T.C

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

FİZİK LABORATUVARI – I

DENEY FÖYÜ
Mekanik

SAKARYA 2014

T.C

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

FİZİK LABORATUVARI – I

DENEY FÖYÜ
Mekanik

SAKARYA 2014

İÇİNDEKİLER

LABORATUVAR ÇALIŞMASI HAKKINDA:

1) Deney gruplarında bulunan öğrenciler, karşılıklı yardımlaşmanın yanında ölçüleri sıra ile alacaklar, hesapları ayrı-ayrı yapacaklardır.

2) Laboratuvara gelmeden önce konu ile ilgili deney okunacak, gerekirse ilgili kitaplardan çalışılacaktır. Laboratuvarda bulunan araştırma görevlisi hazırlanmadığınızı anlarsa sizi laboratuvardan çıkarabilir. Deneyi telafi etme imkanı olmazsa deneyden devamsız sayılabilirsiniz.

3) Laboratuvara girince alet ve cihazlara dokunmayınız. Görevli öğretim elemanının iznini ve tavsiyelerini aldıktan sonra sadece size tanıtılan aletleri kullanınız.

4) Laboratuvara gelirken yanınızda mutlaka grafik kağıdı getiriniz.

5) Deneyi kurduktan sonra kontrolünü mutlaka yaptırınız.

6) Laboratuvarda deney yaparken yüksek sesle konuşmayınız.

7) Çalışmalarınız sırasında diğer arkadaşlarınızı rahatsız etmeyiniz.

8) Deney sırasında cep telefonlarınızı kapalı tutunuz.

9) Deney öncesi görevli tarafından yapılan açıklamaları mutlaka gerektiği şekilde uygulayınız.

10) Aletleri dikkatli ve özenli kullanınız. Aletlerde meydana gelebilecek bir hasarın maddi olarak tarafınızdan karşılanacağını unutmayınız.

11) Deneyinizi bitirdikten sonra masanızı kesinlikle temiz bırakınız.

12) Deney öncesi yeterli bilgiyi elinizdeki kaynakları okuyarak elde ediniz.

13) Laboratuvara %80 devam zorunluluğu vardır. Bundan dolayı devama gereken hassasiyeti gösteriniz.

DENEY RAPORUNUN HAZIRLANMASI:

1) Raporunuzun ilk sayfasında ortada olacak şekilde isminizi, grubunuzu, numaranızı, hangi öğretimde olduğunuzu ve deney adını yazınız; bu sayfaya başka herhangi bir şey yazmayınız.

2) Başlık ortalı bir şekilde yazılacak ve raporun hazırlanması işlemi aşağıdaki gibi yapılacaktır.

a) Deneyin adı

b) Deneyin amacı: Yaptığınız deneyde neyi hedeflediğinizi kendi cümlelerinizle yazınız.

c) Deneyin teorisi: Yaptığınız deneyin teorisini farklı kaynaklar kullanarak yazınız.

d) Deneyin yapılışı: Öncelikle deneydüzeneğini ve kurulumunu anlatıp, ölçüm sonuçları ve hesaplamaları belirtin. Grafikler için milimetrik kağıt kullanınız.

e) Sonuç, hata hesabı ve yorum: Hata hesabını yaparak deneyi yorumlayınız.

3) Raporlar elle yazılacaktır, bilgisayar çıktısı kabul edilmeyecektir.

BİRİM ÖN EKLERİ

10 üzeri	***Ön ek***	***Kısaltma***	***Örnek***
10^{12}	tera-	T	Terahertz (THz)
10^{9}	giga-	G	Gigahertz (GHz)
10^{6}	mega-	M	Megahertz (MHz)
10^{3}	kilo-	k	kilovolt (kV)
10^{-2}	santi-	c	santimetre (cm)
10^{-3}	mili-	m	miliamper (mA)
10^{-6}	mikro-	μ	mikrovolt (μV)
10^{-9}	nano-	n	nanosaniye (ns)
10^{-12}	pico-	p	pikofarad (pF)

BİRİMLER

Fiziksel Büyüklük	**MKSA Birimi**	**CGS Birimi**
Uzunluk	metre (m)	santimetre (cm)=10^{-2} m
Kütle	kilogram (kg)	gram (g) = 10^{-3} kg
Zaman	saniye (s)	saniye (s)
Kuvvet	Newton (N) = kg.m/s^2	dyne = 10^{-5} N
Enerji	Joule (J) = N.m	erg = 10^{-7} J
Güç	Watt (W) =J/s	erg/s = 10^{-7} W
Elektrik Yükü	Coulomb (C)	statcoulomb = 10^{-9}/2.998 C
Elektrik Akım	Amper (A) = C/s	abamper = 10 A
Elektrik Potansiyel	Volt (V) = J/C	statvolt = 2.998x10^{2} V
Elektrik Alan	Volt/metre veya Newton/Coulomb	
Magnetik Alan (B)	Weber/metre^2 (Wb/m^2)	gauss = 10^{-4} Wb/m^2
Direnç	Ohm (Ω) = volt/amper	
Sığa	Farad (F) = coulomb/volt	
İndüktans	Henry (H) = volt.saniye/amper	

HATALAR VE HESAPLAMALARI

Giriş:

Bir deneyde hata oluştuğunda ölçmelerin sayısal sonuçları hiç beklenmeyen şekilde ortaya çıkar. Bazı hataların limitlerini bulmak kolaydır. Fakat bazen önemsiz boyutlarda olurlar. Bu laboratuvarın amacı kesin sonuç elde etmek olmadığı için detaylı istatistiksel sonuçlar elde edilmesi beklenmemektedir. Her şeye rağmen deney, ulaşılan sonucun güvenilirliğini anlamada iyi ve sağlıklı bir yöntemdir. Bu amaçla en yaygın hataları değerlendirmek için kısa bir giriş yapılmıştır.

Hatalar, sistematik hatalar ve rastgele hatalar olarak iki gruba ayrılır. Ölçülen bir büyüklükteki hatalar, her iki tipteki hataların kombinasyonu olduğu zaman hataları birbirinden ayırmak zordur.

Sistematik Hatalar:

Bu tür hatalar deneyde kullanılan aygıtlardan veya gözlemciden kaynaklanır. Aygıt hataları; sistemin ve kullanılan aygıtın kendisinden oluşur. Genellikle bu hata aynı şekilde yapılan ölçmeleri etkileyen sabit bir hatadır. Örneğin kötü bir şekilde ayarlanmış bir hava masası böyle bir hataya sebep olabilir.

Gözlemciden kaynaklanan hatalara “ kişisel hatalar” denir. Ölçeği yanlış okuma, dikkatsizlik ve araçları kullanma yetersizliği bu tür hatalara örnek olarak gösterilebilir.

Sonuçların tekrar gözden geçirilmesi ve deney araçlarının yeniden uygun bir şekilde yerleştirilmesiyle sistematik hatalar minimuma indirilebilir.

Tesadüfi Hatalar:

Tesadüfi hatalar, sistemdeki kontrol edilmeyen dalgalanmalardan ortaya çıkar. İşaretleri bilinemez. Herhangi bir düzeltme yapılması imkansızdır. Ancak ölçülecek bir büyüklüğün değeri belirtilmeden önce tesadüfi hatanın büyüklüğü tahmin edilebilir.

Bir büyüklük için pek çok ölçüm yaptığımız takdirde ortalama değeri en iyi sonuç olarak kabul edebiliriz. Ölçmelerin oluşturduğu dağılım ise bize belirsizliğin veya deney hatasının bir ölçüsünü verir.

$x_1, x_2, ..., x_n$ bir büyüklük için yapılmış ölçmelerin sonuçları olsun. Bu durumda

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + ... + x_n)/n$$

ifadesi bu ölçmelerin ortalamasını verir.

Tek bir ölçümün ortalama $\bar{x}$ değerlerinden sapması ise;

$$d_i = x_i - \bar{x} \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots. n)$$

şeklinde ifade edilir.

Sapmanın "kare ortalama karekök" değeri standart sapma olarak isimlendirilir ve

$$\sigma = \sqrt{\left(d_1^2 + d_2^2 + \ldots + d_n^2\right)/(n-1)}$$

şeklinde ifade edilir.

Ortalamanın standart hatası α ; bu ölçmelerin dağılımına bağlıdır ve ortalamanın hata payı içinde olması durumunun bir ölçüsüdür. Eğer bir büyüklük için *n* tane ölçüm yapıldıysa;

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ifadesi yazılabilir. Böylece ortalama $x \pm \alpha$ olarak gösterilir. Bazı deneyler için çok sayıda ölçme yapmak mümkün olmayabilir. Bu durumda oluşabilecek en büyük hatayı tahmin etmek gerekir. Mesela, uzunluk ölçmek için bir cetvel kullandığımızı kabul edelim. Eğer cetveldeki en küçük ölçek 1 mm ise, oluşabilecek en büyük hata Δx yaklaşık 0.5 mm'dir. Yani, eğer herhangi bir şeyi x olarak ölçtüyseniz ve mümkün olan en büyük hata Δx ise, x 'in gerçek değeri $(x + \Delta x)$ ile $(x - \Delta x)$ arasında bir yerdedir.

Çok Değişkenli Fonksiyonlar İçin Hata Hesabı:

Eğer bir büyüklüğün ölçülmesindeki hatayı tayin edebilirsek; bu niceliğe bağlı başka bir değişken için, sonuçtaki hatanın değerini hesaplamak kolay bir iş olacaktır. Mesela; x 'i mümkün olabilecek en büyük Δx hatası ile ölçersek, x 'e bağlı bir r fonksiyonundaki $(r = f(x))$ en büyük hatayı

$$\Delta r = \left| f(x + \Delta x) - f(x) \right| \tag{1}$$

eşitliği yardımıyla kolayca hesaplayabiliriz. Bu eşitlik r 'nin gerçek değerinin $(r + \Delta r)$ ile $(r - \Delta r)$ arasında olduğunu göstermektedir. Şayet sonuç sırasıyla $\Delta x, \Delta y$ ve Δz gibi mümkün olabilecek en büyük hatalara sahip x, y ve z değişkenlerine bağlı ise;

$$r = f(x, y, z)$$

ve

$$\Delta r = \left| f(x + \Delta x, y, z) - f(x, y, z) \right| + \left| f(x, y + \Delta y, z) - f(x, y, z) \right| + \left| f(x, y, z + \Delta z) - f(x, y, z) \right| \tag{2}$$

eşitlikleri yazılabilir.

Aşağıda bileşik sonuçlara ait bazı hata formülleri verilmiştir. Burada x ve y ölçmelerinin sırasıyla Δx ve Δy hatalarına sahip olduğu kabul edilmiştir.

Toplama: Şayet $r = x + y$ şeklinde ise, r 'de mümkün olabilecek en büyük hata

$$\Delta r = \Delta x + \Delta y$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Bu sonuç denklem (1) ve (2) kullanılarak elde edilebilir.

Çıkarma: Eğer $r = x - y$ şeklinde ise, r 'de mümkün olabilecek en büyük hata

$$\Delta r = \Delta x + \Delta y$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Çünkü hatalar birbirini yok etmeyip üst üste eklenirler.

Çarpma: Şayet $r = xy$ şeklinde ise,

$$\Delta r = (\Delta x)y + x(\Delta y)$$

dir. Yukarıdaki formülün her iki tarafı $1/r$ ile çarpılırsa

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{(\Delta x)y}{xy} + \frac{x(\Delta y)}{xy}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

eşitliği elde edilir. Burada sonucun $r + \Delta r$ şeklinde ifade edilmesi gerektiğine dikkat etmek gerekir. $r + \Delta r / r$ şeklinde ifade etmek yanlıştır.

Üstel: n 'nin herhangi bir sayı olması şartı ile $r = x^n$ ise r 'deki bağıl hata

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

formülünden yararlanarak bulunabilir.

Trigonometrik fonksiyonlar: Şayet $r = \sin x$ ise r 'de mümkün olabilecek en büyük hata

$$\Delta r = \sin(x + \Delta x) - \sin x$$

şeklindedir.

Yukarıdaki işlemler sadeleştirildiği takdirde oldukça basit bir hale gelir. Mesela, denklem (2) bu yolla

$$\Delta r = \left|\frac{\Delta f}{\Delta x}\Delta x\right| + \left|\frac{\Delta f}{\Delta y}\Delta y\right| + \left|\frac{\Delta f}{\Delta z}\Delta z\right|$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bilimsel çalışmalarda mümkün olan en büyük hata yerine k.o.k (kare-ortalama-kök) hatası kullanılır. Bu sebeple bilimsel çalışmalarda

$$\Delta r = \sqrt{\left(\frac{\Delta f}{\Delta x}\Delta x\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{\Delta y}\Delta y\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{\Delta z}\Delta z\right)^2}$$

eşitliği kullanılır.

HAVA MASASI DENEY DÜZENEĞİ HAKKINDA

Hava Masası Deney Düzeneği esas itibariyle şu elemanlardan oluşmaktadır:

1- Üzerinde disklerin serbestçe hareket edebilecekleri sert ve düz bir yüzey sağlayan bir cam levha,
2- Hava Masanın tam yatay olarak ayarlanmasına imkan veren üç adet ayarlanabilir ayak,
3- Disklerin altında ince bir hava yastığının oluşturulması için gereken sürekli hava kaynağını sağlayan bir hava pompası,
4- Zamanlama işlevini sağlayan bir ark üreteci (“*Sparktimer*”).

Hava pompasının sağladığı basınçlı hava lateks hortumlar içinden geçirilerek disklere gönderilir ve disklerin altındaki merkeze yakın bir dizi küçük delikten dışarı atılarak disklerin üzerinde serbestçe yüzebilecekleri ince bir hava yastığı oluşur.

Ark Üreteci (*buna “Ark Zamanlayıcısı” da diyebilirsiniz*) her diskin merkezindeki elektroda bir kablo ve disklere havayı taşıyan lateks boruların içine yerleştirilmiş olan ince bir zincir ile bağlıdır. Ark Üretecinin periyodik olarak ürettiği yüksek voltaj, diskin elektrodu ile cam levha üzerine yerleştirilen iletken karbon kağıt arasında bir ark oluşturur. Periyodik olarak oluşan arkların her biri, deneyler yapılırken iletken karbon kağıt üzerine yerleştirilen bir tabaka "beyaz" kağıdın karbon kağıda temas eden yüzeyinde siyah bir nokta olarak iz bırakır. Her siyah nokta arkın oluştuğu anda diskin bulunduğu konumu gösterir.

HAVA MASASININ YATAYLIK AYARI

Hava Masasının yataylığının ayarlanması ("*teraziye alınması"*) önemlidir. Belirli bir kuvvet etkisindeki bir kütlenin ivmesi ölçülmek isteniyorsa kütleye etki eden kuvvet doğru olarak belirlenmelidir. Tablanın küçük bir açıyla bile eğimli olması durumunda yerçekimi kuvveti etkili olacak ve diskin hareketi onun kütlesi üzerinde etkiyen farklı bir kuvvetle gerçekleşmiş olacaktır. Hava Masasının seviye ayarı şu şekilde yapılır:

1. Cam tablanın ortasına bir disk yerleştirip hava pompasını çalıştırın. Tabla yatay değilse disk eğim yönünde hareket edecektir.

2.a. Yanlara doğru olan eğimi ortadan kaldırmak için masanın ön tarafındaki iki ayağı ayarlayın. Diskin artık yanlara doğru hareket etmediğini gördüğünüzde yanlara doğru olan eğim düzeltilmiş olacaktır.

b. Öne veya arkaya doğru olan eğimi yok etmek için masanın arkadaki ayağını ayarlayın. Disk artık öne ya da arkaya doğru hareket etmediği zaman bu eğim de ortadan kaldırılmış, masa yatay konuma getirilmiş olacaktır.

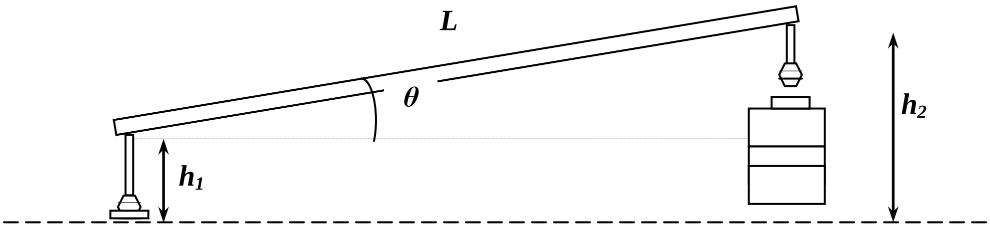
HAVA MASASININ EĞİK DÜZLEM DURUMUNA GETİRİLMESİ

Hava Masası eğik düzlemde hareketleri incelemek için de kullanılabilir. Cam tablanın bir eğik düzlem olarak kullanıldığı deneylerde hava masasının arka tarafındaki ayağının altına tahta bloklar konularak tablanın arka tarafı yükseltilir. Bu amaca uygun olarak hazırlanmış tahta bloklar hava masasının aksesuarları arasında bulunmaktadır.

Hava Masası eğik düzlem olarak kullanıldığında, yatayla yaptığı açının değeri önemlidir. Bu açının değeri, aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$\sin\theta = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

Bu eşitlikte, $\boldsymbol{h_1}$ masanın öndeki ayağının yüksekliği, $\boldsymbol{h_2}$ tablanın arka tarafının yüksekliği, $\boldsymbol{L}$ tablanın kenar uzunluğudur (*bkz. Şekil 1*).



Şekil 1. Hava masasının eğik düzlem durumu.

ARK ÜRETECİNİN ZAMAN AYARLAMASI

Ark Üretecinin zaman ayarlaması, ya da ark üretme hızının ayarlanması, deneylerde elde edilecek noktalar arasındaki sürelerin ayarlanması anlamına geldiği için, deneylerinizdeki ölçümlerin zaman boyutunun belirlenmesini sağlar. Cihazın ark üretme hızı bir saniyede üretilen ark sayısı (Hertz) olarak ön pano üzerindeki Frekans Ayar Düğmesi ile ayarlanır.

Hız ölçümleri içeren bir deneyimizde elde edeceğimiz her ardarda iki nokta arasındaki sürenin, örneğin, 50 ms olmasını, dolayısıyla ark üretecinin her 50 ms'de bir ark üretmesini, diğer bir deyişle arkların periyodunun 50 ms (0.050 saniye) olmasını istiyorsak, cihazın bir saniyede (1:0.05 =) 20 ark üretmesini sağlamalıyız. O halde cihazın frekans ayarını saniyede 20 ark üretmeye, yani 20 Hz konumuna getirmeliyiz.

Benzer bir yaklaşımla, frekans ayarını 10 Hz'e getirerek cihazın bir saniyede 10 ark üretecek şekilde çalışmasını, dolayısıyla, iki ark – ya da deney kağıdımız üzerinde elde edeceğimiz peşpeşe iki nokta – arasında (1:10 =) 0.1 saniye süre olmasını sağlayabiliriz. Aşağıdaki tabloda ark üretecinin frekans ayarı ile deneysel noktaların zamanlanması arasındaki bu ilişki özet olarak verilmiştir.

Frekans Ayarı, *f*, (Hz) = Ark Üretim Hızı (ark/s) (s^{-1})	Ark Periyodu, 1/*f*, (s) = İki Nokta Arası Süre (s)

10	0.1
20	0.05
40	0.025
50	0.02
100	0.01

Deneylerimizde, disk merkezlerinin konumlarını gösteren - ve aralarındaki süreler bilinen - noktaların arasındaki uzaklıkları ölçerek disklerin hızlarını kolayca belirleyebiliriz. Örneğin, ark üretecinin frekans ayarı 10 Hz'de iken yapılan bir deneyde, iki nokta arasındaki uzaklık 3 mm (0.3 cm) ölçülmüş ise, diskin hızının (0.3 cm / 0.01 s =) 30 cm/s olduğu hesaplanacaktır.

Deneylerde kullanacağınız hızların verilerinizin değerlendirilmesi sırasında kolaylık sağlayacak uygun hızlar olması için, ölçüm almaya başlamadan önce bir kaç deneme yapmanız yararlı olacaktır. Böyle bir deneme çalışmasını aşağıdaki adımları izleyerek yapabilir, deneyiniz için uygun olacak disk hızlarına ve bunun için en uygun ark frekansının ne olması gerektiğine karar verebilirsiniz:

1. Hava masasının cam tablasının üzerine bir tabaka iletken karbon kağıt ve bunun üzerine de bir tabaka kayıt kağıdı yerleştirin. (Bu deneme çalışmasında tek disk kullanacağınız için, tablanın bir köşesinde kayıt kağıdının köşesini katlayıp kullanmayacağınız diski bu katlanmış parçanın üzerine koyun. Bu disk, altındaki katlanmış kağıt nedeniyle, hareket edemeyecek, fakat diskin merkezindeki elektrod iletken karbon kağıtla temas edeceği için de arzu ettiğimiz ark izlerinin oluşması engellenmeyecektir.)
2. Denemede kullanacağınız diski üzerindeki kalın plastik boru parçasından ("*sapından*") tutarken hava pompasını çalıştırın ve ardından diski yavaşça karşıya doğru itin. Diskin tablanın karşı tarafına varış süresini değerlendirin. Belirlediğiniz bu süreyi (*doğrusal hareketin incelendiği deneylerde genellikle yaklaşık 10 noktaya gerek duyulacağı için*) 10'a bölerek iki nokta (*iki ark*) arasındaki süreyi bulabilir, ark zamanlayıcısı üzerindeki frekans ayarlarından bu süreye karşılık gelen en yakın frekans ayarını seçebilirsiniz.

HAVA MASASI DENEY DÜZENEĞİNİN ÇALIŞTIRILMASI

1. Hava Masasının cam tablası üzerine iletken karbon kağıdı, onun üzerine de kayıtların işleneceği "beyaz" kağıdı koyun.
2. Hava pompasını çalıştırın ve diskleri tablanın orta bölgesinde serbest bırakın. Disklerin hareketini inceleyin; sağa sola ve ileri geri hareketlerini gözlemleyerek tablanın yatay olup olmadığını kontrol edin. Gerekiyorsa, yatay duruma getirmek için bundan önceki bölümde anlatıldığı gibi ayarlayın.
3. Ark üretecini açın ve frekans ayarını 10 Hz'e getirin. (Bu ayarda, cihazın saniyede 10 ark üreteceğini, dolayısıyla ardarda iki ark arasındaki sürenin 0.1 saniye olacağını hatırlayın.)
4. Diskleri tablanın ön kenarına yakın bir konumda ve aralarında yaklaşık 30 - 40 cm kadar açıklık olacak şekilde, "saplarından" tutarak, ark üretecinin kumanda pedalına basmaya hazırlanın.
5. Diskleri mümkün olduğu kadar tablanın ortasında çarpıştıracak şekilde yavaşça iterek bırakın ve hemen ark üretecinin kumanda pedalına basın. Diskler çarpıştıktan sonra tablanın kenarlarına iyice yaklaştıkları ana kadar pedala basmayı sürdürün. (Diskler kenarlara çarpıp geri dönmeden önce ayağınızı pedaldan çekin; böylece çarpışma öncesi ve sonrasındaki ark izlerine, tablanın kenarlarına çarpıp geri dönen disklerin ark izlerinin karışmasını önlemiş olacaksınız.)

Tek Diskle Yapılan Çalışmalar

Bazı deneylerde sadece bir disk kullanılacaktır. Eğik düzlemde sabit bir kuvvet altındaki hareket, yörüngelerde hareket, asılı bir kütlenin açısal hareketi, tek diskle yapılan deneylerle incelenebilir. Tek diskle yapılan bu deneylerde ikinci diskin de cam tabla üzerindeki karbon kağıdın üzerinde durması gerektiğini unutmayın. Yüksek voltajın geri dönebilmesi için iki diskin de iletken karbon kağıt üzerinde olması şarttır. Aksi takdirde, ark üretecinin ürettiği yüksek voltaj cihazın devrelerinin yanmasına neden olabilir.

UYARI:

Her iki disk beraber karbon kağıdı üzerinde değilken, Ark Üretecini asla çalıştırmayın.

DENEY-1 BİR BOYUTTA HAREKET: KONUM, HIZ VE İVME

Amaç:

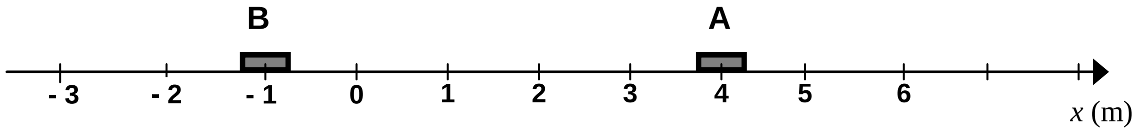
Bu deneyin amacı, bir eğik düzlem üzerinde hareket eden bir cismin hareketini, hız ve ivmesi arasındaki ilişkileri incelemektir.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:

Düz bir çizgi boyunca hareket eden bir cismin hareketini incelemek için genellikle hareket doğrultusunda bir eksen tanımlanır.



Eksenin bir ucundaki okbaşı pozitif kabul edilen hareket yönünü gösterir. Cismin yerini belirlemek için önce herhangi bir referans noktasını orijin (*başlangıç noktası*) "O" olarak tanımlamamız gerekir.

Cismin konumu işaretli bir sayı olarak yazılır. İşaret cismin orijine göre nerede yer aldığını (*oryantasyonunu*), sayı ise orijinden olan uzaklığını gösterir.

Yukarıdaki şekilde A'nın ve B'nin konumlarının, sırasıyla, $x_A = +4\,m$ ve $x_B = -1\,m$ olduğunu görüyoruz.

Bir cismin belirli bir zaman aralığındaki yerdeğiştirmesi, cismin son ve ilk konumları arasındaki fark olarak tanımlanır: $x_A = x_S - x_i$

Hız, yerdeğiştirmenin oluşum hızı olarak tanımlanır ve konum-zaman eğrisinin eğimi olarak görülebilir.

Ortalama Hız; $\bar{v} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ Anlık Hız; $v = \dfrac{dx}{dt}$

İvme, hızın belirli bir zaman aralığındaki değişmesinin hızıdır; hızdaki değişmenin gerçekleştiği zaman aralığına oranı olarak verilir:

Ortalama İvme; $\bar{a} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ Anlık İvme; $a = \dfrac{dv}{dt}$

Dolayısıyla ivme, hız-zaman eğrisinin eğimi ölçülerek bulunabilir.

Ayrıca, düzgün değişen doğrusal hareketi tanımlayan eşitlikler şunlardır;

$$V = V_0 \pm at$$

$$x = V_0 t \pm \frac{1}{2}at^2$$

$$V^2 = V_0^2 \pm 2ax$$

Denklemlerde; V_0 hareketlinin ilk hızını, a ivmesini, V ve x ise sırasıyla t süre sonundaki hızını ve bu süre zarfında aldığı yolu ifade etmektedir. Duran bir cisim, t=0 anında harekete başlayıp sabit ivme ile hızını sürekli olarak artırıyor ise bu cismin hareketine ilk hızsız düzgün hızlanan hareket denir. V_0=0 olduğu durumlarda yukarıdaki denklemler;

$$V = at$$

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

$$V^2 = 2ax$$

şeklini alır. Burada ikinci denklem;

$$\frac{x}{t^2} = \frac{a}{2}$$

formunda da yazılabilir. Bu eşitlik, konumun zamanın karesine bağlı değişim (x-t^2) grafiğinin eğiminin, hareketin ivmesinin yarısına eşit olduğunu göstermektedir.

Deneyin Yapılışı:

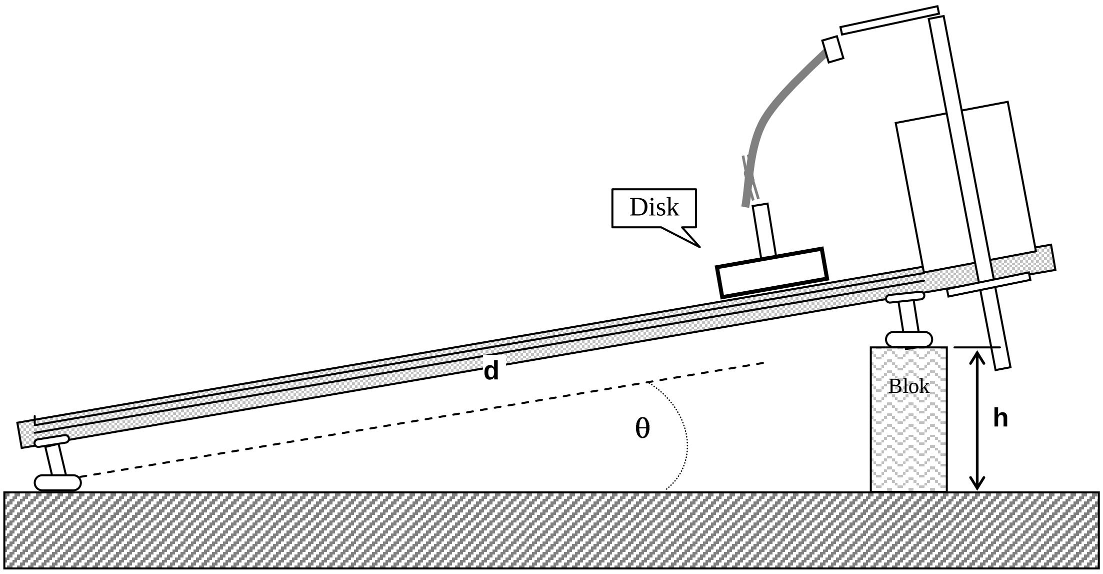
1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.

2. Hava masasını aşağıdaki Şekil 1'de görüldüğü gibi eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.

3. Şekil 1'de gösterilen ***h*** ve ***d*** mesafelerini ölçün.

h=………..cm d=………………cm

4. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.



Şekil 1 Eğik düzlem durumundaki hava masası

5. Disklerden birini cam levhanın bir köşesine koyun ve altına katlanmış bir kağıt parçası yerleştirerek hareketsiz kalmasını sağlayın.

6. Ark üretecinin frekansını f=10 Hz olarak ayarlayın.

7. Hava pompasını ve ark üretecini çalıştırarak aşağı inene kadar pedalları basılı tutun ve diskin konumunu zamanın bir fonksiyonu olarak ölçün.

8. Veri kağıdınızı hava masasından kaldırın. Noktalarınızı gözden geçirin ve 0, 1, 2, ... olarak numaralandırın. (İlk noktayı sıfır noktası olarak almayınız). İlk altı noktanın 0 noktasından uzaklıklarını ölçün ve her noktaya ait zamanı belirleyin. Bu uzaklık ve zaman verilerini aşağıdaki Tablo 1'e yazın.

Tablo 1. Hareketin konum zaman değerleri

Nokta No	X_n	t_n
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Ölçüm ve Hesaplamalar:

Deneyin analiz kısmı iki ayrı bölümde yapılacaktır.

Bölüm A:

1. Teorik ivmeyi hesaplayınız. Şekil 2-1 deki gibi eğik bir düzlemde diskin ivmesi, g yerçekimi ivmesi olmak üzere,

$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{g}\ \mathbf{sin}\theta = \dfrac{\boldsymbol{gh}}{\boldsymbol{d}}$ formulü ile hesaplanır. (**g=980 cm/s^{2}alınız**)

2. Tablo 1'e kaydedilmiş olan verilerden yararlanarak, Tablo 2'de boş bırakılan yerleri doldurunuz.

Tablo 2

Nokta No	X_n	t_n	X_{n+1}	X_{n-1}	t_{n+1}	t_{n-1}	v_n
0				XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXXX	.........?..........
1							
2							
3							
4							
5							
6			XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX

3. "$\boldsymbol{V_n}$ "değerlerini "$\boldsymbol{Vn} = \dfrac{\boldsymbol{X}\mathbf{n+1}-\boldsymbol{X}\mathbf{n-1}}{\boldsymbol{t}\mathbf{n+1}-\boldsymbol{t}\mathbf{n-1}}$ "formülünden yararlanarak hesaplayınız ve tabloya yerleştiriniz.

4. Tablo 2'ye kaydedilmiş olan verilerden yararlanarak milimetrik kağıda konum-zaman (**x-t**) grafiği çiziniz.

5. Tablo 2'ye kaydedilmiş olan verilerden yararlanarak milimetrik kağıda hız-zaman (**V-t**) grafiği çiziniz.

7. Hız-zaman grafiğinin eğiminden hareketlinin deneysel ivmesini bulunuz. ($\mathbf{a_{deneysel}}$)

8. İvme için % hata hesabı yapınız. (% $\mathbf{hata} = \dfrac{|\mathbf{Deneysel\ değer} - \mathbf{Teorik\ değer}|}{\mathbf{Teorik\ değer}}\mathbf{x100}$)

Bölüm B:

1. Tablo 1'e kaydedilmiş olan verilerden yararlanarak Tablo 3'te boş bırakılan yerleri uygun bir şekilde doldurunuz.

Tablo 3

Nokta No	X_n	t_n	t_n^2
0	$X_0= 0$	$t_0 =0$	$t_0^2 =0$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

2. Tablo 3'e kaydedilmiş olan verilerden yararlanarak milimetrik kağıda $\mathbf{x - t^2}$ grafiği çiziniz

3. Çizilen $\mathbf{x - t^2}$ garfiğinin eğiminden deneysel ivmeyi bulunuz ($\mathbf{a_{deneysel}}$=2tanα).

4. Bulduğunuz bu deneysel ivme değerleri için de % hata hesabı yapınız.

$$(\% \ \mathbf{hata} = \frac{|\mathbf{Deneysel\ değer - Teorik\ değer}|}{\mathbf{Teorik\ değer}} \mathbf{x100})$$

DENEY-2 İKİ BOYUTTA HAREKET

Amaç:

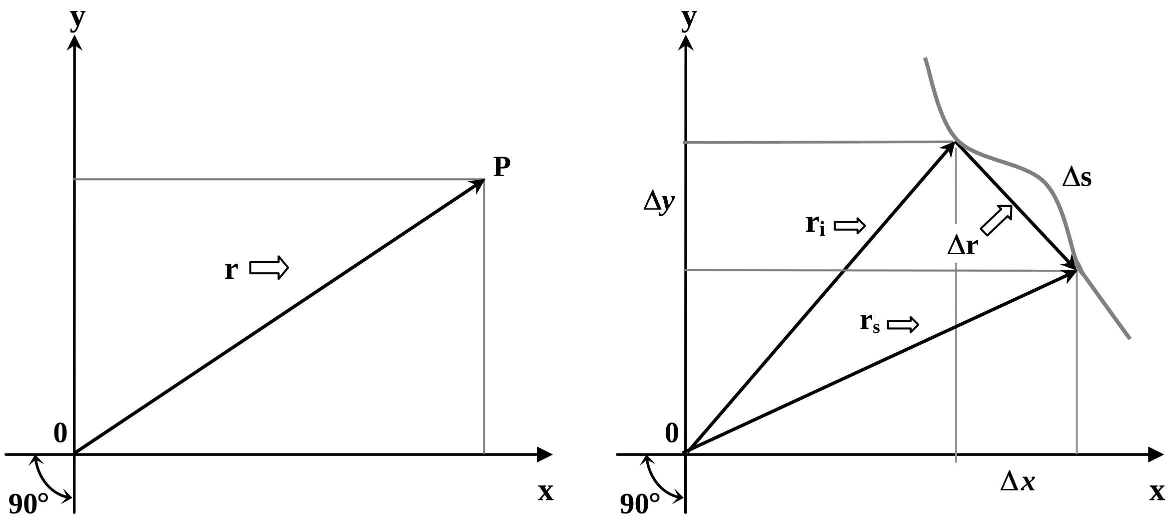
İki boyutta harekette (eğik atışta) konum, hız, sürat ve ivme kavramlarını incelemek.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:

Bir cismin bir düzlemdeki konumunu belirtmek için iki sayı gereklidir. Bunun bir yöntemi dikdörtgen koordinat sisteminden yararlanmaktır.



Şekil 1 Şekil 2

Şekil 1'deki P noktasının konumu, r = (x,y) konum vektörünün iki bileşenine göre verilebilir. *x*-bileşeni " $\Delta\bar{r} = \bar{r}_s - \bar{r}_i$ " nin *x*–ekseni üzerindeki izdüşümüdür. Bu bileşenin işareti, izdüşümün eksenle aynı yönde (+) ya da ters yönde (−) olduğunu gösterir.

Şekil 2'deki ' ***i* - *s*** ' eğrisi bir cismin Δt zaman aralığında izlediği yolu temsil etmektedir. $\bar{r}_i$ bu zaman aralığının başlangıcındaki, $\bar{r}_s$ ise sonundaki konum vektörüdür. $\Delta\bar{r} = \bar{r}_s - \bar{r}_i$ yerdeğiştirme vektörü, $\Delta x = x_s - x_i$ ve $\Delta y = y_s - y_i$ bileşenlerine sahiptir. Cismin katettiği mesafe Δs yayının uzunluğuna eşit skalar bir niceliktir.

Buna göre, bir hareketlinin ortalama ve anlık hız vektörleri;

$$\text{Ortalama Hız} \equiv \bar{v}_{ort} = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}, \frac{\Delta y}{\Delta t}\right) \qquad \text{Anlık Hız} \equiv \bar{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}\right)$$

şeklinde tanımlanır. Bir skalar nicelik olan *sürat* ise, Ortalama Sürat ≡ $v_{ort} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ Anlık Sürat ≡ $v = \dfrac{ds}{dt}$

eşitlikleri ile ifade edilir. Bu v sürati, $\bar{v}$ hız vektörünün büyüklüğü ya da uzunluğudur ve hız bileşenlerine

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$$

ifadesi ile bağıntılıdır. İvme için,

Ortalama İvme ≡ $\bar{a}_{ort} = \dfrac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \left(\dfrac{\Delta v_x}{\Delta t}, \dfrac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)$ Anlık İvme ≡ $\bar{a} = \dfrac{dv}{dt} = \left(\dfrac{dv_x}{dt}, \dfrac{dv_y}{dt}\right)$

ifadeleri yazılır.

Deneyin Yapılışı:

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.

2. Hava masasını eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.

3. Deney 1'de tanımlanan ***h*** ve ***d*** mesafelerini ölçün.

h=………..cm d=………………cm

4. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.

5. Disklerden birini cam levhanın bir köşesine koyun ve altına katlanmış bir kağıt parçası yerleştirerek hareketsiz kalmasını sağlayın.

6. Ark üretecinin frekansını f=10 Hz olarak ayarlayın.

7. Disk atıcıyı hava masasının alt tarafındaki köşelerden birine yakın bir noktaya, yatayla $\alpha=60^o$ açı yapacak biçimde yerleştirin. Hava pompasını çalıştırarak bir kaç atış denemesi yapın. En iyi yörüngeyi elde edinceye kadar disk atıcıyı ayarlayarak deneme atışlarınızı tekrarlayın.

8 Diski disk atıcısını kullanarak attığınız anda ark üretecinin ve hava pompasının kumanda pedallarına basın ve disk yörüngesini tamamlayıp alt kenara ulaşıncaya kadar pedallara basılı tutun.

9. Kağıdınızı - başlangıç tarafını işaretledikten sonra - cam tabladan kaldırın ve ark izlerini gözden geçirin. Noktaların net ve yeterli sayıda olup olmadığını kontrol edin. Kayıt yeterli değilse, deneyinizi tekrarlayın.

Ölçüm ve Hesaplamalar:

1. Kayıt kağıdınızın üzerinde düşey ve yatay eksenleri belirleyiniz.

2. Diskin yörüngesini belirten parabolik eğrinin başlangıcına en yakın ve net olarak görülen ark izini başlangıç noktası (sıfır noktası) olarak seçin. Bir gönye kullanarak ve dikey yön çizgisini referans alarak, seçmiş olduğunuz başlangıç noktasından geçen dikey ***y***-eksenini ve yatay ***x***-eksenini çizin.

3. Gönye yardımıyla yörünge üzerindeki her bir noktanın ***x***- ve ***y***-eksenlerine olan uzaklığını ölçün. Her bir noktanın ***x***-eksenine olan uzaklığı o noktanın ***y***-koordinatı, ***y***-eksenine olan uzaklığı da ***x***-koordinatı olacaktır. Bu değerleri Tablo 1'e kaydedin.

Tablo 1

Nokta No	X_n	Y_n	t_n	V_{xn}	V_{yn}	V_n
0					---	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

4. Her bir noktadan geçerkenki hızının *y* bileşenlerini, $\boldsymbol{V_{yn}} = \frac{Y\mathrm{n}+1-Y\mathrm{n}-1}{t\mathrm{n}+1-t\mathrm{n}-1}$ eşitliğini kullanarak hesaplayınız ve tabloya kaydediniz.

5. Tablo 1'deki verilerden yararlanarak milimetrik kağıda *x – t* grafiği çizerek hareketlinin x ekseni boyunca yaptığı hareketin sabit hızlı hareket olduğunu doğrulayınız. Çizmiş olduğunuz grafiğin eğiminden hareketlinin (herbir noktada aynı olan) yatay hız değerini (V_{xn}) bulunuz ve tabloya kaydediniz.

6. Cismin her bir noktadan geçerkenki süratini (V_n) pisagor bağıntısını kullanarak hesaplayınız ve tabloya kaydediniz.

7. Formül ile bulunamayan V_{yo} ilk hız bileşenini $V_{y0}=V_{x0}\tan\alpha$ eşitliğini kullanarak belirleyiniz.

8. Tablo 1'deki verilerden yararlanarak milimetrik kağıda $V_y – t$ grafiğini çiziniz ve hareketlinin *y* doğrultusundaki ivmesini grafiğin eğiminden bulunuz.

9. Bulduğunuz deneysel ivme değeri ile teorik ivme değeri arasında hata hesabı yapınız.

8. Tablo 1'deki verilerden yararlanarak milimetrik kağıda $y - t$ grafiği çizerek grafikten h_{max} yüksekliğini okuyunuz.

9. Cismin çıkabildiği maksimum yüksekliği $\boldsymbol{h_{max} = \frac{V_{0y}^2}{2a}}$ formülünden yararlanarak bulunuz ve grafikten okuduğunuz değer ile karşılaştırınız.

DENEY-3 NEWTON'UN HAREKET YASALARI

Amaç:

Bir boyutta harekette, ivme, kuvvet ve kütle arasındaki işlevsel bağımlılığı belirlemek.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:

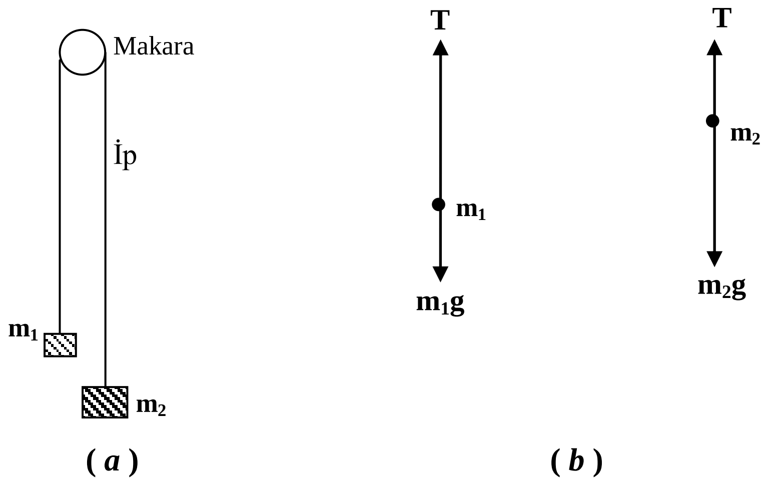
Başlangıçta hareketsiz halde olan bir cismi hareket ettirebilmek için, ona bir **kuvvet** uygulanması gerekir. Kuvvet bir vektör niceliktir ve SI birimi **Newton**'dur ($\boldsymbol{N}$).

Bir cisme etkiyen bir kaç kuvvetin vektörel toplamına bu kuvvetlerin **bileşke**si denir. Bir cismi ivmelendirmek için bir bileşke kuvvet gereklidir. İvmenin hız değişiminin hızı olduğunu hatırlayın. Deneyimlerimizden biliyoruz ki, başlangıçta hareketsiz duran bir cismi harekete geçirmek için ona bir bileşke kuvvetin etki etmesi gerekir; ve bunun sonucunda cisim giderek hızlanır. Benzer şekilde, zaten hareket halinde olan bir cismi yavaşlatmak veya durdurmak için de bir bileşke kuvvet gereklidir. Kuşkusuz, hareket etmekte olan bir cismin hareketinin yönünü değiştirmek için de ona bir bileşke kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bütün bu durumlarda, cisim, bileşke kuvvetin etkimesi altında ivmelenir (hızını değiştirir).

Bir cismin ivmesi onun üzerine etkiyen $\vec{F}$ bileşke kuvvetinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bu kuvvet ikiye katlandığında, ivme de iki katına çıkar. Bu demektir ki, kuvvetin büyüklüğünün ivmenin büyüklüğüne oranı bir sabittir. Bu orana cismin **kütle**si ($\boldsymbol{m}$) denir. Dolayısıyla, $\boldsymbol{m = F / a}$ ya da $\boldsymbol{F = ma}$ yazabiliriz. Bu ilişki, Newton'un İkinci Hareket Yasası olarak bilinir. $\vec{a}$'nın da $\vec{F}$'nin de vektör olduklarına ve bu vektörlerin aynı yönde olduklarına dikkat edin. xy-düzleminde hareket etmekte olan bir cismin üzerine bir kaç kuvvet etki ederken, bileşenler yöntemi ile, $\boldsymbol{\Sigma F_x}$ kuvvetlerin x-bileşenleri, $\boldsymbol{\Sigma F_y}$ kuvvetlerin y-bileşenleri olmak üzere, $\boldsymbol{\Sigma F_x = ma_x}$, $\boldsymbol{\Sigma F_y = ma_y}$ bulunur.

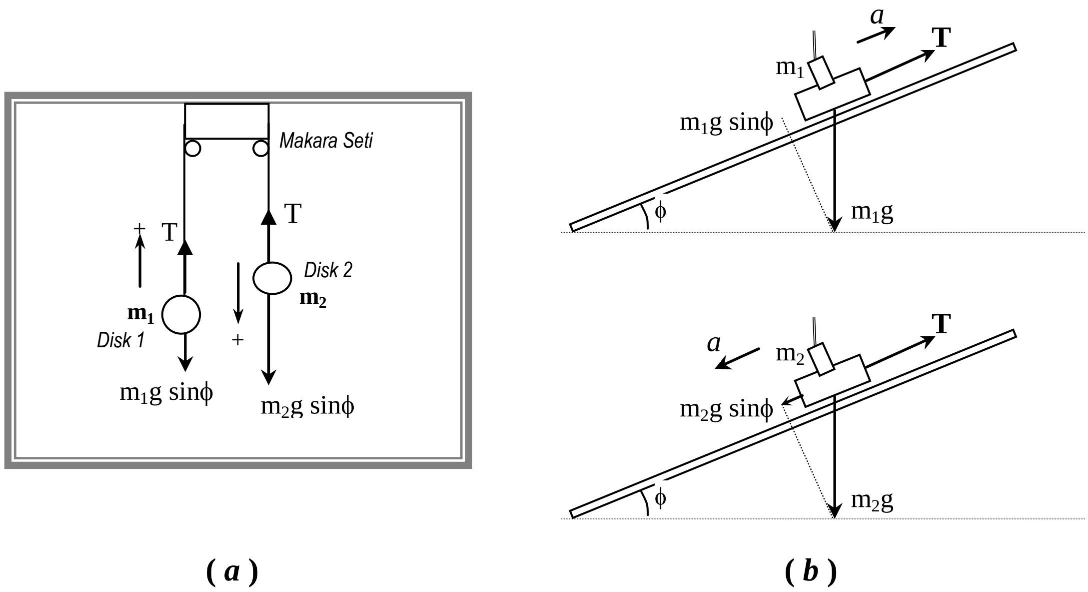
Atwood Makinası

Basit bir Atwood Makinası aşağıdaki Şekil 1.a'da görüldüğü gibi bir makaradan geçen bir iple bağlanmış m_1 ve m_2 ($m_2>m_1$) gibi iki kütleden oluşur. İki kütleli bu sistem hareketsiz durumda iken serbest bırakıldığında, daha ağır olan m_2 kütlesi **sabit** ivme ile aşağı doğru, m_1 kütlesi ise **aynı ivme** ile yukarı doğru hareket eder. Her bir kütle üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 1.b'de gösterilmiştir. $\boldsymbol{T}$ ipteki gerilmedir. m_2 kütlesi aşağı doğru ivmelenmesi, onun bu yönde bir bileşke kuvvete maruz kaldığını ve $\boldsymbol{m_2 g > T}$ olduğunu gösterir. Benzer nedenle, m_1 kütlesi için $\boldsymbol{m_1 g < T}$ olduğu anlaşılır.



Şekil 1: Atwood Makinası. (a) Kurulum. (b) İki kütle üzerine etkiyen kuvvetler.

Sistemin a ivmesi sabit olduğu için, ve her iki kütle de durmakta iken harekete geçtiğinden, $y = ½ at^2$ ilişkisinin geçerli olduğunu kolayca görebiliriz. Eğim açısı ϕ olmak üzere eğik düzlem durumuna getirilmiş olan bir hava masası üzerinde basit bir Atwood Makinası yapmak için, sistem Şekil 2.a'daki gibi kurulur. Burada makinadaki iki kütlenin yerini hava masasının iki diski alır. Disklerden birinin üzerine ek kütleler konularak o diskin kütlesi arttırılır.



Şekil 2: Eğimli bir Hava Masasının üzerinde bir Atwood Makinasının deneysel kurulumu.

Şekil 2.b'de gösterildiği gibi, daha büyük olan m_2 kütlesine eğik düzlem üzerinde iki kuvvet etki etmektedir: ipteki, yukarı doğru çeken $\boldsymbol{T}$ çekme kuvveti, ve m_2 kütlesinin ağırlığının

($\boldsymbol{m_2 g sin\phi}$) bileşeni. Bu kütle aşağı doğru ivmelendiği için, $\boldsymbol{T}$ çekme kuvveti $\boldsymbol{m_2 g sin\phi}$'den daha küçüktür; dolayısıyla m_2 kütlesine etki eden bileşke kuvvet için şu eşitliği yazabiliriz:

$$\boldsymbol{m_2 g sin\phi - T = m_2 a}$$

Aynı yaklaşımla, m_1 kütlesine etkiyen bileşke kuvvetin

$$\boldsymbol{T - m_1 g sin\phi = m_1 a}$$

olduğunu görebiliriz.

Bu iki eşitliği taraf tarafa toplayıp $\boldsymbol{T}$'yi elimine ederek, ivmeyi

$$\boldsymbol{a} = \frac{(\boldsymbol{m}_2 - \boldsymbol{m}_1)\boldsymbol{g}\sin\phi}{\boldsymbol{m}_1 + \boldsymbol{m}_2}$$

olarak bulabiliriz.

$\boldsymbol{a}$'nın bu değerini kullanarak ipteki çekme kuvveti için

$$\boldsymbol{T} = \frac{2\boldsymbol{m}_2\boldsymbol{m}_1\boldsymbol{g}\sin\phi}{\boldsymbol{m}_1 + \boldsymbol{m}_2}$$

elde ederiz.

Bu eşitliklerde, $\boldsymbol{g}$'nin yerçekimi ivmesi (=9.8 m/s^2 = 10 m/s^2) ve $\boldsymbol{\phi}$'nin hava masasının eğim açısı olduğunu hatırlayalım.

Deneyin Yapılışı:

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.

2. Hava masasını eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.

3. Deney 1'de tanımlanan ***h*** ve ***d*** mesafelerini ölçün.

h=………..cm d=………………cm

4. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.

5. Ark üretecinin frekansını f=10 Hz olarak ayarlayın.

6. Makara setinizi cam tablanın üst kenarının ortasına takın. Uçlarını disklere bağladığınız ipi Şekil 2.a'da görüldüğü gibi makaralardan geçirin. Sağdaki diskin (m_2) üzerinde ek kütleler olduğuna dikkat edin.

7. Soldaki (kütlesi daha küçük olan) diski (m_1) tabla üzerinde en aşağı pozisyona, diğer diski ise en yukarı pozisyona koyun. Sadece hava pompasını çalıştırarak, sistemi serbest bırakın ve iki diskin hareketini gözlemleyin. Bu hareketi tanıyabilmek için, bu denemeyi bir kaç kez tekrarlayın ve sonuncusunda diskleri serbest bırakırken ark üretecini de çalıştırın.

8. Kayıt kağıdınızı tabladan kaldırın ve kaydedilen ark izlerini gözden geçirin. Disklerin ne tür bir yol izlediğini ve her iki diskin de aynı tür hareketi yapıp yapmadığını kontrol edin.

Ölçüm ve Hesaplamalar:

1. İlk noktadan başlayarak, iki diskin bıraktığı noktaları kayıt kağıdının üzerinde 0, 1, 2, ..., n olarak numaralandırın. (Her diskin izlediği yolun ilk noktası 0 noktası olacaktır. Bu noktayı sıfır konumu ve sıfır zamanı için referans noktası olarak kullanın). Pozitif y-eksenini hareketin yönü olarak kabul edip, disklerin izlediği her iki yol üzerindeki beş veri noktasının konumunu ve zamanını 0 noktasına göre ölçün ve ölçümlerinizi aşağıda verilen Tablo 1'e yazın.

Tablo 1

Nokta No	m_1 kütlesi			m_2 kütlesi		
	Y_n(cm)	t_n(sn)	t_n^2(sn^2)	Y_n(cm)	t_n(sn)	t_n^2(sn^2)
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

2. Tablo 1'e kaydettiğiniz verileri kullanarak m_1 ve m_2 kütlelerinin her ikisi için, milimetrik kağıtlara ayrı ayrı $y - t^2$ grafiklerini çizerek grafiğin eğiminden disklerin ivmeleri (a_1, a_2) belirleyin. Bulduğunuz a_1, a_2 değerlerinin aritmetik ortalaması, deneysel ivme değerini verecektir.

3. Bulduğunuz deneysel ivme değerini kullanarak deneysel yerçekimi ivmesini hesaplayınız bulduğunuz değer ile yer çekimi ivmesinin teorik değeri arasında hata hesabı yapınız.

4. İpte oluşan gerilme kuvvetini (yer çekimi ivmesinin deneysel değerini kullanarak) hesaplayınız.

DENEY-4 ÇARPIŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU

Amaç:

İzole edilmiş bir sistemde esnek ve esnek olmayan çarpışma türlerinde lineer momentumun, enerjinin korunumunu ve iki-diskli sistemin çarpışma öncesi ve sonrası kütle merkezinin hareketini incelemek

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:

Bir cismin lineer (doğrusal) momentumu ($\vec{P}$), kütlesi ile hızının çarpımı olarak tanımlanır:

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

Dolayısıyla, hareketsiz duran bir cisim sıfır lineer momentuma sahip olacaktır. Yine, yukarıdaki tanımdan anlaşılacağı gibi, sabit kütleli bir cisim, hızı değişmediği sürece sabit bir momentuma sahip olacaktır (Bundan böyle lineer momentum kısaca momentum olarak anılacaktır). Bununla birlikte, biliyoruz ki bir cismin hızı ancak ona bir net dış kuvvet $\vec{F}_d$ uygulandığı zaman değişir. Bunun anlamı, bir cismin momentumunun ancak o cisim bir net dış kuvvetin etkisine uğradığı zaman değişecek olmasıdır. Bu gerçek aslında Newton'un ikinci yasasından da görülebilir. Sabit kütleli bir cisim için, Newton'un ikinci yasasının

$$\vec{F}_d = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \tag{2}$$

olduğunu biliyoruz. Kütle (m) sabit olduğunda, bunu

$$\vec{F}_d = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \tag{3}$$

şeklinde yazabiliriz. Yukarıdaki eşitlik, eğer bir cisme hiç bir net kuvvet etki etmiyorsa cismin momentumunun *korunacağı,* ya da cismin momentumunun *zamana karşı sabit olduğu* anlamındadır. Bir başka deyişle, eğer $\vec{F}_d = 0$ ise,

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \tag{4}$$

ya da,

$$\vec{P} = sabit \tag{5}$$

sonucuna varılır. Burada *sabit*, momentumun zamanla değişmeyeceği, yani cismin her zaman aynı momentuma sahip olacağı anlamındadır.

Yukarıdaki bu sonuç, sabit m_1, m_2, ..., m_N kütlelerinden oluşan N-parçacıklı bir sisteme genelleştirilebilir. Bu parçacıklar sisteminin herhangi bir andaki toplam momentumu,

$$\vec{P}_1 = m_1\vec{v}_1,\ \vec{P}_2 = m_2\vec{v}_2, \ldots\ldots, \vec{P}_N = m_N\vec{v}_N$$

olmak üzere,

$$\vec{P}_t = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N \tag{6}$$

şeklinde tanımlanır. Yukarıdaki eşitlikteki toplamın *cebirsel değil* **vektörel** bir toplam olduğu açıktır. Bu durumda, Eşitlik (3),

$$\vec{F}_d = \frac{d\vec{P}_t}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N) \tag{7}$$

şeklinde genelleşir. Buradaki $\vec{F}_d$ bu parçacıklar sisteminin dışındaki bir net kuvvet (sistemin parçacıklarının birbirine uyguladığı kuvvetlerden *(parçacıklar- arası kuvvetlerden)* başka herhangi bir kuvvet) anlamındadır. Bu kuvvet sürtünme kuvveti, yerçekimi kuvveti, ... gibi bir kuvvet olabilir. Dolayısıyla, eğer bu parçacıklar sistemi üzerine bu türden hiç bir net dış kuvvet etki etmiyorsa, sistemin toplam momentumu korunacaktır:

$$\frac{d\vec{P}_t}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N) = 0 \tag{8}$$

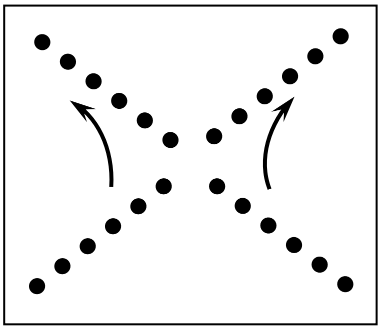
ya da,

$$\vec{P}_t = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N = sabit \tag{9}$$

Dolayısıyla, hiç bir net dış kuvvetin etkisinde olmayan bir parçacıklar sistemi, veya bir izole sistem, parçacıklar arasındaki herhangi bir çarpışmadan (karşılıklı etkileşmeden) bağımsız olarak, zaman içindeki herhangi bir anda aynı toplam momentuma sahip olacaktır.

Bu deneyde, yatay durumdaki bir hava masası üzerinde hareket eden iki diskten oluşan bir sistemin momentumunun korunumunu inceleyeceksiniz. Hava masası yatay olduğu için ve sürtünme hemen hemen tamamen yok edildiği için, üzerine yerleştirilen disklere hiç bir net dış kuvvet etki ettirmeyecektir. Bu nedenle disklerin toplam momentumunun korunmasını bekleriz.

Deneyde disklerin çarpışması sağlanacak ve çarpışmadan önceki ve sonraki toplam momentumları ölçülüp karşılaştırılacaktır. Veri kağıdınızda elde etmeniz gereken noktalaringenel şekli aşağıdaki Şekil 1'de gösterildiği gibi olacaktır:



Şekil 1. İki diskin yatay durumdaki bir hava masası üzerinde elastik çarpışmasındaki veri noktaları.

İki diskin hızları çarpışmadan önce $\boldsymbol{v_A}$ ve $\boldsymbol{v_B}$, çarpışmadan sonra $\boldsymbol{v_A'}$ ve $\boldsymbol{v_B'}$ olacaktır. Bu izole bir sistem olduğu için toplam momentum korunacaktır ve herhangi bir anda;

$$\boldsymbol{P_t = sabit} \tag{10}$$

ve dolayısıyla da, $P_A = m_A v_A$, $P_B = m_B v_B$, . . . olmak üzere,

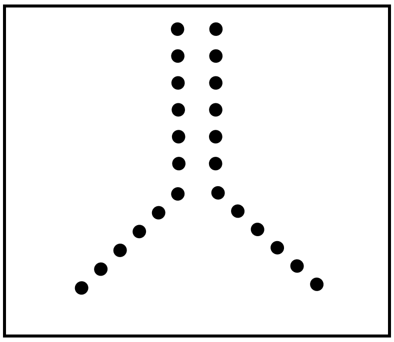
$$\boldsymbol{P_A + P_B = P_A' + P_B'} \tag{11}$$

bağıntıları geçerli olacaktır. Disklerin kütleleri aynı olduğundan, yukarıdaki ilişki aşağıdaki eşitliğe indirgenebilir:

$$\vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{A}} + \vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{B}} = \vec{\boldsymbol{v}}'_{\boldsymbol{A}} + \boldsymbol{v}'_{\boldsymbol{B}} \tag{12}$$

Eşitlik 12'deki toplam da vektöreldir ve bu toplamın geometrik olarak nasıl bulunacağı aşağıda açıklanmıştır:

Tamamıyla "elastik-olmayan" (*tamamen inelastik olan*) bir çarpışmada da, sistem yine izole bir sistem olduğu için, momentum korunacaktır. Böyle bir çarpışmada iki disk birbirine yapışacak ve v' hızıyla hareket eden, kütlesi *2m* olan tek bir cisim oluşturacaktır. Veri kağıdındaki noktalar aşağıdaki Şekil 2'dekine benzer olacaktır.



Şekil 2. İki diskin yatay durumdaki bir hava masası üzerinde tamamen inelastik çarpışmasındaki veri noktaları.

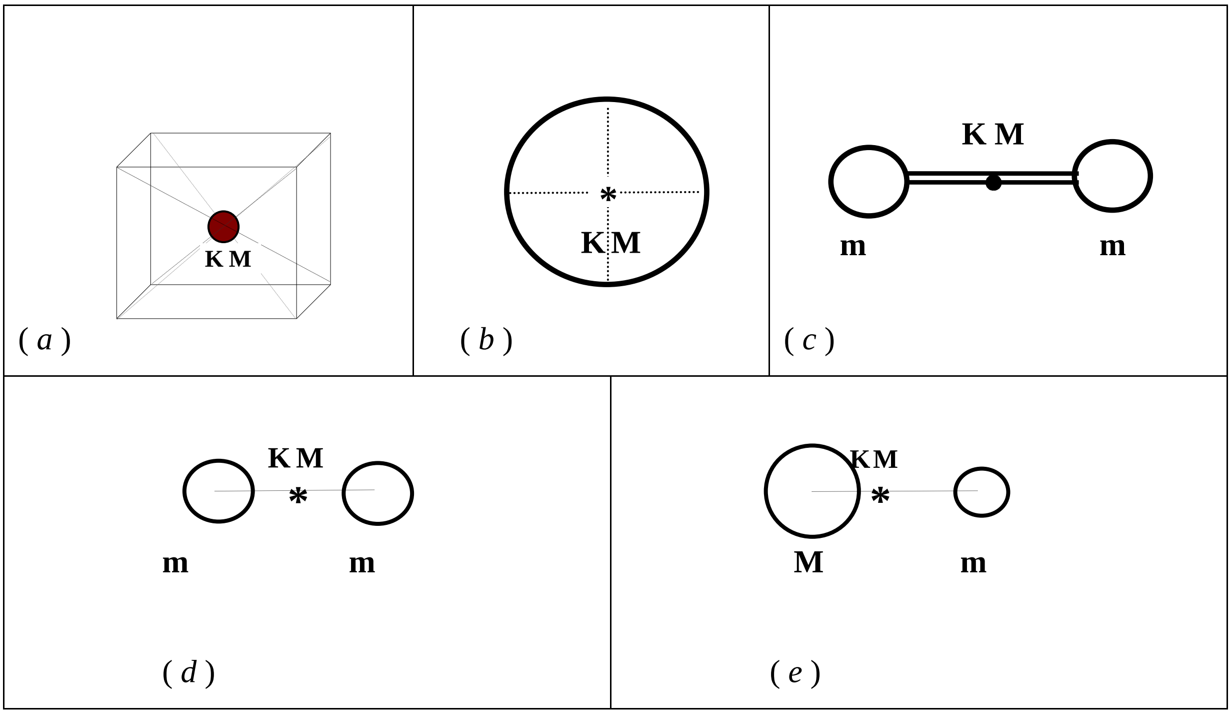
Çarpışma sırasında momentumun korunumu aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\boldsymbol{P_A + P_B = P'} \qquad (13)$$

ya da,

$$\boldsymbol{v_A + v_B = 2v'} \qquad (14)$$

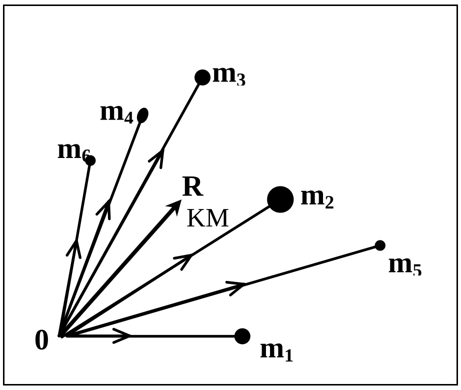
Bu deneyde tanıyıp inceleyeceğimiz bir başka kavram Kütle Merkezi (KM) kavramıdır. Homojen bir küpün ya da kürenin KM'nin bu simetrik cisimlerin geometrik merkezinde olacağını tahmin edebilirsiniz. Yine, Şekil 3.c'de görülen lobutun KM'nin iki topu birleştiren çubuğun orta noktasında olacağını da tahmin edebilirsiniz. Bunun gibi, birbirinin aynı iki homojen kürenin kütle merkezi bunların merkezlerini birleştiren bir çizginin tam orta noktasında olacaktır (Şekil 3.d). Eğer kürelerden biri daha ağır olsaydı, KM Şekil 3.e'de görüldüğü gibi daha ağır olan küreye doğru kayardı. Bu kaymanın miktarını *M* kütlesinin *m* kütlesinden ne kadar daha ağır olduğu belirler. Yukarıdaki örneklerden anlaşılacaktır ki bazı simetrik kütle dağılımlarının KM'nin konumunu tahmin etmek mümkündür. Örneğin, bu deneyin iki-diskli sisteminin KM'nin bunların merkezlerini birleştiren çizginin orta noktasında bulunacağını tahmin etmek zor değildir.



Şekil 3. Bazı simetrik homojen cisimlerin kütle merkezleri.

Daha genel kütle dağılımları için KM'nin tanımlanması yukarıdaki örneklerdeki kadar basit olamaz. Konum vektörleri, sırasıyla, r_1, r_2, . . . ,r_N olan m_1, m_2, . . .,m_N kütlelerinden oluşan bir parçacıklar sisteminin kütle merkezinin *R* konum vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır (*bkz. Şekil 4*):

$$\vec{R} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \ldots + m_N\vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \ldots + m_N} \tag{15}$$



Şekil 4. Bir kütleler dağılımının R kütle merkezi.

Parçacıklar zaman içinde konumlarını değiştirirlerken , KM'nin konumu da değişecektir. KM'nin R konum vektörünün değişme hızı KM'nin hızı olarak düşünülebilir:

$$\vec{V}_{KM} = \frac{d\vec{R}}{dt} \tag{16}$$

Kütlelerin sabit olduğu durumda, Eşitlik 15'in her iki tarafının zamana göre türevi alınarak,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \ldots + m_N\vec{v}_N}{m_1 + m_2 + \ldots + m_N} \tag{17}$$

elde edilir. İki-diskli sistemimiz için de,

$$\vec{R} = \frac{m\vec{r}_A + m\vec{r}_B}{m + m} \tag{18}$$

ve disklerin kütleleri aynı olduğu için,

$$\vec{R} = \frac{\vec{r}_A + \vec{r}_B}{2} \tag{19}$$

bulunur. Buna göre KM'nin hızı,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} \tag{20}$$

olacaktır.

Yukarıdaki eşitlikten önemli sonuçlar çıkarabiliriz. İlk olarak, yatay durumdaki hava masasının üzerindeki iki-disk sistemi için momentumun korunmasından dolayı eşitliğin sağ tarafının paydasının bir sabit olduğuna dikkat edin (*Bu eşitliği Eşitlik 12 ile kıyaslayın*). Bu paydanın sabit olması KM'nin hızının bu durum için sabit olduğunu gösterir. Başka bir deyişle, KM *sabit hızla* hareket etmektedir ("*Sabit hız*", hem büyüklük hem de yön olarak *sabit* anlamındadır). Dolayısıyla, toplam momentumun korunduğu izole bir sistem için, sistemin kütle merkezi daima bir doğru boyunca ve sabit hızla hareket eder. Üstelik, bu deneyde inceleyeceğimiz sistem için, herhangi bir anda, KM'nin hızı disklerin hızlarının vektörel toplamının yarısıdır. Bu nedenle de, iki-diskli sistemimizde çarpışma öncesi ve sonrasındaki hızlar için,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} = \vec{V}'_{KM} = \frac{\vec{v}'_A + \vec{v}'_B}{2} \qquad (21)$$

eşitliklerini yazabiliriz.

Kinetik Enerji

Bu deneyde, çarpışma sırasında disklerin kinetik enerjisinin korunumunu da araştıracağız. Kütlesi m ve lineer hızı v olan bir cismin K kinetik enerjisinin tanımını hatırlayın:

$$K = \tfrac{1}{2} m v^2 \qquad (24)$$

Dolayısıyla iki-diskli sistemin, bir elastik çarpışmadan önce ve sonraki toplam kinetik enerjileri;

$$K = \frac{1}{2} m v_A^2 + \frac{1}{2} m v_B^2 \qquad K' = \frac{1}{2} m v'^2_A + \frac{1}{2} m v'^2_B$$

olmalıdır. (Kinetik enerji bir skalar nicelik olduğu için, bu eşitliklerdeki toplamlar *cebirsel* toplamlardır.) İki diskin çarpışma sırasında birbirine yapışıp kütlesi $2m$ ve hızı $\vec{v}\,'$ olan tek bir cisim haline geldiği tamamen inelastik çarpışmada ise, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerji,

$$K' = \frac{1}{2}(2m)v'^2 = m v'^2 \qquad (27)$$

olacaktır. Bir elastik çarpışmada kinetik enerji hemen hemen korunurken (*K* = *K*'), tamamen inelastik çarpışmada, *tanımı gereği*, korunmaz. Kinetik enerjideki kaybı,

$$\textit{Fraksiyonel kayıp} = \frac{K - K'}{K} \qquad \textit{Yüzde kayıp} = \%\, \frac{K - K'}{K} \times 100$$

olarak tanımlayabiliriz.

Deneyin Yapılışı:

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.

2. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.

3. Ark üretecinin frekansını f=10 Hz olarak ayarlayın.

4. Önce sadece hava pompası çalışırken, masanın ortasında bir yerde çarpıştırmak için iki diski çapraz olarak birbirine doğru iterek denemeler yapın. Diskleri çok yavaş ya da çok hızlı itmeyin. İyi bir çarpışma yaptırmayı başarana kadar bu deneme atışlarını tekrarlayın.

5. Diskleri denemelerinizde yaptığınız gibi hava masasının ortasında çarpıştırmak üzere ittirip bıraktığınız anda ark üreteceni de çalıştırın. İki disk de hareketini tamamlayıncaya kadar ark üretecini çalıştırmaya devam edin.

8. Kayıt kağıdınızı tabladan kaldırıp yeni bir kağıt koyduktan sonra, iki diskin de çevresine "Velcro" bantlarını sıkıca geçirin. Bantların alt kenarlarının veri kağıdına temas etmemesine dikkat edin.

9. Önce sadece hava pompasını çalıştırarak, iki diskin masanın ortasına yakın bir yerde çarpışıp birbirine yapışarak harekete devam etmelerini sağlayacak biçimde, diskleri çapraz olarak birbirine doğru itip bırakarak alıştırmalar yapın. Çarpışmadan sonra disklerin dönme hareketi yapmamalarına özen gösterin.

10. Diskleri denemelerinizde yaptığınız gibi hava masasının ortasında çarpıştırmak üzere ittirip bıraktığınız anda ark üretecini de çalıştırın. Diskler hareketini tamamlayıncaya kadar ark üretecini çalıştırmaya devam edin.

11. Hava pompasını durdurun; ark üretecini kapatarak Kayıt kağıdınızı tabladan kaldırın.

Ölçüm ve Hesaplamalar:

Deneyin analiz kısmı iki ayrı bölümde yapılacaktır. Bölüm A'da, esnek çarpışmanın gerçekleştiği (disklerin çarpışıp ayrıldığı) durumda alınan veriler incelenecektir. Bölüm B'de ise "Velcro" bantlar kullanılarak gerçekleştirilen esnek olmayan çarpışmaya ait veri incelenecektir. kapsamaktadır

Bölüm A:

1. Deneyin ilk kısmında alınmış olan ve Şekil 1'de verilen örnektekine benzeyen izleri gözden geçirin. Disklerin çarpışma öncesinde izledikleri yolları $\boldsymbol{A}$ ve $\boldsymbol{B}$, çarpışma sonrasındakileri ise $\boldsymbol{A}'$ve $\boldsymbol{B}'$olarak işaretleyin.

2. Disklerin herbir yol üzerinde bıraktıkları noktaları 0, 1, 2, . . . , n şeklinde numaralandırın (İlk noktadan başlamanız gerekmez).

3. Her iki disk yolu üzerinde iki veya üç aralığın uzunluğunu ölçüp ilgili zaman aralığına bölerek, her bir diskin çarpışmadan önceki (V_A, V_B) ve sonraki (V_A', V_B') hızlarını bulun.

4. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ ve $\vec{v}_A' + \vec{v}_B'$ vektörel toplamlarını bularak momentumun korunumu hakkında yorum yapınız. Örneğin $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ toplamını bulmak için, *A* ve *B* yollarını kesişinceye kadar uzatın; sonra da kesişme noktasından başlayarak, $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ yönlerinde ve bu hızların büyüklükleri ile orantılı uzunluklarda vektörler çizin (Örneğin 10 cm/s hızı göstermek için 1 cm uzunluğunda bir vektör çizebilirsiniz). Hız vektörlerini çizdikten sonra vektör paralelogramlarını kapatarak toplam (*bileşke*) hız vektörlerini bulun.

5. Çarpışma öncesi ve sonrasında *aynı anda oluşan noktaları* belirleyin. Aynı anda oluşmuş her iki noktayı bir çizgi ile birleştirin. Her nokta çiftini birleştiren çizgi üzerinde KM'nin konumunu saptayın. Bu şekilde, çarpışma sırasında KM'nin konumunun nasıl değiştiğini gösteren bir kayıt elde edeceksiniz. Bu kaydı kullanarak, KM'nin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını bulun.

6. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjilerini bulun ve karşılaştırın.

Bölüm B:

1. Deneyin ikinci kısmında alınmış olan ve Şekil 2'de verilen örnektekine benzeyen izleri gözden geçirin. Disklerin çarpışma öncesinde izledikleri yolları $\boldsymbol{A}$ ve $\boldsymbol{B}$, çarpışma sonrasındaki ortak yolu ise $\boldsymbol{AB}$ olarak işaretleyin.

2. Bölüm A'daki yöntemle, her bir diskin çarpışmadan önceki (V_A, V_B) hızlarını ve sondurumdaki ortak (V_{AB}) hızını bulun.

3. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ vektörel toplamını ve $\vec{v}_{AB}$ hızını kullanarak momentumun korunumu hakkında yorum yapınız.

4. Çarpışma öncesi ve sonrasında *aynı anda oluşan noktaları* belirleyin. Aynı anda oluşmuş her iki noktayı bir çizgi ile birleştirin. Her nokta çiftini birleştiren çizgi üzerinde KM'nin konumunu saptayın. Bu şekilde, çarpışma sırasında KM'nin konumunun nasıl değiştiğini gösteren bir kayıt elde edeceksiniz. Bu kaydı kullanarak, KM'nin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını bulun.

5. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjilerini bulun ve karşılaştırın.

6. Disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki *toplam kinetik enerjilerini* bulun, *fraksiyonel kaybı* ve *yüzde fraksiyonelkaybı* hesaplayın.

DENEY-5 DÖNME HAREKETİ

Amaç:
Kütle merkezinden geçen bir eksen etrafında dönen bir diskin dinamiğini incelemek, bu diskin açısal hızını, açısal ivmesini ve eylemsizlik momentini bulmak.

Araç ve Gereçler:
Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:
Bir katı cisim, şekli bozulmayan veya bütün parçacık çiftleri arasındaki uzaklıkların sabit olduğu bir cisim olarak tanımlanır. Sabit bir eksen etrafında dönen katı bir cismin kütle dağılımına bağlı olarak eylemsizlik momenti vardır. Aynı cisim farklı dönme eksenleri için farklı eylemsizlik momentlerine sahip olabilir.

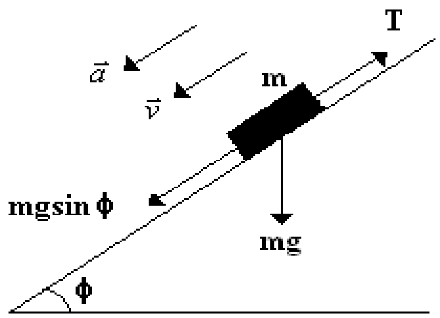
Katı bir cismi sabit eksen etrafında döndürmek için bir kuvvet uygulanmalıdır. Uygulanan bu kuvvetin döndürme etkisine ***tork*** veya ***moment*** denir. Uygulanan kuvvetin torku, o kuvvetin büyüklüğüne ve kuvvet koluna bağlıdır. Dönme ekseni ile uygulanan kuvvetin doğrultu çizgisi arasındaki dik mesafeye **kuvvet kolu** denir.

Eğer sabit bir eksen etrafında serbestçe dönme yeteneğine sahip katı bir cisme net bir tork etki ediyorsa, bu cisim açısal bir ivme kazanır.

$$\tau = I\alpha \qquad (1)$$

Burada I eylemsizlik momentini, τ torku, α açısal ivmeyi temsil etmektedir.

Kütlesi M ve yarıçapı R olan bir diski eğim verilmiş hava masasının üst tarafına tutturalım. Bu disk kütle merkezinden geçen ve eğim verilmiş hava masasının yüzeyine dik olan eksen etrafında sürtünmeden bağımsız olacak şekilde serbestçe dönebilmektedir. Bu diskin çevresine ip dolayalım ve ipin serbest ucuna m kütleli başka bir disk bağlayalım. Böylece iki diskli bir sistem kurmuş oluruz. Bu sistemi serbest bıraktığımızda m kütleli disk aşağıya doğru ivmelenerek inerken, M kütleli diskte dönmeye başlar.



Şekil 1.

m kütleli diske etki eden kuvvetler Şekil 1'de gösterilmiştir. Newton'un ikinci hareket yasasını kullanarak

$$mg\sin\phi - T = ma \tag{2}$$

bulunur. Burada ϕ hava masasının eğimi ve T de ipteki gerilmeyi göstermektedir. M kütlesine etki eden tork ise,

$$\tau = RT = I\alpha \tag{3}$$

şeklindedir. α , M kütleli diskin açısal ivmesidir ve m kütleli diskin çizgisel ivmesine

$$a = R\alpha \tag{4}$$

bağıntısıyla bağlıdır.

M kütleli diskin eylemsizlik momenti

$$I = \frac{MR^2}{2} \tag{5}$$

şeklindedir. Açısal ivme ve gerilme kuvveti denklem (2), (3), (4) ve (5)'i kullanarak sırasıyla,

$$\alpha = \frac{2m(g\sin\phi - a)}{MR} \tag{6}$$

ve

$$T = m(g\sin\phi - a) = \frac{MR\alpha}{2} \tag{7}$$

şeklinde elde edilir.

Eğer M kütleli disk $t_1 = 0$ anında w_0 açısal hızı ile harekete başlıyor ve sabit bir açısal ivme ile hızlanıyorsa, $t_2 = t$ anında açısal hızı

$$w = w_0 + \alpha t \tag{8}$$

olur.

Aynı zamanda w açısal hızını, denklem (6)'yı kullanarak;

$$w = w_0 + \frac{2m(g\sin\phi - a)t}{MR} \quad (9)$$

şeklinde de ifade edebiliriz. Eğer M kütleli diskin başlangıçtaki açısal hızı sıfır ($w_0 = 0$) ise;

$$w = \alpha t = \frac{2m(g\sin\phi - a)t}{MR} \quad (10)$$

olur.

M kütleli diskin dönme hareketinden dolayı bir kinetik enerjisi vardır. m kütleli disk hem kinetik enerjiye hem de potansiyel enerjiye sahiptir. Sistemin toplam kinetik enerjisi şöyle yazılır:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Iw^2 \quad (11)$$

m kütlesinin çizgisel hızı ve M kütleli diskin açısal hızı arasındaki bağıntı ise;

$$v = Rw \quad (12)$$

şeklindedir. Sistem ilk olarak hareketsiz ise $t_1 = 0$ anında sistemde sadece potansiyel enerji vardır. Sistemin toplam enerjisi U_T olsun. Eğer m kütleli diskin ilk konumu potansiyel enerji için referans noktası kabul edilirse sistemin başlangıçtaki toplam enerjisi $U_T = 0$ olur. m kütlesi aşağı doğru inip potansiyel enerji kaybettikçe iki diskin de kinetik enerjisi artar. m kütlesinin, eğim verilmiş hava masası üzerinde d kadar yol aldığını varsayalım. Bu noktadaki toplam enerji

$$-mgd\sin\phi + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Iw^2 = 0 \quad (13)$$

olur.

Deneyin Yapılışı:

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.

2. Hava masasını eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.

3. Deney 1'de tanımlanan ***h*** ve ***d*** mesafelerini ölçerek eğim açısının sinüsünü (*sinφ)* hesaplayınız.

h=………..cm   d=………………cm   sinφ=……………

4. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.

5. Ark üretecinin frekansını f=10 Hz olarak ayarlayın.

6. M kütleli makarayı eğimlenmiş hava masasının üst tarafına kütle merkezi etrafında serbestçe dönebilecek şekilde yerleştirip ipini etrafına dolayınız. Bu ipin boş kalan ucuna kütlesi disklerden birini bağlayıp, eğimlenmiş hava masası üzerinde en üst pozisyonda hareketsiz kalacak şekilde ayarlayınız. Diğer diski cam levhanın bir köşesine koyun ve altına katlanmış bir kağıt parçası yerleştirerek hareketsiz kalmasını sağlayın

7. Hava pompası ve ark üretecini aynı anda çalıştırarak, diskin aşağıya doğru indiğini ve M kütleli makaranın da döndüğünü gözlemleyiniz.

Ölçüm ve Hesaplamalar:

1. Deney kâğıdını çıkarınız ve m kütlesinin izlerini inceleyiniz, m kütlesinin hareketinin çeşidi nedir?

2. Hareketin yönünü pozitif y yönü alarak izlerin konumunu belirleyiniz. Sonra her izin konumunu ve m kütlesinin o konuma ulaşma zamanını Tablo 1'ekaydediniz.

Tablo 1.

Nokta No	*y*	*t*	t^2
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

3. Tablodaki verileri kullanarak konumun zamanın karesine karşı grafiğini çiziniz. Bu grafiğin eğimini kullanarak hareketin çizgisel ivmesini hesaplayınız.

4. Diskin yarıçapını (R) ölçünüz. Hava masasının yatayla yaptığı açı ϕ'yi bulduktan sonra açısal ivmeyi (α) denklem (6)'yı kullanarak hesaplayınız. Açısal ivmeyi denklem (4)'ü kullanarak tekrar hesaplayınız ve bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.

5. Denklem (7)'den ipteki gerilme kuvvetini hesaplayınız.

6. M kütleli diskin eylemsizlik momentini hem denklem (3) hem de denklem (5)'i kullanarak iki yoldan hesaplayınız. Sonra bu iki değeri karşılaştırınız.

7. (13) eşitliğini kullanarak toplam enerjinin korunduğunu gösteriniz.