



FİZİK-I (MEKANİK) DENEY FÖYÜ

ÖNSÖZ

Fizik, çevremizdeki olayları, bu olaylarda etkin rol alan cisimleri, bu cisimlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini gözlem ve matematiksel modellemelerle açıklamaya çalışan bir bilim dalıdır. Fizik ölçmeye dayalı olan bir bilim dalıdır. Çevremizdeki olayları daha iyi anlayabilmek için laboratuvarlarda evrenin belli bir kısmının benzerlerini oluşturarak üzerlerinde çeşitli ölçme süreçleri geliştirmek için deneyler tasarlanmaktadır. Bu deneyleri açıklayabilmek için uygun matematiksel modeller geliştirerek çevremizdeki olaylar açıklanmaya çalışılır. Laboratuvar uygulamaları herhangi bir konunun etkili öğretilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Yaşantı veya çevre ile etkileşim sonucu yeni davranışlar kazanma ya da davranışta meydana gelen nispeten sürekli değişiklik olan öğrenme sürecinde, öğrenme daha önceki öğrenilen bilgi ve beceriler üzerine inşa edilir. Bir öncekine dayalı olan bilgi, bir sonrakine hazırlayıcıdır. Yeni öğrenilecek bilgi anlamlı bir bütün içinde verilmelidir. Anlamlı öğrenmeler daha kalıcı olur ve anlamlı öğrenmeler ise öğrenciye uygun etkinliklerle sağlanabilir. Öğrenmelerin etkili olabilmesi için öğrenci, okulda öğrendiği kavramların, ilişkilerin gerçek yaşantılara bağını kurabilmeli günlük yaşama transfer edebilmelidir.

Öğrenme duyu organları ile gerçekleşen bir süreçtir ve bu sürece ne kadar çok duyu organı katılırsa öğrenme o kadar çok etkili olur. Öğrenciler, okuduklarının yaklaşık olarak onda birini, işittiklerinin beşte birini, gördüklerinin üçte birini, görüp işittiklerinin yarısını, söylediklerinin yüzde yetmişini ve yapıp söylediklerinin yaklaşık yüzde doksanını hatırlamaktadırlar. Laboratuvar etkinliklerinde birçok duyu organının öğrenme sürecine katılımı söz konusu olduğundan dolayı fizik derslerinde öğretilen konular laboratuvar deneyleri ile daha kalıcı hale gelecektir.

Hazırlanan bu deney föyünde öğrenciler kendi başlarına mevcut deney düzeneklerini kullanarak deney yapabilecek ve önceden öğrenmiş olduğu temel bilgileri pekiştirecektir.

DENEYLER

Deney Adı		Sayfa Numarası
Deney-1	Serbest Düşme ve Atwood Düzeneği	13
Deney-2	Bir boyutta sabit hızlı ve sabit ivmeli hareket Deneyi	24
Deney-3	Eğik Atış Deneyi	34
Deney-4	Kuvvet Tablası Deneyi	61
Deney-5	Basit Sarkaç Deneyi	67
Deney-6	Çarpışmalar ve lineer momentumun korunumu Deneyi	75
Deney-7	Mekanik enerjinin korunumu ve Maxwell tekerleği Deneyi	86

Laboratuvar Çalışması

1. Laboratuvar dersi öğrencilerin önceden edindiği ön bilgilerine dayalı olarak uygulamalı bir öğretim yöntemidir. Dolayısı ile sağlıklı bir şekilde bu dersin yürütülebilmesi için öğrencilerin derse gelmeden yapacakları deneylerle ilgili ön hazırlık yapmaları gerekmektedir. Bu nedenle her deneyden önce sözlü veya yazılı sınav yapılır ve gerekli istenen bilgiyi öğrenme durumu tespit edilir.

2. Öğrenciler, deneye başlamadan önce laboratuvar deneylerinde gerekli malzeme ve aletlerin hazır olup olmadığını kontrol etmelidir ve kullanacakları aletlerin kullanım özelliklerini mutlaka öğrenmelidir.

3. Deneylerde kullanılan aletler pahalıdır ve tekrar temini kolay değildir, dolayısıyla kullanım sırasında dikkatli olunmalıdır.

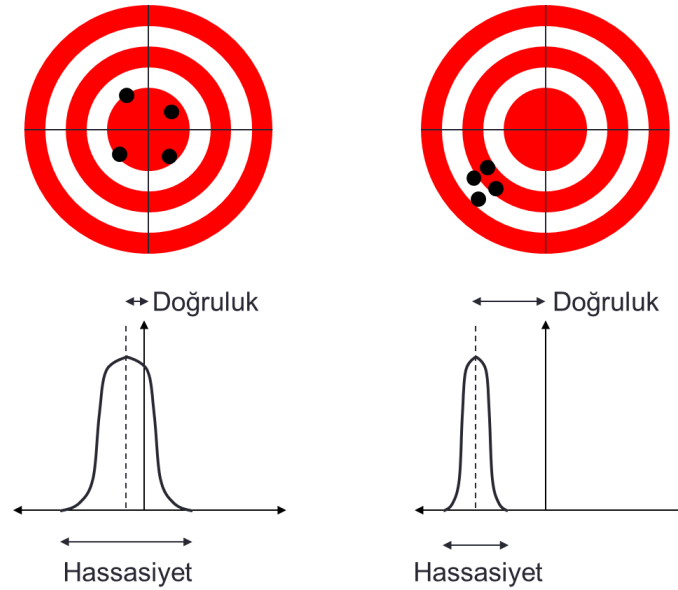
4. Deney başladıktan sonra elde edilen veriler föyde belirtilen talimatlar doğrultusunda kaydedilmelidir ve ölçümler tamamlandıktan sonra deney verileri kontrol edilmeli, eksiklikler varsa tamamlanmalıdır. Deney verileri alındıktan sonra bu veriler deney sorumlusuna kontrol ettirilmeli ve **deney verileri imzalatılmalıdır**.

5. Son olarak ise deney verilerinden faydalanarak ilgili hesaplamalar yapılmalı, ilgili grafikler çizilmeli ve gerekli yorumlar yapılmalıdır. Bu şekilde her öğrenci laboratuvar çalışmasına ait hazırlaması gereken deney raporunu bitirerek deney sorumlusuna raporunu onaylatarak deneyini bitirmelidir.

Ölçme ve ölçüm hataları

Ölçme, her deneysel bilimin temelini oluşturur. Fizik biliminde de teorilerin sınanması için çeşitli deneyler tasarlanır ve bu deneyler sırasında çok çeşitli ölçümler yapılır. Bir fiziksel niceliğin önceden saptanmış bir standarda göre sayısal değerinin belirlenmesi işine *ölçüm* denir. Önceden saptanmış bu standarda ise *birim* adı verilir. Örneğin bir cismin kütlesinin 12 kilogram olduğu söyleniyorsa, bu cismin kütlesinin *1 kilogram* olarak tanımlanan bir birimin 12 katı olduğu söylenir. Başka bir deyişle bir niceliğin ölçülmesi demek, bu niceliğin birimi veya birimin belli bir kesrini kaç kere içerdiğinin saptanması demektir.

Ölçme yaparken üzerinde önemle durulması gereken iki kavram *doğruluk* ve *duyarlılıktır*. *Doğruluk*, fiziksel bir niceliğin bir ölçümünün gerçek değere ne kadar yakın olduğunu gösterir. *Duyarlılık (hassasiyet)*, aynı büyüklüğün ölçülmesinden elde edilen iki değer birbirine ne kadar yakın olduğunu gösterir.



Şekil. Soldaki şekilde; hassasiyet düşük, doğruluğu yüksek bir ölçüm. Ölçülen değerler gerçek değere yakın birbirine uzaktır. Sağdaki şekilde; hassasiyet yüksek, doğruluğu düşük bir ölçüm. Ölçülen değerler birbirine yakın, gerçek değerden uzaktır.

Hiçbir fiziksel nicelik (büyüklük) kusursuz bir kesinlikle ölçülemez. Bu, bir büyüklüğü ölçtüktan sonra ölçümü tekrarladığımızda neredeyse kesinlikle öncekinden farklı bir değer ölçeceğimiz anlamına gelir. O halde fiziksel büyüklüğün “gerçek” değerini nasıl bilebiliriz. Bunun kısa cevabını bilemeyiz ve eğer ölçümlerimizde çok büyük bir dikkat gösterip daha etkin sonuçlar veren deneysel teknikler kullanırsak, hataları azaltabilir ve bu şekilde ölçümlerimizin

gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğine dair güvenimizi artırabiliriz. Fiziksel ölçümlerdeki belirsizliklerde kullanılan hatalar ve bunların hesaplamaları (analizi) çok geniş kapsamlı bir konudur.

Ölçümlerdeki Hatalar

Hata (error) Bir niceliğin ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki farktır. Hiçbir ölçüm kesin doğrulukta yapılamaz. Dikkat ve titizlik gerektiren araştırmalarda oldukça hassas aletler kullanılarak hatalar en aza indirilebilir. Fakat her ne kadar hassas aletler kullanılsa da deney sonuçlarının beklenenden farklı çıkma olasılığı vardır. Ancak bu sonucu yorumlamak ve hataların kaynaklarını belirlemek, daha iyi sonuçlar almak için önemli adımlardır. Dolayısı ile deneyi doğru yapmak kadar hata kaynaklarını belirlemek gerekmektedir. Genelde iki tip hatadan söz edilir. Bunlar **sistemik hatalar** ve **rastgele (kontrol edilemeyen) hatalardır**.

Ölçülen bir büyüklükteki hatalar, farklı tipteki hataların karışımı olduğu zaman bunları birbirinden ayırmak zordur. Ayrıca, ifade şekillerine göre bunları, **mutlak hata** ve **bağıl hata** olarak iki kategoriye de ayırabiliriz: Bir ölçümdeki mutlak hata, ölçülen büyüklüğün değerindeki belirsizliktir ve ölçülen büyüklükle aynı birime sahiptir. Örneğin bir uzunluğun 0.428 ± 0.002 m olarak ifade edilmesi durumunda, buradaki 0.002 m bir mutlak hatadır. Bağıl hata (oransal hata da denir) ise, ölçülen büyüklükteki mutlak hatanın, ölçüm değerine bölünerek sonucun yüzdelik olarak ifade edilmesidir ve bağıl hatanın birimi yoktur. Yani $(0.002/0.428) \times 100 = \%0.467$ değeri önceki uzunluk ölçümünün bağıl hatasıdır. Bağıl hata genellikle mutlak hatadan daha etkilidir. Örneğin, kaykay tekerleğinin çapının ölçümündeki 1 mm' lik hata, kamyon lastiğinin ölçümündeki 1 mm' lik hatadan daha ciddidir.

Sistemik Hatalar: Belirlenebilen hatalardan kaynaklanırlar ve genellikle tespit edilebilirler. Bu hatalara sistemik hata denilmesinin nedeni bulunan sonuçların aynı büyüklükte hata içermesindendir. Birbirine uygun, büyük veya küçük değerler elde edilir. Deneyin tekrarlanması ve ortalama alınması ile bu hatalar giderilemez. Bu tip hatalar, hatalı veya ayarlanmamış ölçü aletlerinden, kullanılan metodun yanlış olmasından, gözleyicinin alışkanlığından, tecrübesizliğinden ve çevre şartlarından ileri gelebilir. Örneğin; hatalı bölmelendirilmiş bir cetvelin uzunluk ölçümünde kullanılması, gözlemcinin ölçü aletini yanlış kullanması gibi etkenler hataya neden olur. Bunların yanında sıfır noktası kaymış bir termometrenin kullanılması, gramları yanlış ayarlanmış veya kolları eşit olmayan bir terazi ile

yapılan ölçümler sistematik hatalara girer. Sistematik hatalar çoğu zaman rastgele hatalardan daha önemlidir. Sonuçların tekrar gözden geçirilmesi, kullanılan metodun değiştirilmesi, ölçü aletlerinin uygun bir şekilde kalibre edilmesi ile sistematik hatalar minimuma indirilebilir.

Rastgele (Tahmin edilemeyen) Hatalar: Rastgele hatalar, sistemdeki kontrol edilemeyen dalgalanmalardan ortaya çıkar. Örneğin, öğrencilerin laboratuvar kapılarını açıp kapamaları sırasında meydana gelen hava dalgalanmaları, basınç ölçümü değerlerinde değişimlere yol açabilir. İşaret ve değerleri önceden bilinemez ve herhangi bir doğrudan düzeltme yapılması imkânsızdır. Rastgele hatalar için atmosfer basıncı, sıcaklık değişimi, çevreden gelen gürültüler, güç kaynaklarının voltajlarında meydana gelen dalgalanmalar örnek olarak verilebilir. Bu hatalar pratikte bütün ölçülere girerler, pozitif veya negatif değerde olabilirler. Bu hataların etkileri fiziksel büyüklüğün birçok kere ölçülmesi ve ortalamasının alınması ile azaltılabilir.

Bu belirsizliklerin nasıl hesaplanabilir?

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ fiziksel bir nicelik için yapılmış n tane ölçüm sonucu olsun, bu durum için **ortalama (en olası değer):** $\bar{x} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n$ ifadesi ile bulunur. Bu ölçümlerin ortalamasıdır.

görünen sapma (hata): Bir seri ölçüm içindeki tek bir ölçümün (x_i), ortalama değerden sapması ise görünen hatadır ve

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

Şeklinde ifade edilir. Görünen hata bir tek ölçümün en olası değere göre düzeltilmesidir. Bir seri ölçüm sonrası her bir ölçüm için elde edilen görünen hataların cebirsel toplamı sıfır olmalıdır ($\sum d_i = 0$).

ortalama sapma: görülen hataların mutlak değerlerinin basit aritmetik ortalaması, ortalama sapma olarak adlandırılır;

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_n|}{n}$$

Küçük değerli bir ortalama sapma, ölçüm verilerinin iyi bir hassasiyetle ortalama etrafında kümelenediklerine işaret eder.

bağıl ortalama sapma: Ortalama sapmanın ortalama değere bölünerek yüzde şeklinde ifadesidir.

$$r = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \times 100$$

standart sapma: sapmanın “kare ortalama karekök” değeri standart sapma olarak isimlendirilir ve,

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n-1}}$$

Şeklinde sigma harfi ile ifade edilir. Standart sapma, her bir ölçüm sonucunun ortalama değerden ne kadar saptığının bir göstergesidir. Ölçüm sayısı fazla ise (5-10 ölçümden daha fazla) sonucu ifade etmek için genellikle ortalama sapma yerine standart sapma kullanılır)

Deney ölçüm sonucunun ifadesi: x- büyüklüğünün ölçümüne dayalı olan bir deney sonrası elde edilen sonuç iki kısımdan oluşur bunlardan birincisi elde edilen en iyi sonuçtur ve buda ortalama değerdir ($\bar{x}$). İkincisi ise, hesaplanan sapma değeridir. Bu da genellikle standart sapma ile ifade edilir. Böylelikle sonuç;

$$x = \bar{x} \pm \sigma$$

Olarak gösterilir. Böyle bir sonucu çok sayıda ölçüm ile ifade edebiliriz. Fakat bazı durumlarda **çok sayıda ölçüm yapmak mümkün** olmayabilir. Bu durumda oluşabilecek en büyük hatayı tahmin etmek gerekir. Bu durumda ölçme hatalarının bulunmasında en uygun yol, kullanılan *ölçü aletlerinin en küçük iki bölme çizgisi arasının yarısını* almaktır. Örneğin, uzunluk ölçmek için, üzerinde en küçük ölçek aralığı 1 mm olan bir cetvel ile $L=15.25$ cm lik bir uzunluğu ölçtüğümüzde, tahmin edebileceğimiz en küçük aralık yada oluşabilecek en büyük hata (mutlak hata) $\Delta L = 0.5$ mm dir (iki çizgi arası mesafenin yarısı). Yani, eğer herhangi bir niceliği L olarak ölçtüyseniz ve mümkün olan en büyük hata ΔL ise L nin gerçek değeri $(L+\Delta L)$ ile $(L-\Delta L)$ arasına bir yerdedir ve bu sonuç, $L = 15.25 \pm 0.05$ cm ($L = 152.5 \pm 0.5$ mm) şeklinde verilmelidir. Burada ayrıca bağıl hatadan söz edilebilir, tanım olarak mutlak hatanın ölçülen değere oranı olarak ifade edilir ve boyutsuzdur, buradaki bağıl hata $\frac{\Delta L}{L} = 0.05 \cdot \frac{1}{15} = 0.003$ veya %0.3 tür.

Dijital (sayısal) göstergelerdeki okuma hatası, “*en sağdaki hane/2*” kadar olacaktır. Örneğin, bir dijital voltmetrenin göstergesinde 5.125 V görünüyorsa, sonuç 5.125 ± 0.0005 V şeklinde ifade edilir. Aşağıda, analog ve dijital ölçü aletlerine ait görüntüler ve okunabilecek değerler gösterilmiştir.



Ω değeri: $5.5 \pm 0.5 \Omega$
 DCV değeri: $220 \pm 2.5 V$
 ACV değeri: $44 \pm 0.5 V$
 mA değeri: $8.8 \pm 0.1 mA$
 db değeri: $21 \pm 0.5 db$



1.4 ± 0.05 (birim)
 1.58 ± 0.005 (birim)
 1.602 ± 0.0005 (birim)

Örnek: Bir L mesafesi yedi kez ölçülmüş ve tablodaki değerler elde edilmiştir.

L (m)	125.165	125.162	125.166	125.160	125.161	125.163	125.164
-------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Ortalama değer

$$\bar{L} = \frac{125.165 + 125.162 + 125.166 + 125.160 + 125.161 + 125.163 + 125.164}{7} = 125.163 \text{ m}$$

Elde edilir, her bir ölçüm için sapma,

$d_i = x_i - \bar{x}$ (m)	-0.002	0.001	-0.003	0.003	0.002	0	-0.001
---------------------------	--------	-------	--------	-------	-------	---	--------

Bu değerlerin toplamı beklenildiği gibi sıfırdır. Ortalama sapma $\Delta \bar{x}$, d_i lerin mutlak değerlerini toplayarak 0.012 m olarak bulunur. Böylece $\Delta \bar{x} = \pm 0. \frac{012}{7} = 0.0017 \text{ m}$ olarak bulunur.

Standart sapma ise

$$\sigma = \sqrt{\frac{(4 + 1 + 9 + 9 + 4 + 0 + 1) \times 10^{-6}}{6}} = \pm 0.00216 \text{ m} = \pm 2.16 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Olarak bulunur ve ölçülen L mesafesi için en doğru sonuç; $L = 125.163 \pm 2.16 \times 10^{-3} \text{ m}$ olarak ifade edilir.

Bileşik Hata Hesabı

R, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu olsun, yani matematiksel ifadesi $R = f(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n)$ dir. Bir deneyde bu değişkenlerin değerleri ölçümde bulunuyor ve her ölçüm için yapılan hata değerleri $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$ olarak belirleniyor olsun.

Toplama ve çıkarmada mutlak hatalar toplanır:

Yani $R=a+b$ ise $\Delta R = \Delta a + \Delta b$ dir.

Çarpma ve bölmede bağıl hatalar toplanır:

$$R=a.b \text{ veya } R=a/b \text{ ise } \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

Üstel sayılarda

$R=x^n$ ise

$$\frac{\Delta R}{R} = n \frac{\Delta x}{x}$$

Trigonometrik fonksiyonlarda

$R=\sin x$ ise mümkün olabilecek en büyük hata

$$\Delta R = \sin(x + \Delta x) - \sin x \text{ şeklindedir.}$$

Yukarıdaki işlemlerin en basit gösterimi:

$$\Delta R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \Delta x_1 \right) + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \Delta x_2 \right) + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} \Delta x_3 \right) + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \Delta x_n \right) \right]$$

Şeklindedir.

Fakat bilimsel çalışmalarda mümkün olan en büyük hata yerine k.o.k (kare ortalama karekökü) hatası kullanılır. Dolayısıyla

Bileşik hata

$$\Delta R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \Delta x_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \Delta x_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} \Delta x_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \Delta x_n \right)^2 \right]^{1/2}$$

Eşitliğinden bulunur. Toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemlerinde bu yöntem kullanılmaktadır.

Toplama ve çıkarma işlemleri:

x, y ve z ölçülen değerler ve ölçüm hataları $\Delta x, \Delta y$ ve Δz olsun. Bu üç ölçüm sonucu $x \pm \Delta x; y \pm \Delta y; z \pm \Delta z$ şeklindedir. Buradaki belirsizlik değeri ölçüm aletinin en küçük birimine karşı gelmektedir.

$w=z+y-z$ şeklinde ise

$$\Delta w = \left[\left(\frac{\partial w}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \Delta z \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 1, \frac{\partial w}{\partial y} = 1, \frac{\partial w}{\partial z} = -1 \text{ dir.}$$

Buradan;

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

Eşitliğinden bulunur. Eğer işlemde kullanılan ölçüm sonuçlarından birinde yapılan hata diğerlerinden çok büyükse, bu durumda diğer hata terimleri ihmal edilir. Eğer Δy , Δx ve Δz den çok büyük ise Δx ve Δz terimlerinin kareleri ihmal edilir ve

$\Delta w = \sqrt{(\Delta y)^2} = \Delta y$ olarak bulunur. Yani işlem sonunda aranan hata değeri, ölçüm sırasında yapılan en büyük hataya karşı gelmektedir.

Çarpma ve Bölme işlemleri:

Bir dikdörtgenin eni (w) ve boyu (h) olmak üzere alanı (A), $A=wh$ dır. w ve h için ölçüm hataları Δw ve Δh dır. Buradan ΔA yı bulalım.

$\Delta A = \left[\left(\frac{\partial A}{\partial w} \Delta w \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial h} \Delta h \right)^2 \right]^{1/2}$ dir, buradan A nın w ve h a göre türevleri alınır,

$$\Delta A = [(h\Delta w)^2 + (w\Delta h)^2]^{\frac{1}{2}}$$

elde edilir. Elde edilen eşitliğin her iki tarafı A ya bölünürse ($A=wh$)

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{h\Delta w}{A} \right)^2 + \left(\frac{w\Delta h}{A} \right)^2}$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{h\Delta w}{hw} \right)^2 + \left(\frac{w\Delta h}{hw} \right)^2}$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta w}{w} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h} \right)^2}$$

Sonucu çıkar. Bu son eşitlikte her terimin; ölçüm hatasının, ölçülen değere oranı olduğuna dikkat etmek gerekir. Dolayısıyla oranların birimi yoktur. ΔA değeri son eşitliğin sağ tarafının A ile çarpılmasından bulunabilir. Eşitliğin sağ tarafında bulunan oranlardan biri diğerinden çok daha büyük ise yine diğer terim ihmal edilir. Buna göre ölçülen değerler çarpılıyor veya bölünüyor ise, ölçümlerin en büyük hata değeri işlem sonucunun da belirsizliğine karşı gelir.

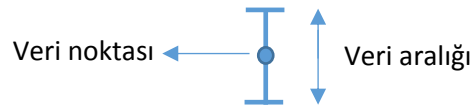
Laboratuvar deneylerinin büyük bir kısmı bilinen sabit değerlerin bulunmasını içerir. Bunun için bilinen değer ile deneysel olarak bulunan değer karşılaştırılır. Genel bir fikir edinmek için % hata hesabı ve aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\% \text{ hata} = \frac{(\text{bilinen sabit değer} - \text{deneysel değer})}{\text{bilinen sabit değer}} \times 100$$

Grafiksel Analiz

DeneySEL sonuçlar grafiksel olarak sunulabilir. Grafiksel analiz ile bir seri ölçüm sonucunun en iyi ortalamasının elde edilmesi ve ölçüm değerlerinin birbirleri ile ilişkilerinin açık bir şekilde görülmesine yardımcıdır. Grafiğin bu özellikleri grafik çiziminin iyi bir şekilde bilinmesi hususunu önemli kılar. Aşağıda grafik çizerken dikkat edilmesi gereken hususlar sıralanmıştır.

- i)** Grafik mümkün olduğunca büyük çizilmelidir. Küçük çizilmiş bir grafik, doğru sonuç elde edilmesini engeller
- ii)** Grafiğin mutlaka kısa ve öz adı yazılmalıdır.
- iii)** Grafiğin eksenlerine ilgili büyüklüğün adı ve birimi yazılmalıdır.
- iv)** Eksenler uygun şekilde ölçeklendirilmeli (genellikle 1, 2, 5, 10 ve katları kullanılır) ve mümkün olduğunca sıfırdan başlatılmalıdır. Ölçeğin seçiminde gereğinden büyük olmamasına dikkat edilmelidir.
- v)** Ölçümlerde yapılan hataları gösterecek şekilde hata barları çizilmelidir.



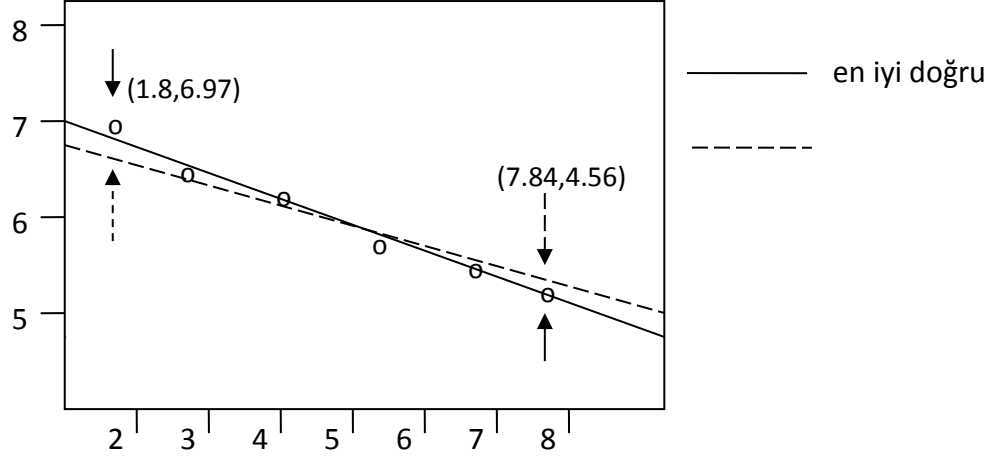
Yukarıdaki şekilde hata barının çizimi gösterilmiştir. Eğer bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her ikisi de ölçüm hatası içeriyor ise grafik üzerindeki her nokta kare veya daire içine alınmalıdır.

- vi)** Veri noktaları hataları ile birlikte grafikte gösterildikten sonra, bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çizilmelidir.
- vii)** Çizilen bir grafiğin doğrusal olması tercih edilmelidir. Doğrusal grafiğin çizilmesi hem kolaydır hem de daha güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Eğer değişkenler arasında doğrusal bir orantı yoksa doğrusal bir ilişki bulmak için; değişkenlerden birinin veya her ikisinin kuvvetleri alınır.

Bu doğrusal grafik çizilirken;

1. Doğrunun üst ve alt kısmında olabildiğince eşit sayıda veri noktası bulunmalı,
2. Bütün veri noktaları doğrunun üzerine düşmeli,
3. Çizilen doğru hata çizgilerini kesmelidir.

Aşağıdaki grafikte en iyi doğru açıkça görülmektedir.



Doğru, m ve b ile tanımlanan iki sabitle ifade edilen $y=mx+b$ şeklinde bir ifadenin grafiğidir.

DENEY:1 SERBEST DÜŞME ve ATWOOD DÜZENEĞİ

Amaç: Yerçekimi ivmesinin serbest düşen bir cisim ve Atwood düzeneği kullanılarak tespiti. Bu iki sistem için konum-zaman, hız-zaman bağıntısının incelenmesi.

Genel Bilgi: Newton'un yerçekimi kanunu iki noktasal cismin birbirlerine kütleleri ile doğru, aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılı bir kuvvet ile etki edeceğini söyler. Bu kuvvet cisimleri birleştiren doğrultu boyunca yönelmiş olup çekici bir niteliğe sahiptir ve büyüklüğü Denklem 1'deki şekilde ifade edilir.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Burada m_1 ve m_2 noktasal cisimlerin kütlelerini, r ise aralarındaki mesafeyi ifade ederken G evrensel yerçekimi sabiti olarak isimlendirilir. Yine Isaac Newton tarafından ispatlanan küresel kabuk teoremi, yerçekimi kanunu söz konusu olduğunda kütlesi homojen dağılmış ince bir küresel kabuğun, dışında kalan bölgelerdeki cisimlerle (tüm kütlesi merkezinde toplanmış) noktasal bir cisim gibi etkileşeceğini gösterir. Newton'un yerçekimi kanunu ve küresel kabuk teoremi ışığında dünya yüzeyindeki cisimlerin dünyanın yerçekimi altında hareketi üzerinde düşünelim. Günlük hayatta karşımıza çıkan objelerin tamamının boyutları dünyanın boyutları ile mukayese edilemeyecek kadar küçüktür dolayısı ile bu cisimler dünya ile kıyaslandığında noktasal gibi kabul edilebilirler. Öte yandan dünyanın kendisini de bir küre olarak kabul edip küresel kabuk teoremi ışığında dünyayı da tüm kütlesi merkezinde toplanmış noktasal bir cisim gibi düşünebiliriz. Dolayısı ile iki noktasal cisim arasındaki kuvveti veren Denklem 1 bu durumda doğrudan kullanılabilir ve hem cisim hem dünya üzerindeki kuvvetin büyüklüğü Denklem 2 ile verilir.

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad (2)$$

Burada M dünyanın kütlelerini R ise yarıçapını temsil ederken m dünya üzerindeki cismin kütlelerini göstermektedir. Eğer cisim sadece Denklem 2'de verilen yerçekimi kuvveti altında hareket ediyorsa Newton'un ikinci hareket kanununda kuvvet yerine Denklem 2'nin sağ tarafı yazılabilir ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

$$G \frac{Mm}{R^2} = ma \quad (3)$$

Bu eşitlikte sol taraftaki m cismin yerçekimsel kütlesi sağ taraftaki m ise eylemsizlik kütlesini temsil etmektedir. Eşdeğerlik ilkesi bu iki kütlenin aynı kabul edilebileceğini söylediğinden dolayı bunlar sadeleştirilebilir. Sonuçta cismin ivmesi için Denklem 4 türetilmiş olur.

$$a = G \frac{M}{R^2} \quad (4)$$

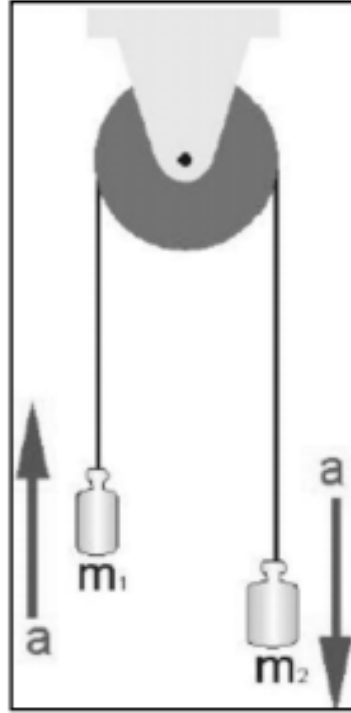
Denklem 4'ten görüldüğü gibi dünya yüzeyinde sadece yerçekimi kuvveti etkisinde hareket eden bir cismin ivmesi dünyanın kütlesi ve yarıçapına bağlıdır, dolayısı ile sabittir. SI birim sisteminde dünyanın kütlesi, yarıçapı ve evrensel yerçekimi sabiti Denklem 4'de yerine koyulursa bu ivmenin değeri yaklaşık $9,80 \text{ m/s}^2$ olarak hesaplanabilir. Genelde g sembolü ile gösterilen bu değer ortalama bir değerdir ve dünyanın şeklinin tam küre olmaması başta olmak üzere deniz seviyesinden yükseklik gibi dünya yüzeyindeki çeşitli yerel etkilerle farklı coğrafyalarda farklılık gösterir. Bu bağlamda dünya üzerindeki farklı konumlar için yararlanılabilecek bir formül aşağıda verilmiştir.

$$g = 9,780327 \times (1 + A \sin^2 L - B \sin^2 2L) - 3.086 \times 10^{-6} \times H \quad (5)$$

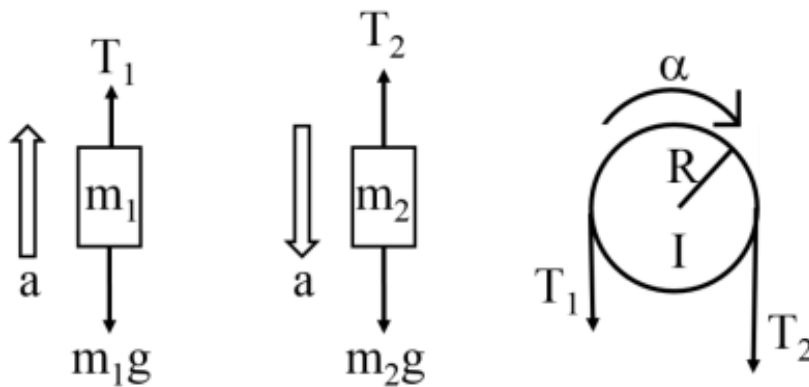
$A = 0,0053024$, $B = 0,0000058$, $L = \text{Enlem}$, $H = \text{deniz seviyesinden yükseklik (metre biriminde)}$

Deneyde dünyanın yerçekimi altında serbest düşmeye bırakılan bir cismin hareketi, düşme yüksekliği ve düşme zamanı ölçülerek incelenecektir. Bu ikisi arasındaki ilişki sabit ivmeli hareketin kinematik denklemleri kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \quad (6)$$

Atwood düzeneği**Şekil 1.1** Atwood düzeneği

Atwood düzeneği 1784 yılında İngiliz matematikçi George Atwood tarafından sabit ivmeli hareket kanunlarının doğrulanması amacı ile icat edilmiştir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi 3 makaradan geçen ip ile birbirine bağlanmış ve düşeyde hareket eden iki kütleden ibarettir. m_1 ve m_2 kütlelerinin ivmesini bulabilmek amacıyla bu cisimlerin ve makaranın serbest cisim diyagramları Şekil 1.2’de gösterildiği gibi çizilebilir. m_2 kütlelerinin m_1 kütlelerinden büyük olduğu varsayılmıştır.

**Şekil 1.2** Atwood düzeneğini oluşturan m_1 , m_2 kütleleri ve makaranın serbest cisim

diyagramları.

Sistemi oluşturan parçaların hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m_1 a = T_1 - m_1 g \quad (6)$$

$$m_2 a = m_2 g - T_2 \quad (7)$$

$$l\beta = (T_2 - T_1)R \quad (8)$$

Burada 6 ve 7 nolu denklemler Newton'un ikinci hareket kanunundan yazılmışken 8 nolu denklem bu kanunun dönme hareketine uygulanmış biçimidir. 8 nolu denklemin sağ tarafı makaranın üzerine etki eden net torku ifade ederken sol taraftaki l makaranın eylemsizlik momentini göstermekte ve β da açısal ivmesini ifade etmektedir. Bu 3 denklem 4 bilinmeyeni (T_1 , T_2 , a ve β) çözmek için yeterli değildir. Dolayısıyla dördüncü bir denkleme daha ihtiyaç vardır. Bu denklem de ipin makaranın üzerinden kaymadığı gözlemine (veya varsayımına) dolayısı ile bu sınırdaki çizgisel hızın ve ivmenin aynı olması gerekliliğine dayanarak türetilir. Makaranın açısal ivmesini makaranın sınırındaki çizgisel ivmeye eşitlemek suretiyle aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\beta R = a \quad (9)$$

6. ve 7. denklemlerden T_1 ve T_2 yalnız bırakılıp bu ifadeler 8. denklemin sağ tarafında yerine yazılabilir. Denklem 9'dan β çekilir ve 8'in sol tarafında yerine yazılırsa elde edilen ifade aşağıdaki gibi olur.

$$l \frac{a}{R} = (m_2 g - m_2 a - m_1 a - m_1 g)R \quad (10)$$

10 nolu denklemden a aşağıdaki gibi çekilebilir.

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{(m_1 + m_2 + \frac{1}{R^2})} \quad (11)$$

Makara bir disk şeklindedir. Bir diskin eylemsizlik momenti ise kütlesi ve yarıçapına $\frac{MR^2}{2}$ ifadesi ile bağlıdır. Bu ifade Denklem 11 deki yerine yazılırsa sistemin çizgisel ivmesi

aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur.

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{(m_1 + m_2 + \frac{M}{2})} \quad (12)$$

Bu ifadeden anlaşılacağı üzere sistem sabit ivmeli hareket yapar. Sabit ivmeli hareketin hız ve konumu zaman cinsinden ifade eden kinematik denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$v = v_0 + at \quad (13)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (14)$$

Deneyin Yapılışı



Şekil 1.3 Serbest düşme ve Atwood deney düzeneği

1. Deney düzeneği Şekil 1.3’de gösterilmiştir.
2. Ana gövdeye tutucular yardımıyla sabitlenmiş makara, iki sensör tertibatı, kütle tutucu ve

cismin düştüğü süngerli kovayı inceleyiniz. Yukarıdaki sensör hemen kütle tutucunun yanında yer almakta olup onunla aynı metal çerçeveye sabitlenmiştir. Kütle tutucu elektromıknatıs içermektedir. Sisteme elektrik geldiği sürece elektromıknatıs aktiftir. Buraya manyetik bir metalden yapılmış bir kütle tutturulduğu zaman süreölçer kendini otomatik olarak sıfırlar. Düğmeye basıldığında elektromıknatısa giden akım kesilir, böylece tutturulan kütle serbest kalır ve süreölçer çalışmaya başlar. Düşen kütle daha aşağıda yer alan kesme sensöründen geçtiği anda süreölçer durur. Düşen cisme, sisteme ve etrafa zarar gelmesin diye cisimlerin süngerli bir kovaya düşmesi sağlanır.

3. Kesme sensörünün ve kütle tutucunun sabitlendiği metal çerçeveler sağ taraflarında bulunan küçük siyah kol yardımı ile sıkılıp gevşetilmek sureti ile gövde üzerinde farklı yüksekliklere getirilebilmektedirler. Gevşetme işlemini yaparken sol elinizle metal çerçeveyi tutup sağ elinizle kolu çevirerek gevşetmeyi yapınız. Metal çerçeveyi düşürmemeye özen gösteriniz. Yükseklikler gövdenin arkasında yer alan cetvel yardımı ile ölçülebilirler. Ölçümü kolaylaştırmak için sensör hizalarına beyaz çizgiler çekilmiştir. Yükseklik ölçümlerinizi milimetre hassasiyetinde alınız.

4. Deney serbest düşme ve Atwood düzeneği olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

5. Atwood düzeneği kullanılacağı zaman deneye başlamadan kütle tutucunun yüksekliğini öyle ayarlayınız ki buraya bir kütle tutturulduğunda ipin diğer ucunda yer alan ve aşağıda kalan kütle hiçbir yere değmeden serbest bir şekilde salınabilsin. Ölçüme başlamadan bu kütlenin salınımının el ile durdurulması daha sağlıklı sonuç verir. Sürtünmelerden kaçınmak için ipin makara haricinde hiçbir yere temas etmediğinden emin olun. Gerekirse deney sorumlularından yardım isteyin.

6. Serbest düşme deneyi için Atwood makinesinde kullanılacak ipi makaradan çıkararak ipin iki ucundaki cisimleri düşme ekseninden uzaklaştırın. Metal toplardan birini alarak kütle tutucuya sabitleyin. Topun doğrudan kovaya düştüğünden emin olmak için düğmeye basın ve bir deneme yapın. Tutucu yüksekliğini Tablo 1.1'in üstündeki kısma kaydediniz. Rastlantısal hataları gözetim altında tutmak için kesme sensörünü beş farklı yüksekliğe getirerek her yükseklikte beş kere zaman ölçmeniz istenmektedir. Yükseklikler arasını kabaca 20 cm civarında alabilirsiniz. Tam değeri cetveldən okuyarak milimetre hassasiyetinde kaydediniz.

7. Ölçümlerinizi Tablo 1.1'e kaydediniz.

Tutucu yüksekliği:

Tablo 1.1 Serbest düşme deneyi için yükseklik-zaman ölçümü tablosu

Sensör Yüksekliği (cm)	Zaman (s)				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5

8. Atwood düzeneği deneyi için metal topu kaldırınız ve ipi makaradan geçirerek iki ucundaki kütlenin serbestçe salınım yapabildiğini gözlemleyiniz. (5 nolu maddeyi tekrar okuyunuz.) İpin iki ucundaki kütlelerin kaç grama ayarlanacağını deney sorumlusuna sorunuz.

9. Serbest düşme deneyine benzer şekilde ölçüm alınız ve Tablo 1.2'ye kaydediniz.

Tutucu yüksekliği: $m_1 =$ $m_2 =$

Tablo 1.2 Atwood düzeneği deneyi için yükseklik-zaman ölçümü tablosu

Sensör Yüksekliği (cm)	Zaman (s)				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5

Hesaplamalar ve Grafikler

Hem serbest düşme deneyinden hem de Atwood düzeneği deneyinden aldığınız verileri işleyerek konum zaman ve hız zaman grafikleri çizmeniz beklenmektedir. Yükseklik-zaman grafikleri Tablo 1.1'de ölçtüğünüz sensör yüksekliklerini tutucu yüksekliğinden çıkararak Tablo 1.3'ün sağ sütununu doldurunuz. Tablo 1.1'de her yükseklik için ölçtüğünüz zaman değerlerinin ortalamasını alarak Tablo 1.3'ün sol sütununu doldurunuz.

Tablo 1.3 Serbest düşme için zaman-yükseklik tablosu

Zaman (.....)	Yükseklik (.....)

Bu tablodaki verileri grafik kağıdı üzerinde noktalarla ifade ediniz. Teorik kısmı göz önünde bulundurursak bu noktalardan nasıl bir eğri geçmesini bekleriz? Tablo 1.2’de ölçtüğünüz sensör yüksekliklerini tutucu yüksekliğinden çıkararak Tablo 1.4’ün sağ sütununu doldurunuz. Tablo 1.2’de her yükseklik için ölçtüğünüz zaman değerlerinin ortalamasını alarak Tablo 1.4’ün sol sütununu doldurunuz.

Tablo 1.4 Atwood düzeneği için zaman-yükseklik tablosu

Zaman (.....)	Yükseklik (.....)

Bu tablodaki verileri grafik kağıdı üzerinde noktalarla ifade ediniz. Teorik kısmı göz önünde bulundurursak bu noktalardan nasıl bir eğri geçmesini bekleriz?

Hız-zaman grafikleri ve verçekimi ivmesi hesabı

Deneyde hızlar doğrudan ölçülmemiştir dolayısı ile hesaplanması gerekecektir. Serbest düşen cismin sabit ivmeli hareketinden gelen denklemini göz önüne alalım. Sağ taraftaki t ’nin bir tanesini sol tarafa paydaya yazalım ve $\frac{1}{2}$ ’yi sağ taraftaki t ’nin altına kaydıralım. Elde ettiğimiz denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{h}{t} = g \frac{t}{2} \quad (15)$$

15 nolu denklemin sol tarafı hız boyutundadır ve fiziksel olarak düşen cismin belli bir h yüksekliğine gelene kadarki ortalama hızına karşılık gelir. Bu ortalama hızın hız-zaman grafiği üzerinde bir nokta ile (yani anlık hız gibi) temsil edilebilmesi için formülden de görüldüğü gibi konumun ölçüldüğü zamanın yarısına karşılık gelecek şekilde işaretlenmesi gerekmektedir. Bunun fiziksel sebebini araştırınız.

Tablo 1.3'deki zaman değerlerinin yarısını kullanarak Tablo 1.5'in sol sütununu doldurunuz. Tablo 1.3'deki yükseklik değerlerini zaman değerlerine bölerek Tablo 1.5'in sağ sütununu doldurunuz.

Tablo 1.5 Serbest-düşme için hız-zaman tablosu

Zaman (.....)	Yükseklik (.....)

Bu tablodaki verileri grafik kağıdı üzerinde noktalarla ifade ediniz. Teorik kısmı göz önünde bulundurursak bu noktalardan bir doğru geçmesini bekleriz. Bu doğrunun denklemi $v = gt$ 'dir. Bu denklemde yerçekimi ivmesini (yani doğrunun eğimi de olan g 'yi hesaplamamız istenmektedir. Bu hesabı yukarıdaki tablodaki değerleri doğrusal fit formülünde kullanarak yapınız. Bu sizin deneyde ölçtüğünüz yerçekimi ivmesine karşılık gelir. Deneysel ivmeyi aşağıda hesaplayınız ve birimi ile beraber değerinizi yazınız.

$$\sum_{i=1}^5 t_i =$$

$$\sum_{i=1}^5 v_i =$$

$$\sum_{i=1}^5 t_i v_i =$$

$$\sum_{i=1}^5 t_i^2 =$$

$$g = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^5 t_i v_i - \sum_{i=1}^5 t_i \sum_{i=1}^5 v_i}{5 \cdot \sum_{i=1}^5 t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 t_i \right)^2} =$$

$g_{deneysel} = \dots\dots\dots$

Bu ivmeyi kullanarak doğruyu grafiğinizde çiziniz. Doğrunun noktalara uygunluğunu gözlemleyiniz.

Teori kısımdaki 5 nolu denklemi kullanarak deneyin yapıldığı laboratuardaki yerçekimi ivmesinin beklenen değerini hesaplayınız.

(Erzurum Teknik Üniversitesi nin enlemi ve denizden yüksekliğini bulup $g_{beklenen}$ İki ivmeyi birbiri ile kıyaslayınız)

Aynı işlemi Atwood düzeneği için yapacağız. Yalnız bu sefer ivmemizin g değil 12 numaralı denklemde verilen a olmasını bekliyoruz. Yine aynı mantıkla hareket ederek Tablo 1.4'deki değerler ve $\frac{h}{t} = a \frac{t}{2}$ denklemini kullanarak Tablo 1.6'yı doldurunuz.

Tablo 1.6 Atwood düzeneği için hız-zaman tablosu

Zaman (.....)	Yükseklik (.....)

Bu tablodaki verileri grafik kağıdı üzerinde noktalarla ifade ediniz. Bu noktalardan geçmesini beklediğimiz doğru denklemi $v = at$ 'dir. Bu denklemde Atwood düzeneğinin ivmesini (yani

doğrunun eğimi de olan a 'yi hesaplamanız istenmektedir. Bu hesabı yukarıdaki tablodaki değerleri doğrusal fit formülünde kullanarak yapınız. Bu sizin deneyde ölçtüğünüz ivmeye karşılık gelir. Deneysel ivmeyi aşağıda hesaplayınız ve birimi ile beraber değerınızı yazınız.

$a_{deneysel} = \dots\dots\dots$

Bu ivmeyi kullanarak doğruyu grafiğinizde çiziniz. Doğrunun noktalara uygunluğunu gözlemleyiniz

12 nolu denklemi kullanarak ivmenin beklenen değerini hesaplayınız. Makaranın kütlesi 8 gramdır ($M = 8 \text{ gr}$).

$a_{beklenen} = \dots\dots\dots$

İki ivmeyi birbiri ile kıyaslayınız. Beklenen değer üzerinden yüzde hatayı hesaplayıp farkın sebeplerini tartışınız

DENEY:2 BİR BOYUTTA SABİT HIZLI VE SABİT İVMELİ HAREKET

Amaç: Bir cismin sabit hız ve sabit ivmeli bir boyutlu hareketinin hava rayında incelenmesi

Genel Bilgi:

Hareket, zaman içerisinde sürekli olarak yer değiştirmektir. Hareketin değişik biçimleri vardır; "Sabit Hızla Düzgün Doğrusal Hareket" bunların en basit olanıdır. Bu şekilde olan harekette, hareket eden cisim eşit mesafeleri aynı zaman aralıkları içerisinde düzgün bir hat boyunca kat eder. Newton'un Birinci Hareket kanununa göre; bir cisim net bir kuvvetin etkisinde kalmadığı sürece hareketsizse daima hareketsiz kalır, sabit hızla hareket halinde ise hareketine devam eder.

Sabit Hızlı Hareket ($v=st$):

Bir cisim bir boyutta sabit bir v hızı ile hareket ediyor olsun. Bu cismin herhangi bir t anındaki konumu; ilk konumu(x_0) ile t süresince kat ettiği yolun toplamına eşittir. Buna göre cismin yer değiştirmesi şu şekilde ifade edilebilir:

$$x = x_0 + vt \quad (1)$$

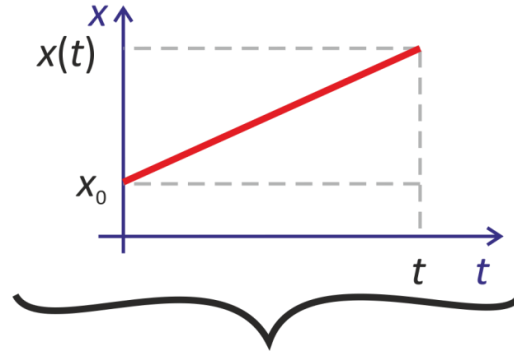
Matematiksel olarak; yer değiştirmenin zamana göre 1. türevinin cismin hızını

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (2)$$

ve 2. Türevi cismin ivmesini verir.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a \quad (3)$$

Bu yaklaşımı hareketin $x(t)$, $v(t)$ ve $a(t)$ grafiklerini analiz ederken nasıl kullanıldığını Şekil 1'den görebilirsiniz. Sabit hızlı hareket için $x(t)$ grafiği Şekil 1'de verildiği gibidir. $v(t)$ grafiği ise zamanla değişmeyen v değeri yüzünden yatay bir doğru iken hareket süresince ivmesi ise sıfırdır.

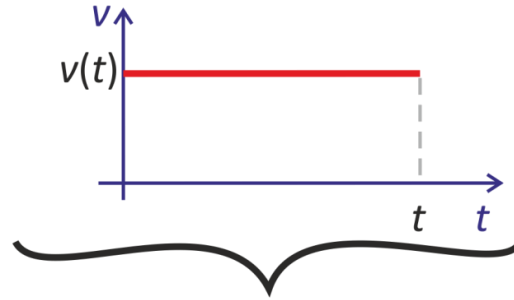


$x(t)$ 'nin 1. türevi

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

$x(t)$ grafiğinin eğimi cismin hızı

$x(t)$ grafiğinin herhangi bir t anındaki eğimi bize cismin o t anındaki hızını verir.



$x(t)$ 'nin 2. türevi ise

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = a$$

$v(t)$ grafiğinin eğimi cismin hızı

$v(t)$ grafiğinin herhangi bir t anındaki eğimi bize cismin o t anındaki ivmesini verir.



Şekil 1. $x(t)$ grafiğinin 1. türevi $v(t)$ 'yi, 2. türevi $a(t)$ 'yi verir

Sabit İvmeli Hareket (a=st)

Bir cisim bir boyutlu sabit ivmeli bir hareket yapıyorsa, cismin hızı lineer şekilde artar. Farz edelim ki $t=0$ anı için cismin hızı $v_0=0$ olsun. Herhangi bir t anındaki hızı ise;

$$v = at \quad (4)$$

olur. Buradaki a , cismin ivmesidir ve büyüklüğü ve yönü sabittir.

Sabit ivmeli bir hareket için diğer formülleri türetelim: $t = 0$ anında $x = 0$ ve $v = v_0$ olsun.

$a = \text{sabit} \rightarrow a = \bar{a}$ 'dır.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_s - v_i}{t_s - t_i} \quad (5)$$

$$a = \bar{a} = \frac{v - v_0}{t} \quad (6)$$

$$v = v_0 + at \quad (7)$$

$a = \text{sabit}$ olduğu için son bulduğumuz formülden de görüldüğü gibi hız lineer olarak artar.

Hız lineer olarak arttığı için ise;

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v) \quad (8)$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_s - x_i}{t_s - t_i} \quad (9)$$

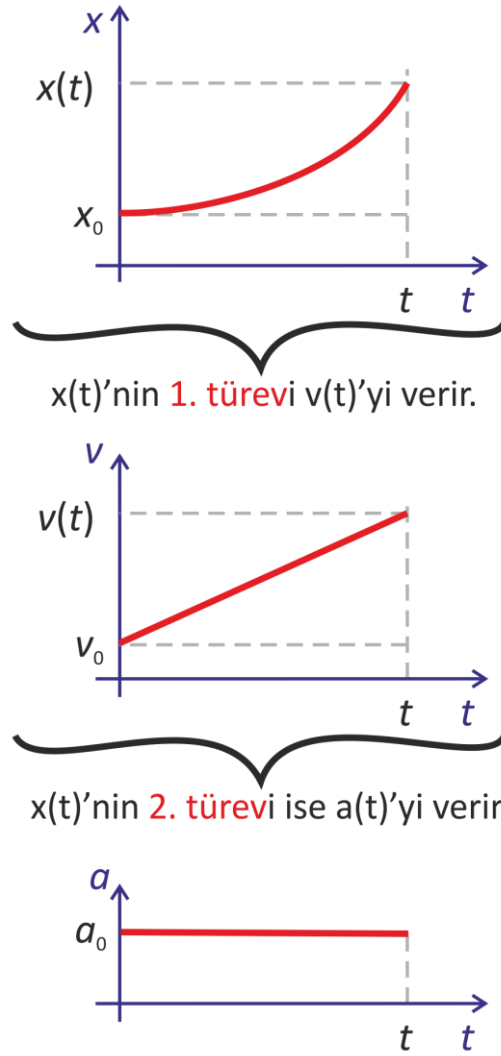
(8) ve (9) formüllerinden yararlanarak

$$x = \bar{v}t = \frac{1}{2}(v_0 + v)t \quad (10)$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (11)$$

olarak bulunmuş olur.

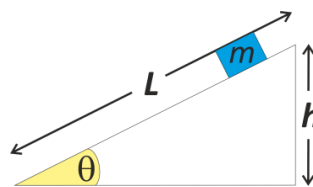
Bulduğumuz bu formüllerin ışığında sabit ivmeli hareketin $x(t)$, $v(t)$ ve $a(t)$ grafiklerinin Şekil 2' deki gibi olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 2. Sabit ivmeli hareketin örnek $x(t)$, $v(t)$ ve $a(t)$ grafikleri

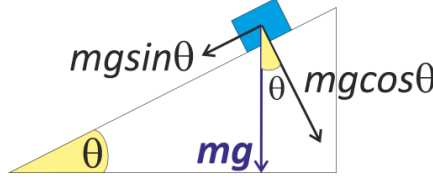
Eğik Düzlemde Sabit İvmeli Hareket

Galileo'nun deneysel bilime en büyük katkılarından birisi eğik düzlemdir. Galileo eğik düzlem kullanarak serbest düşme hareketini yavaşlatmış ve hassas ölçümler yapabilmıştır. Galileo'nun eğik düzlemde yuvarladığı topun modern hali hava rayıdır. Rayın üzerinde hareket eden kızaklar ile ray yüzeyi arasında bir hava katmanı olduğu için kızaklar neredeyse sürtünmesiz olarak hareket edebilmektedir (hava sürtünmesi ihmal edilmektedir).



Şekil 3. Eğik düzlem

Eğer kızak üzerindeki sürtünme etkisi göz ardı edilebilir boyutlarda ise sabit bir a ivmesi ile hareket edecektir. Şekil 3’deki gibi bir eğik düzlemin üzerindeki bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetini ve bu durumun kuvvet diyagramını inceleyelim.



Şekil 4 Kuvvet diyagramı

Bu faz diyagramını kullanarak hareketin ivmesini hesaplayalım;

$$ma = mg \sin \theta \quad (12)$$

$$a = g \sin \theta = g \frac{h}{L} \quad (13)$$

Buradaki $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$, h ve L ise Şekil 3’de verildiği gibi eğik düzlemin mesafeleridir.

Deneyin Yapılışı



Şekil 5. Hava Rayı Deney Seti

Bu deneyde kullanılacak Hava Rayı deney seti; bir adet delikli üçgen prizma ray, iki adet sensör, bir adet kızaktan oluşmaktadır. Ayrıca rayı basınçlı hava sağlayan hava kaynağı ve sensörlerden gelen veriyi okuyan ve hafızaya alabilen bir arayüz bulunmaktadır. Kızak ve üzerindeki tek parça perde kızığın üzerinde bir boyutta hareket etmektedir. Sensörün bacakları arasından bu kızak perdesi geçerek infrared ışını bloke eder. Bu sayede kızığın hangi anda sensöre girip hangi anda çıktığı ve sensörler arasını ne kadar sürede kat ettiği konusunda bilgi sağlarlar. Bu veriler, arayüz ekranından okunabilir. Bu veriler ile incelediğimiz bir boyuttaki hareketin detayları elde edilmiş olur. Bu deneyde kullanılan arayüz dijital göstergelidir ve üç farklı çalışma moduna sahiptir; bu deneyde biz ‘MODE 1’ i kullanacağız.

MODE 1:

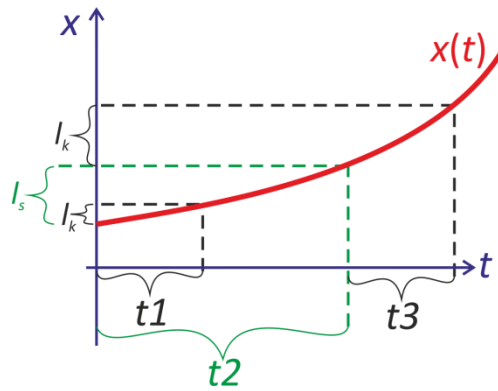
Tek kızağın sırasıyla 1. ve 2. Sensörden geçtiği hareketler için düzenlenmiş olan bu mod da **t1**, **t2** ve **t3** verileri elde edilir.

t1: Kızağın 1. sensörden geçme süresi, yani l_k kızak boyunu geçmesi için geçen süre

t2: kızağın iki sensör arasındaki mesafeyi (l_s) geçme süresi

t3: kızağın 2. sensörden geçme süresi, l_k kızak boyunu geçmesi için geçen süre olarak ölçülmektedir. Bu ölçümler aşağıda tablodaki gibi gösterilebilir.

$t1=.....$	$\Delta x_1=l_k$
$t2=.....$	$\Delta x_2=l_s$
$t3=.....$	$\Delta x_3=l_k$



NOT: $t_0=0$ anında x_0 değerini tam olarak bilmiyoruz ve kızağı belli bir süre iterek harekete başlattığımız için sensörden geçerken ki ilk hızı sıfırdan farklı olacaktır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer bir unsur ise, t_1 , t_2 , ve t_3 değerlerinin gerçekten neyi ifade ettikleridir. Bunlar grafikte gösterilirken $t_a=t_1$, $t_b=t_2$, ve $t_c=t_2+t_3$ şeklinde olacak şekilde $x_a=\Delta x_1$, $x_b=\Delta x_2$, $x_c=\Delta x_2+\Delta x_3$ şeklinde t_a , t_b ve t_c noktalarına karşılık gelecek şekilde x_a , x_b ve x_c grafikte işaretlenerek grafik çizilir.

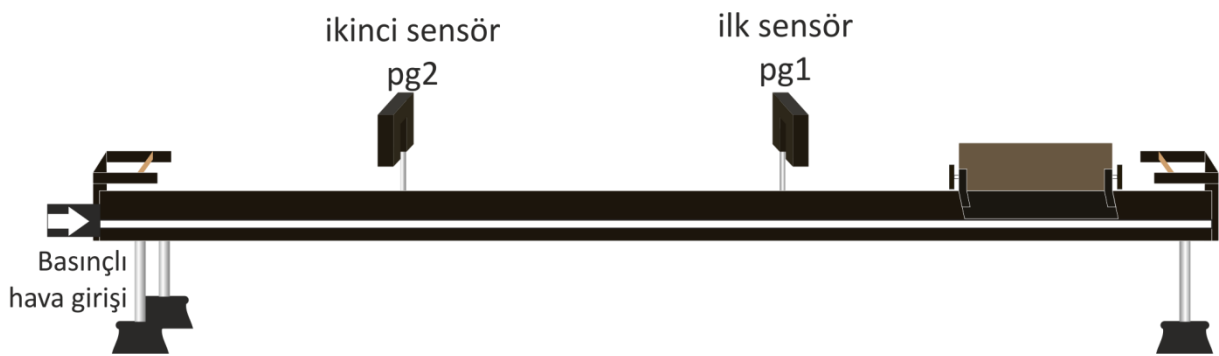
A. Sabit Hızlı Hareket

Rayı tam olarak yatay konumda olması çok önemlidir. Bu yüzden;

- Rayı düz bir zemin üzerine yerleştirin.
- Basınçlı hava kaynağının hava rayı ile bağlantısını yapınız.
- Rayın tam olarak yatay bir konum almasını sağlamak için basınçlı hava kaynağını açtıktan sonra hava rayının ayaklarının altındaki ayar vidaları ile kızakların mümkün olduğunca hareketsiz durmasını sağlayın.

1. Deney düzeneğimizdeki sensörleri hava rayının üzerine sabitleyin.

- Hareket yönüne göre ilk sensör ile hareketin başlatıldığı yer arasında belirli bir mesafe ($>20\text{cm}$) kalacak şekilde 1. sensörün yerini sabitleyin.
 - 2. sensörü hareket sonunda kızak tamamıyla sensörden çıkmış olmasını sağlayacak bir yere sabitleyin.
 - Ray üzerindeki metre şerit yardımıyla sensörler arası mesafe ayarlanabilir.
2. Sensörler ve arayüz arasındaki bağlantıyı yapın. Bağlantıyı yaparken sensörlerin sıralamasına dikkat edin.
 3. Şekil 6'daki gibi raya bir kızak yerleştirin.
 4. Arayüzü açın ve MODE 1 konumuna alarak sabit hızlı hareket verilerini almaya hazır hale getirin.
 5. Kızağa anlık bir itme ile ilk hızı vererek 1. sensöre girmeden önce kızağı sabit hızlı hareketi için bırakmış olmanız zorunludur.
 6. Arayüz verileri t_1 , t_2 ve t_3 şekilde kayıt edecektir.
 7. Kızak iki sensörden de geçtikten sonra arayüz üzerindeki sonuçları, sensörler arası mesafeyi (l_s) ve kızak perdesinin boyu (l_k) gibi gerekli bilgileri deney raporu üzerindeki ilgili yerlere kaydedin.
 8. Elinizle kısa bir an iterek hareket kazandırdığınız kızağa uyguladığınız bu itmenin şiddetini çeşitlendirerek deneyi birkaç kez tekrarlayın.



Şekil 6. Sabit hızlı hareket deneyi için hava rayının şeması

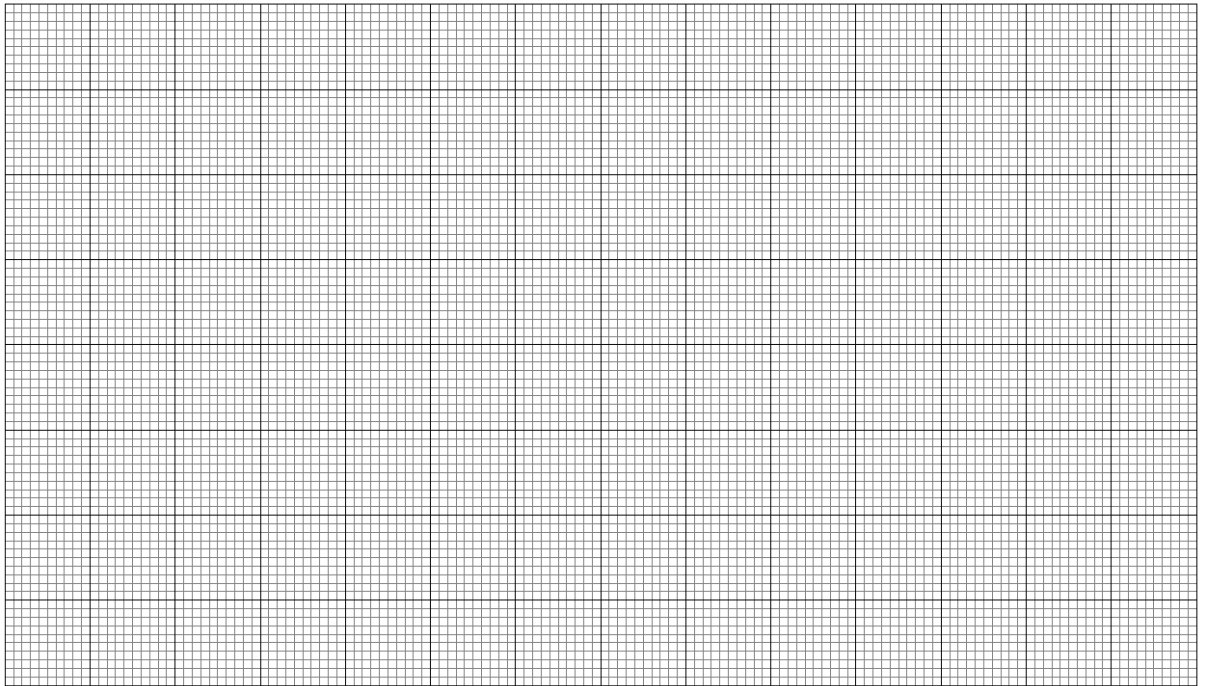
9. Kayıt ettiğiniz t_1 , t_2 , t_3 , sensörler arası mesafe (l_s) ve kızak perdesinin boyu (l_k) gibi bilgileri kullanarak konum-zaman grafiğini oluşturun.

l_k =kızak perdesinin boyu=.....

l_s =sensörler arası mesafe=.....

Deneme1		Deneme2		Deneme3	
t1=.....	$\Delta x_1=.....$	t1=.....	$\Delta x_1=.....$	t1=.....	$\Delta x_1=.....$
t2=.....	$\Delta x_2=.....$	t2=.....	$\Delta x_2=.....$	t2=.....	$\Delta x_2=.....$
t3=.....	$\Delta x_3=.....$	t3=.....	$\Delta x_3=.....$	t3=.....	$\Delta x_3=.....$

10. Yukarıdaki üç farklı deneme için elde ettiğiniz ölçülerden, üç ayrı konum zaman grafiğini alttaki grafik kağıdına çizerek bu grafiklerin eğimlerinden üç ayrı deneme için hız değerlerini bulunuz.



Grafik: Üç farklı deneme için x-t grafikleri

$$v_1=$$

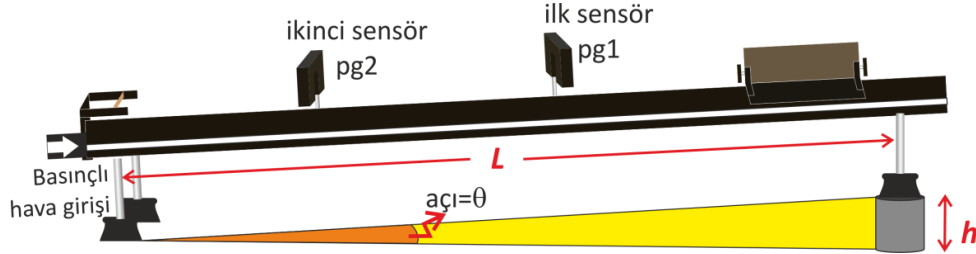
$$v_2=$$

$$v_3=$$

B. Sabit İvmeli Hareket - Eğik Düzlem

- Şekil 7'deki gibi bir eğik düzlem elde etmek için, eğik düzlem aparatını şekildeki gibi tek ayaklı ucundaki ayağa sabitleyin.
- Kızağı ilk konumuna yerleştirin ve arayüzü açın ve MODE 1 konumuna alarak hareket için hazır hale getirin.
- Kızağı en uç noktaya getirip serbest bırakarak Sabit İvmeli Hareketi gözlemleyin. Arayüz verileri t1, t2 ve t3 şekilde kayıt edecektir.

4. Bu zaman değerlerini, sensörler arası mesafe (l_s), L , H , kızak perdesinin boyu (l_k) gibi gerekli bilgileri kaydedin. Deneyde bütün parametreleri sabit tutup eğik düzlemin H yüksekliğini değiştirerek farklı büyüklüklerde ivme ile hareket eden cisim incelenecektir.

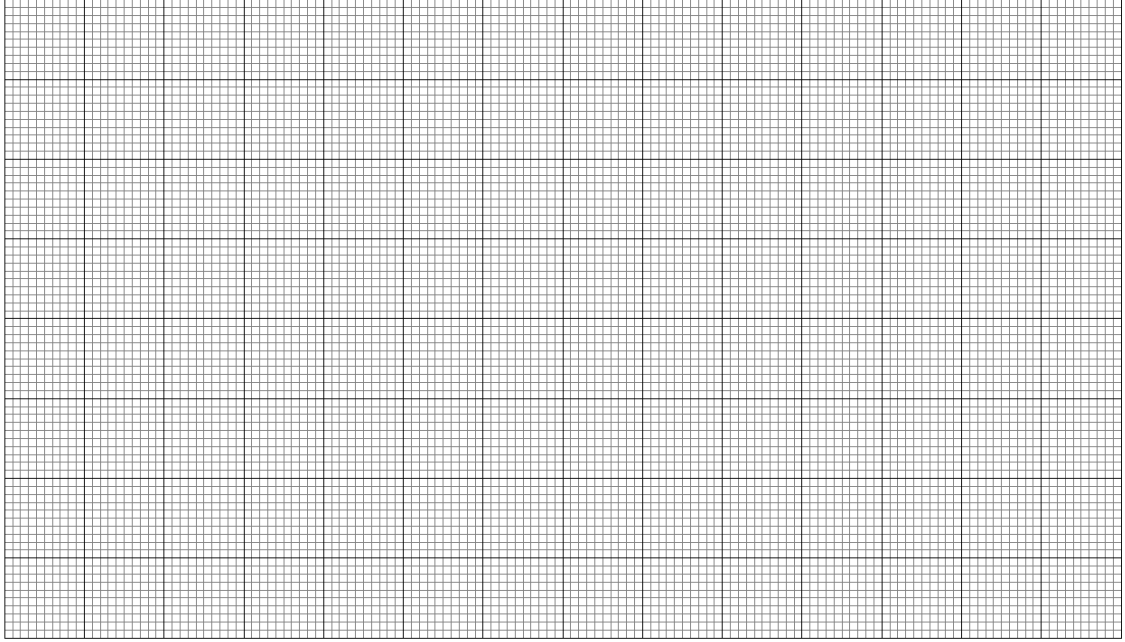


Şekil 7 Eğik düzlem ile sabit ivmeli hareket deneyi için hava rayının şeması

$H_1=$		$H_2=$		$H_3=$		$H_4=$		$H_5=$	
$t_1=.....$	$\Delta x_1=.....$	$t_1=.....$	$\Delta x_1=.....$	$t_1=.....$	$\Delta x_1=.....$	$t_1=.....$	$\Delta x_1=.....$	$t_1=.....$	$\Delta x_1=.....$
$t_2=.....$	$\Delta x_2=.....$	$t_2=.....$	$\Delta x_2=.....$	$t_2=.....$	$\Delta x_2=.....$	$t_2=.....$	$\Delta x_2=.....$	$t_2=.....$	$\Delta x_2=.....$
$t_3=.....$	$\Delta x_3=.....$	$t_3=.....$	$\Delta x_3=.....$	$t_3=.....$	$\Delta x_3=.....$	$t_3=.....$	$\Delta x_3=.....$	$t_3=.....$	$\Delta x_3=.....$
$a_{1teorik}=$		$a_{2teorik}=$		$a_{3teorik}=$		$a_{4teorik}=$		$a_{5teorik}=$	
$a_{1deneysel}=$		$a_{2deneysel}=$		$a_{3deneysel}=$		$a_{4deneysel}=$		$a_{5deneysel}=$	

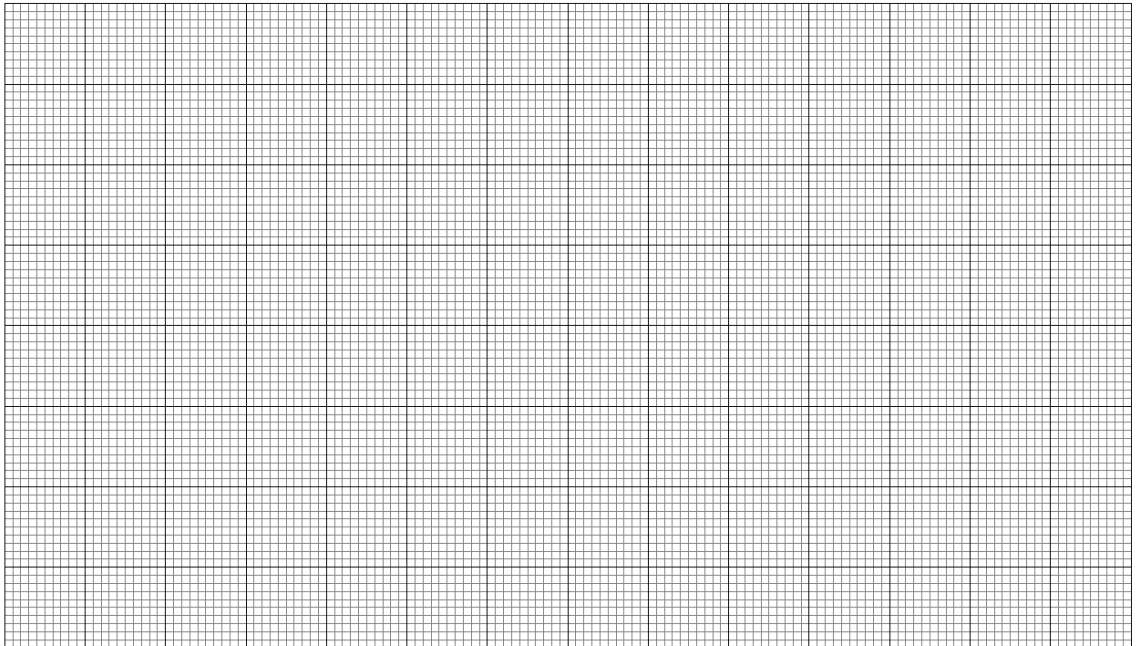
5. Oluşturduğunuz her bir eğik düzlemin eğim açısını (θ) hesaplayarak yerçekimi ivmesi $g = 9,81ms^{-2}$ 'yi ve kızak ağırlığı, eğim açısı gibi bilgileri kullanarak her bir hareket için ivmeyi teorik olarak tespit edin.

6. Kayıt ettiğiniz t_1 , t_2 , t_3 , sensörler arası mesafe (l_s), L , H , kızak perdesinin boyu ve gibi bilgileri kullanarak konum-zaman grafiğini oluşturun.



Grafik: Her bir yükseklik değeri için konum-zaman grafikleri

7. Konum zaman grafiğini analiz ederek kızağın hareketini yorumlayın. Konum zaman grafiklerinde her bir zaman değerine karşılık gelen ani hız niceliklerini teorik ivme yardımı ile hesaplayarak, konum-zaman grafiğinden hız-zaman grafiğini elde edin.



Grafik: Konum zaman grafiklerinden elde edilen hız-zaman grafikleri

8. Hız zaman grafikleri için en iyi uyum doğrularını çizerek her bir yükseklik için kızağın ivmesini hesaplayarak tabloya deneysel ivme değerlerini kaydedin ve bunları teorik ivme değerleri ile karşılaştırın.

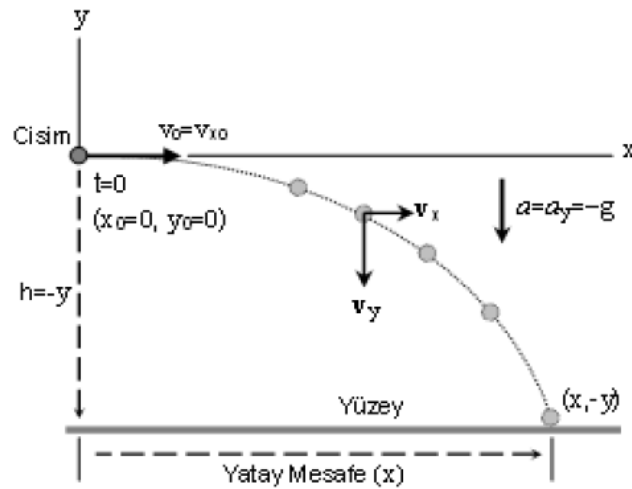
DENEY:3 EĞİK ATIŞ DENEYİ**Amaç:**

- Yatay atış hareketini (iki boyutta) inceleyerek, yatay olarak fırlatılan bir cismin ilk hızını belirlemek,
- İki boyutta hareketin kinematik denklemlerini anlamak,
- Eğik atış hareketini inceleyerek, yatay eksene göre belirli bir açı yapacak şekilde ilk hızla atılan bir cismin aldığı yatay mesafeyi tahmin etmek.

Genel Bilgiler:

Yatay eksene göre belirli bir açı yapacak şekilde ilk hızla atılan bir cismin hareketine eğik atış hareketi denir. Bir cisim, ilk hızla v_0 ve yatayla bir θ açı yapacak şekilde atılması durumunda;

- $\theta=0^\circ$ olursa yatay atış,
- $\theta=90^\circ$ olması durumunda düşey atış,
- $0^\circ<\theta<90^\circ$ olursa eğik atış olur.



Şekil 1 Yatay olarak $t = 0$ anında v_0 ilk hızıyla fırlatılan bir cismin (topu9n) yörüngesi. Kesik çizgiler cismin izlediği yolu gösterir

Fırlatıcıdan belli bir ilk hızla fırlatılan cisim, tamamen yer çekimi ivmesinin etkisiyle belirlenen bir yolu takip eder. Fırlatılan cismin izlediği yola, yörünge denir. Yer çekimi ivmesinin değeri: $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ olarak verilir. Yerçekimi ivmesi hareket süresince sabit ve aşağıya doğrudur.

Eğik atış, dünyanın yer çekimi ivmesi etkisi altında bir cismin iki boyutlu hareketidir. Bu cismin herhangi bir t zamanındaki konumu, zamana bağlı değişen x ve y koordinatları tarafından verilir ve sırasıyla yatay ve dikey koordinatları temsil eder (bkz. Şekil 3.1). Şekil 3.1’de verilen örnek incelendiğinde, cisim (top) platformdan ayrıldığı anda, hızın sadece x -bileşeni vardır ($v_0 = v_{x0}$). Cisim, $t = 0$ anında platformdan ayrıldığında, aşağı doğru düşey ivmeye “ g ” maruz kalır (yer çekimi ivmesi). Eğik atış hareketi yapan cismin hızının x - ve y -bileşenleri vardır. Cismin hızının y -bileşenine yer çekimi kuvveti etki eder ve ivmeli hareket yapar. Bununla beraber, cismin hızının x -bileşenine ise hiçbir kuvvet etki etmez ve bu nedenle yörünge boyunca cismin hızının x –bileşeni yatay x -yönünde düzgün doğrusal hareket yapar.

İlk önce, bu hareketin yatay yöndeki () bileşenini inceleyelim. Yatay x -yönünde, ivme sıfırdır. İvmenin $a_x = 0$ olması nedeniyle, hızın yatay bileşeni v_x sabit kalır ve ilk değere eşittir (yani $v_x = v_{x0}$). Böylece, cismin hızının x -bileşeni (v_x) sabit kalacak ve yörünge boyunca her noktada aynı büyüklükte olacaktır. Düşey y -ekseninde hız başta sıfırdır (yani, $v_y = 0$) ve cisim yüzeye çarpana kadar düşey (aşağı) yönde devamlı artar. Bu nedenle, hızın sadece düşey bileşeni (v_y) zamana bağlı olarak değişecektir. İki boyutta hareket eden bir cismin hız vektörünün iki bileşeninden biri yatay, x -eksenine ve diğeri düşey, y -eksenine paraleldir:

$$\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} \quad (1)$$

İvme vektörü $\vec{a}$ bileşenleri:

$$a_x = 0 \quad (2)$$

$$a_y = a \text{ (sabit)} \quad (3)$$

olarak yazılır.

İvmenin x -bileşeni sıfırdır ve y –bileşeni sabittir. Yatay x -yönünde ivme olmadığı için, cismin hızının yatay bileşeni hareket boyunca sabit kalır. Bu nedenle, eğik atış hareketini y –ekseni boyunca sabit ivmeli hareket (a_y) ve x -ekseni boyunca ivmenin sıfır olduğu ($a_x = 0$) iki hareket olarak düşünebiliriz. İki boyutta hareket eden bir cismin ivmesini vektörel olarak ifade edebiliriz. Vektör formunda, ivme $\vec{a}$ şu şekilde gösterilebilir:

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} \quad (4)$$

$$\vec{a} = a_y \hat{j} \quad (5)$$

Eğik atışta cisim sadece y -ekseni boyunca hareket etmeyip, xy düzleminde hareket etmektedir. Bu durumda, bir cismin herhangi bir zamandaki konum vektörü ise şu şekilde verilmektedir:

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} \quad (6)$$

Herhangi bir t zamanda, bir cismin sabit ivme altında konum vektörü iki boyutta kinematik denklemlerle tanımlanabilir:

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad (7)$$

$$y = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \quad (8)$$

İki boyutta, sabit ivme altında kinematik denklemleri şu şekilde yazabiliriz:

x-Bileşeni (Yatay)

$$v_x = v_{x0} + a_x t$$

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

y-Bileşeni (Düşey)

$$v_y = v_{y0} + a_y t$$

$$y = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

Bu denklemler, herhangi bir t -zamanındaki, sabit ivmeli bir cismin konum ve hızını tanımlar. Eğik atış durumunda, ivme aşağı doğrudur ve sabit bir g büyüklüğü vardır. Eğik atışta cismin ilk hızı $x - y$ koordinat sisteminde yatay (v_{x0}) ve düşey (v_{y0}) olarak ayrı incelenir. Cismin $t = 0$ anında (x_0, y_0) noktasında bulunduğunu ve bu zamandaki hız bileşenlerinin “ v_{x0} ” ve “ v_{y0} ” olduğunu varsayalım.

Eğik atışta yatay yöndeki hız sabit olduğu için, şu bağıntıları yazabiliriz:

$$a_x = 0 \quad (9)$$

$$v_x = v_{x0} \quad (10)$$

Uçuş sırasında yatay yönde ivme olmadığı için ($a_x = 0$) hızın yatay bileşeni (v_x) hareket boyunca değişmez (sabit kalır).

Böylece, yatay yöndeki (x -yönündeki) hareket denklemi şu şekilde olacaktır ($a_x = 0$ olması nedeniyle):

$$x = x_0 + v_x t \quad (11)$$

Deney düzeneğinde, cismin $t = 0$ anında fırlatıcıdan hemen ayrıldığı konumu şu şekilde seçebiliriz:

$$x_0 = y_0 = 0 \quad (12)$$

Bu, $t = 0$ anında oluşturulacak bir koordinat sisteminin orijini. Zaman aralığı (yani topun hareketi için geçen zaman), top yüzeye çarpmadan hemen önce biter. Denklem 12 tarafından verilen bağıntıyı kullanarak, x -ekseni boyunca, hareket denklemini şu şekilde bulabiliriz:

$$x = x_0 + v_x t \quad (13)$$

(Eğik atılan cismin atıldığı andan ($t = 0$) itibaren yatay doğrultudaki yer değiştirmesi (x), Denklem 13 kullanılarak belirlenebilir)

Düşey (y -ekseni boyunca) hareket için, t anındaki hız (v_y) ve düşey alınan mesafe (y) şu şekilde olacaktır:

$$v_y = at \quad (14)$$

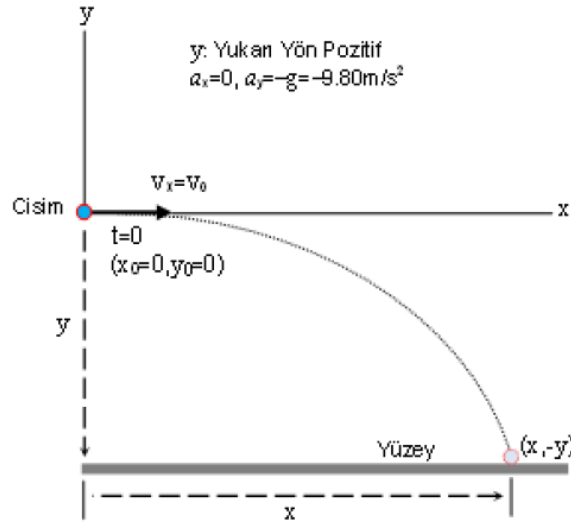
$$y = \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{Deneysel}) \quad (15)$$

Topun düşey yer değiştirmesi **Eşitlik-15** tarafından verilmektedir. Top yatay olarak fırlatıldığı zaman, ilk hızın hiç bir düşey bileşeni yoktur ($v_{y0} = 0$). Böylece, yatay olarak fırlatılan cisim için geçen zaman sadece topun düşeyde aldığı mesafeye bağlıdır. Sonuç olarak, eğik atışı incelediğimiz zaman, şu önemli sonuçlara varabiliriz:

1. Eğik atış deneylerinde, fırlatılan cisim x - y koordinat sisteminde iki aşamada incelenir.
 - Yatay yönde sıfır ivme ($a_x = 0$),
 - Dikey yönde sabit ivme (yerçekimi ivmesi),
2. Fırlatılan cismin yatay bileşendeki (x -**ekseni**) hızı sabittir. Başka bir deyişle, $a_x = 0$ olması nedeniyle yatay yöndeki hız sabit olacaktır ($v_x = v_{x0}$).
3. Eğik atış hareketinde yer çekiminden dolayı aşağı doğru (y -**ekseni**) sabit bir ivme vardır.

Yatay Atış

Bu durumda, cisim (top) fırlatıcıdan ilk hız (v) ile fırlatılmaktadır ve düşeyde y kadar mesafe ve yatayda x kadar mesafe almaktadır. Oluşturulan bir koordinat sisteminde, x -eksenini yatay olarak, y -eksenini düşey olarak alınır ve $t = 0$ anında orijin ilk konum olarak seçilir. Fırlatılan topun ivmesinin yatay bileşeni (a_x) yoktur (çünkü yatay x -yönündeki hız sabittir) ve ivmenin düşey bileşeni (a_y) yer çekimi ivmesine eşittir (g).



Şekil 2. Yatay olarak platformdan fırlatılan bir topun yatay (x) ve düşey (y) koordinatları. Koordinat sistemi, y -doğrultusu düşey ve yukarı yön pozitif olacak şekilde seçilir.

Yataya göre belli bir açıyla (θ) fırlatılan bir cisim için koordinat sistemi, y -doğrultusu düşey ve yukarı yön pozitif olacak şekilde seçilir;

$$a_x = 0 \quad (\text{Yatay hareket}) \quad (16)$$

Pozitif y , yukarı yönde olması nedeniyle;

$$a_y = -g \quad (\text{Düşey hareket}) \quad (17)$$

olarak alırız. Düşey yönde, ivme yer çekiminden dolayı oluşmaktadır.

(Eğik atışta, yatay ve düşey hareketler birbirinden bağımsızdır: biri diğerini etkilemez. Bu durum, iki boyutlu bir hareket problemini, biri yatay yönde hareket eden (sıfır ivme ile) ve

diğeri düşey yönde hareket eden (aşağı doğru sabit ivme ile) iki tane bir boyutlu problem ayırmamızı sağlar)

Eğer x -ekseni yatay ve fırlatılan yön pozitif alınır, y -ekseni düşey ve pozitif yön yukarı doğru seçilirse, iki boyutlu eğik atış için kinematik denklemler şu şekilde yazabiliriz:

Yatay Hareket	Düşey Hareket*
$(a_x = 0, v_x = \text{Sabit})$	$(a_y = -g = \text{Sabit})$
$v_x = v_{x0}$	$v_y = v_{y0} - gt$
$x = x_0 + v_{x0}t$	$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$
(y: Yukarı doğru pozitif; $a_x=0, a_y=-g=-9.80\text{m/s}^2$)	

(*Eğer y -yönü aşağı doğru pozitif olarak alınırsa, g 'nin önündeki eksi (-) işaret artı (+) işarete dönüşür)

Şekil-2'de gösterildiği gibi, x - y koordinat sisteminin orijinini topun fırlatıldığı ilk konumu üzerine yerleştirebiliriz. Cismin $t = 0$ anındaki ilk konumu orijin olarak almak en kolay yoldur:

$$x_0 = y_0 = 0 \quad (18)$$

Yatay olarak fırlatılan cisim için ($\theta=0^\circ$), ilk hız yatay olup, ilk düşey hız ise sıfırdır, öyle ki:

$$v_{x0} = v_0 \quad (19)$$

$$v_{y0} = 0 \quad (20)$$

Bununla beraber, yatayla bir θ açı yapacak şekilde fırlatılan bir cisim için, ilk hızın bileşenleri şu şekilde olur:

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta \quad (21)$$

$$v_{y0} = v_0 \sin \theta \quad (22)$$

Bu bağıntılarda, ilk hızın bileşenleri hızın büyüklüğü v_0 ve açısı (θ) cinsinden yazılmıştır. Herhangi bir t anında cismin hızının bileşenleri ve koordinatları incelendiğinde, hız vektörünün

zamanla değiştiğine dikkat ediniz. Bu değişimde hızın x -bileşeni v_x sabit kalırken, y -bileşeni v_y değişir.

Eğik atış hareketinde, kinematic denklemleri sadeleştirebiliriz. İlk hızla yatay fırlatılan topun ilk konumunu $x_0 = 0$ olarak alırsak, topun yatayda aldığı mesafe () şu şekilde olacaktır:

$$x = v_{x0}t \quad (\text{Yatay hareket-Deneysel}) \quad (23)$$

Burada, t zamanı topun havada kaldığı zamandır. (Yatay yönde, ivme sıfırdır, $a_x = 0$) ve böylece hızın yatay bileşeni sabit kalır ($v_x = v_{x0} = \text{Sabit}$).

Top yatay olarak fırlatıldığı için, $v_{y0} = 0$ olarak seçersek, düşey hareket denklemi şu şekilde olur:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{Düşey hareket}) \quad (24)$$

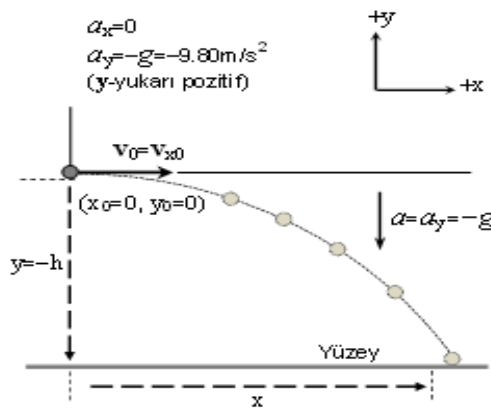
Topun havada kalma süresi y -hareketi (düşey yer değiştirme) ile belirlenir. **Denklem 24** ü çözerek, zamanı () şu şekilde elde ederiz:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{-g}} \quad (\text{Uçuş süresi}) \quad (25)$$

Belirli bir $h = y$ yüksekliğinden fırlatılan topun uçuş süresi (t), **Denklem 25** yardımıyla hesaplanabilir. Daha sonra, ölçülen yatay mesafe x ve hesaplanan t kullanılarak, topun ilk hızı (v_0) şu şekilde bulunabilir:

$$v_{x0} = v_0 = \frac{x}{t} \quad (\text{İlk Hız}) \quad (26)$$

Yatay mesafeyi (x) ve düşey mesafeyi (y) ölçerek, Eşitlik-26 yardımıyla topun ilk yatay hızı (v_{x0}) belirlenebilir.



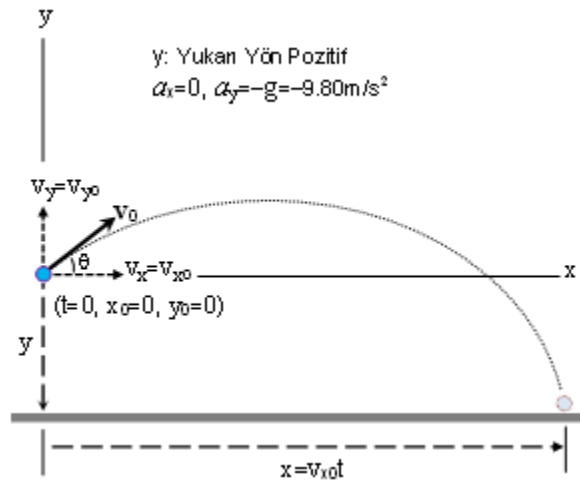
Şekil 3. Yatay atış için ilk hız ve konum

Şekil-3, $t = 0$ anında fırlatılan bir cismin (topun) yörüngesini göstermektedir. Hareketi incelemek için, topun hareketini yatay ve düşey eksenlere ayırırız. Burada, y -ekseninin pozitif yönü yukarı doğru alınır. Cisim fırlatıcıdan ayrıldığı anda ($t = 0$), hızın sadece x -bileşeni (v_{x0}) vardır ve fırlatıcıdan ayrıldığı anda, yer çekimi ivmesine maruz kalır. Düşey hız (v_y) $t = 0$ anında sıfırdır ($v_{y0} = 0$) ancak cisim yere çarpma kadar aşağı doğru sürekli artar. Yatay x -yönünde, ancak, **ivme** sıfırdır. Hızın x -bileşeni v_x sabittir ve ilk değerine eşittir $v_x = v_{x0}$. Bu durumda, bilinen ve bilinmeyen değerler incelenirse:

Yatay Atış ($\theta=0^\circ$)			
Yatay Mesafe	Düşey Mesafe	Uçuş Süresi	İlk Hız
$x(m)$	$y(m)$	$t(s)$	$v_0(m/s)$
Bilinen	Bilinen	Bilinmeyen	Bilinmeyen

Burada cismin düşey mesafesi (y), fırlatıcı ucundan yere kadar olan mesafedir.

Eğik Atış



Şekil 4. Yatay eksene göre belirli bir açı (θ) yapacak şekilde ilk hızla (v_0) atılan bir cismin hareketi.

Yatayla θ açısı yapacak şekilde fırlatılan bir cismin yapmış olduğu hareket, eğik atış hareketidir. Şimdi, cismin ($x_0=0$, $y_0=0$) konumundan θ açısıyla ve v_0 ilk hızıyla fırlatıldığını

düşünelim (**Şekil-4**). İlk hızla (v_0) ve belli bir açıyla (θ) atılan cismin (topun) yatay mesafesini (x) tahmin edebiliriz. Hava direncinin olmadığı eğik atışta ($a_x = 0$, $a_y = -g$), ilk önce, düşey y -hareketi kullanarak, **uçuş süresini** (t) belirlemeliyiz:

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (27)$$

$$v_{y0} = v_0 \sin \theta_0 \quad (28)$$

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (29)$$

(Burada, y_0 ilk konum ve y düşey mesafe (yer değiştirme) olarak verilir.)

Zaman aralığını cismin fırlatıcıdan ayrıldığı an olarak ($t = 0$) seçeriz:

$$x_0 = 0 \quad (\text{İlk Yatay Konum}) \quad (30)$$

$$y_0 = 0 \quad (\text{İlk Düşey Konum}) \quad (31)$$

Eğik Atış (θ)			
Açı (θ)		İlk Hız (v_0)	
Bilinen		Bilinen	
İlk Konum	Düşey Mesafe	Uçuş Süresi	Yatay Mesafe
$y_0(\text{m})$	$y(\text{m})$	$t(\text{s})$	$x(\text{m})$
Bilinen	Bilinen	Hesaplanabilir	Beklenen

İlk hız (v_x) ve düşey mesafe (y) bilirse, topun yüzeye çarptığı andaki uçuş süresi (t):

$$y = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (\text{DeneySEL uçuş süresi}) \quad (32)$$

(Deneyde, eğer cisim, ilk hızla (v_0) ve yatayla θ açısı yapacak şekilde fırlatılırsa, Eşitlik-32 kullanılarak cismin uçuş süresi (t) hesaplanabilir.)

Yukarıda verilen bağıntıyı;

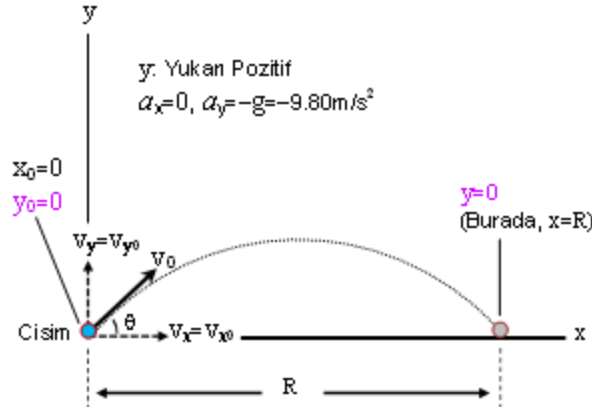
$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (33)$$

denklemini şeklinde yeniden düzenleyebiliriz. Bu denklemini çözerek, topun yüzeye çarptığı anda uçuş süresinin (t) çözümünü bulabiliriz. Uçuş süresi (t) bilindiği zaman, cismin yatay mesafesi

($x = v_{x0}t$) olacaktır:

$$x = v_0 \cos \theta_0 t \quad (\text{Deneysel yatay mesafe}) \quad (34)$$

Yatay Menzil



Sekil 5. Fırlatılan bir cismin menzili (cismin atıldığı noktadan yere düştüğü nokta arasındaki mesafe).

Yatay menzil (R), fırlatılan cismin original (aynı) yüksekliğine dönmeden önce aldığı yatay mesafe olarak tanımlanır. Cisim, **Şekil-5**'de görüldüğü gibi orijinden θ açısıyla ve v_0 ilk hızıyla fırlatılmaktadır. Fırlatılan cisim, belli bir yatay mesafeyi (R) aldıktan sonra, tekrar aynı seviyeye, yani $y=0$ noktasına gelir. Zaman aralığı için topun fırlatıldığı yer olan ($t=0, y_0=0$) noktasını başlangıç, topun yüzeye çarptığı noktayı ise (tekrar $y=0$) son konum olarak alabiliriz.

Menzil hesabı (R) için, düşey hareket denkleminde, $y_0=0$ ve $y=0$ alalım:

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}a_y t^2 \quad (35)$$

Düşey hareket için, şunu elde ederiz:

$$0 = 0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Daha sonra, t -zamanı için iki çözüm elde ederiz:

- $t = 0$
- $t = \frac{2v_{y0}}{g}$ (Uçuş süresi) (36)

İlk çözüm atışın ilk anını gösterir ve ikinci çözüm ise topun $y=0$ noktasına geldiği zamanki toplam uçuş süresidir. **Eşitlik-36**'da aşağıda verilen bağıntıyı kullanacak olursak;

$$v_{y0} = v_0 \sin \theta \quad (37)$$

$$t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \quad (\text{Uçuş süresi}) \quad (38)$$

bulunur. **Şekil-5**'de gösterildiği gibi topun yüzeye çarptığı yerin yüksekliği fırlatıldığı yükseklikle aynıdır ve uçuş süresi () için menzil (**R**) şu şekilde hesaplanır:

$$R = v_{x0} t \quad (39)$$

$$R = v_{x0} \left(\frac{2v_0 \sin \theta}{g} \right) \quad (40)$$

$$R = v_0 \cos \theta \left(\frac{2v_0 \sin \theta}{g} \right) \quad (41)$$

$$R = \left(\frac{2v_0^2 \cos \theta \sin \theta}{g} \right) \quad (42); \quad (\text{Trigonometrik olarak, } R = 2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta)$$

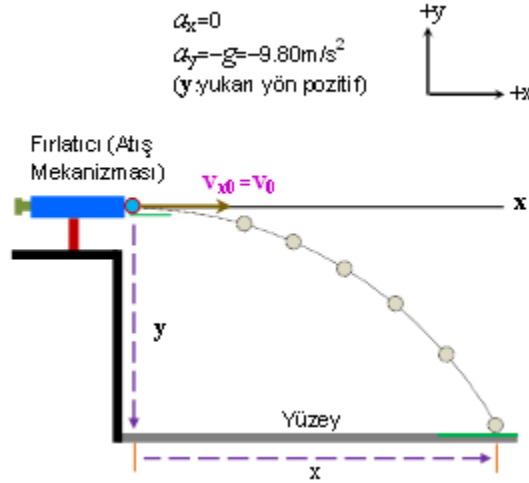
$$R = \left(\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \right) \quad (\text{Menzil}) \quad (43)$$

(Verilen ilk hız (v_0) için elde edilen maksimum menzil, “ $\sin 2\theta$ ” maksimum değerini aldığı zaman olur. Bu değer 1.0 olduğu için $2\theta = 90^\circ$, yani, $\theta = 45^\circ$ bulunur. Menzil R için verilen bağıntı, sadece atış noktası ile düşüş noktasına ait yüksekliklerin aynı olduğu zaman geçerlidir.)

Deneyin Yapılışı

1. Kısım Yatay Atış

Deneyin bu kısmında; atış mekanizmasından yatay olarak fırlatılan bir bilyenin yatay (x) ve düşey (y) hareketleri ayrı ayrı incelenerek, bu bilyenin ilk hızı belirlenecektir. İlk önce, düşey hareketteki denklem kullanılarak “uçuş süresi” bulunacak ve sonrasında, kinematic denklemlerden bilyenin ilk hızı hesaplanacaktır.



Şekil 6. Yatay olarak fırlatılan bir cismin (bilyenin) ilk hızını bulmak için deney düzeneği. İlk hız yatay yönde olup, düşey doğrultuda ilk hız sıfırdır.

1. Atış mekanizmasını (fırlatıcıyı) masaya yerleştirin ve ağzını (bilyenin fırlatıcıdan çıktığı noktayı) masanın köşesine doğru hizalayın (Şekil-6).
2. Bir koordinat sistemi belirleyin.
 - 2.1 Bu sistemde; x-eksenini yatay (pozitif olarak) ve y-eksenini düşey (yukarı yön pozitif) olarak alın.
 - 2.2 Bilyenin fırlatıcı çıkış noktasındaki (yani $t=0$ anındaki) ilk konumunu orijin olarak alın
 - 2.3 Bu durumda, sabit ivmenin bileşenleri;
 - $a_x = 0$,
 - $a_y = -g$ ve, bilyenin $t=0$ anındaki ilk konumu $x_0=0$ ve $y_0=0$ olur.
3. Fırlatıcı açısını yatay atış için sıfır dereceye ($\theta = 0^\circ$) ayarlayın. Böylece, bilye yatay olarak fırlatılacaktır.
4. Fırlatıcının ağzından (yani bilyenin çıkış noktasından) yüzeye kadar olan düşey mesafeyi (y) ölçün.

- 4.1 Bu mesafe negatif y –yönündedir çünkü bilyenin fırlatıcıdan ayrıldığı konum " $t=0$, $x_0=0$, $y_0=0$ " noktası olup, y -eksenini yukarı yön pozitif olarak alınmıştır.

$$y = \dots\dots\dots (m)$$

- 4.2 Ölçülen düşey mesafeyi (y), **Tablo-(1)**'e kaydedin.

5. Fırlatılan cismin (çelik bilyenin) ilk hızı kısa, orta ve uzun menzil (kademe) ayarı olmak üzere üç farklı değer alabilir.

- 5.1 Çelik bilyeyi fırlatıcıya yerleştirin.

- 5.2 İtirici yardımıyla bilyeyi fırlatıcıdaki kısa menzil (ilk kademe) konumuna getirin.

6. Ölçümler öncesi, yatay ($\theta=0^\circ$) olarak fırlatılacak bilyenin yüzey üzerine düştüğü konum yaklaşık olarak belirlenmelidir.

- 6.1 Kısa menzilde birkaç deneme atışı yapın.

- 6.2 Bilyenin düştüğü konum belirlendikten sonra, bu bölgeye önce **karbon kağıdını** ve daha sonar **beyaz kağıdı** bu karbon kağıdının üzerine yerleştirin.

- 6.3 Beyaz kağıdın **köşelerini** oynamaması için bantlayın.

- 6.4 Karbon kağıt ve beyaz kağıt yüzeyde düzgün olarak durmalıdır.

7. Bilyeyi tekrar fırlatıcıya yerleştirin ve bir atış yapın.

- 7.1 Yatay olarak fırlatılan bilyenin, beyaz kağıt üzerinde çarptığı yeri belirleyin.

- 7.2 Bilye yüzeye çarptığı zaman, beyaz kağıt üzerinde siyah bir nokta (işaret) bırakacaktır.

- 7.3 Fırlatılan noktaya karşılık gelen yüzeyden, bilyenin çarptığı beyaz kağıda kadar olan “yatay” mesafeyi (x) ölçün (Şekil-6).

- 7.4 Yatay mesafeyi () **Tablo-(1)**'e kaydedin.

$$x = \dots\dots\dots (m)$$

8. Yatay olarak fırlatılan bilyenin ilk hızını (v_0) bulunuz. Fırlatıcıdan yatay atılan çelik bilyenin ilk hızını (v_0) deneysel olarak hesaplamak için:

- 8.1 Bilyenin ilk yatay hızı (v_0), ölçülen yatay mesafe (x) ve uçuş süresi (t) kullanılarak bulunabilir.

- 8.2 Bu nedenle, ilk olarak yatay olarak fırlatılan bilyenin uçuş süresini (t) hesaplayın. Düşey mesafe (y) kullanılarak, uçuş süresi şu şekilde hesaplanabilir:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{-g}}$$

Yer çekimi ivmesini $g=9.80\text{m/s}^2$ kullanın.

$$t = \dots\dots\dots (\text{s})$$

8.3 Daha sonra, ilk yatay hızı (v_0), yatay mesafe (x) ve uçuş süresini (t) kullanarak hesaplayın. Yatay mesafe şu şekilde verilmektedir:

$$v_{x0} = v_0 = \frac{x}{t}$$

(Fırlatılan bilyenin **ilk hızı** (ilk yatay hızı) uçuş süresi boyunca sabittir. Bilyenin **düşey** yönde ise ilk hızı yoktur.)

Test Parametreleri	Değerler
Açı (θ)	0°
Düşey Mesafe (y)	Bilinen
Yatay Mesafe (x)	Bilinen
Uçuş Süresi (t)	Hesaplanan
İlk Yatay Hız (v_0)	Hesaplanan

8.4 Bu ilk hız (v_0), kısa menzil ayarı için sabittir. Bu deney aletinin bir özelliği olduğu için, fırlatma açısına bağlı olmaksızın bu ayar için ilk hız her zaman aynı değere sahiptir. Böylece, hangi açıyla atıldığı önemli değildir.

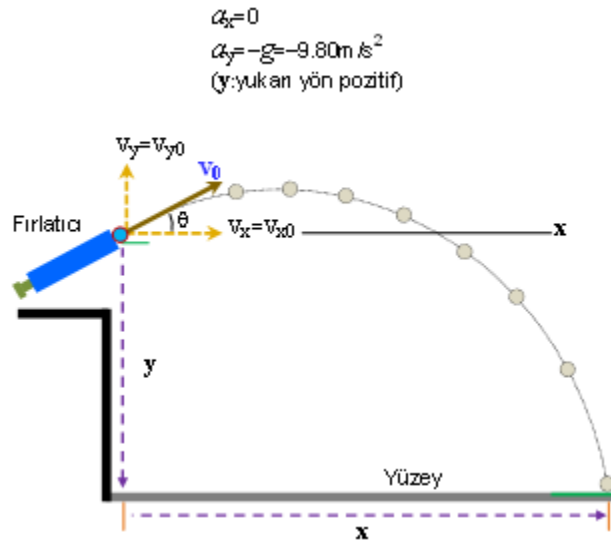
- Düşey ve yatay yöndeki bileşenler cinsinden, fırlatılan cismin hareketini tanımlayan kinematik denklemleri deney raporuna yazınız. Düşey yöndeki hareket yatay yöndeki hareketi etkiler mi? Cevabınızı kısaca açıklayın.
- Kinematik denklemleri kullanarak, ilk yatay hız (v_0), atış noktası yüksekliği (y) ve yer çekimi ivmesi (g) cinsinden bilyenin yatay mesafesi () için bir denklem türetiniz. Yukarı y -yönünü pozitif olarak alınız.
- Belli bir yükseklikten yatay olarak fırlatılan bir bilye, aynı yükseklikten serbest bırakılan bilye ile aynı anda mı yüzeye çarpar? Cevabınızı gözlemlerinize göre cevaplayın.
- Deneyi orta ve uzun menzil ayarları için tekrarlayınız ve her menzil ayarı için bilyenin “ilk yatay hızını” belirleyin.

13. Eğer çelik bilye yatay olarak fırlatılırsa, her menzil ayarı için bilyenin yere çarpması için geçen *zaman* ne kadardır? Cevabınızı kinematic denklemleri ve deneysel verileri kullanarak açıklayın.
14. Yatay olarak fırlatılan bir cismin ilk hızı değişirse uçuş süresi değişir mi? (Düşey hareketteki denklemi düşünün).

2. Eğik Atış

Deneyin bu kısmında, uçuş süresi (t) ve bir önceki bölümde bulunan çelik bilyenin ilk hızı (v_0) kullanarak yatayla belli bir “açı (θ)” ile fırlatılan bilyenin aldığı yatay mesafe (x) tahmin edilecektir. Bilyenin ilk hızı (v_0), bir önceki deneyde "yatay" olarak fırlatılan bilyenin ilk hızıyla aynıdır. Belli bir “açı (θ)” ile fırlatılan bilyenin yeni uçuş süresini (t) hesaplamak için, düşey hareket denklemleri kullanılacaktır.

1. Fırlatıcıyı masanın bir köşesine yerleştirin ve açısını $\theta = 30^\circ$ değerine ayarlayın (bakın Şekil-7).



Şekil 7 Yatay eksene göre belirli bir θ açısı ile fırlatılan bilyenin aldığı yatay mesafeyi () bulmak için hazırlanan deney düzeneği.

2. Bilyeyi fırlatıcının ağzına yerleştirin ve kısa menzil ayarına getirin.
3. İlk başta, bilyenin fırlatıcı çıkış noktasından (fırlatıcının ağzından) yer kadar olan düşey mesafeyi (y) ölçün.
- 3.1 Bilyenin fırlatıcıdan ilk çıktığı konumu " $t=0$, $x_0=0$, $y_0=0$ " olarak alınırsa, bilyenin düşeyde aldığı yol negatif y -yönünde olacaktır.

3.2 Yatay mesafeyi (y) **Tablo-(6)**'ya kaydedin.

$$y = \dots\dots\dots (m)$$

4. Deneyden önce, bir test atışı yapın ve bilyenin yüzeye çarptığı yeri yaklaşık olarak belirleyin.

4.1 Karbon kağıdını, bilyenin çarptığı bu yere yerleştirin ve kaydedici beyaz kağıdı karbon kağıdının üzerine koyun. Kağıdın köşelerini kaymaması için bantlayınız.

4.2 Bilye yüzeye çarptığı zaman, yatay mesafeyi ölçebilmek için beyaz kağıt üzerinde küçük bir işaret bırakacaktır.

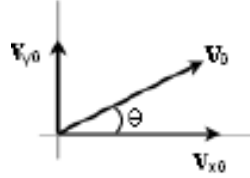
5. Şimdi, bilyeyi $\theta = 30^\circ$ 'lik açı ile fırlatın.

5.1 Deneyin önceki kısmında kısa menzil ayarı için bulunan ilk hızı (v_0); ilk *yatay* hız (v_{x0}) ve ilk *düşey* hız (v_{y0}) olarak bileşenlerine ayırın:

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta$$

$$v_{y0} = v_0 \sin \theta$$

5.2 İlk hız vektörünün x -ve y -eksenleri boyunca bileşenleri **Şekil-(8)**'da gösterilmiştir.



Şekil 8 İlk hız ve bileşenleri. Eğik atışta cismin ilk hızı (v_0) yatay ve düşey olarak düşünülmesi gerekmektedir.

5.2 İlk hızın yatay (v_{x0}) ve düşey bileşenini (v_{y0}) **Tablo-(2)**'e kaydedin.

6. Eğik atış boyunca, bilyen yeni uçuş süresini (t), aşağıdaki verileri kullanarak tahmin edin:

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

6.1 Yukarıdaki denklemin iki tane çözümü olup, uçuş süresi (t) için pozitif çözümü kullanın. Hesaplanan uçuş süresini (bilyenin havada kaldığı zamanı) **Tablo-(3)**'ya kaydedin.

(Uçuş süresi, bilyenin fırlatıcının ağzından çıktığı ilk konum olan “ $t=0, x_0=0, y_0=0$ ” noktasından başlar ve bilyenin yere çarptığı anda biter. Uçuş süresi boyunca, tek ivme negatif y -yönündeki yer çekimi ivmesidir (g). Cismin, x -yönündeki ivme bileşeni sıfırdır.)

6.2 Cisim, $\theta = 30^\circ$ 'lik bir açı ile fırlatıldığı durumda, aşağıdakileri kullanarak yeni yatay mesafeyi (x) tahmin edin;

$$x = v_0 \cos \theta t$$

6.3 Beklenen (tahmin edilen) yatay mesafeyi (x) **Tablo-(4)**'ye kaydedin.

7. Bilyenin, fırlatıcı çıkış noktasına karşılık gelen yüzeyden, beyaz kağıda çarptığı yere kadar olan yatay mesafeyi (x) ölçün.

7.1 Beklenen (hesaplanan) yatay mesafe (x) ve deneysel ölçülen mesafe (x) arasındaki yüzdelik farkı belirleyin.

7.2 Yüzdelik farkı **Tablo-(5)**'e kaydedin.

8. Yatay eksenle belli bir açı (θ) altında fırlatılan cisim için eğik atış hareketinin bileşenlerini yazın.

8.1 Düşey hareket yatay hızı etkiler mi?

8.2 Yatay yöndeki ivme (a_x) nedir? Düşey yöndeki ivme (a_y) nedir? Uçuş süresi boyunca, ivme sadece negative y -yönünde midir?

9. Eğer cisim v_0 hızıyla ve θ açıyla fırlatılırsa, hızın x ve y –bileşenleri nelerdir? Hız yatay yönde sabit midir?

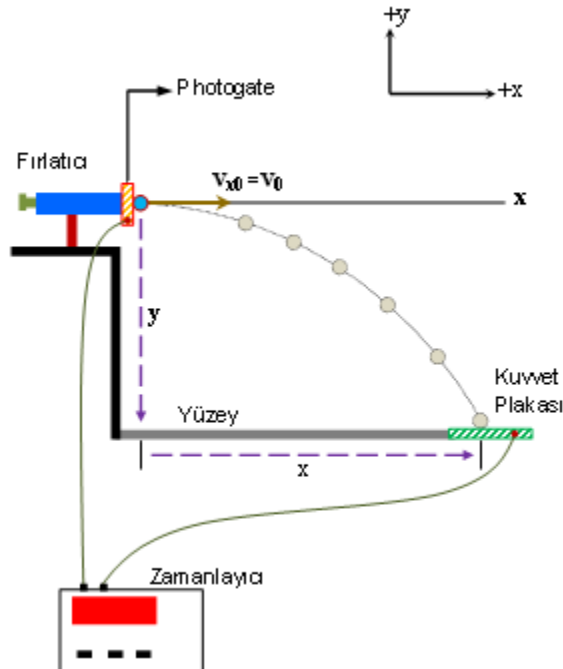
9.1 Cisim t zamanında yatayda ve düşeyde aldığı mesafeler nelerdir? Denklemleri açı (θ) ve zaman (t) cinsinden belirleyin. Atış noktasının yüksekliğinin artması, eğik atışın yatay mesafesini artırır mı yoksa azaltır mı?

10. Deney basamaklarını orta ve uzun menzil ayarları için tekrar ediniz.

3. Photogate zamanlayıcı kullanarak Yatay Atış

1. Deney düzeneğini **Şekil-(9)**'de gösterildiği gibi masanın bir köşesine kurunuz.
 - 1.1 Fırlatıcıyı masaya yerleştirin ve fırlatıcının ağzını (bilyenin fırlatıcıdan çıkış noktasının) masanın köşesine doğru ayarlayın.
 - 1.2 Masadan yatay olarak fırlatılan bilyenin ilk hızını ölçmek için sadece bir ışık kapısı (photogate) kullanılacaktır. Işık kapısını fırlatıcı önüne yerleştiriniz.
 - 1.3 Işık kapısı ve uçuş süresi plakasını (kuvvet plakasını), bağlantı kablolarını kullanarak zamanlayıcıya bağlayınız.
 - 1.4 Bir koordinat sistemi belirleyin. Bilyenin, $t = 0$ **anında** fırlatıcıdan ayrıldığı onumu $x_0 = 0$ seçin ve yukarı y -yönünü pozitif olarak alın.
 - 1.5 Böylece, düşey alınan mesafe negatif y -yönünde olacaktır çünkü bilyenin fırlatıcıdan ayrıldığı konumu " $t = 0, x_0 = 0, y_0 = 0$ " olarak alıyoruz.
2. Fırlatıcının açısını yatay olarak sıfır dereceye ($\theta = 0^\circ$) ayarlayın, böylece bilye yatay olarak fırlatılacaktır. (**Şekil-9**).

(Bu kısmın amacı, “yatay atış” tarafından belirlenen ilk hız (v) ile **photogate zamanlayıcısı** tarafından elde edilen değeri karşılaştırmaktır. Bilyenin ilk hızını, fırlatıcının önüne konan photogate (ışık kapısı) yardımı ile ölçebilirsiniz. İlk hız $v = d/t$ denkleminde bulunabilir. Burada, d atış mekanizmasından fırlatılan bilyenin çapıdır.)



Şekil 9 Fırlatılan cismin ilk hızı bulmak için kullanılan ışık kapısı (photogate) ve zamanlayıcının kurulumu.

3. Bilyenin çapını (**d**) ölçün. Bu deneyde, çelik bilyenin çapı: $d=15.85$ mm olarak verilmektedir.
4. Çelik bilyeyi fırlatıcıya yerleştirin ve kısa menzile ayarına getirin.
 - 4.1 Bir test atışı yapın ve bilyenin yüzeyde hangi noktaya çarptığını gözlemleyin.
 - 4.2 “Uçuş süresi” plakasını (kuvvet plakasını) bilyenin düştüğü noktaya yerleştirin.
5. Şimdi, zamanlayıcıdaki “Başlat” düğmesine basın ve bilyeyi atış mekanizmasından yatay olarak fırlatın.
6. Zamanlayıcı ekranından, bilyenin ışık kapısı (photogate) içinden geçtiği zamanı (**t₁**) okuyun.
 - 6.1 Çelik bilyenin çapını (**d**) biliyoruz.
 - 6.2 Fırlatılan bilye, ışık kapısı içerisinden geçerken (yani bilye photogate sensörünü kapattığı anda) **t₁** ölçümü başlar ve bilye sensörden çıkışı anda durur.
 - 6.3 Böylece, blok zamanı (**t₁**), bilyenin aldığı “**d**” kadar mesafede geçen süredir.
 - 6.4 Işık kapısından geçen bilyenin zamanını **t₁** olarak **Tablo-(6)**’a kaydedin
 - 6.5 Ölçülen **t₁** zamanı ile bilyenin çapını (**d**) kullanarak, bilyenin ilk yatay hızını (**v_{x0}** = **v₀**) hesaplayınız.
 - 6.6 Bilyenin fırlatıcının ağzından ayrıldığı andaki ilk hızını (**v₀**) deneysel olarak şu şekilde bulabiliriz:

$$v_0 = \frac{d}{t_1}$$

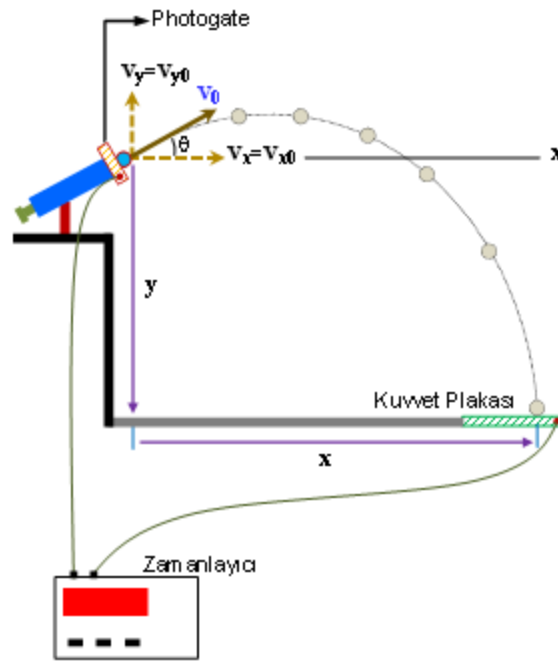
(Bilyenin ilk hızını (**v₀**) photogate sensörü yardımı ile ölçebilmek için bilye çapı (**d**), **t₁** değerine bölünür. Bilyenin ilk hızı (**v₀**), yatay hızına eşit olacağından ve bilye çapı kadar yolu **t₁** kadar bir zamanda alacağı için bilyenin ilk hızını **d/t₁** şeklinde buluruz.)

- 6.7 İlk hızı (**v₀**) **Tablo-(6)**’a kaydedin
- 6.8 Yüzdelik farkı hesaplamak için, zamanlayıcı (deneysel değer) yardımı ile bulunan ilk hızı (**v₀**), yatay atıştan (beklenen) bulunan değer ile karşılaştırın.
- 6.9 Yüzdelik farkı **Tablo-(7)**’a kaydedin

7. Fırlatılan çelik bilye ışık kapısından (photogate içerisinden) geçerken, ışık kapısının sensörünü kapatır. Böylece, zamanlayıcı “blok” zamanını (t_1) ölçecektir. Eğer çelik bilyenin ilk hızını belirlemek istiyorsanız, başka hangi bilgilere ihtiyaç vardır?
8. Deneyin bu kısmında olan hata kaynaklarını tartışın.
9. Deney basamaklarını, fırlatıcının orta ve uzun menzil ayarları için tekrar edin ve her menzil ayarı için bilyenin “ilk hızını” belirleyin.

4. Photogate zamanlayıcı kullanarak Eğik Atış

(Deneyin bu kısmının amacı, uçuş süresini (t) ve önceki bölümde bulunmuş olan ilk hızı (v_0) kullanarak, yataydan belli bir θ açısı ile fırlatılan bilyenin yatayda aldığı mesafeyi (x) tahmin etmektir. Açı ile fırlatılan bilyenin aldığı yeni yatay mesafeyi (x) tahmin etmek için zamanlayıcı kullanılacaktır.)



Şekil 10 Yataydan belli bir açı (θ) ile fırlatılan bilyenin aldığı yatay mesafeyi tahmin etmek için kullanılan deneysel düzenek.

1. Deneysel düzeneği **Şekil-(10)**'de gösterildiği gibi kurun.
 - 1.1 Fırlatıcının açısını $\theta = 30^\circ$ değerine ayarlayın.
 - 1.2 Çelik bilyeyi fırlatıcıya yerleştirin ve kısa menzil ayarına getirin.

2. Bilyenin yüzeye çarptığı yeri belirlemek için bir test atışı yapın
 - 2.1 Uçuş süresi plakasını (kuvvet plakasını), bilyenin yüzeyde çarptığı konuma yerleştirin.
 - 2.2 Zamanlayıcıdaki başlangıç düğmesine basın.
 - 2.3 Bilyeyi fırlatın.
 - 2.4 Koordinat sisteminde, bilyenin, **$t = 0$ anında** fırlatıcıdan ayrıldığı noktayı “ **$t = 0$, $x_0 = 0$, $y_0 = 0$ ”olarak seçin.**

3. Bir önceki deneyde elde edilen ilk hızın (**v_0**) bileşenlerini belirleyin. Bunun için:

- 3.1 $\theta = 30^\circ$ açısı için ilk hızı (**v_0**);

- İlk yatay hız ($v_{x0} = v_0 \cos \theta$) ve

- İlk Düşey hız ($v_{y0} = v_0 \sin \theta$) olarak bileşenlerine ayırın.

- 3.2 İlk hızın yatay ve düşey bileşenlerini **Tablo-(8)**'e kaydedin.

4. Atış zamanı ve çarptığı andaki zaman arasındaki toplam zamanı (t_2) zamanlayıcı üzerinden okuyun.

- 4.1 Bu değer, $\theta = 30^\circ$ açısı ile fırlatılan cismin yeni "uçuş süresi" dir.

- 4.2 “Uçuş Süresi” değerini **Tablo-(9)**'a “ **t** ” olarak kaydedin.

t (s)

5. $\theta = 30^\circ$ ile fırlatılan bilyenin aldığı *yatay mesafeyi* (**x**) tahmin edin.

- 5.1 Yatay mesafeyi (x) tahmin etmek için, şunları kullanın;

- İlk hızın yatay bileşeni (v_{x0}) ve uçuş süresi

$$x = v_{x0} t = v_0 \cos \theta t$$

x (m)

Test Değişkenleri	Değerler
Atış Açısı (θ)	30°
İlk Yatay Hız (v_{x0})	Bilinen
Uçuş Süresi (t)	Ölçülen
Yatay Mesafe (x)	Beklenen

- 5.2 Verileri **Tablo-(9)**'ye kaydediniz.

5.3 Fırlatıcı çıkış noktasına karşılık gelen yüzeyden, bilyenin kuvvet plakasına çarptığı noktaya kadar olan yatay mesafeyi ölçün.

5.4 Ölçülen bu yatay mesafeyi (x') **Tablo-(10)**'e kaydediniz.

$$x' \dots\dots\dots (m)$$

5.5 Tahmin edilen (**beklenen**) yatay mesafe (x) ile **ölçülen** yatay mesafe (x') arasındaki yüzdelik farkı bulun.

5.6 Yüzdelik farkı Table-(10)'e kaydediniz.

6. Deneyi fırlatıcının orta ve uzun menzil ayarları için tekrarlayınız.

7. Eğer bilye, v_0 ilk hızıyla ve θ açısıyla fırlatılırsa, “ t ” zamanında yatayda ve düşeyde aldığı yol için kinematik denklemler nelerdir?

8. Yatay eksene göre belli bir açıyla (θ) ile fırlatılan cismin hızının hem *yatay* hem de *dikey* bileşeni vardır.

8.1 Eğer cisim daha büyük bir açıyla fırlatılırsa, düşey hız yörünge boyunca nasıl değişir? Kısaca açıklayın.

8.2 *Atış açısındaki (θ)* değişim *uçuş süresini* değiştirir mi?. Eğer öyleyse, uçuş süresi fırlatıcının açısına nasıl bağlıdır?

8.3 Eğer bilyenin ilk hızı değişirse, uçuş süresi değişir mi?. (İlk hızın düşey bileşenini ve düşey hareket için denklemi hatırlayın).

9. Bir cisim yataydan $\theta = 45^\circ$ bir açıyla ve $v_0 = 18m/s$ hızla fırlatılmaktadır. Fırlatılan cismin ilk yatay ve düşey hızlarını hesaplayınız

Tablo-1 Eğik atış mekanizmasından (fırlatıcıdan) yatay olarak fırlatılan bilyenin ilk hızı ($\theta = 0^\circ$)

Açı	Fırlatıcı	Cetvel ile Ölçülen		Hesaplanan	DeneySEL
		Yatay Mesafe	Dikey Mesafe	Uçuş Süresi $t = \sqrt{\frac{2y}{-g}}$	
$\theta(\text{der})$	Menzil	$x(m)$	$y(m)$	$t(sn)$	$V_0(m/sn)$
0	Kısa	.....	.....	.....	.....
	Orta	.....	.....	.....	.....
	Uzun	.....	.....	.....	.....

Tablo-2 Açık (θ) ile fırlatılan bilyenin ilk yatay ve ilk düşey hızları

Ayarlanan	Bilinen	Ayarlanan	Hesaplanan	Hesaplanan
Fırlatıcı	İlk Hız Yatay Atış	Açı	İlk Yatay Hız $v_{x0} = v_0 \cos \theta$	İlk Düşey Hız $v_{y0} = v_0 \sin \theta$
Menzil	$v_0(\text{m/sn})$	$\theta(\text{der})$	$v_{x0}(\text{m/sn})$	$v_{y0}(\text{m/sn})$
Kısa		15	.....	.....
		30	.....	.....
		45	.....	.....
Orta		15	.....	.....
		30	.....	.....
		45	.....	.....
Uzun		15	.....	.....
		30	.....	.....
		45	.....	.....

Tablo-3 Açık (θ) ile fırlatılan bilye için uçuş süresi

Ayarlanan	Ayarlanan	Bilinen	Cetvel ile Ölçülen		Hesaplanan
Fırlatıcı	Açı	İlk Düşey Hız	İlk Düşey Mesafe	Düşey Mesafe	Uçuş Süresi
Menzil	$\theta(\text{der})$	$v_{y0}(\text{m/sn})$	$y_0(\text{m})$	$y(\text{m})$	$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$ $t(\text{sn})$
Kısa	15	.....	0	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Orta	15	.....	0	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Uzun	15	.....	0	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....

Tablo-4 Açık (θ) ile fırlatılan bilyenin yatay mesafesini (x) tahmin etmek

Ayarlanan	Ayarlanan	Bilinen	Bilinen	Beklenen
Fırlatıcı	Açı	İlk Yatay Hız	Uçuş Süresi	Yatay Mesafe
Menzil	$\theta(\text{der})$	$v_{x0} = v_0 \cos \theta$	$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$	$x = v_{x0}t$
		$v_{x0}(\text{m/sn})$	$t(\text{sn})$	$\Sigma(\text{m})$
Kısa	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....
Orta	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....
Uzun	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....

Tablo-5 Fırlatıcıdan itibaren beklenen ve ölçülen yatay mesafe arasındaki yüzdelik fark

Ayarlanan	Ayarlanan	Bilinen	Beklenen	Cetvel ile Ölçülen	Hesaplanan
Fırlatıcı	Açı	İlk Yatay Hız	Yatay Mesafe	Yatay Mesafe	Yüzdelik Fark
Menzil	$\theta(\text{der})$	$v_{x0}(\text{m/sn})$	$\Sigma(\text{m})$	$\Sigma'(\text{m})$	$\Delta\Sigma(\pm\%)$
Kısa	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Orta	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Uzun	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....

Tablo-6 Yatay olarak ($\theta=0^\circ$) fırlatılan çelik bilyenin ilk hızı

Açı	Bilyenin Çapı	Fırlatıcı	Ölçülen	Hesaplanan
			Zaman	İlk Hız
			Zamanlayıcı ile	$v_{x0} = v_0 = \frac{d}{t_1}$
$\theta(\text{der})$	$d(\text{m})$	Menzil	$t_1(\text{s})$	$v(\text{m/s})$
0	0.01585 (15.85mm)	Kısa	.....	.....
		Orta	.....	.....
		Uzun	.....	.....

Tablo-7 Zamanlayıcı ile belirlenen ilk hızın yatay atış ile belirlenen değerle karşılaştırılması

Açı	Fırlatıcı	Zamanlayıcı ile	Yatay Atış ile	Yüzdelik Fark
		İlk Hız (DeneySEL)	İlk Hız (Kabul Edilen)	
		$v_{x0} = v_0 = \frac{d}{t_1}$	$v_{x0} = v_0 = \frac{x}{t}$	
$\theta(\text{der})$	Menzil	$v(\text{m/s})$	$v(\text{m/s})$	$\Delta v(\pm\%)$
0	Kısa	.....	.....	.....
	Orta	.....	.....	.....
	Uzun	.....	.....	.....

Tablo-8 Yataydan (θ) açısı ile fırlatılan bilyenin ilk yatay ve düşey hızları

Ayarlanan		Bilinen	Hesaplanan	
Fırlatıcı	Açı	İlk Hız $v_0 = \frac{d}{t_1}$	İlk Yatay Hız $v_{x0} = v_0 \cos \theta$	İlk Düşey Hız $v_{y0} = v_0 \sin \theta$
Menzil	θ (der)	v_0 (m/sn)	v_{x0} (m/sn)	v_{y0} (m/sn)
Kısa	15		.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45		.....	.....
Orta	15		.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45		.....	.....
Uzun	15		.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45		.....	.....

Tablo-9 Açı (θ) ile fırlatılan bilyenin yatay mesafesini (x) tahmin etmek

Ayarlanan	Ayarlanan	Bilinen	Ölçülen	Beklenen
Fırlatıcı	Açı	İlk Yatay Hız	Uçuş Süresi	Yatay Mesafe
Menzil	$\theta(\text{der})$	$v_{x0} = v_0 \cos \theta$	Zamanlayıcı	$x = v_{x0} t$
		$v_{x0}(\text{m/sn})$	$t(\text{sn})$	$x(\text{m})$
Kısa	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....
Orta	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....
Uzun	15	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....

Tablo-10 Fırlatıcıdan itibaren beklenen ve ölçülen yatay mesafe arasındaki yüzdelik fark.

Ayarlanan	Ayarlanan	Bilinen	Beklenen	Cetvel ile Ölçülen	Hesaplanan
Fırlatıcı	Açı	İlk Yatay Hız	Yatay Mesafe	Yatay Mesafe	Yüzdelik Fark
Menzil	$\theta(\text{der})$	$v_{x0}(\text{m/sn})$	$x(\text{m})$	$x'(\text{m})$	$\Delta x (\pm\%)$
Kısa	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Orta	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....
Uzun	15	.....	.....	.....	.....
	30	.....	.....	.....	.....
	45	.....	.....	.....	.....

DENEY:4 KUVVET TABLASI DENEYİ

Amaç: Newtonun 1. yasası, denge kavramı ve kuvvet-açı ilişkisinin incelenmesi

Genel Bilgi:

Kuvvet; genel olarak bir cismin hareketine sebep olan, yani duran bir cismi hareket ettiren, hareket eden bir cismi durduran, doğrultu ve yönünü değiştiren, ona şekil değişikliği veren etkidir.

Newton'un 1. Yasası: Herhangi bir cisim üzerine bir kuvvet etki etmiyorsa, ya da etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfırsa, cisim durumunu değiştirmez; yani duruyorsa durur, hareket ediyorsa, hareketini bir doğru boyunca devam ettirir. Bu yasa matematiksel olarak;

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

ifade edilir. Bu formülde, “F” kuvvet, “m” kütle, “a” ise cismin ivmesidir. Formülünden de görülebileceği gibi kuvvet *vektörel* bir büyüklüktür. Yani belirli bir yöne ve büyüklüğe sahiptir.

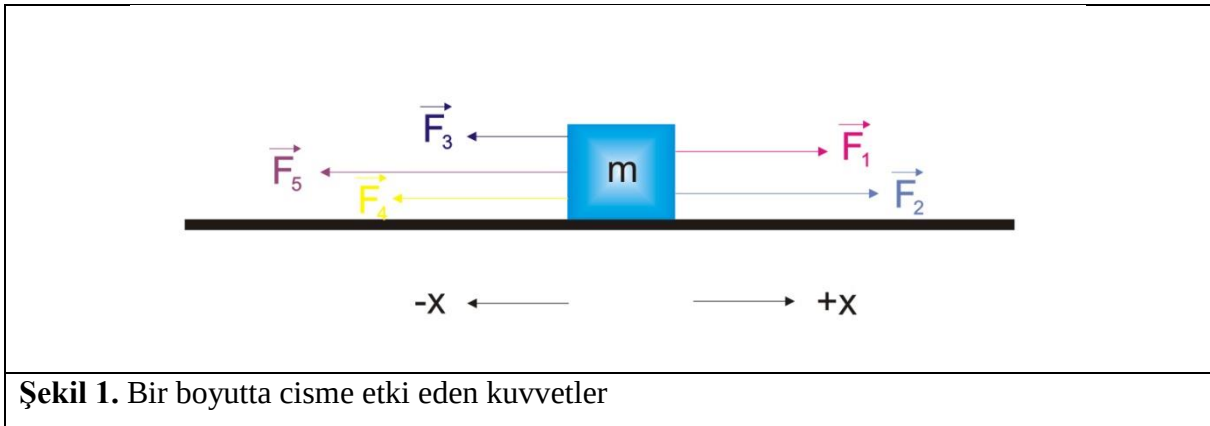
Bir cisme etki eden kuvvetler toplamı yani net kuvvet sıfır ise cisim herhangi bir yönde hareket etmez. Bu duruma cismin *dengede* olması denilir.

$$\sum_i \vec{F}_i = 0 \quad (2)$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = 0 \quad (3)$$

Burada dikkat edilmesi gereken konu; kuvvetin vektörel bir nicelik olduğu ve yönünün önemli olduğudur. Birbirine ters yönlerde olan kuvvetlerin toplanması aslında büyüklüklerinin çıkarılması anlamına gelmektedir.

Bir boyutta denge kavramı inceleyecek olursak;



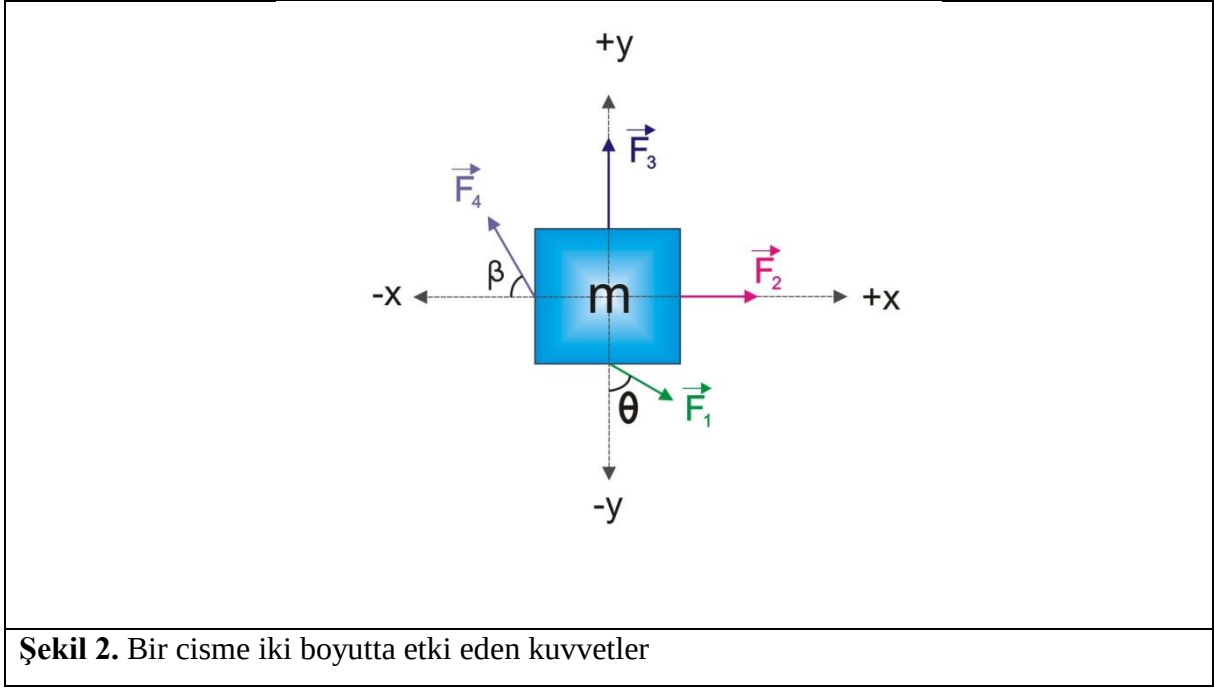
Şekil 1’de, m kütleli cisme +x ve -x yönünde etki eden kuvvetler görülmektedir. Cisim hareket etmiyor ise; cisme etki eden net kuvvet sıfır demektir.

$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 = 0 \quad (4)$$

-x yönünü negatif, +x yönünü pozitif alırsak;

$$F_1 + F_2 - (F_3 + F_4 + F_5) = 0 \quad (5)$$

Denge kavramını 2 (iki) boyutta inceleyecek olursak;



Şekil 2’de olduğu gibi bir cisme iki boyutta kuvvetler de etki edebilir. Eğer cisim hareket etmiyor ise yani denge durumunda ise cisme etki eden net kuvvet sıfırdır. Yani cisme x ekseninde etki eden ve y ekseninde etki eden net kuvvet sıfırdır. Bu durumda iki eksenı ayrı ayrı incelemek gerekir.

x-ekseni:

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_4 \cos \beta + \vec{F}_1 \sin \theta = 0$$

$$F_2 + F_1 \sin \theta - F_4 \cos \beta = 0$$

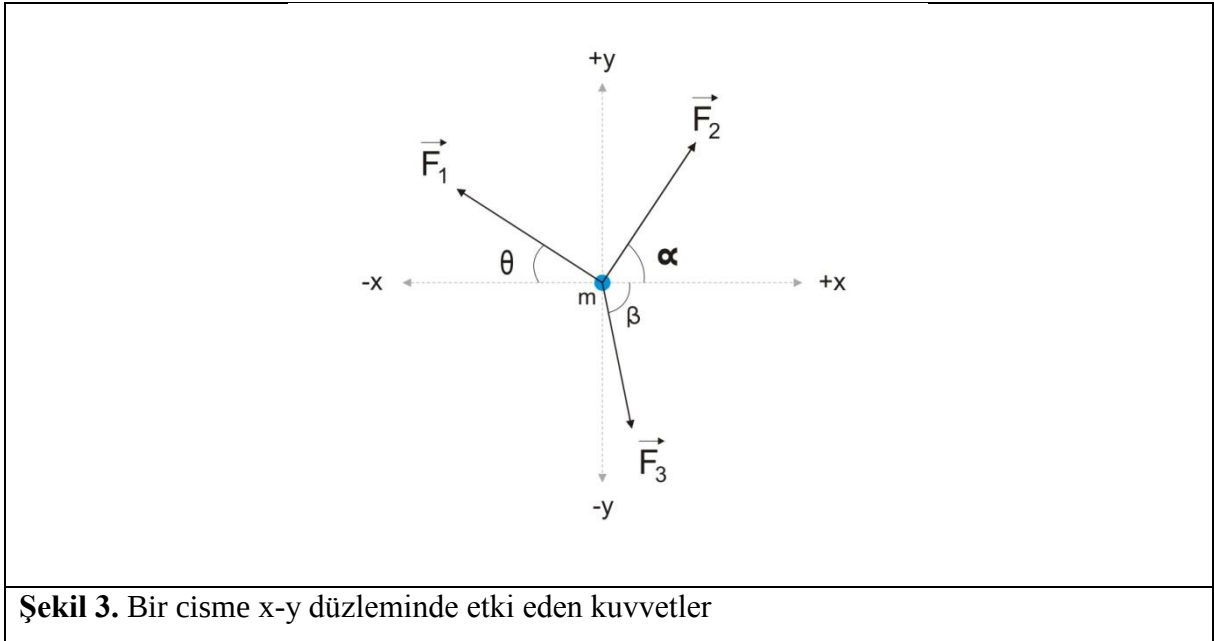
y-ekseni:

$$\vec{F}_3 + \vec{F}_4 \sin \beta + \vec{F}_1 \cos \theta = 0$$

$$F_3 + F_4 \sin \beta - F_1 \cos \theta = 0$$

şeklinde ifade edilir.

Grafiklerde, açıları ve kuvvetleri daha rahat görebilmek için cismi noktasal alabiliriz.



Şekil 3. Bir cisme x-y düzleminde etki eden kuvvetler

Şekil 3'deki cisim üç kuvvetin etkisi altında denge konumunda ise;

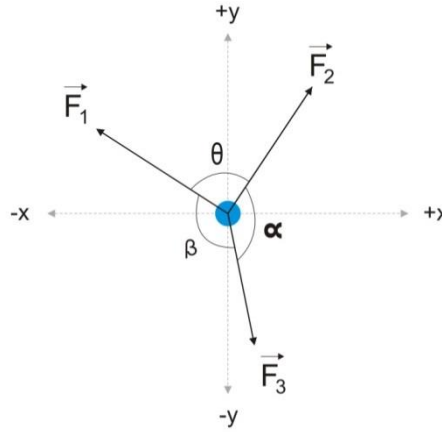
$$F_2 \sin \alpha + F_1 \sin \theta = F_3 \sin \beta$$

ve

$$F_2 \cos \alpha + F_3 \cos \beta = F_1 \cos \theta$$

eşitlikleri ile ifade edilir.

Denge durumunda cisme etki eden kuvvetleri bulmanın daha kolay bir yolu da vardır ve sinüs teoremi olarak bilinir.



Şekil 4. Denge durumunda kuvvetler arasındaki ilişkinin sinüs teoremi ile bulunması

Sinüs teoremi kullanılarak kuvvetler arasındaki ilişki belirlenebilir. Bu ilişki;

$$\frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{F_3}{\sin \theta} \quad (6)$$

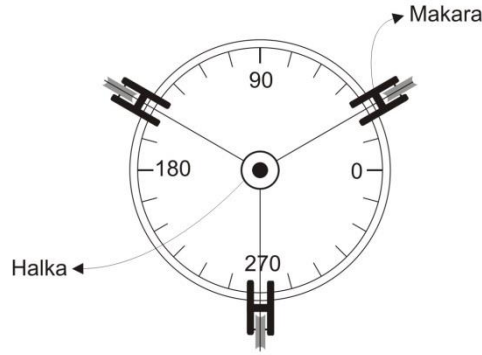
şeklindedir.

Deney düzeneğimizde de kuvvetlerin dengesi aynı Şekil 3’deki gibi sağlanmaktadır. Düzenekte uygun açı ve kuvvet büyüklüğünde iplerin bağlı olduğu halka ile tablanın merkezinde bulunan silindirik çubuk eş merkezli olmaktadır. Bu durum bize kuvvetlerin dengede olduğunu göstermektedir. İplerin bağlı olduğu halka, tabla merkezindeki silindirik çubuğa temas ediyorsa temas ettiği doğrultudaki kuvvet büyük demektir.

Deneyin Yapılışı:

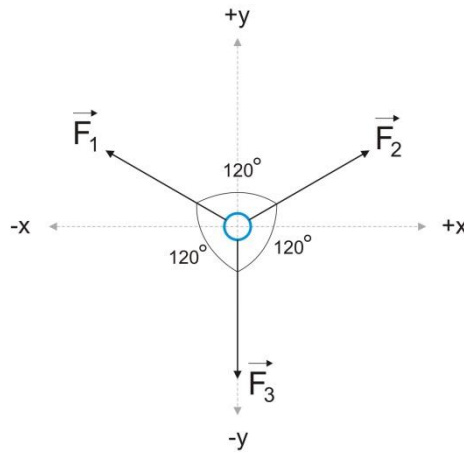
- Deneyde açılı tabla, yüksekliği ayarlanabilir üçayak, ağırlık setleri, bağlantı ipleri ve sürtünmesiz makaralar kullanılacaktır ve aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.
 - Su terazisi yardımıyla tablanın düz olmasını sağlayınız.
 - Merkezde bulunan halkanın tabla yüzeyine temas etmemesi gerekmektedir. Bu sebeple asılan ağırlıkları büyük seçiniz.
 - İplerin halkaya 90° olacak şekilde bağlandığından emin olunuz.(Makaraların pozisyonları değiştirildikçe ipin halka ile arasındaki açiyı kontrol ediniz)

I) Makaralar Arası 120° iken Denge Durumu



Şekil 5. Makaraların ve iplerin tablaya takılması

1. Makaraları Şekil 5'deki gibi yerleştiriniz.
2. Makaraları, araları 120° olacak şekilde takınız.
3. Ağırlık taşıyıcılara aynı büyüklükte ağırlıklar takınız.
4. Sistemin dengeye gelip gelmediğini gözlemleyiniz.
5. Denge durumunu kuvvetlerin bileşkelerini belirleyerek ve Eşitlik 6'yı kullanarak hesaplayınız.



Şekil 6. Makaralar arası 120° iken denge

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{F}_3 =$$

$$F_{1x} =$$

$$F_{1y} =$$

$$F_{2x} =$$

$$F_{2y} =$$

$$F_{3x} =$$

$$F_{3y} =$$

II) Sabit Aç ı Değerlerinde Denge Durumu

1. Makaraları tabla üzerinde istediğiniz noktalara yerleştiriniz.
2. İplerin bir ucunu tabla üzerinde duracak olan halkaya, diğer ucunu ise ağırlık taşıyıcıya bağlayınız.
3. İpleri makaralardan geçirerek sistemi Şekil 5'deki gibi kurunuz.
4. Ağırlık taşıyıcılara ağırlıklar ekleyerek halkayı tabla merkezindeki çubuk ile eş merkezli hale getiriniz.
5. Aç ı değerlerini ve taşıyıcılara takılan ağırlıkları Tablo 1'e kaydediniz.
6. Bir kâğıt üzerine halkaya etki eden kuvvetleri ve aç ı değerlerini Şekil 3'deki gibi çiziniz.
7. Çizilen şekilde her kuvvetin x ve y eksen bileşenlerini belirleyiniz.
8. Bu denge durumunu her iki eksen de matematiksel olarak kanıtlayınız.
9. Aynı işlemleri farklı aç ı değerleri için tekrarlayınız.

TABLO 1					
Makara 1		Makara 2		Makara 3	
F_1 (N)	α (°)	F_2 (N)	θ (°)	F_3 (N)	β (°)

$$F_{1x} =$$

$$F_{1y} =$$

$$F_{2x} =$$

$$F_{2y} =$$

$$F_{3x} =$$

$$F_{3y} =$$

III) Sabit Kuvvet Değerlerinde Denge Durumu

1. Ağırlık taşıyıcılara istenilen büyüklükte ağırlık takınız.
2. Bir makaranın yerini sabit tutunuz ve diğer iki makaranın konumlarını değiştirerek halkanın tabla merkezindeki çubuk ile eş merkezli olmasını sağlayınız.
3. Denge durumunda taşıyıcılara takılan ağırlıkları ve makara konumlarını Tablo 2'ye kaydediniz.
4. Bir kâğıt üzerine halkaya etki eden kuvvetleri Şekil 3'deki gibi çiziniz.
5. Çizilen şekilde eksen bileşenlerini belirleyiniz.
6. Sistemin denge konumunu bileşenleri kullanarak ve Eşitlik 6 yardımıyla kanıtlayınız.
7. Aynı işlemleri farklı kuvvet değerleri için tekrarlayınız.

TABLO 1					
Makara 1		Makara 2		Makara 3	
F_1 (N)	α (°)	F_2 (N)	θ (°)	F_3 (N)	β (°)

$$F_{1x} =$$

$$F_{1y} =$$

$$F_{2x} =$$

$$F_{2y} =$$

$$F_{3x} =$$

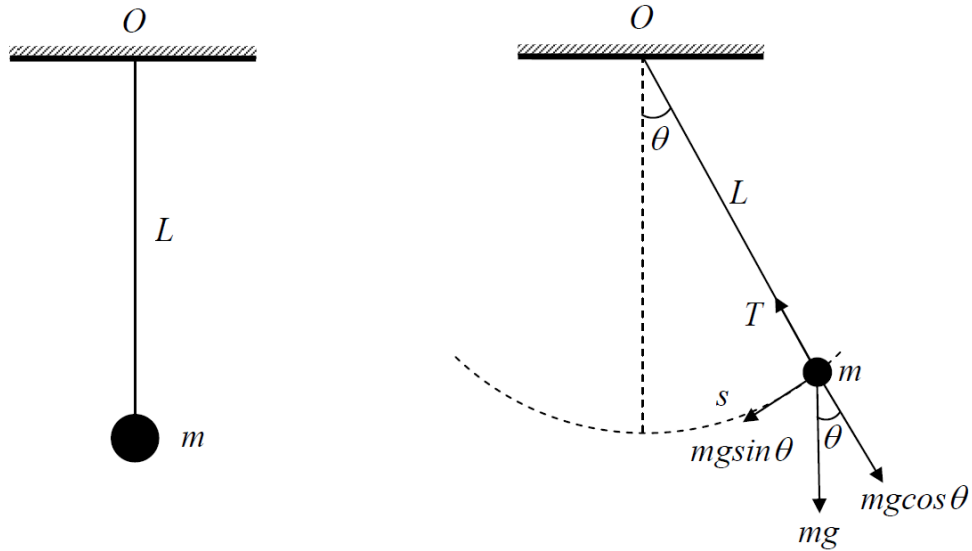
$$F_{3y} =$$

DENEY: 5 BASİT SARKAÇ DENEYİ**DENEYİN AMAÇI**

Basit sarkaç kullanarak basit sarkacın periyodunu ölçmek ve periyodu etkileyen nedenleri araştırarak yerçekimi ivmesini hesaplamak.

TEORİK BİLGİ

Basit sarkaç, periyodik salınım hareketi yapan mekanik bir sistemdir. Uzunluğu L olan ihmal edilebilir kütleye sahip bir ucu sabitlenmiş ipin diğer ucuna asılan m kütleli bir cisimden oluşan sistemdir. Sarkacın salınım hareketi, ipin bulunduğu düşey düzlemde ve yerçekimi kuvveti ile gerçekleşir.



Şekil 1. Basit sarkaç

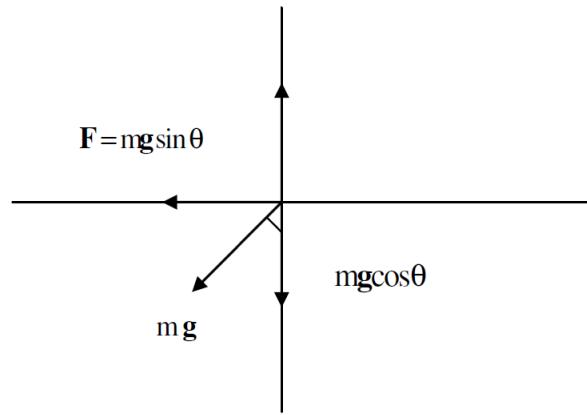
Bir sarkacın basit sarkaç olarak adlandırılabilmesi için, her türlü sürtünme ihmal edilebilir ve ip ile düşey eksen arasındaki θ açısı genellikle 10° ' den daha küçük olmalıdır. Şekil 1'de sol tarafta basit sarkacın denge hali sağ tarafta ise salınım hali görülmektedir. Sarkacın salınım hareketinde enerji sürekli olarak kinetik ve potansiyel enerji çevrimi içerisinde. Kinetik enerji en büyük değerini, salınımın en düşük noktasında alırken kütle çekimi potansiyel enerjisi ise en yüksek noktalarında alır. Bu salınım hareketinin zaman içinde sönümlü olduğu görülür, yani θ açısı zamanla azalır. Bunun nedeni, küreciğin hava molekülleri ile çarpışmasından ve askı noktası ile ipteki iç sürtünmelerden kaynaklanan sürtünme kuvvetleridir.

Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği varsayılırsa sarkacın hareketi şu şekilde formüle edilebilir: Şekil 1’de görüldüğü gibi denge konumundan θ açısı kadar uzakta bulunan m kütleli küreciğe etki eden kuvvet, mg ağırlığı ve bunun ipte oluşturduğu T gerilmesinin bileşkesi olan $mgsin\theta$ dır ve bu kuvvet her zaman cismi denge konumuna dönmeye zorladığından **geri çağırıcı kuvvet** olarak adlandırılır.

Geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$$F = -mg \sin\theta \quad (1)$$

şeklindedir. Burada negatif işaret, harekete zıt yönlü olduğunu gösterir.



Şekil 2. m kütleli cisme etkiyen kuvvetlerin bileşenleri

Şekil 2’ den T gerilme kuvveti

$$T = mg \cos\theta \quad (2)$$

dır. Bu salınım hareketine dik bileşen kütleyi salınım yayı üzerinde tutmak için gerekli merkezci ivmeyi sağlar ve ipin gerilmesine neden olur. Geri çağırıcı kuvvet eşitlik (1) ‘e göre açısal yer değiştirme ile değil de $\sin\theta$ ile orantılıdır. θ ’nın çok küçük olması durumunda $\sin\theta$ nın yerine açının radyal cinsinden değeri yazılır ve ‘s’ yayı bir doğru parçası olarak kabul edilir.

$$x \cong s \quad (3)$$

$$\sin\theta \cong \theta = \frac{x}{L} \quad (4)$$

Şeklinde yazılır. Newton’un ikinci yasası kullanılırsa

$$F = ma = -mg \sin\theta \quad (5)$$

İvmenin $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ ifadesi yerine yazılırsa ($x=L\theta$, $\sin\theta \cong \theta$)

$$mL \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\theta \quad (6)$$

Denklemini elde edilir. Bu eşitlik

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}\theta = 0 \quad (7)$$

Şeklinde tekrar yazılır ve elde edilen ikinci dereceden diferansiyel denklem basit harmonik hareketin denklemi olarak bilinir. $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$ de görüldüğü gibi g/L oranı açısal frekansın (ω) karesine eşittir. Yani,

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (8)$$

Periyot ile açısal frekans arasındaki

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (9)$$

Bağıntısı kullanılarak

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (10)$$

İfadesi elde edilir. Bu ifadeden görüldüğü gibi küçük açılı salınımlar için periyot kütleden ve genlikten bağımsızdır. Periyot eşitlik (10)'da görüldüğü gibi L uzunluğuna ve g yer çekimi ivmesine bağlıdır. L uzunluğu değiştirilerek periyodun değişimi incelenebilir.

Başka bir gezegene gidilmediği müddetçe farkı bir yerçekimi ivmesinde çalışmanın ve bundan ötürü periyodun yerçekimi ivmesine bağlı değişiminin incelenmesi mümkün gözükmemektedir. Fakat yerçekimi ivmesi değiştirilmese bile sarkaç eğik bir düzlemde düşeyle belli bir açı yapacak şekilde salınmaya zorlanırsa yeni bir “effektif yerçekimi ivmesi” düşünülebilir. Düşey ile bir α açısı yapacak şekilde zorlanan sarkaç

$$g_{eff} = g \cos \alpha \quad (11)$$

ile verilen bir efektif çekim ivmesi altında salınacaktır. Böylece α açısı değiştirilerek periyodun yerçekimi ivmesine bağlılığı incelenebilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g \cos \alpha}} \quad (12)$$

Deneyin Yapılışı:

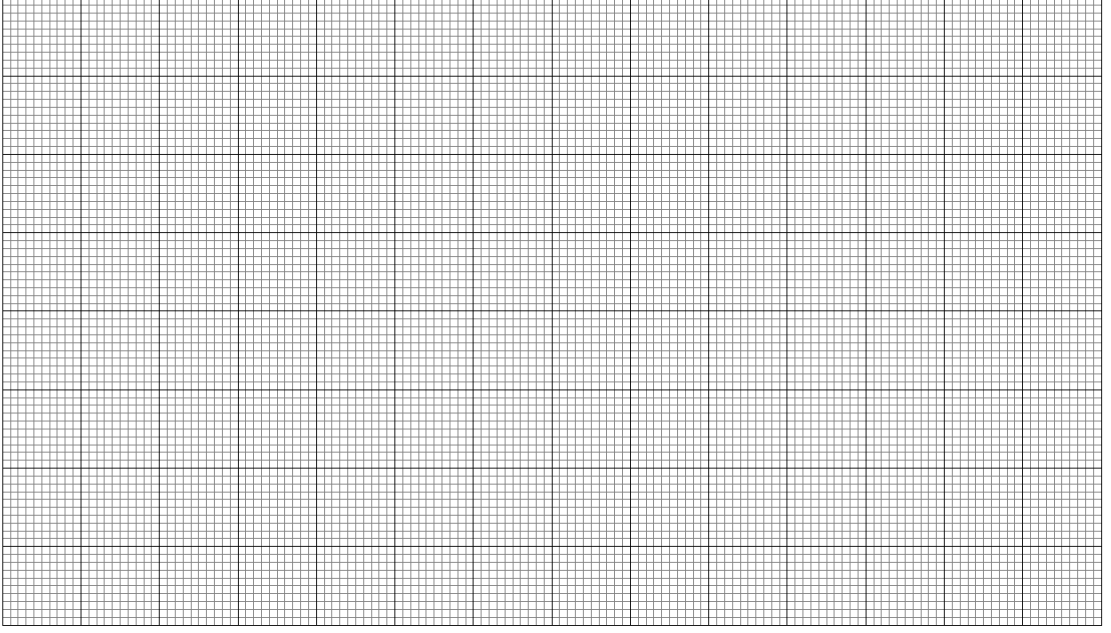
1. Deney düzeneğini şekil 3'teki gibi kurun.
2. Deneyi büyük çelik top için uygulayınız.
3. Tepe açısını yaklaşık 5° olarak şekilde ayarlayınız ve topu bırakınız.
4. Kronometre ile 10 salınım için geçen süreyi ölçünüz, periyot ölçtüğünüz bu sürenin onda biridir.



Şekil 3. Deney düzeneği.

1. Önce sarkacın uzunluğunu sabit tutarak α eğim açısını değiştirerek Tablo (1)'i doldurunuz. Periyodun yerçekimi ivmesine bağlı grafiğini çiziniz.

α	$g_{\text{eff}} = g \cos \alpha$ (m/s ²)	10T (s)	T (s)
0°			
10°			
20°			
30°			
40°			
50°			
60°			

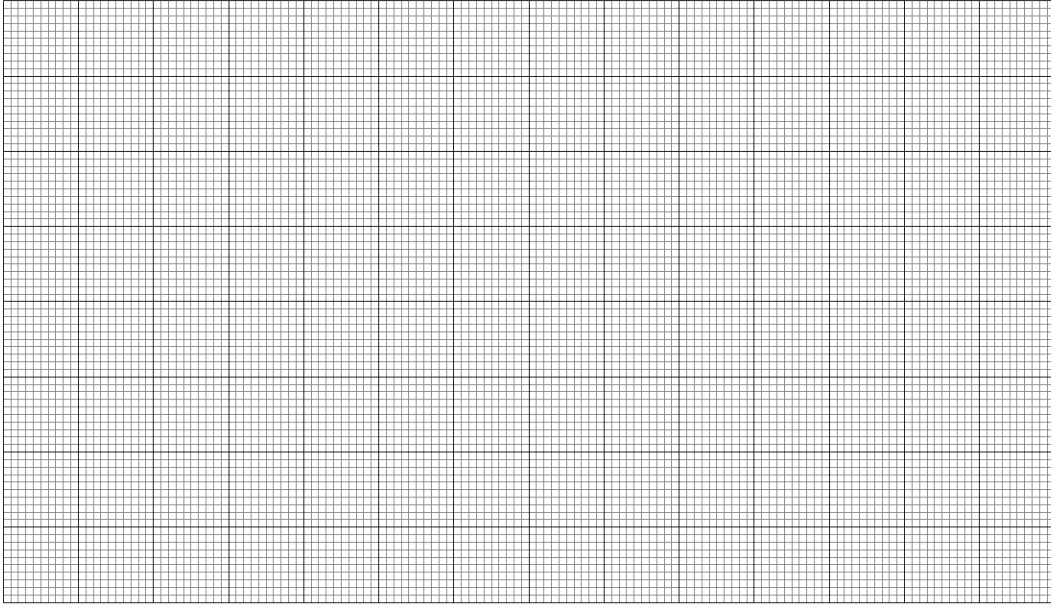


Grafik: Periyodun yerçekimine bağılılığı

2. Şimdi eğim açısını sıfır alarak kütleyi kaydırmak suretiyle sarkacın uzunluğunu değiştirip periyot ölçünüz.

L (cm)	10T (s)	T (s)	T ² (s ²)	g hesaplanan
5				
10				
15				
20				
25				

Daha sonra aşağıdaki grafik kağıdına $L(m)$ - $T^2(s^2)$ - nin değişimini çiziniz.



Grafik: $L(m)$ - $T^2(s^2)$ grafiği

Bu grafik için;

Eğim:

Hesaplanan yerçekimi ivmesi:

3. Deneyin 2. Kısımındaki her bir uzunluk değeri için hesaplanan g değerini aşağıdaki tabloya yazınız. Daha sonra elde edilen g yerçekimi ivmesini hata sınırları ile belirleyiniz.

4.

No	g	$(\Delta g_i)^2 = (\bar{g} - g_i)^2$
1		
2		
3		
4		
5		
	$\bar{g} =$ m/s ²	$\sum_i (\Delta g_i)^2 =$
$\Delta g = \sqrt{\sum_i (\Delta g_i)^2 / (n - 1)}$		
	$\Delta g =$ m/s ²	
	$g = \pm$ m/s ²	

5. Deneyin ikinci kısmında Grafik 2'nin eğiminden hesapladığınız yerçekimi ivmesini kullanarak yerçekimi ivmesinin gerçek değeri $g=9,8 \text{ m/s}^2$ kullanarak % hata hesabını eşitlik (13) ile yapınız.

$$\%Hata = \left| \frac{g_{ölçülen} - g_{gerçek}}{g_{gerçek}} \right| \times 100 \quad (13)$$

DENEY: 6 ÇARPŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU

Amaç: Esnek ve esnek olmayan çarpışmada momentum ve kinetik enerji korunumunun incelenmesi

Genel Bilgi:

Bir nesnenin lineer momentumu $\vec{P}$, kütesinin ve hızının çarpımı şeklinde tanımlanır.

$$\vec{P} = m\vec{v} \quad (1)$$

Burada lineer momentumdan kısaca momentum olarak bahsedeceğiz. Net bir dış bir kuvvet $\vec{F}_{dış}$ uygulandığı zaman nesnenin hızı değişmektedir ve bu ise momentumun değişeceği anlamına gelmektedir. Newton'un ikinci kanununa göre sabit kütleli bir cisim için,

$$\vec{F}_{dış} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2)$$

m sabit olduğunda bu denklem açıkça,

$$\vec{F}_{dış} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Eşitlik (3)'ten eğer bir nesnenin üzerine etki eden hiçbir net kuvvet yoksa bu nesnenin momentumu korunuyor anlamı çıkarılabilir, yani zamanla değişmez. Eğer $\vec{F}_{dış} = 0$ olursa, o zaman

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad (4)$$

$$\vec{P} = \text{sabit} \quad (5)$$

olduğu açıkça görülebilir. Momentumdaki bu sabitlik, momentumun zamanla değişmediği yani cismin bütün zaman aralıklarında aynı momentuma sahip olduğunu gösterir.

Şimdi ise $m_1, m_2, \dots, m_N$ kütlelerin oluşturduğu N parçacıklı bir sistem için momentum durumuna bakılacak olursa, parçacıkların oluşturduğu böyle bir sistemin herhangi bir anlık zamandaki toplam momentum

$$\vec{P}_{toplam} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N \quad (6)$$

Şeklindedir. Burada her bir parçacık için momentum,

$$\vec{P}_1 = m_1 \vec{v}_1, \vec{P}_2 = m_2 \vec{v}_2, \dots, \vec{P}_N = m_N \vec{v}_N \quad (7)$$

şeklindedir. Eşitlik (6)'da gösterilen momentum toplamı vektörel bir toplamdır ve bu durum için eşitlik (3)

$$\vec{F}_{dış} = \frac{d\vec{P}_{toplam}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N) \quad (8)$$

şeklini alır. Burada $\vec{F}_{dış}$, parçacıkların oluşturduğu sistemdeki net dış kuvvet anlamına gelir. Yani parçacıkların oluşturduğu sistemde birbirleri üzerindeki kuvvet (parçacıkların kuvvetleri), etkilerinden farklı bir kuvvettir. Bu dış kuvvetler sürtünme, yerçekimi olabilir. Bu yüzden parçacıkların oluşturduğu sisteme hiçbir net dış kuvvet etki etmiyorsa, sistemin toplam momentumu korunacaktır. Yani;

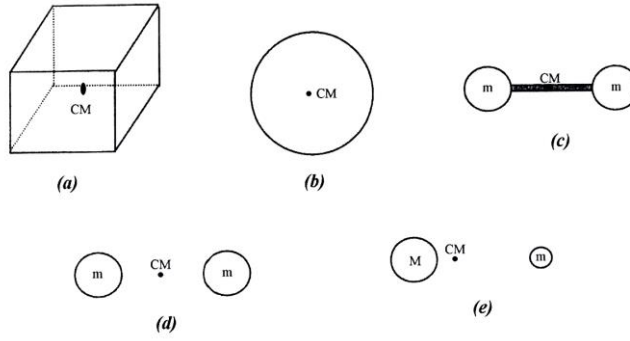
$$\frac{d\vec{P}_{toplam}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N) = 0 \quad (9)$$

$$\vec{P}_{toplam} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N = \text{sabit} \quad (10)$$

Yine eşitlik (10)'daki toplam vektörel toplamdır. Parçacıkların aralarında olan çarpışmaları da göz önüne almayarak; hiçbir net kuvvetin etki etmediği parçacıkların oluşturduğu bir sistemin ya da izole edilmiş bir sistemin toplam momentumu zamanın herhangi bir anında aynı olacaktır.

Kütle merkezi:

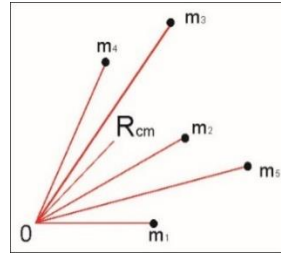
Bu deneyde karşılaşılabilecek ve araştırılacak bir başka kavram da kütle merkezidir (KM-CM). Türdeş bir küp veya bir kürenin kütle merkezlerini bunlar gibi simetrik nesnelerin geometrik merkezlerinde olabileceğini tahmin edebilirsiniz. Şekil 1'de gösterilen dambılın kütle merkezinin de barının orta noktası olacağını tahmin edebiliriz. Böylece iki aynı türde kürenin kütle merkezi, merkezlerini birleştiren bir doğrunun tam orta noktası olacaktır. Ama eğer kürelerden biri daha ağır ise; o zaman kütle merkezi, ağır olan kürenin yanına doğru Şekil 1'de gösterildiği gibi kayar. Kayma miktarı, M 'nin kütlelerinin m 'den ne kadar büyük olduğunun belirlenmesi ile bulunur. Bu deneydeki iki diskli sistemin kütle merkezi ise, merkezlerini birleştiren bir doğrunun orta noktası olacağını tahmin etmek zor değildir.



Şekil 1. Bazı simetrik türdeş nesnelerin kütle merkezi

Farklı şekillerdeki kütle dağılımları için kütle merkezi yeniden tanımlanmalıdır. Konum vektörleri $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$ olan $m_1, m_2, \dots, m_N$ kütlelerine sahip N parçacıklı bir sistemin $\vec{R}$ konum vektörünün kütle merkezi şu şekilde tanımlanır (Şekil 2).

$$\vec{R} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \dots + m_N\vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} \quad (11)$$



Zamanla parçalar pozisyonunu değiştirirse, kütle merkezinin de pozisyonu değişir ve kütle merkezinin vektörel değişim oranı kütle merkezinin hızı olarak düşünülebilir.

$$\vec{V}_{CM} = \frac{d\vec{R}}{dt} \quad (12)$$

Sabit kütleli parçalar için, eşitlik (11)'in zamana göre türevi alınırsa

$$\vec{V}_{CM} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_N\vec{v}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} \quad (13)$$

elde edilir. Denklemdaki noktalar türev anlamına gelir ki bunlar sadece hızlardır. Yukarıdaki oluşan biçim bu deneyde kullanılacak olan iki diskli sistemde uygulandığında;

$$\vec{R} = \frac{m\vec{r}_1 + m\vec{r}_2}{m+m} = \frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} \quad (14)$$

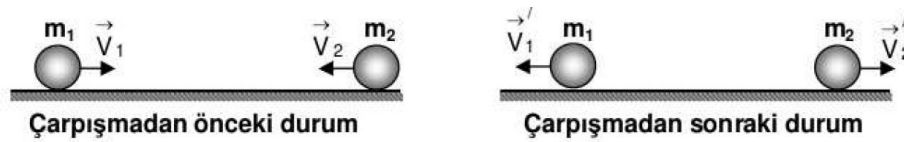
verir. Burada disklerin kütleleri eşit olduğuna göre kütleleri kaldırarak kütle merkezinin hızı;

$$\vec{V}_{CM} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} \quad (15)$$

Yukarıdaki denklemin önemli sonuçları vardır. Bunlardan biri kütle merkezinin hızının bu koşullarda sabit olduğunu anlamına gelir. Yani kütle merkezi sabit hızla hareket eder (sabit hız, büyüklük ve yönde değişmezlik anlamına gelir). Böylece toplam momentumun korunduğu izole edilmiş bir sistem için sistemin kütle merkezi daima sabit hızla doğrusal hareket eder. Ayrıca bu durumda toplamın yarısına eşit olduğunu gösterir. Bu nedenle çarpışmadan önce ve sonra iki diskli sistem için şöyle olur;

$$\vec{V}_{CM} = \vec{V}'_{CM} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2}{2} = \frac{\vec{v}'_1 + \vec{v}'_2}{2} \quad (16)$$

Esnek Çarpışma: Dış kuvvetin etkisinde olmayan iki cismin çarpışmasında **momentum ve toplam mekanik enerji (yani kinetik + potansiyel enerjinin)** korunuyorsa çarpışmaya “**esnek çarpışma**” denir. Genel olarak esnek olmayan bir çarpışmada mekanik enerji cisimler arasındaki sürtünme veya bir cisimden diğerine madde aktarımı gibi durumlarda ısı enerjisine dönüşerek sistemden uzaklaşabilir. Esnek çarpışma, bu etkinin söz konusu olmadığı veya ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu durumlara verilen isimdir. Tanımı gereği esnek çarpışmanın en karakteristik özelliği toplam mekanik enerjinin korunumudur ki bu deneyde söz konusu olduğu gibi potansiyel enerjinin sabit olduğu durumlarda bu özellik kinetik enerjinin korunumuna indirgenir. Öte yandan sistemin toplam momentumu esnek olsun olmasın bütün çarpışmalarda korunur.



Şekil 3. Esnek Çarpışma

Esnek çarpışma için momentum korunumu cisimlerin çarpışmadan önceki momentum vektörleri toplamı, çarpışmadan sonraki momentum vektörleri toplamına eşittir.

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 \quad (17)$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 \quad (18)$$

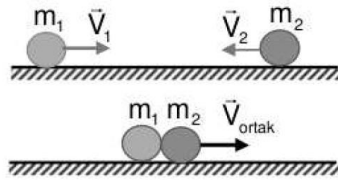
Şeklinde yazılır.

Enerji korunumu ise çarpışmadan önceki kinetik enerjilerinin toplamı, çarpışmadan sonraki kinetik enerjilerinin toplamına eşittir.

$$E_1 + E_2 = E'_1 + E'_2 \quad (19)$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad (20)$$

Esnek olmayan çarpışma: Çarpışmada mekanik enerji korunmuyorsa bu tür çarpışmaya “esnek olmayan çarpışma” denir. Cisimler çarpıştıktan sonra birlikte hareket ettikleri durumdaki çarpışma türüdür. Ancak momentum halen daha korunumudur.



Şekil 4. Esnek olmayan çarpışma

Bu durum için momentum;

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}_{ortak} \quad (21)$$

şeklindedir. Bu tür çarpışmada çarpışmadan önceki kinetik enerji her zaman çarpışmadan sonraki kinetik enerjiden büyüktür. Bu tip çarpışmada enerji ısıya ya da başka enerji şekillerine dönüşür. K_1 çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji ve K_2 çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerji olmak üzere (esnek olmayan çarpışmada olduğu gibi)

$$K_1 > K_2 \quad (22)$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 > \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{ortak}^2 \quad (23)$$

Kinetik enerjinin maddesel kaybı;

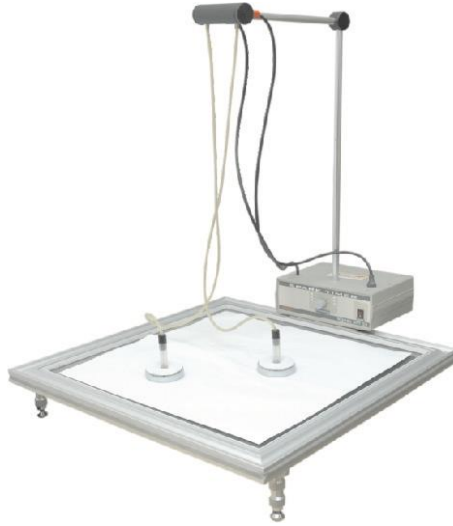
$$madesel\ kayıp = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \quad (24)$$

şeklindedir ve buradan kinetik enerjideki yüzdesel kayıp oranı

$$\text{yüzdelik kayıp} = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100 \% \quad (25)$$

ile belirlenebilir.

Deneyin Yapılışı:



Şekil 5. Hava masası düzeneği

Bu deneyde yatay konumdaki hava masasında hareket eden iki diskli sistemde momentumun korunumu araştırılacaktır. Yatay konumda olan ve sürtünmesi en aza indirilmiş hava masası üzerine konmuş olan disklerin üstünde açıkça hiçbir net dış kuvvet oluşmaz. Bu nedenle disklerin toplam momentumunun korunmuş olabileceği düşünülmektedir.

A. Esnek Çarpışma Deneyi

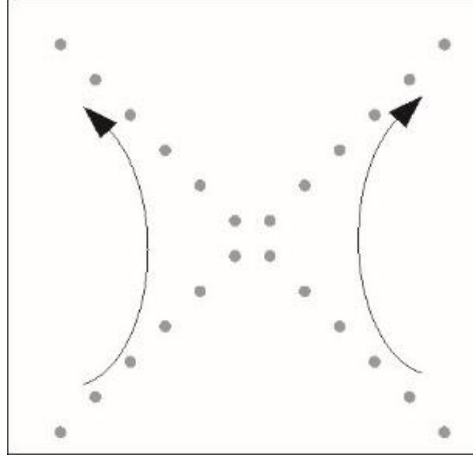
Eşit kütleler ile;

Dikkat: Kıvılcım osilatörü açık haldeyken eliniz hava masasında olmamalıdır!

1. Hava masasının üzerindeki karbon kâğıdın üzerini bir kayıt kâğıdı ile kaplayın. Yüzeyin tamamen düzgün olduğundan emin olun.
2. İlk önce hava masasında sadece pompa anahtarını (P) çalıştırın ve aynı kütleli iki disk hava masasının bir tarafından öbür tarafına diyagonal olarak birbirine doğru masanın ortasında bir yerde çarpışabilmesi için fırlatın. Yeterli derecede uygun bir çarpışma elde edene kadar bu işlemi birkaç kez tekrarlayın. İki disk de ne çok yavaş ne de çok hızlı fırlatmayın sadece

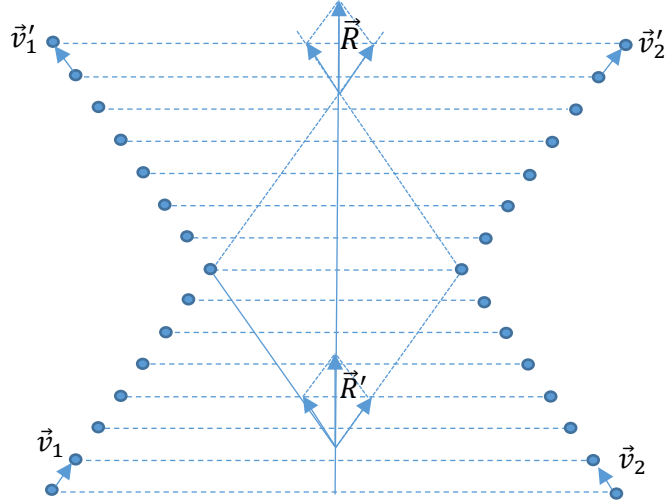
orta düzeyde bir hızla hareket edebilmesi için itin. Şimdi uygun bir sparktimer frekansı seçin (örneğin 20Hz) ve ardından (P) anahtarını çalıştırırken diskleri hava masasının bir tarafından öbür tarafına fırlatın ve de sparktimer anahtarını (S) diskler serbest kalır kalmaz çalıştırın. İki disk hareketlerini tamamlayana kadar her iki anahtarı da açık tutun.

3. Veri kâğıdını kaldırın ve oluşan noktaları dikkatle gözden geçirin. Noktalar Şekil 6'deki gibi olmalıdır.



Şekil 6. Yatay konumdaki hava masasında esnek çarpışma yapan iki diskin veri noktaları

4. Her disk için çarpışma öncesi ve sonrası olmak üzere, hızı belirleyin. Hızı belirlemek için seçeceğiniz iki nokta arasındaki mesafeyi ölçünüz. İki ardışık nokta arasında geçen zamanın $\Delta t = \frac{1}{\text{frekans}}$ olduğunu göz önünde bulundurarak seçtiğiniz noktalar arasında geçen zamanı, buradan da disklerin hızlarını belirleyin. Bu hızların çarpışmadan önceli ve sonraki vektörel toplamlarını bu vektörlerin uzantılarının kesiştiği noktalar olmak üzere $\vec{R} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ ve $\vec{R}' = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2$ vektörlerini Şekil 7'deki gibi çizerek ölçünüz.



Şekil 7. Esnek çarpışma için hız vektörleri

5. Çarpışmadan önce ve sonraki hız vektörlerini bileşenlerine ayırarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	Çarpışmadan Önce			Çarpışmadan Sonra		
	1. Disk	2. Disk	Toplam	1. Disk	2. Disk	Toplam
t (s)			-			-
Δx (m)			-			-
Δy (m)			-			-
v_x ($\frac{m}{s}$)						
v_y ($\frac{m}{s}$)						
P_x ($kg \frac{m}{s}$)						
P_y ($kg \frac{m}{s}$)						
Kinetik enerji (J)						

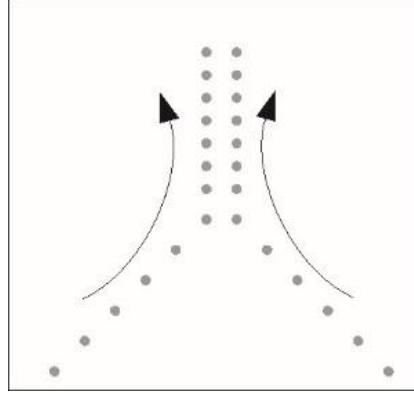
6. Daha sonra aşağıdaki soruları cevaplandırın.

- a- $\vec{R}$ ve $\vec{R}'$ büyüklük ve yön bakımından bir birine eşit oluyor mu? Eşit oluyor ise disklerin kütleleri hakkında ne söyleyebilirsiniz? Bu sonuç momentum korunumunu gösterir mi?
- b- Çarpışma öncesi ve sonrası hız değerlerini ölçerek kinetik enerjinin korunduğunu gösteriniz.
- c- Çarpışmadan önce ve sonra zamanın aynı anında oluşan noktaları tanımlayın ve bunları birleştirerek her noktalar çiftini birleştiren çizgi boyunca kütle merkezinin konumunu belirleyin. Şekil 7'de görüldüğü gibi hareket boyunca kütle merkezinin bulunduğu noktaları işaretleyiniz. Kütle merkezi doğrusal bir yörünge üzerinde hareket ediyor mu? Sizce bunun sebebi nedir?
- d- Kütle merkezinin hız vektörü ile $\vec{R}$ ve $\vec{R}'$ bileşke vektörleri ile aynı yönlü oluyor mu?

B. Esnek Olmayan Çarpışma Deneyi

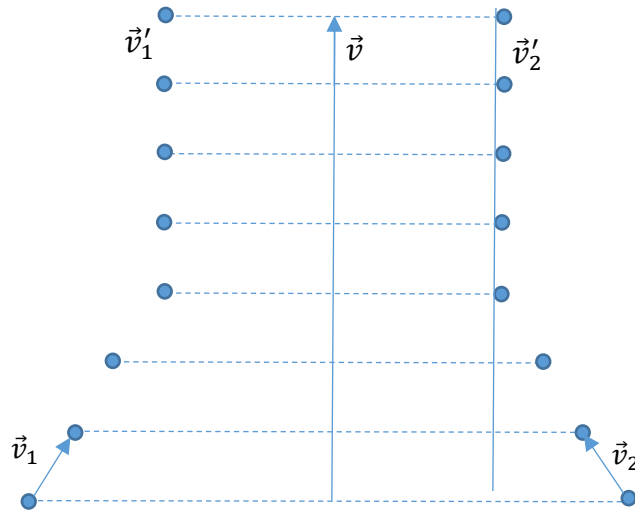
1. Birinci deneydeki gibi hava masasını ayarlayınız
2. Velcro bandını sıkı bir şekilde eşit kütleli iki diskin etrafına özel yapışkan şeritleri bu kez yapışkan yüzeyler dışa gelecek şekilde sarınız, bandın kenarlarının veri kâğıdının yüzeyi ile temas etmediğinden emin olun. Sadece pompa anahtarını (P) çalıştırın ve iki diski hava masasının bir tarafından öbür tarafına birbirlerine doğru masanın ortasında bir yerde çarpışıp ve birlikte yapışık hareket edebilmeleri için fırlatın. Disklerin çarpışmadan sonra yön değiştirmeyeceğinden emin olun. Bu işlemi uygun bir çarpışma elde edene kadar birkaç kez tekrarlayın.

3. Şimdi pompa anahtarını (P) çalıştırarak diklerin birbirine doğru fırlatın ve serbest bıraktığınız anda sparktimer anahtarını (S) çalıştırın. Diskler hareketini tamamlayana kadar her iki anahtar da açık tutun. Veri kâğıdındaki noktalar Şekil 8'deki gibi olmalıdır.



Şekil 8. Yatay konumdaki hava masasında iki diskin tamamen esnek olmayan çarpışmadaki veri noktaları

4. Elde ettiğiniz izlerin esnek çarpışmadakinden farklı olduğunu görüyorsunuz. Çarpışmadan önceki ve sonraki hız vektörlerini çiziniz ve büyüklüklerini ölçünüz. Eğer çarpışmadan sonraki $\vec{v}'_1, \vec{v}'_2$ hızları birbirine eşit değilse sistem dönmektedir.



Şekil 9. Esnek olmayan çarpışma için hız vektörleri

5. Yine $\vec{R} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ ve $\vec{R}' = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2$ vektörlerini çizerek gösteriniz ve çarpışmadan önce ve sonraki hız vektörlerini bileşenlerine ayırarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	Çarpışmadan Önce			Çarpışmadan Sonra
	1. Disk	2. Disk	Toplam	Ortak
t (s)			-	
Δx (m)			-	
Δy (m)			-	
v_x ($\frac{m}{s}$)				
v_y ($\frac{m}{s}$)				
P_x ($kg \frac{m}{s}$)				
P_y ($kg \frac{m}{s}$)				
Kinetik enerji (J)				

6. Daha sonra aşağıdaki soruları cevaplandırın.

a- Momentumun korunduğunu nasıl gösterirsiniz?

b- Sistemin kütle merkezini çizerek, çarpışmadan sonraki sistemin kütle merkezinin yörüngesi değişiyor mu?

c- Kütle merkezinin hız vektörünü çiziniz, bu hız vektörü çarpışmadan sonraki $\vec{v}'_1, \vec{v}'_2$ hızlarına eşit oluyor mu?

d- Son olarak kinetik enerjideki yüzdelik kaybı belirleyiniz.

DENEY:7 MEKANİK ENERJİNİN KORUNUMU ve MAXWELL TEKERLEĞİ

DENEYİ

Amaç: Maxwell diskini kullanılarak sistemin mekanik enerjisinin incelenmesi ve Maxwell diskinin eylemsizlik momentinin belirlenmesi

Genel Bilgi:

Bir eksen etrafında dönmekte olan katı bir cismin, dönme ekseninden r kadar uzaklığındaki m kütleli bir parçası, r yarıçaplı dairesel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile hareket eder. Çizgisel hız dairesel yörüngeye her noktada teğettir. Cismin konumunu belirleyen φ açısı ile belirlenen çizgisel yol ise $s = r\varphi$ olduğundan, cismin çizgisel hızının şiddeti

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

olarak verilir. Eşitlik (1)'de açının zamanla değişme hızına açısal hız denir. Birimi rad/s dir ve

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{r} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik (2)'nin türevi alınarak çizgisel ivme,

$$a = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

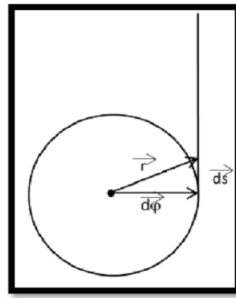
olarak elde edilir. Açısal hızın zamanla değişimi olan açısal ivme,

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

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

$$a = r\alpha \quad (5)$$

ilişkisi vardır.



Şekil. 1. Maxwell diskinde $d\varphi$ açısındaki artma ile ds yükseklik değişimi arasındaki ilişki

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. Şekil 1’de gösterilen dönme ekseninden r kadar uzakta bulunan m kütleli bir parçacık, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile dönerken kazandıkları kinetik enerji eşitlik (2)’yi kullanarak

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \quad (6)$$

ile ifade edilir. Dolayısıyla, dönme ekseninden farklı uzaklıklarda bulunan çok sayıda parçacıktan oluşmuş katı bir cisim için eşitlik (6) ifadesi

$$K = \frac{1}{2}(m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots) = \frac{1}{2}[\sum_i m_i r_i^2]\omega^2 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı kesikli sistemler (parçacıklar sistemi) için geçerlidir. Eşitlik (7)’de

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (8)$$

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, eşitlik (8)’deki toplam, integrale dönüşür ve tüm cisim üzerinden integral alınarak eylemsizlik momenti

$$I = \int r^2 dm \quad (9)$$

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 toplam kinetik enerjisi

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (10)$$

olur. Eşitlik (10)’dan görüldüğü gibi eylemsizliği momenti büyüdükçe, cismin dönme hareketi yapabilmesi için daha fazla iş yapması gerekir.

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 etki ettiği 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.

$$\Delta E_K + \Delta E_P = 0 \quad (11)$$

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

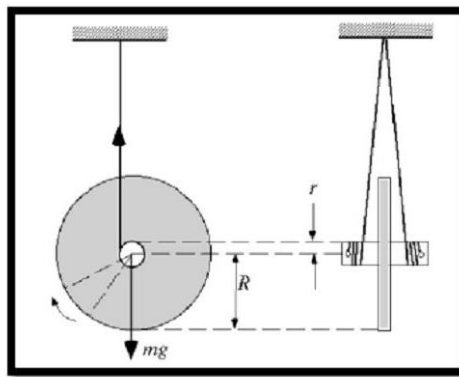
$$E_M = E_K + E_P \quad (12)$$

Tekerlek gibi büyük bir cisim, kendi eksenini 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.

$$E_K = E_{\dot{O}} + E_D \quad (13)$$

$$E_{\dot{O}} = \frac{1}{2}mv^2: \text{Öteleme Kinetik Enerjisi} \quad (14)$$

$$E_D = \frac{1}{2}I\omega^2: \text{Dönme Kinetik Enerjisi} \quad (15)$$



Şekil 2. Maxwell diskinin şematik gösterimi

Şimdi kendi eksenini üzerindeki iki ip üzerinde gravitasyonel alanda dönebilen Maxwell diskinin ait olduğu sistemi düşünelim (Şekil 2), Diskin toplam mekanik enerjisi;

$$E_M = E_P + E_{\dot{O}} + E_D = -mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (16)$$

$$E_M = -mgh + \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{r^2} \right) v^2 \quad (17)$$

şeklindedir. (- işareti disk aşağıya doğru hareket ettiği için potansiyel enerji azalır)

Sistemin toplam enerjisi zamanla değişmediğinden, türevi sıfıra eşit olacaktır.

$$\frac{dE_M}{dt} = -mg \frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{r^2} \right) \frac{d}{dt} [v(t)]^2 = -mgv(t) + \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{r^2} \right) 2v(t) \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (18)$$

$$mgv(t) = \left(m + \frac{I}{r^2} \right) v(t) \frac{dv(t)}{dt} \quad (19)$$

$$d(t)mg = \left(m + \frac{I}{r^2} \right) dv(t) \quad (20)$$

Sistemin hızı aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilir.

$$v(t) = \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}} \right) t \quad (21)$$

Düşey yer değiştirme eşitlik (1) bağıntısını kullanılarak elde edilirse;

$$h(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}} \right) t^2 \quad (22)$$

olarak elde edilir.

Böylece Maxwell tekerliğinin eylemsizlik momenti;

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h(t)} - 1 \right) \quad (23)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Deneyin Yapılışı:



Şekil 3. Maxwell tekerleği deney düzeneği

1. Çözükle durumda olan Maxwell diskinin ekseni, destek kolu üzerindeki vida yardımı ile Şekil 3'deki gibi ayarlayınız.
2. Disk ekseni yardımı ile dikkatli bir şekilde yukarı düğüm sarıp belirli bir yüksekliğe getiriniz.
3. Cetvel yardımı ile diski getirdiğimiz noktanın uzaklığını ölçünüz ve diski mekanik olarak serbest bırakınız. Serbest bırakılan disk aşağıya doğru hareket edecektir.
4. Diski belirli bir düşey mesafe alması için serbest bırakınız ve diskin aldığı bu düşey mesafeyi cetvel ile ve bu mesafeyi alma süresini kronometre ile ölçünüz.
5. Daha sonra diski her seferinde aynı düşey yüksekliğe getirmek kaydıyla diskin düşeyde aldığı yolu değiştirerek, bu yolu alma sürelerini ölçerek aşağıdaki tabloyu doldurunuz. Bu ölçümü her bir düşey yer değiştirme için beş kez tekrarlayınız ve Tabloyu doldurunuz.
6. Her bir ölçüm için eşitlik (23)'den faydalanarak kütlesi $m:0.436$ kg ve ekseninin yarıçapı $r:3$ mm alan Maxwell tekerleğinin eylemsizlik momenti değerlerini hesaplayıp tabloya kaydediniz. **(Bu eşitlikte $h(t)$ düşey alınan mesafeyi belirtir.)**

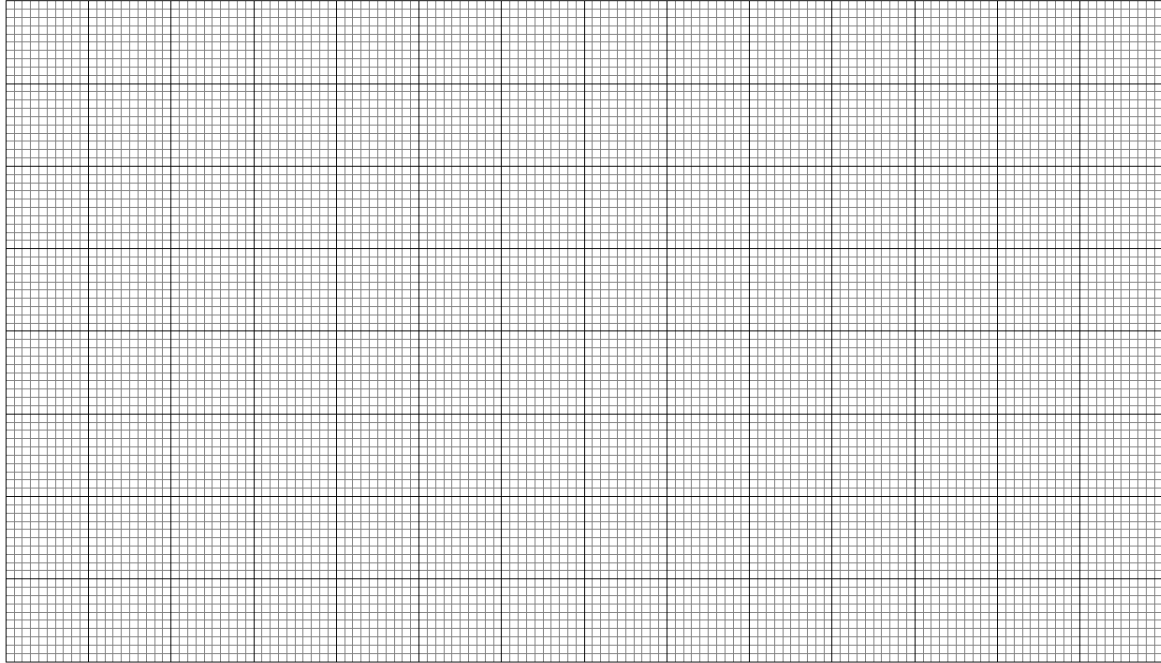
7. Daha sonra eşitlik (21) ve (2)'den çizgisel ve açısal hız değerlerini I_{ort} değerini kullanarak hesaplayıp tabloya kaydediniz.

h (m) (en son yükseklik)	hyerdeğiştirme(m) $h(t)$	t (s)	I (kgm²)
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	
		t ₁ = t ₂ = t ₃ = t ₄ = t ₅ = t _{ort} =	

8. Eşitlik (16)'deki her bir enerji değerini hesaplayarak aşağıdaki tabloya kaydediniz.

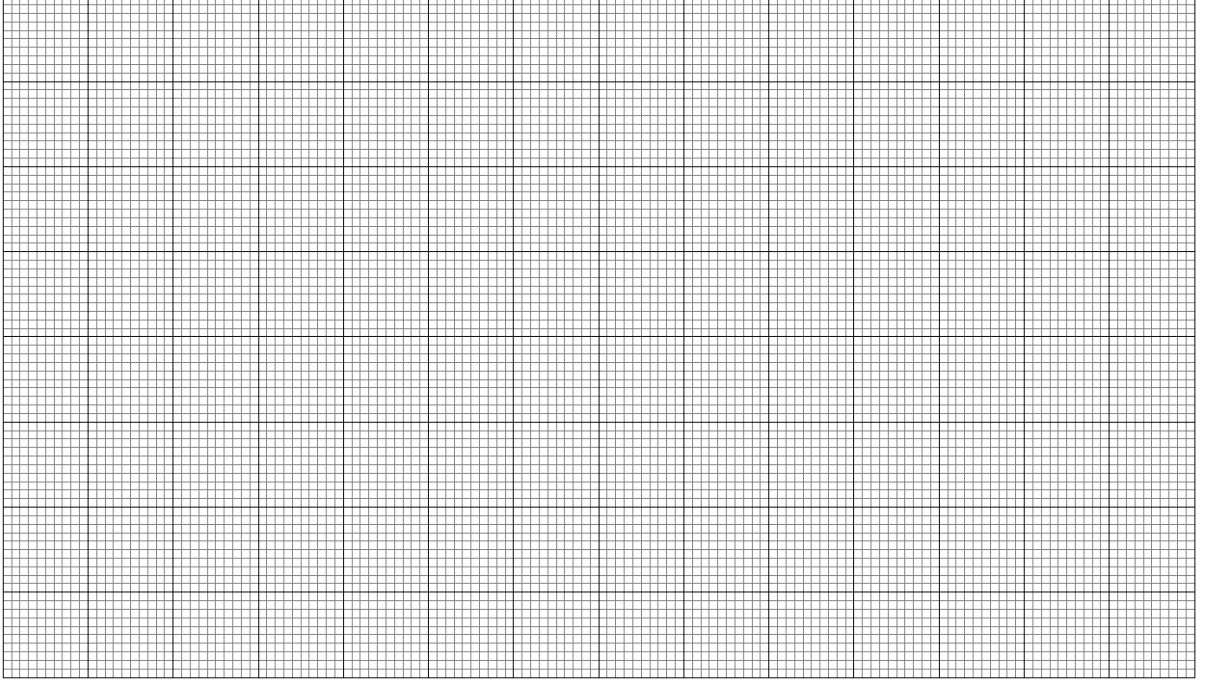
h (m)	h_{yerdeğiştirme}(m) $h(t)$	t_{ortalama} (s)	E_P (J)- (mgh)	E_ö (J)	E_D (J)	E_{Toplam} (J)

9. Daha sonra çizgisel hızın zamanla değişimini grafik üzerinde gösteriniz.



Grafik: v-t grafiği

10. Son olarak elde edilen potansiyel, dönme ve öteleme kinetik enerjilerinin zamanla değişimlerini tek bir grafik üzerinde çiziniz.



Grafik: E_p , E_O , E_D 'nin zamanla değişimi (herbir enerjiye grafikte ayrı bir skala tanımlayınız)

RAPOR

Raporu hazırlayan öğrencinin

Numarası ve Adı Soyadı:

Grup No:

Deneyin Yapılış Tarihi:

Deneyin hocası:

Deney No/Adı:

Teorik Bilgi:

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler:

Bulgular (Matematiksel hesaplamalar, grafikler, vs.)

Sonuç ve Yorumlar

Not: Deneyin raporunu 1 sayfaya sıkıştırmaya çalışmayın, formatı alt başlıklara uygun yapın!