T.C

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

FİZİK LABORATUVARI – I

DENEY FÖYÜ
Mekanik

SAKARYA 2011

T.C

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

FİZİK LABORATUVARI – I

DENEY FÖYÜ
Mekanik

SAKARYA 2011

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 değişik kaynak kitaplar kullanarak yazınız.

d) Deneyin yapılışı: Öncelikle deney şemasını nasıl kurduğunuzu kullandığınız aletleri ve ölçüleri nasıl aldığınızı yazdıktan sonra hesaplamaları yapınız. Eğer çizilmesi gereken grafik varsa milimetrik kağıt kullanarak hassas bir şekilde grafiğini çiziniz.

e) Sonuç, hata hesabı ve yorum: Deneyin bu kısmında hesapladığınız büyüklük ile ilgili 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 Magnetik Alan (B) Direnç Sığa İndüktans	Volt/metre veya Newton/Coulomb Weber/metre^2 (Wb/m^2) Ohm (Ω) = volt/amper Farad (F) = coulomb/volt Henry (H) = volt.saniye/amper	gauss = 10^{-4} Wb/m^2

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;

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

şeklinde ifade edilir.

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

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

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;

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

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

$$\Delta r = \left| f(x + \Delta x) - f(x) \right| \qquad (1)$$

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.

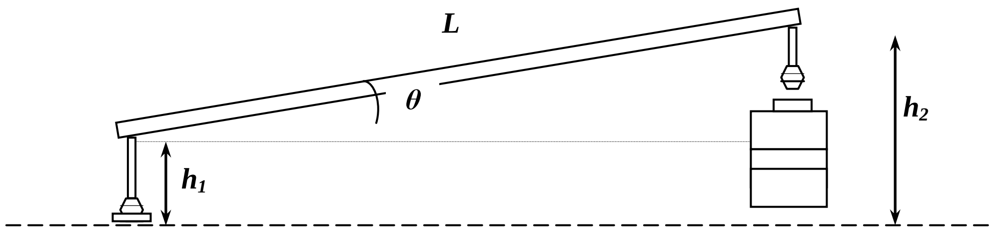
HAVA MASASININ EĞİK DÜZLEM DURUMUNA GETİRİLMESİ

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 NO: 1

DENEYİN ADI: SABİT HIZLI DOĞRUSAL HAREKETİN ANALİZİ

DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, hiç bir net kuvvetin etkisi altında olmaksızın hareket eden bir cismin düz bir çizgi üzerinde ve sabit hızla hareket edeceğini kanıtlamak ve bu hızı hesaplamaktır.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Temel Bilgiler:

Hareket, zaman içinde sürekli bir konum değişimidir. Farklı hareket türleri arasında en basit olanı bir doğru üzerindeki sabit hızlı harekettir. Bu tür harekette, hareket eden cisim düz bir çizgi boyunca, eşit zaman aralıklarında eşit uzaklıklar katederek yol alır. Newton'un birinci yasasına göre, üzerine bir net kuvvet etki etmedikçe, hareketsiz duran bir cisim hareketsiz kalacak, düz bir çizgi üzerinde sabit hızla hareket eden bir cisim ise hareketini aynı şekilde sürdürecektir. Dolayısıyla, sabit hızla bir doğru üzerinde hareket etmekte olan bir cisim herhangi bir net kuvvete maruz değildir. Bir başka deyişle, bu cisme etkiyen bileşke kuvvet sıfırdır.

Cisimlerin hareketini matematik diliyle anlatmak için, cisimler nokta parçacıklarla modellenir. Hareket halindeki cismin konumunu belirli bir koordinat sisteminin orijinine (bir referans noktasına) göre vermek için **konum vektörü** olarak bilinen bir r vektörü tanımlanır. Bu konum vektörünün zamanın bir fonksiyonu olacağı açıkça bellidir: $r \equiv r(t)$. Hareket etmekte olan bir parçacık (bir başka deyişle zamanla konumunu değiştirmekte olan bir parçacık), bir t_1 anında $\vec{r}_1(t_1)$, daha sonraki bir t_2 anında ise farklı bir $\vec{r}_2(t_2)$ konumunda olacaktır. $\vec{r}$'nin t'ye bağımlılığının açıklamalı biçimini parçacığın özgül hareket türü belirleyecektir. Bir parçacığın ortalama hızı v_{ort}, verilen bir zaman aralığında bu parçacığın konum vektöründeki ortalama değişim olarak tanımlanır. Buna göre, eğer t_1'de $\vec{r}_1 = \vec{r}(t_1)$ ve t_2'de $\vec{r}_2 = \vec{r}(t_2)$ ise, o halde

$$\vec{v}_{ort} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

(Buradaki “ Δ ”nın anlamı “ fark ”tır. Bunu, ölçümlerdeki hataları vermekte kullanılan “Δ” ile karıştırmayın!). Öte yandan, konum vektörünün her bir zaman anındaki değişim hızı olan **anlık hız**,

$$\vec{v}_a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{r}}{dt}$$

olarak tanımlanır. $\vec{v}_a$, $\vec{r}$ ’nin zamana göre türevidir ve bir vektör nicelik olduğu açıktır. Düzgün doğrusal harekette kavramlar biraz daha basittir. Bu tek-boyutlu bir hareket olduğu için, *x*-ekseni hareket yönünde alındığında, $\vec{r}\,(t)$ parçacığın şimdi *x*-ekseni boyunca yerdeğiştirmesi olacak olan *x(t)*’ye indirgenir. Bu durumda, ortalama hız

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

ve **anlık hız**

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

olacaktır. (Bu noktadan sonra anlık hız (v_a) terimindeki “$_a$” simgesi kaldırılacak, sadece v kullanılacaktır).

Yukarıda belirtilmiş olduğu gibi, *x*’in *t*’ye olan fonksiyonel bağımlılığı parçacığın sahip olduğu özgül hareket türü tarafından belirlenir. Bununla birlikte, sabit hızlı düzgün doğrusal hareket için, bu bağımlılığın genel biçimi tahmin edilebilir: Hız sabit olduğuna göre (ki bu anlık sabit hız demektir), parçacık için *dx/dt* sabit olmalıdır. Dolayısıyla, *x(t)*’nin genel şekli, b ve c sabit değerler olmak üzere, şöyle olmalıdır:

$$x(t) = bt + c$$

Bunun nedeni, yukarıdaki *x(t)* fonksiyonu için, ***dx/dt = b***’nin bir sabit olmasıdır. Açıktır ki, bu ***b*** sabiti parçacığın ***v*** hızından başka bir şey değildir. Diğer sabit ***c*** için ise, ***t = 0*** alınarak

$$x(t=0) \equiv x(0) = c$$

olduğu görülür. Buna göre ***c***, parçacığın ***t=0*** anındaki konumudur ve biz onu x_0 olarak belirteceğiz. Dolayısıyla, düz bir çizgi üzerinde sabit hızla hareket etmekte olan bir parçacığın *x(t)* yerdeğiştirmesi, zamanın bir fonksiyonu olarak, aşağıdaki gibi verilecektir:

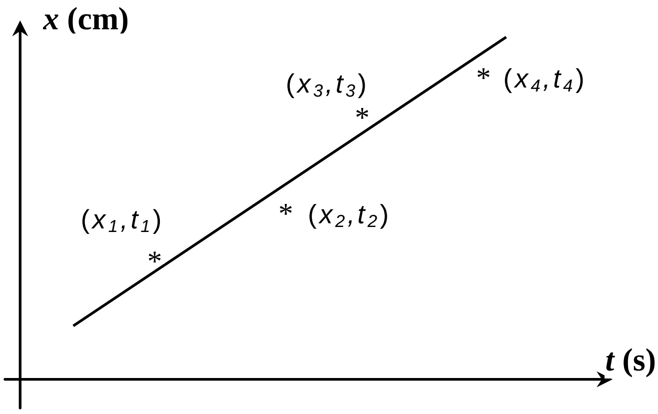
$$x(t) = vt + x_0$$

Eğer ***t = 0*** iken parçacık orijinde idiyse, o halde $x_0 = 0$ ve

$$x(t) = vt$$

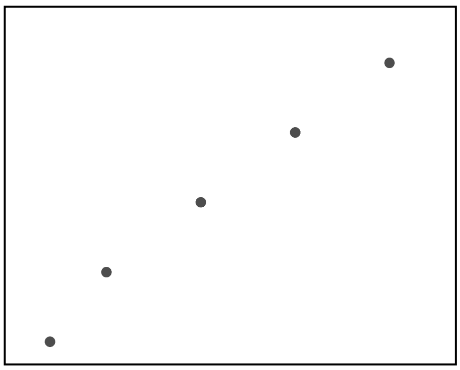
olacaktır.

Bir doğru üzerinde sabit hızla hareket eden bir parçacık için, eğer x konumunun farklı anlardaki farklı ölçümleri alınır, bu ölçümlerle (x_1, t_1), (x_2, t_2), . . .*vb*., olarak bir veri tablosu oluşturulur, sonra da bu veriler kullanılarak bir $x - t$ grafiği çizilirse, bir doğru elde edileceği yukarıdaki ilişkiden açıkça belli olmaktadır (bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1-1. Bir doğru üzerinde sabit hızla hareket etmekte olan bir cismin $x - t$ grafiği.

Bu deneyde, bir doğru üzerinde sabit hızla hareket eden bir cismin hızını inceleyecek, analiz edecek ve hesaplayacaksınız. Hava masasının yüzeyi üzerinde hareket eden disk parçacık olarak düşünülecektir. Yatay durumdaki bir hava masasının üzerinde serbestçe hareket edecek şekilde bırakılan bir diskin üzerine, hava masası yatay ve sürtünme hemen hemen elimine edilmiş olduğu için, hiç bir net kuvvetin etki etmediği kabul edilebilir.
Dolayısıyla, eğer bir diski bu hava masasının üzerinde iterseniz, itip bıraktığınız anda bir doğru üzerinde sabit hızla hareket edecektir. Hareketi analiz etmek için gerekli olan, parçacığın farklı anlardaki konumunun x-t kaydı, veri kağıdı üzerindeki ark izleri ile sağlanacaktır (*Şekil 1-2*).

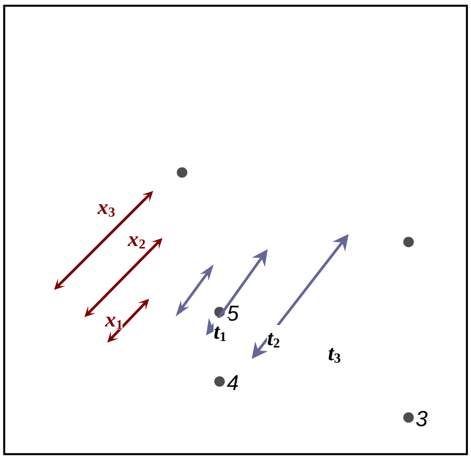


Şekil 1-2. Veri kağıdı üzerinde diskin bıraktığı izler.

Belirli bir noktadan (örneğin birinci noktadan) olan x yerdeğiştirmesi, bir cetvelle doğrudan ölçülebilir. Bu yerdeğiştirmenin gerçekleşmesi için geçen zaman, referans noktasından itibaren aralıkları sayarak ve bu aralık sayısını ardarda iki nokta arasındaki zaman aralığı ile çarparak belirlenebilir. (Ark üretecinin frekansı (f) bilindiğinden, ardarda iki nokta arasındaki zaman aralığı ($1/f$) kolayca hesaplanır.)

Deneyin Yapılışı:

1. Hava Masasını yatay duruma getirin.
2. Önce iletken karbon kağıdı, ardından da veri kağıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.
3. Disklerden birini cam levhanın bir köşesine koyun ve altına katlanmış bir kağıt parçası yerleştirerek hareketsiz kalmasını sağlayın.
4. Ark üretecinin frekansını 20 Hz'e ayarlayın.
5. Hava pompasını çalıştırın ve diski hava masasının üzerinde bir köşeden çaprazındaki karşı köşeye doğru itin ve serbest bıraktığınız anda kumanda pedalına basarak ark üretecini çalıştırın. Disk hava masasının üzerinde karşı köşeye varıncaya kadar pedalları basılı tutun.
6. Disk karşı köşeye varmadan hemen önce pedalları serbest bırakarak ark üretecini ve hava pompasını durdurun. Veri kağıdınızı hava masasından kaldırın. Noktalarınızı gözden geçirin ve 0, 1, 2, ... olarak numaralandırın. İlk nokta sıfır noktası olarak alınabilir. İlk beş noktanın 0 noktasından uzaklıklarını ölçün (bkz. Şekil 1-3) ve her noktaya ait zamanı belirleyin. Bu uzaklık ve zaman verilerini aşağıdaki Tablo 1-1'e yazın. Bu tablodaki x ve t ölçümleri ilgili hata değerleri ile birlikte ($x \pm \Delta x$ ve $t \pm \Delta t$ şeklinde) yazılmalıdır.



Şekil 1-3. Veri noktalarının analizi.

7. Bir lineer grafik kağıdına, Tablo1-1'deki veri noktalarını kullanarak zamana (t) karşı konum (x) grafiğini çizin. Bağımlı değişken olan konumu santimetre olarak düşey eksende ve zamanı saniye olarak yatay eksende işleyin. Grafiğin eksenlerini adlandırın ve üstlerine ilgili birimleri yazın. Veri noktalarını hata aralıklarını göstererek işleyin. Veri noktalarının dağılımının bir doğru çakıştırmasına uygun olduğuna dikkat edin. Bu beklenen bir sonuç mudur? Verileriniz için en iyi ve en kötü olan doğruları çizin.
8. En iyi ve en kötü noktaların eğimlerini (mi ve mk) bulun. Eğimdeki hatayı (belirsizliği) hesaplayın: $\Delta m = |m_i - m_k|$. Bu eğimlerden v ± Δv'yi bulun.
9. Tablo 1-1'deki verileri kullanarak Tablo 1-2'yi oluşturun. Her aralık için ortalama hızı bulun ve doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak tabloya yazın.

Veriler ve Sonuçlar:

Grafik ve Anlık Hız:

1. x ve t ölçümlerinizi ilgili hata değerleri ile birlikte aşağıdaki Tablo 1-1'e yazın.

Nokta numarası	Konum $x \pm \Delta x$ (cm)	Zaman $t \pm \Delta t$ (s)
0	0	0
1		
2		
3		
4		
5		

Tablo 1-1

2. Veri kağıdınızdaki veri noktalarının aralıkları düzgün mü? Bu beklenen bir sonuç mudur? Neden?

3. Bir zaman ölçümü için Δt hata miktarının nasıl bulunduğunu gösterin.
4. m_i = ... cm/s

   m_k = ... cm/s

   $\Delta m = |m_i - m_k|$ = ... cm/s

5. Grafiğin eğiminden bulunan v değerini doğru sayıda anlamlı rakamla yazın:

   v ± Δv = ... cm/s

Ortalama Hız:

6. Tablo 1-1'i kullanarak aşağıdaki Tablo 1-2'yi oluşturun.

Aralık	x_i $\pm\ \Delta x_i$ (cm)	x_{i+1} $\pm\ \Delta x_{i+1}$ (cm)	x_{i+1}-x_i $\pm\ \Delta x_{i+1}$-x_i (cm)	t_i $\pm\ \Delta t_i$ (cm)	t_{i+1} $\pm\Delta t_{i+1}$ (cm)	t_{i+1}-t_i $\pm\Delta t_{i+1}$-t_i (cm)	v_{ort} $\pm\ \Delta v_{ort}$ (cm/s)
0-1							
1-2							
2-3							
3-4							
4-5							

Tablo 1-2

7. Herhangi bir aralık için, v_{ort}'daki Δv_{ort} hata miktarının nasıl hesaplandığını gösterin.

8. Tablo 1-2'deki her aralık için hesaplanan ortalama hızın grafikten hesaplanan hızla karşılaştırmasını yapın.

DENEY NO:2

DENEYİN ADI: BİR BOYUTLU KİNEMATİK

DENEYİN AMACI:

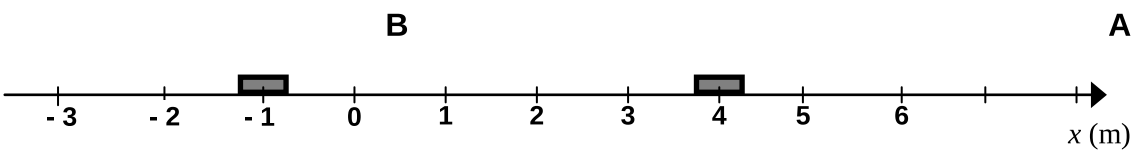
Bu deneyin amacı, bir eğik düzlem üzerinde hareket eden bir cismin hareketini, konum, hız ve ivmesi arasındaki ilişkileri incelemektir.

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; $v = \dfrac{dx}{dt}$

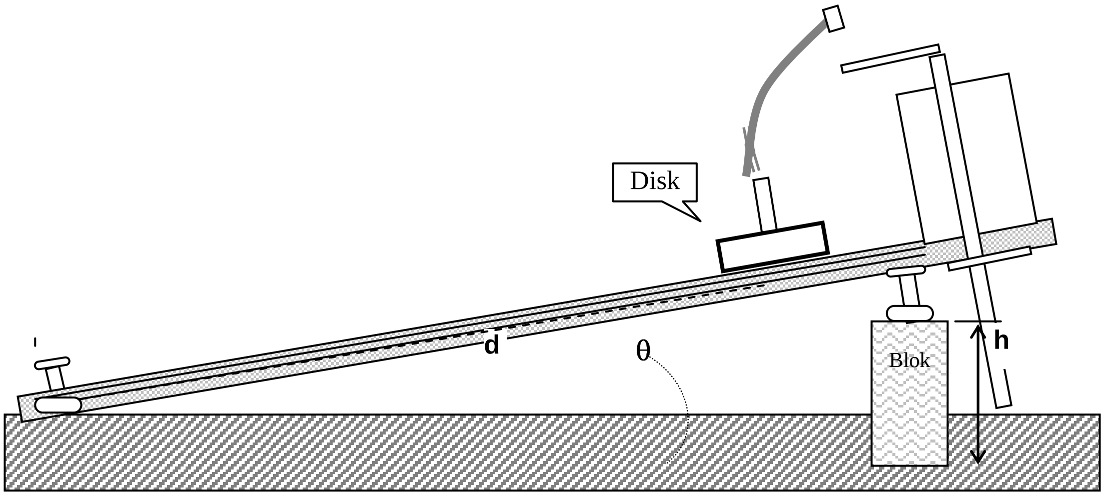
İvme, hızın belirli bir zaman aralığındaki değişmesinin hızıdır; hızdaki değişmenin gerçekleştiği zaman aralığına oranı olarak verilir:

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

Dolayısıyla ivme hız-zaman eğrisinin eğimi ölçülerek bulunabilir.

Deneyin Yapılışı:

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.
2. Hava masasını aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.



Şekil 2. Eğik düzlem durumundaki hava masası

Yukarıdaki gibi eğik bir düzlemde diskin ivmesi, g yerçekimi ivmesi olmak üzere,

$$a = g \sin\theta = \frac{gh}{d}$$

şeklinde yazılabilir.

3. Diskin hava masasının yüzeyinde üst kenardan alt kenara kadar hareket etmesi için geçen toplam süreyi bir kaç deneme yaparak belirleyin ve bu hareket sırasında 10 – 20 nokta elde etmenizi sağlayacak bir ark frekansı seçin.
4. Cam tablanın üzerine iletken karbon kağıdı ve bir kayıt kağıdı yerleştirip diskin konumunu zamanın bir fonksiyonu olarak ölçün. (Diski serbest bırakırken yanlara doğru bir hareket vermemeye dikkat edin.)

5. İyi bir kayıt elde ettiğinizde, Şekil 2'de gösterilen ***h*** ve ***d*** mesafelerini ölçün.

Verilerin Analizi:

Zaman, konum ve hızı içerecek bir tablo oluşturun. Ölçülen bütün niceliklerdeki belirsizlikleri değerlendirin.

1. Net olarak gördüğünüz ilk noktayı orijin (*sıfır noktası*) olarak seçin. Bu başlangıç noktası ile diğer noktalar arasındaki uzaklıkları ölçün ve zamanın bir fonksiyonu olarak tablonuza işleyin.
2. t_{n-1} ile t_{n+1} arasındaki zaman aralığını ve o aralıktaki yerdeğiştirme (*deplasman*) miktarını kullanarak t_n hızlarını hesaplayın. Sonuçları tabloya girin.
3. Deneysel noktalara en iyi uyan yumuşatılmış eğriler çizerek, zamana karşı konum ve zamana karşı hız için birer grafik yapın.
4. Hız-zaman grafiğinde diskin ilk hızını ve ivmesini ölçün. Hız-zaman eğrinizi temsil eden eşitliği yazın.
5. Zamanın bir fonksiyonu olan ifadeyi belirlemek için, türevi 4. adımda elde ettiğiniz fonksiyona eşit olan bir fonksiyon bulun. Konum için bu ifadeyi, deneysel verilerinizle aynı kağıt üzerinde grafiğe geçirerek kontrol edin.
6. Ölçülen ivmeleri ve deneyin 5. adımında aldığınız ölçümleri kullanarak, yerel yerçekimi ivmesini hesaplayın. Bulduğunuz bu değeri, bulunduğunuz yerin enlemi ve deniz seviyesinden yüksekliği için kabul edilmiş olan değerlerle karşılaştırın.

Sorular:

1. "Verilerin Analizi"ndeki 2. adımda, t_{n-1} ile t_{n+1} zamanları arasındaki ortalama hızı kullanarak t_n zamanındaki hızı yaklaşık olarak buluyoruz. Konum – zaman grafiğinizden yararlanarak bunun doğru bir uygulama olduğunu gösterin.
2. Orijin olarak farklı bir nokta seçmiş olsaydınız, bu sizin ivme değerinizi, hız ve konum grafiklerinizi ve eşitliklerinizi nasıl etkilerdi?
3. Diski sıfır zamanından ne kadar önce serbest bırakmıştınız? Bu sürenin hız-zaman eğrinizden nasıl okunabileceğini açıklayın.

DENEY NO:3

DENEYİN ADI: BİR BOYUTTA HAREKET: KONUM, HIZ ve İVME

DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, eğimli bir düzlemde hareket eden bir cismin hareketini, konumu ile hızı ve ivmesi arasındaki ilişkiyi incelemektir.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Deneyin Yapılışı:

1. Hava Masası Deney Düzeneğini deney için hazır hale getirin:

1.1. Hava Masasını önce yatay olacak şekilde ayarlayın.

1.2. Hava Masasını Şekil nn'de görüldüğü gibi eğik düzlem durumuna getirin.

Arka ayağın altına yerleştirdiğiniz ahşap bloğun yüksekliğini ($\boldsymbol{h}$) ve arka ayak ile ön ayakları birleştiren bir doğru arasında kalan açıklığı ($\boldsymbol{d}$) not edin. Bu iki uzunluğu kullanarak, cam tablanın eğimini ($\boldsymbol{\theta}$) hesaplayabilirsiniz.

1.3. Diskin eğik düzlem üzerinde tablanın yukarı kenarından aşağı kenara kadar hareket etmesi için geçen zamanı, sadece hava pompasını çalıştırırken, bir iki deneme yaparak belirleyin. (Bu denemeler sırasında diskin yanlara doğru kaymamasını sağlamaya özen gösterin.) Diskin cam tablayı yukarı kenardan aşağı kenara kadar katetmesi için geçen bu süre içinde 10 – 20 nokta elde etmek için gereken ark üreteci frekans ayarını bulun. Ark Üretecinin frekansını buna göre ayarlayın. [(*)]

1.4. Cam tabla üzerine iletken karbon kağıdı, onun üzerine de kayıt kağıdınızı yerleştirin.

1.5. Bu deneyde tek bir diskin hareketi incelenecektir. Ancak, ikinci diskin de deney sırasında cam tabla üzerinde ve iletken karbon kağıda temas eder durumda bulunması gerektiğini unutmayın. (Tablanın alt kenarının bir köşesinde kayıt kağıdınızın köşesini katlayın; ikinci diski bu katladığınız kısmın üzerine koyun.)

2. Diski tablanın yukarı kenarından serbest bıraktığınız anda ark üretecinin ve hava pompasının kumanda pedallarına basın. Disk alt kenara değdiği zaman ark üretecinin pedalından, ardından da hava pompasının pedalından ayağınızı çekin. Ark Üretecini kapatın.

3. Kayıt kağıdınızı - üst kenarını işaretledikten sonra - cam tabladan kaldırın ve ark izlerini gözden geçirin. Noktaların net, yeterli sayıda ve düzgün bir hat üzerinde olduklarını kontrol edin. Kayıt yeterli değilse, deneyinizi tekrarlayın.

(*) **NOT:**

Hava Masasının ön (aşağı) ve arka (yukarı) kenarları arasındaki mesafenin yaklaşık 50 cm olduğunu düşünelim. Bu mesafe içinde (*0 noktası hariç*) 10 nokta alınırsa, noktalar arasında yaklaşık 5 cm açıklık olacaktır. Noktaların bu kadar seyrek olması iyi sonuç vermeyebilir. Daha sık, örneğin yaklaşık 1 cm aralıklarla 50 nokta elde edebilirsiniz.

Diskin hareket süresinin 5 saniye olduğunu belirlediğinizi varsayalım. Buna göre 5 saniye içinde aralarında yaklaşık 1 cm açıklık olan 50 nokta elde etmek isteyebilirsiniz. Bu da 1 saniyede 10 ark oluşması gerektiği anlamına gelir. Bunun için de Ark Üretecinin frekans ayarını 10 Hz'e getirmelisiniz.

Ölçümler:

1. Net olarak gördüğünüz ilk noktayı başlangıç noktası olarak seçin. Diğer noktaların bu başlangıç noktasına uzaklıklarını ölçün. Bu ölçümleri, zamana karşı, Tablo 1'e kaydedin.

t **(s)**	***x*** **(cm)**	***t*** **(s)**	***x*** **(cm)**	***t*** **(s)**	***x*** **(cm)**	***t*** **(s)**	***x*** **(cm)**

Tablo 1. Bir Boyutta Hareket Deneyi Ölçümleri.

2. t_{n-1} ve t_{n+1} arasındaki yerdeğiştirme ve zaman aralığını ölçün ve Tablo 2'ye kaydedin.

Zaman (s)		Konum (cm)		Zaman (s)		Konum (cm)	
t_{n-1}		x_{n-1}		t_{n-1}		x_{n-1}	
t_{n+1}		x_{n+1}		t_{n+1}		x_{n+1}	
Δt		Δx		Δt		Δx	

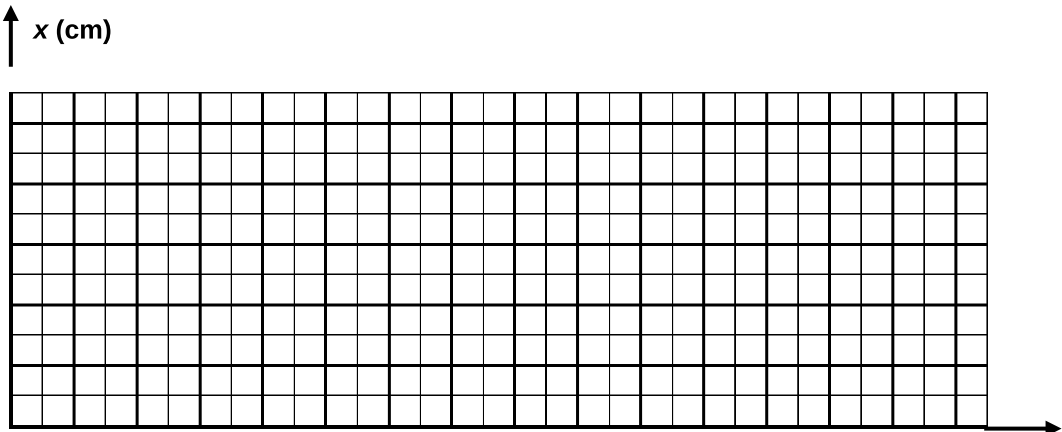
Tablo 2. Zaman – Konum Aralıkları.

3. ***h*** ve ***d*** uzunluklarını yazın: ***h*** = ... cm

d = ... cm

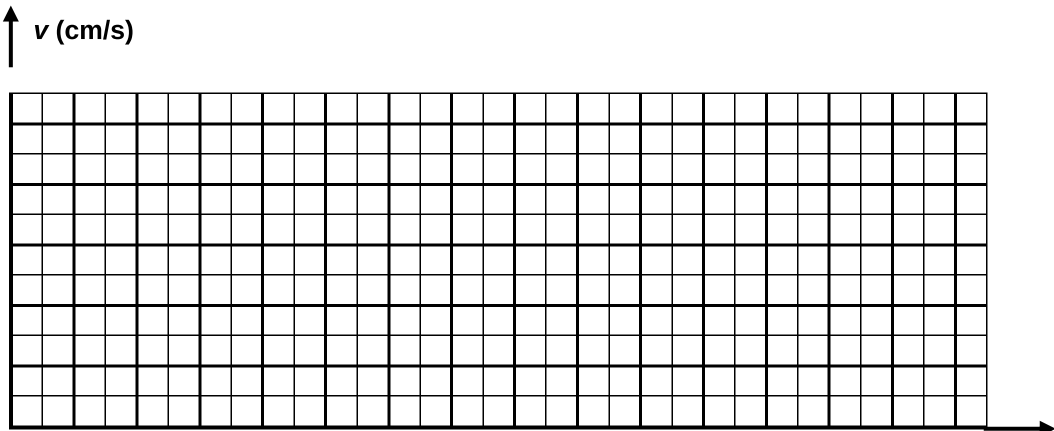
Hesaplama ve Grafikler:

1. Yukarıdaki 2. adımda aldığınız ölçümleri kullanarak diskin t_n anındaki hızını hesaplayın.
2. ***Konum – Zaman*** ve ***Hız – Zaman*** grafiklerini çizin:



Konum – Zaman Grafiği

***t* (s)**



Hız – Zaman Grafiği

***t* (s)**

3. Hız – Zaman eğrisini gösteren eşitliği belirleyin:

$\boldsymbol{v} =$

4. Hız – Zaman grafiğinde cismin ilk hızını ve ivmesini bulun:

$\boldsymbol{v}_{\mathbf{i}} =$

$\boldsymbol{a}_{\mathbf{i}} =$

Sorular:

1. $\boldsymbol{t}_{\mathbf{n-1}}$ ve $\boldsymbol{t}_{\mathbf{n+1}}$ arasındaki ortalama hızı kullanarak $\boldsymbol{t}_{\mathbf{n}}$ anındaki hızı tahmin edebilir misiniz? Bunu $\boldsymbol{x} - \boldsymbol{t}$ grafiğinizden yararlanarak kanıtlayın.

DENEY NO: 4

DENEYİN ADI: SABİT İVMELİ DOĞRUSAL HAREKET VE BİR DÜZLEMDE HAREKET

DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, sabit ivmeli doğrusal hareketi inceleyip analiz etmek ve eğimli bir hava masası üzerinde hareket eden bir disk için bu ivmeyi bulmaktır. Ayrıca, eğik hava masası düzleminde yatay olarak fırlatılan bir diskin hareketi de incelenecek ve analiz edilecektir.

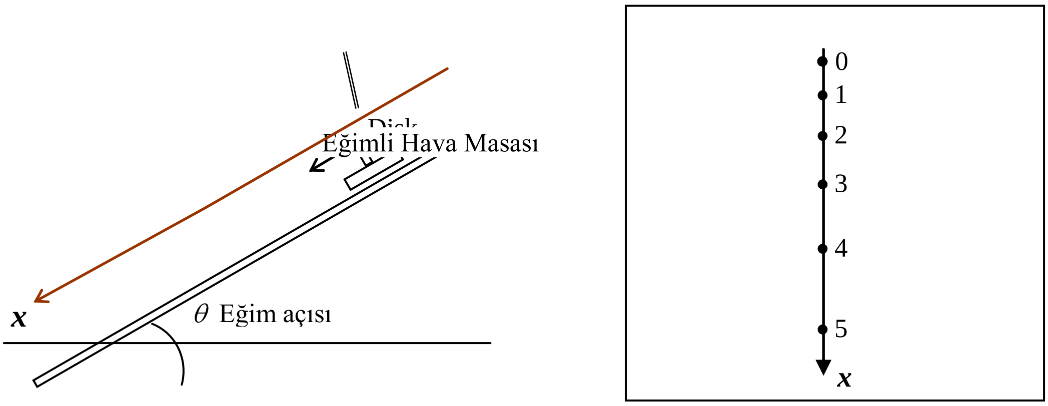
Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği. Cetvel, milimetrik grafik kağıdı.

Temel Bilgiler:

Deney A-1'de hava masası üzerinde x-ekseni boyunca sabit bir hızla hareket eden bir diskin hareketini incelediniz ve bu hareket için yerdeğiştirme ile zaman arasındaki lineer ilişkiyi buldunuz.

Bu deneyde düz bir çizgi üzerinde, hızı üniform olarak (aynı hızla) değişecek şekilde hareket eden bir diskin hareketini ele alacağız. Şekil 1.a'da görüldüğü gibi, pürüzsüz (sürtünmesiz) bir eğik düzlem oluşturmak için arka tarafı yükseltilmiş bir hava masasını düşünün. Bu eğik düzlemin yukarı tarafına bir disk koyar ve aşağı doğru hareket etmesini sağlarsak, Şekil 1.b'de gösterildiği gibi diskin yine düz bir yol izlediğini, fakat bu durumda veri kağıdında oluşan noktaların artık eşit aralıklı olmadığını gözlemleriz. Bu, eğim aşağı giderken diskin hızının arttığı anlamına gelir. Eğer diskin hızı zamanla değişiyorsa, onun bir **ivme**ye sahip olduğunu söyleriz. Nasıl ki hız konumun değişme hızı ise, ***ivme*** de *hızın değişme hızı* olarak tanımlanır.



(a) *(b)*

Şekil 1. *(a)* Eğimli bir hava masasında aşağı doğru hareket eden bir disk için deneysel kurulum.
(b) Veri kağıdı üzerinde diskin bıraktığı izler.

Pozitif *x*-ekseninin, yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi, diskin hareket yönünde alındığına dikkat edin. Burada anlatılan hareket sabit ivmeli doğrusal harekettir.

Diskin $\boldsymbol{t_1}$ zamanında bir *A* noktasında iken hızının $\boldsymbol{v_1}$ olduğunu; daha sonraki bir $\boldsymbol{t_2}$ anında da bir *B* noktasında $\boldsymbol{v_2}$ hızına sahip olduğunu düşünün. Diskin bu $\boldsymbol{\Delta t}$ zaman aralığındaki ortalama ivmesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$a_{ort} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Diskin *x*-yönünde sahip olduğu **anlık ivme** (ya da sadece ***ivme***), anlık hızın tanımına benzer biçimde, aşağıdaki gibi verilir:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

İvme de bir **vektör nicelik**tir ve her zaman **Δv**'nin yönündedir; hareketin yönünde olabilir ya da olmayabilir. (Bununla birlikte yukarıdaki eşitlikte vektör işareti konmamıştır; bir-boyutlu hareketle ilgilendiğimiz için pozitif *x*-ekseninin hareket yönünde alındığını hatırlayın).

Diskin bir t_1=0 anında x_0 konumunda ve v_0 hızına sahip olduğunu, daha ileriki bir t_2=t anında ise *x* konumunda ve hızının v olduğunu kabul edelim. Eğer diskin ivmesi sabit ise, ortalama ivme ve anlık ivme birbirine eşittir ve dolayısıyla

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0} \text{ ya da,}$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v_0} + \boldsymbol{at}$$

olduğunu görürüz.

Diskin x konumunu zamanın bir fonksiyonu olarak veren eşitlik, $x_0=x(t=0)$ diskin $t=0$'daki konumu olmak üzere,

$$\boldsymbol{x = x_0 + \mathrm{v}_0 t + ½ a t^2}$$

şeklindedir. Bu eşitlik, dx/dt türevi alınıp yukarıda hız için verilen $\mathrm{v} = \mathrm{v}_0 + at$ eşitliği ile karşılaştırılarak kontrol edilebilir.

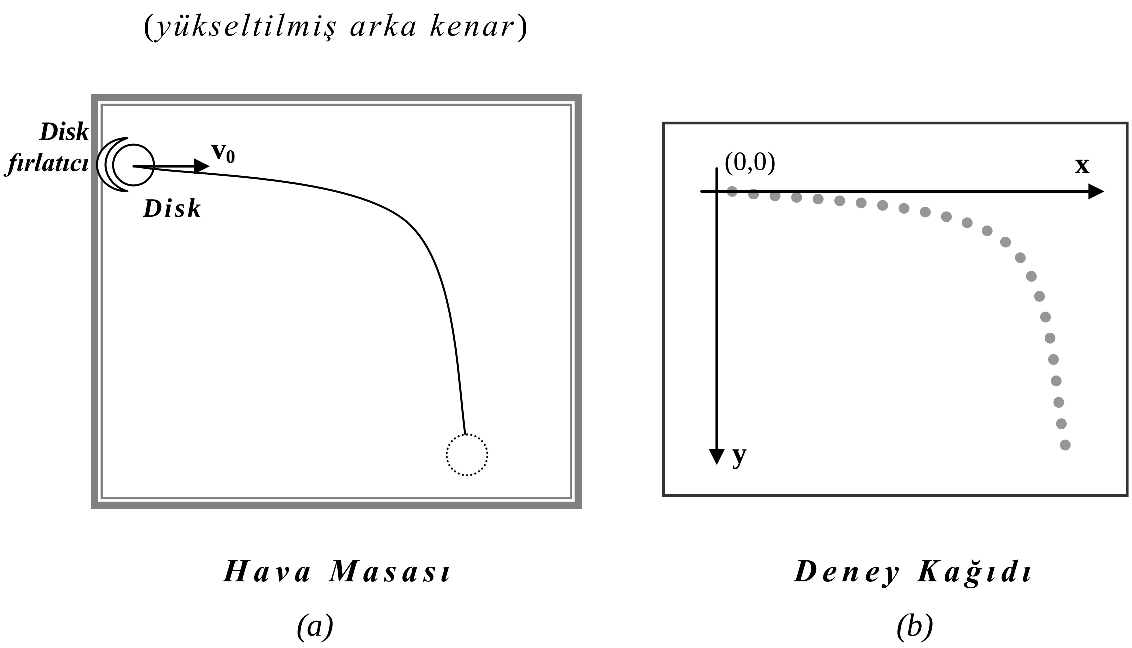
Eğer disk hareketsiz durumda ($\mathrm{v}_0=0$) iken harekete başlıyorsa,diskin herhangi bir andaki konumu

$$\boldsymbol{x = x_0 + ½ a t^2}$$

olarak verilir. Dolayısıyla, x'in t^2'ye karşı grafiği çizilirse, eğimi ½ a ve düşey eksendeki kesişme noktası x_0 olan bir doğru elde ederiz. Eğer, ayrıca $x_0=0$ ise, bu doğru grafiğin orijin noktasından geçecektir.

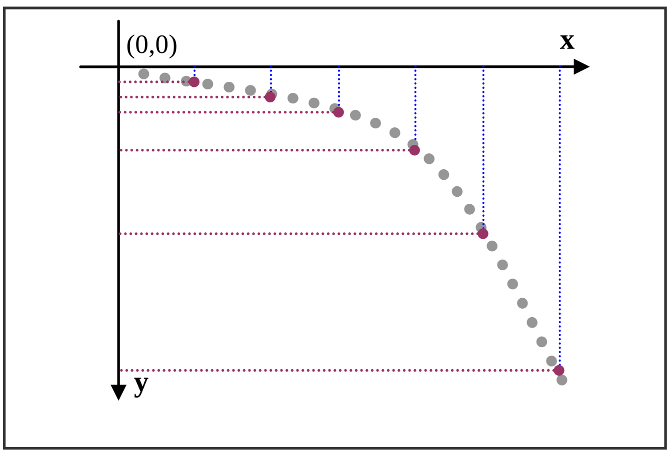
Bu deneyde araştıracağımız diğer hareket türü, yatay olarak fırlatılan bir cismin hareketidir. Burada, Şekil 2.a'da görüldüğü gibi, disk bir $\mathrm{v}_0=\mathrm{v}_{0x}$ ilk hızıyla yatay olarak fırlatılır. Veri kağıdında oluşan noktalar Şekil 2.b'de gösterildiği gibi olacaktır.

Bu hareketi analiz etmek için, diskin yatay ve düşey eksenler yönündeki hareketini ayrı ayrı inceleyeceğiz. Bu amaçla, Şekil 2.b'deki gibi, ilk noktayı orijin olarak alıp x-ve y-eksenlerini çizeceğiz. (y-ekseninin pozitif yönü aşağı doğru alınır.)



Şekil 2. Hava masası üzerinde yatay olarak fırlatılan disk. *(a)* Diskin izlediği yolun şematik gösterimi. *(b)* Diskin veri kağıdı üzerinde bıraktığı veri noktaları.

Eğer her noktanın *x*- ve *y*-bileşenleri Şekil 3'deki gibi eksenlere izdüşürülürse, noktaların *x*-izdüşümleri arasındaki açıklıkların eşit olduğunu, dolayısıyla yatay doğrultudaki hareketin sadece bir *sabit hızlı doğrusal hareket* olduğunu görürüz. Başka bir deyişle, diskin hızının *x*-bileşeni sabittir.



Şekil 3. Veri kağıdındaki noktaların *x*- ve *y*-eksenlerindeki izdüşümleri.

y-ekseni doğrultusundaki hareketin dikkat çeken özelliği, diskin *y*-izdüşümleri arasındaki uzaklığın zaman ilerledikçe büyümesidir. Bu durum daha önce gördüğümüz ivmeli hareketteki ile aynıdır. Gerçekten de, bu diskin y-ekseni doğrultusundaki ivmesi, aynı eğimli hava masasında aşağı doğru serbest bırakılan diskin a ivmesinden farklı değildir. Dolayısıyla, x-ekseni doğrultusundaki hareket nicel olarak şu eşitliklerle gösterilebilir:

$$\mathbf{v_x = v_{0x}} \qquad \text{ve} \qquad \boldsymbol{x = \mathrm{v}_{0x} t}$$

y-ekseni doğrultusundaki hareket için de aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz:

$$\mathbf{v_y} = \boldsymbol{at} \qquad \text{ve} \qquad \boldsymbol{y = \frac{1}{2} a t^2}$$

$x = \mathrm{v}_{0x} t$ eşitliğini kullanarak $\boldsymbol{y = \frac{1}{2} a t^2}$ eşitliğindeki zaman $\boldsymbol{t}$'yi elimine edersek, $\boldsymbol{y}$'yi $\boldsymbol{x}$ ve $\mathbf{v_{0x}}$'in bir fonksiyonu olarak elde edebiliriz:

$$y = \frac{1}{2} a \left(\frac{x}{v_{0x}} \right)^2 = \frac{a x^2}{2 v^2{}_{0x}}$$

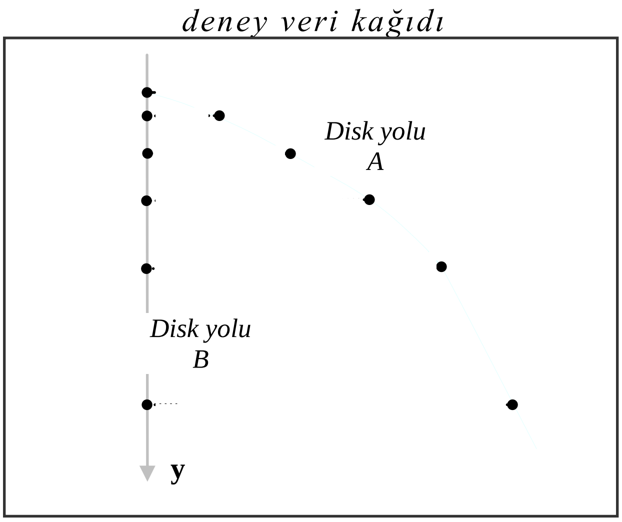
Bu eşitlik x-y düzleminde orijinden geçen bir parabolün eşitliğidir ve gerçekten de diskin izlediği yolun geometrik şeklidir.

Deneyin Yapılışı:

Önce, her deneyde yapmanız gerektiği gibi, ayaklarını ayarlayarak hava masasını yatay duruma getirin; sonra da arka taraftaki ayağının altına bir blok yerleştirerek eğik bir düzlem durumuna getirin. Disklerden birini hava masasının sağ alt köşesinde iletken karbon kağıdın üzerine koyun. (Hareketsiz durması için altına bir parça katlanmış kağıt yerleştirin.)

1. Disklerden birini eğik hava masasının sağ alt köşesinde katlanmış bir kağıt parçasının üzerine yerleştirerek, hareketsiz kalmasını sağlayın.
2. Disk fırlatma aksesuarını hava masasının sol tarafına, üst kenardan 10 cm kadar aşağıda bir noktaya takın ve fırlatma açısını sıfır dereceye ayarlayın.
3. Sadece hava pompasını çalıştırarak diski fırlatıcıya yerleştirin ve bir kaç deneme atışı yaparak fırlatıcının lastik bantının gerginliğini diskin uygun bir yol izlemesini sağlayacak şekilde ayarlayın.
4. Hava pompası çalışırken, diski ayarlamış olduğunuz fırlatıcıya yerleştirin ve serbest bıraktığınız anda ark üretecini çalıştırın. Disk veri kağıdınızın alt kenarına geldiği zaman ark üretecini ve hava pompasını durdurun. **Veri kağıdını henüz kaldırmayın.**

5. **Veri kağıdını yerinden almadan önce**, diski fırlatıcının hemen önündeki bir yere koyun. Pompayı ve ark üretecini aynı anda çalıştırarak diski eğik düzlemde aşağı doğru serbestçe kaydırın.
6. Veri kağıdını hava masasından kaldırın ve diskin ark izlerinden oluşan hareket yollarını inceleyin. Elde etmeniz gereken noktaların genel görünümü aşağıdaki Şekil 4'de verilen örnektekine benzer olmalıdır. Diskin izlediği iki yolu, Şekil 4'deki gibi *A* ve *B* olarak adlandırın. Eğer veri noktalarınız analiz için uygun değilse, deneyinizi tekrarlayarak yeni veriler elde edin.



Şekil 4. Veri kağıdındaki noktalar.

7. Her iki disk yolunun veri noktalarını işaretleyin ve birinci noktadan başlayarak *0, 1, 2, .., ..* olarak numaralandırın.
8. *A* yolu için *x*- ve *y*-eksenlerini çizin. Bunun için önce *A* yolunun birinci (*0*) noktasından geçen *B* yoluna paralel bir çizgi çizin. Bu çizgi *y*-ekseni olacaktır. *x*-ekseni için, *0* noktasından *y*-eksenine dik yatay bir doğru çizin. Pozitif y-yönünü aşağı doğru alın.
9. Noktaların *x*- ve *y*-izdüşümlerini elde etmek için *A* yolu üzerindeki her veri noktasından *x*- ve *y*-eksenlerine dik inen doğru parçalarını (*normalleri*) çizin. (Şekil 3'teki gibi bir sonuç elde edeceksiniz.) Diskin yatay ve düşey eksenler doğrultusundaki hareketleri ne tür hareketlerdir?

10. Diskin t_f uçuş süresini (*hareketi sırasında geçen toplam süreyi*) ve $\boldsymbol{R}$ menzilini (*hareket sırasında aldığı yatay mesafeyi*) ölçün ve kaydedin. R ve t_f değerlerini kullanarak v_{0x} atış hızını bulun.
11. *A* yolunun *0* noktasından başlayarak, beş veri noktasının *y*-izdüşümlerinin bu noktadan uzaklıklarını ölçün. Bu noktaların her birine karşılık gelen zamanları da belirleyin. Bu verileri Tablo 2'ye yazın.

    B yolundaki ilk beş noktanın da *0* noktasından uzaklıklarını ölçün ve her noktaya karşılık gelen sürelerle birlikte Tablo 2'ye kaydedin.
12. *5* noktasının *0* noktasından uzaklığını *y* olarak alıp, $\boldsymbol{y = ½ a t^2}$ eşitliğini kullanarak *A* ve *B* yolları için a_A ve a_B ivmelerini bulun. Bu ivme değerlerini Bölüm A'da bulduğunuz ivme ile karşılaştırın.

Veriler ve Sonuçlar:

1. *A* ve *B* yolları için ölçümlerinizi aşağıdaki tabloya kaydedin. Değerleri doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak ve hataları ile birlikte gösterin.

Nokta numarası	A Yolu (*y*-izdüşümleri)		A Yolu (x-izdüşümleri)		B Yolu	
	$y \pm \Delta y$ (cm)	t^2 (s^2)	$x \pm \Delta x$ (cm)	t^2 (s^2)	$y \pm \Delta y$ (cm)	t^2 (s^2)
0	0	0	0	0	0	0
1						
2						
3						
4						
5						

Tablo 1

2. A yolu için y-t^2 ve x-t^2 , B yolu için de y-t^2 grafiklerini çizin.
3. Bütün grafikler için en iyi ve en kötü doğruların eğimlerini ve bu eğimlerden diskin ivmesini hatası ile birlikte bulup doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak yazın,

A yolu (y-t^2) A yolu (x-t^2) B yolu

m_i = ...cm/s^2 m_i = ...cm/s^2 mi = ...cm/s^2

m_k = ...cm/s^2 m_k = ...cm/s^2 m_k = ...cm/s^2

$a \pm \Delta a$ = ... cm/s^2 $a \pm \Delta a$ = ... cm/s^2 $a \pm \Delta a$ = ... cm/s^2

4. Bulduğunuz ivmeleri birbirleri ile karşılaştırarak yorumlayınız.
5. Yatay olarak fırlatılan diskin *x*- ve *y*-eksenleri doğrultusundaki hareketleri ne tür hareketlerdir? Yanıtınızı açıklayın.
6. t_f ve *R* için bulduğunuz değerleri yazın:

   t_f = ... s.

   R = ...cm.
7. $v_0 = v_{0x}$ atış hızını hesaplayın ve doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak verin:

   v_0 = ... cm/s

DENEY NO: 5

DENEYİN ADI: İKİ BOYUTTA HAREKET

DENEYİN AMACI:

a. İki boyutta konum, hız, sürat ve ivme kavramlarını incelemek.

b. Eğik atışla fırlatılan bir cismin hareketini incelemek.

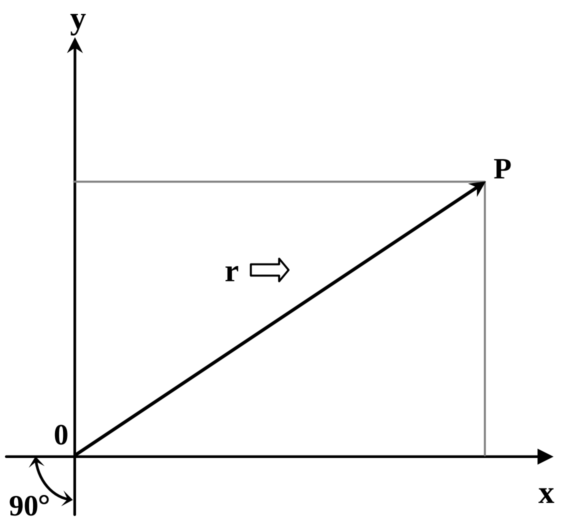
Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği. Gönye, iletki.

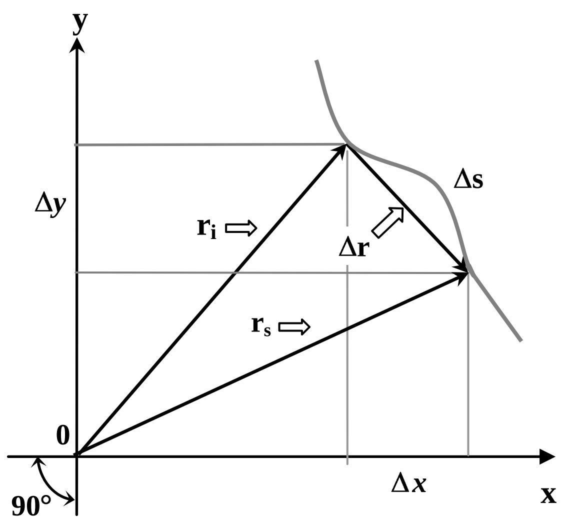
Kısa Açıklama:

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

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 1



Şekil 2

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.

Hız vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

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

$$\text{Anlık Hız} \equiv \bar{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$$

Bir skalar nicelik olan *sürat,*

$$\text{Ortalama Sürat} \equiv \boldsymbol{v}_{ort} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\text{Anlık Sürat} \equiv \boldsymbol{v} = \frac{ds}{dt}$$

olarak tanımlanır.

Bu ***v*** sürati, $\bar{v}$ hız vektörünün büyüklüğü ya da uzunluğudur ve hız bileşenlerine

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

ifadesi ile bağıntılıdır.

İvme için,

$$\text{Ortalama İvme} \equiv \bar{a}_{ort} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \left(\frac{\Delta v_x}{\Delta t}, \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \right)$$

$$\text{Anlık İvme} \equiv \bar{a} = \frac{dv}{dt} = \left(\frac{dv_x}{dt}, \frac{dv_y}{dt} \right)$$

ifadeleri yazılır.

Deneyin Yapılışı:

1. Hava Masası Deney Düzeneğini deney için hazır hale getirin:

1.1. Hava Masasını önce yatay olacak şekilde ayarlayın.

1.2. Şekil nn'de görüldüğü gibi, arka ayağının altına küçük (yaklaşık 5 cm kalınlığında) bir blok yerleştirip, Hava Masasını öne doğru eğimli bir eğik düzlem durumuna getirin.
Arka ayağın altına yerleştirdiğiniz ahşap bloğun yüksekliğini (***h***) ve arka ayak ile ön ayakları birleştiren bir doğru arasında kalan açıklığı (***d***) not edin. Bu iki uzunluğu kullanarak, cam tablanın eğimini ($\boldsymbol{\theta}$) hesaplayabilirsiniz.

1.3. Cam tabla üzerine iletken karbon kağıdı, onun üzerine de kayıt kağıdınızı yerleştirin.

1.4. Disk atıcıyı hava masasının alt tarafındaki köşelerden birine yakın bir noktaya yerleştirin. Hava pompasını çalıştırarak bir kaç atış denemesi yapın. (İyi bir kayıt almanız için, diskin kayıt kağıdının yukarı kenarına kadar çıktıktan sonra dönmesi ve cam tablanın aşağı kenarında diğer köşeye varması gerekir.) En iyi yörüngeyi elde edinceye kadar disk atıcıyı ayarlayarak deneme atışlarınızı tekrarlayın.

1.5. Diskin istenilen hareketi tamamlaması için geçen süreyi ölçün. Bu süre içinde yaklaşık 40 – 50 nokta elde etmenizi sağlayacak ark üretim hızını belirleyin.

1.6. Ark Üretecini açın ve cihazın frekans düğmesini, belirlediğiniz ark üretim hızına en yakın frekans değerine getirin.

1.7. Bu deneyde tek bir diskin hareketi incelenecektir. Ancak, ikinci diskin de deney sırasında cam tabla üzerinde ve iletken karbon kağıda temas eder durumda bulunması gerektiğini unutmayın. (Cam tablanın aşağı kenarının bir köşesinde kayıt kağıdınızın köşesini katlayın; ikinci diski bu katladığınız kısmın üzerine koyun.)

2.1. Diski disk atıcısını kullanarak attığınız anda ark üretecinin ve hava pompasının kumanda pedallarına basın. Disk yörüngesini tamamlayıp alt kenara ulaştığı anda ark üretecinin pedalından ayağınızı çekin. Ardından da hava pompasının pedalından ayağınızı çekin ve ark üretecini kapatın. Deney kağıdınızı henüz kaldırmayın.

2.2. Deney kağıdınızı cam tabladan kaldırmadan önce, yörüngeyi doğru analiz etmenizi sağlayacak olan dikey ekseni belirlemelisiniz. Bunun için, diski tablanın yukarı kenarından, kağıdınızın üst kenarının orta noktasına yakın bir noktadan serbest bırakarak kayıt alın.

3. 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.

Ölçümlerin Analizi

1. Kayıt kağıdınızın üzerinde dikey ekseni belirleyen ark izlerinden geçen bir doğru çizin. Bu doğru dikey yönü gösterir.
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. Ölçümlerinizi yazmak için bir tablo hazırlayın (bkz. Tablo 1).

   Başlangıç noktasında ***x***-ekseni ile olan θ atış açısını iletki ile ölçün.

   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.

4. Diskin her bir zaman aralığında aldığı mesafeyi ölçün ve tablonuza kaydedin.
   Bütün zaman aralıkları için hızın ***x***- ve ***y***-bileşenlerini hesaplayıp tablonuza girin.
   Çeşitli zamanlardaki sürati hesaplayın ve kaydedin.
5. Bir grafik kağıdı üzerine, noktaların ***x***- ve ***y***-bileşenlerini zamanın bir fonksiyonu olarak işleyin.
   İkinci bir grafik kağıdına sürati ve hızın ***x***- ve ***y***-bileşenlerini zamanın bir fonksiyonu olarak işleyin.

Tablo 1: Verilerin Analizi

θ = ...

Zaman	***x***	***y***	Δt	Δx	Δy	v_x	v_y	v
t_0								
t_1	x_1	y_1	Δt_1	Δx_1	Δy_1	v_{x1}	v_{y1}	v_1
t_2	x_2	y_2	Δt_2	Δx_2	Δy_2	v_{x2}	v_{y2}	v_2
t_n	x_n	Y_n	Δt_n	Δx_n	Δy_n	v_{xn}	v_{y2}	v_2

Sorular

1. ***x***-ekseni doğrultusunda ne tür bir hareket gerçekleşiyor? Konumun ***x***-bileşenini zamanın bir fonksiyonu olarak gösteren bir eşitlik yazın.
   Aynı soruyu ***y***-ekseni için de yanıtlatın.

2. İvme vektörünün bileşenleri nedir?

3. Değerlerinizin bir kısmından yararlanarak, sürat ile hızın ***x***- ve ***y***-bileşenleri arasındaki ilişkiyi doğrulayın. Hızın y-bileşeninin negatif olması ne anlama gelir?

4. Sürat ne zaman minimum, ne zaman maksimum değerdedir? Herhangi bir zamanda sıfır mıdır?

5. Bu deneydeki gibi fırlatılan bir cismin ***R*** yatay menzili, ***v*** ilk sürat, $\boldsymbol{\theta}$ eğik atışın yatayla yaptığı ilk açı ve ***g*** yerçekimi ivmesi olmak üzere, teorik olarak, aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$R = (v_o^2 \sin^2\theta) / g \quad ?$$

   Gözlemlediğiniz menzili formülle bulunan değerle karşılaştırın.

6. Yukarıdaki 5. soruyu fırlatılan bir cismin ulaşacağı maksimum yükseklik için yanıtlayın:

$$h_{max} = (v_o^2 \sin^2\theta) / 2g$$

DENEY NO: 6

DENEYİN ADI: NEWTON’UN BİRİNCİ VE İKİNCİ YASALARI

DENEYİN AMACI:

a. Hareketin nedenlerini araştırmak.

b. İvme, kuvvet ve kütle arasındaki işlevsel bağımlılığı belirlemek.

c. *log – log* grafiklerini tanıtmak.

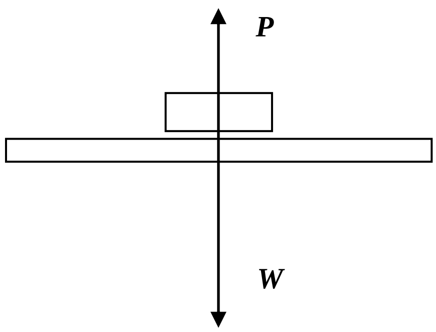
<u>Araç ve Gereçler:</u>

Hava Masası Deney Düzeneği.

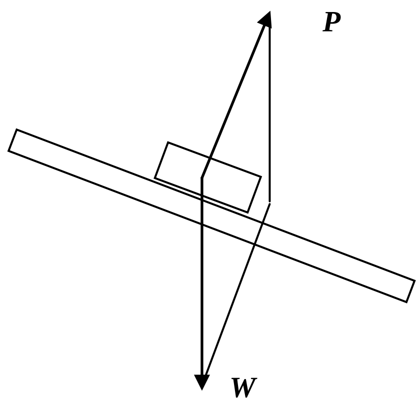
Düşük-sürtünmeli düşük-eylemsizlik momentli makara, kalibreli ağırlık seti, iplik, laboratuvar terazisi.

<u>Kısa Açıklama:</u>

Ne zaman bir cisme etkiyen net harici kuvvet sıfırsa, o cismin hareket durumu değişmez. Bu, eğer cisim başlangıçta hareket etmiyor idiyse hareketsiz kalır; eğer hareket halinde idiyse hızını ve yönünü korur anlamına gelir. Bu Newton’un birinci ilkesidir ve biz onu hava masasının yataylığını her ayarlayışımızda kullanıyoruz. Hava Masasının ayaklarını ayarlamakla, havanın diske etki eden yukarı doğru itmesinin yerçekimi kuvvetini tam olarak karşılamasını sağlıyoruz.



MASA YATAY



MASA YATAY DEĞİL

Masa yatay durumda iken, P ve W vektörlerinin toplamı, büyüklükleri aynı ve yönleri zıt olduğundan, sıfırdır. Hava masasının üzerine yerleştirilen bir disk, hava yastığının üzerinde hareketsiz kalacaktır. Diske bir itme uygularsak, ve izlediği yolu kaydedersek, başlangıçta sahip olduğu hızın korunduğunu görürüz. Bütün noktalar bir doğru üzerinde yer alır ve eşit aralıklıdırlar. Bu, hızın yönünün ve büyüklüğünün duraylılığını gösterir.

Hareketin durumunu değiştirmek için, bir başka deyişle, bir ivme yaratmak için, harici bir kuvvetin uygulanması gereklidir.

Çeşitli diskler ve kütleler üzerinde bir kaç deneme itmesi ile yapacağımız gözlemler bazı çıkarımlar yapmamızı sağlar:

1. Eğer çeşitli kuvvetler belirli bir cisme uygulanırsa, daha büyük kuvvetler daha büyük ivmeler üretecektir.
2. Eğer aynı kuvvet çeşitli cisimlere uygulanırsa, daha büyük kütleler daha küçük ivmeler kazanacaktır.

Ancak biz, şu andaki koşullarda, kuvvet ile kütle arasındaki kesin ilişkiyi bilmek istiyoruz.

Kütle sabitken kuvvete karşı ivmenin ve kuvvet sabitken kütleye karşı ivmenin grafiklerini çizmek, kuvvet ve kütle arasındaki kesin ilişkiyi anlamamızı sağlayacaktır. Eğer işlenen noktalar bir düzgün doğru üzerinde iseler, incelenen niceliklerin birbiriyle doğrudan orantılı oldukları sonucuna varabiliriz. (Aksi durumda, verilerin daha fazla manipülasyonu gerekecektir.)

$\boldsymbol{a}$ ve $\boldsymbol{n}$ değerleri sabit olan şu eşitliği düşünelim:

$$\boldsymbol{y = ax^n}$$

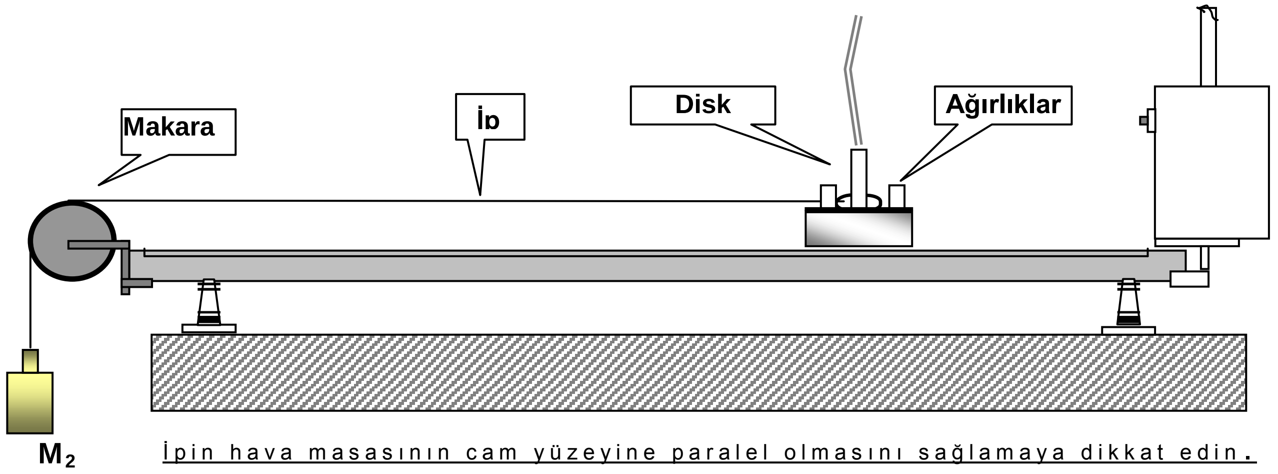
Bu eşitliğinin her iki tarafının logaritmasını alarak,

$$\mathbf{log}\ \boldsymbol{y} = \mathbf{log}\ \boldsymbol{a} + \boldsymbol{n}\mathbf{log}\ \boldsymbol{x}$$

buluruz. **log** $\boldsymbol{x}$'e karşı **log** $\boldsymbol{y}$ grafiğini çizersek, eğimi $\boldsymbol{n}$ ve düşey eksenle kesişimi **log** $\boldsymbol{a}$ olan bir doğru elde ederiz. Dolayısıyla, **log-log** eğrisinin eğimini bulmakla $\boldsymbol{y = ax^n}$ eşitliğindeki $\boldsymbol{x}$'in $\boldsymbol{n}$ kuvvetini belirleyebiliriz.

Deneyin Yapılışı:

Hava Masasını yatay duruma getirin ve deneyi aşağıda gösterildiği gibi kurun:



Sabit Kütle

1. $\mathbf{M_1}$ kütlesine etkiyen kuvvet $\mathbf{M_2}$'nin ağırlığıdır: M_2g. İvmelendirilen toplam kütle $\mathbf{M_1 + M_2}$'dir; bu nedenle deneyin bu bölümünde $\mathbf{M_1 + M_2}$ sabit kalmalıdır. (Buradaki g, yerçekimi ivmesidir).
2. Uygun bir ark hızını seçin. $\mathbf{M_1}$'i serbest bırakın ve izlediği yolu kaydedin. Kayıt kağıdınızı bir kaç santimetre yana doğru kaydırın. $\mathbf{M_1}$'in üzerinden bir miktar kütleyi $\mathbf{M_2}$'ye aktarın ve deneyi tekrarlayın.
3. En az 5 farklı ölçüm yapın. Her ölçüm için, ark hızını ve $\mathbf{M_1}$ ve $\mathbf{M_2}$'nin değerlerini dikkatle not alın.

Sabit Kuvvet

1. $\mathbf{M_2}$'yi sabit tutarak ve $\mathbf{M_1}$'i değiştirerek 5 farklı ölçüm yapın.

Verilerin Analizi:

1. Bir grafik kağıdı üzerine, **Sabit Kütle** ile yapılan her ölçüm için zamana karşı hızı işleyin. Her durumdaki ivmeyi elde etmek için eğimi hesaplayın.
2. Kuvvete (M_2g) karşı ivmenin bir grafiğini çizin. Bu grafikten nasıl bir sonuç çıkarabilirsiniz?
3. 1. adımı **Sabit Kuvvet** deneyinin verileri için tekrarlayın.
4. İvmenin kütleye ($\mathbf{M_1 + M_2}$) karşı bir grafiğini yapın. Bir doğru elde ediyor musunuz? Eğer bir doğru elde etmiyorsanız, kütleye karşı ivmenin bir *log – log* grafiğini yapın. Bulduğunuz doğrunun eğimini hesaplayın. İvme kütlenin kaçıncı kuvvetine bağlıdır?

5. Deneyin her iki bölümünün sonuçlarını tek bir formülde özetleyin. Newton’un ikinci yasasını ders kitabınızda bulun ve bunu elde ettiğiniz ifadeyle kıyaslayın.

Sorular

1. İvme – kuvvet grafiğinizin eğimi neye eşit olmalıdır? Yanıtınızı kontrol edin.
2. İvme – kütle grafiğinizin düşey eksendeki kesişmesinin antilogaritması neye eşit olmalıdır? Yanıtınızı kontrol edin.
3. Bir masayı odanın içinde bir yerden başka bir yere iterek götürmeye uğraşsanız, onu sabit bir hızla hareket halinde tutabilmek için sabit bir kuvvet uygulamanız gerektiğini farkedeceksiniz. Bu durum, deneyin sonuçlarıyla çelişkili görünüyor. Açıklayın.

DENEY NO:7

DENEYİN ADI: NEWTON'UN HAREKET YASALARI

DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, hareket ile nedenleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.

Deneyde, Newton'un ikinci hareket yasasını incelemek için, eğik düzlem durumundaki bir hava masasının üzerine yerleştirilen Atwood Makinası kullanılacaktır.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası Deney Düzeneği.

Düşük-sürtünmeli düşük-eylemsizlik momentli makara, kalibreli ağırlık seti, iplik, laboratuvar terazisi.

Genel Bilgiler:

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

Bir cisme etkiyen bir kaç kuvvetin vektörel toplamına bu kuvvetlerin **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 (m) denir. Dolayısıyla,

$$m = F / a \qquad \text{ya da} \qquad F = ma$$

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.

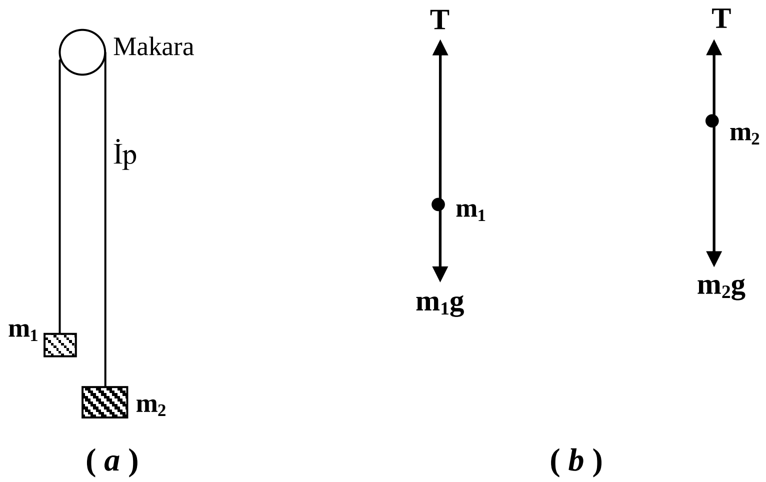
xy-düzleminde hareket etmekte olan bir cismin üzerine bir kaç kuvvet etki ederken, bileşenler yöntemi ile, $\Sigma \boldsymbol{F_x}$ kuvvetlerin x-bileşenleri, $\Sigma \boldsymbol{F_y}$ kuvvetlerin y-bileşenleri olmak üzere,

$$\Sigma \boldsymbol{F_x} = \boldsymbol{m a_x}\,, \qquad \Sigma \boldsymbol{F_y} = \boldsymbol{m a_y}$$

bulunur.

Atwood Makinası

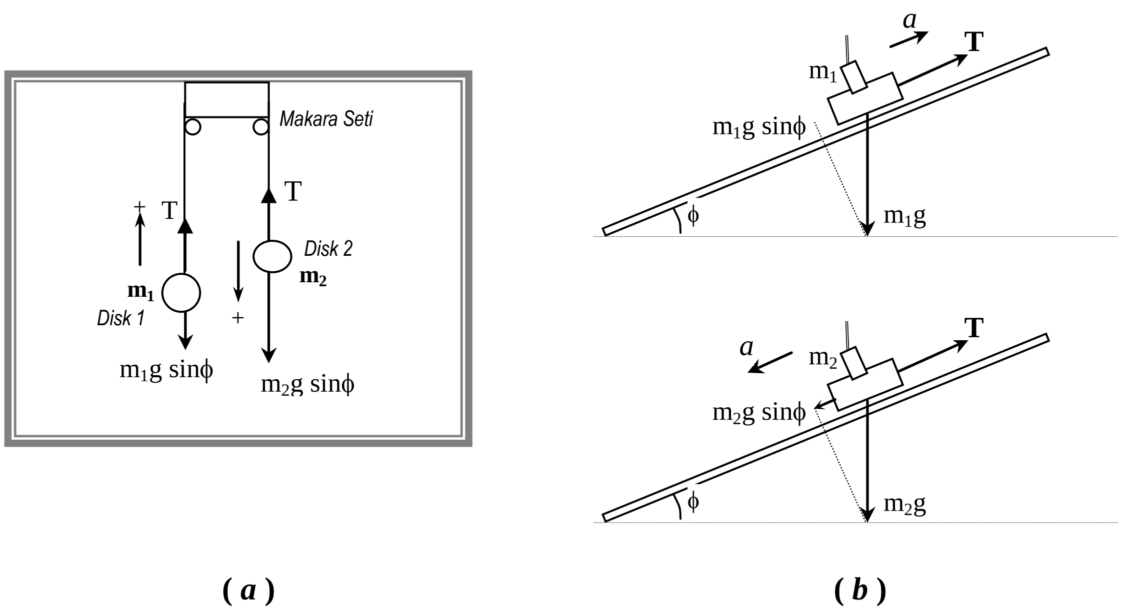
Basit bir Atwood Makinası aşağıdaki Şekil 1.a'da görüldüğü gibi bir makaradan geçen bir iple bağlanmış m_1 ve m_2 ($m_2 > m_1$) gibi iki kütleden oluşur. İki kütleli bu sistem hareketsiz durumda iken serbest bırakıldığında, daha ağır olan m_2 kütlesi **sabit** ivme ile aşağı doğru, m_1 kütlesi ise **aynı 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 $\boldsymbol{m_2 g} > \boldsymbol{T}$ olduğunu gösterir. Benzer nedenle, m_1 kütlesi için $\boldsymbol{m_1 g} < \boldsymbol{T}$ 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:

Bu deney eğik düzlem durumuna getirilmiş hava masasında yapılır. Bunun için önce, ayaklarını ayarlayarak hava masasını yatay duruma getirin; ardından da arka ayağının altına ahşap blok aksesuarını yerleştirerek tablanın arka tarafını yükseltin. Masanın bu konumdaki eğim açısının sinüs değerini tablanın geometrisinden hesaplayıp not edin.

1. 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.
2. 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.
3. Ark üretecinin frekansını 20 Hz'e ayarlayın. (Eğer verileriniz uygun çıkmazsa bu ayarı 10 Hz'e değiştirebilirsiniz.)
4. Disklerin hareketini kaydetmek için diskleri serbest bırakırken ark üretecini de çalıştırın.
5. Kayıt kağıdınızı tabladan kaldırın ve kaydedilen ark izlerini gözden geçirin. Disklerin ne tür bir yol izlediğini anlatın. Her iki disk de aynı tür hareketi yaptı mı?
6. 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.
7. Tablo 1'e kaydettiğiniz verileri kullanarak m_1 ve m_2 kütleleri için $y - t^2$ grafiklerini çizin. Hem en iyi hem de en kötü doğruları çizin ve grafiğin eğiminden ivmeyi (a) belirleyin.
8. m_1 ve m_2 kütlelerini ölçün. Belirlediğiniz ivmeyi, $\sin\phi$, m_1 ve m_2 değerlerini kullanarak, yerçekimi ivmesini hesaplayın.

Veriler ve Sonuçlar:

1. m_1 ve m_2 disklerinin beş veri noktasının ***0*** noktasına göre konum ve zaman ölçümlerini aşağıdaki Tablo 1'e kaydedin.

Tablo 8.1

Nokta numarası	m_1 $y \pm \Delta y$ **(cm)**	m_2 $y \pm \Delta y$ **(cm)**	$t \pm \Delta t$ **(s)**	$t^2 \pm \Delta t^2$ (s^2)
0				
1				
2				
3				
4				
5				

2. Yukarıdaki tablonun her bir veri noktası için t ve t^2 değerlerindeki Δt ve Δt^2 hatalarının hesaplanmasını detaylarını göstererek yazın.

. . . .

. . . .

3. Kayıt kağıdınızdaki noktaları ve yukarıdaki tablodaki verileri inceleyerek, her diskin ne tür bir hareket yaptığını ve bunun nedenini açıklayın.

. . . .

. . . .

. . . .

. . . .

4. İki diskin de aynı hareketi yaptığını söyleyebilir misiniz? Yanıtınızı açıklayın.

. . . .

. . . .

. . . .

. . . .

5. $y - t^2$ grafiğinden bulduğunuz, en iyi ve en kötü doğruların eğimlerini yazın.

s_{ei} = ...

s_{ek} = ...

$\Delta s = |s_{ei} - s_{ek}|$ = ...

6. y – t2 grafiğinden bulduğunuz ivme değerini yazın:

$a \pm \Delta a$ = ... **cm/s²**

7. Yerçekimi ivmesi ***g***'yi hesaplayın ve doğru sayıda anlamlı rakamlarla ve birimiyle yazın.

. . . .

8. İpteki ***T*** çekme kuvvetini hesaplayın. Sonucu doğru sayıda anlamlı rakam kullanarak ve SI birimleriyle yazın.

. . . .

DENEY NO: 8

DENEYİN ADI: ÇARPIŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU

DENEYİN AMACI:

a. İzole edilmiş bir sistemde farklı çarpışma türlerinde lineer momentumun korunumunu doğrulamak,
b. Bir iki-diskli sistemin çarpışması sırasında kütle merkezinin hareketini incelemek,
c. Elastik ve bütünüyle elastik olmayan çarpışmalarda kinetik enerjinin korunumunu araştırmak.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası (Disk fırlatıcı kullanılacaktır).
Cetvel, milimetrik grafik kağıdı.

Temel Bilgiler:

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

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

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 $\vec{F}_d = \mathbf{0}$ ise,

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

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:

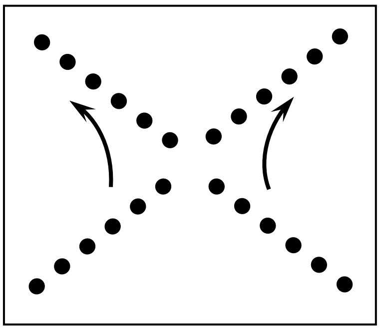
$$\frac{d\vec{P}_t}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N) = 0 \qquad (8)$$

ya da,

$$\vec{P}_t = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_N = sabit \qquad (9)$$

Yukarıdaki toplamın bir vektörel toplam olduğunu hatırlayın.

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 noktalarıngenel 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,

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

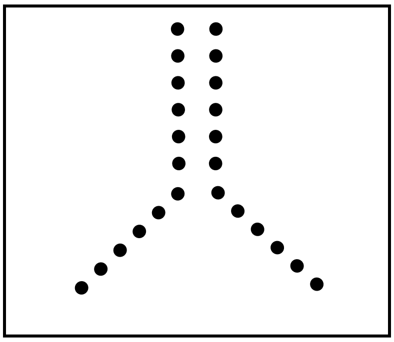
bağıntıları geçerli olacaktır.

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.

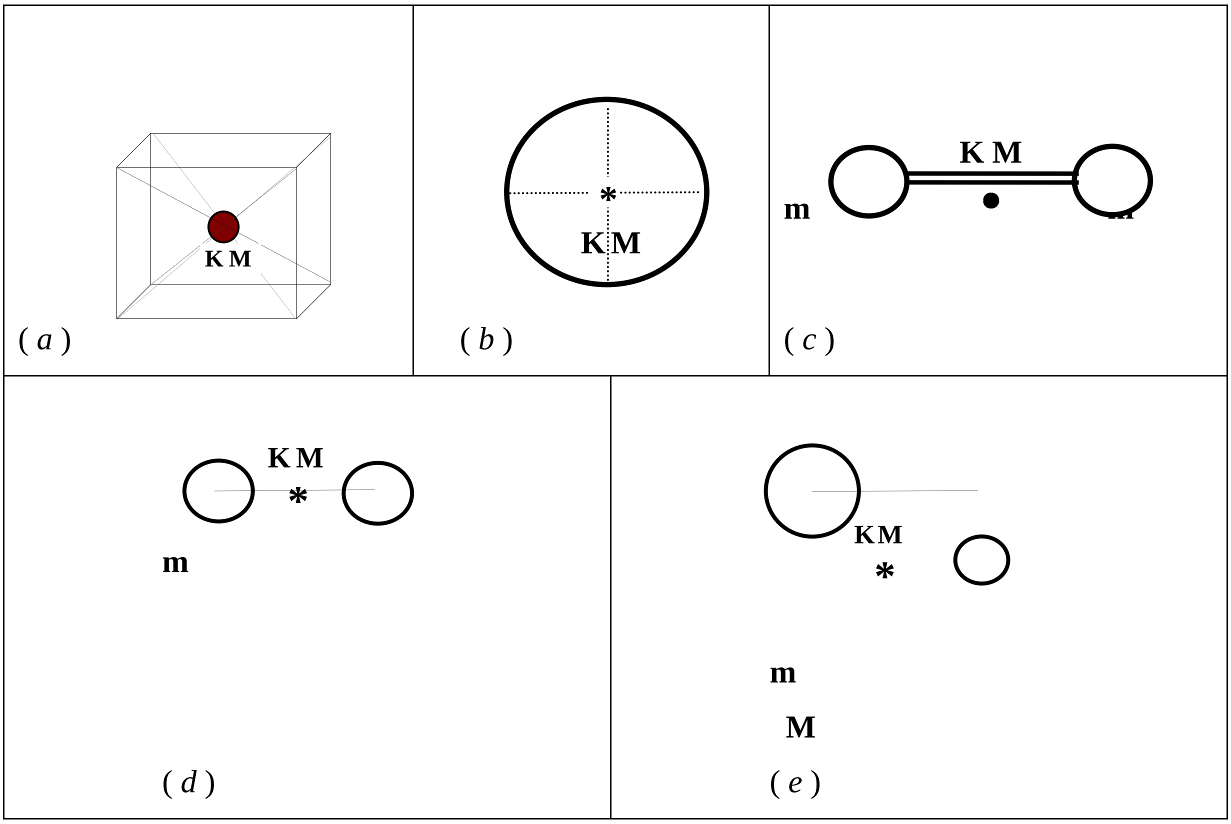
Çarpışma sırasında momentumun korunumu aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\boldsymbol{P_A + P_B = P'} \tag{13}$$

ya da,

$$v_A + v_B = 2v' \quad (14)$$

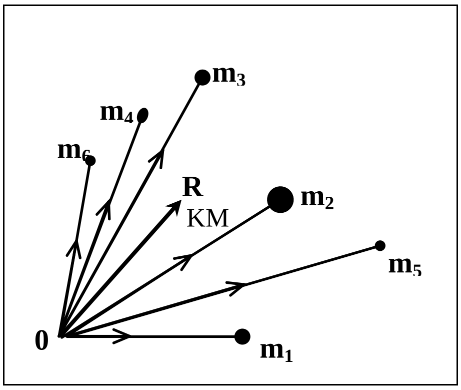
Bu deneyde tanıyıp inceleyeceğimiz bir başka kavram Kütle Merkezi (KM) kavramıdır. Homojen bir küpün ya da kürenin KM'nin bu simetrik cisimlerin geometrik merkezinde olacağını tahmin edebilirsiniz. Yine, Şekil 3.c'de görülen lobutun KM'nin iki topu birleştiren çubuğun orta noktasında olacağını da tahmin 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, $r_1, r_2, \ldots, r_N$ olan $m_1, m_2, \ldots, m_N$ kütlelerinden oluşan bir parçacıklar sisteminin kütle merkezinin *R* konum vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır (*bkz. Şekil 9.4*):

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



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:

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

Kütleleri sabit olan parçacıklar için, yukarıdaki Eşitlik 15'in her iki tarafının türevi alınarak,

$$\vec{R} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + \ldots + m_N\vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \ldots + m_N} \tag{17}$$

ya da,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \ldots + m_N\vec{v}_N}{m_1 + m_2 + \ldots + m_N} \tag{18}$$

elde edilir. İki-diskli sistemimiz için de,

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

ve disklerin kütleleri aynı olduğu için,

$$\vec{R} = \frac{\vec{r}_A + \vec{r}_B}{2} \tag{20}$$

bulunur. Buna göre KM'nin hızı,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} \tag{21}$$

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,

$$\vec{V}_{KM} = \vec{V}'_{KM} \tag{22}$$

ya da,

$$\vec{V}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} = \vec{V}'_{KM} = \frac{\vec{v}'_A + \vec{v}'_B}{2} \tag{23}$$

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:

$$K = \tfrac{1}{2} m v^2 \tag{24}$$

Dolayısıyla iki-diskli sistemin toplam kinetik enerjisi, bir elastik çarpışmadan önce,

$$K = \frac{1}{2} m v_A^{\ 2} + \frac{1}{2} m v_B^{\ 2} \tag{25}$$

ve çarpışmadan sonra,

$$K' = \frac{1}{2} m v'^{\ 2}_A + \frac{1}{2} m v'^{\ 2}_B \tag{26}$$

olmalıdır. (Kinetik enerji bir skalar nicelik olduğu için, Eşitlik 25 ve Eşitlik 26'daki 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,

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

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

$$\textit{Fraksiyonel kayıp} = \frac{K - K'}{K}$$

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

olarak tanımlayabiliriz.

Deneyin Yapılışı:

Bu deney iki bölümden oluşmaktadır: Bölüm A *elastik* (esnek) çarpışmayı, Bölüm B tamamen *inelastik* (esnek-olmayan) çarpışmayı kapsamaktadır. Deney her iki bölümde de yatay durumdaki bir hava masası üzerinde yapılacaktır. Her deneyde olduğu gibi önce hava masasını, ayaklarını özenle ayarlayarak, yatay duruma getirin.

Bölüm A: Elastik Çarpışma

1. 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.

   Uygun bir ark frekansı (örneğin 20 Hz) seçin.

   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.

   Hareket tamamlandığında, ve diskler iletken karbon kağıtla kaplı alanın dışına çıkmadan hemen önce, ark üretecini durdurun.

   Hava pompasını durdurun; ark üretecini kapatın.

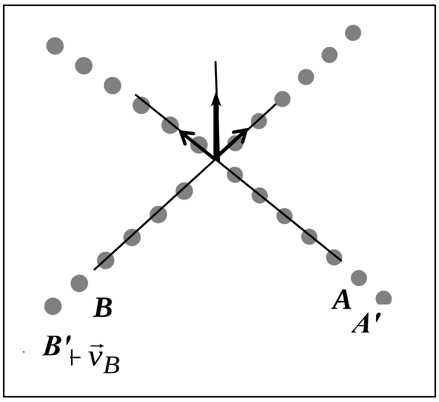
2. Veri kağıdınızı kaldırın ve oluşan ark izlerini gözden geçirin. Bu noktaların deseni Şekil 9.1'de verilen örnektekine benzemelidir. Her diskin izlediği yol üzerindeki noktaları ***0, 1, 2, . . . , n*** şeklinde numaralandırın (İlk noktadan başlamanız gerekmez). Disklerin yollarını çarpışma öncesinde ***A*** ve ***B***, çarpışma sonrasında ***A'*** ve ***B'*** olarak işaretleyin.

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

4. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ ve $\vec{v}_A^{\,'} + \vec{v}_B^{\,'}$ vektörel toplamlarını bulun.

   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 (bkz. Şekil 5).

   $\vec{v}_A^{\,'} + \vec{v}_B^{\,'}$ toplamını bulmak için yukarıdaki işlemi $\vec{v}_A^{\,'}$ ve $\vec{v}_B^{\,'}$ vektörleri için tekrarlayın.



Şekil 5. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ vektör toplamı.

5. Çarpışma öncesinde 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.
6. KM için elde ettiğiniz kaydı kullanarak, KM'nin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını bulun.
7. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjilerini bulun ve karşılaştırın.

Bölüm B: Elastik-Olmayan Çarpışma

1. İki diskin de çevresine "*Velcro*" bantlarını sıkıca geçirin. Bantların alt kenarlarının veri kağıdına temas etmemesine dikkat edin.
   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. İyi bir çarpışma yaptırmayı başardığınızdan emin oluncaya kadar bu deneme atışlarını bir kaç kez tekrarlayın.
2. 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.
   Hareket tamamlandığında, ve diskler iletken karbon kağıtla kaplı alanın dışına çıkmadan hemen önce, ark üretecini durdurun.
   Hava pompasını durdurun; ark üretecini kapatın.
3. Veri kağıdınızı kaldırın ve oluşan ark izlerini gözden geçirin. Ver kağıdınızdaki noktaların dağılımı Şekil 2'de verilen örnekteki gibi olmalıdır. Her diskin izlediği yol üzerindeki noktaları ***0, 1, 2, . . . , n*** şeklinde numaralandırın (İlk noktadan başlamanız gerekmez).

Disklerin yollarını çarpışma öncesinde ***A*** ve ***B***, çarpışma sonrasında ***C*** olarak işaretleyebilirsiniz.

4. Disklerin çarpışma öncesindeki $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ hızlarını ve çarpışma anında birbirine yapışan iki diskin çarpışmadan sonraki $\vec{v}'$ bileşik hızını bulun (*Bunun için Bölüm A'nın 3. adımında uyguladığınız yöntemden yararlanın*).
5. *Bölüm A'nın 4. adımında* anlatılan yöntemi uygulayarak $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ vektörel toplamını bulun ve momentumun korunduğunu doğrulayın.
6. Disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki *toplam kinetik enerjilerini* bulun; *fraksiyonel kaybı* ve *yüzde fraksiyonel kaybı* hesaplayın.

Veriler ve Sonuçlar:

Bölüm A: Elastik Çarpışma

1. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını yazın:

v_A = ... v_B = ...

v'_A = ... v'_B = ...

2. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ ve $\vec{v}'_A + \vec{v}'_B$ toplamlarını bulun ve momentumun korunumunu tartışın:

$|\vec{v}_A + \vec{v}_B| =$ . . . .

$|\vec{v}'_A + \vec{v}'_B| =$ . . . .

. . . .

. . . .

. . . .

3. Veri kağıdınızda oluşturduğunuz zaman kaydını kullanarak KM'nin çarpışma öncesi ve sonrasındaki hızını bulun.

V_{CM} = ... V'_{CM} = ...

4. Çarpışma sürecinde KM'in ne tür bir hareketi vardır?

Yukarıda V_{CM} ve V'_{CM} için verdiğiniz sonuçları, sırasıyla, $\frac{|\vec{v}_A + \vec{v}_B|}{2}$ ve $\frac{|\vec{v}'_A + \vec{v}'_B|}{2}$ ile karşılaştırın.

. . . .

. . . .

. . . .

5. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerini bulun. Kinetik enerjinin - *doğru sayıda anlamlı rakam kullanılarak değerlendirildiğinde* – korunduğunu söyleyebir misiniz?

K = ... K' = ...

Bölüm B: Elastik-Olmayan Çarpışma

6. Disklerin çarpışma öncesindeki $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ hızlarını ve çarpışma anında birbirine yapışan iki diskin çarpışmadan sonraki $\vec{v}'$ bileşik hızını yazın.

$\vec{v}_A$ = ... $\vec{v}_B$ = ...

$\vec{v}'$ = ...

7. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ toplamını bulun ve lineer momentumun korunumunu doğrulayın.

$|\vec{v}_A + \vec{v}_B|$ = ...

. . . .

. . . .

8. Disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerini bulun. Bu çarpışmada kinetik enerji korundu mu? Korunmadı ise, yüzde fraksiyonel enerji kaybını hesaplayın.

. . . .

. . . .

. . . .

DENEY NO: 9

DENEYİN ADI: İZOLE BİR SİSTEMDE ENERJİNİN KORUNUMU

DENEYİN AMACI:

Bu deneyin amacı, izole bir sistemde potansiyel ve kinetik enerjilerin ayrı ayrı ölçümlerini yaparak mekanik enerjinin korunumu ilkesinin geçerliliğini test etmek.

Araç ve Gereçler:

Hava Masası (Çelik diskler, iki yay, iki yay tutucu, çift taraflı kancalar).

Makara, kalibreli ağırlık seti, laboratuvar terazisi, cetvel.

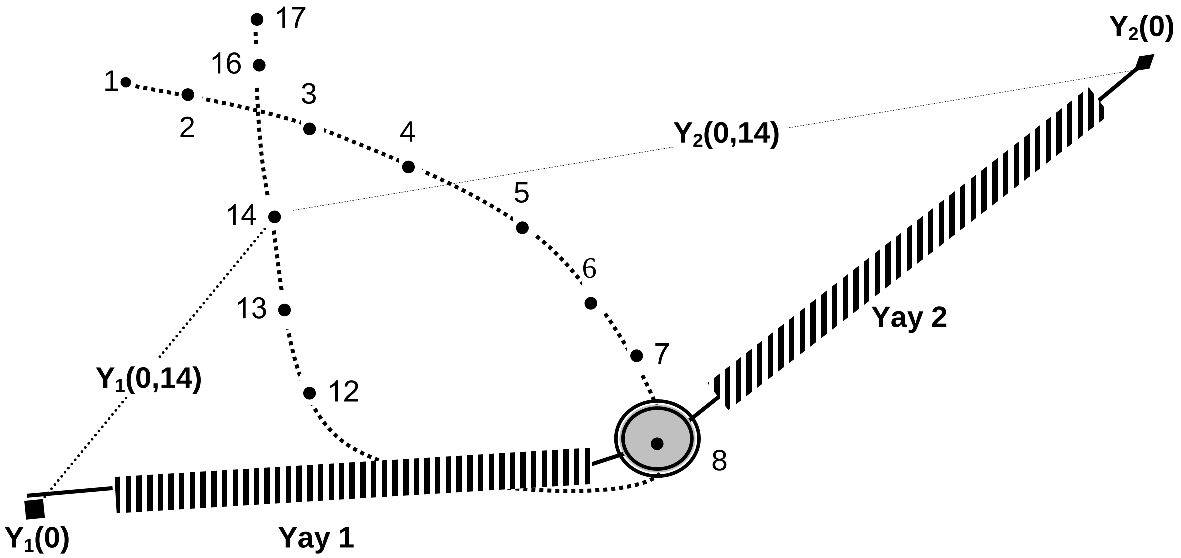
Temel Bilgiler:

Mekanik enerjinin korunumu ilkesine göre, izole bir sistemde, potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı bir sabittir. Kütlesi ***m*** ve hızı ***v*** olan bir cismin kinetik enerjisi aşağıdaki gibi verilir:

$$\boldsymbol{K = \tfrac{1}{2} m v^2}$$

Bu deneydeki sistem, iki yaya bağlanmış bir diskten oluşmaktadır. Böyle bir durumda potansiyel enerji, ***k*** bir yay sabiti ve ***x*** belirli bir yayın uzaması olmak üzere, aşağıdaki ifadeyle verilir:

$$\boldsymbol{U = \tfrac{1}{2} k x^2}$$

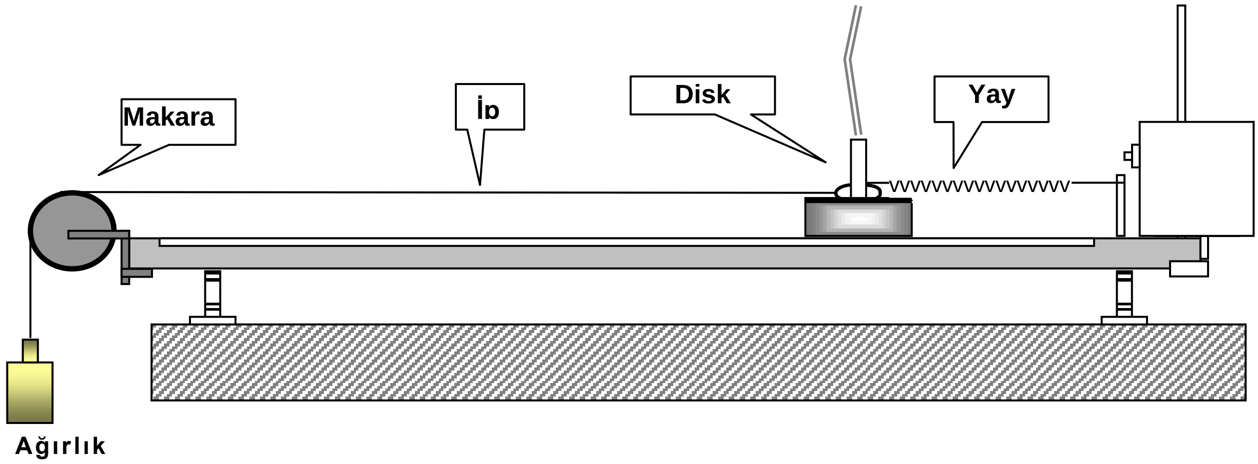


Şekil 1. İki yaya bağlı bir diskten oluşan sistem.

Deneyin Yapılışı:

1. Kullanacağınız diske çift-taraflı kancayı taktıktan sonra diskin kütlesini ölçün.
2. İki yayı düzgün hale getirip doğal uzunluklarını ölçün.
3. Hava masasını dikkatle yatay duruma getirin.

Aşağıdaki Şekil 2'de görülen deneysel kurulumu kullanarak yay sabitlerini ölçeceksiniz.



Şekil 2. Yay sabitlerinin ölçülmesi için deney kurulumu.

4. Bir ucu diske takılı olan ipin diğer ucuna asacağınız kütlenin değerini kaydedin. Asılı ağırlığı serbest bırakmadan önce ve yay uzamamışken, diskin yerini belirtmek amacıyla, ark üretecini çalıştırarak diskin bulunduğu noktaya ark izleri çıkmasını sağlayın. Ağırlığı serbest bırakın ve disk durduğu zaman yine ark üretecini çalıştırarak diskin yeni konumunu işaretleyin.
   Bu işlemi beş farklı ağırlık için tekraralayın.
   Aynı işlemleri ikinci yayı kullanarak tekrarlayın.
5. Hava masasına yeni bir kayıt kağıdı yerleştirin. Şekil 1'de gösterilen deney kurulumunu hazırlayın. Disk eliptik bir yörünge elde edilecek şekilde serbest bırakılmalıdır. İki yay da gergin durumda olmalıdır. Yayların bağlı olduğu yay tutucularının konumlarını not edin ve hangi yayın ne tarafta olduğunu belirtin. Ark üretecini 50 ms'de bir ark üretecek frekansa (20 Hz) ayarlayın. Yörüngeyi kaydedin.

Verilerin Analizi:

1. **Yay Sabiti**: Yayların davranışı Hooke yasasına uygun olacaktır: $\boldsymbol{F=kx}$. Burada $\boldsymbol{F}$ uygulanan kuvvet, $\boldsymbol{k}$ yay sabiti ve $\boldsymbol{x}$ yayın uzama miktarıdır. Uzamaya karşı kuvvet grafiğinin eğimi yay sabitini verecektir.

Deneyin 4. adımında elde ettiğiniz noktalardan geçen bir çizgi çizin ve bir başlangıç noktası seçin. Kuvveti (uygulanan ağırlığı) her noktanın başlangıç noktasından olan uzaklığının bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirin ve bulduğunuz doğrunun eğimini ölçün. Bu işlemi ikinci yay için tekrarlayın.

2. **Enerjinin Korunumu**

Deneyin 5. adımında elde ettiğiniz kayıt üzerinde değerlendirmek istediğiniz her noktayı küçük bir daire içine alın ve bu noktaları 1, 2, 3, ... şeklinde numaralandırın.

Sistemin potansiyel enerjisini zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplamak için, yayların her noktadaki uzama miktarını bilmemiz gereklidir. Bir noktadaki yayın uzama miktarını, bu nokta ile yayın bağlı olduğu nokta arasındaki uzaklıktan yayın doğal (*uzamamış haldeki*) uzunluğunu çıkararak bulabilirsiniz.

Kinetik enerjiyi zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplamak için, diskin her noktadaki hızının bilinmesi gereklidir. Değerlendirilecek her nokta için, bir önceki nokta ile bir sonraki nokta arasındaki uzaklığı ölçün. Diskin hızı bu uzunluğun ilgili zaman aralığına bölümüdür.

Aşağıdaki değerleri yazmak için 7 sütunlu bir tablo hazırlayın:

Nokta numarası, birinci yayın uzamaları, ikinci yayın uzamaları, hızı hesaplamakta kullanılan uzaklık, toplam potansiyel enerji, kinetik enerji, toplam mekanik enerji.

Hesaplamalarınızın bir ayrıntılı örneğini deney raporunuzda verin.

Potansiyel enerji, kinetik enerji ve toplam mekanik enerji eğrilerini gösteren grafikleri çizin.

<u>Sorular:</u>

1. Bu deneyde toplam mekanik enerji korunuyor mu? Korunmuyorsa, kaybolan toplam enerjiyi yörüngenin toplam uzunluğuna bölerek ortalama sürtünme kuvvetini değerlendirin.
2. Toplam enerji doğrusunda, eğer varsa, küçük sapmaları nasıl açıklayabilirsiniz?
3. Yay sabitlerinin hesaplanmasında, grafikte kullanılan apsis yayın gerçek uzaması olmayabilir. Bunun grafik üzerinde ne gibi bir etkisi olur? Bu, yay sabiti için bulunan değeri etkiler mi?