, destek çubuğu, küresel cisim.

TEORİK BİLGİ

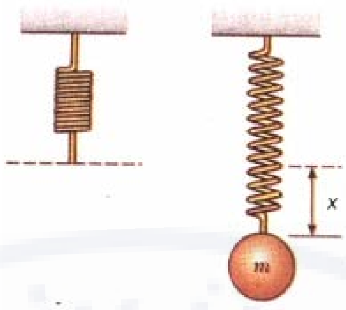
Gözlemlediğimiz pek çok doğa olayı, ard arda gerçekleşen ve kendini tekrarlayan periyodik hareketlerdir. Zaman, düzgün aralıklarla kendini tekrarlayan kalp atışları ve mevsimlerin geçişi gibi, periyodik hareketlerin gözlenmesi ile ortaya çıkmış bir kavramdır. Basit harmonik hareket, en yaygın olarak gözlenen ritmik yani periyodik bir harekettir. Bir yayın ucuna bağlanan cismin veya bir sarkacın hareketi, basit harmonik harekete örnek oluşturur. Basit harmonik harekette, bir noktanın konumunun zamanla değişimi bir sinüs veya kosinüs fonksiyonu ile verilir.

Periyodik harekete, parçacığın herhangi bir andaki konumundan denge konumuna olan uzaklık ile orantılı ve parçacığı denge konumuna doğru harekete zorlayan kuvvetler neden olur. Örneğin yayın ucuna bağlanmış kütleye yayın uyguladığı kuvvet, daima kütleyi denge konumuna getirmeye zorlar. Doğada hemen hemen kararlı denge konumundan uzaklaşan her cisme, denge konumundan olan uzaklık ile orantılı bir geri getirici kuvvet etki eder.

Bütün salınım hareketleri arasında basit harmonik hareket en önemli olanıdır. Çünkü matematiksel olarak tanımlanabilecek en basit hareket olmasının ötesinde doğada karşılaşılan birçok salınımı yeterince doğru bir şekilde tanımlar.

A. Hook Kanunu

Bir sistem, eğer yayın gerilmemiş durumu olan $x = 0$ denge konumundan saptırılırsa, ileri-geri titreşecektir. Yüzey sürtünmesiz ise, kütle basit harmonik hareket yapar. Böyle bir sistemin basit harmonik hareket yaptığını açıkça ortaya koyan, deneysel olarak kurulması mümkün bir düzenek Şekil 7.1'de açıklanmaktadır.



Şekil 7.1. Kütle-yay sistemi

Kütle denge konumundan küçük bir *x* uzaklığı kadar ayrılırsa; yayın *m* kütlesi üzerine;

$$F = -kx \tag{7.1}$$

ile verilen bir kuvvet uygular. Burada x, cismin gerilmemiş ($x = 0$) konumuna göre yer değiştirmesi, *k* yayın kuvvet sabiti olarak adlandırılan pozitif bir sabittir. Yaylar için bu ifade Hooke Yasası olarak bilinir. Hooke Yasasının sadece küçük yer değiştirmeler durumunda geçerli olduğuna dikkat ediniz. *k*'nın değeri yayın sertliğinin bir ölçüsüdür. Sert yayların *k* değerleri büyük, yumuşak olanlarınki küçüktür. *k* kütle-yay sabitinin birimi SI birim sisteminde *N/m*, CGS birim sisteminde *dyn/cm* olarak alınır.

Kuvvet kanunu Newton'un ikinci kanununda,

$$F = ma \tag{7.2}$$

şeklinde tanımlanır. Bir kuvvetin kütlesi bilinen bir cisim üzerinde oluşturduğu ivme ölçülerek belirlenebilir. Ancak bu yöntem çoğu zaman pratik değildir. Daha uygun bir yöntem bilinmeyen kuvveti bilinen ayarlanabilir bir kuvvet ile karşılaştırmaktır. Her iki kuvvet bir cisme birlikte uygulandığında cisim ivmelenmiyorsa bilinmeyen kuvvet bilinen kuvvetin tam tersidir.

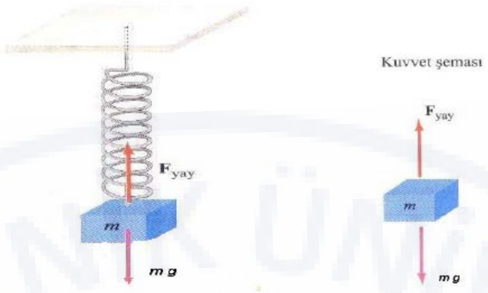
Bu statik sistemde kuvvetleri ölçmenin iki yolu vardır. Birincisi bilinen kütleler asmaktır. Bir *m* kütlesi $F = mg$ büyüklüğünde bir kuvvetle aşağı doğru çekilir. Burada *g* yer çekim ivmesidir ($g=9.8\ m/s^2$). Bir yay kullanmak kuvvet uygulamanın ikinci bir yolunu oluşturur. Bu deneyde bir yayın özelliklerini incelemek için bilinen kuvvetleri kullanacağız.

B. Kütle-Yay Sistemi

Bir yayın ucuna takılmış bir cisim denge konumu etrafında basit harmonik hareket yapar. Hareket tek boyutta gerçekleştiğinden vektörel gösterim kullanılmadan incelenir. Denge konumundan *x* kadar sıkıştırılarak veya gerilerek uzaklaştırılmış yay, ucuna tutturulmuş cisme, Hooke kanununa göre,

$$F = -kx \tag{7.3}$$

ile verilen bir kuvvet uygular. Buradaki *k*, yayı karakterize eden bir sabittir. Görüldüğü gibi kuvvet, yer değiştirme *x* ile doğru orantılıdır. Eksi işareti, yayın cisme daima denge konumuna yönelmiş bir kuvvet uyguladığını gösterir. +x yönünde bir yer değiştirme –x yönünde bir kuvvet yaratırken, -x yönündeki bir yer değiştirme de +x yönünde bir kuvvet yaratır.



Şekil 7.3. Kütle-yay sisteminin kuvvet şeması

Newton'un ikinci kanunu, kuvvet ile ivme arasındaki ilişkiyi verir; yani

$$F = kx = ma \tag{7.4}$$

Burada *a* ifadesi ivme olup konumun zamana göre iki defa türevi olduğu için aşağıdaki biçimde

$$kx = m\frac{d^2x}{dt^2} \tag{7.5}$$

ifade edilebilir. *kx* ifadesini eşitliğin diğer tarafına atacak olursak,

$$m\frac{d^2x}{dt^2} - kx = 0 \tag{7.6}$$

ifadesi yazılabilir. Yukarıdaki denklemi *m* ile bölecek olursak,

$$\frac{d^2x}{dt^2} - \frac{k}{m}x = 0 \text{ ve buradan, } \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{k}{m} \tag{7.7}$$

ifadesi elde edilir. Buradaki *k/m* ifadesi açısal frekansın karesi olup aşağıdaki gibi

$$w^2 = \frac{k}{m} \tag{7.8}$$

ifade edilir. Her iki tarafın karekökü alınırsa açısal frekans ifadesi aşağıdaki gibi

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{7.9}$$

elde edilir. Öte yandan açısal frekans ile periyot arasındaki bağıntı

$$w = \frac{2\pi}{T} \tag{7.10}$$

biçiminde olup son iki ifade birbirine bağlanacak olursa salınımların periyodu

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{7.11}$$

şeklinde yazılır. Periyottan salınımların frekans ifadesini

$$T = \frac{1}{f}, \quad 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{f} \tag{7.12}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{7.13}$$

biçiminde elde edilir. Parçacığın hareketinin bir tam devrini tamamlaması için geçen süreye periyot (T) denir. Periyodun tersine, hareketin frekansı (f) denir. Frekans, parçacığın birim zamanda yaptığı titreşimlerin sayısını gösterir. Açıkçası, periyot ve frekans yalnızca kütleye ve yayın kuvvet sabitine bağlıdır. Beklendiği gibi frekans, daha sert yaylar için daha büyüktür ve kütle artıkça küçülür. Bu deneyde denklem (7.11)'in geçerliliği incelenecektir.

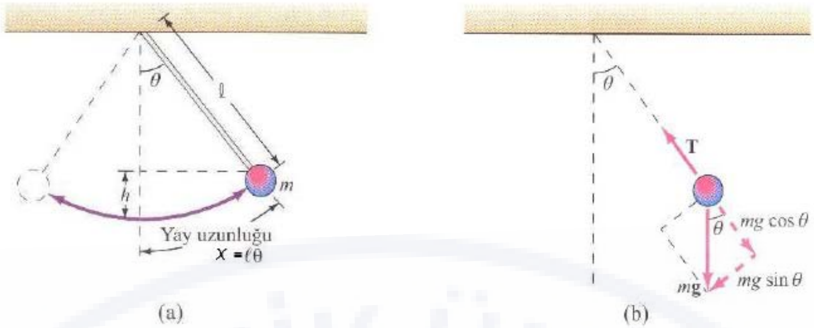
C. Basit Sarkaç

Doğada yaygın olarak basit harmonik hareket ile karşılaşılır. Bunun en önemli örneklerinden birisi de, eski duvar saatlerinin içinde salınım yapan sarkaçlardır. Bu tür saatlerle asırlardır zaman çok hassas bir şekilde ölçüle gelmiştir. Kütlenin l uzunluğunda bir ipin ucuna bağlandığı bir cisimden meydana gelen sisteme basit sarkaç denir. Bu durumda kütle, gergin ipin ucunun izlediği bir çember yayı boyunca hareket eder. (Şekil 7.3.a)

Sarkaç ipi düşey ile θ açısı yaptığı durumda, sisteme Newton'un ikinci kanunu uygulanır. (Şekil 7.3.b)'de cisme etkiyen mg yerçekimini ve ipteki T gerilme kuvvetlerini gösteren kuvvet şeması verilmiştir. Cismin izlediği yola hareket süresince dik olan gerilme kuvveti, hareket yarıçapı l olan dairesel yörüngede tutar. Cismin yörünge üzerinde aldığı yol,

$$x = l\theta \qquad \frac{x}{l} = \theta \tag{7.14}$$

biçimindedir. Burada x , $\theta = 0$'dan itibaren ölçülen yay uzunluğudur. θ açısı zamanla değişir ve dinamik olarak belirlenmek istenen büyüklük de bu açıdır. Buna göre, sadece kuvvetlerin yay boyunca olan bileşenleri θ açısının değişimine neden olduğundan, problemin çözümü bu bileşenlere dayandırılır.



Şekil 7.4. Basit sarkaç sistemi

$$F_{geriçağerici} = -mg \sin\theta \tag{7.15}$$

Geri çağırıcı kuvvet, cismin düşey doğrultusunun sağında bulunduğu durumlar için, yani sinθ'nın pozitif değerleri için negatif; cismin düşey doğrultusunun solunda bulunan değerleri için pozitiftir. Görüldüğü gibi yerçekimi kuvvetinin salınan cismi düşey konuma yöneltmesi, hareketin bir salınım hareketi olduğunu kanıtlar, ancak bu basit harmonik hareket olduğu anlamına gelmez. Sarkaç hareketinde dinamik değişken θ açısıdır. Hareketin basit harmonik olabilmesi için kuvvetin sinθ ile değil, dinamik değişken θ ile orantılı olması gerekir. Newton'un ikinci kanunu gereği,

$$ma = -mg \sin\theta \tag{7.16}$$

Denklemin her iki yanındaki m kütlesi birbirini götürür ve

$$a = -g \sin\theta \tag{7.17}$$

Sağ tarafta sinθ, yerine θ konulursa, basit harmonik hareket için gereken koşul sağlanır. Bu da ancak θ açısının çok küçük olduğu salınımlar için mümkün olur. Küçük açı yaklaşımı yaparak sinθ ≈ θ alınabilir. Buradan hareketle,

$$a = -g\theta \tag{7.18}$$

denklemini yazabiliriz. Burada *a* ifadesi ivme olup konumun zamana göre iki defa türevi olduğu için aşağıdaki biçimde,

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -g\theta \tag{7.19}$$

denklemini yazabiliriz. Cismin yörünge üzerinde aldığı yol,

$$x = l\theta \tag{7.20}$$

olduğundan yukarıdaki denklem yerine yazılırsa,

$$\frac{d^2(l\theta)}{dt^2} = -g\theta \tag{7.21}$$

şeklinde bir denklem elde edilir. *l* ipin boyu zamanla değişmediği için türevin dışına bir sabit gibi alabiliriz.

$$l\frac{d^2\theta}{dt^2} = -g\theta \tag{7.22}$$

denklemin her iki tarafını *l* ile bölersek,

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{l}\theta \tag{7.23}$$

denklemi yazılabilir. Buradaki *g/l* ifadesi açısal frekansın karesi olup aşağıdaki gibi

$$w^2 = \frac{g}{l} \tag{7.24}$$

ifade edilebilir. Her iki tarafın karekökü alınırsa açısal frekans denklemi aşağıdaki gibi,

$$w = \sqrt{\frac{g}{l}} \tag{7.25}$$

elde edilir. Öte yandan açısal frekans ile periyot arasındaki bağıntı,

$$w = \frac{2\pi}{T} \tag{7.26}$$

biçiminde olup son iki denklem birbirine bağlanacak olursa salınımların periyodunu

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{l}} \tag{7.27}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \tag{7.28}$$

Şeklinde yazabiliriz. Bu deneyle $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ eşitliğinin doğruluğu kontrol edilecektir. Bu tam olarak basit harmonik hareket denklemidir ve yay için geçerli olan Newton'un ikinci hareket denklemi olan $md^2x/dt^2 = -kx$'e benzerdir. Yaylardan sarkaçlara geçmek için yer değişiminin yerini θ açısı, yay sabitinin yerini yer çekimi ivmesi g, kütlenin yerini *l* sarkaç uzunluğu alır.

DENEYİN YAPILIŞI

1. Kısım: Hooke Kanunu

1. Size verilecek yayı asın
2. Bir cetveli yaya paralel şekilde sabitleyin ve yayın alt ucunun konumunu belirleyin.
3. Yayın ucuna tabloda verilen değerlerde kütleler asarak her bir kütle için yayın uzamasını belirleyin.
4. $F = mg$ formülünü kullanarak her bir kütle için kuvvetleri belirleyin ve Tablo 7.1'e kaydedin.

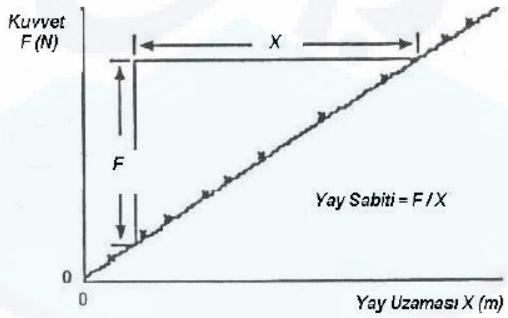
Tablo 7.1 Ölçüm ve hesaplamalar

Kütle (g)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Kuvvet (N)										
Uzama (m)										

5. Kuvvet ve yay uzaması verilerini kullanarak yay uzamaları x ekseninde olacak şekilde milimetrik kâğıt üzerinde bir grafik oluşturun.
6. Verilerinize en uygun doğruyu çizin.
7. Şekil 7.2'de ki gibi grafiğin eğimi, kullandığınız yayın yay sabitini verir. Grafiğinizden yay sabitini belirleyin. Bunu yaparken,

k = Eğim=tanθ=ΔF/Δx ifadesini kullanın.

Yay sabiti = ………………..*N/m*



Şekil 7.2. Kuvvet-uzama miktarı grafiği

2. Kısım: Kütle- Yay Sistemi

1. Yayın ucuna 10 g kütle asın.
2. Kütleyi denge konumunda birkaç salınım yaptığını, salınımın genliği sağlıklı bir sayıma izin vermeyecek şekilde küçülene kadar sayın. Aynı zamanda bu kadar salınım için geçen süreyi bir kronometre ile ölçün.
3. Bu toplam zamanı salınım sayısına bölerek salınımların periyodunu bulun. Bu ölçümü 10 kez tekrarlayın.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ifadesini kullanarak periyodu hesaplayın.

4. Bütün sonuçlarınızı Tablo 7.2'ye kaydedin. Teorik olarak hesapladığınız değer ile ölçtüğünüz değer uyumlu mu?
5. Salınan bir kütlenin periyodu için verilen (7.11) denklemi gözlemleriniz ile ne kadar uyumludur?

Tablo 7.2. Ölçüm ve hesaplamalar

Kütle (g)	10	30	50	80	100
Salınım sayısı	5	5	5	5	5
Ölçülen zaman					
Periyot (ortalama)					
Periyot (teorik)					

3. Kısım: Basit Sarkaç

1. Bir ipin ucuna kütle asarak bir sarkaç oluşturun. Sarkacı salınıma bırakın fakat salınım açısının yeterince küçük olmasına dikkat edin.
2. En az 5 salınım yapması için gereken süreyi ölçün. Ölçtüğünüz süreyi salınım sayısına bölerek hareketin periyodunu bulun.
3. Aynı işlemi 5 kere tekrarlayın. Bulduğunuz periyotları toplayıp 5'e bölerek ortalama periyodu bulun.
4. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ ifadesini kullanarak g yerçekimi ivmesini belirleyin. Sonuçları Tablo 3'e kaydedin.

Tablo 7.3. Ölçümler ve hesaplamalar

Sarkaç ipinin uzunluğu l =............. ve *Kütle m =………*					
Salınım sayısı	5	5	5	5	5
Ölçülen zaman					
Periyot (ortalama)					
g yerçekimi ivmesi					

Sarkacın boyunu değiştirerek Tablo 7.4'te belirtilen nicelikleri belirleyin.

Tablo 7.4. Ölçümler ve hesaplamalar

Sarkaç kütlesi m =.............					
Sarkacın boyu					
Salınım sayısı					
Ölçülen zaman					
Periyot (ortalama)					
g yerçekimi ivmesi					

DENEY 8

NEWTONUN HAREKET YASALARI

DENEYİN AMACI: İvme, kuvvet ve kütle arasındaki işlevsel bağımlılığı inceleyerek Newton'un hareket yasalarını anlamak.

KULLANILAN ARAÇ GEREÇ: Hava masası deney düzeneği (2 adet deney arabası, zaman ölçerli optik kapı veya ışık bariyeri), ağırlık takımı, ip, makara

TEORİK BİLGİ

Başlangıçta hareketsiz halde olan bir cismi hareket ettirebilmek için, ona bir kuvvet uygulanması gerekir. Kuvvet bir vektör niceliktir ve SI birimi Newton'dur (*N*). Bir cisme etkiyen bir kaç kuvvetin vektörel toplamına bu kuvvetlerin bileşkesi denir. Bir cismi ivmelendirmek için bir bileşke kuvvet gereklidir. İvmenin hız değişiminin hızı olduğunu hatırlayın. Deneyimlerimizden biliyoruz ki, başlangıçta hareketsiz duran bir cismi harekete geçirmek için ona bir bileşke kuvvetin etki etmesi gerekir; ve bunun sonucunda cisim giderek hızlanır. Benzer şekilde, zaten hareket halinde olan bir cismi yavaşlatmak veya durdurmak için de bir bileşke kuvvet gereklidir. Kuşkusuz, hareket etmekte olan bir cismin hareketinin yönünü değiştirmek için de ona bir bileşke kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bütün bu durumlarda, cisim, bileşke kuvvetin etkimesi altında ivmelenir (hızını değiştirir). Bir cismin ivmesi onun üzerine etkiyen $\vec{F}$ bileşke kuvvetinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bu kuvvet ikiye katlandığında, ivme de iki katına çıkar. Bu demektir ki, kuvvetin büyüklüğünün ivmenin büyüklüğüne oranı bir sabittir. Bu orana cismin kütlesi (*m*) denir. Dolayısıyla, $m = \vec{F}/\vec{a}$ ya da

$$\vec{F} = m\vec{a} \tag{8.1}$$

yazabiliriz. Bu ilişki, Newton'un ikinci hareket yasası olarak bilinir. $\vec{a}$ 'nın da $\vec{F}$ 'nin de vektör olduklarına ve bu vektörlerin aynı yönde olduklarına dikkat edin.

Eğer bir cisme herhangi bir büyüklükte bir kuvvet etkirse, cisim de bu kuvvete eşit fakat zıt yönde bir tepki gösterir. Burada ortaya çıkan etki-tepki kuvvetlerinin büyüklükleri eşittir fakat yönleri birbirine terstir.

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \tag{8.2}$$

Sabit $\vec{a}$ ivmesi ile $\vec{x}$ doğrultusunda hareket eden bir cismin t anındaki konumu $\vec{x}(t)$ ve hızı $\vec{v}(t)$, $t = 0$ anındaki konumu ve hızı $\vec{x}_0$ ve $\vec{v}_0$ olmak üzere,

$$\vec{x}_s = \vec{x}_0 + \vec{v}_0\, t + (1/2)\,\vec{a}\, t^2 \tag{8.3}$$

ve

$$\vec{v}_s = \vec{v}_0 + \vec{a}\, t \tag{8.4}$$

şeklindedir. $\vec{v}_0 = 0$ olmak koşuluyla zamansız hız formülü

$$\vec{v}_s = [2\,\vec{a}(\vec{x}_s - \vec{x}_0)]^{1/2} \tag{8.5}$$

olarak elde edilir. Sistemin harekete geçmesini sağlayan toplam kuvvetin büyüklüğü $\vec{F}$, sistemin kütlesi M ise sistemin ivmesi $\vec{a} = \vec{F}/M$ olur. Sürtünme kuvveti yok sayılırsa, "m_2" kızağın kütlesi, "m_1" ağırlığın kütlesi ve "g" yerçekimi ivmesi olmak üzere sistemin ivmesi,

$$\vec{a} = (m_1 . \vec{g})/(m_1 + m_2) \tag{8.6}$$

olarak bulunur.

DENEYİN YAPILIŞI

1. Kısım: Eylemsizlik Prensibi

1. Dört adet ışık bariyerini pozisyonları farklı olacak şekilde yerleştirin.
2. Zaman ölçerleri sıfırlayarak cisme hafif bir itme verin.
3. Birinci ışık bariyerini referans alarak birinci ve ikinci ışık bariyeri arasındaki uzaklığı *(x_1)* , birinci ve üçüncü ışık bariyeri arasındaki uzaklığı *(x_2)*, birinci ve dördüncü ışık bariyeri arasındaki uzaklığı *(x_3)* Tablo 8.1'e kaydedin.
4. Yine birinci ışık bariyerini referans alarak kızağın ikinci *(t_1)*, üçüncü *(t_2)* ve dördüncü *(t_3)* ışık bariyerlerinden geçerken okunan süreleri Tablo 8.1'e kaydedin.
5. Aynı Ölçümleri 5 kez tekrar edin.

Tablo 8.1. Ölçüm değerleri

x_1 (cm)=		***x_2 (cm)=***		***x_3 (cm)=***		
	t_1 (s)	***t_2 (s)***	***t_3 (s)***	***v_1 (m/s)***	***v_2 (m/s)***	***v_3 (m/s)***
1. ölçüm						
2. ölçüm						
3. ölçüm						
4. ölçüm						
5. ölçüm						
Ortalama						
Standart sapma						

6. Aldığınız ölçümlerin standart sapmasını hesaplayın.
7. Kızağın birinci ve ikinci ışık bariyeri arasındaki hızı (***v_1***), ikinci ve üçüncü ışık bariyeri arasındaki hızı (***v_2***), üçüncü ve dördüncü ışık bariyeri arasındaki hızı (***v_3***) değerlerini ve standart sapmalarını hesaplayarak Tablo 8.1'e kaydedin.
8. Ortalama zaman değerlerini kullanarak x-t grafiğini çiziniz. Grafiğin eğimini hesaplayarak bulduğunuz değeri hesaplanan hız değerleri ile kıyaslayarak yorumlayın.

2. Kısım: Newton'un İkinci Yasası

1. Aşama

1. Deneyin bu kısmında birinci ve dördüncü ışık bariyerleri kullanılacaktır. Üçüncü ışık bariyeri, ivmelenen kütlenin zemine çarpmadan önce geçeceği şekilde yerleştirilmelidir.
2. Zaman ölçerİ mod 5'e () ayarlayın. Bu modda zaman ölçer üzerindeki ilk gösterge kızağın birinci ışık bariyerine ulaşması için gerekli süreyi ***(t_1)***, ikinci gösterge birinci ışık bariyerinin kapalı kaldığı süreyi ***(Δt_1)*** , üçüncü gösterge kızağın üçüncü ışık bariyerine ulaşması için gerekli süreyi ***(t_2)***, dördüncü gösterge ise üçüncü ışık bariyerinin kapalı kaldığı süreyi ***(Δt_2)*** göstermektedir.
3. Kızağın kütlesini *(m_2)* tartınız.
4. Birinci ve üçüncü ışık bariyeri arasındaki uzaklığı ***(Δx)*** Tablo 8.2'ye not edin.
5. Ağırlık tutucuya kütle *(m_1)* yerleştiriniz. Ağırlık tutucunun ağırlığını da ölçümlerde dikkate alın.

6. Kızağı durgun halden serbest bırakın.

7. Kızağın iki ışık bariyeri arasında hareketi için geçen süreyi *($t=t_2-t_1$)* ışık bariyerlerinin kapalı kaldığı süreleri *(Δt_1 ve Δt_2)* Tablo 8.2'ye not edin.

8. Aynı ölçümleri üç farklı Δx mesafesi için üç kes tekrarlayın

9. Işık kesicinin uzunluğunu *(w=100 mm)* Δt_1 *ve* Δt_2 değerlerine bölerek sırasıyla birinci ışık bariyerinden geçerken sahip olduğu hızı *(v_0)* ve üçüncü ışık bariyerinden geçerken sahip olduğu hızı *(v_s)* hesaplayın ve Tablo 8.2'ye kaydedin.

Tablo 8.2. Kütle sabitken alınan ölçümler

m_1=	m_2=		Δx (m)		
	t (s)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	v_0 (m/s)	v_s (m/s)
1. ölçüm					
2. ölçüm					
3. ölçüm					
Ortalama					
m_1=	m_2=		Δx (m)		
	t (s)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	v_0 (m/s)	v_s (m/s)
1. ölçüm					
2. ölçüm					
3. ölçüm					
Ortalama					
m_1=	m_2=		Δx (m)		
	t (s)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	v_0 (m/s)	v_s (m/s)
1. ölçüm					
2. ölçüm					
3. ölçüm					
Ortalama					
Standart Sapma					

10. Ortalama t, v_0 ve v_s değerleri ve ilgili Δx değerlerini kullanılarak kızağın ivme değerleri denklem (8.4) ve (8.5) kullanılarak hesaplanır.

11. Bu sistemde, sürtünme kuvvetleri yok sayılır, "m_2" kızağın kütlesi, "m_1" ağırlığın kütlesi ve "$\vec{g}$" yerçekimi ivmesi olmak üzere sistemin ivmesi denklem (8.6) yardımıyla hesaplayın.

12. Denklem (8.4) ve (8.5) kullanılarak hesaplanan ivmenin deneysel değeri ile denklem (8.6) yardımıyla hesaplanan ivmenin teorik değerleri kullanılarak yüzde hatayı hesaplayın.

13. Farklı Δx mesafeleri için t_{ort} değerlerini kullanarak Δx-t ve Δx-t^2 grafiği çizin.

14. Farklı Δx mesafeleri için ortalama v_s değerlerini kullanarak v_s -t grafiği çizin.

15. Δx-t^2 ve v_s -t grafiklerinin eğimlerini hesaplayın ve bulduğunuz sonuçları yorumlayın.

2. Aşama

1. Ağırlık tutucunun ağırlığını da ölçümlerde dikkate alarak 5 farklı kütle için sabit Δx mesafesinde t, Δt_1 *ve* Δt_2 sürelerini Tablo 8.3'e kaydedin.

2. Işık kesicinin uzunluğunu *(w=100 mm)* Δt_1 *ve* Δt_2 değerlerine bölerek sırasıyla birinci ışık bariyerinden geçerken sahip olduğu hızı *(v_0)* ve üçüncü ışık bariyerinden geçerken sahip olduğu hızı *(v_s)* hesaplayın ve Tablo 8.3'e kaydedin.

Tablo 8.3. Sabit bir *x* mesafesine göre ölçülen değerler

	m_1 (g)	t (s)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	v_0 (m/s)	v_s (m/s)	$a_{(8.6)}$	$F_{(8.6)}$	$a_{(8.3)}$	$F_{(8.3)}$	% hata
1. ölçüm											
1. ölçüm											
2. ölçüm											
3. ölçüm											
4. ölçüm											
5. ölçüm											
6. ölçüm											
7. ölçüm											
8. ölçüm											
9. ölçüm											
10. ölçüm											

* $F_{(8.6)}$ ve $F_{(8.3)}$' sırasıyla denklem (8.6) ve (8.3) yardımıyla hesaplanan ivmeler kullanılarak hesaplanan kuvvetleri temsil etmektedir.

2. Sürtünme kuvvetlerinin yok sayıldığı durumda, "m_2" kızağın kütlesi, "m_1" ağırlığın kütlesi ve "$\vec{g}$" yerçekimi ivmesi olmak üzere sistemin ivmesi denklem (8.6) ve (8.3) yardımıyla hesaplanır.

3. Hesaplanan ivme ve kızağın kütle kütlesi *(m_2)* değerleri kullanılarak kuvvet hesaplanır

4. Kuvvet için yüzde hata hesaplayınız.

5. $F_{(8.6)}$-*t* ve $F_{(8.3)}$-*t* grafiklerini çiziniz ve ikisini karşılaştırarak yorumlayınız.