FİZİK I LABORATUVARI

MEKANİK DENEYLERİ

ZONGULDAK 2013

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Bu laboratuvar kılavuzu, fen öğrenimi görecek öğrencilerin temel fizik programında ilk dönem mekanik deneylerini kapsar. Kılavuzun ilk çalışmaları üniversitemizin kurulduğu yıl, fakültemizin ilk öğrencileri için yapıldı. Bu yıl, fizik bölümü öğretim elemanlarının yoğun gayretleri ile geçen yılki eksiklikleri düzeltilerek ve birkaç yeni deney eklenerek yeniden hazırlandı. Fakültemizin baskı biriminde basıldı.

Fizik eğitiminde laboratuvar çalışmalarının önemi büyüktür. Öğrencilerin fizik ilkelerini deney yapmaksızın öğrenmesi ve kendini geliştirmesi oldukça güçtür. Temel fizik eğitiminde mekanik ve elektrik-manyetizma derslerinin yanı sıra bunlarla ilgili deneyleri içeren iki laboratuvar dersi vardır. Laboratuvar kılavuzu bu derste yapılan deneylerin; amacını, kuramsal bilgilerini, düzeneğini ve ölçümlerinin nasıl alınacağını kısaca tanımlar ve sonuçların yorumlanmasında yol gösterir. Ayrıca eksik bilgilerin tamamlanması için kaynaklar önerir.

Fakültemizin laboratuvarı, her deney düzeneğinden toplam dokuz set olmak üzere tüm öğrencilerin deneyleri aynı anda yapabilecekleri şekilde yeniden düzenlenmiştir. Böylece deneylerin yapılış sırasının, temel fizik derslerinin akışına bağlı olarak belirlenmesine olanak sağlanmıştır. Ancak öğrencinin deneyelere hazırlanırken konu ile ilgili gerekli bilgiye sahip olması gerektiğinden öğrencinin eksiklerini giderecek şekilde deneye hazırlanması önemlidir.

Laboratuvar çalışmalarının temel amaçları:

1. Öğrencinin edindiği bilgileri, doğru ve düzgün bir ifade ile anlatma yeteneğini geliştirmek. Bu nedenle her deneyden önce sözlü sınav yapılır. Daha önce istenen bilgiyi öğrenip, sözlü olarak ifade edebilmeniz gerekmektedir. Bu şekilde edindiğiniz bilgileri ve çözümlediğiniz problemleri ifade etme ve düşünme yeteneğini kazanacaksınız.

2. Laboratuvar çalışmalarında önemli olan, ölçme ve çözümleme yöntemlerini kavramaktır. Bu kapsamda hata hesabını, deney verilerinin değerlendirilmesini, grafik çizme yöntemlerini ve sonuçları değerlendirmeyi öğrenmiş olacaksınız.

3. Laboratuvar çalışmalarının en önemli kısmını rapor yazmak oluşturur. Buradaki temel hedef, deney çalışmasının sonunda öğrencinin özgün bir çalışma ile deney raporunu yazabilmesidir.İstenilen rapor öğrencinin kendi fikirlerini aktarabilmesine ve yaratıcılık yeteneğini geliştirmesine olanak sağlayacaktır. Bilimsel çalışmalarda, burada edineceğiniz deneyimler önemlidir.

Bu kılavuzun hazırlanmasındaki çalışmalar için emeği geçen fizik bölümü elemanlarına ve baskısını yapan Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığına teşekkür ederiz.

Her yıl eksiklikleri giderilerek ve yeni deneyler eklenerek, daha iyi bir laboratuvar kılavuzu hazırlanması amaçlandığı için düzeltmeleriniz ve önerileriniz her zaman şükranla karşılanacaktır.

DEVREK FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

GİRİŞ

Hazırlayan
Arş. Grv. M. ERYÜREK

DENEY ÇALIŞMASI

Deney için gerekli malzeme ve aletlerin hazır olup olmadığını kontrol ediniz. Kullanacağınız aletlerin kullanım özelliklerini mutlaka öğreniniz. Genellikle laboratuvar aletleri pahalıdır ve kolaylıkla bulunamazlar, bu nedenle kullanım sırasında dikkatli olunuz. Ne tür alet kullandığınızı ayrıntılı olarak not ediniz.

Deneyi yapmaya başladıktan sonra elde ettiğiniz verileri bir tabloya geçiriniz.Yapacağınız bu çalışma raporunuzun önemli bir kısmını oluşturacaktır. Ölçümlerinizi tamamladıktan sonra deney verilerini kontrol ediniz, eksiklikleriniz var ise tamamlayınız. Daha sonra deney sorumlusuna kontrol ettiriniz.

Laboratuvarda deney çalışması, ölçümler ile ilgili grafikleri çizdiğinizde ve gerekli hesaplamaları tamamladığınızda biter. Zamanınızın yetmediği durumda ise, verilerin çözümlenmesini anlamadan laboratuvardan ayrılmayınız.

RAPORUN YAZILMASI

Deney raporu standartlaşmış bir formata uygun olacak şekilde hazırlanır. Genellikle ileri düzeyde yapılan çalışmalarda da aynı kurallara uyulur. Bu nedenle rapor yazma alışkanlığı ve becerisini kazanacağınız deney çalışmaları çok önemlidir. Raporlarınızı zamanında hazırlamayı alışkanlık haline getiriniz. Geciktirmeniz halinde pek çok sorunla karşılaşabileceğinizi unutmayınız. Rapor mürekkepli kalem kullanılarak, el yazısı ile yazılabileceği gibi daktilo veya bilgisayarla da yazılabilir. Ancak sizlerin ilk deneyiminiz olduğu düşünülerek bu dönem için kurşun kalem kullanmanız hoş görülecektir.

Haftalık hazırladığınız raporlar dikkatle değerlendirilir. Bu değerlendirmede yalnız fizik prensiplerine uygunluğu ve doğruluğu göz önüne alınmaz. Bunların yanında düzenli ve temiz hazırlanmış olmasına, anlatıma ve imla kurallarına uygunluğuna da dikkat edilir. (Giriş kısmının sonunda yer alan EK bölümüne bakınız.)

ANLAMLI RAKAMLAR

Fiziksel ölçmelerin çoğu bir veya birkaç ölçeklendirilmiş aletin okunmasına dayanır. Bu aletlerin bölmelerinin sıklığı ve çizgilerinin inceliği sınırlıdır. Bu bakımdan okunan ölçüm değerinin son rakamı tahmine dayanır ve bir dereceye kadar şüphelidir. Bununla beraber bu şüpheli son rakam, ölçmek istenen büyüklüklük hakkında yararlı bilgi verdiği için **anlamlı**dır. **Anlamlı rakam**' lar, bir ölçü sonucunu belirtmek üzere yazılan sayıda doğru olduğu kesin olarak bilinen ve **sonuncusu** tahmine dayanan rakamlardır. Fiziksel ölçülerde bir ve yalnız bir tahmini veya şüpheli rakama izin verilir ve buna da anlamlı rakam gözüyle bakılır.

Milimetre bölmeli bir cetvelle bir uzunluk 4.87 cm olarak ölçülmüş olsun. Sonuncu 7 rakamı mm' nin tahmin edilen bir kesridir ve ölçüyü yaparken 6 veya 8 de okunmuş olabilir. Ne olursa olsun bu rakam ölçülen uzunluk hakkında faydalı bir değer ifade eder. Dolayısıyla bu ölçünün anlamlı rakamları sayısı üçtür. **Virgülün yerinin anlamlı rakamlar üzerinde hiç bir etkisi yoktur.** Aynı uzunluk ister 48.7 mm, isterse 0.0487 m olarak ifade edilsin daima üç anlamlı rakamdan oluşmuştur.

Şimdi aynı cetvel ile bir uzunluğun tam otuz santimetre olarak ölçüldüğünü düşünelim. Ölçü sonucunu 30 cm olarak yazmak hatalı olacaktır. Çünkü fiziksel anlamda bu yazış tarzı, ölçülen uzunluğun tam otuz santimetre olduğunu değil 29 ile 31 cm arasında bir değere sahip olduğunu belirtir ve **ölçme işleminin son derece kaba yapıldığını gösterir.** Mademki elimizdeki cetvel ile milimetrelere kadar tam okuyabiliyoruz ve milimetrenin kesirlerini tahmin edebiliyoruz, o halde ölçü sonucu 30.00 cm şeklinde dört anlamlı rakamla yazılmalıdır. Yani virgülden sonraki sıfırlar, çok defa sanıldığı gibi, gereksiz değil aksine yazılması zorunludur.

Genellikle ölçüm sonunda elde edilen bir sayıdaki sıfır rakamlarının anlamlı olup olmadığına sayının ondalık kesrine bakılarak karar verilir. Buna göre genel kurallar şöyle sıralanabilir:

i) Sıfır olmayan bütün rakamlar anlamlıdır.
ii) İki anlamlı rakam arasındaki bütün sıfırlar anlamlıdır.
iii) Ondalık sayıların sol ucunda yer alan sıfırlar anlamsız, sağ ucunda yer alan sıfırlar anlamlıdır.
iv) Tam sayıların sağ ucunda yer alan sıfırlar anlamsızdır.

Aşağıda verilen örneklerin incelenmesiyle bu kurallar daha iyi anlaşılacaktır.

Sayı	Anlamlı Rakam Sayısı	Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar
2	1	%25 duyarlılığı ifade eder
2.0	2	%2.5 duyarlılığı ifade eder
2.00	3	%0.25 duyarlılığı ifade eder
0.136 (.136)	3	sıfırın yazılması zorunlu değildir, okuyucuya kolaylık sağlar
2.483	4	
2.483×10^3	4	
310	2 veya 3	belirsizdir, sıfır anlamlı olabilir ya da yalnızca sayının ondalık kısmını gösterir
3.10×10^2	3	belirsizlik yok
3.1×10^2	2	

Bir ölçüm sonucunda yapılan ölçme hatasının da belirtilmesi gerekir. Bunun için hata değeri, ölçümün duyarlılığı kadar olmalı ve ölçülen değerin ondalık kısmını içermelidir. Örneğin; 54.1 ±0.1; 121±4 ; 8.764±0.002 ; $(7.63\pm0.10)\times10^3$ gibi.

ANLAMLI RAKAMLARLA HESAPLAMALAR

Bir sonucun ifade edildiği anlamlı rakamların gerçek değerleri, ölçüm hatalarını da içermelidir. Ancak hata hesabı çok uzun zaman alır ve genellikle laboratuvar çalışmaları uygulamaya yöneliktir. Böyle bir durumda, ölçüm sonucu elde edilen sayının yuvarlatılmasıyla önemli bir hata yapılmış olmayacaktır. İşte bu düşünceye göre anlamlı rakamlarla hesaplama işlemlerini inceleyebiliriz.

Toplama ve Çıkarma İşlemleri:

Toplanacak veya çıkarılacak bütün sayılar, içinde tahmin edilmiş değer bulunan en soldaki sütundan 1 basamak daha sağa uzanacak biçimde yuvarlatılır. Toplama ya da çıkarma işleminden sonra bulunan sonuç bir basamak daha yuvarlatırılır.

Örnek: Yan tarafta verilen ölçmelerde son basamaklar olan 4, 5 ve 8 tahmin edilen kısımlardır. İçinde tahmin edilmiş değer bulunan en soldaki sütun koyu gösterilendir. Kurala göre bulunan sonuç bir basamak daha yuvarlatılmıştır.

$$\begin{array}{rl} 476\mathbf{4} & \text{birim} \\ 18.25 & \text{"} \\ +\quad 6.378 & \text{"} \\ \hline 4764 & \text{birim} \\ 18.2 & \text{"} \\ +\quad 6.4 & \text{"} \\ \hline 4788.6 & \text{birim} \end{array}$$

$$4788.6 \longrightarrow 4789 \text{ birim}$$

Aşağıda verilen örnekleri dikkatle inceleyiniz.

$$51.4 - 1.67 = 49.73 \rightarrow 49.7$$

$$7146 - 12.8 = 7133.2 \rightarrow 7133$$

$$20.8 + 18.72 + .851 = 40.37 \rightarrow 40.4$$

$$1.4693 + 10.18 + 1.062 = 12.711 \rightarrow 12.71$$

Çarpma ve Bölme İşlemleri:

<u>Kural 1:</u> Çarpma ve bölme işlemlerinde bütün çarpanlar, en az anlamlı rakamı olan (en az duyarlı olan) çarpandan 1 fazla anlamlı rakamı olacak olacak şekilde yuvarlatılır. Çarpma ya da bölme işleminden sonra bulunan sonuç en az duyarlı olan çarpan ile aynı sayıda anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılır.

Örnek olarak $\dfrac{(653.6)\bullet(7.4)}{2\pi} = ?$ işleminin cevabını bulmaya çalışalım;

Burada tam sayı olan 2 nin ve π sayısının sonsuz sayıda anlamlı rakamı vardır. En az duyarlı olan ölçme ise 2 anlamlı rakamı olan 7,4 sayısıdır. Bu nedenle diğer ölçme ve çarpanlar 3 anlamlı rakama yuvarlatılır. Kurala göre işlemin sonucu ise 2 anlamlı rakama yuvarlatılacaktır.

$$\frac{(653.6)\bullet(7.4)}{2\pi} = \frac{(654)\bullet(7.4)}{(2.00)\bullet(3.14)} = 7.71\times10^{2} = 7.7\times10^{2}\,\text{birim}$$

<u>Kural 2:</u> Bir çarpma ya da bölme işleminde bütün çarpanlar ve sonuç en az duyarlı olan ölçme ile aynı sayıda anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılır.

$$\frac{(81.526)(\pi)(7560)}{(0.0284)(0.50145)} \rightarrow \frac{(81.5)(3.14)(7560)}{(0.0284)(0.501)} = 1.360\times10^{8} = 1.36\times10^{8}\,\text{birim}$$

Not: En az anlamlı rakamı olan sayı 0.0284 dür ve anlamlı rakam sayısı 3 tür.Kurala göre bütün sayılar 3 anlamlı rakamı olacak şekilde yuvarlatılmıştır.

SAYILARIN YUVARLATILMASI:

Genel olarak bir sayının n anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılması için o sayının en solundaki anlamlı rakamdan başlanarak n tane anlamlı rakam sayılır ve geriye kalan kısım atılır. Eğer atılan kısım 5, 50, 500, ...den büyük ise korunan son basamaktaki sayı 1 arttırılır. Eğer atılan kısım tam 5, 50, 500,.... ise "ÇİFT SAYILAR KURALI" uygulanır. Bu kurala göre eğer korunan son basamaktaki sayı çift ise bir değişiklik yapılmaz, tek ise 1 arttırılarak çift yapılır.

DENEY HATALARI

Hiçbir ölçüm kesin doğrulukta yapılamaz. Dikkat ve titizlik gerektiren araştırmalarda oldukca hassas aletler kullanılarak hatalar en aza indirilebilir. Ancak sizlerin yapacağı deney çalışmalarında hataları azaltmak pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle 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 **sistematik hatalar** ve **rastgele** (kontrol edilemeyen**)** **hatalar**dır.

SİSTEMATİK HATALAR: Belirlenebilen hatalardan kaynaklanan hatalardır ve genellikle tesbit edilebilirler. Bu hatalara sistematik 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. Bu hatalar kullanılan metodu değiştirmek, ölçü aletlerini ayarlamak ve denklemleri düzeltmek yolu ile azaltılabilir veya giderilebilir.

ÖRNEK: Bir hassas terazinin iki kolu tamamiyle eşit yapılamayacağından bir m kütlesinin tartılması ile kaçınılması mümkün olmayan bir alet hatası yapılmış olur. Bu sistematik hata çift tartma ile giderilebilir: m kütlesini dengelemek için sağ göze konulan gramlar m_1 ve sol göze konulan gramlar m_2 olursa, cismin doğru kütlesi

$m = \sqrt{m_1 m_2}$ veya $m = \left(m_1 + m_2\right)/2$

dir.

RASTGELE HATALAR: Bu tip hatalar gözleyiciye, ölçü aletlerine ve ölçülecek büyüklüğe etki eden kontrolü imkansız koşullar nedeni ile ortaya çıkan hataların birikmesinden kaynaklanır. Bu hatalar pratikte bütün ölçülere girerler, pozitif veya negatif değerde olabilirler. Bu hataların etkileri fiziksel büyüklüğün birçok kereler ölçülmesi ve ortalamasını almakla azaltılabilir. Rastgele hatalar için atmosfer basıncı, sıcaklık değişimi, çevreden gelen gürültüler, güç kaynaklarının voltajlarında meydana gelen dalgalanmalar örnek olarak verilebilir.

HATA HESAPLARI

Bilimsel çalışmalarda yapılan araştırmaların doğruluğu hakkında bilgi sahibi olmak istenir. Bu nedenle ölçüm sonuçlarının ne kadar doğru olduğunu belirlemek için hata hesapları yapılır.

Hata hesabının yapılabilmesi için öncelikle ölçmeden gelen hatanın belirlenmesi gerekir. Prensip olarak ölçmede yapılabilecek hata ölçü aracının gösterdiği en küçük değer kadardır. (Bazı durumlarda yarısı kadar da alınabilir.) Örneğin; 1mm duyarlıkla ölçüm yaptığınız bir cetvelden gelebilecek hata ±1 mm dir, 1/10 mm duyarlıkla ölçüm yaptığınız kompasdan gelecek hata ±0.1 mm olacaktır, saniyenin 1/100 ni gösteren bir kronometre ile ±0.01 s hatalı ölçüm yapılacaktır. Bir cetvel ile 12.7 cm olarak ölçülen bir niceliğin değeri (d)

$$d = (12.7 \pm 0.1)\mathrm{cm}$$

şeklinde yazılır. Bu değerin % belirsizliği (hatası) bilinmek istenir. Bunun için

$$\%\mathrm{belirsizlik} = \frac{\Delta d}{d} \times 100$$

bağıntısından bulunur. Burada Δd ölçmede yapılan 0.1 cm lik hata değerine karşı gelir. Buna göre

$$d = (12.7 \pm \%1)\ \mathrm{cm}$$

şeklinde ölçüm sonucu yazılır.

Bir fiziksel büyüklüğün değeri iki şekilde bulunur. Bunlardan biri tek bir ölçüm aleti kullanılarak büyüklüğün bulunması, diğeri ise matematiksel olarak bağlı olduğu bağımsız değişkenlerin ölçümünden hesaplanarak bağımlı değişken olarak elde edilmesidir.

Ölçülen bir fiziksel büyüklüğün belirsizliği daha önce anlatıldığı gibi ölçü aletinin belirsizliğinden bulunabilir.

Aynı büyüklüğün tekrarlanan ölçümü farklı sonuçlar veriyorsa belirsizliğin yeniden tanımlanması gerekir. Bunun için ortalama değer (aritmetik ortalama) ve standart sapma hesaplanmalıdır.

Her bir okuma x_i , okuma tekrar sayısı n ise, **aritmetik ortalama** nın anlamı;

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n} x_i$$

dir. Her bir okumadaki **sapma** (d_i) ise

$$d_i = x_i - \overline{x}$$

ile tanımlanmıştır. Tüm okumalardaki sapmaların ortalamasının sıfır olduğu söylenebilir. Sapmaların mutlak değerlerinin ortalaması ise

$$|\overline{d_i}| = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|d_i| = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x_i - \overline{x}|$$

ile hesaplanır ve bu değerin sıfır olması gerekmemektedir. Standart sapma

$$\sigma = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2\right]^{1/2}$$

eşitliğinden hesaplanır. Standart sapması hesaplanan fiziksel büyüklük genellikle

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

olarak yazılır. Ölçüm hataları belirlenmiş deney verilerinden, ikisinin veya daha fazlasının, hesaplama işlemlerinde kullanılması ile bir değer elde ediliyorsa, bu değerinde belirsizliğinin verilmesi gerekir. Bunun için bileşik hata hesabı kullanışlı ve basit bir yöntemdir.

Bileşik Hata Hesabı

R, $x_1, x_2, x_3 ...... x_n$ 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 ölçümle bulunuyor ve her ölçüm için yapılan hata değerleri Δx_1, Δx_2, Δx_3, ...,Δx_n olarak belirleniyor olsun. Hesaplanarak elde edilen R değerinin bulunmasında yapılan hata ΔR olmak üzere, bileşik hata

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

eşitliğinden bulunur.

Bu yöntem toplama ve çıkartma ile çarpma ve bölme işlemleri kullanılarak örneklerle açıklanmıştır.

Ölçme Sonuçları ile Toplama ve Çıkarma İşlemleri:

x, y ve z ölçülen değerler ve ölçüm hataları Δx, Δy ve Δz olsun. Bu üç ölçüm sonucu $x \pm \Delta x$; $y \pm \Delta y$ ve $z \pm \Delta z$ şeklinde yazılır. Buradaki belirsizlik değerleri ölçüm aletinin en küçük birimine karşı gelmektedir. w ise

$$w = x + y - z \qquad (1)$$

olsun. Δw

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

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 1 \ , \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 1 \ , \quad \frac{\partial w}{\partial z} = -1$$

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \qquad (3)$$

eşitliğinden bulunur. Eğer işlemde kullanılan ölçüm sonuçlarından birinde yapılan hata diğerlerinden çok büyükse, bu durumda diğer hata terimleri ihmal edilir. Δy; Δx ve Δz den çok büyükse

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

olarak bulunacaktır. Yani işlem sonunda aranan hata değeri, ölçüm sırasında yapılan en büyük hataya karşı gelmektedir.

Örnekler

1. Bir deneyde ölçülen uzunluklar

$$\ell_1 \pm \Delta\ell_1 = 23.5 \pm 0.1 \text{ cm}$$
$$\ell_2 \pm \Delta\ell_2 = 17.8 \pm 0.4 \text{ cm}$$
$$\ell_3 \pm \Delta\ell_3 = 93.9 \pm 0.2 \text{ cm}$$

olsun. Buradan $L = \ell_1 + \ell_2 - \ell_3$ eşitliğinden

$$L \pm \Delta L = -52.6 \pm 0.4 \text{ cm}$$

olarak bulunur, 0.4 lük hata ise yapılan en büyük hata değerine karşı gelmektedir.

2. İki kütlenin ölçüm değerleri hataları ile birlikte

$$m_1 \pm \Delta m_1 = 1.746 \pm 0.010 \text{ kg}$$
$$m_2 \pm \Delta m_2 = 0.507 \pm 0.010 \text{ kg}$$

olarak verilmiş ve $M= m_1+ m_2$ olmak üzere

$$\Delta M = \sqrt{(0.010)^2 + (0.010)^2} = \sqrt{2} \times 0.010 = 0.014 \text{ kg}$$

ve

$$M \pm \Delta M = 2.253 \pm 0.014 \text{ kg}$$

olarak yazılır.
3. Aşağıda verilen zaman değerleri ölçülmüş olsun

$$t_1 \pm \Delta t_1 = 0.743 \pm 0.005 \text{ s}$$
$$t_2 \pm \Delta t_2 = 0.384 \pm 0.005 \text{ s}$$

toplam t zamanı, $t = 2t_1 + 5t_2$ ise ; Δt nin hesaplanmasıda eşitlikte görülen katsayılar aynen kullanılır. Buna göre

$$\frac{\partial t}{\partial t_1} = 2 \ , \quad \frac{\partial t}{\partial t_2} = 5$$

$$\Delta t = \sqrt{(2\Delta t_1)^2 + (5\Delta t_2)^2} = \sqrt{(0.010)^2 + (0.025)^2} = 0.027 \ \ \mathrm{s}$$

$$\Delta t = 3.406 \ \mathrm{m}0.027 \ \ \mathrm{s}$$

bulunur.

Ölçme Sonuçları ile Çarpma ve Bölme İşlemleri:

Bir dikdörtgenin eni (w) ve boyu (h) olmak üzere alanı (A)

A=wh

dır. w ve h,ölçüm hataları belirlenerek ölçüldüğünü düşünelim. Buradan $w \pm \Delta w$, $h \pm \Delta h$ olmak üzere $A \pm \Delta A$ yı bulalım.

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

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

Elde edilen eşitliğin her iki tarafı A ya bölünür (A=wh).

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

Bu son eşitlikte her terimin; ölçüm hatasının, ölçülen değere oranı olduğuna dikkat ediniz. Dolayısı ile oranlar birimsizdir. ΔA değeri son eşitliğin sağ tarafının A ile çarpılmasından bulunabilir.

Eşitliğin sağ tarafında bulunan oranlardan biri diğerinden çok daha büyükse yine diğer terim ihmal edilir. Buna göre ölçülen değerler çarpılıyor veya bölünüyorsa, ölçümlerin en büyük hata değeri işlem sonucunun da belirsizliğine karşı gelir.
Örnekler:

1. Bir cismin hızı (v); alınan yol (x) ve geçen süre (t) ölçülerek bulunuyor olsun; v=x/t olmak üzere v nin elde edilmesinde yapılan hatayı (Δv) bulalım. Önce kısmi türevleri alalım.

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{t} \quad , \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{x}{t^2}$$

olur.

$$\Delta v = \left[\left(\frac{\Delta x}{t} \right)^2 + \left(-\frac{x}{t^2} \Delta t \right)^2 \right]^{1/2}$$

Eşitliğin her iki tarafını v ye bölelim , böylece

$$\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t} \right)^2}$$

eşitliğinden hata oranı bulunur.

$x \pm \Delta x = 0.63 \pm 0.02 \text{ m}$
$t \pm \Delta t = 1.71 \pm 0.10 \text{ s}$

olarak ölçülmüş ise $v \pm dv = 0.37 \pm 0.02 \text{ m/s}$ olduğunu gösteriniz.

2. Silindirin Hacmi

Silindirin çapı d , ölçüm hatası Δd; silindirin yüksekliği h; ölçüm hatası Δh olmak üzere; silindirin V hacmi

$$V = \pi r^2 h = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

eşitliğinden ve ΔV değeri

$$\Delta V = \left\{ \left(\frac{\partial V}{\partial d} \Delta d \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} \Delta h \right)^2 \right\}^{1/2} = \left\{ \left((\frac{\pi}{2} dh) \Delta d \right)^2 + \left((\frac{\rho}{4} d^2) \Delta h \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left\{ \left(\frac{2\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

eşitliğinden bulunur. d ve h nin değerleri bir ölçüm sonunda

$d = (2.36 \pm 0.01)$ cm ve $h = (5.28 \pm 0.02)$ cm

olarak verilmiş ise, yukarıdaki eşitliklerde d= 2.36 cm , Δd= 0.01 cm; h= 5.28 cm ve Δh= 0.02 cm değerleri yerine konur ve hesaplamalar yapılır. Buna göre $V = (23.09 \pm 0.22)$ cm^3 dür. Bu değeri için % belirsizlik hesaplanıyorsa %1 olarak bulunur ve $V = (23.09 \pm \%1)$ cm olarak yazılır.

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 yapılır ve aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\% \text{ Hata} = \frac{(\text{Bilinen Sabit Değer - Deneysel Değer})}{\text{Bilinen Sabit Değer}} \times 100$$

ÖRNEK. Bir deney sonunda yerçekimi ivmesi $g = (9.20 \pm 0.20)\mathrm{ms}^{-2}$ olarak bulunmuş olsun, bilindiği gibi g nin gerçek değeri 9.80 ms^{-2} dir. Bu deney sonucunu değerlendirmek üzere % hata yukarıda verilen denklemden %6 olarak bulunur.

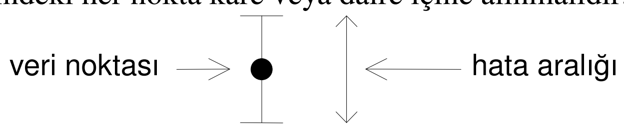
Bu tür bir hesaplama ile elde edilen değer, kuramsal bilgi ile deney arasında meydana gelen uyumsuzluğu gösterir. Ancak bunun ölçme sırasında yapılan hatalardan kaynaklandığı unutulmamalıdır. Yapılan hatanın % değeri bulunduktan sonra, hata nedenleri tartışılır ve hataları gidermek için yeni yöntemler önerilir.

GRAFİKSEL ANALİZ

Deneysel sonuçlar genellikle grafiksel olarak gösterilir. Grafik, bir seri ölçüm sonucunun en iyi ortalamasının elde edilmesini, değerlerin birbiri ile ilgili ilişkilerinin açıkça görülmesini sağlar. Ayrıca bir deneyde ölçülen büyüklükler arasındaki ilişkilerin bulunması istenir, işte bunun için de en iyi yöntem grafik çizimidir. Çizilen bir grafik analiz edilerek sonuca ulaşılır. Bütün bu özelliklerinden dolayı grafik çizimi ve analizi her fizikcinin çok iyi bilmesi gereken bir konudur.

Grafik Çizimi ve Verilerin Grafikte Gösterilmesi ile İlgili Temel Prensipler:

1. Grafik çiziminde ince uçlu kalem kullanılmalıdır (kurşun kalem kullanılabilir). Gerektiğinde renkli kalem de kullanılabilir.
2. Grafik mümkün olduğunca büyük çizilmelidir. Küçük çizilmiş bir grafik, doğru sonuç elde edilmesini engeller.
3. Grafiğin mutlaka kısa ve öz adı yazılmalıdır. Örneğin; Hız-Zaman Grafiği, matematiksel olarak v=f(t) Grafiği şeklinde yazılabilir.
4. Sonuçların grafiğe geçirilmesinde; x-eksenine (apsis) bağımsız değişken, y-eksenine (ordinat) bağımlı değişken işaretlenmelidir
5. Grafiğin eksenlerine ilgili büyüklüğün adı ve birimi yazılmalıdır.
6. Eksenler uygun şekilde ölçeklendirilmeli (genellikle 1, 2, 5, 10 ve katları kullanılır) ve mümkün olduğunca sıfırdan başlatılmalıdır. Ölçeğin seçiminde gereğinden büyük olmamasına dikkat edilmelidir. Aksi taktirde sonuçların hataları artar ve iki büyüklük arasındaki ilişkinin anlaşılması güçleşir.
7. Ölçümlerde yapılan hataları göserecek şekilde hata darları çizilmelidir. hata barının çizimi şekilde gösterilmiştir. Eğer bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her ikiside ölçüm hatasını içeriyorsa, grafik üzerindeki her nokta kare veya daire içine alınmalıdır.



8. Veri noktaları hataları ile birlikte grafikte gösterildikten sonra, bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çizilmelidir. (Uyarı: Noktalar hiçbir zaman ard arda çizgilerle birleştirilmemelidir.) Çizilen eğri ölçüm hatalarını da içerir. Eğer ölçüm sonuçları rastgele hataları kapsıyorsa veri noktalarının yaklaşık 1/3 ü çizilen eğrinin dışında kalır.

9. 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.

Örneğin; basit sarkaç için T periyod, l sarkaç uzunluğu olmak üzere T ye karşı l grafığı bir paraboldür, fakat T^2 ye karşı l grafiğinden bir doğru elde edilir. Diğer taraftan T ye karşı 1/l grafiğinden bir hiperbol elde edilir. Buna göre T^2 ye karşı l grafiğinin çizilmesi sonucun değerlendirilmesinde en uygun yoldur.

Doğrusal grafik elde etmek için diğer bir yöntemde değişkenlerin 10 tabanına göre logaritmalarının (e tabanına göre doğal logaritması da alınabilir) alınması ve buna göre grafiğin çizilmesidir. Bu yöntem iki nicelik arasındaki ilişkinin bulunmasında kullanılır.

Örneğin; basit sarkacın ampirik bağıntısını elde etmek için, periyod-sarkaç uzunluğu $T=k\, l^n$ şeklinde genel bir ifade olarak yazılabilir. Daha sonra eşitliğin her iki tarafının logaritması alınır. Buna göre

$$\mathbf{\log T = n \log l + \log k}$$

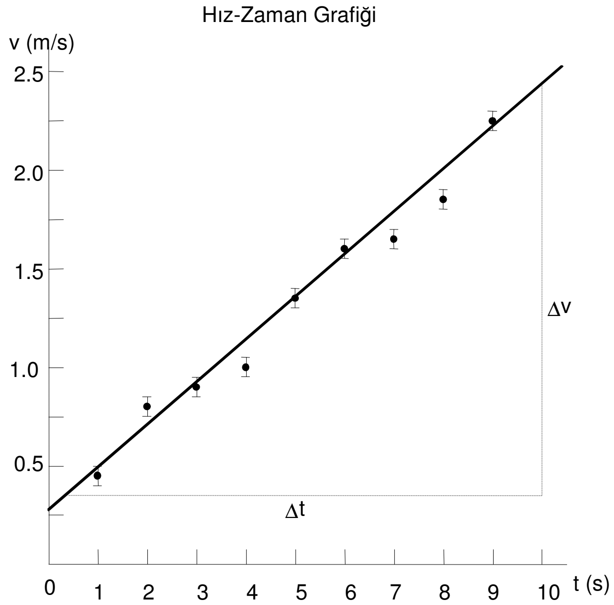
eşitliği elde edilir. $\mathbf{\log T = f(\log l)}$ grafiği çizilir. Elde edilen doğrunun eğiminden n çarpanı, doğrunun y-eksenini kestiği noktadan k değeri bulunur. Bu şekilde T-l ilişkisi bulunmuş olur.

GRAFİK ÇİZİMİ İLE İLGİLİ ÖRNEKLER:

1. Hızın zamanla değişiminin incelendiği bir deney sonunda alınan ölçümler aşağıda verilmiştir:

Zaman (s)	Hız (m/s)
1	0.45±0.05
2	0.80±0.05
3	0.90±0.05
4	1.00±0.05
5	1.35±0.05
6	1.55±0.05
7	1.65±0.05
8	1.85±0.05
9	2.25±0.05

Hız bağımlı değişken, zaman bağımsız değişken olmak üzere Hız-Zaman Grafiği aşağıda verilmiştir.
Veriler şekilde görüldüğü gibi grafiğe geçirilir. Grafikten hızın zamanın lineer (doğrusal) bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bir doğrunun genel denklemi $y = mx + n$ şeklindedir.



Burada m doğrunun eğimi, n ise x=0 iken doğrunun y-eksenini kestiği noktadır. Buradan y=v ve x=t olmak üzere m=a ve n=v_o olarak belirlendiğinde doğru denklemi

$$v = at + v_o$$

bağıntısı yazılabilir. Burada v_o , t=0 anında cismin ilk hızı ve a, cismin ivmesine karşı gelir. Çizilen grafikten v_o=0.28 m/s değeri bulunur. Doğrunun eğimi hesaplanarak a ivmesinin değeri bulunur. Bunun için doğru üzerinde iki nokta seçilir. Seçilen iki nokta arasındaki mesafanin yeterince büyük olmasına dikkat edilmelidir. Grafik üzerinde bu iki nokta gösterilmiştir. Seçilen noktaların (t;v) değerleri belirlenir ve

$$\text{eğim} = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2.42 - 0.36}{10.0 - 0.3}\frac{(m/s)}{(s)} = \frac{2.06(m/s)}{9.7(s)} = 0.21 m/s^2$$

bulunur. Doğrunun denklemi;

$$v = 0.21t + 0.28 \ \ (m/s^2)$$

olarak elde edilir. Çizilen grafikte 0.21 m/s^2 olarak bulunan eğim değeri ile doğrunun y-ekseni ile kesiştiği 0.28 m/s değerinin elde edilmesindeki belirsizliğin tayini yapılmalıdır. Yani grafik çiziminden elde edilen değerlerdeki hata değeri belirlenmelidir. İşte bunun için veri noktalarından geçen maksimim eğimli doğru ile minimum eğimli doğrular çizilir.

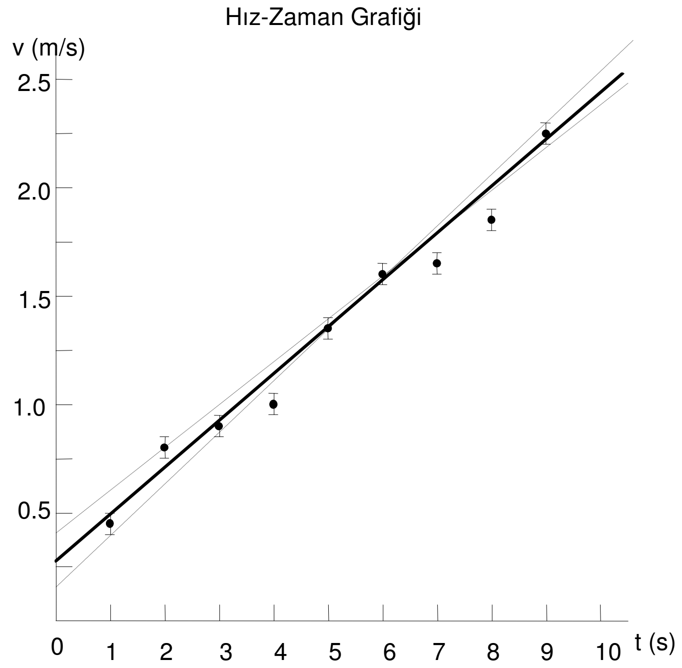
Hız-Zaman Grafiğinde çizilen doğru ortalamayı en iyi veren doğru olmalıdır. Bunun için genel kural; çizilen doğrunun sağında ve solunda kalan, veri noktaları sayısının eşit olması şeklindedir. Bundan başka öyle iki doğru çizilir ki, doğrulardan birinin eğimi minimum, diğerinin eğimi ise maksimumdur. Buna göre çizilen ideal doğrunun eğimindeki belirsizlik

$$\text{Eğimin Belirsizliği} = (\text{Mak. Eğim} - \text{Min. Eğim})/2$$

eşitliğinden hesaplanır. Verilen örnek için eğimdeki belirsizlik Δa;

$$\Delta a = \frac{0.23 - 0.19}{2}(m/s^2) = 0.02(m/s^2)$$

olarak bulunur ve $a \pm \Delta a = 0.21 \pm 0.02\ m/s^2$ olarak sonuç hatası ile birlikte yazılır.



En iyi doğrunun y-ekseni ile kesiştiği noktanın elde edilmesinde yapılan hatanın (belirsizlik) hesaplanması: Doğrunun y-eksenini kestiği noktanın Δv_o belirsizliği; maksimum eğimli doğrunun y-eksenini kestiği nokta v_{max}; minimum eğimli doğrunun y-eksenini kestiği nokta v_{min} olmak üzere

$$\Delta v_o = \left(v_{max} - v_{min}\right)/2$$

eşitliğinden bulunur. Örnek olarak verilen grafik için bu değer;

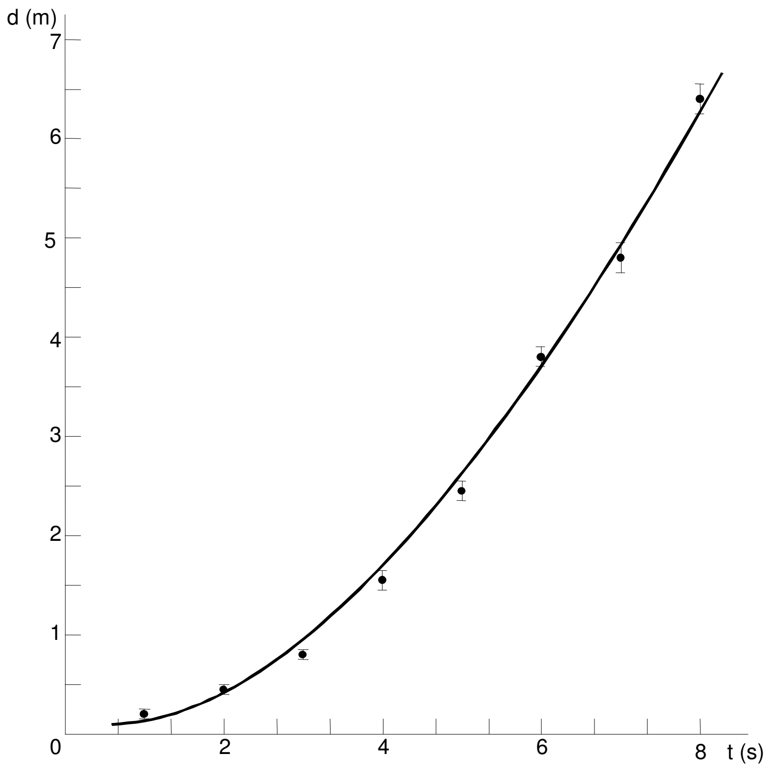
$$\Delta v_o = \frac{0.45 - 0.17}{2}(m/s) = 0.14(m/s)$$

olarak bulunur ve $v_o \pm \Delta v_o = 0.28 \pm 0.14$ m/s şeklinde sonuç yazılır.

2. Hareket eden bir cismin yol-zaman ilişkisi bulunmak isteniyor ve bir deney sonunda aşağıda verilen değerler elde edilmiş olsun;

t (s)	d (m)
1	0.20±0.05
2	0.45±0.05
3	0.80±0.05
4	1.57±0.10
5	2.43±0.10
6	3.81±0.10
7	4.80±0.20
8	6.39±0.20

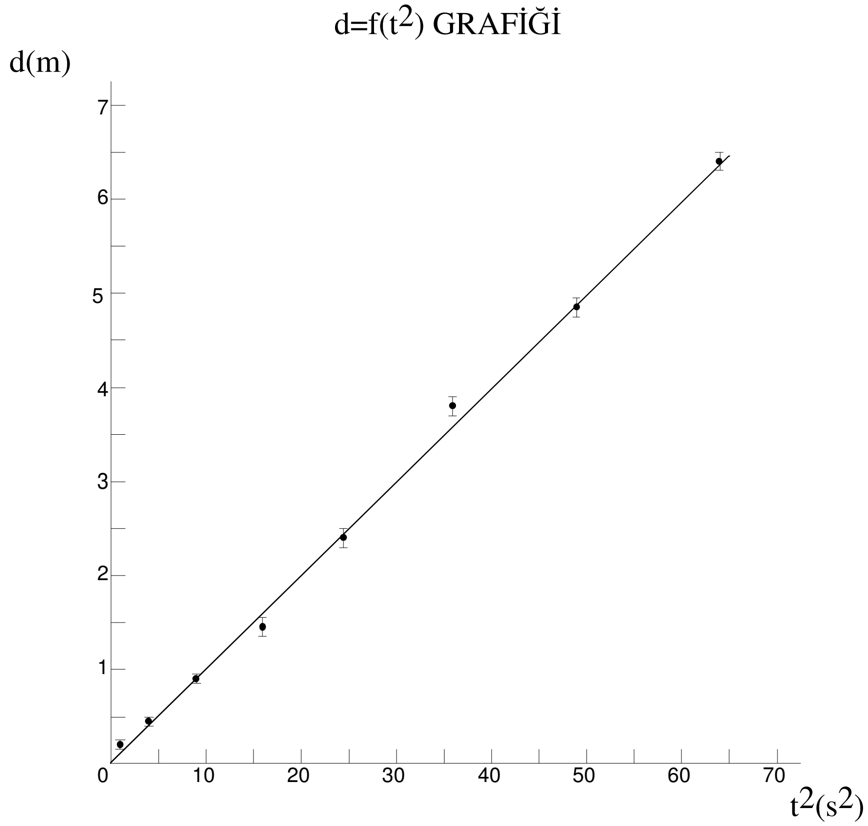
d=f (t) GRAFİĞİ



Görüldüğü gibi Yol-Zaman Grafiği bir paraboldür ve buradan yol-zaman ilişkisinin doğrusal olmadığı söylenebilir. Buna göre d nin t^n ile orantılı olduğunu düşünmek gerekir, öyle ki n>1 olmalıdır. Bilindiği gibi ivmeli hareket yapan bir cismin yol-zaman ilişkisi

$$d = d_o + \frac{1}{2}at^2$$

eşitliği ile verilir. Yani d ile t^2 orantılıdır. Bu nedenle d ye karşı t^2 grafiği çizilirse; eğimi a/2 ya eşit bir doğru elde edilir. Deney verileri kullanılarak aşağıda görülen grafik çizilir.



Grafiğin eğimi m=a/2 ve doğrunun y-ekseni ile kesiştiği nokta d_o=0 dır.

Bir uygulama olması için verileri kullanara grafik kağıdına d=f(t^2) grafiğini çiziniz ve doğrunun eğiminden cismin a ivmesini bulunuz.

EK: Laboratuvar Raporunun Yazılım Biçimi

Raporunuzun ilk sayfasına aşağıda gösterildiği gibi kimlik bilgisini yazınız;

Deney No:
Grup No:

Adı, Soyadı:
Tarih:
Deney Sorumlusu:

Deneyin Adı:

AMAÇLAR: Deneyin amaçları yazılır. Deney kılavuzunda her deney ile ilgili amaçlar verilmiştir. Ancak bu bilgiler olduğu gibi rapora yazılmamalıdır. Sizlerin kendi cümleleriniz ve düşüncelerinizi aktarmanız gerekir. Ayrıca kendinizi verilen bilgi ile sınırlamayınız. Aklınıza gelen farklı amaçlar da olabilir.

ARAÇLAR: Deneyde kullandığınız araçları ve ölçü aletlerinin özellikleri yazılır.

KURAMSAL BİLGİ: Deney çalışmasında kullanılan fizik prensipleri ve deneye özgü kullanılan genel bilgiler anlatılır. Deney kılavuzunda deneyin giriş kısmında yer alan bilgiler, size fikir verecektir. Aynısını aktarmayınız ve gerektiğinde konu ile ilgili kaynaklara başvurunuz. Kendi cümlelerinizi kullanınız. Böylece konuya hakimiyetiniz artar ve konuyu öğrenip öğrenmediğiniz anlaşılır.

DENEYİN YAPILIŞI: Deneyin nasıl yapıldığı, ne gibi problemlerle karşılaşıldığı yazılır. Gerektiğinde şekillere ve diyagramlara da yer verilir.

VERİLER: Her deneyin sonunda, deney ile ilgili tablolar verilmiştir. Bu tabloları deney sırasında kullanabilirsiniz. Ancak deney raporunda ayrıca veri tabloları oluşturulur ve veriler düzenli bir biçimde tablolara kaydedilir.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ: Deney ile ilgili grafikler çizilir, grafikler ile ilgili işlemler, diğer hesaplamalar ve hata hesapları yapılır. Grafikler, grafik kağıdına çizildikten sonra kesilerek rapor kağıdına yapıştırılmalı ve ilgili hesaplamalar altında yer alan boşluğa yapılmalıdır. (Grafik üzerinde hiçbir işlem yapılmaz.) Raporunuzun bu kısmını yazarken deney kılavuzundaki *verilerin çözümlenmesi* kesiminde istenilen bilgilere dikkat ediniz.

SONUÇ: Deneyin sonunda neye ulaştınız? Beklediğiniz sonuçları elde edebildiniz mi? Ne kadar bir hata ile istenilen değerleri buldunuz? Öğrendiğiniz fizik prensiplerinin ve kavramlarının doğruluğunu görebildiniz mi? gibi soruların cevapları bu kesimde anlatılır.

YORUM: Deneyden neler öğrendiniz? Hata kaynakları nelerdir? Hataları giderme yolları var mı? gibi soruların yanıtları yer almalıdır.

SORULAR: Deney sonunda bulunan sorular cevaplandırılır.

1. DENEY: ÖLÇME

AMAÇ

1. Uzunluk, kütle ve hacim metrik birimlerini öğrenmek,
2. Cetvel verniyeli kompas, mikrometre ve terazi mezür kullanarak uzunluk ve kütle ve hacim ölçmeyi öğrenmek,
NOT: Deneye gelmeden önce deney kitapçığının Önsöz ve Giriş kısımlarını okuyunuz.

ARAÇLAR

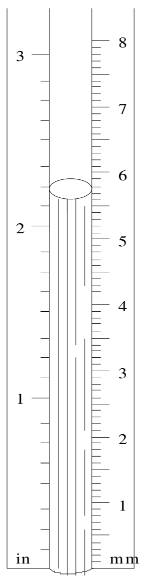
Ölçülecek cisimler, Cetvel, Verniyeli kompas, Mikrometre, 100 ml'lik ölçekli kap(Mezür), Terazi (mg duyarlı),

GİRİŞ

Fizikte deneyler genellikle bir fiziksel niceliğin ölçümünü içerirler. Bu ölçümlerin sonuçları olan sayılar da fiziksel verileri oluştururlar. Bundan başka, hemen tüm ölçümler sonuçta, bölmelenmiş bir ölçek üzerinde bir başvuru (referans işaretinin) yerini seçmeyi içerir.

Cetvel belki de en bilinen bir ölçek örneğidir. Bilimsel çalışmalarda uzunluk metrik cetvelle ölçülür. Bu cetvel santimetre (cm) ve onun onda biri, milimetre (mm) olarak bölmelendirilmiştir.

Şekil 1' deki silindirin uzunluğu metrik cetvelde 5 cm artı 7 mm artı 0.9 mm olarak saptanır ve 1mm = 0.1 cm olduğundan 5.79 cm olarak yazılır. 5.79 sayısının son basamağı, silindirin ucunun cetvelin 5.7 ile 5.8 cm çizgilerine uzaklığı göz önüne alınarak saptanır. Son basamak ilk iki basamak kadar keskin olmasa da, anlamlıdır ve yazılmalıdır. Bununla birlikte ölçü sonucunu 5.790 cm yazmak yanlıştır. Çünkü bu durumda son basamak olan 0 rakamı anlamlı değildir. Çizelge 1, uzunluk, hacim ve kütlenin en çok kullanılan metrik birimlerini ve çevirme bağıntılarını vermektedir. Bu birimler fizik öğreniminiz süresince kullanılacaktır. Bu nedenle onları çok iyi bilmeniz gerekir.



Şekil 1. Bir silindirin uzunluğunun metrik cetvelle ölçülmesi.

Çizelge 1. Genel Metrik Birimler

Fiziksel Büyüklük	Ölçü Birimleri	Kısaltılmış Gösterim	Çevirme Bağıntıları
Uzunluk	metre santimetre milimetre	m cm mm	1 m=100 cm=1000 mm 1 cm=0.01 m=10 mm 1 mm=0.1 cm=0.001 m
Hacim	litre mililitre santimetreküp	l ml cm^3	1 l=1000 ml 1 ml=0.001 l 1 cm^3=1 ml
Kütle	kilogram gram	kg g	1 kg=1000 g 1 g=0.001 kg

YAPILACAK İŞLER

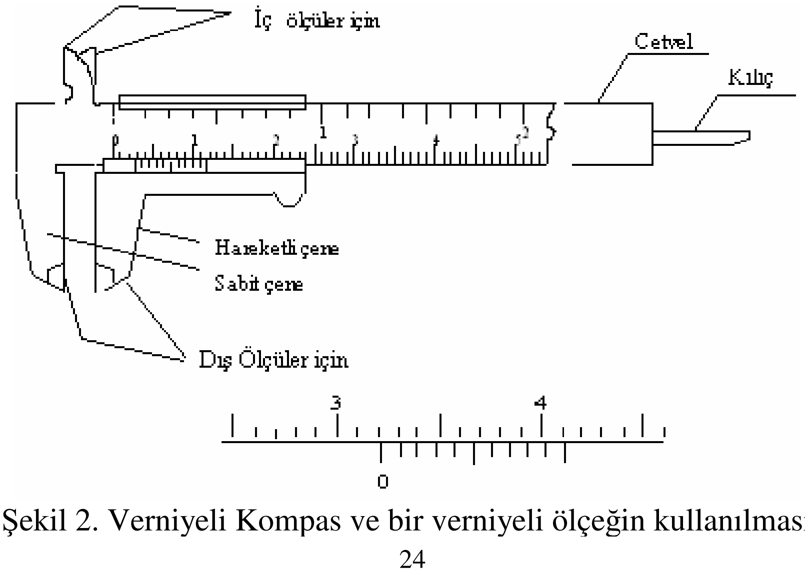
Size, A, B, C, D olarak işaretlenmiş değişik büyüklükte dört metal silindir verilecektir. Silindirlerin hepsi de aynı metalden, örneğin alimünyum, pirinç veya çelikten yapılmıştır.

Her silindirin L boyunu ve d çapını cetvelle ölçünüz. Her ölçme milimetrenin kesirleri göz önüne alınarak 0.02 cm kesinlikle yapılabilir. Ölçü sonuçlarınızı doğru sayıdaki anlamlı basamakla yazdığınızdan emin olmalısınız. Silindirlerin boyları için verniyeli kompas çapları içinde mikrometre kullanarak yukarıdaki ölçmeleri tekrarlayınız.

Verniyeli Kompas: Verniyeli kompas (Şekil 2), bir cismin iki ucunu bir cetvelin bölmeleri üzerine tam olarak çakıştırmaya yarayan bir araçtır. Bu araçta, cetvel bölmelerinin kesirlerini belirtmeye yarayan bir verniyeli ölçek de vardır. Ölçülen uzunluk, ilk verniye çizgisinin (0) asıl ölçekteki yeri ile belirlenir. Şekil 2' deki örnekte verniyenin ilk çizgisi 3.2 cm'den fazla bir uzunluğu göstermektedir. 3.2 cm ile 3.3 cm arasındaki kesirsel uzunluğu bulmak için, verniyenin hangi çizgisinin, asıl örneğin çizgilerinden biri ile çakışmış olduğu saptanır. Verniyenin bu çizgisi ile ilk çizgisi (0) arasındaki verniye bölmelerinin sayısı göz önüne alınarak, aranılan kesirsel uzunluk bulunur. Örneğin şekil 2' de, üçüncü verniye çizgisi, asıl örneğin çizgilerinden biri ile çakışmıştır. Verniyenin 0 çizgisi ile üçüncü çizgisi arasında iki verniye bölmesi vardır. Her verniye bölmesinin uzunluğu 1 mm 'nin 9/10'u kadardır. Başka bir deyişle, bir verniye bölmesi, asıl ölçeğin en küçük bölmesinden 0.1 mm daha kısadır. Yeniden örneğimize dönersek, asıl ölçeğin 3.2 cm çizgisi ile, verniyenin 0 çizgisi arasındaki farkın,

2 verniye bölmesi x 0.1 mm = 0.2 mm

olduğunu görürüz. O halde örnekteki kompastan okunacak değer tam olarak 3.22 cm'dir.

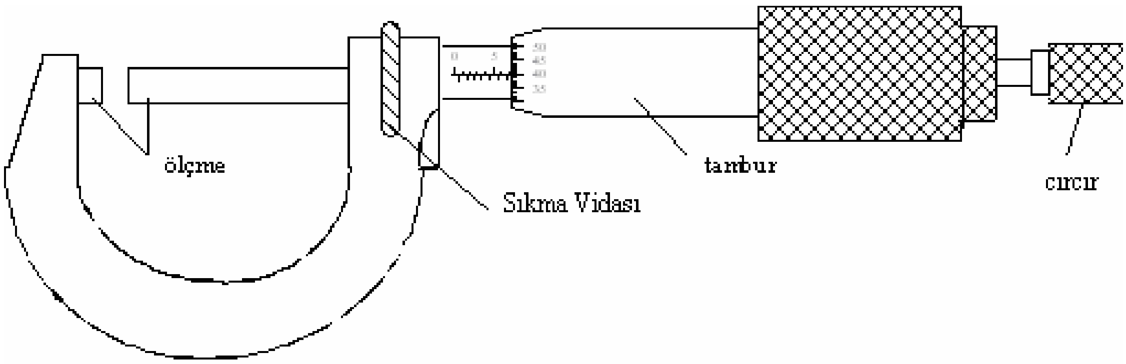


Şekil 2. Verniyeli Kompas ve bir verniyeli ölçeğin kullanılması

Mikrometre: Mikrometre (Şekil 3), küçük uzunlukları 0.001 cm'den daha iyi doğrulukta ölçebilen bir araçtır. Mikrometre ile ölçme yapmadan önce, mikrometrenin çeneleri arasında birşey yokken, çeneleri kapatarak sıfır ayarını kontrol etmelisiniz (Mikrometreyi çok sıkı kapatırsanız bozabilirsiniz. Bunun için mili, her zaman en uçtaki küçük tırtıllı sapını kullanarak çeviriniz). Mikrometrenin gövdesi üzerindeki başvuru (referans) çizgisi, dairesel ölçek üzerindeki sıfır çizgisi ile çakışmıyorsa ayarlı değildir. Bu durumda bütün ölçülerinizi aşağıdaki biçimde düzeltmeniz gerekir. Mikrometre kapalıyken sıfır çizgisi, başvuru çizgisinin ötesine geçiyorsa, sıfır çizgisinin başvuru çizgisini kaç bölme geçtiği saptanır ve bu bölme sayısı ölçme sonuçlarına eklenir. Sıfır çizgisi, başvuru çizgisinin önünde kalıyorsa, yine kaç bölme önde kaldığı saptanır ve bu bölme sayısı ölçme sonuçlarından çıkartılır.

Bir silindirin çapını ölçmek için, mikrometrenin çeneleri, küçük tırtıllı sap kaymaya başlayıncaya kadar, silindirin üzerine yaklaştırılır. Mikrometrenin mili (gövdesi) üzerindeki çizgisel ölçek 0.1 cm olarak bölmelendirilmiştir. Milimetrenin kesirleri dairesel ölçekten okunur. Mikrometre milinin 0.1 cm ilerlemesi için mile iki tane dönü yaptırılması gerekir. Mil üzerindeki dairesel ölçek de 50 bölmeye ayrılmıştır. Böylece dairesel ölçek üzerindeki her bölme 0.001 cm'ye karşılık gelir. Bir bölmenin kesirlerinin de dikkate alınmasıyla mikrometre ile 0.0001 cm'ye kadar ölçüler yapılabilir. Milin çizgisel ölçek üzerindeki iki 0.1 cm çizgisinin yarısından daha fazla ilerlemiş olduğu durumlarda, dairesel ölçek üzerindeki okumalara 0.050 cm eklenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Silindirlerden en büyük ikisini sıra ile, yarısına kadar su doldurulmuş 100 ml'lik ölçekli kaba koyunuz (metal silindirin hafifçe kayarak gitmesi için ölçekli kabı eğik tutunuz). Silindirlerin V hacimlerini yükselttikleri suyun hacmini belirleyerek, ölçünüz.



Şekil 3. Mikrometre

Bütün silindirlerin m kütlelerini terazi ile ölçünüz.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Uzunluğu L, çapı d olan bir silindirin hacmi,

$$V = \frac{1}{4}\pi L d^2 \qquad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada π = 3.14 'dür. Her silindirin hacmini, ölçtüğünüz L ve d değerlerinden yararlanarak hesaplayınız. Hesapladığınız V değerleri ile, bölmeli kapta suyun yükselmesi sonucu doğrudan elde ettiğiniz V değerlerini karşılaştırınız.
Bir cismin μ özkütlesi, kütlesinin hacmine oranıdır.

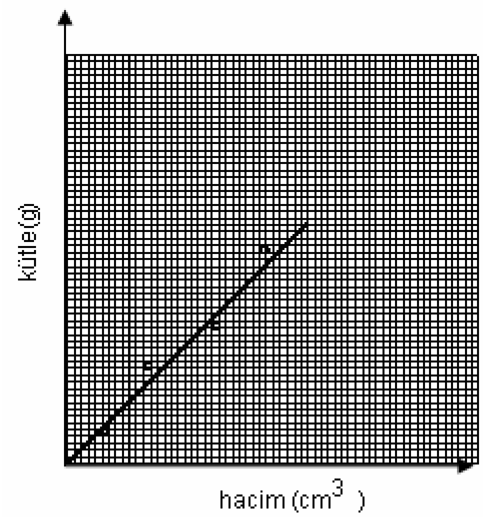
$$\mu = \frac{m}{V} \qquad (2)$$

Özkütlenin metrik birimi santimetreküp başına gram (gr/cm^3) ya da metreküp başına kilogram (kg/m^3) dır. Verilerinizden her silindirin özkütlesini hesaplayınız.

Türdeş (homejen) bir maddenin öz kütlesi,onun kendine özgü özelliklerinden biridir ve kütlesinden bağımsızdır. Bu nedenle, deney hataları dışında bütün metal silindirler için aynı μ değerini elde etmeniz gerekir. Bununla birlikte her deneydeki doğruluğun sınırlı olması nedeni ile, bulacağınız dört μ değeri tam olarak birbirine eşit çıkmayacaktır.Verilerinizden, dört silindirin öz kütlesinin "en iyi" değerini bulmak için aşağıdaki iki yöntemi kullanınız.
Yöntem 1. μ'nün dört değerinin ortalamasını alınız.
Yöntem 2. Silindirlerin m kütlelerini, V hacimlerine bağlayan m = f(V) grafiğini çiziniz. (2) bağıntısından görüldüğü gibi,

$$m = \mu . V \qquad (3)$$

dir. (2) bağıntısı m = f(V) grafiğinin başlangıçtan geçen bir doğru çizgi olması gerektiğini belirtir. Noktalarınızın üstünden geçen bir doğru çizgi çiziniz. Şekil 4'te görüldüğü gibi,



Şekil 4. m=f(V) grafiği. Doğru çizgi,veri noktalarına olabildiği kadar yakın ve başlangıçtan geçecek biçimde çizilmiştir

noktalarınız bir doğru çizgi üzerine düşmüyorsa, verilerinize en uygun (çizdiğiniz doğrunun sağında ve solunda eşit sayıda nokta olması en iyi sonucu verir) gelecek doğruyu çiziniz. μ'nün "en iyi" değeri, doğrunun s eğimidir. Eğim, Δy düşey değişiminin, Δx yatay değişimine oranıdır. Yani,

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \qquad (4)$$

dir. Doğrunuzun eğimini hesaplayınız. Bu değerle, 1.Yöntemden elde ettiğiniz değeri karşılaştırınız. Bulduğunuz μ değerini, bir özkütleler çizelgesinde verilen özkütle değeri ile karşılaştırınız.

KAYNAKLAR

1. A.H., Cromer, **Physics for the life Sciences**, Mc Graw-Hill, Çizelge 7.2
2. **Handbook of Chemistry and Physics**, Rubber Co. Cleveland.

SORULAR

1. Bir silindirin hacmini bulmak için hangi yöntemin kullanılması daha iyi sonuç verir? Niçin?
2. Küçük silindirlerin hacimleri, ölçekli kaptaki suyun yükselmesi yöntemi ile niçin ölçülemez?
3. Belli bir geometrik biçimi olmayan bir taş parçasının öz kütlesini, bir terazi ve hacmini bildiğimiz ölçeksiz bir kap kullanarak nasıl ölçersiniz?

EK BİLGİ

Bir maddenin, başka bir maddeye göre daha yoğun olup olmadığının belirlenmesi gerekebilir. Bu durumda bu iki maddenin özkütlelerinin oranına bakılmalıdır. Bu orana, söz konusu iki maddenin birbirlerine göre yoğunluğu ya da bağıl yoğunluğu denir. Örneğin A maddesinin özkütlesi μ_A, B maddesinin özkütlesi de μ_B ise, A maddesinin, B maddesine göre yoğunluğu,

$$\rho = \frac{\mu_A}{\mu_B} \qquad (5)$$

dır. Bu oran 1'den büyükse A maddesi B maddesinden daha yoğun, 1'den küçükse B, A'dan daha yoğundur. Kolayca görüleceği gibi bağıl yoğunluğun birimi yoktur.

Maddelerin suya göre yoğunluklarına doğrudan "yoğunluk" denir. Suyun özkütlesi μ_{su} = 1 g/cm^3 olduğu için, bütün maddelerin yoğunluklarının sayısal değerleri, özkütlelerinin sayısal değerlerine eşittir. Bu sonuca bakılarak özkütle ve yoğunluk kavramları karıştırılmamalıdır. Bu kavramlar fizikte çok ayrı nitelikleri belirler.
Çizelge 2. Bazı metal ve alaşımların özkütle değerleri.

Madde	**Özkütle (g/cm3)**
Alüminyum	2.70
Çinko	7.10
Demir	7.87
Çelik	8.03
Pirinç	8.40
Bakır	8.96
Kurşun	11.34
Tungsten	19.30

NOT: Deneye gelmeden önce deney kitapçığının Önsöz ve Giriş kısımlarını okuyunuz.

2. DENEY: KUVVETLERİN VEKTÖREL TOPLANMASI

Hazırlayan
Arş. Grv. A. E. IRMAK

AMAÇ

Eş zamanlı kuvvetler etkisinde dengede bulunan bir cismin incelenmesi, analitik ve vektörel metotları kullanarak denge problemlerinin çözümlenmesi.

ARAÇLAR

Kuvvet tablası, ağırlıklar (5g, 10g ve 20g), ağırlık taşıyıcıları, grafik kağıdı, su terazisi.

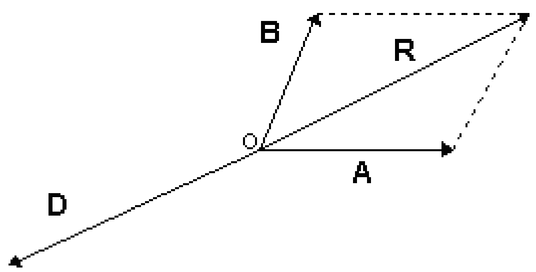
GİRİŞ

Bir noktaya aynı düzlemde ve aynı anda etki eden kuvvetler, **eş zamanlı düzlemsel kuvvet sistemi**ni oluştururlar. Bu tür kuvvet sistemi, aynı noktaya uygulanan ve kuvvet sistemi ile aynı etkiyi yapan başka bir kuvvet ile yer değiştirebilir. İşte bu kuvvete sistemin **bileşke kuvveti** denir ve **R** ile gösterilir.

Üzerine kuvvetlerin uygulandığı bir parçacık, eğer ne doğrusal bir hareket ne de bulunduğu nokta etrafında dönme hareketi yapmıyorsa ve bu halini gözlem süresi boyunca sürdürüyorsa bu parçacık için **dengede**dir deriz. Bu açıklamadan parçacığa etkiyen kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğünün sıfır olacağı sonucu çıkar. (Yardımcı bilgi; Newton'un 1. ve 2. hareket yasalarını öğreniniz.)

Kuvvetler yalnız, bir düzlemde uygulanmayıp üç boyutta da (x,y,z) uygulanabileceğinden artık düzlemsel terimini kullanmayıp, kuvvetleri eş zamanlı kuvvetler olarak adlandıracağız. Eş zamanlı kuvvet sistemi bir kuvvetle dengelenebilir. İşte bu kuvvete **dengeleyici kuvvet** denir (**D**) ve uygulanma noktası eş zamanlı kuvvetlerinki ile aynı olup, doğrultusu bileşke kuvvet **R** nin tersi yönündedir. Şekil 1'de bileşke ve dengeleyici kuvvet arasındaki ilişki gösterilmiştir.

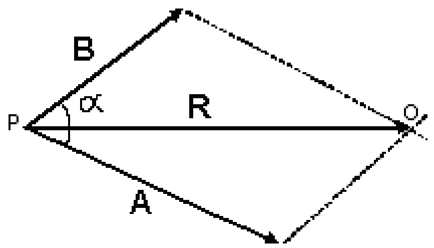
Not: Koyu renk ile yazılı harfler vektörü göstermektedir.



Şekil 1. Bileşke ve dengeleyici kuvvet

Vektörler, büyüklüğü ve yönü olan doğru parçaları olarak bilinir. Bu deneyde kuvvetlerin uygulanma doğrultuları ve büyüklüklerinden bahsedeceğimize göre kuvvetleri de vektörler ile gösterebiliriz. Böylece kuvvet problemlerini vektörlerin çözümlenmesi yöntemlerine göre analiz edebiliriz.

Vektörlerin Toplanması Yöntemleri
Paralelkenar Metodu: Bileşke kuvveti belirlemek için kullanılan paralelkenar metodu, bilinen iki kuvvet vektörleri **A** ve **B** nin başlangıç noktaları aynı tutularak paralelkenar oluşturulması ilkesine dayanır. **R, A** ve **B** vektörlerinin bileşkesidir (Şekil 2).



Şekil 2. Paralelkenar metodu

İki eşzamanlı kuvvet **A** ve **B** nin bileşke kuvvetinin büyüklüğü (Şekil 2'deki gibi), kuvvetlerin aralarındaki açı ve büyüklükleri kullanılarak

$$|\mathbf{R}|^2=|\mathbf{A}|^2+|\mathbf{B}|^2+2|\mathbf{A}||\mathbf{B}|\cos\alpha \qquad (1)$$

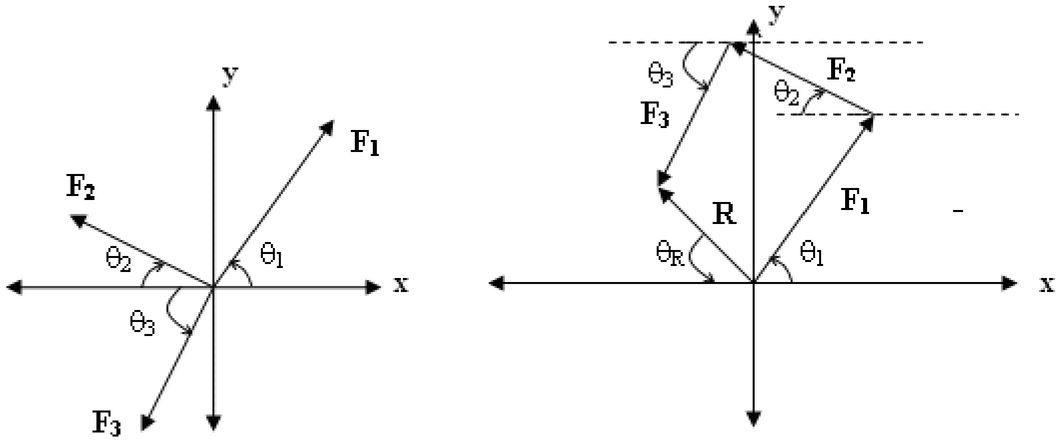
bulunabilir. Bu ifadeye **cosinüs teoremi** denir.

Uçuca Ekleme Yöntemi: Uçuca ekleme yöntemi sistemdeki kuvvet sayılarına göre iki farklı isim almaktadır. Herhangi bir sisteme (bu deneyde halkaya) eğer **iki kuvvet uygulanıyorsa** bileşke kuvvet vektör üçgeni metodu (Şekil 3), eğer **ikiden çok kuvvet uygulanıyorsa** bileşke kuvvet poligon metodu (Şekil 4) ile bulunabilir.

Şekil 3. Vektör üçgeni metodu.

Eğer **A** ve **B** kuvvetleri eş zamanlı ise bunların bileşkesi, vektörlerinin bitiş noktasının başlangıç noktasına birleştirilmesiyle bulunur. Bunun için **A** vektörü sabit tutulur, **B** vektörünün doğrultusu değiştirilmeksizin başlangıç noktası **A** vektörünün bitiş noktasında olacak şekilde kaydırılır. Sabit **A** vektörünün başlangıç noktası ile **B** vektörünün bitiş noktasını birleştiren bir vektör çizilir. Bu vektör sistemin bileşke vektörüdür. Eğer bu vektör PO yönünde okunursa bileşke vektörünü, OP yönünde okunursa dengeleyici kuvveti verir.

Vektörlerin toplanmasında kullanılan yöntemlerden biri de uçuca ekleme yönteminin poligon metodudur (Şekil 4). Bu yönteme göre bir vektör bir yerden başka yere yönü ve büyüklüğü değiştirilmeden taşınabilir. Böylece verilen kuvvet vektörlerini birinin başlangıç noktası diğerinin bitiş noktasına gelecek şekilde yerleştirir ve birinci vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına bir vektör çizersek, bu vektöre sistemin **bileşke vektörü** denir.

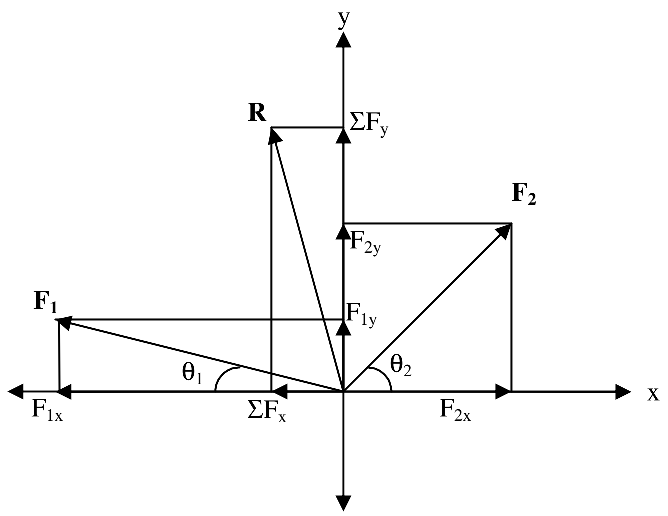


Şekil 4. Poligon metodu.

Analitik Metot: Vektörel kuvvetler düşey ve yatay bileşenlerine ayrılarak da çözümlenebilirler (Şekil 5). Bu yönteme **analitik metot** denir. Bileşke kuvveti bulmakta kullanılan analitik metot bir noktaya uygulanan kuvvetlerin vektörlerini düşey ve yatay bileşenlerine ayırıp, bileşenlerin ayrı ayrı toplanmasından oluşan bir yöntemdir. Bir **F** vektörünün yatay F_x ve düşey F_y bileşenleri

$$|\mathbf{F}_x|=|\mathbf{F}|\cos\theta \text{ ve } |\mathbf{F}_y|=|\mathbf{F}|\sin\theta \tag{2}$$

eşitliklerinden bulunur.



$$\sum \mathbf{F}_x = \mathbf{F}_{1x} + \mathbf{F}_{2x}$$

$$\sum \mathbf{F}_y = \mathbf{F}_{1y} + \mathbf{F}_{2y}$$

$$|\mathbf{R}| = \sqrt{\left|\sum \mathbf{F}_x\right|^2 + \left|\sum \mathbf{F}_y\right|^2}$$

$$\theta_R = \mathrm{Arc}\ \tan \left|\frac{\left|\sum \mathbf{F}_y\right|}{\left|\sum \mathbf{F}_x\right|}\right|$$

Şekil 5. Analitik Metot.

Eğer bir P noktasına n tane, farklı büyüklüklerde ve doğrultularda kuvvetler uygulanmış ise, kuvvetlerin yatay bileşenlerini $\sum \vec{F}_x$ ve düşey bileşenlerini de $\sum \vec{F}_y$ ile gösterirsek, yatay ve düşey bileşenlerin toplamı

$$\sum_{1}^{n} F_x = F_{1x} + F_{2x} + \ldots\ldots + F_{nx} \tag{3}$$

$$\sum_{1}^{n} F_y = F_{1y} + F_{2y} + \ldots\ldots + F_{ny} \tag{4}$$

olur. (3) ve (4) eşitliklerinden bileşke kuvvetin yatay ve düşey bileşenlerini bulmuş oluruz. Bileşke kuvvet $\vec{R}$ nin büyüklüğü

$$|\mathbf{R}| = \sqrt{\left|\sum \mathbf{F}_x\right|^2 + \left|\sum \mathbf{F}_y\right|^2} \tag{5}$$

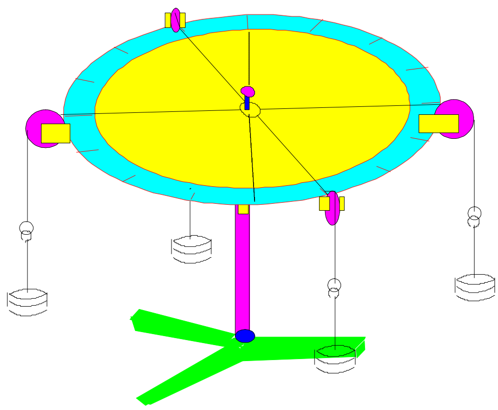
ile, bileşke kuvvetin yatayla yaptığı açı ise

$$\theta_R = \mathrm{Arc\,tan}\left|\frac{\left|\sum \mathbf{F}_y\right|}{\left|\sum \mathbf{F}_x\right|}\right| \tag{6}$$

şeklinde bulunur.

DENEYİN YAPILIŞI

Kuvvetlerin analizi Şekil 6'da görülen kuvvet tablası kullanılarak yapılacaktır. Büyüklükleri isteğe göre seçilmiş kuvvetler (bu deneyde ağırlıklar), 360° lik bir yuvarlak masa çevresinde hareket ettirilebilen makaralar ve ipler yardımıyla masanın ortasında bulunan pime takılı bir halkaya uygulanırlar. Kuvvetlerin büyüklükleri ve doğrultuları öyle seçilmeli ki halka, merkezdeki pim olmaksızın durmalıdır veya pime dokunmamalıdır. İşte böyle bir duruma sistemin **denge hali** denir. Böyle bir durumda kuvvetlerden biri diğer kuvvetler tarafından oluşturulan sistemin dengeleyici kuvveti olarak alınabilir.



Şekil 6. Kuvvet Tablası.

Kuvvet tablasını kurunuz, su terazisi kullanarak tablayı yer düzlemine tamamen paralel konuma getiriniz. Bunu yapabilmek için su terazisinin yönünü bir kaç defa değiştirerek tablanın ayaklarını ayarlayınız. Eğer tabla yer düzlemi ile bir θ açısı yaparsa deneye etkisi ne olur?

Birbirinden farklı büyüklükte ve aralarındaki açı 90° olmayan iki kuvveti, kütleler, makaralar ve ip yardımıyla oluşturunuz. Bunları pim, tablanın ortasında takılı iken yapınız. Şimdi üçüncü kuvvetin bu sistemi dengeye getirecek biçimde kütleleri ve makaranın konumunu değiştirerek oluşturunuz. Sistemin dengede olup olmadığını kuvvetlerin uygulandığı halkanın pime dokunup dokunmadığından kontrol ediniz. Kuvvetlerin büyüklüklerini ve aralarındaki açıyı veri tablosuna kaydediniz. Bu işlemleri farklı büyüklük ve açılar için de tekrarlayınız.

Ağırlıklardan oluşan bir kuvvetin büyüklüğü F=mg olarak bulunur. Burada m ağırlıkların kütlesi olup kg ile ölçülür, g yerçekimi ivmesi olup birimi m/s^2 dir. Bu deneyde g nin büyüklüğü 10 m/s^2 olarak alınacaktır. Böylece ağırlıklardan oluşan bir kuvvetin büyüklüğü F=mg olmak üzere, birimi;

$$F = mg = (kg)(m/s^2) = kg \times m/s^2 \qquad (7)$$

dir. Bu birime Newton denir ve N harfi ile gösterilir. 1N' luk kuvvetin anlamı ise; 1kg kütleli bir cismi 1 m/s^2 lik bir ivme ile harekete geçirecek kuvvettir.

Böylece bir cismin ağırlığı, kütlesi m ile yerçekimi ivmesi g nin çarpımına eşittir ve $\mathbf{F_g=W}$ ile gösterilir, birimi de Newton' dur.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

İki Kuvvet, Bileşkesi ve Dengeleyicisi:

Şekil 1' deki gibi kuvvetlerin uzay diyagramını bir grafik kağıdına ölçekli olarak aktarınız. Bunu yapabilmek için her 0.05 N luk bir kuvveti 1 cm ölçeği olarak alınız (ya da uygun bir oran bulunuz).

1. Bileşke kuvvetin büyüklüğünü (1) eşitliğinde verilen cosinüs teoreminden bulunuz.

2. Bileşke kuvveti paralelkenar metodunu kullanarak çiziniz ve uzunluğunu ölçerek büyüklüğünü bulunuz.

3. Bileşke kuvveti vektör üçgeni metodunu kullanarak çizimle bulunuz. Uzunluğunu ölçerek büyüklüğünü bulunuz.

4. Bileşke kuvveti analitik metot yardımıyla bulunuz.

Her yöntem için dengeleyici kuvveti de belirleyiniz.
Verileri ilgili tabloya kaydediniz.
Bulduğunuz değerleri, deney sonunda bulduğunuz değerlerle karşılaştırınız.

KAYNAKLAR

1. D. Halliday -R. Resnick , **Temel Fizik** (çeviri)
2. Berkeley Fizik Programı **Mekanik**

SORULAR

1. Kendi ağırlığınız ne kadardır birimi ile yazınız.
2. 100 gr’lık bir cisme etkiyen yer çekimi kuvveti ne kadardır? Birimi ile birlikte yazınız.

3. DENEY: EĞİK DÜZLEMDE HAREKET

Hazırlayanlar
Arş. Grv. M. ERYÜREK
Arş. Grv. H. TAŞKIN

AMAÇ

Eğik düzlemdeki ivmeli hareketi gözlemek ve bu hareket için yol-zaman, hız-zaman ilişkilerini incelemek, yerçekimi ivmesini ve eğik düzlem ile sürtünme katsayısını ölçmek.

ARAÇLAR

Eğik düzlem tahta blok, cetvel, kronometre, dinamometre.

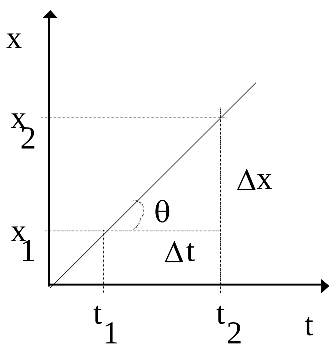
GİRİŞ

Bir cismin ortalama hızı onun birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır. Yani cisim bir Δt süresince Δx kadar yer değiştirmiş ise ortalama hızı

$$v_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{1}$$

olarak tanımlanır.

Hızın sabit olduğu (zamanla değişmediği) bir harekette yol-zaman grafiği Şekil 1' de görüldüğü gibi bir doğrudur.



Şekil 1. Sabit hızla hareket eden cismin yol-zaman grafiği.

Bu doğrunun eğimi cismin sabit v hızını verir.

$$v = \tan\theta = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{2}$$

Böylece hızın sabit olduğu bir hareket için yol-zaman grafiğinin denklemi

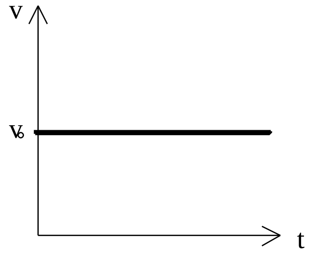
$$x = vt \tag{3}$$

olacaktır.

Hızın sabit olduğu durumdaki hız zaman grafiği ise Şekil 2' deki gibi zaman eksenine paralel bir doğru olacaktır. Bu grafik bize hızının zamanla değişmediğini, sabit kaldığını anlatmaktadır.

Hızın sabit olmadığı (zamanla değiştiği) hareketlere ivmeli hareketler denilmektedir.

Eğer bir cismin hızı zamanla doğrusal olarak artıyor ya da azalıyorsa cismin bu hareketine sabit ivmeli hareket denilmektedir.



Şekil 2. Sabit hızla hareket eden cismin hız-zaman grafiği.

Böylece ivme birim zamandaki hız değişimi, yani

$$a_{ort} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (4)$$

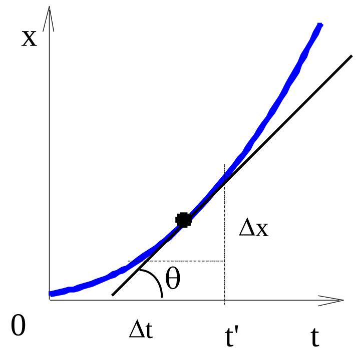
olarak tanımlanmaktadır. (Eğer hız zamanla azalıyorsa bu durumda cisim negatif ivmeli bir hareket yapıyordur.)

Sabit ivmeli bir harekette yol-zaman grafiği eğer ilk hız sıfır ise Şekil 3' deki gibi bir parabol olur.

Bu parabolün denklemi

$$x = \frac{1}{2}at^2 \qquad (5)$$

biçimindedir. Görüldüğü gibi burada alınan yol zamanla doğrusal olarak değil zamanın karesiyle orantılı olarak artmaktadır.



Şekil3. Sabit ivmeli hareket yapan bir cismin yol-zaman grafiği

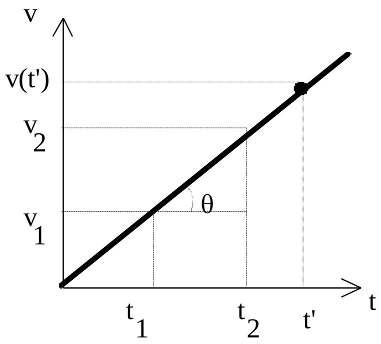
Eğer cismin herhangi bir andaki hızını (anlık hız veya ani hız) bulmak istersek, yol-zaman eğrisinde göz önüne aldığımız, bu zamana karşılık gelen noktadaki "*teğetin eğimini*" hesaplamamız gerekir. Böylece Şekil 3' deki t' anı için ani hız

$$v(t') = \tan\theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (6)$$

bağıntısından hesaplanır.

İlk hızın sıfır olduğu bir ivmeli harekette hız-zaman grafiği ise hız zamanla doğrusal olarak arttığından Şekil 4' deki gibi bir doğru olur. Bu doğrunun denklemi

$$v = at \qquad (7)$$

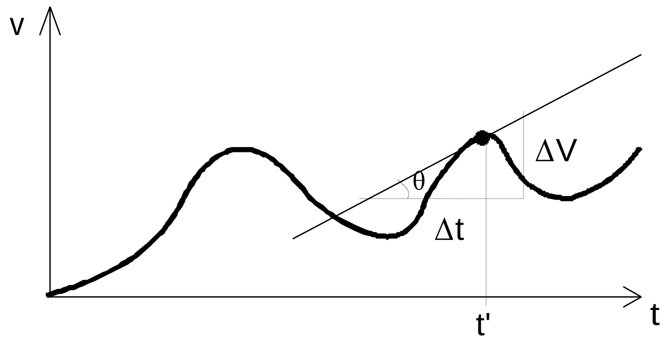


Şekil 4. Sabit ivmeli hareket yapan cismin hız-zaman grafiği.

biçimindedir. Bir t anındaki anlık hız $v(t')$ grafikten doğrudan bulunabilmektedir. Bu doğrunun eğimi de bize hareketin ivmesini verecektir.

$$a = \tan\theta = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (8)$$

Hızın zamanla doğrusal olarak değişmediği hareketlerde vardır. Bu tür hareketlere değişken ivmeli hareketler denilmektedir. Şekil 5’ deki hız-zaman grafiği değişken ivmeli bir harekete aittir.



Şekil 5. Değişken ivmeli bir hareket için hız-zaman grafiği.

Burada herhangi bir t' anındaki ivme (ani ivme) t' anına karşılık gelen noktadaki teğetin eğiminin hesaplanmasıyla bulunur. Yani

$$a(t') = \tan\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (9)$$

olur.

SÜRTÜNME KUVVETİ, STATİK SÜRTÜNME KUVVETİ

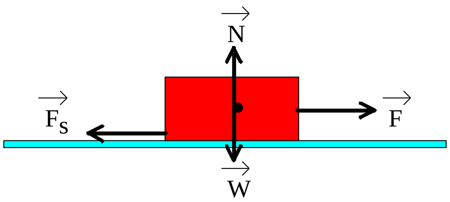
Sürtünme kuvvetinin daha iyi anlaşılabilmesi için basit bir deney yapmak faydalı olacaktır.

Şekil 6a-6b. Sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için gerekli deney düzenekleri

Bunun için size verilen bir tahta bloğu, tahta zemin üzerine yerleştiriniz. Tahta bloğa bir dinamometreyi tutturunuz (Şekil 6a). Dinamometrenin ucundan yavaşça çekiniz, uyguladığınız kuvvetin bloğu harekete geçirmediğini göreceksiniz. Newton 'un ikinci yasasına göre bir cisim, uygulanan kuvvetin etkisi ile ivmeli hareket yapmalıdır. Bu durumda cisim hareket etmediğine göre cisme etki eden net kuvvet sıfırdır (**eylemsizlik prensibi**). Ancak görünen tek kuvvet sizin uyguladığınız kuvvettir. Burada cismin hareketini engelleyen ve uygulanan kuvvete zıt yönde yönelmiş bir kuvvetin varlığı söz konusudur. İşte bu kuvvete **sürtünme kuvvet**i denir. Sürtünme kuvveti her zaman hareketi engelleyici yöndedir. Yatay bir yüzey üzerinde duran bir cismi harekete geçirmek için üzerinde bulunduğu yüzeye paralel doğrultuda uygulanması gereken minimum kuvvet **statik sürtünme kuvvetine** eşit olmalıdır. Bu tanımlara göre statik sürtünme kuvvetini kolayca ölçebilirsiniz. Bunun için cisme uyguladığınız kuvveti arttırınız. Cismin harekete başladığı andaki kuvveti dinamometreden okuyunuz. Ölçtüğünüz kuvvet statik sürtünme kuvvetine eşittir. Böylece tahta yüzeyin cisim üzerine uyguladığı sürtünme kuvvetini bulmuş olursunuz. Yapılan deneyler sürtünme kuvvetinin, sürtünen yüzeyleri sıkıştıran normal kuvvetle orantılı ve yüzeylerin cinsine ve fiziksel durumuna bağlı olduğunu göstermişlerdir. k sürtünme katsayısı, N normal kuvvet olmak üzere sürtünme kuvveti;

$$\mathbf{F_s}=k\mathbf{N} \qquad (10)$$

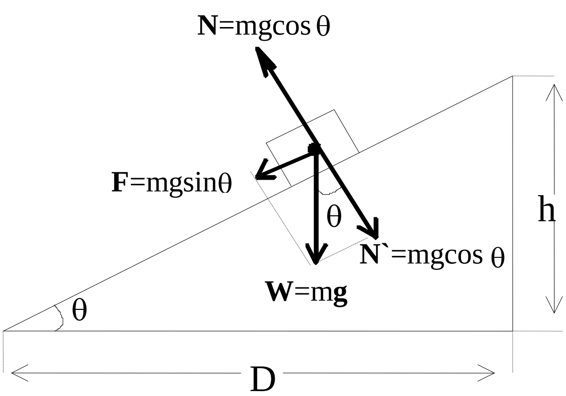
dir. Şekil 7' ye göre **N**=**W**=m**g**, **F**=$\mathbf{F_S}$ olduğundan cismin kütlesi biliniyorsa sürtünme katsayısı kolayca bulunabilir. Eşitlik (10)' da görüldüğü gibi sürtünme kuvveti sürtünen yüzeylerin büyüklüğüne bağlı değildir. Bunu görebilmek için cismin farklı bir yüzeyini tahta düzleme oturtunuz ve yaptığınız işlemleri tekrarlayarak, sürtünme kuvvetini ve katsayısını bulunuz. Elde ettiğiniz değerlerin birbirlerine yakın olduğunu göreceksiniz.



Şekil 7. Sürtünmeli yüzey üzerindeki cisme etkiyen kuvvetlerin gösterimi

SÜRTÜNMELİ, SÜRTÜNMESİZ EĞİK DÜZLEM

Bilindiği gibi yeryüzü yakınında serbest düşmeye bırakılan tüm cisimler sabit g = 9.80 m/s^2 ivmesi ile düşerler. Serbest düşme hareketi ayrıntıları ile kolayca gözlenemeyecek kadar hızlı bir harekettir. Bu nedenle yapacağımız deneyde yerçekimi ivmesini ölçebileceğimiz eğik düzlem deney düzeneğini kullanacağız.



Şekil 8. Sürtünmesiz eğik düzlem.

Şekil 8' deki sürtünmesiz eğik düzlemi göz önüne alalım. Burada m kütleli cismi hareket ettiren kuvvet onun **W**=m**g** ağırlığının düşey bileşeni olan

$$F = mg\sin\theta \qquad (11)$$

kuvvetidir. **W**=m**g** ağırlığının yatay bileşeni olan $N' = mg\cos\theta$ kuvveti ise sadece cismi yüzeye bastırmaya çalışır, yani harekete bir etkisi yoktur. $N = mg\cos\theta$ kuvveti, bu kuvveti dengeleyen bir tepki kuvveti olarak ortaya çıkar.
Newton' un 2. yasası cisme etki eden kuvvetin

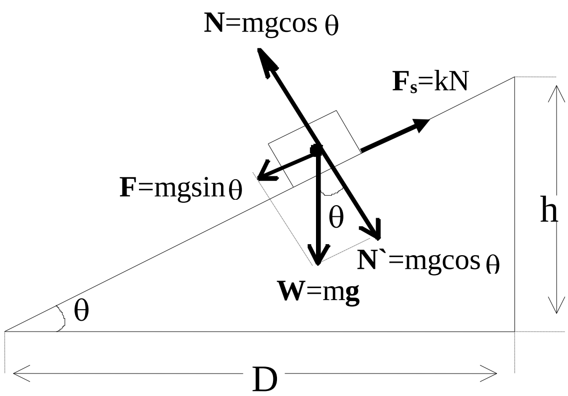
$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \qquad (12)$$

ya eşit olacağını söyler. Böylece denklem (11) ve denklem (12) in birbirlerine eşitlenmesi ile kayma ivmesi için,

$$a = g\sin\theta \qquad (13)$$

ifadesi bulunur. Görüleceği gibi kayma ivmesi a daima g yerçekimi ivmesinden küçük olmaktadır. Çünkü $\sin\theta$ daima 1 den küçüktür.
Şimdi de Şekil 9' daki sürtünmeli eğik düzlemi göz önüne alalım. Burada cismi harekete geçiren net kuvvet artık $F = mg\sin\theta$ değil

$$F_{net} = mg\sin\theta - F_s = mg\sin\theta - kmg\cos\theta \qquad (14)$$



Şekil 9. Sürtünmeli eğik düzlemde bir cismin ***serbest cisim*** diyagramı.

kuvvetidir. Çünkü sürtünme kuvveti harekete daima zıt yönlüdür ve idealize edilmiş şekliyle sadece normal kuvvete ve birbiri üzerinde kayan maddelerin cinsine bağlıdır. Temas yüzeyinin alanına ve hıza bağlı değildir (k, sürtünme katsayısıdır). Denklem (14)' ün *ma* 'ya eşitlenmesiyle cismin sürtünmeli eğik düzlemdeki kayma ivmesi

$$a = g(\sin\theta - k\cos\theta) \tag{15}$$

olarak hesaplanır.

Eğer net kuvvet $F_{net}=0$ ise Newton'un 2. yasası gereği cisim ya durgun kalacaktır ya da küçük bir itmeyle sabit hızla (ivmesiz) kaymaya başlayacaktır. Net kuvvetin sıfıra eşitlenmesiyle sınır açısı yani cismin tam kaymaya başladığı andaki açı;

$$\theta_s = \tan^{-1}(k) \tag{16}$$

olarak hesaplanır.

DENEYİN YAPILIŞIYAPILACAK İŞLER

1.Statik Sürtünme Kuvveti ve Sürtünme Katsayısının Bulunması: Terazi yardımıyla bloğun kütlesini ölçünüz. Tahta bloğu düzleme yerleştiriniz ve dinamometre yardımıyla üç farklı statik sürtünme kuvvet değerlerini tespit ederek ölçümleri deney raporuna yazınız.

2.Sürtünmeli Eğik Düzlemde Sınır Açısının Belirlenmesi: Tahta bloğunuzu eğik düzleminiz üzerinde bir konuma yerleştiriniz. Eğik düzlemi üzerinde bulunan vida aracılığı ile yükseltiniz.(tahta bloğu yükseltirken yavaş hareket ediniz.) Tahta bloğun kaymaya başladığı andaki yükseklik için beş farklı değeri deney raporuna yazınız. Burada önemli olan tahta bloğu her ölçüm için eğik düzlemin farklı noktalarına yerleştirmenizdir, çünkü sürtünme katsayısı eğik düzlem üzerinde her noktada farklı olabilir.

3.Sürtünmeli Eğik Düzlemde, Alınan Yolun Zamana Bağımlılığının İncelenmesi
Eğik düzlemin eğim açısını ayarlayınız. (eğim açısını 2.kısımda hesapladığınız sınır açısından büyük bir değere ayarlayınız. Neden böyle bir seçim yapıldığını deney raporunun sonuç-yorum bölümünde yorumlayınız.) Tahta bloğu daha önceden belirlenmiş (x= 20,40,60,80,100 cm) beş farklı konumdan kaymaya bırakınız ve kronometre yardımı ile her nokta için dört kez iniş sürelerini ölçünüz. Ölçtüğünüz bu değerleri deney raporuna yazınız.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

1. Ölçtüğünüz farklı statik sürtünme kuvveti değerlerinden ve tahta bloğun kütlesinden yararlanarak gerekli bağıntılar yardımıyla her bir veri için sürtünme katsayını hesaplayarak ortalama değerini bulunuz.

2. Ölçtüğünüz farklı yükseklik değerleri (h) ile bu yükseklik değerlerine karşılık gelen taban uzunlukları için sınır açısını hesaplayınız ve sürtünme katsayısını bulunuz.
3. Ölçtüğünüz t değerleri için x-f(t) ve x-f(t^2) grafiklerini çiziniz. Grafiğin eğiminden tahta bloğun ivmesini hesaplayınız ve gerekli bağıntılardan yararlanarak g yerçekimi ivmesini bulunuz ve bilinen değer ile karşılaştırınız.

KAYNAKLAR

1. D. Halliday -R. Resnick , **Temel Fizik** (çeviri)
2. Richards Sears,Werh Zemansky, **Modern Üniversite Fiziği** (çeviri)
3. İsmet Ertaş , **Denel Fizik Dersleri**, Ege Üni. Basımevi
4. Enis Erdik , **Mekanik ve Maddenin Özellikleri**, Ank. Üni. Fen Fak. Yayınları

4.DENEY: İKİ BOYUTLU UZAYDA ÇARPIŞMA

AMAÇ

1. İki cismin çarpışması olayında momentumun korunumu ilkesinin incelenmesi,
2. Çarpışmada mekanik enerjinin korunumu ilkesinin incelenmesi,
3. Ölçü sonuçlarından yararlanarak çarpışan cisimlerin kütlelerinin oranının bulunması.

ARAÇLAR

Eşdeğer kütleli iki bilye, Bir cam bilye, Tabaka kağıt, Karbon kağıdı, Özel çarpışma düzeneği, Terazi ve gram kutusu, Cetvel, Açı ölçer.

GİRİŞ

Kütlesi m, hızı $\vec{v}$ olan bir cismin çizgisel momentumu

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{1}$$

dir. m skaler ve hız vektörel bir nicelik olduğundan momentumda vektörel bir niceliktir.

Bir sistem üzerine dış kuvvetler etki etmezse sistemin toplam momentumu sabit kalır.

Çarpışan iki cisim ve çarpışma düzleminden oluşmuş bir sistemi düşünürsek, çarpışma sürecinde doğan kuvvetler iç kuvvetler olduğundan momentum korunur. Sistemin çarpışmadan önceki toplam momentumu, çarpışmadan sonraki toplam momentumuna eşittir. Kütleleri m_1 ve m_2 olan iki cismin çarpışmadan önceki hızları $\vec{v_1}$ ve $\vec{v_2}$ çarpışmadan sonraki hızları $\vec{v_1}'$ ve $\vec{v_2}'$ ise momentumun korunumundan,

$$m_1\vec{v_1} + m_2\vec{v_2} = m_1\vec{v_1}' + m_2\vec{v_2}' \tag{2}$$

yazabiliriz (Şekil 1). Momentum vektörel bir nicelik olduğundan yukarıdaki toplam, vektörlerin toplanmasında uygulanılan yöntemlere göre yapılmalıdır (Deney 2' ye bakınız).

Eğer çarpışmada sistemin kinetik enerjisi de korunuyorsa, buna **esnek çarpışma** denir. Esnek çarpışma için (2) denklemine ek olarak,

$$\frac{1}{2}m_1{v_1}^2 + \frac{1}{2}m_2{v_2}^2 = \frac{1}{2}m_1{v_1}'^2 + \frac{1}{2}m_2{v_2}'^2 \tag{3}$$

ifadesini de yazabiliriz.

Esnek olmayan bir çarpışmada kinetik enerjinin korunumundan sözedilemez. Enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşmüştür. Esnek çarpışmaya örnek olarak çelik bir bilyenin çelik bir duvara çarpması verilebilir. Bir merminin tahta bir bloğa saplanması ise esnek olmayan çarpışmaya abartılmış bir örnektir.

Doğadaki bütün çarpışma olaylarında momentumun korunumu ilkesi geçerlidir. Patlamalarda da momentumun korunumu ilkesinin geçerli olacağı açıktır.

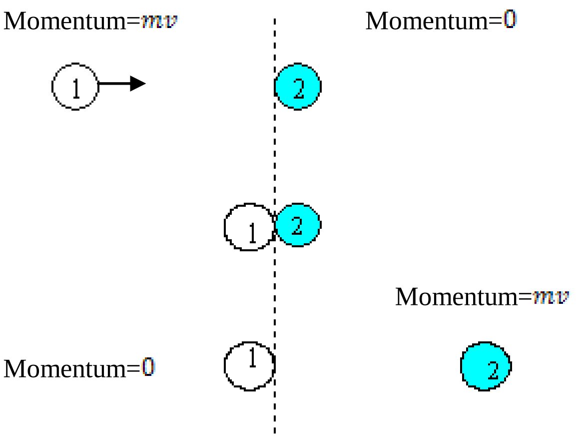
Çarpışan iki cisim, çarpışmadan sonra da çarpışmadan önceki doğrultularını koruyorlarsa buna **merkezi çarpışma** denir (Şekil 1a).

Bu arada çarpışmadan sonra cisimlerin yönleri değişebilir. Merkezi çarpışma çok özel durumlarda gerçekleşir. Genellikle çarpışan cisimler çarpışmadan sonra doğrultularını değiştirirler. Bu duruma bilardo toplarının çarpışması örneğini verebiliriz. Çarpışma olayı artık tek boyutta değil iki boyutta incelenmelidir (Şekil 1b). Momentumun korunumu her iki boyutta ayrı ayrı geçerli olmalıdır. Düzlemde birbirine dik iki eksen x ve y olursa şekil 1.b'deki çarpışan bilyeler için (2) vektör bağıntısı,

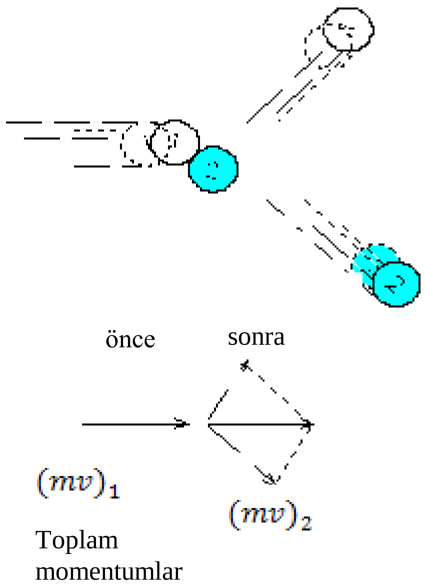
$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v_{1x}{}' + m_2 v_{2x}{}'$$

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v_{1y}{}' + m_2 v_{2y}{}'$$

iki skaler bağıntı olarak yazılır.



Şekil 1a: Merkezi Çarpışma



Şekil 1b: İki boyutlu (Açılı) çarpışma.

DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde iki boyutlu uzayda merkezi olmayan esnek çarpışmaları inceleyerek, çarpışmadan önceki ve sonraki momentumları ve kinetik enerjileri karşılaştıracağız. Bu amaçla hızlanma rampası üzerinde yuvarlanan çelik bir bilyeyle, düşey bir vida üzerine oturtulmuş duran başka bir bilyeyi çarpıştıracaksınız. Tam çarpışma sırasında gelen bilyenin hızının düşey bileşeninin olmaması gerekir. Bunun için düşey vidayı, üzerine oturtulan hedef bilye ile gelen bilyenin merkezlerinin aynı yükseklikte olmasını sağlayınız (Şekil 2). Bu durumda havanın direnci ihmal edilirse bilyelerin yatay düzlemde aldıkları yol çarpışmadan sonraki hızlarıyla orantılıdır. Niçin? (İpucu: Bilyelerin hareketlerinin yatay atış olduğunu göz önünde bulundurunuz.)

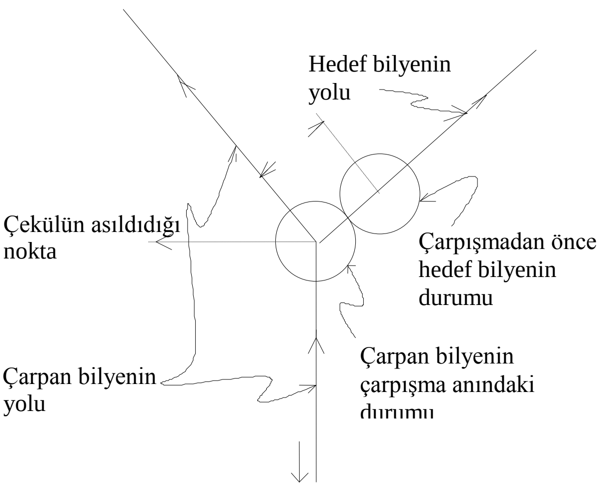
a) Çarpışma merkezi olan çekülün gösterdiği noktayı kağıt üzerine işaretleyiniz.(**Not:** Deneye başlamadan önce bu işlemin yapılması çok önemlidir)

b) Hedef bilye yokken gelen bilyeyi hızlandırma rampasının en üst noktasına yerleştiriniz ve bir ilk hız vermeyecek şekilde yavaşça bırakınız. Bu işlemi beş kez tekrarlayınız. Bilyenin düştüğü zemine karbon kağıdı yerleştirildiği için bu işlemin her tekrarlanışında zemine çarpma anında bir iz bırakacaktır. Bu şekilde elde ettiğiniz izler sizin gelen bilyenin çarpışma yapmadan önceki hız vektörünü tayin edebilmenizi sağlayacaktır. Deney süresince bilyeyi her seferinde aynı yükseklikten bırakmaya dikkat ediniz.

Eşit Kütleli Bilyelerin Çarpışması

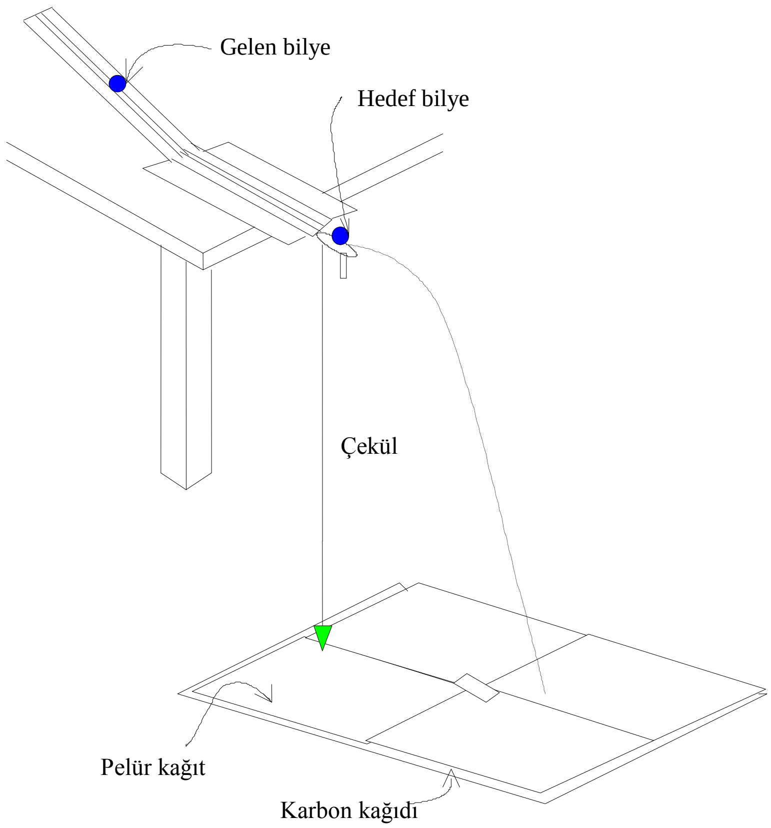
a) Hedef bilyeyi düşey vida üzerine çarpışmanın olacağı noktada gelen bilyenin geliş doğrultusuyla yeterince büyük bir açı yapacak şekilde (70°<θ<90°) yerleştiriniz. Gelen bilyeyi, bir ilk hız vermemeye dikkat ederek hızlandırma rampasından yuvarlayarak hedefle çarpıştırınız. Bu işlemi aynı konumda birkaç kez tekrarlayınız ve merkezi bir nokta tespit ediniz. Bu çarpışmalar sırasında hedef bilyenin yönü değişmemelidir ve yuvarlanan bilye de hep aynı yükseklikten serbest bırakılmalıdır. Bilyelerin kağıda çarptığı noktalardaki izleri diğerlerinden ayırmak için numaralayınız.

Kürelerin çarpışmadan sonraki hızlarını göstermek için hızlandırma rampasında çekülün gösterdiği nokta başlangıç olmak üzere kağıt üzerine vektörler çiziniz. Hedef bilyenin çarpışma anındaki durumu şekil 2 yardımı ile belirlenebilir. Deneyde bilyelerin düştükleri düşey yüksekliğin bir önemi yoktur. (Niçin?)



Şekil2.

b) Hedef bilyeyi taşıyan vidanın bağlı olduğu kolu döndürerek çarpışma noktası değiştirilebilir. Hedef bilyenin farklı iki konumu için yukarıdaki işlemleri tekrarlayınız.



Şekil 3: Deney düzeneği

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Her çarpışmaya ait elde ettiğiniz hız vektörlerini, çarpışan bilyelerin eşit kütleli olmaları nedeniyle momentum vektörlerinin birer ölçüsü olarak alabiliriz. Bu görüş altında momentumun korunumu ilkesi deneyle gerçekleşiyor mu? Deney sonuçlarına bakarak yorumlayınız. Çarpışmalarda kinetik enerjinin korunup korunmadığı hakkında birşey söyleyebilir misiniz? Açıklayınız.

Momentumun korunumu ilkesini momentum vektörlerini vektör diyagramı yöntemi kullanarak inceleyiniz.

Çarpışmadan sonraki bilyelerin hız vektörleri arasındaki açıyı ölçünüz. Sonucu yorumlayınız.

Farklı Kütleli Bilyelerin Çarpışması

Deneyi aynı çapta fakat kütleleri farklı iki bilye ile tekrarlayınız (çelik ve cam). Çarpan bilye olarak hangisini kullanmalısınız? Çarpan bilyenin çarpmadan önce sahip olduğu hız vektörü ile çarpmadan sonraki hız vektörlerinin vektörel toplamını karşılaştırınca ne görüyorsunuz? Bilyelerin kütlelerinin eşit olmadığı bu durumda hız vektörlerini nasıl momentum vektörleri haline çevirebilirsiniz?

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Momentumun korunumu ilkesinden yararlanarak çarpışan bilyelerin kütlelerinin oranını kağıt üzerinde elde ettiğiniz hız vektörleri diyagramından yararlanarak bulunuz.

KAYNAKLAR

1. PSSC Fiziği, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları

2. D. Halliday-R. Resnick," **Physics**", John Wiley and Sons Inc.

3. Chris D. Zafiratos," **Physics**",ohn Wiley and Sons Inc.

5.DENEY: SARMAL YAYDA, POTANSİYEL ENERJİ DEĞİŞİMİNİN VE BASİT TİTREŞİM HAREKETİNİN İNCELENMESİ

AMAÇ

1. Yay sabiti ve geri çağırıcı kuvvet kavramlarını öğrenmek
2. Sarmal yayda potansiyel enerji değişimini incelemek
3. Basit titreşim (harmonik) hareketini öğrenmek ve periyot ifadesini deney sonuçlarından bulmak

ARAÇLAR

Farklı yay sabitine sahip sarmal yaylar, çengelli kütleler, kronometre, cetvel, destek

GİRİŞ

Sabit bir noktanın iki yanında salınan cisme titreşim hareketi yapıyor denir. Bu deneyde titreşim hareketinin özel bir şekli olan harmonik hareketi ve bu hareket sırasında potansiyel enerjinin değişimi incelenecektir. Harmonik harekette cisme etki eden kuvvet, cismin denge konumuna olan uzaklığı ile orantılıdır. Harmonik harekete örnek olarak bir sarkacın salınımı, bir diyapozonun titreşimi ve bu deneyde incelenecek olan sarmal bir yayın ucuna asılı bir kütlenin salınımı verilebilir.

Bir ucu destek çubuğuna tutturulmuş sarmal yayın öbür ucuna kütlesi m olan bir cismin asıldığını düşünelim. Bu durumda yay **W**=m**g** ağırlığının etkisiyle aşağı doğru gerilecektir. Bu sırada yaya asılan cismin uyguladığı **W**=m**g** kuvvetine karşılık yayda zıt yönde bir **F** kuvveti doğar, buna ***esneklik kuvveti*** denir. **W** kuvveti ortadan kaldırılırsa, **F** kuvveti, yayı tekrar gergin olmadığı duruma getirir. Bu bakımdan F kuvvetine ***geri çağırıcı kuvvet*** denir. Esneklik sınırı aşılmamış bir yay için, yay sabiti k olmak üzere,

$$\mathbf{F} = -\mathrm{k}\mathbf{x} \tag{1}$$

şeklindedir. Eğer çengelli cismi yayın alt ucuna asıp elinizle alttan destekleyerek **W** ağırlığının etkisiyle yayın yavaş yavaş gerilmesine izin verirseniz, **W** ağırlığı ile **F** geri-çağırıcı kuvvet birbirine eşit oluncaya kadar yay gerilir (denge konumu). Denge konumu, farklı m kütleleri için değişik noktalarda olacaktır.

Yay x kadar gerildiğinde veya sıkıştırıldığında yaya depo edilen potansiyel enerji,

$$E_P = \frac{1}{2}kx^2 \tag{2}$$

ifadesiyle verilir.

Yayın ucundaki cismi denge konumundan A kadar yukarı kaldırıp serbest bırakırsanız, cisim denge konumu etrafında titreşim hareketi yapacaktır. Tam bir titreşim için geçen zamana ***periyot*** denir ve *T* ile gösterilir. Diğer bir önemli kavram ***frekans*** *f*, birim zamandaki periyotların veya tam titreşimlerin sayısı olarak tanımlanır. Buna göre frekans ile periyot arasında

$$f = \frac{1}{T} \tag{3}$$

bağıntısı vardır.

Yaya bağlı hareketli cismin denge konumuna olan uzaklığını gösteren x koordinatına ***uzanım*** adı verilir. Uzanımın en büyük değerine ise ***genlik*** (A) denir. Buna göre cismin hareket ettiği yol $2A$'dır.

Yaya asılı harmonik hareket yapan cisim, hareketin en üst ve en alt noktalarında durup sonra geri döner. Cisim hareketin en üst ve en alt noktasında bulunurken sistemin tüm mekanik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür.

Kütle yay sistemi için (1) nolu denklemden yola çıkarak ve Newton'un 2. yasası kullanılarak

$$F = ma = -kx \tag{4}$$

ve ivmenin $a = \dfrac{d^2x}{dt^2}$ ifadesi yerine yazılırsa elde edilecek ikinci derece diferansiyel denklemde açısal frekans,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{5}$$

olarak tanımlanır. Bununla birlikte açısal frekansın frekansa bağlılığı gözönünde bulundurulursa ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$) hareketin T periyodu

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{6}$$

olarak elde edilir.

DENEYİN YAPILIŞI

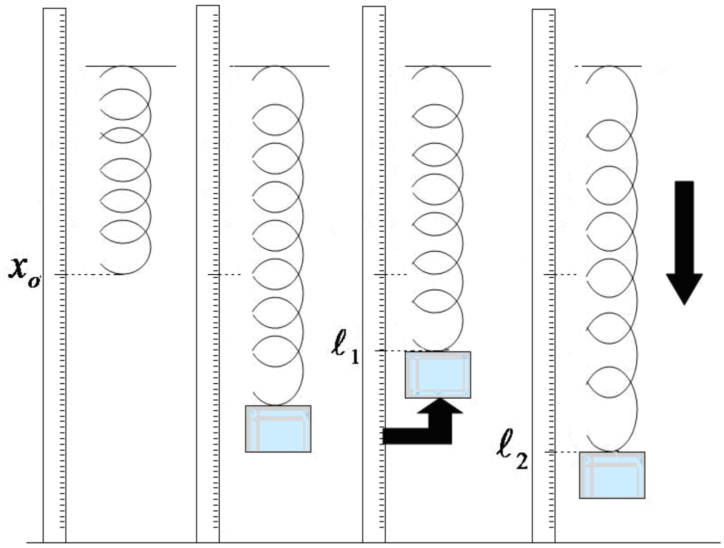
Kesim I: Yay Sabitinin Bulunması

1- Çengelli tutucunun terazi yardımıyla kütlesini ölçünüz.

2- Bir ucu desteğe tutturulmuş yayın diğer ucuna toplam kütle 50g olacak şekilde çengelli kütlelerden asarak buna karşı oluşan uzamaları Tablo 1'e kaydediniz.

3- Bu işlemi her defasında 50g artırarak 5 kez tekrarlayınız.

Kesim II: Yay Potansiyel Enerji Değişimi



Şekil 1

1- Yay boş iken uç kısmının konumunu (Şekil 1'de $x=x_0$ konumu) ölçünüz. Bu uzunluk sizin diğer konumları ölçebilmeniz için kullanacağınız referans konumudur.

2- Yayın serbest ucuna kütlesi 250g olan bir cisim asınız. Cismi altından elinizle destekleyerek yayın normal uzunluğuna bağlı olarak (5-10cm), yukarı kaldırınız (Şekil 1'de ℓ_1 konumu).

3- Cismi serbest bırakarak nereye kadar düştüğünü dikkatli bir şekilde belirleyiniz (ℓ_2 konumu).

4- Potansiyel enerjideki değişimi analiz etmek amacıyla x_0, ℓ_1, ℓ_2 konumlarını Tablo 2'ye kaydediniz.

Kesim III: Harmonik Harekette Periyot Bağıntısının Bulunması

1- Kurulu düzenekteki yayın ucuna 50g'lık bir cisim asarak harmonik hareket yapmasını sağlayınız. Cisim hareketin tepe noktasına ulaştığında yayın halkaları birbirine değmemelidir. Halkalar birbirlerine temas ediyorsa, yayı daha az gererek titreşim hareketini sağlayınız. 20 tam titreşim için geçen zamanı kronometre ile ölçünüz.
2- Her defasında cismin kütlesini 50g artırarak bu işlemi 5 defa tekrarlayınız. Ölçülerinizi Tablo 3'e kaydediniz.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Kesim I: Yay Sabitinin Bulunması

1- Çengelli kütlenin uyguladığı ağırlıkları hesaplayınız (F=mg). Bu değerler Tablo 1'deki F kuvvetleridir.

2- Uygulanan ağırlık kuvvetlerine karşı uzamaların grafiğini ölçü sonuçlarını kullanarak çiziniz (x-F grafiği). Çıkan doğrusal grafiğin eğimleri yay sabitlerinin tersini verecektir. k=(1/eğim) bağıntısından yay sabitini hesaplayınız.

Kesim II: Yay Potansiyel Enerji Değişimi

1- ℓ_1 konumunun referans noktasından uzaklığını bulmak için $x_1 = \ell_1 - x_o$ ve ℓ_2 konumunun referans noktasından uzaklığını bulmak için $x_2 = \ell_2 - x_o$ uzunluklarını hesaplayınız.

2- Cismin ℓ_1 ve ℓ_2 konumları arasındaki yolu düşmesi sonucu kaybettiği yerçekimi potansiyel enerjisindeki değişimi (ΔE_c) ile yayın kazandığı esneklik potansiyel enerjisindeki değişimi (ΔEp) ölçü sonuçlarından yararlanarak hesaplayınız.

3- Cisimle yay arasındaki etkileşmede yayın uzama miktarı arttıkça enerji değişimi ne şekilde gerçekleşir, açıklayınız.

Kesim III: Harmonik Harekette Periyot Bağıntısının Bulunması

1- $\sqrt{m}$'ye karşı *T* grafiğini çiziniz. Çizdiğiniz iki grafikte de k=sabit tutulmuştur (aynı yaya ait deneysel sonuçlarla çizilen grafikler). Buna göre *T=f(m)* fonksiyonu için (6) denklemini de gözönünde bulundurarak periyot-kütle ilişkisini ortaya koyunuz.

SORULAR:

1- Basit harmonik hareket eden bir cismin periyodunu kütle cinsinden veren bağıntıyı nasıl yazarsınız?

2- Aynı k sabitine sahip olan birden fazla yayı uç uca bağladığınızda elde ettiğiniz yeni yayın k sabiti farklı mıdır?

KAYNAKLAR

1. D. Halliday-R. Resnick, **Physics**, John Wiley and Sons Inc. (1990)
2. Richards, Sears, Wehr, Zemansky, **Modern Üniveersite Fiziği**, (Çeviri) (1983)

6. DENEY: KÜTLE MERKEZİ VE CİSİMLERİN DENGESİ

Hazırlayan
Arş.Gör.A. E. IRMAK

AMAÇ

Kütle merkezinin tanımını öğrenmek ve cisimlerin nasıl dengede olduklarını kavramak.

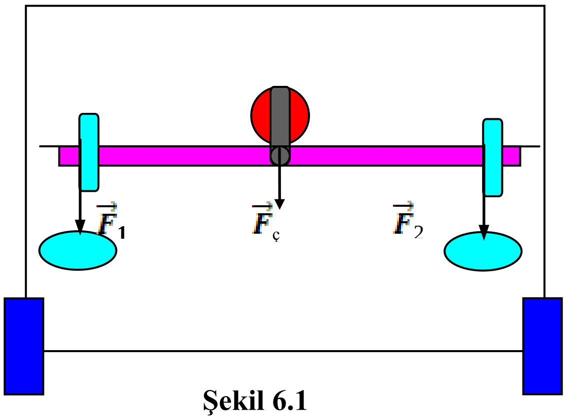
ARAÇLAR

Deney tahtası, düzlemsel kütle, taşıyıcı, ip, dönme mili, çubuk, çeşitli büyüklüklerde kütleler.

GİRİŞ

Kütle çekimi evrensel bir kuvvettir; bulunduğumuz evrende bir madde parçası başka bir madde parçasını kendine doğru çeker. Öyleyse yapacağımız bu deneyde dönme miline taktığımız çubuğu oluşturan maddenin her bir parçacığı dünyayı oluşturan her parçacık tarafından çekilecektir.

Aslında fizik ve mühendislik öğrencileri bu yer çekimsel kuvvetlerin tek tek toplanması sonucunda sadece bir bileşke kuvvet oluştuğunu bilirler. İşte bu bileşke kuvvet sanki çubuğun merkezini dünyanın merkezine çekiyormuş etkisini verir. Bu kuvvetin büyüklüğünü, sanki dünyayı oluşturan kütle parçalarının tamamı merkezinde, çubuğu oluşturan kütle parçalarının tamamı da çubuğun merkezinde toplanmış olduğu düşünülen iki cismin birbirini çekmesi ile aynıdır.



Şekil 6.1

Tork(Kuvvet momenti): Bir eksen üzerinde bulunan cisme bir kuvvet uygulandığı zaman, cisim bu eksen etrafında dönme eğilimindedir. Bir kuvvetin bir cismi bir eksen etrafında döndürme eğilimi tork (τ) denilen bir nicelikle ölçülür. Dönme noktasından $\vec{r}$ uzaklığındaki bir $\vec{F}$ kuvvetinin dönme noktasında oluşturduğu tork

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

formülü ile hesaplanır. Eğer konum vektörünü $\vec{r} = r_x\hat{\imath} + r_y\hat{\jmath} + r_z\hat{k}$ ve uygulanan kuvvet $\vec{F} = F_x\hat{\imath} + F_y\hat{\jmath} + F_z\hat{k}$ ise vektörel çarpım kuralından (bakınız Serway sayfa 332) tork

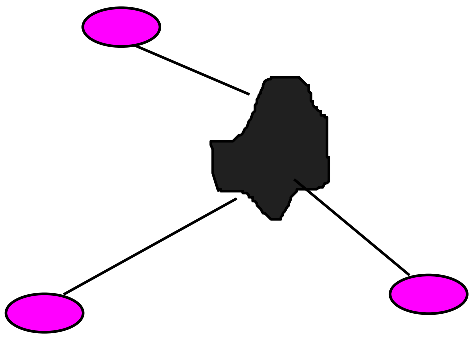
$$\vec{\tau} = (r_yF_z - r_zF_y)\hat{\imath} - (r_xF_z - r_zF_x)\hat{\jmath} + (r_xF_y - r_yF_x)\hat{k}$$

olarak bulunur. Ayrıca torkun büyüklüğü vektörler arasındaki açı θ olmak üzere

$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}||\vec{F}|\sin\theta$$

CİSİMLERİN DENGESİ

Şekil 6.2'de üç uzay gemisinin bir astroidi çekişi görülmektedir. Astroid hangi yöne gidecek? Veya astroid dönme hareketi yapacak mıdır? Bu soruların cevapları astroide uygulanan toplam kuvvete ve toplam momente bağlıdır. Fakat bu cisim üzerine uygulanan bir tane kuvvet hem doğrusal (kütle merkezinin kuvvet doğrultusundaki hareketi) hem de dairesel harekete neden olabilir. Bu deneyde fiziki olarak dengede olan cisimler üzerine uygulanan kuvvetlerin ve torklarının arasındaki ilişkiyi inceleyeceksiniz.

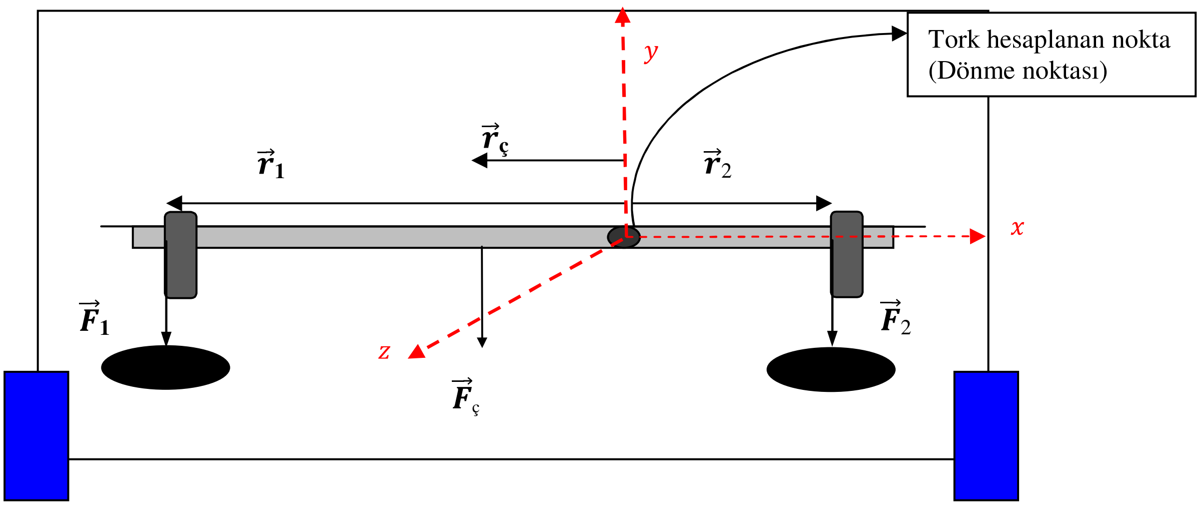


Şekil 6.2

DENEYİN YAPILIŞI

Kesim I: Üzerine Kuvvet Uygulanan Bir Cismin Dengesinin İncelenmesi

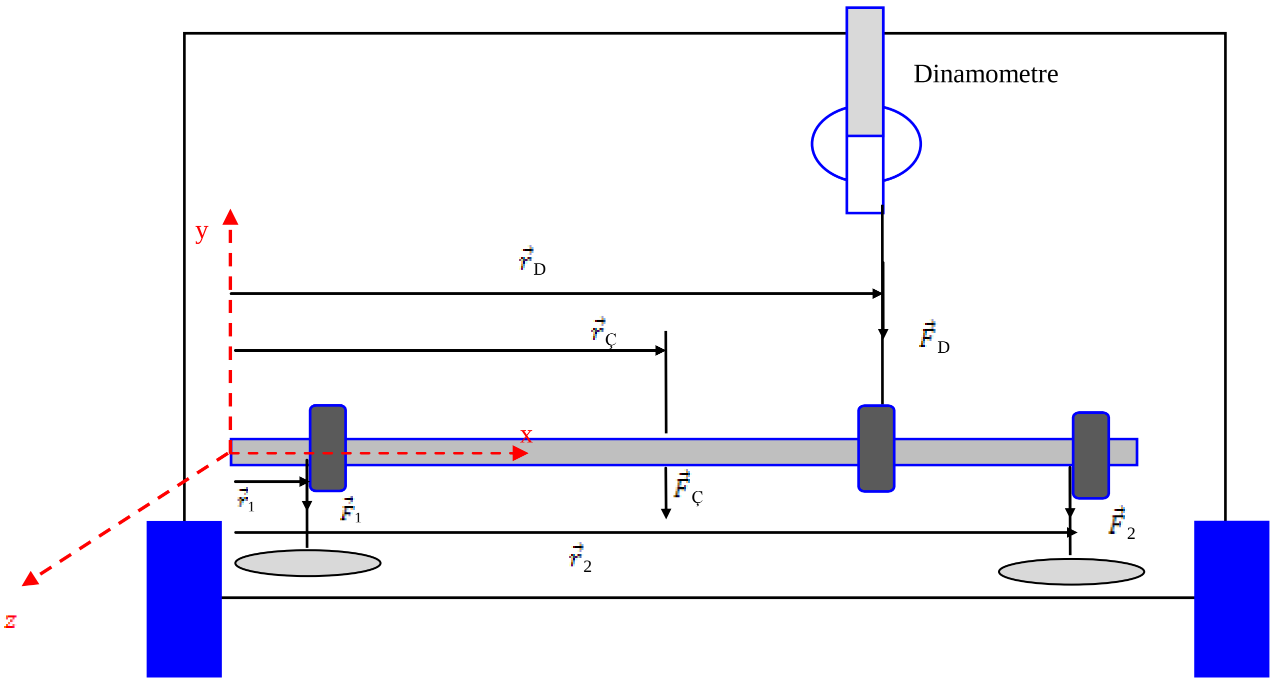
1. Şekil 6.3'te olduğu gibi çubuğu dönme miline takınız. Deney tahtası üzerine yere paralel bir çizgiyi yumuşak uçlu bir kalem ile çiziniz. Çubuğun durumunu öyle ayarlayınız ki çizdiğiniz bu çizgiye paralel olsun ve dengede kalsın.



Şekil 6.3 Denge noktasına göre momenti

2. Daha sonra çubuğu dengeye getirene kadar kütleleri kütle tutucuya ekleyiniz.

3. Çubuk dengeye geldikten sonra dönme noktasına olan konum vektörleri bulunarak her bir kuvvetin oluşturduğu torku hesaplayınız.



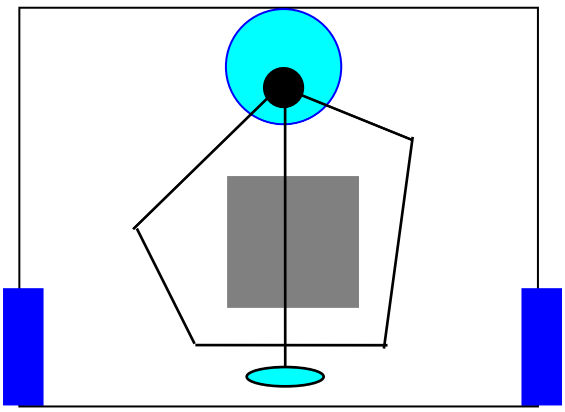
Şekil 6.4 Çubuğun uç noktasına göre torku

4. Şekil 6.4'te olduğu gibi çubuğu bir dinamometreye takınız ve aynı işlemleri tekrarlayarak çubuğun uç noktasına göre torku hesaplayınız.

Not: *Deneyin bu bölümünde kullanacağınız her bir kütle 0.03 kg'ı geçmemelidir.*

Kesim II: Kütlesi homojen olarak dağılmış bir cismin kütle merkezinin bulunması

Size verilen kütlesi homojen olarak dağılmış düzlemsel yamuk cismi Şekil 6.5'te gösterildiği gibi deney tahtasına asarak cismin kütle merkezini bulunuz.



Şekil 6.5 Düzlemsel cismin kütle merkezinin bulunması

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Kesim I: Deneyin ilk bölümünde çubuğun denge noktasına göre torkunu incelemek için Şekil 6.3'te görüldüğü gibi deney düzeneğini kurarak aşağıdaki işlemleri yapınız;

1- $\vec{F}_1$, m_1 in ağırlığı (bunun ile beraber taşıyıcı ve plastik askı).
2- $\vec{F}_2$, m_2 nin ağırlığı (bunun ile birlikte taşıyıcı ve plastik askı).
3- $\vec{F}_ç$, çubuğun ağırlık merkezine uygulanan ağırlığı

ile $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\vec{r}_ç$ konum vektörlerini tabloya kaydediniz. Tabloya kaydettiğiniz $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_ç$ kuvvetleri ve $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\vec{r}_ç$ konum vektörlerini kullanarak bu üç kuvvetin dönme noktasında oluşturdukları $\vec{\tau}_1$, $\vec{\tau}_2$ ve $\vec{\tau}_ç$ hesaplayınız. Sonra üç kuvvetin destek noktasında oluşturduğu toplam torku hesaplayınız.

Çubuğun uç noktasına göre dengesini incelemek için Şekil 6.4'deki düzenek kururak aşağıdaki işlemleri yapınız;

1- $\vec{F}_1$, m_1 in ağırlığı (bunun ile beraber taşıyıcı ve plastik askı).
2- $\vec{F}_2$, m_2 nin ağırlığı (bunun ile birlikte taşıyıcı ve plastik askı).
3- $\vec{F}_ç$, çubuğun ağırlık merkezine uygulanan ağırlığı
4- $\vec{F}_d$ dinamometrenin uyguladığı yukarı yönlü kuvvet

ile $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\vec{r}_{ç,}$ $\vec{r}_d$ konum vektörlerini tabloya kaydediniz. Tabloya kaydettiğiniz $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_ç$, $\vec{F}_d$ kuvvetleri ve $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$, $\vec{r}_{ç,}$ $\vec{r}_d$ konum vektörlerini kullanarak bu dört kuvvetin çubuğun uç noktasında oluşturdukları $\vec{\tau}_1$, $\vec{\tau}_2$,$\vec{\tau}_ç$, $\vec{\tau}_d$ hesaplayınız. Daha sonra dört kuvvetin çubuğun uç noktasında oluşturdukları toplam torku hesaplayınız.

Not: *Deney sırasında bulduğunuz tork değerlerinin yönlerine de dikkat ediniz.*

Kesim II: Şekil 6.5'teki gibi kütlesi homojen olarak dağılmış düzlemsel yamuk cismi herbir köşesinden asarak ağırlığın bağlı olduğu ipin geçtiği çizgiyi işaretleyiniz. Daha sonra düzlemsel yamuğu kağıda çizerek herbir köşeden işaretlediğiniz çizgileri karşı kenara birleştirerek kütlemerkezini bulunuz.

KAYNAKLAR

1. D. Halliday-R. Resnick, **Physics**, John Wiley and Sons Inc. (1990)
2. Richards, Sears, Wehr, Zemansky, **Modern Üniversite Fiziği**, (Çeviri) (1983)

7. DENEY: BASİT SARKAÇ İLE YERÇEKİMİ İVMESİNİN BULUNMASI

Hazırlayan
Arş. Grv. M. ERYÜREK

AMAÇ

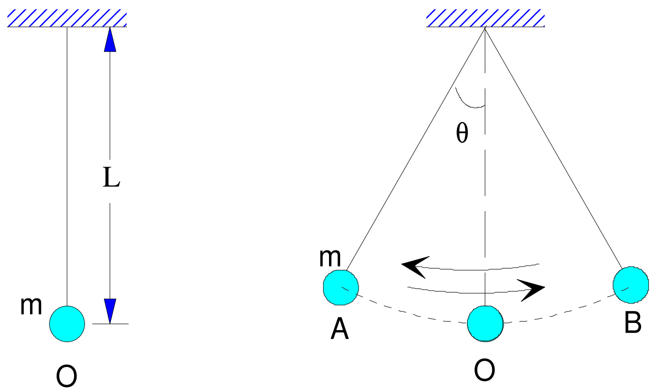
1- Basit harmonik hareketlerden biri olan sarkaç hareketini fiziksel olarak incelemek, yerçekimi ivmesini basit sarkaç kullanarak bulmak.
2- Konik sarkacın hareketini incelemek

ARAÇLAR

Metal kürecik, esnek olmayan, hafif kütleli ip, destek ayağı, destek çubuğu, burgulu kıskaç, kronometre, cetvel

GİRİŞ

Bir basit sarkaç düzeneği, Şekil 1'de görüldüğü gibi esnek olmayan ℓ uzunluklu ip ya da çubuğun ucuna asılmış *m*-kütleli bir kürecik kullanılarak oluşturulabilir. Basit sarkacın en önemli özelliği tüm kütlenin bu ℓ uzunluklu ip ya da çubuğun ucunda toplanmış olduğu varsayılmasıdır. m-kütleli küreciğin durgun kaldığı konum denge konumudur (Şekil 1-a). Eğer kürecik denge konumundan bir θ açısı kadar uzaklaştırılıp serbest bırakılırsa (Şekil 1-b), denge konumu etrafında dairesel yay üzerinde bir salınım hareketi yapar. Başka bir deyişle, bir sarkaç denge konumundan itibaren küçük yer değiştirmelerinde basit harmonik hareket yapar. Bu harekette cismin A noktasından B noktasına sonra tekrar B noktasından A noktasına gelmesi için geçen süreye ***periyot*** denir ve genellikle **T** ile gösterilir. Fiziksel olarak periyot, bir tam salınımın süresi anlamına gelmektedir.

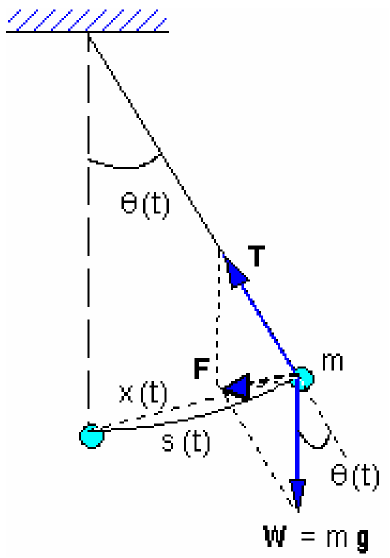


(a) (b)

Şekil 1. a) Denge durumu b) Salınım durumu

Sarkacın salınım hareketinde enerji sürekli olarak kinetik ve potansiyel enerji çevrimi içerisindedir. Kinetik enerji en büyük değerini, salınımın en düşük noktasında alırken kütleçekimi 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 formülize edilebilir: Şekil 2'de görüldüğü gibi denge konumundan θ açısı kadar uzakta bulunan m-kütleli küreciğe etki eden kuvvet, **W=mg** ağırlığı ve bunun ipte oluşturduğu **T** gerilmesinin bileşkesi olan **F** kuvvetidir. Bu kuvvet yaya teğettir ve cismi her zaman denge konumuna dönmeye zorladığından **geri çağırıcı kuvvet** olarak adlandırılır.

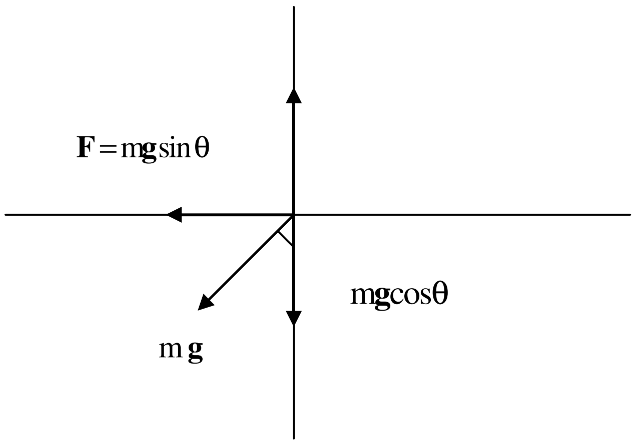


Şekil 2- Salınım durumunda küreciğe etki eden kuvvetler

Geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$$F = -mg\sin\theta \tag{1}$$

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



Şekil 3

Şekil 3'e göre T gerilme kuvveti

$$T = mg\cos\theta \tag{2}$$

olarak bulunur.θ açısı yeterince küçük ise, s yayı bir doğru parçası olarak kabul edilebilir. Bu durumda cismin denge konumundan yer değiştirmesi x olmak üzere

$$x \cong s, \qquad \sin\theta \cong \theta = \frac{x}{\ell} \tag{3}$$

şeklinde yazılabilir. Bu kabul altında **F** geri çağırıcı kuvveti **x** doğrultusu ile çakışmaktadır. Böylece Newton'un ikinci yasası kullanılırsa

$$F = ma = -mg\sin\theta \tag{4}$$

ve ivmenin $a = \dfrac{d^2x}{dt^2}$ (burada $x \cong s = \ell\theta$) tanımı yerine yazılırsa

$$-mg\theta = m\ell\frac{d^2\theta}{dt^2} \tag{5}$$

denklemi elde edilir. Bu eşitlik

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{\ell}\theta = 0 \tag{6}$$

şeklinde tekrar yazılabilir ve elde edilen ikinci dereceden diferansiyel denklem basit harmonik hareketin diferansiyel denklemi olarak bilinir:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0 \tag{7}$$

Denklem (7)'de görüldüğü gibi $\dfrac{g}{\ell}$ oranı açısal frekansın (ω) karesine eşittir. Yani,

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \tag{8}$$

dir. (6) denkleminin çözümü φ bir sabit faz sabiti) ve θ_o başlangıç açısı (genlik) olmak üzere

$$\theta(t) = \theta_o \sin(\omega t + \phi) \tag{9}$$

biçimindedir. Burada φ faz sabiti, θ_o ise genliktir. (Bu çözüm aynı zamanda φ için farklı bir sabit alınarak cosinüs fonksiyonu ile ifade edilebilir.) Elde edilen (8) bağıntısının ve (9) denkleminin yeterince küçük genlikli salınınmlar için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir. Böyle küçük genlikli salınımlar yapan ve bu nedenle hareketi kolayca çözümlenebilen sarkaca ***basit sarkaç*** denir.
Periyot ile açısal frekans arasındaki

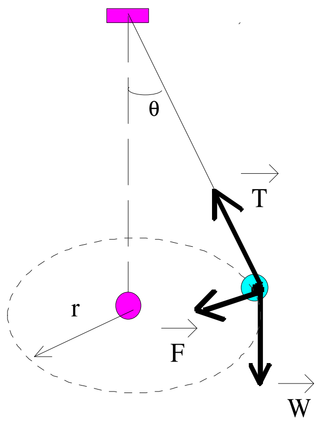
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{10}$$

bağıntısı ve (8) denklemi kullanılarak basit sarkacın periyodunu veren ifade kolaylıkla türetilebilmektedir. Gerekli işlemler yapıldığında

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \tag{11}$$

elde edilir. Dikkat edilirse küçük açılı salınımlar için periyot kütleden ve genlikten bağımsızdır. Böylece sürtünme ile genliğin azalması periyodu esasen değiştirmeyecektir. O halde (11) bağıntısı yerçekimi ivmesinin deneysel olarak bulunmasında kullanışlı bir ifadedir.

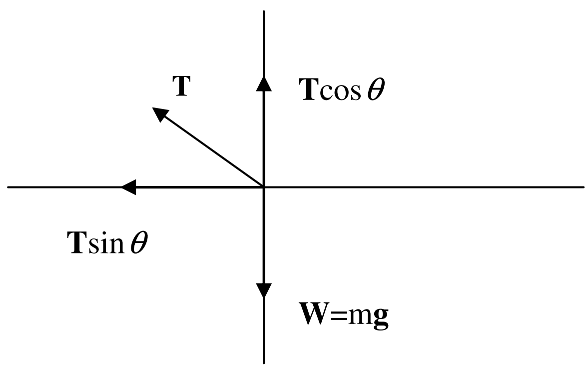
KONİK SARKAÇ



Şekil 4. Konik sarkaç üzerine etkiyen kuvvetler

Konik sarkaç, bir ipin ucuna asılmış ve yatay bir daire çevresinde dönebilen bir kütleden oluşur (Şekil 4). İpteki **T** gerilimi ile **W**=m**g** ağırlığının bileşkesi merkezcil kuvveti verir:

$$F = m\omega^2 r$$



Şekil 5

Kuvvetler bileşenlerine ayrıldığında,

$$mg = T\cos\theta \tag{12}$$
$$m\omega^2 r = T\sin\theta$$

denklemleri elde edilir. Bu iki denklemi birbirine oranlarsak

$$\omega^2 r = g \tan\theta \qquad (13)$$

eşitliği yazılabilir. θ açısının küçük değerleri için $\tan\theta \cong \theta$ alınabilir. Böylece $r = \ell\theta$ olur ve (13) denklemi,

$$m\omega^2 r = mg\frac{r}{\ell} \qquad (14)$$

halini alır. Denklem düzenlenirse,

$$\omega^2 = \frac{g}{\ell} \qquad (15)$$

açısal frekans ve

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (16)$$

periyot bağıntısı elde edilir. Sonuç olarak küçük θ değerleri için, uzunlukları eşit olan basit sarkaç ile konik sarkacın periyotları eşittir.

DENEYİN YAPILIŞI

Kesim I: Basit Sarkaç ile yerçekimi ivmesinin bulunması

1- Verilen küreciğe bağlı ipi destek çubuğunun üzerindeki kıskacın çeneleri arasından geçiriniz ve burguyu hafifçe sıkınız.

2- Sarkacınızı düşey konumda iken bir cetvel ile sarkacınızın boyunu önce 0.25 m olacak biçimde ayarlayınız (uzaklığı küreciğin merkezinden itibaren ölçünüz). Gerekli ayarlamayı yaptıktan sonra burguyu iyice sıkınız.

3- 10° yi aşmadan sarkacınızı salınmaya bırakınız. Kürecik A noktasında iken (Şekil 1-b) kronometreye basınız ve 20 tam salınım için geçen süreyi (*t*) ölçerek kaydediniz. Bu değeri kullanarak periyot değerini bulabileceksiniz.

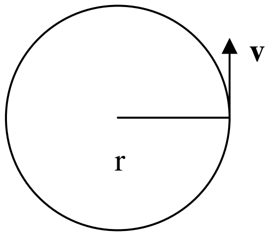
ÖNEMLİ NOT: Küreciği θ açısı kadar denge konumundan ayırınız ve ilk hız vermeden salınmaya bırakınız.

4- Yukarıdaki işlemi her seferinde sarkacın boyunu 0.05 m artırarak 9 farklı uzunluk için tekrarlayınız.

5- Her farklı uzunluk için elde ettiğiniz *t* süresini Tablo 1'e kaydediniz.

Kesim II: Konik Sarkaç

İpin uzunluğu 0.7 m olacak şekilde ayarladığınız sarkacı koni çizecek şekilde salınmaya bırakınız. Bunun için cisim dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmelidir. Bu hareketi gerçekleştirmek için cisme nasıl bir ilk hareket vermeniz gerektiğini düşününüz. Sarkacın yine 20 salınım yapması için geçen süreyi ölçünüz ve Tablo 2'ye kaydediniz.



VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Kesim I: Basit Sarkaç ile yerçekimi ivmesinin bulunması

1- Tablo 1'e kaydettiğiniz t değerini kullanarak T ve ℓ ip uzunluğu değerleri için $\sqrt{\ell}$ değerlerini hesaplayınız.

2- Tablo 1'i kullanarak T-$\sqrt{\ell}$ grafiğini çiziniz.

4- T-$\sqrt{\ell}$ grafiğini grafiğin eğiminden, bulunduğunuz yerdeki yerçekimi ivmesini ve hata yüzdesini hesaplayınız.

Kesim II: Konik Sarkaç

Tablo 2' de her iki sarkaç için bulduğunuz değerleri karşılaştırınız. Beklediğiniz sonuca ulaşabildiniz mi ?

SORULAR

1- Periyodu 2.0 s olan bir sarkacın boyu
(a) dünyada
(b) ay üzerinde ne kadar olmalıdır? (Cismin dünyadaki ağırlığı, aydakinin altı katıdır.)

2- Boyu 1m olan sarkaç 204s'de 100 tam salınım yapıyor. Bu yerdeki yerçekimi ivmesini bulunuz.

KAYNAKLAR

1- D. Halliday -R. Resnick , **Temel Fizik** (1992)
2- Richards Sears,Werh Zemansky, **Modern Üniversite Fiziği** (çeviri) (1983)
3- İsmet Ertaş , **Denel Fizik Dersleri**, Ege Üni. Basımevi (1984)
4- Enis Erdik , **Mekanik ve Maddenin Özellikleri**, Ank. Üni. Fen Fak. Yayınları (1976)
5- W. E. Gettys, F. J. Keller, M. J. Skove, **Fizik 1. Cilt** , Mc Graw Hill Yayınları (1995)

8. DENEY: AÇISAL HIZ, AÇISAL İVME VE TORK

Hazırlayan
Arş. Grv. M. ERYÜREK

***NOT**: Deney kılavuzunun* **Dönme Dinamiği Aygıtının Kullanımı İle İlgili Bilgiler** *Başlıklı Bölümü okuyunuz.*

AMAÇ

1. Kütle merkezi boyunca geçen sabit bir eksen etrafında dönen katı cisimlerin açısal hızlarını ve ivmelerini elde etmek.
2. Cisme farklı sabit kuvvetler uygulayarak, uygulanan kuvvetin açısal ivmeye etkisini incelemek.

ARAÇLAR

Dönme dinamiği aygıtı,yarıçapı **1,27cm olan tork makarası**, çelik diskler (**kütleleri M_{alt}=1345g, $M_{üst,ç}$=1355g ve disklerin yarıçapı d=6.35cm**), ip ve ip tutucu (kütleleri ihmal edilebilir), kütlesi **5g olan kütle tutucu** ve **5, 10, 20g lık kütleler**, kronometre.

GİRİŞ

Çizgisel dinamikte, Newton'un ikinci yasası

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \qquad (1)$$

idealleştirilmiş noktasal parçacık için kuvvet, kütle ve ivme arasındaki ilişkiyi tanımlar. Gerçek cisimler, noktasal parçacık değildir. Fakat idealleştirilen bu eşitlik, cismin merkezinin bir nokta olduğu tanımıyla gerçek cisimleri ifade eder. Bu kavram kullanılarak, Newton'un ikinci yasası genelleştirilmiş ve pek çok farklı sistemin hareket tanımında kullanılmaktadır. (1) bağıntısında **F** cisim üzerine etki eden dış kuvvetlerin toplamı, m cismin kütlesi ve **a** kütle merkezinin ivmesidir.

Genellikle cismin hareketi sırasında kütle merkezinin yeri sabit kalır. Bu deneyde hareketin önemli bir türü olan, katı cismin kütle merkezinden geçen sabit eksen etrafındaki dönü hareketi incelenecektir. Herhangi bir katı cismin kütle merkezi etrafında dönme hareketi tanımlanabilir. Katı cisim tanımı da, noktasal parçacık gibi bir idealleştirmedir. Gerçekte çelik bir küre bile tam olarak katı değildir. Ancak hareket incelemelerinde katı cisim, noktasal parçacıktan daha çok tercih edilir ve bu modelleme ile elde edilen sonuçlar gerçek dünyada çok daha kullanışlıdır.

AÇISAL HIZ

Çizgisel harekette hız, yerdeğiştirmenin zamanla değişimi olarak tanımlanır. Ortalama hız

$$v_{ort} = \frac{x_s - x_i}{t_s - t_i} \qquad (2)$$

eşitliğinden hesaplanır. Bu ifadede x_i ve x_s sırası ile cismin ilk ve son konumuna, t_i ve t_s zamana karşı gelmektedir. Cismin hızı zamanla değişmiyor sabit kalıyorsa ani (anlık) hızı ortalama hızına eşittir.
Dönme hareketinde ω açısal hız ve θ açısal yerdeğiştirme olmak üzere (2) ifadesinde yerine konursa ortalama açısal hız

$$\omega_{ort} = \frac{\theta_s - \theta_i}{t_s - t_i} \qquad (3)$$

şeklinde elde edilir.

AÇISAL İVME

Çizgisel harekette ivme ise hızın zamanla değişimi olarak tanımlanır ve ortalama ivme

$$a_{ort} = \frac{v_s - v_i}{t_s - t_i} \qquad (4)$$

bağıntısından hesaplanır, burada v_i ve v_s sırası ile ilk ve son hızları; t_i ve t_s ise zamanları gösterir. Eğer cismin hareketi sırasında ivme sabit ise ortalama ivme ani ivmeye eşittir.
Dönme hareketinde, ω açısal hız ve α açısal ivme olmak üzere, çizgisel hareket ifadesinde uygun yerlere yerleştirilerek, (4) e benzer olarak ortalama açısal ivme

$$\alpha_{ort} = \frac{\omega_s - \omega_i}{t_s - t_i} \qquad (5)$$

şeklinde elde edilir.

AÇISAL İVME VE TORK

Newton' un ikinci yasası (**F**=m**a**), çizgisel harekette kuvvet, kütle ve ivme arasındaki ilişkiyi belirttiği ifade edilmiştir. Sabit bir eksen etrafında dönme hareketi için hareket yasası benzer olarak $\boldsymbol{\tau = I\alpha}$ ifadesi ile verilir. Ancak daha karmaşıktır. Çünkü tork (τ) ve eylemsizlik momenti (I), kuvvet ve kütleden daha kompleks değişkenlerdir.

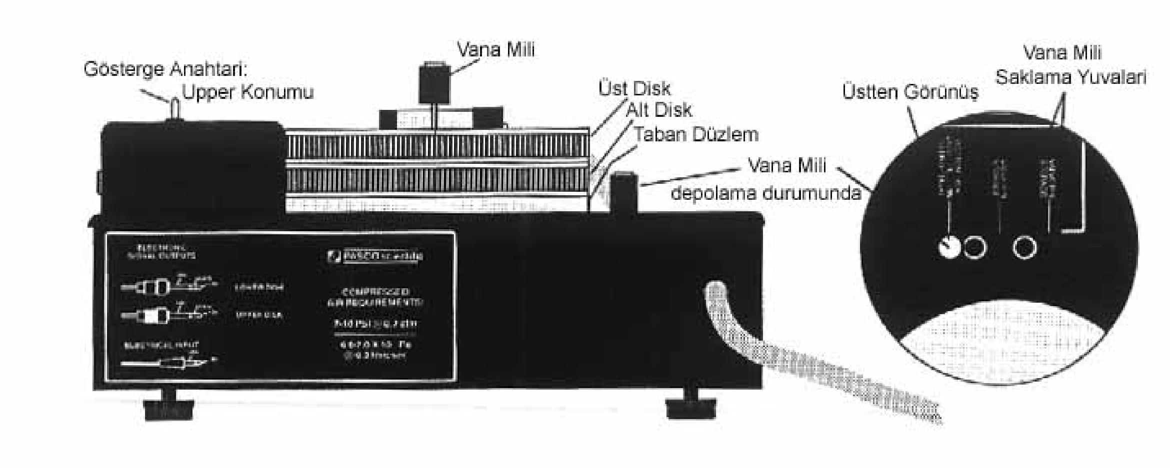
Deneyin bu kesiminde, dönme hareketi eşitliğinin doğruluğunu test edeceksiniz. Deneye başlamadan önce, tork ve eylemsizlik momenti kavramlarının anlaşılmış olması gerekmektedir. Bunun için sabit eksen etrafında dönme hareketini oluşturan kuvveti kullanarak tork'un nasıl hesaplandığının ve eylemsizlik momenti eşitliğinin bilinmesi gerekir. Ayrıntılar için **Dönme Dinamiği Aygıtının Kullanımı İle İlgili Bilgiler** başlıklı bölümü inceleyiniz.

DENEYİN YAPILIŞI

AÇISAL HIZ:

1) Şekil 1 de gösterildiği gibi deney düzeneği hazırlanmıştır. Bunun için üstte çelik diskler kullanılmıştır.

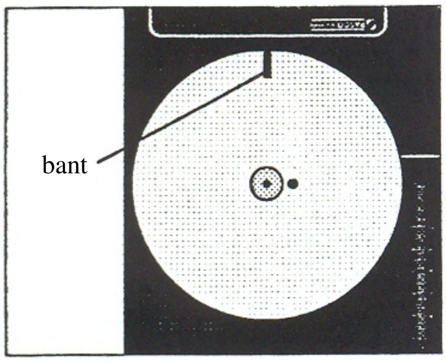
2) Adaptör bağlantılarını yapınız, böylece dijital gösterge açılır. Anahtarı UPPER (üst) konumuna getiriniz. Böylece üstteki diskin optik okuyucu tarafından kontrol edilmesi sağlanmış olur. Daha sonra hava kompresörünün fişini takınız.



Şekil 1. Deney Düzeneği

3) Deney düzeneğinde alttaki disk için vana mili, alt disk subap yuvasına (bottom disk valve) yerleştirilmiştir. Bu durumda alttaki disk üst disk ile beraber dönecektir. Böylece dönen cismin kütlesi $M_{alt}+M_{üst}$ olacaktır.

4) Üstteki diskin üzerine, kenara yakın herhangi bir yere bir parça bant yapıştırılmıştır (Şekil 2). Bant diskin dönme sayısını belirlemenizde size yardımcı olası amacı için kullanılmaktadır.



Şekil 2. Bantın Yapıştırılması

5) Üstteki diske, diskin yanal yüzeyine dokunarak hafif bir itme ile yumuşak bir dönme veriniz, öyle ki dijital göstergeden 100 veya 200Hz arasında herhangi bir değer okunsun. 200'ü geçiyorsa diski durdurup yeniden deneyiniz.

6) Kendinizi hazır hissettiğinizde göstergenin ilk değerini (R_i) kaydediniz ve bu andan itibaren kronometreyi çalıştırınız, aynı zamanda işareti (bant) takip ederek size verilen diskin tam dönüş sayısı (N=30) değerine ulaştığınızda kronometreyi durdurunuz.

7) Kronometreye bastığınız andaki gösterge değerini (R_s) ve kronometrenin gösterdiği zamanı tabloya kaydediniz.

8) 5 ile 7. adımlarda yaptığınız işleri N=35, 40 ve 45 için tekrarlayınız ve sonuçlarınızı tabloya kaydediniz.

AÇISAL İVME

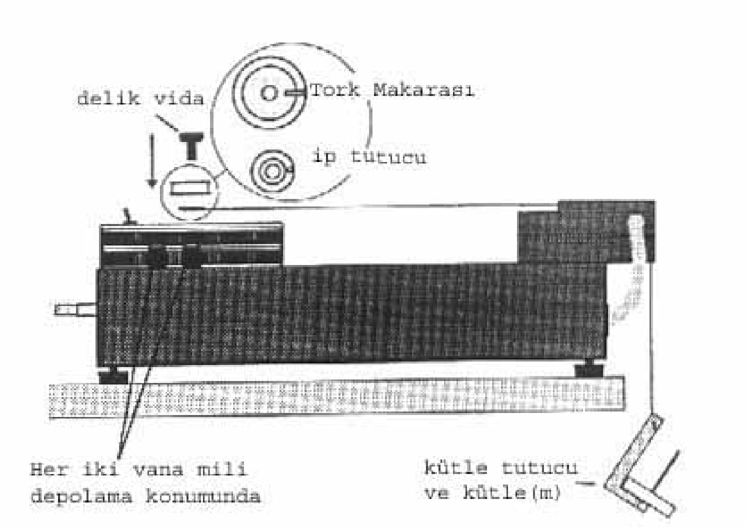
1) Şekil 3 deki düzenek laboratuar sorumlularınca hazırlanacaktır. Bunun için küçük tork makarası (r=1.27cm) ve üstte de çelik diski kullanılacaktır, alt disk için vana mili depolama konumuna (storage position) yerleştirilmiştir. Bu durumda alttaki disk taban düzlem üzerinde sabit duracak ve yalnız üsteki çelik diskin dönmesine izin verilmiş olacaktır. Tork makarası bağlantısında ise ortası delik vida kullanılmıştır.

2) Kütle tutucuya 5g kütle yerleştirilmiştir. Böylece kütle tutucu ile tutucuya takılan kütlenin toplamı 10g olur (kütle tutucunun kütlesinin 5g olduğunu hatırlayınız). Deney düzeneği ipin gerginken kütlenin yere yakın olduğu konumda sizin için hazırlanmış olacaktır.

3) Kütle tutucu ve asılı kütlenin toplamı m, tork makarasının yarıçapı r ve dönen diskin kütlesi M yi raporlarınızdaki ilgili tabloya kaydediniz.

4) Hava kompresörünün fişini takınız.

5) Yalnız üsteki çelik diskin dönüyor olduğunu kontrol ediniz.



Şekil 3. Açısal İvmenin Ölçülmesi İle İlgili Deney Düzeneği

Kütle tutucu ve uygulanan kuvvet yardımı ile diskin ivmesinin bulunması;

6) Kütle tutucuyu hava makarasına yaklaşacak şekilde ipi tork makarasına sarınız.

7) Gösterge değeri sıfır oluncaya kadar diski tutunuz.

8) Diski serbest bırakınız. Disk dönerken, dönmeye başladığı andan itibaren ard arda, gösterge değerlerini (R_1-R_{10}) kaydetmeniz gerekiyor. Kaydetme işlemi sırasında göstergedeki ilk değeri almayınız. Bundan sonra kütle tutucu aşağıya ininceye kadar kaç değer okunabiliyorsa o sayıda R_i değerlerini ilgili tabloya (Tablo 2) kaydediniz Kütle tutucu yükselirken değer almayı bırakınız.

9) 6., 7. ve 8. adımları kütle tutucuya sırasıyla 10, 20 ve 25g kütleleri asarak tekrarlayınız.

Önemli not: tabloya kaydedeceğinin '*m*' kütlesi için kütle tutucunun kütlesini eklemeyi unutmayınız.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Önemli Not: *Hesaplamalarınızda CGS birim sistemini kullanınız.*

AÇISAL HIZ

1) Elde edilen verileri kullanarak toplam açısal yer değiştirme θ açısını radyan cinsinden hesaplayınız. t süresince dönen disk için $\theta = 2\pi N$ dir. Buradan t zaman süresi için diskin ortalama açısal hızı ω_{ort} yı belirleyiniz (Eş. 3).

1) t süresince göstergeden okunan R değerlerinin ortalamasını hesaplayınız:

$$R_{ort} = \frac{R_s + R_i}{2}$$

3) Hesaplanan değerleri kullanarak κ sabitini belirleyiniz; κ ortalama açısal hız ve okunan R değerlerin ortalaması ile ilgili deneysel bir sabittir ($\omega_{ort} = \kappa R_{ort}$).

5) Elde edilen verileri kullanarak $\omega_{ort} = f(R_{ort})$ grafiğini çiziniz. Grafikten de κ değerini elde ediniz.

Dönme dinamiği aygıtının optik okuyucusu, bir saniyede geçen siyah çizgilerin sayısını verir. Bu değer göstergede okunan sayıdır. Bu bilgiyi kullanarak κ değerini belirleyiniz. Bunun için

a) Diskin çevresindeki siyah çizgilerin sayısını (n) belirleyiniz. (Çizgileri sayabilirsiniz; bir santimetreye düşen çizgi sayısını belirleyebilir ve diskin çevresi ile çarparak bulabilirsiniz; ya da herhangi bir başka yöntem kullanabilirsiniz. (**Dönme Dinamiği Aygıtının Kullanımı İle İlgili Bilgiler** bölümüne bakınız.)

b) 2π yi elde ettiğiniz çizgi sayısı n' e bölerek optik okuyucu ile okunan her çizgi için diskin radyan olarak dönmesini belirleyin. Bu κ değeridir. Bu bilginin doğruluğunu ilgili eşitlikte ($\omega_{ort} = \kappa R_{ort}$) birim analizi yaparak gösteriniz.

c) Deneysel ve hesaplama yolu ile elde edilen κ değerlerini birbirleri ile karşılaştırınız. Eşitler mi? Değilse hangi değerler birbirine yakındır?

AÇISAL İVME VE TORK

Göstergeden ard arda okunan değerler arasında geçen süre 2s dir. Buna göre; okunan her değeri açısal hıza çevirmek için $\omega_i = \kappa R_i$ eşitliğini kullanınız ve her zaman aralığı için (5) bağıntısını kullanarak ortalama açısal ivmeyi hesaplayınız. Örneğin α_2 nin hesaplanması;

$$\alpha_2 = \frac{\omega_3 - \omega_2}{t_3 - t_2}$$ burada $t_3 - t_2 = 2s$ dir.

veya $\omega_i = \kappa R_i$ olmak üzere,

$$\alpha_2 = \frac{\kappa R_3 - \kappa R_2}{t_3 - t_2} = \frac{\kappa (R_3 - R_2)}{t_3 - t_2} \quad \text{burada} \qquad t_3 - t_2 = 2\text{s dir.}$$

Hesaplamalarınızda bu ikinci ifadeyi kullanırsanız zaman kazanırsınız.

Bu son ifadeden yararlanarak m kütlesi (kütle tutucu ve asılı kütle) için elde ettiğiniz verileri deney raporundaki ilgili tablolara doldurunuz (örnek: Tablo 2). Her bir niceliğin birimlerini ilgili boşluklara yazmayı unutmayınız.

Tabloları doldurduktan sonra aşağıda verilen işlemleri yapınız:

1. Açısal ivme α nın ortalama değerini hesaplayınız ve Tablo 3 e kaydediniz. Aynı zamanda her α için m, r ve M değerlerini de kaydediniz.

$$\alpha_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \alpha_i}{k}$$

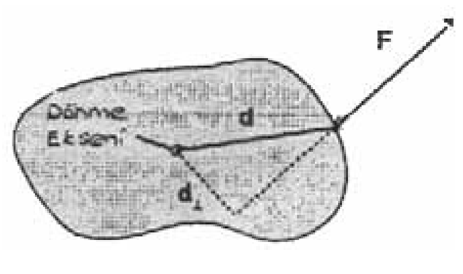
burada **k**, değer sayısıdır.

2) Dönen diskin eylemsizlik momentini hesaplayınız ve kaydediniz (Tablo 3). Diskin eylemsizlik momenti

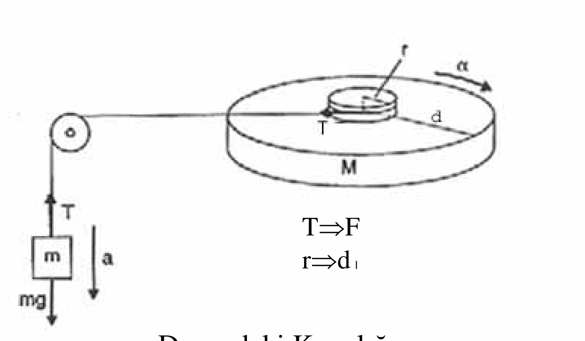
$$\mathrm{I} = \frac{1}{2} M d^2$$

dir. Bu ifadede **M** dönen diskin kütlesi, **d** ise yarıçapıdır. (Değerler araçlar kısmında verilmiştir)

3) Dönme dinamiğinde, tork olarak adlandırılan nicelik, çizgisel dinamiğin kuvvet niceliğine karşı gelir. Şekil 4 tork'un (τ) nasıl ölçüleceğini göstermektedir. Cismin dönme ekseninden **d** mesafesinde **F** kuvveti uygulandıysa, $\tau = Fd_\perp$ şeklinde hesaplanır. Burada $d_\perp$, **d** vektörünün, uygulanan kuvvete dik bileşenidir. Buna göre τ kavramının sonuçlarınızla ilişkisi nedir? Tartışınız. Örneğin; deney koşulunda F hangi niceliklere bağlıdır? $d_\perp$ neye karşı gelmektedir? (**Dönme Dinamiği Aygıtının Kullanımı İle İlgili Bilgiler** bölümüne bakınız.)



Tork Diyagramı



Deneydeki Karşılığı

Şekil 4. Tork diyagramı ve deneyde karşılığı olan diyagram

4) $I\alpha$ ve τ hesaplayınız, kaydediniz. **Not:** m<<M olduğundan $\tau=mgr$ bağıntısından hesaplanır. Burada m asılı kütle, g yerçekimi ivmesi, r tork makarasının yarıçapıdır.

5) τ ve $I\alpha$ arasında bir benzerlik var mı? Ölçümlerinizin duyarlılık sınırları içinde, deney çalışmanızda $\tau = I\alpha$ mıdır? Tartışınız.

9. DENEY: EYLEMSİZLİK MOMENTİ

Hazırlayan
M. ERYÜREK

AMAÇLAR

1. Eylemsizlik momenti kavramını öğrenmek.
2. Bazı cisimlerin deneysel olarak eylemsizlik momentlerini elde etmek.
3. Eylemsizlik momentinin toplanabilirlik özelliğinin doğruluğunu test etmek.

ARAÇLAR

Dönme dinamiği aygıtı, tork makarası (yarıçapı r=0,0127m), ip ve ip tutucu, kütle tutucu (5g) ve 5g lık kütle, çelik disk (kütlesi M_d=1,355kg, yarıçapı R_d=0,0635m), çelik çubuk (kütlesi $M_ç$=0,635kg, uzunluğu a=0,127m, genişliği b=0,025m), küçük çelik halka (kütlesi $M_{k.halka}$=0,46kg, iç yarıçapı $R_{iç}$=0,027m, dış yarıçapı $R_{dış}$=0,038m), büyük çelik halka (kütlesi $M_{b.kalka}$=0,47kg, iç yarıçapı $R_{iç}$=0,0538m, dış yarıçapı $R_{dış}$=0,0605m) ve halkaları tutturmak için kullanılan kütlesi ihmal edilebilir alüminyum levha.

EYLEMSİZLİK MOMENTİ

Newton'un ikinci yasasının dönme hareketi yorumu ($\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$) çizgisel hareket yorumuna tamamen benzerdir ($\vec{F} = m\vec{a}$). Fakat bu benzerliğe rağmen, dönme hareketi gerçekte biraz daha farklıdır. Çünkü tork kuvvetten, eylemsizlik momentide kütleden daha karmaşıktır. Ayrıca dönme hareketi için hareket denklemi, yalnız sabit eksen etrafında dönme hareketini içine alır. Bu sınırlamalar çizgisel hareket denklem biçiminden farklıdır.

Verilen herhangi bir dönme eksenine göre eylemsizlik momenti

$$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots + m_n r_n^2$$

dir. Burada m_1, m_2, m_3, . . . sistemin kütlesi ve r_1, r_2, r_3, . . . kütlelerin sırasıyla eksene olan uzaklığıdır. Eylemsizlik momenti dönme ekseninin seçimine bağlıdır, dolayısıyla tek bir değeri yoktur. Sürekli kütle dağılımı olan cisimler için toplam ifadesi integrale dönüşür

$$I = \int r^2 dm.$$

Eylemsizlik momentinin birimi kgm^2 (MKS birim sisteminde) ve dönme hareketi yapan bir cismin dönme eylemsizliği olarak tanımlanabilir.

Eylemsizlik momenti ile ilgili teoremler

a) Eylemsizlik Momentinin Toplanabilirliği:

Sistem eylemsizlik momentleri I_1 ve I_2 olan iki cisimden oluşuyorsa, bu bileşik sistemin eylemsizlik momenti

$I = I_1 + I_2$ olarak bulunur.

b) Paralel Eksenler Teoremi:

Bir sistemin kütle merkezinden geçen eksene göre eylemsizlik momenti I_{km} olmak üzere, bu eksene paralel herhangi bir eksene göre eylemsizlik momenti

$$I = I_{km} + Md^2$$

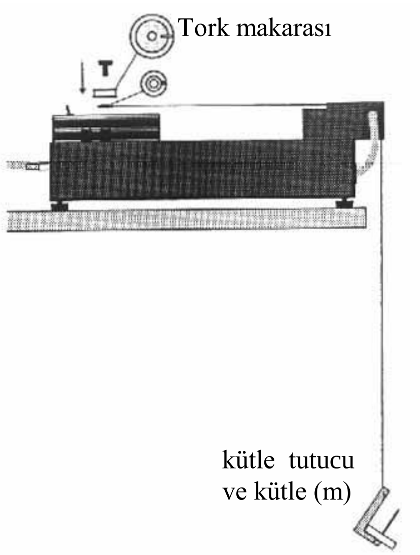
eşitliği ile verilir. Burada M cismin kütlesi, d ise iki eksen arasındaki uzaklıktır.

Bir önceki deneyde tork'un, bir noktaya uygulanan kuvvete nasıl bağlı olduğu tartışılmıştı. Bu deneyde eylemsizlik momentinin cismin geometrisine bağlılığı incelenecektir. Bunun için, cisme bir tork uygulanıp hareketin açısal ivmesi ölçülerek, $|\vec{\tau}| = I|\vec{\alpha}|$ eşitliğinden cismin eylemsizlik momenti elde edilecektir.

DENEYİN YAPILIŞI

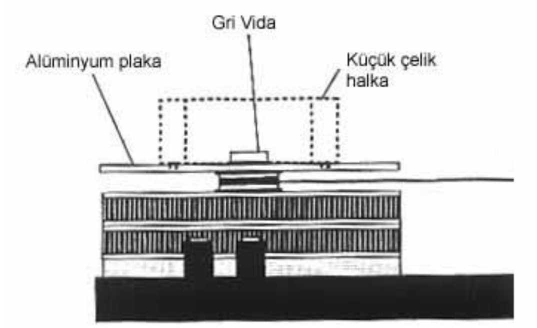
ÇUBUK VE HALKALARIN EYLEMSİZLİK MOMENTI

1. Sabit tork uygulamak üzere Şekil 1 deki gibi düzenek hazırlanır. Üstteki çelik disk ve tork makarası kullanılacaktır. Her iki subap milinin bekleme yuvasında olduğundan emin olunuz, böylece alt disk taban disk üzerinde sabit olarak durur (dönmez). Kütle tutucuya 5g lık kütle asılacaktır. Böylece toplamda m=0,01kg kütle için açısal ivme ölçümleri gerçekleştirilecektir.



Şekil 1. Deney Düzeneği

2. Açısal ivme önce sadece disk için bulunacak, daha sonra disk üzerine sırasıyla çubuk, küçük halka, büyük halka ve her iki halka eklenerek hesaplanacaktır. Bunun için çubuk disk üzerine kırmızı vidayla, halkalar ise alüminyum plaka yardımıyla gri vidayla tutturulur (Şekil 2). Halkanın altındaki çıkıntıları, alüminyum plakanın boşlukları ile çakıştırılacak şekilde, halkalar düzeneğe yerleştirilir.

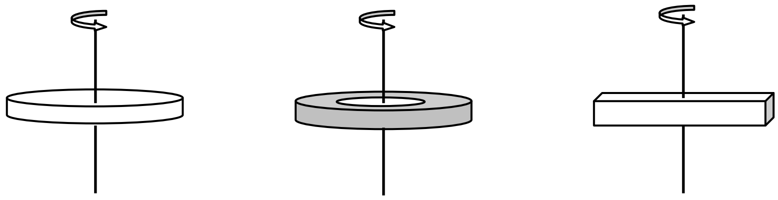


Şekil 2. Küçük Halkanın Yerleştirilmesi

3. Açısal ivme değerlerini bulabilmek için, göstergeden okunan R değerleri ilgili tabloya kaydedilir (İlk okunan R değerini almayınız).

VERiLERiN ÇÖZÜMLENMESi

Deneye gelmeden önce kütle merkezinden geçen eksen etrafında dönen (Şekil 3) disk, çubuk ve halkanın eylemsizlik moment ifadelerini veren bağıntıları temel fizik kitaplarından yararlanarak öğreniniz (Disk için Açısal Hız, İvme ve Tork deneyinde kullandığınız bağıntıyı hatırlayınız).



Şekil 3. Disk, halka ve çubuğun dönme eksenleri.

1. Açısal ivme değerlerini her bir dönen sistem için hesaplayarak, α_{ort} bulunuz. Sonuçlarınızı virgülden sonra iki basamak yazınız (örn: 3,21 rad/s^2).

2. Disk, çubuk ve halkanın eylemsizlik momentlerinin teorik değerlerini I_{teorik} hesaplayınız. Kullandığınız bağıntıları, ve yaptığınız işlemleri açık bir şekilde ifade ederek sonuçlarınızı ilgili tabloya bilimsel notasyonda (örn: 1,23x10^{-3}kgm^2) kaydediniz.

3. Her bir dönen sistem için toplam eylemsizlik momentini I_{top}, $|\vec{\tau}| = I|\vec{\alpha}_{ort}|$ ifadesinden yararlanarak hesaplayınız.

4. Eylemsizlik momentinin toplanabilirlik özelliğinden yararlanarak ($I_{top} = I_{disk} + I_{deneysel}$) dönen cisimlerin (disk, çubuk ve halkalar) deneysel eylemsizlik momentlerini $I_{deneysel}$ hesaplayınız ve sonuçlarınızı yine bilimsel notasyonda kaydediniz. İlk durumda sistemde sadece disk olduğu için $I_{top} = I_{disk}$ olduğunu unutmayınız.

5. Deneysel sonuçlarınız ne ölçüde tutarlıdır? Bunu anlayabilmek için bağıl hata hesabı yapınız.

Not:

Hesaplamalarınızda MKS birim sistemini kullanınız.
Deney kılavuzunun **Dönme Dinamiği Aygıtının Kullanımı ile ilgili Bilgiler** başlıklı bölümünü okuyunuz.

DÖNME DİNAMİĞİ AYGITININ KULLANIMI İLE İLGİLİ BİLGİLER

GİRİŞ

Dönme dinamiği aygıtı ile dönme hareketinde hemen hemen sürtünmesiz bir ortam oluşturulur. Aygıt iki .diskten oluşur; bunlar birbirlerinden ve hava yastığının oluşturulduğu temel düzlemden yalıtılmıştır. Ba diskler, tork ve açısal ivme ölçümleri için birbirlerinden bağımsız dönebilirler ya da mil kullanılarak bir disk diğerinin üzerine düşüp yeniden hareket edebilir. Bu yöntem kullanılarak açısal momentumun korunduğu elastik (esnek) olmayan çarpışmalar incelenebilir.

Dönen disklerin hareketi optik okuyucu yardımı ile yedi segmentli gösterge aracılığı ile kaydedilir. Bu okuyucu yardımı ile disklerin hareketleri .çok yüksek bir duyarlılıklar elde edilir. Optik okuyucu, okuyucudan geçen siyah çizgileri sayar ve saniyede geçen çizgi sayısını (frekans) gösterir. Bu veri dönen disklerin açısal hızlarının belirlenmesini kolaylaştırır.

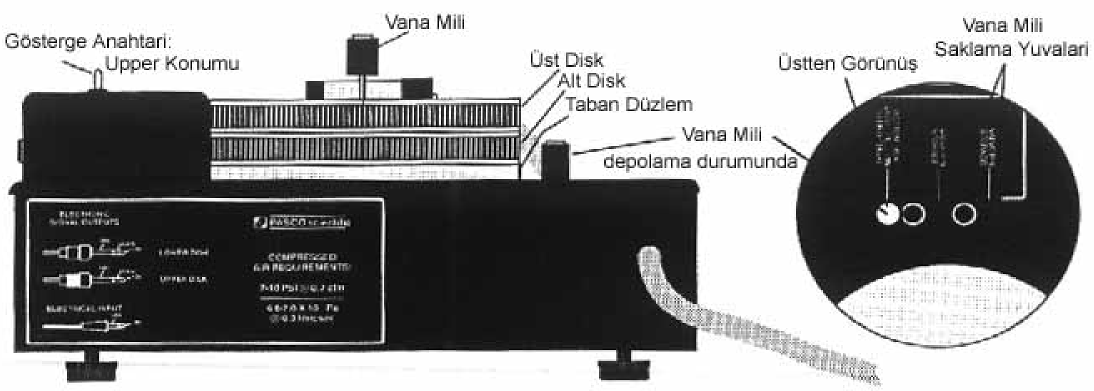
KULLANILAN ARAÇLAR

Dönme dinamiği tablası, iki çelik, bir alüminyum disk, 5 gramlık kütle tutucu. 5, 10, 20 gramlık kütleler, yarıçapları farklı iki tork makarası, su terazisi, ip. tutucu, ip, biri çap boyunca delik üç vida, iki subap mili, hava kompresörü, 12V luk adaptör.

Aksesuarlar

Eylemsizlik momenti ile ilgili deneylerde kullanılan aksesuarlar: .Değişken yançaplı kütle, .çubuk ve halkadan oluşmuş kütleler, değişken açılı üçgen levha ve bu kütlelerin dönme dmamiği sistemine yerleştirilmesi için yardımcı parçalar.

DÜZENEĞİN DENEYE HAZIRLANMASI



Şekil 1. Dönme Dinamiği Aygıtı

Düzgün (sabit) açısal, hız ve ivme elde etmek için aygıtın masa üzerinde düz durması gerekir. Bunu sağlamak için;

Düzeneği hazırlayınız ve su terazisi yardımıyla aygıtın vida ayaklarını çevirerek kabarcığın ortalanmasını sağlayınız (Şekil 1). Daha sonra,

1) Hava kompresörünü çalıştırınız, alt ve üst disklerin her ikisini (çelik) taban disk üzerindeki mile takınız.

2) Dış merkezsel yük elde etmek üzere, üstteki diskin kenarına doğru 20 gramlık kütleyi yerleştiriniz.

3) Saniyede 0,1 dönü yapacak şekilde diske çok küçük bir itme veriniz.

4) Bir süre bekleyiniz. Diskin yavaşladığını göreceksiniz. Aygıt düzleştirilmiş ise, disk durana kadar aynı yönde dönecektir. Durmadan önce disk yönünü değiştiriyor ve ileri geri hareket ediyorsa, aygıt yeterince düzleştirilmemiş. demektir. Disk durduğunda yükün gösterdiği konum, aygıtın o kenarının yükseltilmesi gerektiğine işarettir.

© Aygıtın ve hava kompresörünün kuru ve temiz bir ortamda .saklanması gereklidir.

© Disk yüzeylerinin yumuşak bir bez iîe temizlenmesi ve üzerinin sert parçacıklardan arındırılmasıı, kullanımdan önce dikkat edilmesi gereken koşullardır.

ÇALIŞMA

Aygıt düz olacak şekilde ayarlanmalıdır, hava bağlantısı yapılır, .adaptör takılı, böylece aygıt çalışmaya hazırdır.

© Kompresör çalıştırılmadan üzerinde hiç bir şey döndürülmemelidir.

1) Aygıtın düz olduğundan emin olunmalıdır.
2) Yumuşak bir bez ile diskler temizlenmelidir, ufacık parçacıklar bile sürtünmeyi arttıracak yönde etki yaratır.
3) Çelik disklerin tablaya doğru olarak yerleştirilmesi gerekir. Taban disk üzerine yerleştirilecek olan alt disk standarttır. Bu diskin taban disk ile çakışacak yüzeyinde uyan yazısı bulunur. Disklerin mil üzerine yerleştirilmesinin tek bir .kombinasyonu vardır.. Bu koşul sağlandıktan sonra alet çalıştırılmalıdır. (Şekil 1).

DİSKLERİN DÖNMESİ

4) Disklerin ikisinin birlikte dönebilmesi sağlanabileceği gibi, birbirlerinden bağımsız ya da yalnız üst disk dönecek şekilde düzenek ayarlanabilir. Bunun için subap milleri kullanılır. Subap milleri kullanılmadığında aygıt üzerindeki bekleme yuvalannda (Valve Pin Storage) bulundurulmalıdır.

Subap millerinden birini alt disk subap yuvasına (Bottom Disk Valve) takınız, diğerini ise bekleme yuvasına yerleştiriniz. Alttaki diske küçük bir itme veriniz. Disklerin birlikte döndüklerini .göreceksiniz. Alt disk subap yuvasındaki mili çıkarınız. Bu durumda disklerin durduğunu göreceksiniz (Şekil 1).

5) Subap milini tekrar alt disk subap yuvasına yerleştiriniz. Diğer subap milini, üstteki diskin merkezinde bulunan boşluğa yerleştiriniz. Diskleri zıt yönlerde döndürünüz. Bu durumda diskler birbirlerinden bağımsız olarak dönerler.

6} Üstteki disk üzerinde bulunan subap milini çekiniz. Diskin alttaki disk üzerine düştüğünü ve birlikte hareket ettiklerini göreceksiniz, yani tek bir disk gibi dönerler. Bu elastik çarpışmaya denk bir dönme hareketidir.

AÇISAL HIZ ÖLÇÜMÜ

7) Subap millerinden biri alt disk subap yuvasında, diğeri bekleme yuvasında iken, diski yavaşça döndürünüz. Gösterge ledinin yanıp söndüğünü göreceksiniz, optik okuyucudan diskin yanal yüzeyindeki siyah çizgiler geçerken led yanar, beyaz çizgi geçerken ise led söner. Sayaç, okuyucudan geçen siyah çizgileri sayar ve saniyede geçen çizgi sayıs göstergeye aktarılır. Ölçümlerde, iki ardışık okuma arasında iki saniyelik sürenin geçmesi gerekir. Bu nedenle açısal hızın zamanla değişimi incelenirken, ardışık okumalar arasında geçen sürenin 2s olduğunu bilinmelidir.

8} Göstergeden okunan değer sayma sayısı/s dir. Diskleri farklı hızlarda döndürünüz. Anahtarı ileri geri hareket ettirerek disklerin hareketlerini izleyebilirsiniz. Anahtarın konumunu değiştirdiğiniz andaki gösterge değeri kesin değildir, kesin değeri elde etmek için 2s beklenmelidir.

© Optik okuyucu ile okunabilecek maksimum sayma aralığı 700Hz dir, daha yüksek değerlerde doğru sonuç alınamaz.

9) Açısal hızı (rad/s) ölçebilmek için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır;

Δx = çizgiler arasmdaki mesafe = 2mm
N = diskin çevresindeki toplam çizgi sayısı $\approx$ 200
κ = rad/çizgi sayısı = $2\pi/N$ =0,0314 rad/çiz.

Göstergeden okunan değer; R = sayma/s
Diskin açısal hızı; $\omega = \kappa R = 0{,}0314R$

eşitliğinden hesaplanır. Diğer taraftan birim zamanda dönüş sayısından da hesaplanabilir. Bunun için gösterge değeri toplam çizgi sayısı N'e bölünür.

Toplam çizgi sayısı N'in kesin değeri, Δx:ve diskin yarıçapı (r) ölçülerek

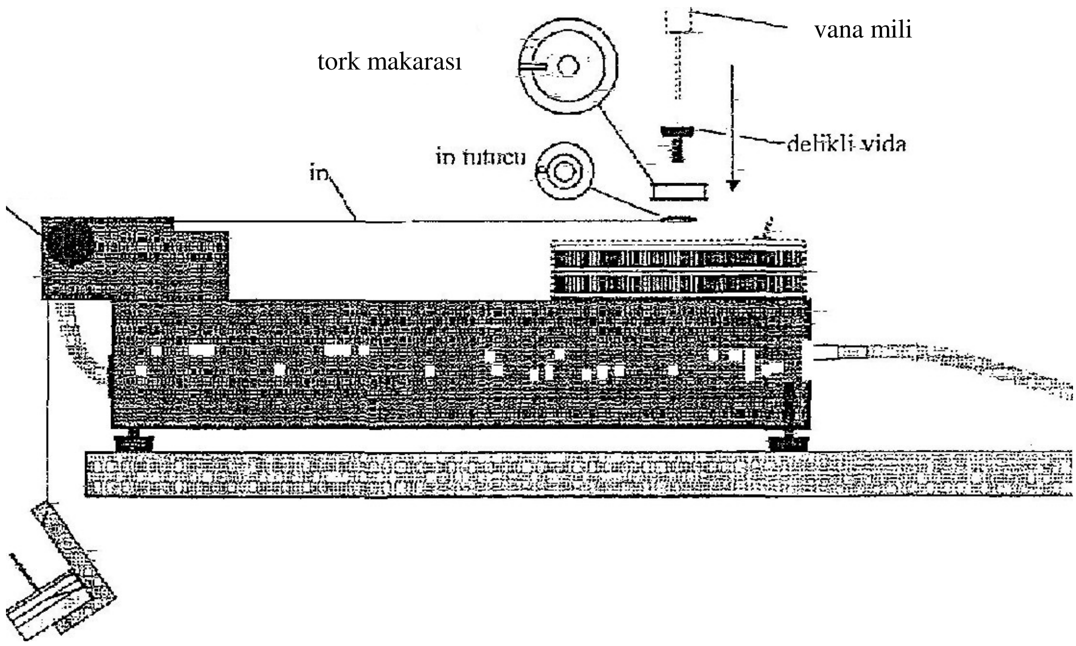
$$N = 2\pi r/\Delta x$$

ifadesinden bulunabilir.

SABİT TORK UYGULARKEN

Sabit tork uygulamak için yarıçapları farklı iki tane tork makarası vardır. Bunların yarıçapları 1.27cm ve 2.54cm dir. Bu makaralar; kütle.tutucu ve ip tutucu ile birlikte sabit tork uygulamak üzere kullanılır. Buna göre

10) Şekil 2 deki gibi düzeneği kurunuz.



Şekil 2. Sabit tork uygulamak

11) Yaklaşık lm±l cm uzunluğunda ipkopannız.

12) İpin bir ucunu ip tutucuya, diğerini kütle tutucuya bağlayınız. İp tutucuyu,tork makarasının altındaki boşluğa vida yardımı ile tutturunuz. İpi tork makarasına sarınız. Tork makarasını vida yardımı ile üstteki diske tutturunuz.

13) İpin diğer ucundaki kütle tutucuyu, ip hava makarasından geçecek şekilde masadan yere sarkıtınız. İp tork makarasına tamamen sarılı değilken kütle tutucunun yer düzlemine yakın olması gerekir.

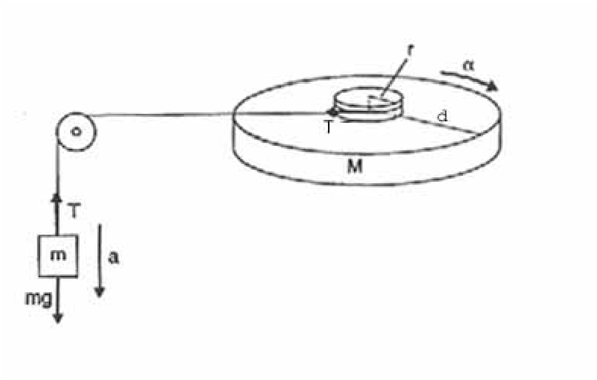
14) Hava kompresorünü çalıştırınız ve ipi tork makarasına mümkün olduğu kadar sarınız. Diski serbest bırakınız, bu durumda kütlenin yere doğru indiğini göreceksiniz.

15) Kütlenin ağırlığı, sabit torku oluşturur ve disk ivmelenerek döner.

Pek çok uygulamalar için diske etki eden tork,

$$\tau = mgr$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Burada *m* kütle tutucunun kütlesi, *g* yerçekimi ivmesi ve *r* tork makarasının yarıçapıdır.



Şekil 3. Tork hesabı için diyagram

I= Diskin eylemsizlik momenti
$= MR^2/2$
M= Diskin kütlesi
R= Diskin yarıçapı
α= Diskin açısal ivmesi
r= Tork makarasının yarıçapı
T= İpteki gerilme
a= Kütle tutucunun ivmesi
mg= Kütle tutucunun ağırlığı
m= Kütle tutucunun kütlesi
g= Yerçekimi ivmesi

Daha hassas hesaplama yapmak için aşağıdaki işlemlerin dikkate alınması gerekir. Çünkü ipteki gerilme kuvveti her zaman *mg*'ye eşit değildir: Bunun için Şekil 3'deki diyagramı göz önünde bulundurunuz. Newton'un ikinci yasası; kütle tutucuya **F**=m**a**, ve dönen diske $\boldsymbol{\tau} = I\boldsymbol{\alpha}$ uygulanarak şu şekilde elde edilir:

$$|\boldsymbol{\tau}| = |\mathbf{r} \times \mathbf{T}| = rT = I\alpha \qquad (1)$$

$$ma = mg - T \qquad (2)$$

Bu iki eşitlik

$a = \alpha r$
ifadesinden dolayı birbirleri ile ilişkilidir. (1) bağıntısından T çekilerek (2) bağıntısında yerine konursa,

$$ma = mg - \frac{I\alpha}{r} \qquad (3)$$

şeklinde yazılır. Bu son eşitlikte *a*' yı yok etmek için (3) bağıntısı kullanıldığında

$$mr\alpha = mg - \frac{I\alpha}{r} \qquad (4)$$

olarak elde edilir. Böylece açısal ivme

$$\alpha = \frac{mg}{mr + \frac{I}{r}} \qquad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlik (1) ifadesinde kullanılarak uygulanan tork

$$\tau = I\alpha = \frac{mgr}{\frac{mr^2}{I}+1}$$

olarak elde edilir. Diskin eylemsizlik momenti $I = MR^2/2$ bağıntısı kullanılarak

$$\tau = mgr\left[\frac{2mr^2}{MR^2}+1\right]^{-1}$$

halini alır. m <<M ise $\tau = mgr$ şeklinde alınabilir. Deneylerde kullanılan aletler bu koşulu sağladığından, bu basit eşitlik güvenle kullanılabilir.