

Paketleme Listesi

1. Hava Masası
 - 1.1. Düz Tabla
 - 1.2. Ark Kronometresi ve Ayak Pedalı
 - 1.3. Hava Kompresörü (Hava Pompası) ve Ayak Pedalı
 - 1.3. Metal Diskler ve Disk Atıcı (Disk Fırlatıcı)
 - 1.4. Disk, Yay ve Makara Seti
 - 1.5. Deney Veri Kağıdı ve Karbon Kağıdı
 - 1.6. Hava Masası Eğimi için Bloklar
 - 1.7. Yay Seti, Yay Tutucu ve Yay Halkası
 - 1.8. Açı Bulucu
2. Bağlantı Kabloları
 - 2.1. Ark Kronometresi Bağlantı Kablosu
 - 2.2. Hava Kompresörü Bağlantı Kablosu
 - 2.3. Metal Disk Kabloları
 - 2.4. Ayak Pedalı Kabloları
3. Deney Föyleri (**Öğrenci ve Öğretmen Deney Föyleri**)

İçindekiler

1.	Amaç	4
2.	Hava Masasına Giriş	4
3.	Hava Masasının Çalışması	6
4.	Deney Düzeneği	7
5.	Hava Masası Deneyleri	8
5.1.	Deney-1: Sabit Hızlı Düzgün Doğrusal Hareket	8
5.1.1.	Deney Prosedürleri	9
5.1.2.	Laboratuvar Raporu	11
5.2.	Deney-2: Sabit İvmeli Düzgün Doğrusal Hareket	13
5.2.1.	Deney Prosedürleri	15
5.2.2.	Laboratuvar Raporu	16
5.3.	Deney-3: Eğik Atış	17
5.3.1.	Deney Prosedürleri	20
5.3.2.	Laboratuvar Raporu	22
5.4.	Deney-4: Doğrusal Momentumun Korunumu	24
5.4.1.	Deney Prosedürleri	28
5.4.2.	Laboratuvar Raporu	29
5.5.	Deney-5: Atwood Makinesi	30
5.5.1.	Deney Prosedürleri	33
5.5.2.	Laboratuvar Raporu	35
5.6.	Deney-6: Dönme Hareketi	36
5.6.1.	Deney Prosedürleri	42
5.6.2.	Laboratuvar Raporu	44
5.7.	Deney-7: Hooke Kanunu	47
5.7.1.	Deney Prosedürleri	49
5.7.2.	Laboratuvar Raporu	52

1. Amaç

Bu deneyde:

1. **Sabit hızlı** düzgün doğrusal hareket,
2. **Sabit ivmeli** düzgün doğrusal hareket ve **eğik düzlemde** hareket,
3. **Eğik atış** hareketi,
4. **Çarpışmalar** için **doğrusal momentumun** korunumu,
5. Temel **Atwood makinesi** kullanarak **Newton'un ikinci hareket yasası**,
6. Katı cisimlerin **dönme hareketi** ile ilgili **açısal hız, açısal ivme** ve **eylemsizlik momenti**,
7. **Mekanik enerjinin** korunumu,
8. Farklı yaylar için **Hooke yasası** ve **yay sabiti**,

konularının çalışılması amaçlanmıştır.

2. Hava Masasına Giriş

Deneyde kullanılan hava masası, metal disklerin sürtünmesiz bir yüzeyde hareket etmesini sağlar ve sürtünmesiz ortamda ark kayıt tekniği ile hareketin zaman işaretlerine izin verir. Hava masası, düz (cam) tabla, ark kronometresi, metal diskler ve hava kompresörü olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır.

- ➡ **Cam Tabla:** Metal disklerin serbestçe hareket edebileceği pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. **Elektiriksel** olarak iletken karbon kağıdı, deney veri kağıdı ile cam tabla arasına konur ve böylece konum-zaman ölçümleri için her ark, deney veri sayfası üzerine görülür bir siyah nokta bırakır.
- ➡ **Ark Kronometresi:** Bu kronometre **10, 20, 30, 40, 50** ve **100Hz** ark frekansları ile deney veri kağıdı üzerine arklar oluşturur. Deneylerde bu frekansı **10** ya da **20Hz** seçeceğiz. Örneğin, **10Hz** ark frekansı ile ark kronometresi deney veri kağıdı üzerine her **0.1** saniyede bir nokta (dot) oluşturacaktır.
- ➡ **Metal Diskler:** Bu parçalar çok düzgün yüzeylere sahip katı metal disklerdir. Her bir metal diskin merkezinde basınçlı havanın aktığı bir delik açılmıştır. Cam tabla üzerindeki kullanılan iki metal disk, tamamen sürtünmesiz ortamda hareket etmesi için hava sağlayan lastik **hortumlara** bağlıdır.



Şekil-1: Hava Masası Deney Seti.

Metal diskin ve cam tablanın düzgün yüzeyleri arasında metal diskin ortasında bulunan delik kanalıyla akmaya çalışan hava, metal diski yüzeyden yukarı doğru iter, böylece metal disk yüzeyden yükselir ve bu durumda ince bir hava tabakası ile desteklenir. Metal disk yeterince ağır olduğu için, cam tabla yüzeyinden çok fazla yükseğe kaldırılamaz, fakat bulunduğu yükseklikte havanın oluşturduğu ince hava tabakası metal diskin **havada süzölebileceği** bir hava **yastığı** gibi neredeyse sürtünmesiz bir yüzey sağlar. Böylece, metal diskler yaklaşık olarak sürtünmenin olmadığı bir yüzeyde kayarlar. Bu, hava masası ürününün en önemli özelliğidir. (Şekil-1). Ayrıca, metal diskin altında bir elektrot (yüksek voltaj uç) bulunmaktadır. Ark kronometresi anahtarına basılarak çalıştırıldıktan sonra yüksek voltaj ucu beyaz kağıt (deney veri kağıdı) üzerinde eşit zaman aralıklarıyla koyu noktalar (dot) oluşturan kıvılcımlar üretir. Bu nedenle, metal diskin altına bir parça kağıt koyarsak, bu kağıt üzerinde noktalardan oluşan bir iz üreten ark kronometresini kullanarak diskin hareketini kaydedebiliriz. Bu noktalar üzerine yapılan çalışma, hareketli metal disklerin zamanın fonksiyonu olarak konumlarını ölçmemizi sağlamaktadır.



Şekil-2: Hava Masası Bileşenleri.

- ➡ **Hava Kompresörü (Hava Pompası):** Hava kompresörü hava masası tablası üzerindeki metal disklerle bağlı olan **hortumlara** hava akışını sağlar.

Hava kompresörü çalıştırıldığında, hortumlar boyunca kompresörden metal disklerle doğru bir hava akışı oluşturulur. Metal disklerin alt yüzeyi boyunca akan basınçlı hava, metal diskler ile hava masası arasındaki sürtünmeyi azaltır ve böylece metal diskler neredeyse serbestçe hareket eder.

Hava masası deneylerini yapmak için hava masasının üzerine öncelikle bir karbon kağıdı ve daha sonra bir tabla beyaz kağıt (**deney veri kağıdı**) yerleştirilir. Hava masasını dengelemek için üç tane ayarlanabilir ayak bulunmaktadır. Bu yüzden, tüm deneylerden önce, temas yüzeyi bu ayarlanabilir ayaklarla tam olarak düzgün hale getirilmelidir. Hava masasının yüzeyi üzerinde hareket eden **metal** diskler, deneylerde parçacık olarak kabul edilir. Ark kronometresi hava hortumları içindeki zincir yoluyla metal disklerle bağlıdır. Ark kronometresi etkin durumda iken metal **diskin merkezi** ile **karbon kağıt** arasındaki deney veri kağıdı üzerinde kıvılcımlar oluşmasına neden olan periyodik bir yüksek gerilim üretir. Ark kronometresi ayak pedalı vasıtasıyla çalışmaktadır. Bu ayak pedalına basarak, metal diskler ve karbon kağıt arasında ark kronometresinden ayarlanabilir bir frekansta sürekli olarak kıvılcım üretilebilir. Daha sonra, deney veri kağıdı üzerinde kıvılcım üretilen zamanlardaki her metal diskin konumunu **gösteren** siyah noktalar belirir.

Her kıvılcım deney veri kağıdı üzerine bir nokta (dot) üretmektedir ve herhangi bir deneyde metal disklerin hareketi bu noktaların deney veri kağıdı üzerinde oluşturduğu yol kullanılarak incelenebilir. Ark kronometresi üzerindeki ayar düğmesi deneye başlamadan önce farklı **kıvılcım frekansları** seçmeyi sağlar. Örneğin, eğer ark kronometresi frekansı $f=20\text{Hz}$ olarak ayarlanırsa, masa üzerindeki her metal disk bir saniyede deney veri kağıdı üzerine 20 nokta işaretler ve ardışık iki nokta arasındaki **zaman aralığı** $T=1/20=0.05$ saniye olarak verilir. Bu işaretler kullanılarak kullanılan diskin yer değiştirme ölçümü yapılabilir ve ortaya çıkan hız ve ivme değerleri hesaplanabilir. Deneyde kullanılacak hava masası parçaları **Şekil-(2)**'de verilmiştir.

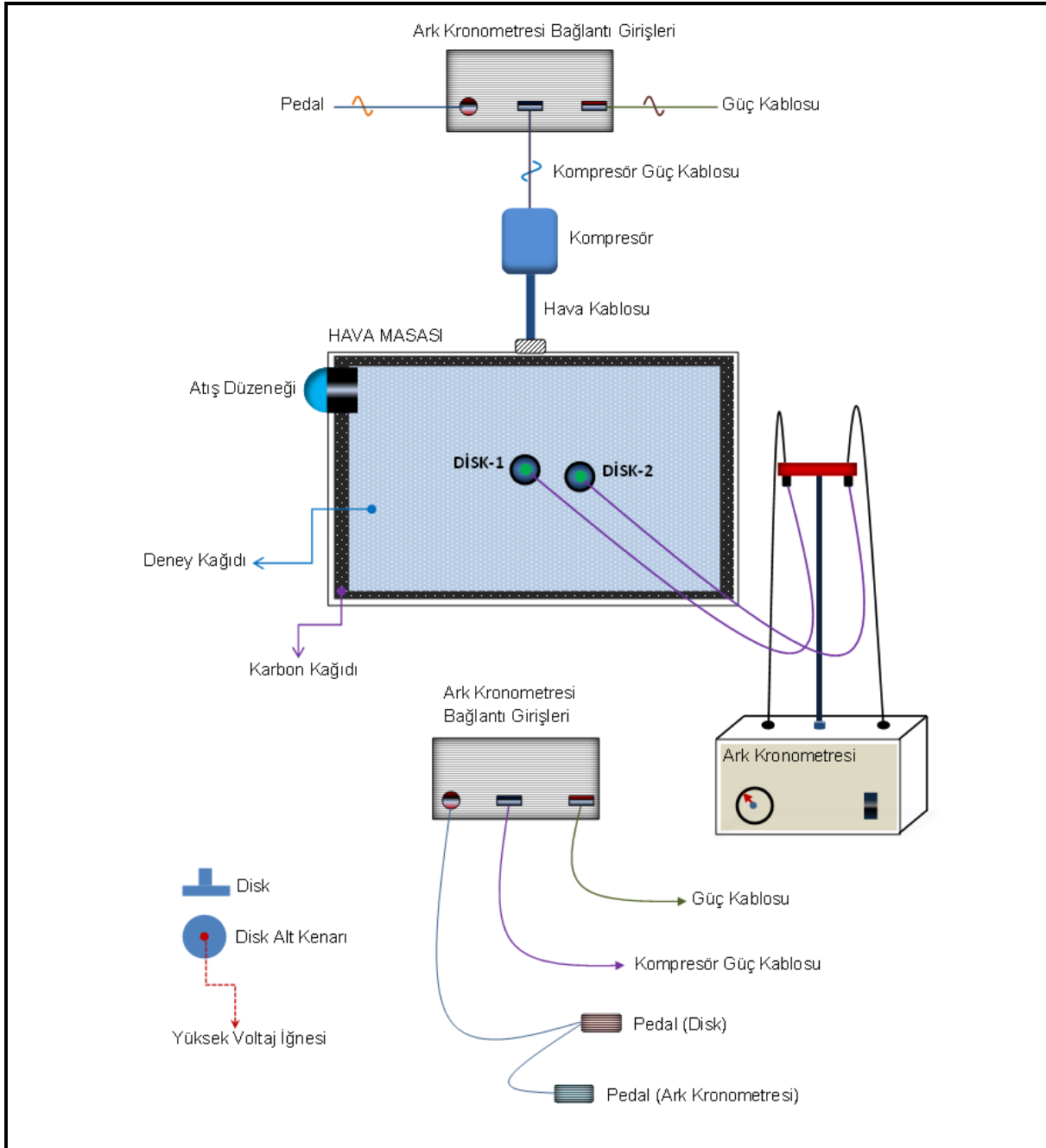
3. Hava Masasının Çalışması

Hava masası ile yapılacak ilk deney için, hava masasının nasıl çalıştığını öğrenmek önemlidir. Aşağıda verilen adımları kullanarak hava masasını çalıştırabilirsiniz.

1. İlk olarak **karbon kağıdını** hava masasının cam tablası üzerine yerleştirin. Karbon kağıdını köşelerinden hava masası cam yüzeyine bantlamak gerekli **değildir**. Karbon kağıdı düz ve temiz olmalıdır.
2. Karbon kağıdının üzerine **veri kağıdını** (beyaz deney veri kağıdını) yerleştirin. Bu kağıdı bantla **yapıştırmayın**.
3. **İki metal diski** masanın ortasına yakın olacak şekilde deney veri kağıdının üstüne **yerleştirin**.
4. Hava masasında iki tane ayak pedalı vardır. Bunlardan biri kompresöre (hava pompasına) **güç sağlamaktadır**, diğeri ise kıvılcım oluşumunu (**S**) başlatmaktadır.
5. Deneyden önce, ayak pedalları hangisinin hava pompasına güç sağladığını hangisinin kıvılcım oluşumunu başlattığını belirlemek için **test edin**.
6. Pompayı çalıştıran ayak pedalına (**P**) basın ve iki metal diskin herhangi bir sürtünme olmadan deney veri kağıdı üzerinde hareket edip etmediğini gözlemleyin. Metal disklerle bağlı olan hava hortumları serbest ve bükülmemiş olmalıdır.
7. Şimdi, sürünmesiz ortamda hareket halinde olan metal disklerin masa yüzeyinin *merkezinde* hareketsiz kalmalarını sağlayacak şekilde hava masasının ayaklarını **ayarlayın**. Hava masasının ön tarafındaki ayakları ayarlayarak metal disklerin **yanlara hareketini** ortadan kaldırın ve herhangi **arkaya** ve **öne** hareketleri ortadan kaldırmak için arkada bulunan tek ayağı kullanın. Metal diskleri kullanarak uygulanan bu metot, hava masasının seviyesini ayarlamanın kolay yoludur. Sonuçta, metal diskler hava masasının üzerinde herhangi bir yönde hareket etmemelidir. Bu aşama hava masasını “düzeltme” olarak adlandırılır.
8. Hava pompası için ayak pedalına (**P**) basın ve basılı tutun. Yavaşça, iki metal diskinde altından deney veri kağıdını kendinize doğru çekin. Gördüğünüz gibi, veri kağıdı ve metal diskler arasında neredeyse **sürtünme** olmadığından, veri sayfası kolay hareket edecektir. Şimdi, kısa bir süre için ark kronometresine bağlı olan ayak pedalına (**S**) **basın**, sonra **bırakın**. Bu süre boyunca, metal disklerin altından başka bir kısa süre boyunca veri kağıdını çekin. Bu kağıdı kendinize doğru tamamen çekin ve ayak pedalını (**P**) bırakın.

9. Şimdi, veri kağıdını çevirin ve **siyah noktaları** gözlemleyin. Kıvılcımların üretildiği zamanlardaki her bir metal diskin konumunu gösteren siyah noktalar deney veri kağıdı üzerinde görülecektir. Bu olayın sadece metal disklerin cam tabla üzerindeki karbon kağıdın bulunduğu alan içerisinde olması durumunda gerçekleştiğini unutmayın.
10. Her iki metal disk, kıvılcım işaretlemesi ve veri kağıdı üstünde **noktalar oluşturmak** için karbon kağıdının üzerinde olmak zorundadır. Eğer herhangi bir hareket türü için sadece **bir metal disk** kullanılacaksa, merkezinin karbon kağıdının alanı içerisinde olmaması ve sabit kalması için **diğer metal diski** hava masasının bir köşesine yerleştirin. Karbon kağıdı elektriksel olarak iletkenidir.
11. Belirli bir deneyde **iki diski de** kullanırken, aynı anda her iki metal diski zaman cinsinden nerede olduğunu belirlemeniz gerekecektir. Her metal disk için **ilk noktayı sıfır olarak işaretlemek kaydıyla** deney kağıdı (veri kağıdı) üzerindeki noktaları **numaralandırın**. Yani, numaralandırmayı her metal diskin hareketine başladığı yerde başlatın. Noktalar, kıvılcım oluştuğu anda metal diskin merkezinin nerede olduğunu gösterecektir. Her metal disk için **sıfır numaralı noktayı** sıfır pozisyonundaki ve sıfır zamandaki **referans yer** olarak kullanın.
12. Pompa (P) ve ark kronometresi (S) ayak anahtarlarını aynı anda etkinleştirmek için bir pedalı diğerinin üstüne koyabilirsiniz. İki disk de kendi hareketini tamamlayıncaya kadar her iki anahtarı da basılı tutun. Bu kullanım, her iki ayak pedalının da aynı anda aktif olmasına neden olur.
13. Bazı deneyler, *eğimli bir hava masa* üzerinde yapılacaktır. Eğimli bir hava masası oluşturmak için, masanın arkasındaki ayarlanabilir tek ayağın altına bir tahta blok yerleştirilir. (bu işlem öncesinde, masa “düzeltilmiş” olmalıdır). Eğim açısını ölçmek için bir açölçer kullanabilirsiniz.
14. Ark kronometresi çalışırken; iletken bölümlere, yüksek gerilim bağlantılarına, metal disklerin hortumlarına ve deney veri veya karbon kağıdına **dokunmayın**.

4. Deney Düzenegi



Şekil-3: Hava masası deney setinin şematik gösterimi.

Hava masası deney düzeneği şematik gösterimi **Şekil-(3)’te** verilmiştir. Hava kaynağı (kompresör), havayı hortumlar vasıtasıyla metal disklere doğru iter. Bu yolla, masa üzerindeki sürtünme etkisi büyük ölçüde ortadan kaldırılır. Oluşturulan bu hava yastıkları üzerinde serbest olarak hareket eden iki metal disk, ark kronometresine elektriksel olarak bağlıdır. Ark kronometresi, başlangıçta farklı kıvılcım frekansları seçerek, düzenli aralıklarla belirli değerlerde ayarlanabilir noktalar (kıvılcımlar) üretir.

Bu kıvılcımlar her bir metal diskin merkezinin konumunu, veri kağıdı üzerine işaretler. Ark kronometresi çalışırken, metal disklerden gelen her kıvılcım, veri kağıdı üzerine siyah bir nokta bırakır. Bu şekilde, hareketli diskin yönü eşit zaman aralıklarında siyah noktalar şeklinde bir ardışık dizi olarak veri kağıdına çizilir. Bu noktalar üzerine yapılacak deneysel çalışma, hareketli metal diskler için zamanın bir fonksiyonu olarak konumu ölçmemizi sağlar.

5. Hava Masası Deneyleri

Adı Soyadı:	
Bölüm:	
Öğrenci No:	
Tarih:	

5.1. Deney-1

Sabit Hızlı Düzgün Doğrusal Hareket

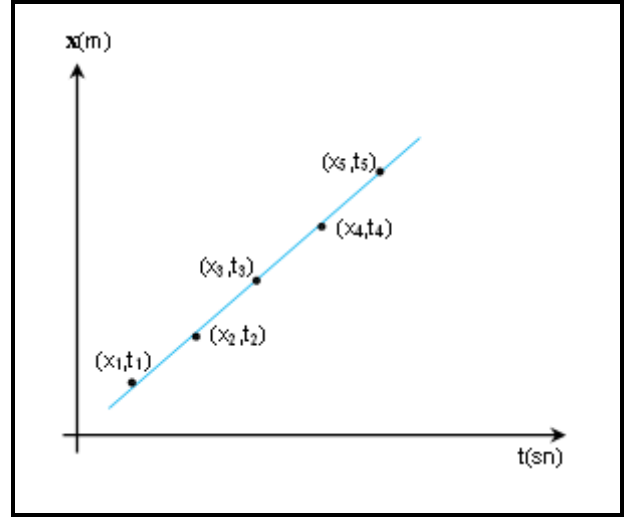
Deneyin bu bölümünde, düzgün doğrusal bir yolda **sabit hızla** hareket eden bir nesnenin hızı üzerinde çalışacaksınız ve sonuçta bu hızı belirleyeceksiniz. Bu tür hareketlerde, düzgün doğrusal bir yolda hareket eden cisim eşit zaman aralıklarında eşit yol alır. Deneyde, yatay masanın yüzeyinde serbest hareket eden metal disk, parçacık olarak kabul edilecektir. Küçük bir itme ile hareketine başladıktan sonra metal disk hava masası boyunca sabit hızla hareketine devam edecektir.

Teori

Bir parçacık düzgün doğrusal bir yolda hareket ettiğinde, parçacığın konumunu x gibi bir koordinat aracılığıyla orijine (0) göre tanımlarız. Hareket eden cisim üzerine bir net kuvvet etki etmiyorsa, bu cisim düzgün doğrusal bir yolda sabit hızla hareket eder. Parçacığın yer değiştirmesi konumunun değişmesidir. Bu yüzden, bir zaman aralığı ($\Delta t = t_2 - t_1$) boyunca parçacığın **ortalama hızı** (v_{av}) yer değiştirmesinin ($\Delta x = x_2 - x_1$) zaman aralığına (Δt) bölümüne eşittir:

$$v_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (\text{Deneysel}) \quad (1)$$

Yukarıda verilen Denklem-(1)'de, ortalama hız yer değiştirmenin (Δx) geçen zamana (Δt) bölümüdür. Ortalama hızın yönü her zaman yer değiştirmenin yönü ile aynıdır. Ortalama hız, gerçek parçacığın katettiği mesafeye (yani, toplam alınan yol) bağlı değildir, fakat bunun yerine ilk ve son konumuna (yer değiştirme) bağlıdır.



Şekil-4: Düzgün doğrusal bir yolda sabit hızla hareket eden bir cismin zamanın bir fonksiyonu olarak konum grafiği.

Böylece, ortalama hız toplam alınan yol yerine yer değiştirme cinsinden tanımlanır. Bir parçacığın hızı, aynı zamanda, zamanın bir fonksiyonu olarak konumunun grafiğinden de bulunabilir. Zamana (t) karşı konum (x) grafiğinde bir zaman aralığı (Δt) için ortalama hız, grafikteki noktaların oluşturduğu eğri üzerinde zaman aralığının iki uç noktasını birleştiren düz çizginin eğimidir. Bu nedenle, bu deneyde eğer t 'ye karşı x grafiği (x - t grafiği) çizerseniz, düz bir çizgi ve bu hareket için ortalama hızın deneysel değerini verecek olan bu çizginin eğimine sahip olacağız. Sabit bir hız ile düzgün doğrusal bir yolda hareket eden bir parçacığın yer değiştirmesi $x(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki formda verilmektedir:

$$x(t) = x_0 + vt \quad (2)$$

Parçacık $t=0$ anında orijindeyse, $x_0=0$ olarak alınır. Bu nedenle, cisim başlangıç konumu olarak orijindeyse, $x_0=0$, hareket denklemi herhangi bir zaman için:

$$x(t) = vt \quad (3)$$

haline gelir. Yukarıdaki bağıntıda, parçacığın düzgün doğrusal bir yol boyunca eşit zaman aralıklarında eşit mesafe aldığı açıkça görülmektedir (Şekil-4).

5.1.1. Deney Prosedürleri

Dikkat!

Ark kronometresi çalışırken, iletken bölümlere, yüksek voltaj uçları veya metal disklerin hortumları ve deney veri ya da karbon kağıdına **dokunmayın**.

1. Ark kronometresinin ana güç düğmesini açmadan, **Şekil-(3)**'de gösterildiği gibi deney düzeneğini kurunuz.

DENEY NOTU: Metal disklerin hortumlar aracılığıyla pompaya bağlanması gerektiğine dikkat edilmelidir. Bu hava hortumları serbest halde, bükülmemiş olmalıdır.

2. İlk olarak **karbon kağıdı** ve daha sonra beyaz **deney veri kağıdını** çalışma kağıtları olarak hava masasının cam tabakası üzerine yerleştiriniz.

2.1. Karbon kağıdı ve deney veri kağıdı hava masası üzerinde düz olmalıdır.

2.2. **Deney veri kağıdı** üzerine iki metal diskı koyunuz. Metal disklerden birini hava masasının bir köşesinde çalışma kağıdının katlanmış parçası üzerinde sabit **tutunuz**. Deneyin bu bölümünde, **sadece bir metal disk** kullanılacaktır.

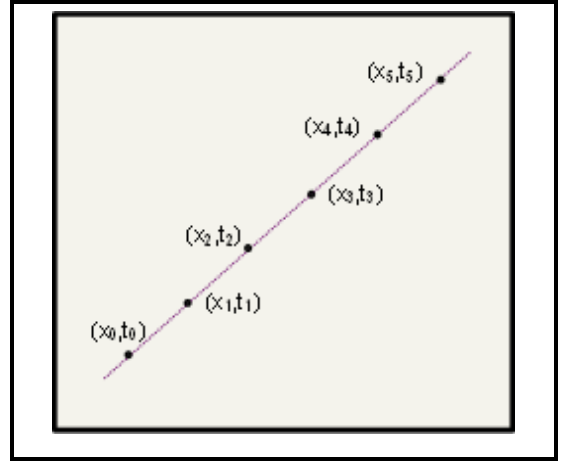
3. **Kompresörü** çalıştırarak ve metal disklerden birini masanın ortasına yerleştirerek hava masasının seviyesini **yatay olarak** ayarlayınız.

4. Şimdi, ark kronometresini çalıştırınız ve frekansını

▪ **f=20Hz.**

olacak şekilde ayarlayınız.

5. Kompresör ve ark kronometresi işlemleri için her iki anahtarı da test ediniz. Kompresör sadece **pompa** (metal disk) **ayak-anahtarına** basarak çalışırken, metal disk neredeyse sürtünmesiz bir ortamda rahatça hareket etmelidir. **Ark kronometresi ayak anahtarına** basıldığında, beyaz kağıt üzerinde (karbon kağıdına dönük olan deney veri kağıdı tarafında) siyah noktalar görülmelidir.



Şekil-5: Metal disk tarafından deney kağıdı üzerine üretilen noktalar.

6. Daha sonra, hem metal disk **anahtarını** hem de ark kronometresi **anahtarını** aynı zamanda aktive ederek metal diskın hareketini test ediniz ve deney veri kağıdı üzerindeki siyah noktaları gözlemleyiniz. Metal diskın hava masası üzerinde serbestçe hareket ettiğinden emin olunuz.

7. Kompresör (P) ve ark kronometresi (S) anahtarlarını aktive ediniz ve daha sonra metal diskı hava masası yüzeyi boyunca **çapraz olarak** itiniz.

7.1. Metal disk **serbest bırakıldığında**, hava masası üzerinde bir uçtan diğer uca tüm çapraz mesafe boyunca **sabit hızla** düzgün doğrusal bir yolda hareket edecektir.

7.2. Daha sonra, metal disk maksimum pozitif yer değiştirmesine ulaştığında, her iki anahtarı da aynı anda kapatınız.

8. **Ark kronometresini kapatınız ve güvenlik için metal diskı hava masasından kaldırınız.**

9. Beyaz deney veri kağıdını (çalışma kağıdını) hava masasından kaldırınız.

9.1. Deney veri kağıdı üzerinde siyah noktalar **Şekil-(5)**'de verildiği gibi görünecektir.

9.2. Ark kronometresi tarafından deney veri kağıdı üzerine üretilen noktalar eşit olarak ayrılmış **zaman** aralıkları ile metal diskın yer değiştirmesini işaretlemektedir.

10. **Birinci noktadan başlayacak şekilde 0,1,2,...,10** gibi, noktaları numaralandırınız ve **daire içine alınız. Birinci noktayı (sıfırıncı nokta) $x_0=0$ ve $t_0=0$ alınız.**

- 10.1. Bir cetvel kullanarak, **ilk noktadan** (sıfırıncı nokta) başlayarak **10** noktanın mesafelerini **ölçünüz**.
- 10.2. Başlangıç konumuna (**sıfırıncı nokta**) göre yer değiştirme (**x**) bir cetvel kullanarak doğrudan ölçülebilir.
- 10.3. Ayrıca, her noktaya karşılık gelen **zamanı (t)** bulunuz (yani, ilk noktayı sıfır zamanda olduğunu ve birbirini izleyen her noktanın $f=20\text{Hz}$ olduğundan bir önceki noktadan 0.05 saniye sonra oluştuğunu dikkate alınız).
- 10.4. Konum (**x**) ve zaman (**t**) verilerini **Tablo-(1)**'e kaydediniz.

Ark kronometresi frekansı $f=20\text{Hz}$ olarak ayarlandığı için iki nokta arasındaki zaman $1/20$ saniyedir. Bu nedenle, ilk noktayı sıfır zamanda ($t_0=0$) ve her ardışık noktayı bir önceki noktadan "**0.05**" saniye sonrasında alınız.

11. **Tablo-(1)**'deki veri noktalarını kullanarak, **zamana** (x-ekseni) karşı **konum** (y-ekseni) grafiğini çiziniz. Çizilen **x-t** grafiğinin doğrusal bir fonksiyon göstermesi gereklidir.

- 11.1. Grafik eksenlerini isimlendiriniz ve her eksen üzerine ilgili **birimi** yazınız.
- 11.2. Lineer bir grafiğe uyan en iyi doğruyu çiziniz ve bu doğrunun **eğimini** bulunuz.
- 11.3. Daha sonra, doğrunun **eğimini** kullanarak metal diskin **hızını** (**v**) belirleyiniz. Doğrunun eğimi metal diskin **ortalama hızıdır**.

Bir konum-zaman grafiğinde çizilen en iyi doğrunun **eğimi** cismin ortalama hızıdır. Ortalama hız, bir zaman aralığı için konumdaki değişme oranıdır.

12. **Tablo-(1)**'deki verileri kullanarak, **Tablo-(2)**'yi oluşturunuz.

- 12.1. **Konumu** (yani, 2 ardışık nokta arasındaki mesafeyi) ve her nokta aralığına karşılık gelen **zamanı** ölçünüz.
- 12.2. Her nokta aralığı için tablodan **ortalama hızı** (**V_{av}**) hesaplayınız.
- 12.3. Hesaplanan hız değerlerini V_{av} (ortalama hız) olarak isimlendirilmiş sütuna **m/sn** biriminde kaydediniz.

Ortalama hızın sadece $\Delta t=t_2-t_1$ zaman aralığı içerisindeki yer değiştirmeye bağlı olduğuna dikkat ediniz. Bu nedenle, her nokta çifti arasındaki ortalama hızı (v_{av}) elde etmek için her mesafeyi ark kronometresinin periyoduna ($T=1/f$) bölünüz.

13. Her nokta aralığı için **ortalama hızı** grafiğin **eğiminden** elde edilen değer ile **karşılaştırınız**.

- 13.1. Verilerinizi **Tablo-(3)**'e doldurunuz.
- 13.2. **Eğimden** bulunan hız değeri ile **her nokta aralığı** için hesaplanan ortalama hız değeri uyumlu mudur? Bu karşılaştırmanız %10'dan fazla bir hata payı gösteriyorsa muhtemel hata kaynaklarından en az birini açıklayınız.

Sorular

- **Her nokta aralığı** için hesaplanan hız değerleri arasındaki farkı ve grafikten elde edilen değerleri tartışın. Aralarındaki fark yaklaşık olarak aynı mıdır?
- Bir cisim, belirli bir zaman aralığında düzgün (yani, sabit) hızla hareket ederse, her hangi bir zamanda **anlık hızı** ile **ortalama hızı** eşit olur mu? Cevabınızı açıklayın.
- Ortalama hızı belirlemek için konum-zaman grafiğini nasıl kullandığınızı açıklayın.
- Ortalama hızı göstermek için kullanılan konum-zaman grafiğindeki **eğimin sıfır olması** ne anlama gelmektedir?
- Noktalar arasındaki mesafe ölçümünde belirsizlik nedir? Deneydeki olası hata kaynaklarını kısaca açıklayın.

5.1.2. LABORATUVAR RAPORU

Sabit Hızlı Düzgün Doğrusal Hareket

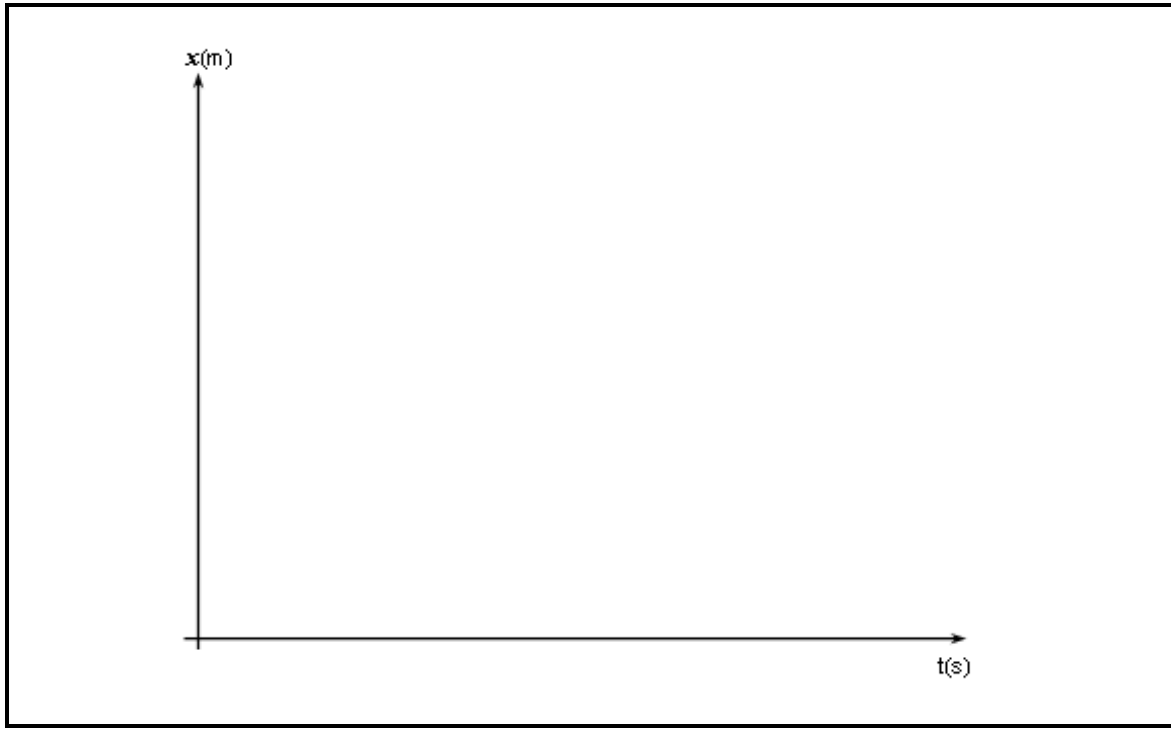
Tablo-1: Sabit hızlı hareketin konum ve zaman verileri.

Nokta Numarası	Konum $x \pm \Delta x (m)$	Zaman $t (sn)$	Eğimden
			$v(m / sn)$
0	0	0	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tablo-2: Sabit hızlı hareketin ortalama hızı için deneysel veriler.

Aralık Numarası (n)	$x_n (m)$	$x_{n+1}(m)$	$x_{n+1} - x_n (m)$	$t_n (sn)$	$t_{n+1}(sn)$	$t_{n+1} - t_n (sn)$	$v_{av} (m / sn)$
0-1	0	0	0	0	0		
1-2							
2-3							
3-4							
4-5							
5-6							
6-7							
7-8							
8-9							
9-10							

(x_n , ilgili noktaya karşılık gelen n. veri noktasının konumudur).



Grafik-1: Sabit hızla düzgün doğrusal bir yolda hareket eden metal disk için **zamanın** bir fonksiyonu olarak **konum** grafiği.

Tablo-3: Her zaman aralığındaki **ortalama hız** ile eğimden bulunan hızın **karşılaştırılması**.

Aralık Numarası (n)	$v_{av}(m / sn)$	Eğimden	Fark	Fark ($\pm\%$)
		$v(m / sn)$	$|\Delta v(m / sn)|$	
0-1				
1-2				
2-3				
3-4				
4-5				
5-6				
6-7				
7-8				
8-9				
9-10				

5.2. Deney-2

Sabit İvmeli Düzgün Doğrusal Hareket

Bu bölümde, eğimli bir sürtünmesiz hava masası üzerindeki cismin (metal disk) sabit ivmeli düzgün doğrusal hareketini inceleyeksiniz. Deney verileri grafiklendirerek, hava masası üzerinde aşağı doğru hareket eden metal diskin ivmesini bulacaksınız.

Teori

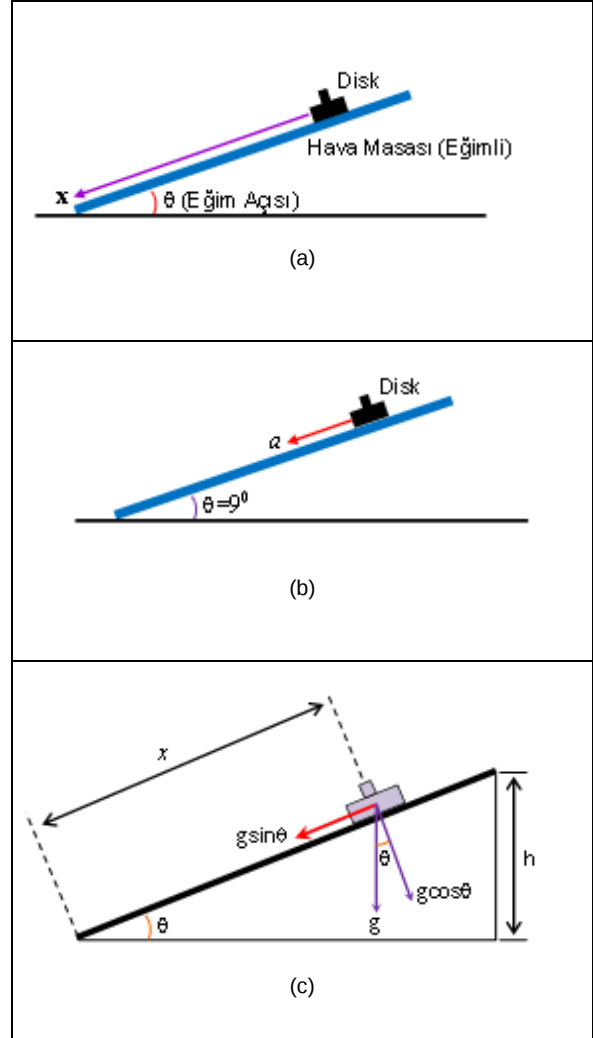
Bir parçacık, sürtünmesiz bir eğik düzlemden düz bir şekilde aşağı doğru kayarken, ivmesi sabittir ve parçacık düzgün doğrusal bir çizgide hareket eder. Parçacığın ivmesinin büyüklüğü hareket ettiği düzlemin eğimli olduğu açıya bağlıdır. Eğer eğim açısı 90° ise, cisim büyüklüğü 9.8 m/s^2 olan **Dünya'nın yerçekimi ivmesine** g eşit bir ivme ile aşağı doğru kayacaktır. Metal disk eğimli hava masasının en üst noktasından koyulur ve bu noktadan aşağı doğru kaymasına izin verilirse, metal disk doğrusal bir çizgide, fakat artan bir hızla, hareket edecektir. Diskin hızındaki değişim oranı ivmesine eşittir. Metal diskin, t_1 anında v_1 hızı ile x_1 noktasında, ve t_2 zaman sonra, v_2 hızı ile x_2 noktasında olduğunu düşünelim. Bu hareket için, metal diskin $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığında ortalama ivmesi

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

olarak tanımlanır. Bir hava masası üzerinde bir metal diskin tek boyutlu hareketini incelemek için, kordinat sisteminin orijini olarak hareketin başlangıcına en yakın nokta seçilir. Bir boyutta hareket eden metal diskin konumu, deney veri kağıdı üzerindeki **sabit bir zaman aralığında** üretilen arkın konumu x ile belirlenir. **Hız**, konumun zaman ile değişiminin oranı ile açıklanırken **ivme** de hızın zaman ile değişiminin oranı ile açıklanır. Bu, metal diskin hızının, disk aşağı kayarken artacağı anlamına gelir. Hareketin anlık ivmesini (sadece ivme) x -ekseni yönünde düşünürsek,

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

olurdu. Başka bir deyişle, herhangi bir anda cismin ivmesi, cismin o andaki hızının değişim oranıdır.



Şekil-6: Eğimli bir hava masası üzerinde aşağı doğru hareket eden metal disk düzeneği (a), eğimli bir hava masası üzerindeki doğrusal aşağı hareket (b) ve yer çekimi ivmesinin, g , bileşenleri (c). Masanın bir θ açısı kadar eğimli olması nedeniyle, metal diskin bu eğim boyunca ivmesi $a = g \sin \theta$ olmalıdır.

Şimdi, hızı düzgün olarak değişerek hareket eden cismin hareketini inceleyeceğiz. Hava masası **Şekil-6**'da gösterildiği gibi bir θ açısı ile eğimlidir. Düzgün doğrusal harekette anlık ivme hızın zamanla anlık **değişimine** eşittir. Hız bir vektör olduğundan ivmede bir vektördür. Fakat, bir boyutta hareket için, ivmenin **yönünü** belirtmek için seçilen kordinat eksenine göre artı veya eksi işaret kullanmak yeterlidir. Eğimli hava masası için, pozitif x -ekseni metal diskin hareketinin **yönü** olacaktır.

Buna göre, ivmenin sabit ve hareketin doğrusal bir çizgide olduğu durumu inceleyelim. Bu durumda, anlık ve ortalama ivmeler **eşit** olacaktır. Bir $t_1=0$ başlangıç zamanında metal diskin x_0 konumunda ve hızının $v_1=v_0$ olduğunu varsayalım. $t_2=t$ zaman sonra, bu disk x konumunda ve $v_2=v$ hızındadır. Metal diskin ivmesi sabitse, ortalama ve anlık ivmesi birbirine eşittir ve böylece,

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0} \quad (6)$$

bulunur. Daha sonra, metal diskin **hızı**,

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

olacaktır. Bu eşitlikte; v_0 ; $t = 0$ anındaki hızdır. $t = 0$ anından daha sonraki t anına kadarki aralık için, bir boyutta sabit ivmeli cismin hareket denklemi;

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (8)$$

gibi yazılabilir.

Burada:

x_0 : $t=0$ anındaki yer değiştirme (ilk konum),

v_0 : $t=0$ anındaki hız (ilk hız) ve,

a : Cismin ivmesi.

Bu deneyde, ark kronometresi çalışırken metal diskin eğimden aşağı doğru hızlanmasına izin vereceğiz, fakat disk eğimli yüzeyin alt kısmına vurmadan önce ark kronometresini kapatacağız. Veri kağıdı üzerinde yolun başlangıcına yakın bir noktayı orijin olarak seçeceğiz ve $t=0$ anına karşılık gelen $x=0$ konumu olarak etiketleyeceğiz.

Cismin hareketi $t=0$ anında hareketsiz durumdan ($x_0=0, v_0=0$) başladığından, cismin herhangi bir t anındaki konumu (anlık konum)

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{Deneysel}) \quad (9)$$

olacaktır. Pozitif x-ekseninin metal diskin hareket yönü olarak alındığını unutmayın. Her ark izi için, yer değiştirmeyi (x) orijinden her bir veri noktasına olacak şekilde kullanılarak, x koordinatı orijinden o noktaya ölçülmelidir. **Denklem-(9)**'un grafiği, diğer bi deyişle, sabit ivmeli hareket için **x-t** grafiği, her zaman **x-y** düzleminde orijinden geçen bir paraboldür. Ancak, eğer **x-t²** grafiği çizilirse, **eğimi**,

$$\frac{1}{2} a$$

olan ve orijinden geçen bir doğru bulunur. Eğimli yüzeyden aşağıya doğru hareket eden cismin (denyde metal diskin) ivmesi (a), yer çekimi ivmesinin (g) bir bileşenidir; $a = g \sin \theta$.

✓ Bu yüzden, eğer θ biliniyorsa ve ivme (a) belirlenmişse, yer çekimi ivmesi (g) deneysel olarak hesaplanabilir.

✓ Eğer θ ve g değerlerinin bilindiği düşünülürse, ivme (a) için beklenen değer belirlenebilir.

5.2.1. Deney Prosedürleri

1. Hava masasının üzerine deney veri kağıdı (çalışma kağıdı) üstte olacak şekilde bir deney veri kağıdı ve bir karbon kağıdı yerleştirin.
2. İlk olarak, hava masasını düz seviyeye getirin ve daha sonra bir yükseltici blok ile bir eğim açısı (yatay düzlem ile bir açı):

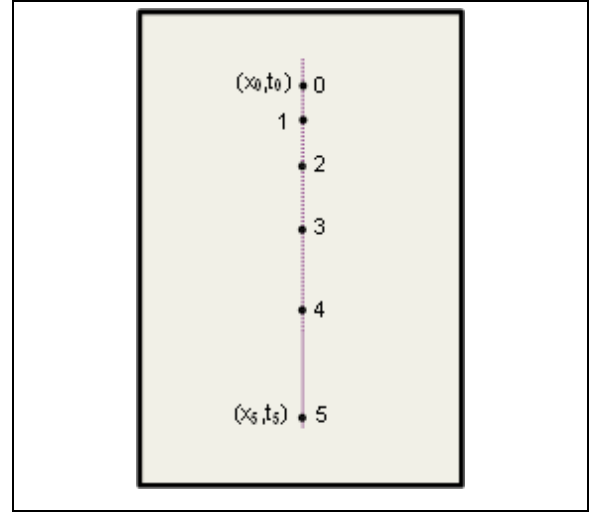
$$\theta = 9^\circ$$

vermek için bir kenarını yükseltin:

3. Metal disklerden birini hava masasının sağ alt köşesinde karbon kağıdının üzerinde hareketsiz bırakın. Bu deneyde, sadece bir metal disk kullanılacaktır.
4. Kompresörü (hava kaynağını) çalıştırın.
 - 4.1. Metal disk eğimli düzlemin tepe noktasına koyun ve kompresör pedalına (anahtarına) basın.
 - 4.2. Diskin, düzlemden **serbestçe** kayıp kaymadığını kontrol edin.
5. Şimdi, ark kronometresini açın ve ark frekansını
 - $f=20\text{Hz}$.
 olarak ayarlayın.

Ark kronometresi çalışırken, iletken bölümlere, yüksek gerilim uçlarına, metal disklerin hortumlarına ve **deney veri** veya **karbon** kağıdına dokunmayın.

6. Metal disk, eğimli hava masasının yükseltilmiş ucuna, orta noktaya yakın yerleştirin.
 - 6.1. Ark kronometresi ve hava kompresörü anahtarlarına aynı anda basın, metal disk serbest bırakın ve disk eğimli düzlemin alt noktasına ulaştığında anahtarlara basmayı **bırakın. Metal disk, ilk hızsız olacak şekilde serbest bırakın.**
 - 6.2. Diskin düz bir yolda ilerlediğini gözlemleyin.
 - 6.3. **Ark kronometresini kapatın.**
 - 6.4. Veri kağıdını çıkarın ve üzerine üretilen noktaları inceleyin. Gözlemediğiniz hareket türü, **sabit ivmeli (ivmenin zamanla değişmediği)** düzgün doğrusal harekettir.



Şekil-7: Eğimli bir hava masasında veri kağıdında metal disk oluşturduğu noktalar.

- 6.5. **Pozitif x**-eksenini metal disk hareket yönü olarak alın (**Şekil-7**).
- 6.6. **Birinci noktadan başlayacak şekilde 0,1,2,...,10** gibi, noktaları numaralandırınız ve daire içine alınız. İlk veri noktası olarak, **x=0** ve **t=0** olan ilk noktayı alınız.
- 6.7. Şimdi, cetvel kullanarak, **sıfırıncı nokta** ile diğer noktalar arasındaki **mesafeleri (x)**.
- 6.8. Ayrıca, her bir nokta için **zamanı (t)** belirleyin ve kaydedin. Başlangıç noktasına göre verilerin değerlerini **Tablo-(4)**'e kaydedin.
- 6.9. **Tablo-(4)**'de, **t²** değerlerini hesaplayın.
7. Şimdi, **x'e karşı t² grafiğini çiz**. Daha sonra, veri noktalarınıza uygun en iyi doğruyu çiz. Bu doğrunun eğimini kullanarak, disk **deneysel** ivmesini (**a**) belirleyin. Bu hesaplamaları grafik üstünde açık bir şekilde gösterin.
 - $x_0 = 0$ için, $x = \frac{1}{2}at^2$.
8. Belirlediğiniz deney ivme (**a**) ile **beklenen** değeri **gsinθ** (**g=9.80m/s²**) karşılaştırın.

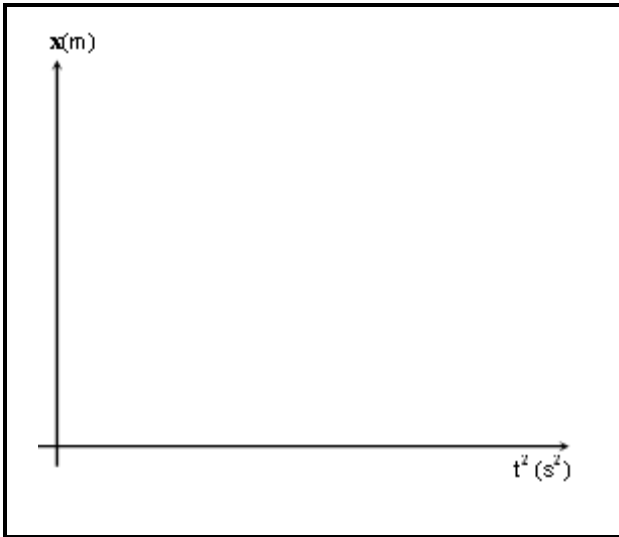
olduğunu unutmayın. Böylelikle, **x'e karşı t² grafiğinin eğimi**, " $\frac{1}{2}a$ " ifadesine eşit olacaktır.

5.2.2. LABORATUVAR RAPORU

Sabit İvmeli Düzgün Doğrusal Hareket

Tablo-4: Sabit ivmeli düzgün doğrusal hareket için deneysel veriler.

Eğim açısı θ (derece)	Frekans f (Hz)	Nokta Numarası	x (m)	t (sn)	t^2 (sn ²)	a (m/sn ²)
			(Ölçülen)			(Eğimden)
.....		0	$x_0 = 0$	$t_0 = 0$	0	
		1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				



Grafik-2: Sabit ivmeli düzgün doğrusal hareket için zamanın karesinin fonksiyonu olarak konum grafiği.

Sorular

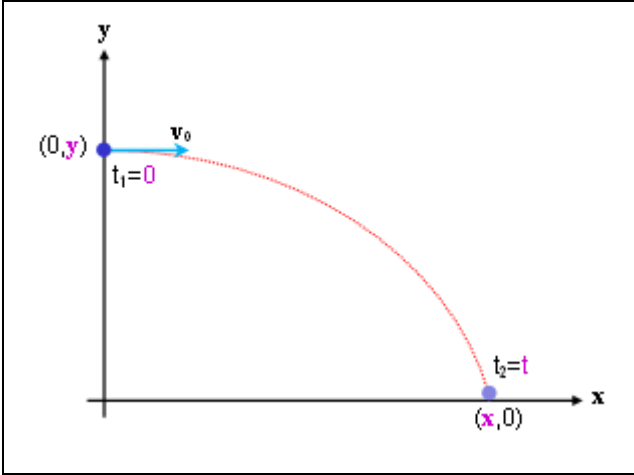
- Çalışma kağıdı üzerindeki noktalar arasındaki yer değiştirme ölçümlerindeki belirsizlikleri belirleyin?
- Eğimden, hareketin ivmesinin (a) m/s² birimi cinsinden deneysel değeri nedir? Hareketin ivmesi sabit midir?
- Yatay düzleme göre θ açısı ile eğimli düz bir düzlem üzerinde kayan bir parçacık için beklenen ivmenin ifadesini yazın.
- Veri analizi için orijini farklı bir nokta seçmek, ivme değerini değiştirir mi? Cevabınızı açıklayın.
- Bir cismin ivmesi sıfırsa, bu hızının da sıfır olduğu anlamına mı gelir? Örnek vererek kısaca açıklayın.
- Eğer Şekil-(6)'daki eğim açısı $\theta=20^\circ$ ise, metal disk (m) eğik düzlemin tepe noktasından bırakılırsa, diskin ivmesi (a) nedir? $g=9.8 \text{ m/s}^2$ olduğunu kabul edin.

5.3. Deney-3

Eğik Atış

Bu bölümde, metal disk bir ilk hızla **yatay** olarak atılacaktır. Çalışma kağıdı üzerine üretilen noktalar yardımıyla, yatay ve dikey eksenler boyunca bağımsız olarak hareket eden metal diskin hareketini inceleyeceğiz.

Teori



Şekil-8: Eğik atış hareketi yapan bir cismin yörüngesi. Cisim, (0,y) noktasından, t₁=0 anında v₀ ilk hızıyla atılmıştır.

Hava masaları deneylerindeki diğer bir hareket çeşidi de yatay ekseninde eğik atıştır. Yatay atış, yer çekimi (g) etkisi altında bir cismin yaptığı iki boyutlu bir harekettir. Atılan cisim, bir ilk hız verilen ve daha sonra tamamen yer çekimi ivmesinin etkisi tarafından belirlenen bir yolu izleyen cisimdir. Atılan cismin izlediği yol, yörünge olarak adlandırılır. Cismin hareketi olarak, sadece atıldıktan sonraki ve yere ininceye ya da düşünceye kadarki hareketini düşüneceğiz. Şekil-(8)'de görüldüğü gibi, cismin herhangi bir t anındaki konumu zamana göre değişen ve sırasıyla yatay ve dikey koordinatları temsil eden x ve y-kordinat çifti ile ifade edilir. Hız vektörünün bileşenlerinden biri yatay x-eksenine paralel diğeri ise dikey y-eksenine paraleldir:

$$\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} \quad (10)$$

Cismin yatay **x**-yönündeki hareketi **sabit hızlı** düzgün doğrusal harekettir. Başka bir deyişle, cismin hızının **x**-bileşeni (v_x) sabit olacaktır. Bununla birlikte, ivme sadece dikey yönde etkili olacaktır. İvmenin **x**-bileşeni **sıfırdır** ve **y**-bileşeni **sabittir**. Bu, sadece hızın dikey bileşeninin (v_y) zamana göre değişeceği ve yatay bileşeninin **sabit** olacağı anlamına gelir. Bu nedenle, eğik (**iki boyutlu**) atış hareketini sabit hızlı yatay hareket ve sabit ivmeli dikey hareketin bir birleşimi olarak analiz edeceğiz. Eğik atış hareketindeki ivmeyi, yatay ve dikey bileşenleri için ayrı denklemler ile ifade edebiliriz. **İvme vektörünün** $\vec{a}$ bileşenleri şunlardır:

$$a_x = 0 \quad (11)$$

$$a_y = a \text{ (Sabit)} \quad (12)$$

Yatak **x**-ekseninde herhangi bir ivme olmadığından, cismin hızının yatay bileşeni hareket sırasında başlangıç değerinde **sabit** kalacaktır. İvme vektörel olarak:

$$\vec{a} = a_y \hat{j} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Belirli bir zamanda cismin konumu

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} \quad (14)$$

olarak verilir. İki boyutlu (**x,y**) hareket için, aşağıdaki genel denklemler ile **ivme**, **hız** ve **yer değiştirme** vektörlerini **x** ve **y** koordinatları için ayırabiliriz:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad (15)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \quad (16)$$

İki boyutta sabit ivmeli (a) hareket için kinematik denklemlerini:

x-Bileşeri (Yatay)	y-Bileşeni (Dikey)
$V_x = v_{0x} + a_x t$	$V_y = v_{0y} + a_y t$
$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2$

gibi yazabiliriz.

Burada,

- V_x : Hızın yatay bileşeni,
 V_{0x} : Yatay (x) yönünde **ilk** hız,
 a_x : Yatay (x) yönünde **ivme**,
 t : Hareket süresi,
 x : Yatay yer değiştirme,
 x_0 : Yatay (x) yönünde **ilk** konum,
 V_y : Hızın dikey bileşeni,
 V_{0y} : Dikey (y) yönünde **ilk** hız,
 a_y : Dikey (y) yönünde **ivme**,
 y : Dikey yer değiştirme,
 y_0 : Dikey (y) yönünde **ilk** konum,

İki boyutta eğik atışı modellemek için, metal disk eğimli **hava masasında** hareket ettirilecektir. Hava kompresörü açıldığında, metal disklerin altındaki tüplerden aşağı doğru bir hava akışı sağlar ve böylece diskler sürtünmesiz bir düzlemde verilen ilk hızları ile hareket eder. Cismin (metal disk) $t=0$ anında (x_0 , y_0) noktasında olduğunu ve bu andaki ilk hızının bileşenlerinin v_{0x} ve v_{0y} olduğunu varsayalım. Eğik atışın **yatay hareketinde** cismin hızı sabit olduğundan;

$$a_x = 0 \quad (17)$$

$$V_x = v_{0x} \quad (\text{Deneysel}) \quad (18)$$

$$x = x_0 + v_x t \quad (19)$$

bağıntılarını yazabiliriz. Sistemimiz için kordinat eksenimizi, metal diskin $t=0$ anında atış aparatından serbest bırakıldığı noktadan seçebiliriz ve bu noktadan **aşağı doğru** olan yönü:

$$x_0 = y_0 = 0 \quad (20)$$

olacak şekilde **pozitif** yön alabiliriz. Yukarıda belirtilen nokta, metal diskin $t=0$ anındaki konumu ile ilgili kordinat sisteminin orijini. Şimdi, **Denklem-(19)**'daki ilişkiyi kullanarak, x-ekseni boyunca hareketi;

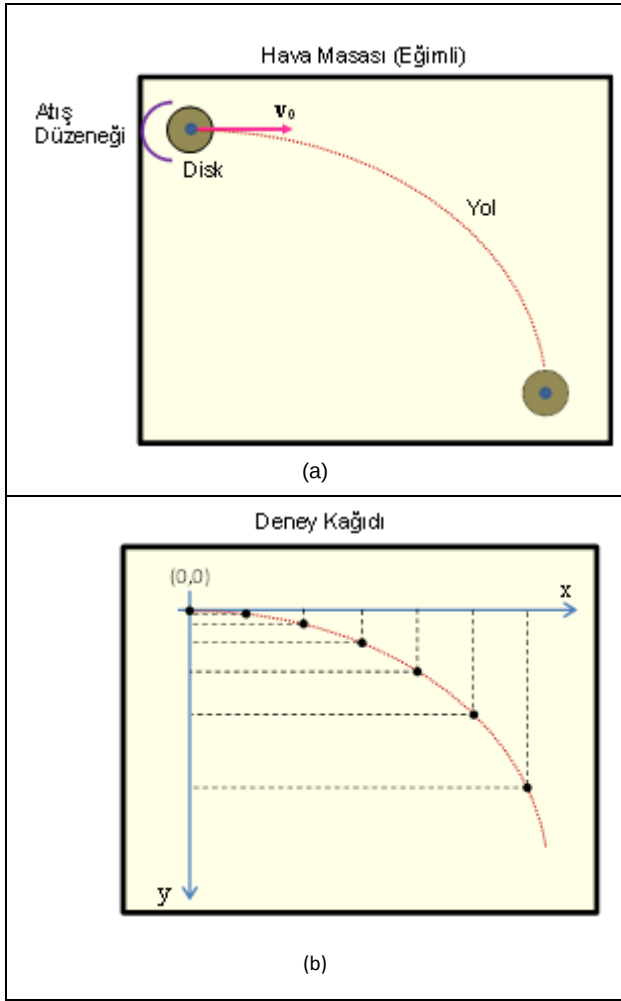
$$x = v_x t \quad (\text{Deneysel}) \quad (21)$$

gibi bulabiliriz. Yatay olarak atılan bir cismin eğik atışında yatay yer değiştirmesi **Denklem-(21)** kullanılarak belirlenebilir. Eğer bu harekette **yatayda** alınan yol (x) ve uçuş zamanı (t) ölçülürse, cismin ilk hızını bulabiliriz. Cismin, **y**-ekseni boyunca hareketi incelendiğinde, belli bir zaman (t) sonra **hız** (v_y) ve dikey yönde alınan **mesafe** (y):

$$v_y = at \quad (22)$$

$$y = \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{Deneysel}) \quad (23)$$

olarak bulunur. Denklem (22) ve (23), yatay olarak fırlatılan nesnenin dikey eksen (y-ekseni) boyunca, zamanın fonksiyonu olarak diskin hız ve konumunu verecektir.



Şekil-9: Eğimli (arka taraf yükseltilmiş) bir hava masası üzerinde disk fırlatıcısı tarafından yatay olarak fırlatılan metal disk hareketi (a). Metal disk tarafından veri kağıdında üretilen veri noktaları (b). Metal disk hızının **x-bileşeni sabittir**. Bununla beraber, **y-eksenindeki** hareketi için, metal disk **y-izdüşümleri** arasındaki **mesafenin** zamanla arttığını unutmayın.

Şekil-(9a)'da gösterilen deney düzeneğinde, hızın dikey y-bileşeni deneysel olarak ölçülecek ve y-eksenindeki ivmenin belirlenmesinde kullanılacaktır. Eğik atış hareketi, sabit yatay hıza ve yer çekimi nedeniyle dikey sabit (aşağıya doğru) ivmeye sahiptir. Hız değişiminden kaynaklanan dikey (y) alınan yol Denklem-(23)'de verilmiştir. Çalışma kağıdı üzerine üretilen noktalar, Şekil-(9b)'de gösterildiği gibi görünecektir. Burada, noktaların yatay yönde x-izdüşümleri arasındaki mesafenin eşit olduğuna dikkat edilmelidir. Eğik atış hareketinde, *yatay* ve *dikey* hareket birbirinden bağımsızdır, hiç bir hareket diğerini etkilemez.

Bu özellik, bu iki boyutlu hareket içeren problemi; biri yatay hareket (sıfır ivme ile) ve diğeri dikey hareket (sabit aşağı yönlü ivme ile) olarak, iki kolay tek boyutlu probleme ayırmamıza izin verir. Zaman aralığını, metal diskten $x_0=0$, $y_0=0$ konumundan atış aparatını terkettiği anda ($t=0$) **başlayacak** şekilde seçeceğiz. Yatay x-ekseninde, ivme $a_x=0$ olduğu için metal disk hızı sabittir. Dikey yönde ise, metal disk **y-izdüşümleri** arasındaki mesafe zamanla artar. Bu durum, daha önceki çalışma, (eğimli hava masasında) ivmeli hareket ile aynıdır. Son olarak, eğer eğik atışı analiz ederseniz, aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşabilirsiniz:

- Atılan cismin hızının **yatay (x-ekseni)** bileşeni sabittir. (Böylece, ivmenin yatay bileşeni sıfırdır.)
- Eğik atış hareketi, yer çekimi nedeniyle **Şekil-(9b)**'de görüldüğü gibi **aşağı doğru (y-ekseni)** sabit bir ivmeye sahiptir.

5.3.1. Deney Prosedürleri

Deneyin bu bölümünde, eğimli hava masası üzerindeki yatayda hareket eden metal disklerin hareketi üzerinde ölçümler alacaksınız ve iki boyuttaki hareketi inceleyeceksiniz.

1. İlk olarak, hava masasını düzleştirin ve daha sonra yükseltici blok kullanarak yatayda

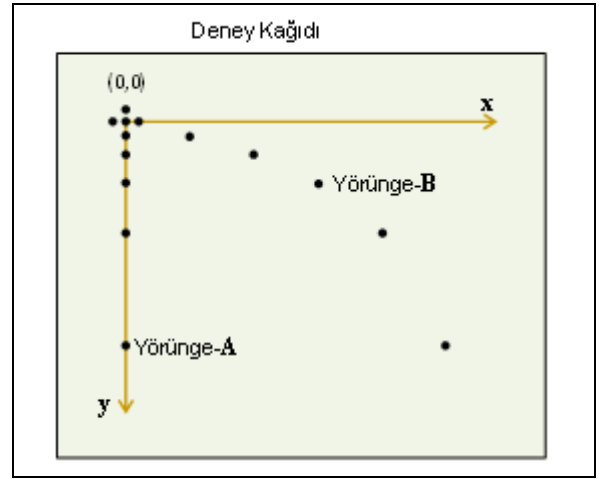
- $\theta = 9^\circ$.

eğim açısı verecek şekilde eğimli hale getirin.

2. Ark kronometresini açın ve frekansını;
 - $f=20\text{Hz}$.
 olacak şekilde ayarlayın.
3. Metal disklerin **birini** hava masasının alt köşesinde çalışma ve karbon kağıtlarının katlanmış parçasının üzerinde sabit tutun.
4. **Atış aparatını** (fırlatıcı) hava masasının sol üst köşesinin yaklaşık 10 cm altına takın ve **yatay olarak atış yapmak için** atış açısını 0° (sıfır derece) **ayarlayın**.
5. Öncelikle, sadece kompresör anahtarına (P) basın, metal disk atış aparatına yerleştirin, ve atış aparatının kauçuk kayışının gerginliğini ayarlamak ve diske uygun bir yörünge vermek için birkaç deneme yapın.
6. Şimdi, kompresör anahtarını (P) etkinleştirin ve ayarlanan atış aparatına metal disk **yerleştirin**, daha sonra atış aparatından disk **bırakın** ve **aynı anda** ark kronometresini (S) aktive edin.

Elektrik çarpmasını önlemek için, ark kronometresi açıkken metal diskin iletken bölümlerine veya hava masasına dokunmayın.

- 6.1. Metal disk çalışma kağıdının altına geldiğinde pedallara basmayı bırakın.
- 6.2. Bu veri noktalarının çalışma kağıdı üzerindeki izlerini **B yörüngesi** olarak ifade edeceksiniz.



Şekil-10: Çalışma (deney) kağıdı üzerinde metal diskler tarafından üretilen veri noktaları.

7. **Aynı çalışma kağıdı üzerine**, atış aparatının karşısına herhangi bir kayış gerginliği vermeden metal disk **yerleştirin** (metal diskin atış aparatının dışında olmasına dikkat edin).
 - 7.1. Sonra, kompresörü ve ark kronometresinin anahtarlarını etkinleştirin ve bir önceki eğik atış hareketi ile aynı başlangıç yüksekliğinden **serbest** olarak **bırakın**.
 - 7.2. Bu hareket sonunda noktalar doğrusal bir çizgi oluşturacaktır ve bu yörüngeyi **A-yörüngesi** olarak not edin.
8. **Ark kronometresini kapatın ve daha sonra metal diskleri hava masasından kaldırın.**
9. Şimdi, elde ettiğiniz noktaları incelemek için **veri kağıdını** hava masasından **kaldırın**.
 - **Şekil-(10)**'da gösterilen yörüngeleri elde etmelisiniz.
 - Eğer veri noktaları analiz etmeye uygun değilse, deneyi tekrarlayın ve yeni noktalar elde edin.
10. Şimdi, **x=0** ve **t=0** için hareketin başlangıç noktası olarak açık bir nokta seçin.

- 10.1. İlk noktadan başlayarak veri noktalarını **0, 1, 2, 3, 4, 5,...,10** gibi numaralandırın ve yuvarlak içine alın.
- 10.2. Aşağı doğru olan ekseni pozitif **y-ekseni** ve yatay ekseni **x-ekseni** olarak düşünün.

11. Şimdi, yatay ve dikey eksenler boyunca diskin hareketini bağımsız olarak incelemeye hazırsınız:

11.1. İlk olarak, eğik atış hareketinin ilk konumunu belirlemek için **B-yörüngesi** üzerinde **x** ve **y**-eksenlerini çizin.

11.2. Bu, önce **B-yörüngesinin** ilk noktasından (**sıfırıncı nokta**) geçen **A-yörüngesine** paralel bir çizgi çekerek yapılabilir. Bu çizgi **y-eksenini** (pozitif **y**-yönünü aşağı doğru alın) verecektir.

11.3. Sonra, **x-eksenini** elde etmek için **0 noktasından** bu çizgiye dik bir çizgi çizin.

12. Bundan sonra, **B-yörüngesindeki** noktaların **x** ve **y-izdüşümlerini** elde etmek için her noktadan **y**-eksenine dik çizgiler çizin.

13. Uçuş süresini, **t_f** (metal diskin hareketi sırasında geçen toplam süre) ve atışın menzilini **x_R** (hareket sırasında alınan **yatay mesafeyi**) ölçün.

Veri kağıdında üretilen noktaların x-izdüşümlerinin arasındaki mesafelerin eşit olduğuna dikkat edin. Yani diskin hızının x bileşeni sabittir.

13.1. **İki nokta arasındaki** zaman aralığının "**1/f**" yani 1/20 saniyeye eşit olduğunu unutmayın.

13.2. **Uçuş süresini (t_f)** ve toplam **yatay mesafeyi distance (x_R)** **Denklem-(21)** içinde kullanarak, fırlatma hızını (**yatay hız**) **v_x=v_{0x}** hesaplayın.

13.3. Verilerinizi **Tablo-(5)**'ye kaydedin.

13.4. Yatayda atılan cismin yatay (**x**) yönünde, ilk hızın yatay ve sabit (yani, **a_x=0**) olduğunu unutmayın.

14. **B yörüngesinin** "0" noktasından başlayarak, yani orijin olarak kabul edilen bu noktaya göre ilk **10** veri noktası için **y-izdüşüm** mesafelerini ölçün.

Veri kağıdı incelenirken y-ekseni boyunca harekette diskin y-izdüşümleri arasındaki mesafelerin zamanla arttığına dikkat edin.

14.1. Ayrıca, bu noktaların herbirine karşılık gelen zamanları (**t**) belirleyin.

- 14.2. **Tablo-6**'daki **B-yörüngesinin** deneysel veri sütununa ölçümlerinizi kaydedin.

15. Benzer olarak, **A-yörüngesinin** "0" noktasından başlayarak, **y**-ekseni üzerindeki karşılık gelen zamanları ile ilk **10** veri noktası (izi) için mesafeleri (konumları) ölçün.

15.1. **A-yörüngesi** için, ark kronometresinin frekansını kullanarak her bir noktaya karşılık gelen zamanı (**t**) hesaplayabilirsiniz.

15.2. **Tablo-6**'daki **A-yörüngesi** sütununa verilerinizi kaydedin.

16. **A** ve **B-yörüngeleri** için "**t²**"ye karşı "**y**" grafiklerini **çizin**. Daha sonra, her grafik için veri noktalarınıza uygun en iyi doğruyu çizin.

16.1. **Eğimi** kullanarak, **A** ve **B-yörüngeleri** için dikey hareketlerin,

➡ **a_A** ve,

➡ **a_B**

ivmelerini bulun.

16.2. **t²**'ye karşı **x** grafiğinin **eğiminin** " **$\frac{1}{2}a$** " ifadesine eşit olduğunu **unutmayın**.

16.3. **A** ve **B-yörüngelerinin** ivmelerini karşılaştırın ve ayrıca bu ivme değerlerini bir önceki deneyde (**Deney-2**) bulunan **ivme** ile karşılaştırın.

16.4. Hesaplamalarınız doğru anlamlı sayı olarak ve doğru **birimlerle** grafik üzerinde açıkça gösterin.

Sorular

Yol-1 (doğrusal A-yörüngesi):

- **y**-ekseni boyunca hareket için ivme sabit midir?

Yol-2 (eğri B-yörüngesi):

- Atılan metal diskin **yatay hızı** sabit midir? Grafiğinizi ve çalışma kağıdınızı kullanarak açıklayın.
- Cismin **dikey hızı** her zaman aralığında aşağı doğru artmakta mıdır?
- Eğik atış hareketinde **dikey ivme** sabit midir?.

5.3.2. LABORATUVAR RAPORU

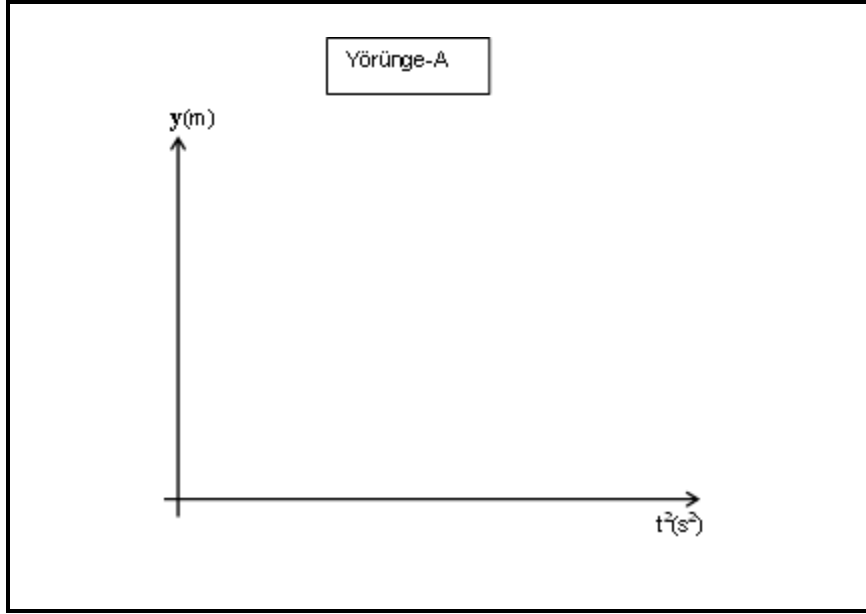
Eğik Atış

Tablo-5: Eğik atışın yatay hızı.

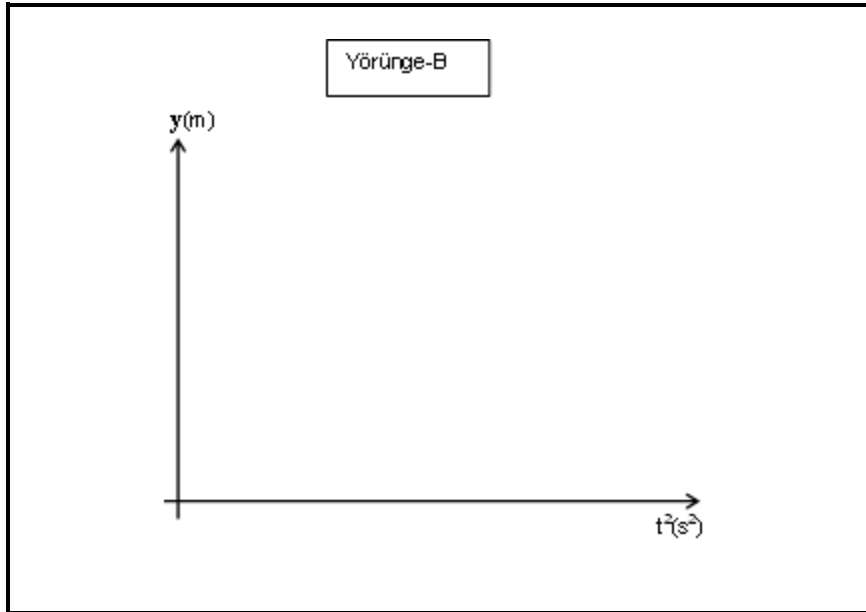
Frekans f (Hz)	Nokta Numarası	B-Yörüngesi (Hareketin Yatay x-Bileşeni)				
		$x(m)$	$t(sn)$	$x_R(m)$	$t_f(sn)$	$v_x(m/sn)$
		(Ölçülen)	(Ölçülen)	(Hesaplanan)	(Hesaplanan)	(Hesaplanan)
20	0	0	0			
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					

Tablo-6: A ve B yörüngeleri için ivme ölçümleri.

Nokta Numarası	A-Yörüngesi		B-Yörüngesi		A-Yörüngesi	B-Yörüngesi
	(Dikey Hareket)		(Dikey Hareket)		(Eğimden bulunan)	(Eğimden bulunan)
	$y(m)$	$t(sn)$	$y(m)$	$t(sn)$	$a_A(m/sn^2)$	$a_B(m/sn^2)$
0	0	0	0	0		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



Grafik-3: A-yörüngesi için zamanın tam karesinin bir fonksiyonu olarak konum grafiği.



Grafik-4: B-yörüngesi için zamanın tam karesinin bir fonksiyonu olarak konum grafiği.

5.4. Deney-4

Doğrusal Momentumun Korunumu

Bu çalışmada, hava masasında hareket eden iki diskin oluşturduğu sistemin doğrusal momentum korunumunu araştıracağız. Sistem çevresinden izole edilmiştir (yani, sistemin içinde enerji değişimlerine neden olacak sistemin dışından hiçbir dış kuvvet yoktur). Yatay olarak hizalanan ve üzerinde sürtünme neredeyse ortadan kaldırılmış hava masası üzerine yerleştirilen metal diskler herhangi bir net dış kuvvet üretmeyecektir. Bu nedenle, metal disklerin toplam momentumunun korunacağını bekliyoruz.

Teori

Doğrusal momentum (veya kısaca momentum) bir cismin kütlesi ile hızının çarpımı olarak tanımlanır;

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (24)$$

Momentumun yönü hızın yönü ile aynıdır ve momentumun **büyüklüğü**;

$$p = mv \quad (25)$$

ifadesiyle verilir. Cisimlerin oluşturduğu sistemde net dış kuvvet sıfır ise, toplam momentum sabit kalır. Bu, **momentumun korunumu** yasasıdır ve *yalıtılmış (izole) sistemlerde* cisimlerin toplam momentumu sabit kalır. Momentumun korunumu yasası, çarpışmalar konusu ile ilgili çok yararlı bir temel korunum ilkesidir.

Sabit kütleli (m) bir cisim düşünüldüğünde, bu cisim için Newton'un ikinci yasası:

$$\Sigma \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (26)$$

gibi yazılabilir. Böylece, Newton'un ikinci yasasına göre, cismin üzerindeki net kuvvet, $m\vec{v}$ kombinasyonunun (cismin kütlesi ve hızının çarpımı) zamanla değişim hızına eşittir. Bu kombinasyon, cismin momentumu ya da **doğrusal momentumu** olarak adlandırılır.

Denklem-(26)'i momentumun tanımını kullanarak yeniden yazarsak, **Newton'un ikinci kanununu** momentum cinsinden elde edebiliriz:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (27)$$

Denklem-(27)'ye göre, cisim üzerine etki eden kuvvetler (tüm kuvvetlerin vektör toplamı) cismin momentumunun zamanla değişimine eşittir. Momentum cismin hızı ile aynı yönde bir vektör nicelik olduğu için, cismin momentumunu da bileşenleri cinsinden ifade etmeliyiz. Eğer cismin hız bileşenleri (v_x , v_y) ise, momentum bileşenleri de:

$$p_x = mv_x \quad (28)$$

$$p_y = mv_y \quad (29)$$

gibidir. Eğer hiçbir dış kuvvet yoksa (sistem üzerinde net dış kuvvet sıfır ise), sistemin toplam momentumu (sistemi oluşturan her bir cismin momentumunun **vektör toplamı**) sabittir veya korunur. Toplam momentumun her bir bileşeni ayrı ayrı korunur. **Herhangi bir çarpışmada** dış kuvvetlerin ihmal edildiğini, momentumun korunduğunu ve çarpışmadan önceki toplam momentumun çarpışmadan sonrakine eşit olduğunu unutmayın. **Sadece esnek çarpışmalarda**, toplam **kinetik enerji** çarpışmadan önceki ve çarpışmadan sonraki durumlar için birbirine eşittir. Bu nedenle, iki cisim arasındaki bir **esnek çarpışmada**, ilk ve son hızları aynı büyüklüğe sahiptir. Bir cismin kinetik enerjisi skalar bir niceliktir. Kinetik enerji, sadece cismin kütlesine ve hızına bağlıdır, hareketin yönüne bağlı değildir. Kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalar **esnek olmayan** çarpışmalar olarak adlandırılır. Kaybedilen **kinetik enerji**, başka bir enerji türüne, genellikle **termal enerjiye**, dönüşür ve sonuçta, toplam enerji her zaman korunur. Bu nedenle, kinetik enerji korunmasa bile toplam enerjinin her zaman korunduğunu unutmamamız gerekir.

İki metal diskin oluşturduğu bir sistem için, çarpışma öncesindeki toplam momentum (P_i), eğer sürtünme ihmal edilirse çarpışma sonrasındaki toplam momentumla aynı olacaktır. İlk momentumlar “i” altsimgesi ile ve son momentumlar “f” altsimgesi ile gösterilirse, momentum korunumunun **vektörel denklemi** aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\vec{P}_{t,i} = \vec{P}_{t,f} \quad (30)$$

$$\vec{P}_{1,i} + \vec{P}_{2,i} = \vec{P}_{1,f} + \vec{P}_{2,f} \quad (31)$$

Bu iki metal diskin hızları:

- $V_{1,i}$ ve $V_{2,i}$ çarpışmadan önceki **ilk** hız değerleri,
- $V_{1,f}$ ve $V_{2,f}$ çarpışmadan sonraki **son** hız,

olarak ifade edelim. Böylece, her metal diskin çarpışmadan önceki ve sonraki momentumlarının **büyüklüğü**:

$$P_{1,i} = mv_{1,i} \quad (32)$$

$$P_{2,i} = mv_{2,i} \quad (33)$$

$$P_{1,f} = mv_{1,f} \quad (34)$$

$$P_{2,f} = mv_{2,f} \quad (35)$$

olacaktır. Şimdi, iki cisimli (Disk-A ve Disk-B) bir sistemin ilk ve son hızlarını analiz edebiliriz. Eğer,

$\vec{V}_{1,i}$: Disk-A'nın çarpışmadan hemen önceki momentumu ve
 $\vec{V}_{2,i}$: Disk-B'nin çarpışmadan hemen önceki momentumu

ise, çarpışmalardan önce metal disklerin toplam **momentumu, vektörel toplam** olarak:

$$\vec{m}_1 \vec{V}_{1,i} + \vec{m}_2 \vec{V}_{2,i} \quad (\text{Vektör Toplamı}) \quad (36)$$

gibi yazılır.

Çarpışmadan hemen sonra, metal diskler farklı hız ve momentuma sahiptirler. Çarpışmadan sonraki toplam momentum **vektörel toplam** olarak:

$$\vec{m}_1 \vec{V}_{1,f} + \vec{m}_2 \vec{V}_{2,f} \quad (37)$$

gibi yazılır. Çarpışan iki cisimden oluşan sistem için toplam **momentum** vektörü **korunur** (sabit kalır):

$$\begin{aligned} \text{İlk momentum} &= \text{Son momentum} \\ \vec{m}_1 \vec{V}_{1,i} + \vec{m}_2 \vec{V}_{2,i} &= \vec{m}_1 \vec{V}_{1,f} + \vec{m}_2 \vec{V}_{2,f} \end{aligned} \quad (38)$$

veya,

$$\begin{aligned} \text{İlk momentum} &= \text{Son momentum} \\ \vec{m}_A \vec{V}_A + \vec{m}_B \vec{V}_B &= \vec{m}_A \vec{V}'_A + \vec{m}_B \vec{V}'_B \end{aligned} \quad (39)$$

Burada,

$V_{1,i}$: Çarpışmadan **önce** disk-A'nın hızı (veya, v_A),

$V_{2,i}$: Çarpışmadan **önce** disk-B'nin hızı (v_B),

$V_{1,f}$: Çarpışmadan sonra disk-A'nın hızı (v'_A),

$V_{2,f}$: Çarpışmadan sonra disk-B'nin hızı (v'_B).

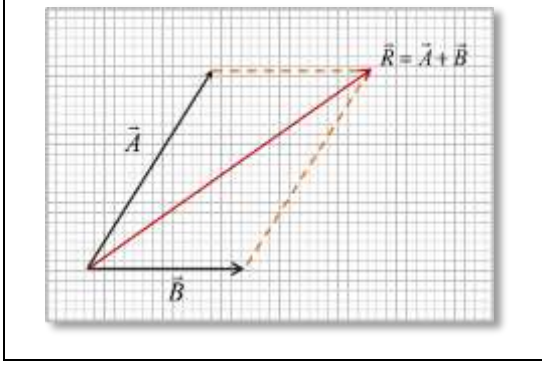
İki metal diskin kütleleri özdeş olduğunda ($m=m_1=m_2$), momentum korunumunu gösteren yukarıdaki ilişki aşağıdaki gibi bir hız vektörü ilişkisi verir:

$$\begin{aligned} \text{İlk momentum} &= \text{Son momentum} \\ \vec{V}_{1,i} + \vec{V}_{2,i} &= \vec{V}_{1,f} + \vec{V}_{2,f} \end{aligned} \quad (40)$$

veya,

$$\begin{aligned} \text{İlk momentum} &= \text{Son momentum} \\ \vec{V}_A + \vec{V}_B &= \vec{V}'_A + \vec{V}'_B \end{aligned} \quad (41)$$

Momentum korunumu her zaman dış kuvvetlerin etkisinin **olmadığı** müddetçe geçerlidir. **Esnek** ve **tamamen esnek olmayan** çarpışmaların ikisinde de iki cisimli sistemin toplam momentumu korunur. Bu nedenle, iki cismin ilk momentumlarının toplamı son momentumlarının toplamına her zaman eşittir.



Şekil-11: İki vektörün paralelkenar yöntemi ile toplanması.

Momentum korunumunu sisteme uyguladığınızda, momentumun bir vektörel nicelik olduğunu unutmayın, bu nedenle sistemin toplam momentumunu belirlemek için **vektör toplamı** kullanmalısınız. Sistemin toplam momentumunu hesaplamak için, iki hız vektörünü toplamamız ve iki hız vektörünün büyüklüklerini belirtmemiz gerekir.

- Ölçekli bir vektör diyagramında verilen vektörün **büyüklüğünün**, okun uzunluğu ile gösterileceğini,
- Seçilen ölçeğe göre okun, doğru uzunluğunun çizileceğini ve belli bir ok ucunun olacağını,

unutmayın. Örneğin, **20cm/sn** büyüklüğünde bir **hız vektörümüzün** olduğunu düşünelim. Eğer, diyagramı oluşturmak için kullanılan ölçek **1cm=5cm/sn** olacak şekilde seçilirse, hız vektörünün ok gösterimi:

$$4\text{cm} \times [(5\text{cm} / \text{s}) / 1\text{cm}] = 20\text{cm} / \text{s}$$

olacak şekilde **4cm** uzunluğunda çizilir. Bu yüzden, vektör toplamının grafiksel teknikleri, bireysel vektörleri ve onların bileşkelerini belirtmek için doğru diyagram ölçek çizimi içerir. Paralelkenar yöntemi, iki vektörün bileşkesini bulmak için kullanılan bir grafik tekniğidir. İki hız vektörünü:

- $\vec{A} = \vec{v}_{1,i}$ ve,
- $\vec{B} = \vec{v}_{2,i}$

birbirine eklemek için kullanılan yol, **Şekil-(11)**'de gösterildiği gibi bir paralelkenar oluşturmaktır.

Paralelkenar yöntemine göre, eğer iki vektörel nicelik iki bitişik kenarla veya paralelkenarla gösterilirse, paralelkenarın köşegeni, bu iki vektörün bileşke vektörüne (vektör toplamına), $\vec{R}$ eşit olacaktır. Yani, bileşke paralelkenarın köşegenidir. Bu bileşkenin büyüklüğü ise ölçeği kullanarak bu okun uzunluğundan belirlenebilir.

Geometrik olarak iki vektörün toplamını bulmak için:

1. İki vektörü:

- $\vec{A}$ ve $\vec{B}$

*başlangıç noktaları **çakışacak** şekilde yerleştirin.*

2. Bundan sonra, iki kenarı $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri olacak şekilde paralelkenarı tamamlayın.

3. $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri ile aynı başlangıç noktasına sahip paralelkenarın köşegeni vektörel toplamdır, $\vec{A} + \vec{B}$.

4. Vektörel toplam $\vec{A} + \vec{B}$, $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşke vektörüdür.

Bu deneyde, çarpışma konusu içinde **metal disklerin** kinetik enerjilerinin korunumu da inceleyeceğiz. Bir **esnek çarpışmada**, çarpışan her bir **metal diskin** (cismin) **kinetik enerjisi** değişebilir, fakat sistemin toplam kinetik enerjisi **değişemez**. Bununla birlikte, bir **esnek olmayan çarpışmada**, bu iki cisimli sistemin kinetik enerjisi korunmaz. Eğer bu iki cisim birbirlerine yapışırsa, çarpışma tamamen esnek olmayan çarpışmadır ve iki cisimde aynı son hıza sahiptir. Şimdi, iki cisim (**disk-A** ve **disk-B**) arasındaki **esnek çarpışmaya** bakalım. Deneyisel olarak iki metal diskin **kinetik enerji korunumunu** incelemek için, kütlesi (**m**) vedoğrusal hızı (**v**) bilinen bir cismin kinetik enerji (**K**) tanımını hatırlayın:

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (\text{Kinetik Enerji}) \quad (42)$$

Bu nedenle, iki metal diskin oluşturduğu sistemin esnek çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjisi (**K**):

$$K = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 \quad \text{Elastic} \quad \text{(Çarpışmadan Önce)} \quad (43)$$

ve çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisi:

$$K' = \frac{1}{2}mv_A'^2 + \frac{1}{2}mv_B'^2 \quad \text{Esnek} \quad \text{(Çarpışmadan Sonra)} \quad (44)$$

olacaktır.

Bir **esnek çarpışmada** kinetik enerji korunur:

$$K = K' \quad \text{(Kinetik Enerji Korunumu)} \quad (45)$$

Tamamen **esnek olmayan çarpışmada**, sistem yalıtılmış ise toplam momentum açık bir şekilde korunur. **Fakat** metal diskler çarpışma sırasında birbirlerine **yapışacak** ve **2m** kütleli $\vec{v}'$ hızı ile hareket eden tek bir cisim oluşturacaktır. Bu çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisi:

$$K' = \frac{1}{2}(2m)v'^2 = mv'^2 \quad \text{Kinetik Enerji} \quad \text{(Çarpışma Sonrası)} \quad (46)$$

olacaktır. **Esnek çarpışmada**, disklerin çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisi çarpışmadan önce olduğuyla aynı olmalıdır. Bununla birlikte, kinetik enerji tamamen **esnek olmayan çarpışmalarda** korunmaz. Kinetik enerjinin fraksiyonel kaybı (fractional loss):

$$\text{Fractional Loss} = \frac{K - K'}{K} \quad (47)$$

olarak tanımlanır.

Kinetik enerjinin yüzde fraksiyonel kaybı ise:

$$\% \text{ loss} = \frac{K - K'}{K} \times 100 \quad \text{(Oransal Kayıp)} \quad (48)$$

olarak ifade edilir. **Denklem-(48)**'i kullanarak kinetik enerjinin yüzde fraksiyonel kaybını hesaplayabiliriz.

5.4.1. Deney Prosedürleri

Bu deney yatay durumda hizalanmış hava masası üzerinde yapılacaktır. Sürtünmesiz hava masası üzerinde hareket eden iki metal diskin momentum korunumunu inceleyeceğiz ve sistem üzerinde hiçbir dış kuvvet olmadığını kabul edeceğiz. Bu iki metal diskin çarpışmasına izin verilecek ve sonrasında, çarpışma öncesi ve sonrası toplam momentumları ölçülecektir. DeneySEL prosedürlerin ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır.

1. Hava masası yatayda hizalanacak şekilde masanın ayaklarını ayarlayın.

2. Sadece pompa (kompresör) anahtarını etkinleştirin ve hava masası üzerinde iki metal diski birbirlerine çapraz olarak itin.

- 2.1. Tatmin edici bir çarpışma elde edinceye kadar bu prosedürü birkaç kez tekrarlayın.
- 2.2. Metal diskleri **çok** yavaş ya da **çok** hızlı itmeyin, fakat diskleri orta dereceli bir hızda hareket edecek şekilde itin.
- 2.3. Birkaç deneySEL test gözlemleri sonrasında en iyi hızı bulacaksınız.

3. Şimdi, ark kronometresini açın ve frekansını:

$$f = 20\text{Hz}.$$

olacak şekilde ayarlayın.

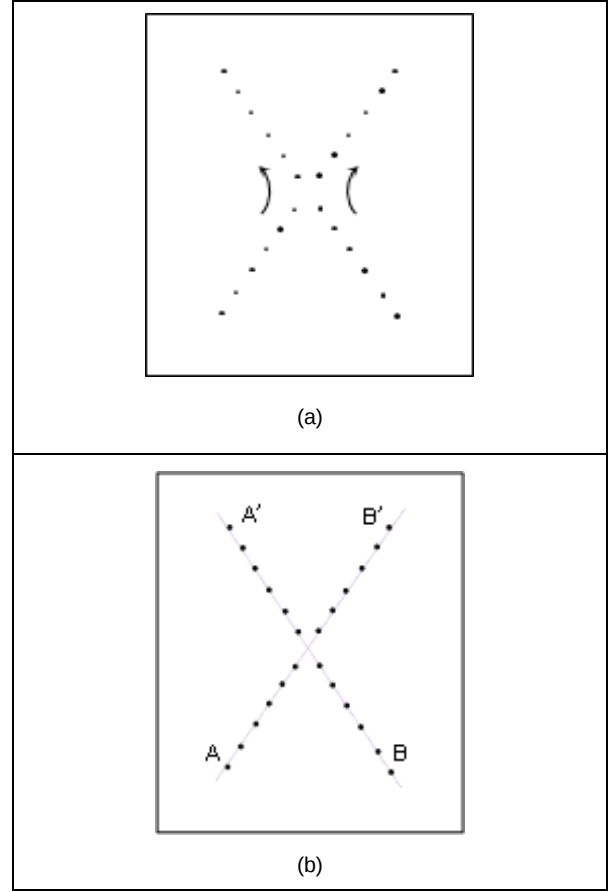
4. Kompresör ve ark kronometresi anahtarlarını (pedallarını) aynı anda etkinleştirin ve daha sonra iki metal diski hava masasının orta noktasına yakın bir yerde çarpışacak şekilde çapraz olarak itin.

5. Çarpışmadan sonra anahtarlara basmayı bırakın.

6. **Ark kronometresini kapatın ve güvenlik için metal diskleri hava masasından kaldırın.**

7. Şimdi, üretilen noktaları incelemek için çalışma kağıdını hava masasından alın.

- 7.1. Metal disklerin noktaları **Şekil-(12a)**'da gösterildiği gibi olmalıdır.



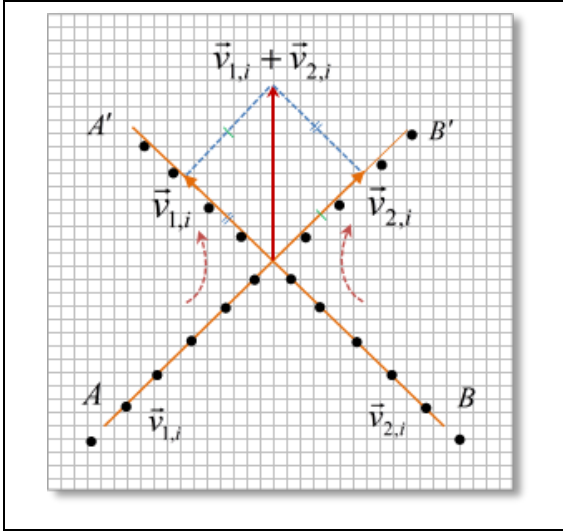
Şekil-12: Yatayda hizalanmış bir hava masası üzerinde esnek çarpışmadan elde edilen veri noktaları (a). Metal disklerin çarpışmadan önceki, **A** ve **B**, ve çarpışmadan sonraki, **A'** and **B'**, yörüngeleri (b).

- 7.2. Her metal disk için çalışma kağıdı üzerindeki noktaları **0, 1, 2, 3, 4, 5...10** şeklinde numaralandırın. İlk noktadan başlamak zorunda değilsiniz.

- 7.3. Metal diskler tarafından üretilen yörüngeleri, çarpışmadan **öncesi** için **A** ve **B** gibi, ve çarpışmadan **sonrası** için **A'** and **B'** gibi etiketleyin (**Şekil-12b**).

8. Her yörüngedeki iki veya üç **aralığın** uzunluklarını ölçerek ve zamana bölerek, her iki metal diskin çarpışmadan **önceki** ve **sonraki** hızlarını (**v**) bulun.

Ark kronometresinin frekansı $f=20\text{Hz}$ olarak ayarlandığı için, her metal disk deney kağıdı üzerine bir saniyede 20 nokta üretir, bu yüzden iki ardışık nokta arasındaki zaman **aralığı** Δt ; $T=1/20=0.05$ saniye olarak ifade edilir.



Şekil-13: Paralelkenar oluşturarak geometrik olarak vektör toplamı bulunması.

9. $\vec{v}_{1,i} + \vec{v}_{2,i}$ vektör toplamını bulun.

9.1. $\vec{v}_{1,i} + \vec{v}_{2,i}$ vektör toplamını bulmak için, A ve B yörüngelerini Şekil-(13)'de gösterildiği gibi keşisinceye kadar uzatın.

9.2. Daha sonra, keşişim noktasından başlayarak, $\vec{v}_{1,i}$ ve $\vec{v}_{2,i}$ hız vektörleri yönünde ve bu vektörlerin büyüklükleri, $|\vec{v}_{1,i}|$ ve $|\vec{v}_{2,i}|$ ile orantılı uzunlukta vektörler çizin.

9.3. Örnek olarak, **1cm=10cm/sn** ölçeğini kullanarak grafik kağıdınızda veya çalışma kağıdınızda, **10cm/sn** olan bir hızı **1cm** uzunluğunda bir vektörle gösterebilirsiniz.

9.4. Her vektörün **uzunluğu** büyüklüğünü temsil eder ve vektör hızın yönünü işaret

9.5. Hızların vektör toplamını (**bileşke vektörü**) bulmak için iki hız vektörünü Şekil-(13)'de görüldüğü gibi, birbirine **ekleyin**:

- $\vec{v}_{1,i} + \vec{v}_{2,i}$ ve büyüklüğü:
- $|\vec{v}_{1,i} + \vec{v}_{2,i}|$.

9.6. Sonuçları Tablo-(7)'ye kaydedin.

10. $\vec{v}_{1,f} + \vec{v}_{2,f}$ vektör toplamını ve bu vektörün büyüklüğünü bulmak için aynı prosedürü tekrarlayın.

11. Çarpışma öncesi ve sonrası için toplam kinetik enerjileri bulun. Kinetik enerji korunuyor mu?

5.4.2. LABORATUVAR RAPORU

Doğrusal Momentumun Korunumu

Tablo-7: Doğrusal momentumun korunumu.

$v_{1,i} (m / sn) =$	.....
$v_{2,i} (m / sn) =$	.....
$v_{1,f} (m / sn) =$	.....
$v_{2,f} (m / sn) =$	.....
$|\vec{v}_{1,i} + \vec{v}_{2,i}| =$	.....
$|\vec{v}_{1,f} + \vec{v}_{2,f}| =$	.....
$K =$	.....
$K' =$	.....

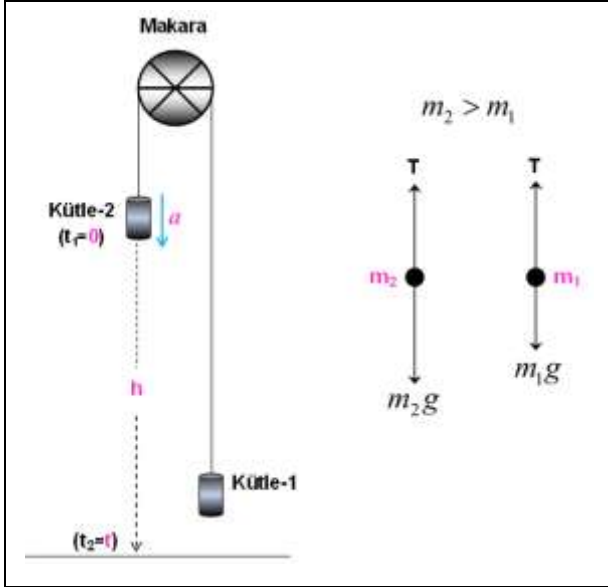
Sorular

- Çarpışmadan sonraki sistemin **toplam momentumu** çarpışmadan önceki ile nasıl karşılaştırılır? Veri değerlerini kullanarak doğrusal momentumun korunumunu tartışın.
- Çarpışmadan önce ve sonra için sistemin toplam **kinetik enerji** ifadesini yazın.
- İki cismin **esnek çarpışmasında** sistemin **kinetik enerjisi** korunur mu?.
- **Tamamen esnek olmayan çarpışmalarda** kinetik enerji korunur mu?.
- **Esnek veya tamamen esnek olmayan çarpışmalarda**, çarpışmadan önce ve sonra sistemin **toplam momentumu** her zaman korunur mu?.

5.5. Deney-5

Atwood Makinesi

Bu bölümde, Newton'un ikinci hareket yasasını incelemek için bir hava masasının üzerine yerleştirilen Atwood makinesini kullanacağız.



Şekil-14: Atwood makinesi ve her kütle üzerindeki kuvvetlerin serbest cisim diyagramı.

Atwood makinesi yer çekiminden dolayı oluşan bir sistemin ivmesini ölçmek için ve ivmenin sistemin toplam kütesinin yanı sıra sistem üzerindeki net kuvvete bağlılığını incelemek için kullanılan bir alettir. Başlangıçta **hareketsiz** olan bir cismi hareketlendirmek için, cisme bir kuvvet uygulamalıyız. Bu cismin ivmesi, uygulanan net kuvvete ve cismin kütesine bağlıdır. Şekil-(14)'de gösterilen sistem Atwood makinesi olarak adlandırılır. Bu makine, bir makara üzerinden geçirilen bir ipin iki ucuna bağlı iki farklı kütleden, m_1 ve m_2 ($m_2 > m_1$), oluşur. Yukarıdaki şekilde, kütlelere etki eden kuvvetler de gösterilmiştir. İki kütleden oluşan sistem **hareketsiz** durumdan serbest bırakıldığında, ağır olan kütle, m_2 , **sabit** bir ivme ile aşağı doğru ve m_1 kütlesi de **aynı ivme** ile yukarı doğru hareket eder. m_2 kütlesi aşağı doğru $m_2g > T$ gibi bir bileşke kuvvete maruz kaldığı için, aynı yönde ivmelenir. m_1 kütlesi için de $m_1g < T$ gibi bir kuvvet etkilidir.

Newton'un İkinci Yasasının birimleri

Kuvvet	Kütle	İvme
Newton (N)	Kilogram (kg)	m/sn^2

Kuvvetin birimi **Newton** (N) olarak isimlendirilir. Bir newton, 1 kilogram kütleli bir cisme $1 m/sn^2$ 'lik ivme kazandıran net kuvvet miktarıdır. Bu nedenle, bu kuvvet birimi, kütle, uzunluk ve zaman birimleri ile ilgilidir ($1N=1kg.m/sn^2$). Atwood makinesinin serbest cisim diyagramında; **T** ip (kablo) **gerilmesidir**, m_1 **hafif olan kütledir**, m_2 **ağır olan kütledir** ve **g** ise **yer çekimi** ivmesidir. Sistem üzerinde sürtünmenin olmadığını varsayarsak:

- m_1 kütlesi üzerindeki net kuvvet **ip gerilmesi (T)** ile m_1g arasındaki farktır, $T > m_1g$.
- m_2 kütlesi üzerindeki net kuvvet **ip gerilmesi** ile m_2g arasındaki farktır, $T < m_2g$.

Bir cismin ivmesi, cisme etki eden net kuvvetle **doğru** orantılı olup, cismin kütlesi ile **ters** orantılıdır. Bu ivmenin yönü ise cisme etki eden net kuvvetin yönü ile aynıdır. Bu, Newton'un ikinci hareket yasasıdır. Newton'un ikinci yasası,

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m} \quad (49)$$

denklemini gibi yazılabilir.

Burada;

$\vec{a}$:	Cismin ivmesi,
m :	Cismin kütlesi,
$\Sigma \vec{F}$:	Cisim üzerindeki net kuvvet.

Üzerlerindeki net kuvvet **sıfır** olmayan, m_1 ve m_2 kütleli iki cisme **Newton'un ikinci yasasını** uygulayabiliriz. Bu nedenle, iki cisim dengede **değildir** ve hızlanmaktadır. Her cismin üzerindeki net kuvvet o cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir:

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a} \quad (50)$$

Newton'un ikinci yasası, hareketin tanımı (ivme) ile hareketin nedenini (kuvvet) ilişkilendirir. $m_2 > m_1$ için, her kütleye uygulanan Denklem-(50):

$$F_{Net} = T - m_1 g = m_1 a \quad (51)$$

$$F_{Net} = m_2 g - T = m_2 a \quad (52)$$

bağıntılarını verir. Burada;

T : İpin gerilmesi,
 a : Atwood makinesindeki **her kütlenin** doğrusal ivmelerinin büyüklüğü,
 g : **Yer çekimi** ivmesi.

Bir cisim üzerinde yer çekimi kuvvetinin büyüklüğüne, mg , cismin ağırlığı denir. Bir Atwood makinesinde, asılı iki kütle arasındaki ağırlık farkı bu iki kütlenin oluşturduğu sistem üzerinde etki eden net kuvveti (F_{Net}) belirler. Bu net kuvvet, asılı iki kütleyi de ivmelenir; ağır kütle (m_2) aşağı doğru ivmelenir ve hafif kütle (m_1) yukarı doğru ivmelenir. Denklem-(51) ve (52) birleştirildiğinde:

$$T = m_1 a + m_1 g \quad (53)$$

$$T = m_2 g - m_2 a \quad (54)$$

$$m_1 a + m_1 g = m_2 g - m_2 a \quad (55)$$

$$m_1 a + m_2 a = m_2 g - m_1 g \quad (56)$$

$$a = g \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) \quad (57)$$

bulunur. Denklem-(57), bu iki kütlenin oluşturduğu sistem için teorik (*beklenen*) ivme değerini verir. Bu ifadede görüldüğü gibi, Newton'un ikinci yasası kullanılarak bulunan beklenen ivme değeri, “ g ” ve kütlelerin farkının çarpımının toplam kütleye bölümüne eşittir. Bu nedenle, Atwood makinesindeki kütle sisteminin üzerindeki net kuvvet iki kütlenin farkının yer çekimi ivmesi ile çarpımıdır, $g(m_2 - m_1)$.

Eğer m_2 kütlesi $t_1=0$ **başlangıç** anında **dikeyde** yerden $h=y$ mesafe yüksekliğinde hareketsiz durumdan ($v_0=0$) serbest bırakılırsa, m_2 kütlesi serbest bırakıldıktan sonra $t_2=t$ **son** anında yere çarpar. Düşüş mesafesi (y) ve sistemin doğrusal ivmesi arasındaki ilişki:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (58)$$

Olarak verilir. Denklem-(58)'de kütlenin (m_2) başlangıç konumu $y_0=0$ ve başlangıç hızı $v_0=0$ kullanılırsa;

$$y = \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{DeneySEL}) \quad (59)$$

bulunur. Denklem-(59), $t = 0$ anında harekete başlayan her bir kütlenin belli bir zaman aralığı (t) içinde aldığı mesafenin (y), ivme cinsinden bağıntısını verir. Sistemin ivmesi (a) **sabit** olduğundan ve iki metal diskte **durağan** ($t = 0, v_0 = 0$) durumdan hareketlerine başladığından, Denklem-(59)'da verilen bağıntı bu deneyde kullanılacaktır. İvme (a) için verilen ifade, deneyde ölçülen nicelikler olan yer değiştirme (y) ve zaman aralığı (t) cinsinden çözüldüğünde;

$$a = \frac{2y}{t^2} \quad (\text{DeneySEL}) \quad (60)$$

bulunur. Sabit ivmeli (a) bir hareketin **y-t** grafiği grafiğin orijin noktasından geçen bir **paraboldür**. Bununla birlikte, eğer **y-t²** grafiği çizilirse, **eğimi**:

$$egim = \frac{1}{2} a \quad (\text{DeneySEL}) \quad (61)$$

olan ve orijinden geçen bir düz **doğru** buluruz. Denklem-(61), (m_1+m_2) toplam kütle kullanılarak uygulanan (m_2-m_1)g net kuvvet için Atwood makinesinin **ivmesini** (a) verecektir.

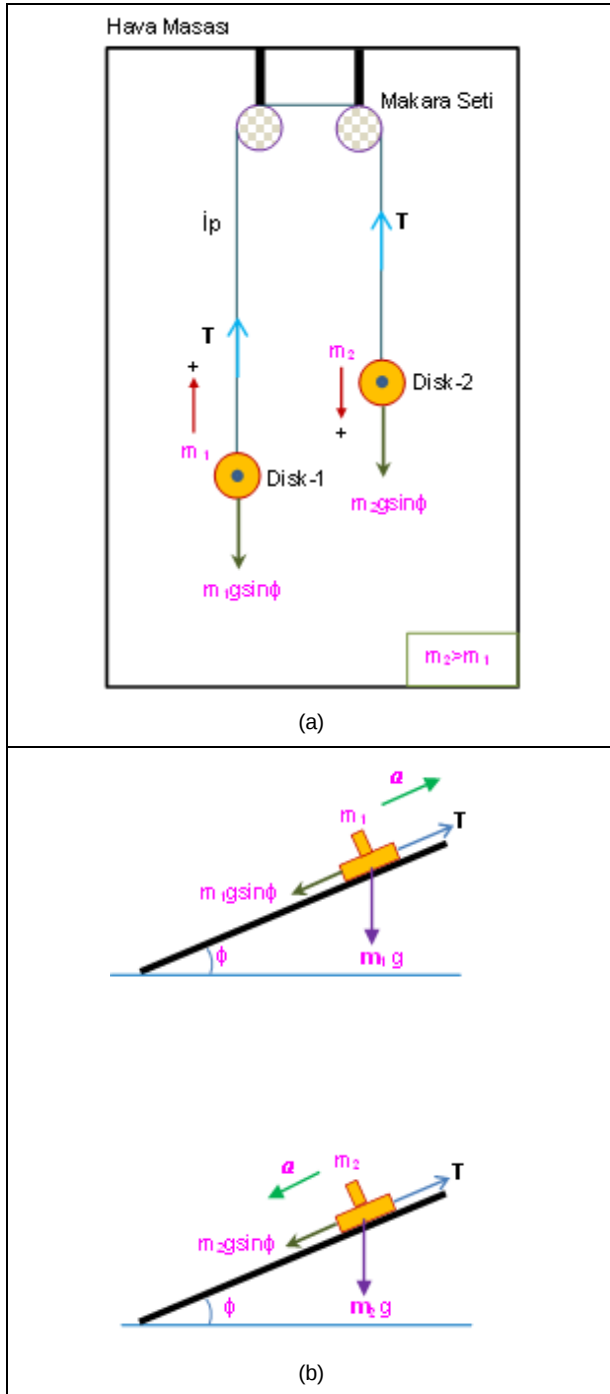


Figure-15: Eğik bir hava masası üzerinde m_1 ve m_2 kütlelerinden oluşan **Atwood makinesi** deney düzeneği (a). Ağır kütle (m_2) aşağı düşerken ve hafif kütle (m_1) yükselirken kazandığı **sabit** ivme (b).

Deneyin bu bölümünde, ϕ **eğim açısı** ile **eğimli** bir hava masası üzerinde bir iple birbirine bağlı iki metal diskten oluşan bir Atwood makinesi için, Şekil-(15a)'da gösterilen düzeneği kuracağız.

İki metal disk makine için gerekli olan kütleler gibi davranacaktır. Disklerden birine ekstra bir kütle koyarak, o diskin kütlesi arttırılacaktır. Ağır kütle (m_2) Şekil-(15b)'de gösterilmiştir. Bu disk (kütle) üzerinde **eğimli düzlem** boyunca etki eden iki kuvvet:

- Yukarı çeken ip gerilmesi T , ve
- **Ağırlığının** bileşeni, $m_2 g \sin \phi$.

Kütle aşağı doğru ivmelendiğinden dolayı, ip gerilmesi T , $m_2 g \sin \phi$ 'den küçüktür ve bu nedenle m_2 üzerinde etki eden net kuvvet:

$$m_2 g \sin \phi - T = m_2 a \quad (62)$$

ifadesi ile verilir. Benzer olarak, m_1 üzerinde etki eden net kuvvet:

$$T - m_1 g \sin \phi = m_1 a \quad (63)$$

gibidir. Bu iki denklem taraf tarafa eklenerek ve gerekli işlemler yapılarak, ivmeyi

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} g \sin \phi \quad (\text{Beklenen}) \quad (64)$$

bulabiliriz. Böylece, deneysel ölçülen mesafe (y) ve zaman (t), bu deneyin sonucu olan **ivme** (a) değerini belirler. İvme (a), Denklem-(64) ile **yer çekimi** ivmesi(g) ile bağlıdır. Hava masasının eğim açısı $\phi=90^\circ$ olursa,

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} g \quad (65)$$

bulunacağına dikkat edin. Denklem-(63) ve (64) birlikte ip gerilmesi için çözüldüğünde, ipteki gerilme için,

$$T = \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} g \sin \phi \quad (\text{Deneysel}) \quad (66)$$

ifadesine ulaşırız. Burada, g yer çekimi ivmesi ($=9.8\text{m/s}^2$) ve ϕ hava masasının yatayla yaptığı açıdır (eğim açısı).

5.5.1. Deney Prosedürleri

Bu çalışma, eğimli hava masasında gerçekleştirilecektir.

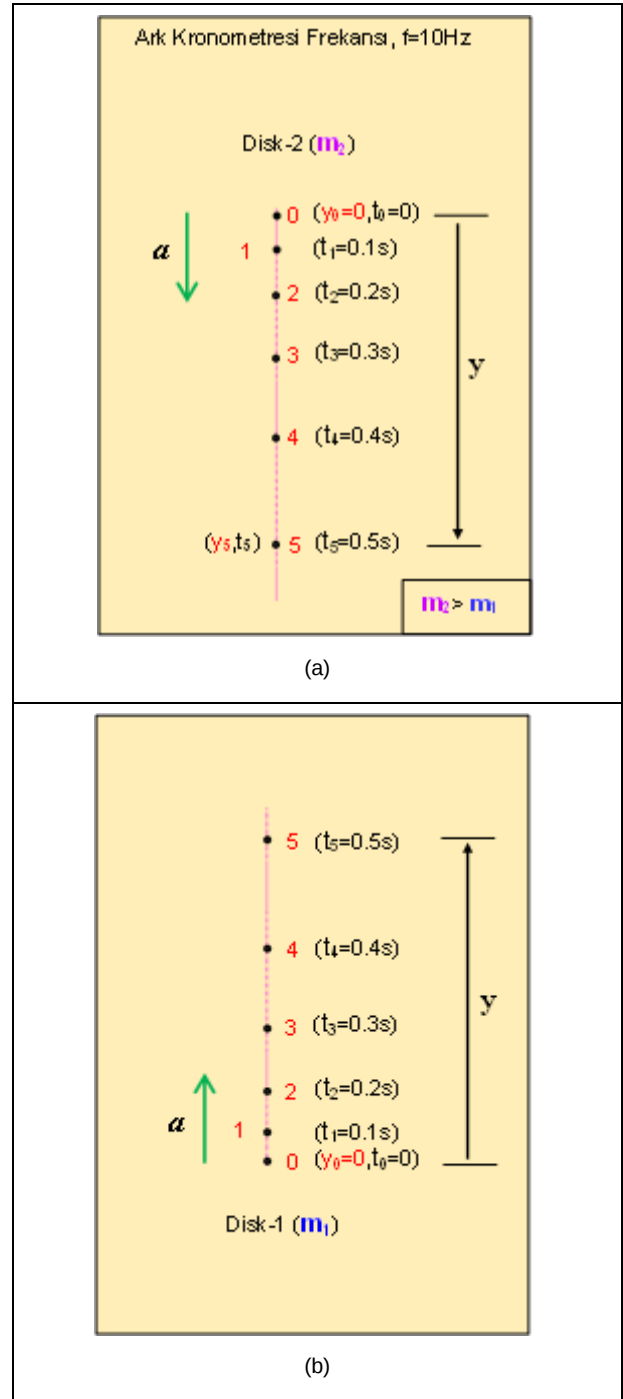
- İlk olarak, hava masasını düzleştirin, sonra **arka kısmın** yükselterek,
 - $\phi=20^\circ$
- Eğim açısı ile hava masasını eğimli bir pozisyona getirmek için bir ayağının altına yükseltici blok koyun. Eğim açısını ölçmek için açı bulucu kullanabilirsiniz.
- m_1 ve m_2 kütlelerini ölçün.
- Hava masasının üst kısmına makara setini takın ve her makaranın üzerinden geçecek şekilde ipi (kablo) yerleştirin (**Şekil-14a**).

- 4.1. Eğimli düzlem üzerinde m_1 ve m_2 kütleli iki metal diskin en az **20cm** (0,2 metre) hareket edebileceği şekilde ipin uzunluğunu ayarlayın
- 4.2. Metal disklerin hava hortumlarını sökün ve sonra:
 - Sağdaki metal diske ek kütleyi takın ve bu diskin takılan **ekstra kütle** ile beraber toplam kütlelerini m_2 olarak **kaydedin**.
 - Halkaları iki metal diske takın.
- 4.3. Hava hortumlarını tekrar metal disklerle bağlayın.
- 4.4. Daha sonra, makaraların üzerinden geçen **ipin** uçlarına halkalar kullanarak iki metal diski de bağlayın.

- Eğimli hava masasının üst kısmına takılan iki makaranın merkezleri arasındaki mesafe **30cm** olmalıdır.
- Makaraların üzerinden geçen ve metal disklerle bağlanan ip hava masasının düzlemine paralel **olmalıdır**.

- Soldaki kütleyi (hafif ağırlıklı, m_1) en alt noktaya ve diğerini en yüksek noktaya koyun.

Sağdaki metal diskin m_2 ekstra kütle (yani ağır kütle) olduğunu unutmayın.



Şekil-16: Atwood makinesinde çalışma kağıdı üzerine Disk-2 (a) ve Disk-1 tarafından üretilen noktalar (b).

- Sadece** pompanın (P) ayak pedalına basarak, metal disklerden oluşan sistemi hareketsiz durumdan **serbest bırakın** ve disklerin hareketini gözlemleyin. Hareketi tanımak için bunu bir kaç kez tekrarlayın.
- Çalışma kağıdı üzerine üretilen noktalar **Şekil-16**'daki gibi olacaktır.

8. Şimdi, ark kronometresinin frekansını:

▪ $f=10\text{Hz}$.

olarak ayarlayın.

DENEY NOTU: Bu değer, noktaları her 1/10 saniyede bir üretecektir. Bununla birlikte, eğer veri noktaları uygun değilse, frekansı 20Hz olarak değiştirebilirsiniz.

9. Şimdi, iki metal disk için aynı anda ark üretmek için iki ayak pedalını üst üste koyun ve aynı anda ikisine de basın. Sağdaki metal diskin aşağı doğru ve diğerinin yukarı doğru hareketlendiğini gözlemleyin.

10. Ark kronometresini kapatın ve metal diskleri hava masasının üzerinden kaldırın.

11. Çalışma kağıdını hava masasından alın ve üzerine üretilen noktaları gözlemleyin.

- Metal diskler ne tür bir yörüngeye sahiptir?
- İki metal disk için aynı harekete sahip olduklarını söyleyebilir misiniz? Cevabınızı açıklayın.

12. Birinci noktadan başlayarak, her metal diskin çalışma kağıdı üzerinde ürettiği noktaları 0, 1, 2, 3, 4, and 5 gibi numaralandırın.

12.1. Çalışma kağıdı üzerindeki her yörüngeyi ilk noktası **sıfır noktası** olarak alınmalıdır.

12.2. Bu noktayı, (**sıfır noktası**) sıfır konum ve sıfır zaman için referans noktası olarak kullanın.

12.3. Pozitif y-eksenini hareket yönünde alarak, **sıfır noktasına** göre her yörüngeyi 5 veri noktasının zamanlarını ($f=20\text{Hz}$ olduğundan iki ardışık nokta arasındaki süre 0.05 saniyedir) ve konumlarını ölçün.

12.4. Tablo-(8)'i konum ve zaman verileri ile doldurun.

m_1 ve m_2 kütleli metal disklerin **beş noktasının sıfır noktasına** göre konum ve zaman değerlerini tabloya kaydedin.

13. Bu verileri herhangi bir kütle, m_1 veya m_2 , için t^2 'ye karşı y-grafigi çizmekte kullanın.

Deneysel ivmeyi (a), Şekil-(16)'da görüldüğü gibi, hareketsiz durumdaki kütle (m_2) için belli bir mesafeden (y) düşme süresini (t) ölçerek belirleyebiliriz. Bir iple birbirlerine bağlı olduklarından, her iki kütle için de ivme aynıdır. m_1 veya m_2 kütlelerinden birisi için konum (y) ile zamanın karesi (t^2) arasında doğrusal bir ilişki elde etmelisiniz. Eğer elde edemezseniz, aynı ayarlarla yeni veriler toplayın.

13.1. Şimdi, grafikteki veri noktalarından geçen en iyi düz çizgiyi **çizin**. Grafikteki dikey ve yatay eksenlerin birimlerine **dikkat edin**.

13.2. En uygun (en iyi düz) çizginin **eğimini (s)** bulun ve veri tablosuna kaydedin.

13.3. Grafiğin **eğiminden** metal diskin ivmesini (a) bulun.

14. Yer çekimi **ivmesinin (g)** deneysel değerini (Atwood makinesi ile) m/s^2 birimi cinsinden hesaplayın. Bu değeri, yüzdelik fark elde etmek için $g=9.80 \text{ m/s}^2$ ile karşılaştırın.. Bunun için, **Denklem-(64)**'de:

- Elde ettiğiniz ivmeyi (a),
- $\sin\phi$ değerini, ve
- m_1 ve m_2 kütlelerini

kullanın. Hesaplamaları ayrıntılı şekilde gösterin.

15. Denklem-(66)'yı kullanarak doğru birimle ipin gerilmesini (T)belirleyin.

16. Ayrıca, m_2 kütleli metal diskin ağırlığını bulun. Ağırlığın, yer çekimi etkisi altında metal diskin kütlesi (m_2) üzerine ekti eden kuvvet olduğunu unutmayın.

17. m_2 kütlesi aşağı doğru ivmelendiğinden, ipin (kablunun) gerilmesinin eğik düzlem boyunca etkili olan kuvvetten (ağırlık) küçük olduğunu gösterin.

18. İvme (g) değeriniz kabul edilen değerle, $g=9.80\text{m/s}^2$, uyumlu mu?. Bu karşılaştırmanız eğer %10 yüzdelik hatayı geçiyorsa, en az bir olası hata kaynağını açıklayın.

5.5.2. LABORATUVAR RAPORU

Atwood Makinesi

Tablo-8: Atwood sistemi için m_1 ve m_2 metal disklerinin beş veri noktasının konum ve zaman ölçümleri.

Nokta Numarası	Ölçülen				Deneyisel
	Position		Zaman	Zamanın karesi	Eğim
	Kütle, m_2	Kütle, m_1			
	$y(m)$	$y(m)$	$t(sn)$	$t^2(sn^2)$	$s(m/sn^2)$
0	0	0	0	0	
1					
2					
3					
4					
5					

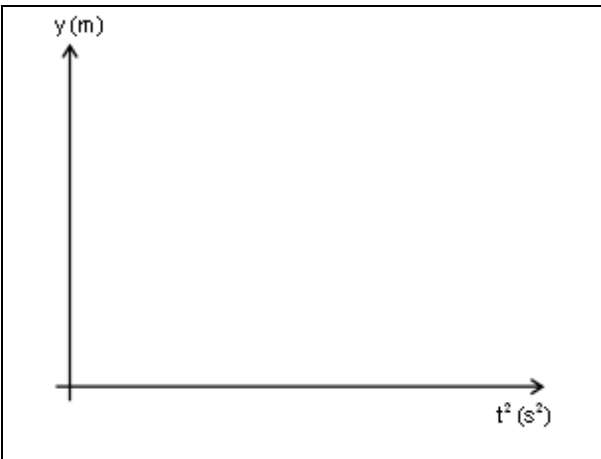
m_1 ve m_2 metal disklerinin beş veri noktasının konum ve zaman ölçümlerini sıfır noktasına göre kaydedin.

Eğim açısı, $\phi(deg)$:	20
Ark kronometresi frekansı, $f(Hz)$:	10
Metal disk, $m_1(kg)$:	.....
Ek kütle ile disk, $m_2(kg)$:	.....
Eğim, $s(m/s^2)$:	.....
İvme, $a(m/s^2)$:	.....
Yer çekimi ivmesi, $g(m/s^2)$:	.....
İpin gerilmesi, $T(N)$:	.....
Ekstra kütleli metal diskin ağırlığı, $W(N)$:	.....

Yer çekimi ivmesi (Deneyisel)	Yer çekimi ivmesi (Beklenen)	Yüzdelik hata (Hesaplanan)
$g(m/sn^2)$	$g'(m/sn^2)$	$\Delta g (\pm\%)$
.....		

Sorular

- Atwood makinesinin temel kavramlarını kısaca açıklayın. Sistemin ivmesine neden olan **net kuvvet** nedir?
- Mesafe ve zaman ölçümlerinden sabit ivmenin **deneyisel** değerini nasıl belirlersiniz? Çalışmalarınızı açıkça belirtin.
- Kütlelerden ve kütle farkından beklenen (teorik) ivme değerini nasıl hesaplıyorsunuz?
- Net kuvvet sabit tutulduğunda **ivme** ve **toplam kütle** arasındaki ilişki nedir?
- Eğer kütle farkının neden olduğu **net kuvvet** sabit kalırsa, fakat **toplam kütle** artırılırsa, **ivme** nasıl etkilenir?
- Ağır kütle** (sağdaki kütle) ivmesi soldaki kütle ivmesi ile karşılaştırıldığında aralarında nasıl bir ilişki vardır?
- Tüm kütleler için ivme **aynı** mıdır? Bu deneyde öğrendikleriniz hakkında detaylı bir **sonuç** yazın.



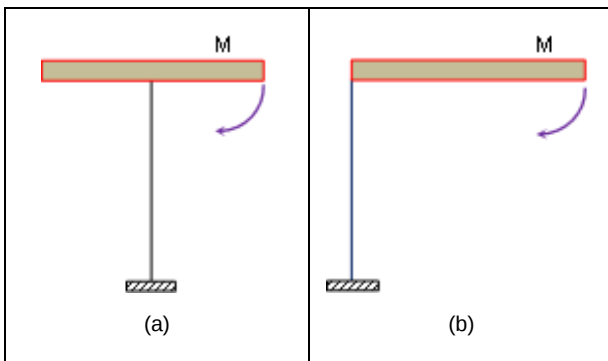
Grafik-5: Atwood sistemi için konum-zamanın karesi.

5.6. Deney-6

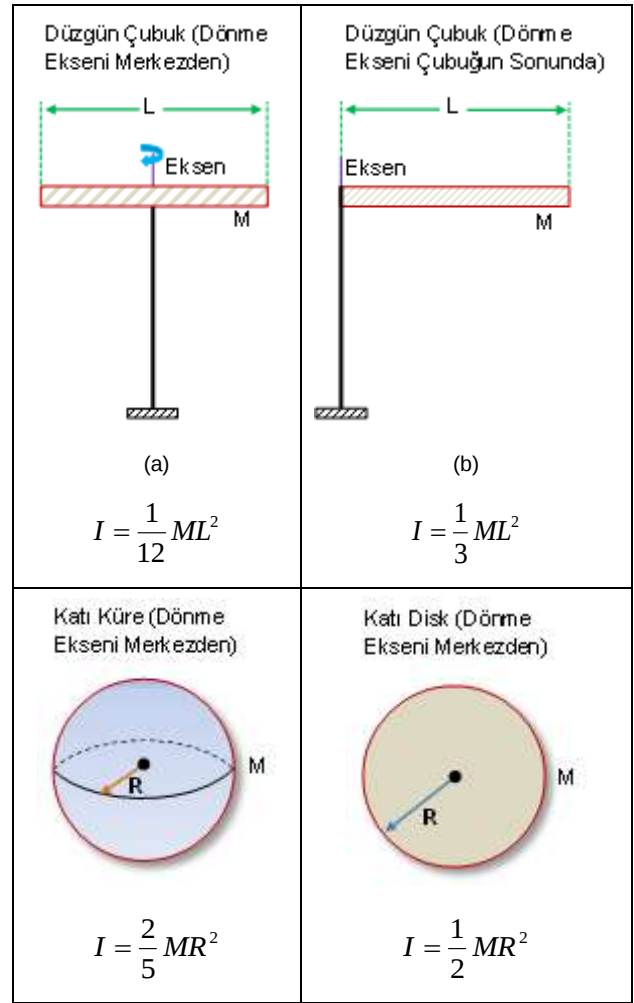
Dönme Hareketi

Bu deneyin amacı, merkezinden geçen bir eksen etrafında dönen cismin dinamiklerini incelemek ve diskin açısal ivmesini, açısal hızını ve eylemsizlik momentini hesaplamaktır. Daha sonrasında, mekanik enerjinin korunumu da araştırılacaktır.

Bu deneyde, katı bir cismin dönme hareketini inceleyeceğiz. Katı cisim, şekli değişmeyen cisimdir ve böylelikle cismi oluşturan parçacıklar birbirlerine göre sabit konumlarda kalırlar. Bir katı cismin dönme hareketini incelemek için, öncelikle bu tür hareketi tanımlamak ve anlamak için gerekli olan bazı yeni fiziksel nicelikleri ve kavramları tanıtmamız gerekir. İlk tanıtacağımız nicelik, katı cisimlerin **eylemsizlik momentidir**. Bir cismin eylemsizlik momenti (I), cismin, bir eksen etrafında dönme hızının değişimine ne kadar direnç gösterdiğinin bir ölçüsüdür. Doğrusal hareketten bildiğimiz gibi, eğer m ve M ($M > m$) gibi iki kütle aynı kuvvet uygulanırsa, kütlesi diğerine göre az olan daha büyük ivme kazanır. Başka bir deyişle, kuvvet, küçük kütleli cismin hareketinde diğer büyük kütleli cismin hareketine göre daha büyük bir değişime neden olur. Bu nedenle, bir cismin kütlesi aslında hareketindeki değişime karşı gösterdiği eylemsizlik (*direnç*) ölçüsüdür ve kütle ne kadar büyükse eylemsizlik de o kadar büyük olacaktır.



Şekil-17: İki farklı eksen etrafında aynı kuvvet tarafından döndürülen iki özdeş katı çubuk. (a)'daki çubuğu (b)'dekine göre döndürmek daha kolaydır.

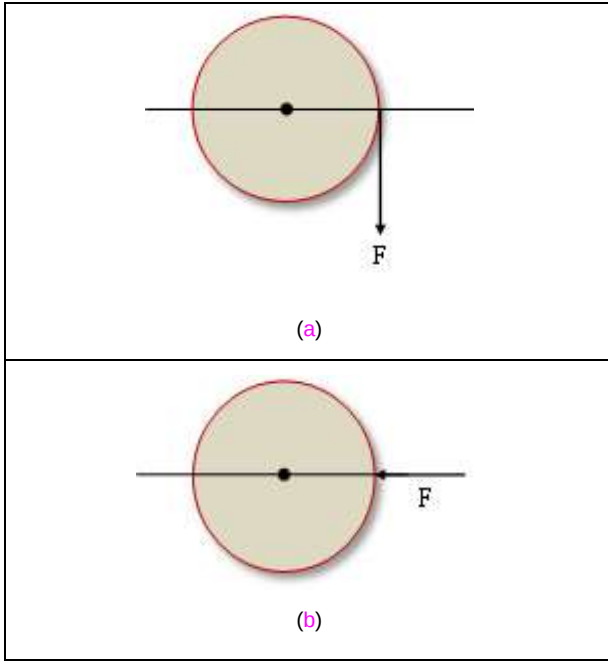


Şekil-18: Düzgün yapıya sahip çeşitli cisimlerin eylemsizlik momentleri.

Aynı kütle (M) sahip iki homojen çubuğun farklı iki eksene yerleştirildiği Şekil-(17)'de gösterilen durumu düşünelim. Şekil-(17b)'deki çubuğu döndürmenin daha zor olduğu açıktır. Yani, iki cisim aynı **kütle**ye, M , sahip olsalar da Şekil-(17b)'deki durumdaki cisim Şekil-(17a)'dakine göre daha büyük bir eylemsizlik momentine sahiptir. Bu nedenle, eylemsizlik momenti cismin kütlesine ek olarak, kütle'nin dönme eksenine göre dağılımına da bağlıdır. Şekil-(18)'de homojen yapıya sahip bazı katı cisimlerin eylemsizlik momentleri verilmiştir. Teorik olarak, M kütleli ve R yarıçaplı bir disk şeklindeki cisim için, simetri merkezine göre eylemsizlik momentini:

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \quad (67)$$

olarak ifade edilir.



Şekil-19: Bir **disk**, merkezinden geçen bir eksen etrafında serbestçe döndüren, net kuvvet. (a). Aynı kuvvetin dönmeye neden olmayacak şekilde diske etkisi (b).

Newton'un ikinci hareket yasasından bildiğimiz üzere, hareketsiz durumdaki bir cisme bir **net kuvvet** etki ettiğinde, cisim harekete geçer. Bu nedenle, diske teğet olacak şekilde etki eden net kuvvet, diskin merkezinden geçen bir eksen etrafında dönmesine neden olur. Şekil-(19a)'daki gibi diske teğet olarak etki eden **net kuvvet** (F), diskin merkezinden geçen bir eksen etrafında dönmesine neden olur. Bununla birlikte, Şekil-(19b)'deki gibi, aynı net kuvvet diske merkezinden geçen bir eksen doğrultusunda etki ettiğinde, disk döndüremez. Bu örnekten, katı bir cismi döndürmek için sadece bir net kuvvetin yeterli olmadığını görmekteyiz. Bu nedenle, katı cismin eğer dönme eksenini (veya noktası) etrafında bir net **tork** varsa, dönme hareketinde bir değişim yaşayacağını söyleyebiliriz. Bir cismin herhangi bir eksen etrafındaki **eylemsizlik momenti**, cisme **açısal ivme** (α) vermek için gerekli olan net **torkun** belirlenmesi ile deneysel olarak bulunabilir. Bir nokta ya da bir eksen etrafındaki kuvvetin neden olduğu tork (Γ)

$$\vec{\Gamma} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (68)$$

olarak ifade edilir.

Bu bağlamda,

$\vec{r}$: Dönme ekseninden kuvvetin uygulandığı noktaya çizilen vektör

$\vec{F}$: Uygulanan kuvvet.

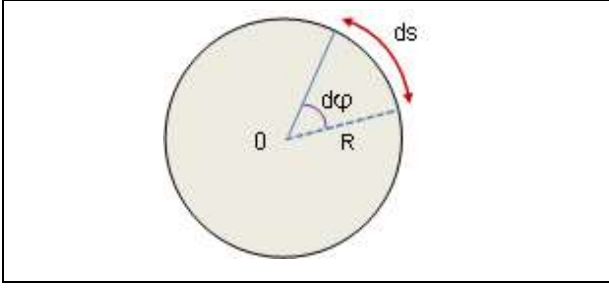
Tork, cismin dönmesine neden olur. Net kuvvete ve dönme eksenine göre kuvvetin uygulandığı noktaya bağlıdır. Vektör (çapraz) çarpım tanımından, **torkun** büyüklüğü için:

$$\Gamma = rF \sin \theta \quad (69)$$

ifadesini yazabiliriz. Burada, θ , $\vec{r}$ ve $\vec{F}$ vektörlerinin arasındaki açıdır. Bu ifade, net kuvvetin Şekil-(19b)'de etkili olmazken (yani, θ açısı sıfırdır ve bu yüzden $\Gamma=0$), neden Şekil-(19a)'da dönmeye neden olduğunu açıklar. *Tork*, mesafe ve kuvvetin çarpımı olduğundan, newton-metre (Nm) birimi ile ölçülür. Bir cisme etki eden kuvvet, cisme doğrusal bir net ivme verirken, bir katı cisme etki eden tork bu cisme açısal bir ivme (α) kazandırır:

$$\vec{\Gamma} = I\vec{\alpha} \quad (70)$$

Burada, I katı cismin dönme eksenini etrafındaki eylemsizlik momentidir. Eylemsizlik momentinin birimi kilogram-metre² (kgm²)'dir. Denklem-(70)'de görüldüğü gibi, **deneysel olarak** eylemsizlik momentini (dönme eylemsizliği) bulmak için, cisme bilinen bir **tork** (Γ) uygulanmalı ve cisme kazandırılan **açısal ivme** (α) belirlenmelidir. Dönme hareketini tanımlamak için, açısal hız ve açısal ivme gibi, **açısal** niceliklerden faydalanmalıyız. Şimdi, açısal hızı (ω) ve açısal ivmeyi (α) tanımlayalım. Bu açısal nicelikler, doğrusal harekette karşılık gelen niceliklerle analogi kurularak tanımlanır ve dönme hareketi yapan bir cismi ifade etmek için kullanılırlar.



Şekil-20: Merkezinden geçen bir eksen etrafında dönen katı bir cisim için dt zaman aralığında mesafedeki, ds ve açıda, dφ değişim.

Merkezinden geçen bir eksen etrafında dönen bir katı cisim düşünelim (**Şekil-20**). Kordinatların orijin noktasını, diskin merkezinde. Bir zaman aralığında, dt, diskin kenarındaki bir nokta cismin kenarı boyunca ds kadar bir mesafe gidecektir ve yarıçap R, dφ kadar bir açıyı tarayacaktır. Dönen katı cismin her noktasının, **herhangi bir anda**, bir doğrusal hızı ve doğrusal ivmesi vardır. Diskin kenarındaki bir noktanın **doğrusal hızının** büyüklüğü:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (71)$$

olacaktır. Sonuç olarak, hızın değişim oranı olan, **doğrusal ivme**:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \quad (72)$$

olacaktır. Dönme hareketi yapan diskin **açısız hızı**, (radyan cinsinden ölçülen) φ açısının değişim oranı olarak tanımlanır:

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} \quad (73)$$

Açısız hız, saniyede radyan (**rad/sn**) birimine sahiptir ve cisim üzerindeki her pozisyon, aynı zaman aralığında aynı açı değeri kadar hareket ettiğinden katı cisimdeki her noktanın aynı açısız hızla döndüğünü unutmayın.

Böylelikle, **açısız ivme**:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\phi}{dt^2} \quad (74)$$

olur.

Açısız hız ω değeri, dönen cismin her noktası için eşit olduğundan, **Denklemler-(74)** bu katı cisimdeki her nokta için α değerlerinin de aynı olduğunu söyler. Açısız hız “ω” saniyede radyan ve “t” saniye cinsinden ölçüldüğü için, “α” **radyan bölü saniye kare (rad/sn²)** birimine sahiptir. **Şekil-(20)** incelendiğinde ds yayının uzunluğu, açıkça:

$$ds = R d\phi \quad (75)$$

gibidir. Bu nedenle, sabit R değeri ile doğrusal hız:

$$v = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\phi}{dt} \quad (76)$$

veya;

$$v = R\omega \quad (\text{Doğrusal Hız}) \quad (77)$$

bulunur. Benzer şekilde **doğrusal ivme**;

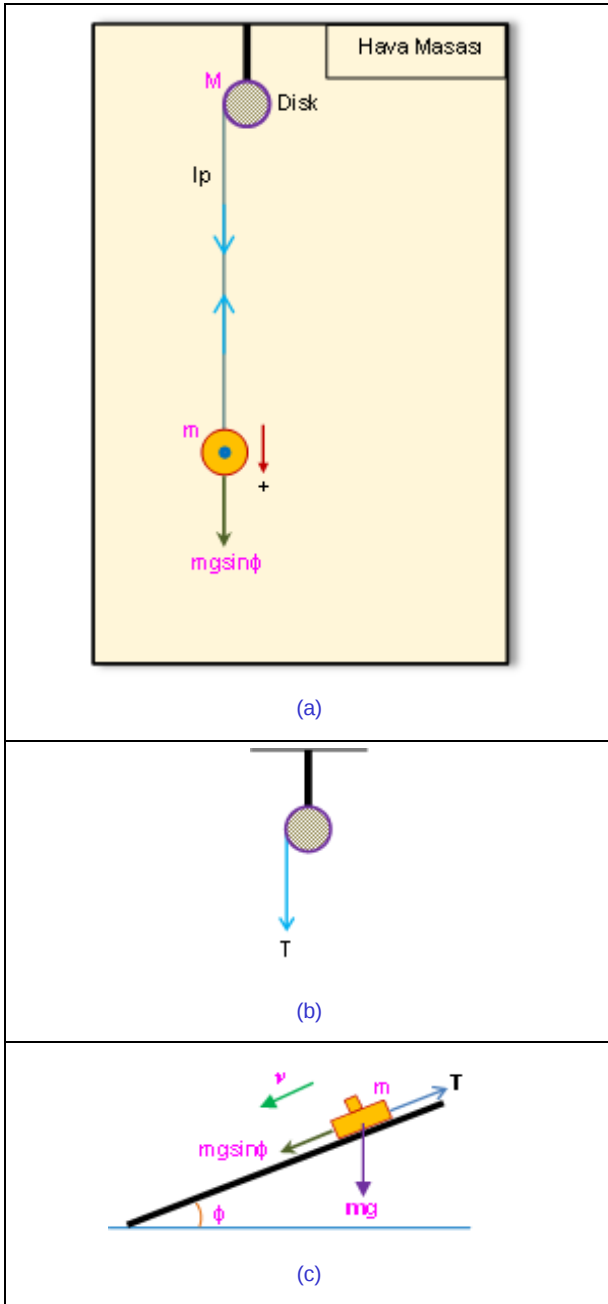
$$a = R\alpha \quad (\text{Doğrusal İvme}) \quad (78)$$

olur. Burada, R; dönme ekseninden sabit bir mesafedir ve ω, rad/sn olarak verilmiştir. Her noktadaki doğrusal **nicelikleri** dönen cismin açısız nicelikleri ile aşağıdaki gibi ilişkilendirebiliriz:

Doğrusal ve Dönme Hareketlerindeki Nicelikler

Doğrusal Hareket	Dönme Hareketi
v	ω
a	α
m	I
$\vec{F} = m\vec{a}$	$\vec{\Gamma} = I\vec{\alpha}$
$v(t) = v_0 + at$	$\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$
$K = \frac{1}{2}mv^2$	$K = \frac{1}{2}I\omega^2$

Öteleme ve dönme kinetik enerjilerinin ifadelerini karşılaştırarak, açısız hızın doğrusal hızın yerine geçtiğini ve eylemsizlik momentinin (dönme eylemsizliği) kütlelerin yerine geçtiğini görürüz.



Şekil-21: Deney düzeneği (a). Uygulanan kuvvet ipten oluşan gerilme kuvvetidir (T) (b). Deneyde, m kütleli metal disk M kütleli diskin dönmesine neden olan aşağı doğru doğrusal bir hareket yapar (c).

Deneyde, yukarıda Şekil-(21a)'da gösterilen deney düzeneğinde çalışacağız. Merkezinden geçen bir eksen etrafında serbestçe dönebilen M kütleli bir disk eğimli hava masasının üst kenarına takılmıştır. Bu diskin etrafına bir ip sarılmıştır ve m kütleli bir metal disk ipin serbest ucuna bağlanmıştır. Sistem hareketsiz durumdan serbest bırakıldığında, **asılı metal disk (m)**, M kütleli **diski döndürerek**, eğimli hava masasının üzerinde aşağı doğru ivmelenecektir.

İpteki gerilme kuvvetinin oluşturduğu tork, diskin dönmesine neden olan kuvvet gibi etki edecektir (Şekil-21b). Asılı metal disk üzerine etki eden kuvvetler Şekil-(21c)'de gösterilmiştir. Newton'un ikinci yasasını uygulayarak:

$$mg \sin \phi - T = ma \quad (\text{Deneysel}) \quad (79)$$

elde ederiz. Burada, ϕ açısı hava masasının eğim açısıdır, ve a ise metal diskin doğrusal ivmesidir. Dönen diskin açısal ivmesi (α) doğrusal ivme ile aşağıdaki gibi bir ilişkidir:

$$a = R\alpha \quad (\text{Deneysel}) \quad (80)$$

Burada, R dönen diskin yarıçapıdır. İp gerilmesinin (T) neden olduğu tork:

$$\Gamma = RT = I\alpha \quad (\text{Deneysel}) \quad (81)$$

olarak ifade edilir. Burada, I diskin **eylemsizlik momentidir**. Eğer sistem durağan durumdan serbest bırakılırsa, t kadar bir zaman sonra, metal diskin doğrusal hızı:

$$v = at \quad (\text{Deneysel}) \quad (82)$$

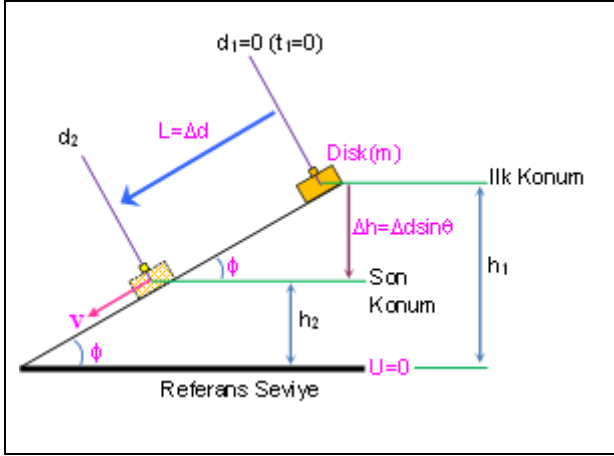
olacaktır. Benzer olarak, dönen metal diskin açısal hızı:

$$\omega = \alpha t \quad (\text{Deneysel}) \quad (83)$$

olacaktır. Kinetik enerji, bir cismin hareket durumu ile ilgili enerji olup, m kütleli ve v hızıyla hareket eden bir cismin kinetik enerjisi:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Kinetik Enerji}) \quad (84)$$

gibi tanımlanır.



Şekil-22: Eğimli hava masa üzerinden aşağı kayan bir cismin aldığı toplam dikey mesafe.

Kütleli (**m**) bir cismin seçilen referans seviyeye göre y dikey yükseklikteki herhangi bir noktadaki **potansiyel enerjisi (U)**:

$$U = mgy \quad (\text{Potansiyel Enerji}) \quad (85)$$

şeklinde verilir Potansiyel enerjinin, kütlelin hareketini etkilemeden belirli bir kordinat sisteminin orijini olarak seçilebilen bir yere (yani, $y=0$), göre tanımlandığını unutmayalım. Şekil-(22)'de görüldüğü gibi, eğer m kütleli bir cisim eğimli düzlemde bir toplam dikey mesafe (Δh) boyunca kayarsa (ya da aşağı düşerse), aşağı doğru hareket süresince bu cismin potansiyel enerjisi:

$$\Delta U = mg(\Delta h) \quad (86)$$

kadar azalır. Potansiyel enerjideki bu kayıp, **kinetik enerji** gibi diğer enerji türlerine dönüştürülür. Eğer cisim eğimli düzlem boyunca bir **L mesafesi** kadar yol alıyorsa, toplam dikey mesafenin (Δh):

$$\Delta h = L \sin \phi \quad (\text{Dikey Mesafe}) \quad (87)$$

olacağına dikkat edelim. Burada, ϕ eğim açısıdır.

Deneyde, metal disk öteleme (doğrusal) hareketi nedeniyle bir kinetik enerjiye sahiptir ve dönen disk ise dönme hareketi nedeniyle bir kinetik enerjiye sahiptir. Eylemsizlik momenti cinsinden, sabit bir eksen etrafında dönen bir cismin dönme kinetik enerjisi:

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (88)$$

Sabit bir eksen etrafında dönen bir cisim, **dönme** kinetik enerjisine sahiptir. Bu nedenle, **herhangi bir andaki** sistemin toplam kinetik enerjisi:

$$K = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (\text{Deneyssel}) \quad (89)$$

olacaktır. Başlangıçtaki potansiyel enerji, **metal diskin** ve **dönen diskin** kinetik enerjilerine dönüşür. Metal disk hava masasının eğimli düzleminde aşağı düştüğünden, potansiyel enerjisi, **metal diskin (m) öteleme** kinetik enerjisine ve **dönen diskin (M) dönme** kinetik enerjisine dönüşür. Şimdi, herhangi bir zamandaki sistemin kinetik enerjisinin (**K**) ve potansiyel enerjisinin (**U**) toplamı olarak **toplam mekanik enerjiyi, E**:

$$E = K + U \quad (90)$$

tanımlayabiliriz. **U** sistemin potansiyel enerjisi olarak kabul edilirse, enerji korunumu (eğer sürtünme ihmal edilirse):

$$\Delta K + \Delta U = 0 \quad (91)$$

$$(K_2 - K_1) + (U_2 - U_1) = 0 \quad (92)$$

$$\Delta U = -\Delta K \quad (93)$$

gerektirir. Burada, Δ enerji değişimi anlamına gelmektedir. Eğer kinetik enerji K artarsa, potansiyel enerji U bu değişimi telafi etmek için aynı miktarda azalacaktır. Böylelikle, sürtünme kuvvetinin cisim üzerinde etkili olmadığı sistemde, toplam mekanik enerji $K+U$, sabit kalır. Buna, **mekanik enerjinin korunumu** ilkesi denir.

Eğer sürtünme veya konservatif (korunumlu) olmayan kuvvetler yoksa, **Denklem-(92)**'yi:

$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1 \quad (94)$$

şeklinde yeniden yazabiliriz. Bu nedenle, “1” zamanındaki $E=K+U$ niceliği “2” zamanındaki $K+U$ değerine eşittir. Enerji yaklaşımını kullanırken, sistemdeki ilk ve son durumların (konumların ve hızların) ne olduğunu tanımlamamız gerekir. İlk durum için “1” alt simgesini ve son durum için “2” alt simgesini kullanabiliriz. Sistemin mekanik enerjisi, sistem içindeki cisimlerin potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamıdır. Kinetik enerji, cismin hareket durumu ile ilgili enerjidir. Bununla birlikte, potansiyel enerji, sadece, kütlenin hareketini etkilemeden belirli bir koordinat sisteminin orijini olarak seçilen bir yere göre tanımlanır. Bir sistemin toplam mekanik enerjisi korunduğunda, aradaki hareketleri dikkate almadan bir andaki kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı ile diğer bir andaki toplamı ilişkilendirebiliriz. Enerjinin korunumu nedeniyle, başlangıçtaki potansiyel enerjinin, öteleme ve dönme enerjilerini kapsayan, kinetik enerjiye tamamen dönüşmesi gerekir. Bu nedenle, sistem harekete geçirildikten herhangi bir zaman sonra:

$$mg(\Delta d) \sin \phi = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (\text{Deneyssel}) \quad (95)$$

bağıntısını buluruz. Burada, Δd metal diskin eğimli yüzeyde aşağı doğru hareket ederken mesafe değişimidir (yani, $L=\Delta d$). Deneyden önce, enerji korunumunu uygulayacağınız sistemi: cisimler ve onlara etki eden kuvvetler, belirlemeniz gerekir. **Denklem-(95)** düşen bir metal diskin ve dönen bir diskin oluşturduğu sistem için mekanik enerji korunumunu doğrulamak için kullanılır.

5.6.1. Deney Prosedürleri

Bu çalışmada, eğimli hava masası kullanacaksınız. Bu nedenle, ilk olarak hava masasını yatayda hizalayın ve daha sonra yükseltici blok kullanarak hava masasını eğimli duruma getirin.

- Öncelikle, hava masasını yatayda hizalayın ve daha sonra arka ayağının altına yükseltici blok koyarak kaldırın ve böylece

$$\theta = 9^\circ.$$

kadar bir açı (ϕ) ile eğik düzlem haline getirin.

- İpin bir ucunu hava masası üzerinde dönen diske, **M**, bağlayın.

- İpin diğer serbest ucunu asılı metal diske bağlayın.
- Bu deneyde **sadece** bir metal disk kullanılacağı için, diğer metal diski, altına katlanmış bir parça kağıt koyarak hava masasının alt köşesine bırakın.

- İp gerilecek şekilde asılı metal diski ayarlayın ve daha sonra sadece (P) ayak pedalına basarak asılı metal diskin eğik düzlem üzerinde kaymasına izin verin.

- Disk dönmeye hareketini gözlemleyin.
- Uygun bir hareket elde edinceye kadar, bunu birkaç kez tekrarlayın.

- Şimdi, 2. basamaktaki gibi asılı metal diski tekrar ayarlayın ve ark kronometresinin frekansını:

$$f=10\text{Hz}.$$

olarak seçin.

- S** (ark kronometresinin anahtarı) ayak pedalı ile **P** (pompanın anahtarı) ayak pedalını üst üste koyun ve ikisine birden aynı anda **basın**.
- Asılı metal disk eğik düzlemin altına ulaşınca kadar bu iki anahtara basmaya devam edin.
- Ark kronometresini kapatın ve metal diski hava masasından kaldırın.

- Deney veri kağıdını hava masasından alın ve üzerine üretilen noktaları inceleyin.

- 6.1. Metal diskin yörüngesi doğrusal bir çizgi midir?
- 6.2. Noktalar eşit aralıkta mı üretilmiştir veya ardışık noktalar arasındaki mesafeler zamanla artmakta mıdır?
- 6.3. Nasıl bir yörünge ve nokta aralığı bekleniyordu?
- 6.4. Elde ettiğiniz veriler beklenen değerlerle uygun mu?
- 6.5. Eğer verilerin uygun olmadığını hissediyorsanız, deneyi tekrarlayın.

- Birinci noktadan başlayarak**, noktaları **0, 1, 2, 3, 4, ve 5** gibi numaralandırın.

- 7.1. Hataları ile birlikte, **sıfır noktasına** göre her noktanın konumunu (**x**) ve zamanını (**t**) ölçün.
- 7.2. Elde ettiğiniz bu verileri **Tablo-(9)**'a kaydedin.

- Bu tablodaki verileri kullanarak, **t²**'ye karşı konum **x**-grafliğini **çizin**:

- 8.1. **Pozitif x**-yönünü hareket yönünde alın.
- 8.2. Şimdi, grafikteki verilerden geçen en iyi düz çizgiyi **çizin**. Dikey ve yatay eksenlerin birimlerine dikkat edin.
- 8.3. En iyi düz çizginin doğrusal çizgi **eğimini** (**s**) bulun ve bu eğimden **asılı metal diskin doğrusal ivmesini** (**a**) belirleyin.
- 8.4. Burada, **t²**'ye karşı konum-**x** grafiğinin **eğiminin**;

$$\frac{1}{2} a''$$

eşit olduğunu unutmayın.

Burada, **x-t²** grafiğinin doğrusal **olmadığını** gördüğünüzde, deneyi tekrarlayın ve **Table-(9)**'a size doğrusal bir ilişki sağlayacak yeni verileri "hesaplanan sütun" kısmına kaydedin.

- Asılı metal diskin** kütlesini (**m**) ölçün.

- Dönen diskin yarıçapını** (**R**) ölçün ve doğrusal ivmeyi (**a**) aşağıdaki denklemin içinde kullanarak,

$$a = R\alpha$$

dönen diskin **açısız ivmesini** (**α**) bulun.

11. Daha sonra, **asılı** metal disk **doğrusal hızını** (v) ve **dönen** disk **açısız hızını** (ω) beşinci zaman aralığı ($t=0.5s$) için hesaplayın

12. Şimdi, **asılı** metal disk ve **dönen** disk ikisi için de **öteleme** ve **dönme** kinetik enerjilerini bulabilirsiniz.

- 12.1. Bu **doğrusal hız** (v) ve **açısız hız** (ω) değerlerini kullanarak, sistemin beşinci zaman aralığındaki ($t=0.5s$) **toplam kinetik enerjisini** (K_T) bulun.

- 12.2. Daha sonra, **asılı metal disk** tarafından **kaybedilen** potansiyel enerjiyi hesaplayın.

- 12.3. Bu sistem için **mekanik enerjinin korunumunu** doğrulayın. Hesaplamalarınızı açık olarak gösterin.

- 12.4. Tablo-(10), (11), (12), (13) ve (14)'ü doğru **birimleri** kullanarak doldurun.

13. **Asılı metal disk kütlesini** (m) aşağıdaki tanım içinde kullanarak:

$$mg \sin \phi - T = ma$$

ipteki **gerilme kuvvetini** (T) bulun.

- 13.1. Aşağıdaki ilişkiyi kullanarak:

$$\Gamma = RT$$

ip gerilmesinin **torkunu** (Γ) bulun.

- 13.2. **Dönen disk eylemsizlik momentinin** (I) **deneysel** değerini de:

$$\Gamma = I\alpha$$

kullanarak bulun.

- 13.3. Şimdi, disk **eylemsizlik momentini** (I) **teorik** değerini de:

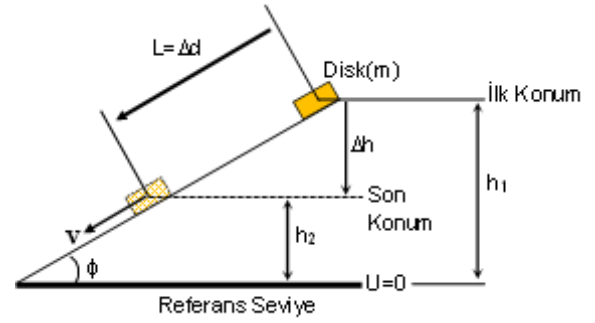
$$I = \frac{1}{2} MR^2$$

kullanarak bulun.

- 13.4. Eylemsizlik momentinin (I) **deneysel** değerini beklenen (**teorik**) değeri ile karşılaştırın.

- 13.5. Bu verileri, Tablo-(15), (16) ve (17)'ye kaydedin.

14. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, hava masasının eğimli düzleminde aşağı doğru kayan **m** kütleli bir metal disk düşünelim:



Kaybedilen potansiyel enerji için, eğim açısı (ϕ) cinsinden bir denklem elde edin. Metal disk, $t=0$ anındaki hızının $v_0=0$ olduğu şekilde, durağan durumdan serbest bırakıldığını varsayın.

DENEY NOTU: Metal disk yatay ve dikey konumlarını ölçmek için bir referans noktasının seçilmesi gerektiğini unutmayın. Kolaylık sağlamak için, $h=0$ ve $U=0$ olarak alın. Eğimli düzlemin yatay ile arasındaki açısı (ϕ) yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

15. Dönen disk üzerinde etkili olan net **tork** (Γ) ile bu disk **açısız ivmesi** (α) arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir ifade yazın.

16. Dönen disk üzerine etkiyen net **tork** ile disk **yarıçapı** arasındaki ilişki nedir?

17. Cismin öteleme (doğrusal) hareketi nedeniyle oluşan **kinetik enerjisi** ile **hızı** (v) arasındaki ilişkiyi temsil eden genel bir ifade yazın.

18. Mekanik sistemin herhangi bir andaki, metal bir disk **öteleme hareketi** ve dönen bir disk **dönme hareketi** nedeniyle oluşan toplam kinetik enerjisini veren bir ifade yazın

19. Sistem harekete geçirildikten sonra herhangi bir zamanda doğrusal hareket yapan bir metal disk ve dönme hareketi yapan bir disk oluşturduğu bir eğimli hava masası sistemi için **enerjinin korunumunu** (sürtünmenin ihmal edildiği) tanımlayan bir denklem elde edin.

5.6.2. LABORATUVAR RAPORU

Dönme Hareketi

Tablo-9: Asılı metal diskin konum ve zaman ölçümleri.

Ark Kronometresi Frekansı f (Hz)	Veri Sayısı	Ölçülen			DeneySEL	
		Zaman	Zamanın Karesi	Konum	Eğim	İvme
		$t(\text{sn})$	$t^2(\text{sn}^2)$	$x(\text{m})$	$s(\text{m/sn}^2)$	$a(\text{m/sn}^2)$
10Hz	0	0	0	0		
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

Asılı metal diskin (m) **sıfır noktasına göre** beş veri noktasının zaman ve konum ölçümlemlerini kaydedin.

Tablo-10: Asılı metal disk tarafından **kazanılan** öteleme kinetik enerjisi.

Asılı Metal Disk		Ölçülen	Hesaplanan	DeneySEL
Kütle	Doğrusal İvme (Eğimden)	Zaman	Doğrusal Hız $(v = at)$	Öteleme Kinetik Enerjisi $(K_1 = \frac{1}{2}mv^2)$
$m(\text{kg})$	$a(\text{m/sn}^2)$	$t(\text{sn})$	$v(\text{m/sn})$	$K_1(\text{J})$
.....				

Öteleme kinetik enerjisi, $t=0.5\text{s}$ zamanına karşılık gelen beşinci veri noktasından, sıfır noktasına göre belirlenir.

Tablo-11: **Dönen disk** açısal ivmesi ve açısal hızı.

Dönen Disk		DeneySEL	Hesaplanan	DeneySEL
Kütle	Yarıçap	Doğrusal İvme (Eğimden)	Açısal İvme $(\alpha = \frac{a}{R})$	Açısal Hız $(\omega = \alpha t)$
M(kg)	R(m)	$a(m/sn^2)$	$\alpha (rad/sn^2)$	$\omega (rad/sn)$
.....				

Tablo-12: **Dönen disk** tarafından **kazanılan** dönme kinetik enerjisi.

Dönen Disk		Hesaplanan	Hesaplanan	DeneySEL
Kütle	Yarıçap	Eylemsizlik Momenti $(I = \frac{1}{2} MR^2)$	Açısal Hız $(\omega = \alpha t)$	Dönme Kinetik Enerjisi $(K_2 = \frac{1}{2} I\omega^2)$
M(kg)	R(m)	$I(kgm^2)$	$\omega (rad/sn)$	$K_2(J)$
.....				

Tablo-13: **Asılı metal disk (m)** ve **dönen disk (M)** tarafından **kazanılan** sistemin toplam kinetik enerjisi.

Asılı Metal Disk	Dönen Disk	DeneySEL
Öteleme Kinetik Enerjisi $(K_1 = \frac{1}{2} mv^2)$	Dönme Kinetik Enerjisi $(K_2 = \frac{1}{2} I\omega^2)$	Toplam Kinetik Enerji $(K_T = K_1 + K_2)$
$K_1(J)$	$K_2(J)$	$K_T(J)$
.....		

Tablo-14: **Asılı metal diskin** potansiyel enerjisindeki **kayıp**.

Metal Disk	Yer çekimi İvmesi	Ölçülen	Ölçülen	DeneySEL
		Mesafedeki Değişim	Eğim Açısı	Potansiyel Enerjideki Kayıp $(\Delta U = mg\Delta d \sin \phi)$
m(kg)	g(m/sn ²)	$\Delta d(m)$	$\phi(derece)$	$\Delta U(J)$
.....				

Tablo-15: İpteki **gerilme**.

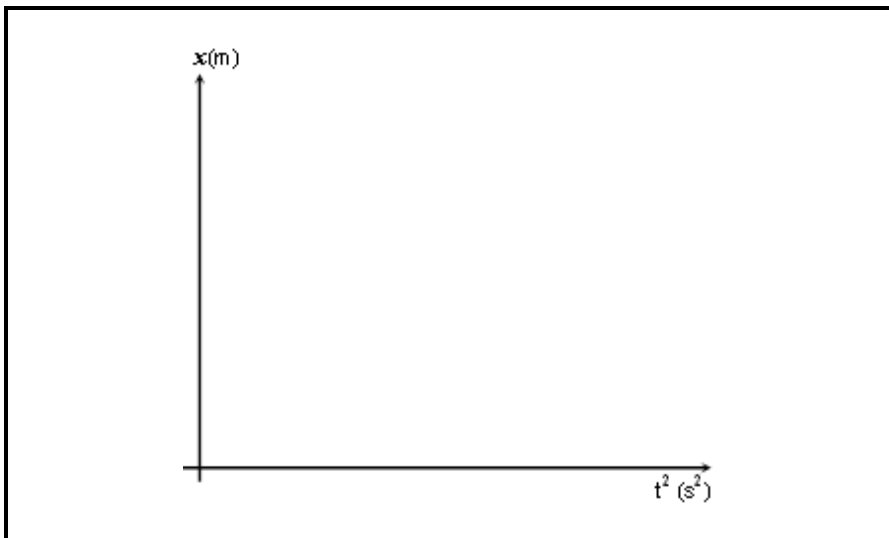
Metal Disk	Yer çekimi ivmesi	Ölçülen	Deneysel	Deneysel
		Eğim Açısı	İvme (Eğimden)	İp Gerilmesi ($mg \sin \phi - T = ma$)
m(kg)	g(m/sn²)	ϕ(derece)	a(m/sn²)	T(N)
.....				

Tablo-16: İp gerilmesinin neden olduğu **tork**.

Dönen Disk	Deneysel	Deneysel
Yarıçap	İp Gerilmesi ($mg \sin \phi - T = ma$)	İp Gerilmesinin Torku ($\Gamma = RT$)
R(m)	T(N)	Γ(Nm)
.....		

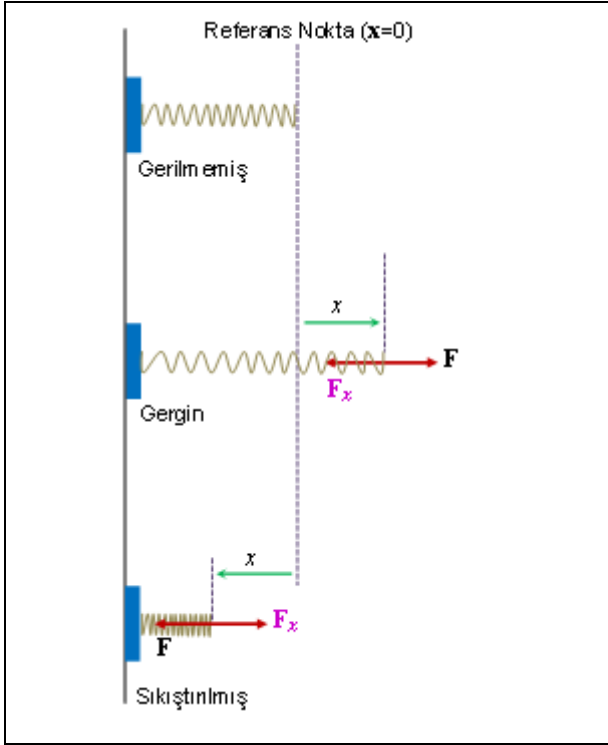
Tablo-17: Diskin **Eylemsizlik Momenti**.

Dönen Disk	Hesaplanan	Deneysel	Beklenen	Fark
İp Gerilmesinin Torku ($\Gamma = RT$)	Açısal İvme ($\alpha = \frac{a}{R}$)	Eylemsizlik Momenti ($\Gamma = I\alpha$)	Eylemsizlik Momenti ($I = \frac{1}{2} MR^2$)	Eylemsizlik Momenti ($\Delta I = I' - I$)
Γ(Nm)	α (rad/sn²)	I(kgm²)	I'(kgm²)	ΔI(kgm²)
.....				

Grafik-6: Doğrusal bir ivme ile eğimli hava masasının düzleminde aşağı doğru hareket eden **asılı metal diskin konumu, zamanın tam karesinin** bir fonksiyonu olarak grafiği.

5.7. Deney-7

Hooke Kanunu

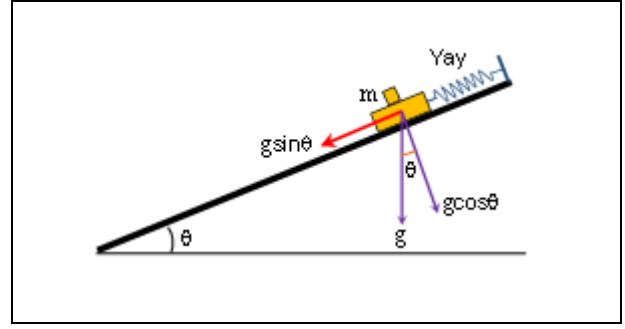


Şekil-23: Pozitif x -yönü boyunca uygulanan kuvvet (F) ile normal uzunluğundan (referans noktadan) gerilen bir yay. Yay, bir F kuvveti ile pozitif- x yönünde geriye doğru çekilmiştir. Eğer yay sıkıştırılırsa, yay bir $F_x = -kx$ (burada, $x < 0$ olduğundan $F_x > 0$) kuvveti ile geriye itilir.

Bir yaya kuvvet uygulanması durumunda yayda gerilme veya sıkışma gerçekleşir. Yayda oluşan gerilme veya sıkışma miktarı yayın türüne ve kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Aynı kuvvet etkisinde kalan sert yay yumuşak yaya göre daha az sıkışır. Bir yayı normal (serbest) uzunluğundan x kadar sıkışık tutmak için:

$$F = kx \quad (\text{Uygulanan kuvvet}) \quad (96)$$

gibi bir kuvvet uygulamalıyız. Burada k yayın kuvvet sabitidir (veya **yay sabiti**) ve bu yayın sertliğinin bir ölçüsüdür. Kuvvet sabiti k birimi, kuvvet bölü uzunluktur (N/m).



Şekil-24: Yer çekimi ivmesinin bileşenleri.

Şekil-(23)'de görüldüğü gibi, yayın kendisi ters yönde,

$$F_x = -kx \quad (\text{Hooke kanunu}) \quad (97)$$

gibi bir kuvvet gösterir.

Yayın cisme uyguladığı bu kuvvete geri çağırıcı kuvvet denir. Yay, denge konumundan x kadar yer değiştirmesine ters yönde bir kuvvet gösterdiğinden ve bu nedenle yay normal uzunluğuna geri dönmek istediğinden, bu kuvvet geri çağırıcı kuvvet olarak bilinir. Denklem-(97), Hooke kanunu olarak bilinir ve x çok büyük olmadığı ve yayda kalıcı deformasyon meydana gelmediği sürece, bu kanun doğrudur. Buradaki eksi işaret, kuvvetin yer değiştirmeye ters yönde olduğunu ve her zaman denge konumuna doğru olduğunu gösterir. Uygulanan kuvvetin uzama miktarına oranı sabittir. Bu nedenle, yay sabiti k , yaya bir dış kuvvet uygulanarak ve yayın uzama miktarını ölçerek bulunabilir. Bilinen bir dış kuvvet uygulamanın yolu yayın uzamasını sağlayacak ağırlığı bilinen bir kütlenin kuvvet olarak kullanılmasıdır. Bu deneyde, eğimli bir hava masası üzerindeki bir yaya dış kuvvet, bu yayın ucuna m -kütleli bir metal disk takılarak uygulanacaktır. Bu uygulanan kuvvet:

$$F = mg \sin \theta \quad (98)$$

kullanılarak hesaplanabilir. Burada;

m : Yaya takılan metal diskin kütlesi,

g : Yerçekimi ivmesi ($=9.8 \text{ m/s}^2$).

olarak tanımlanır. **Yerçekimi** ivmesinin (g) bileşenleri Şekil-(24)'de verilmiştir.

Bu nedenle, bir yayın ucuna takılmış cismin (disk) üzerine etkiyen **kuvvetler**:

1. **Yerçekimi** nedeniyle cisme etki eden kuvvet ($mg\sin\theta$) ve,
2. Yaya tarafından uygulanan kuvvet (kx).

olarak bulunur.

Esneklik sınırının aşılmaması koşuluyla, yaya uygulanan kuvvet ile yayın uzama miktarı doğru orantılıdır. Kütle yaya bağlandığında; yay, kütlenin üzerinde etkili olan iki ters yönlü kuvvetin birbirine eşit olduğu **noktaya** kadar uzayacaktır:

$$kx = mg \sin \theta \quad (\text{DeneySEL}) \quad (99)$$

Bu nokta, denge noktası olarak bilinir. *Geri çağırıcı kuvvetin* büyüklüğü asılı kütlenin (metal diskin) ağırlığına eşittir. Herhangi bir ek dış kuvvet uygulanmadığı sürece, yay ve kütleden oluşan bu sistem **denge konumunda** kalacaktır. Denklem-(99)'da verilen ilişki, yay sabitinin (k), m , g , ve x değerlerinin bilinmesi ya da ölçülmesi durumunda, bulunmasını sağlar. Yayın uzaması (gerilme), yayın serbest ucunun alt noktasının konumunun, yaya dış kuvvet uygulanmadan önce ve yaya dış kuvvet uygulanırken gözlemlenmesi ile ölçülebilir. Bu durumu, yaya farklı kütlelerle uygulanan kuvveti (F) denge noktasına göre yer değiştirmenin (x) bir fonksiyonu olarak grafiklendirerek de görebiliriz. Elde edilen veriler doğrusal olmalıdır ve bu doğrunun eğimi de yay sabitine (k) eşit olacaktır. Bu, yayın Hooke kanununu izlediğinin ve yay sabitini deneysel olarak bulabileceğimizin doğrulamasını sağlar. Denklem-(99), doğru denklemi ile karşılaştırıldığında, grafik doğrusal bir fonksiyon olarak ifade edilebilir:

$$y = mx \quad (\text{DeneySEL}) \quad (100)$$

Burada,

y : Yaya uygulanan kuvvet (F),

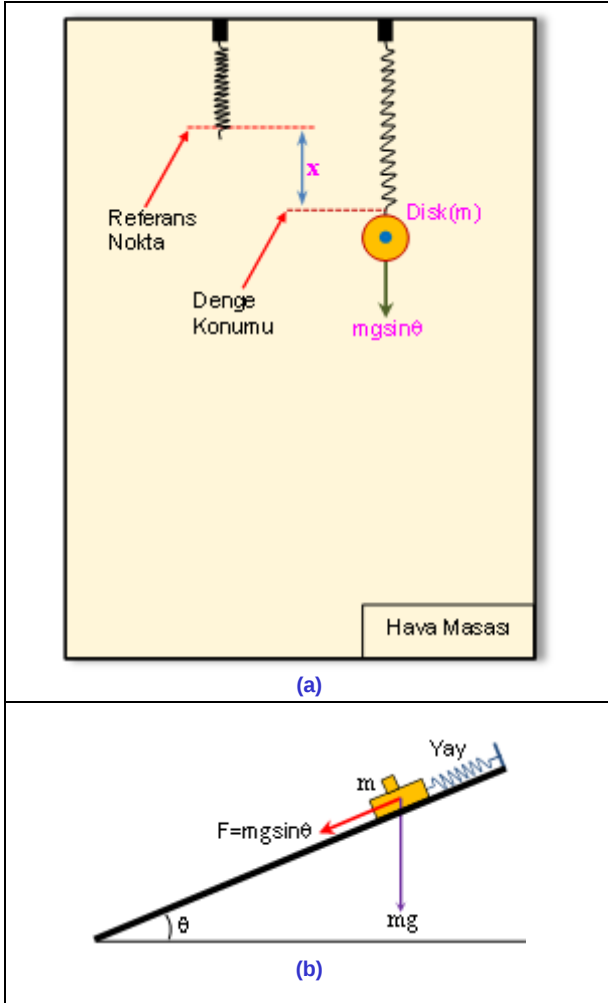
m : Yay sabiti (k),

x : Yay uzunluğundaki değişim (x).

Denklem-(100)'de görüldüğü gibi, kuvvet – uzama miktarı grafiğindeki eğim, **yay sabitini** verir. Bu grafik, sıfır kesişim noktasına ve yay sabitine eşit bir eğime sahiptir. Eğim belirlendikten sonra, bu eğimden deneysel olarak yay sabiti elde edilebilir. Eğer metal disk (kütle), yayı durağan (**denge**) konumu **dışına** doğru uzanmasını sağlayacak şekilde çekilirse, yayın **geri çağırıcı kuvveti** denge konumuna doğru geri bir ivmelenmeye neden olur, böylece kütle basit **harmonik hareket** salınımı yapar. Kütle, ileri-geri salınmasına neden olacak bir **geri çağırıcı kuvvete** maruz kaldığı zaman, bir tam salınımın tamamlanması için geçen süre periyot olarak tanımlanır. Yaya takılı bir kütlenin harmonik hareketini eğimli bir düzlem üzerinde **gösterebiliriz**. Eğer kütleyi (ağırlık) denge konumundan (asılı kütlenin çekilmeden önceki durağan olduğu konum) aşağı **doğru** hafifçe çekersek ve daha sonra bu durumda serbest bırakırsak, kütle yayla beraber aşağı-yukarı salınım yapacaktır. Yaya asılı metal diskin (ağırlık) aşağı-yukarı salınım hareketini bu şekilde gözlemleyebilirsiniz.

5.7.1. Deney Prosedürleri

Deneyin bu bölümünde, bir kütle (metal disk) takıldığında yayın gerilme miktarını ölçerek yay sabitini hesaplamak için Hooke Kanunu'nu kullanacağız.



Şekil-25: Eğimli bir hava masası üzerinde yaya takılı bir m kütleli metal disk için deney düzeneği (a) ve eğimli hava masası üzerinde aşağı doğru hareket eden metal disk tarafından yaya uygulanan dış kuvvet (b).

Bölüm-I: Hooke kanunu ile yay sabitinin belirlenmesi.

1. Yay sabitini ölçmek için kullanılacak deney düzeneği Şekil-(25)'te gösterilmiştir.

- 1.1. Deneyin bu bölümü için eğimli bir hava masası kullanacaksınız.

- 1.2. Bu nedenle, ilk olarak hava masasını yatayda hizalayın ve daha sonra yükseltici bir blok kullanarak:

$$\theta = 20^\circ$$

eğim açısı ile eğimli konuma getirin.

- 1.3. Eğimli düzlemin açıcı (θ) açı bulucu ile belirlenebilir.

2. **Küçük** yay sabiti olan bir yay seçin. Sert yayın **büyük** yay sabitine (germek daha zordur) sahip olduğuna dikkat edin.

- 2.1. **Yay tutucusunu** eğimli hava masasının üst kenarına takın ve **yayın** bir ucunu bu tutucunun bir ucuna asın. Bu yayın **sabit ucu** olacaktır.
- 2.2. Metal diskin hava hortumunu çıkarın ve **yay halkasını** metal diske takın.
- 2.3. Hava hortumunu metal diske tekrar takın.

3. Henüz, yayın diğer ucuna metal diski yay halkası ile **bağlamayın**.

- 3.1. Yaya, **herhangi bir kütle** (metal disk) takılmadan, yayın **serbest ucunun** alt noktasına yakın bir **referans noktası** seçin.
- 3.2. Yaya metal diski taktığınızda, yayın **referans noktasına** göre **uzamasını**, x (yani, asılan metal disk tarafından yayda meydana getirilen gerilme uzunluğu) ölçeceksiniz.

4. Metal diskin kütlelerini (m) ölçün ve yay halkasını kullanarak yayın **serbest ucuna** diski (m) takın.

- 4.1. Metal diski sadece kompresör (P) anahtarına basarak **eş zamanlı olarak** bırakın.

*Metal disk (kütle) eğimli düzlem üzerinde küçük bir mesafe (x) boyunca yer değiştirme yapar. **Hareketsiz durumdaki** yaya metal diskin takıldığı konuma **denge konumu** denir. Sistem dengedeysen, asılmış metal diskin ağırlığı yayın geri çağırıcı kuvveti ile dengelenir.*

- 4.2. Yaya, m kütleli bir metal disk asıldığında, bir **denge konumu** kurulur.

- 4.3. **Denge durumunda**, yay üzerindeki referans noktasının uzatıldığı yeni konumu (x) **ölçün**.
- 4.4. Bu veriyi **Tablo-(18)**'e kaydedin.
- 4.5. Referans noktasının **yer değiştirmesinin** (x) yayın uzama miktarı olduğunu ve denge konumundan referans noktası arasında ölçüldüğünü unutmayın. (Şekil-(25a)).
5. Şimdi, **m** kütleli metal disk tarafından yaya uygulanan kuvveti **F** hesaplayın.
- 5.1. Yaya, **ağırlığı** nedeniyle metal disk (**m**) tarafından uygulanan kuvvetin (**F**):
- $F = mg \sin \theta$
- şeklinde bulunabileceğini hatırlayın.
- Burada, g yer çekimi ivmesidir.**
- 5.2. Yaya kütlenin (metal diskin) uyguladığı kuvvet eğimli düzleme paraleldir (Şekil-(25b)).
6. Hooke kanununu kullanarak, yay sabitinin (**k**) deneysel değerini hesaplayın.
7. **Yüzdelik hatayı** elde etmek için yay sabitinin deneysel değeri (**k**) ile kabul edilen değeri **k'** karşılaştırın.
- 7.1. Verilerinizi **Table-(19)**'a kaydedin.
- 7.2. Yay sabitinin beklenen değeri **Öğretmen Föyünde** verilmiştir.
8. Deneysel yay sabitini belirlemek için büyük yay sabiti olan başka bir yayla bu prosedürleri tekrarlayın.
9. Deneyin bu bölümünde bulduğunuz yay sabitinin (**k**) **diğer** yaylar içinde kullanılabileceğini düşünüyor musunuz? Niçin kullanılıp kullanılamayacağını kısaca açıklayın.

Bölüm-II: Çeşitli kütleler kullanarak yay sabitinin belirlenmesi.

- Eğimli hava masası üzerindeki **küçük** yay sabitine sahip yaya bir metal disk **takın** ve referans noktasının yay üzerinde uzadığı yeni konumu (**x**) ölçün.
 - Dikkatlice, yayın **uzunluğundaki** (x) değişimi ölçün.
 - Deneydeki hata kaynaklarına, **ağırlık ölçümlerinin** doğruluğunun ve yayın **uzunluk** değişimlerinin ölçümlerindeki kesinliğin neden olduğunu unutmayın.
 - Şimdi, yayda asılı metal diske bir **ek** kütle (**m₁**) takın ve metal diskin ekstra kütle ile oluşturduğu bu yeni toplam kütleli kaydedin.
 - Sadece kompresör (P) anahtarına basarken eş zamanlı olarak ekta kütle takılı metal diski serbest bırakın.
 - Referans noktası üzerinde yayın uzadığı noktayı, yeni konumu ölçün.
 - Yayın uzama miktarını, referans noktasından olan yer değiştirmeyi (**x**) kaydedin.
 - Benzer olarak, ekstra kütle takılı metal diske yeni bir kütle ekleyin ve kütle artılması ile oluşan referans noktasına göre yeni yer değiştirmeyi (**x**) kaydedin. Tablo-20'deki veri değerleri kütle artılması ile yeniden yazılmalıdır.
- Her kütle eklenmesi sonrasında, yayın gerilmesini (yayın **uzamasını**) ölçmeden önce yayın denge konumuna gelmesini bekleyin.*
- Her** toplam kütlenin **ağırlığını** hesaplayarak, her bir durumda yaya **uygulanan kuvveti** (**F**) bulun ve bu değerleri Tablo-20'ye kaydedin.

8. Yaya uygulanan kuvveti (**F**) yer değiştirmenin (**x**) bir fonksiyonu olarak grafikleđirin. Bunun için:

- 8.1. Grafikte, **x** yer deęiřtirmelerini yatay eksen (**x**-ekseni) üzerine ve uygulanan kuvvetleri dikey eksen (**y**-ekseni) üzerine çizin.
- 8.2. Veri noktalarına en iyi uyan doğrusal çizgiyi çizin ve bu doğrunun denklemini gösterin.

Grafik, doğru birimlere sahip eksenleri ve doğrusal bir fonksiyon tanımlayan, veri noktalarından geçen en uygun çizgiyi içermelidir. En uygun doğrusal çizgi, veri noktalarının üzerinden ya da yakınından ve ayrıca grafiğin orijin noktasından geçmelidir.

- 8.3. Bu en uygun çizginin **eğiminden** yay sabitinin değerini belirleyin. Bu doğrusal çizginin **eğimi** yay sabiti **k** olacaktır.
- 8.4. En iyi çizginin eğiminden belirlenen yay sabiti değerini **Tablo-21**'e kaydedin.
9. Eğimden bulunan yay sabiti değerini, **Bölüm- I**'de bulunan yay sabiti değeri ile karşılaştırın.

5.7.2. LABORATUVAR RAPORU

Hooke Kanunu

Bölüm-I: Hooke kanunu ile yay sabitinin belirlenmesi.

Tablo-18: Yay sabitinin belirlenmesi.

Eğik düzlemin açısı, θ (derece):	20
Asılı <u>metal diskin</u> kütlesi, m (kg):	.....
Yer çekimi ivmesi, g (m/s^2):	.....
Yaya uygulanan kuvvet, F (N):	.....
Ölçülen yer değiştirme, x (m):	.....

Tablo-19: Yay sabitinin karşılaştırılması.

Yay Sabiti (DeneySEL)	Yay Sabiti (Beklenen)	Yüzdelik hata (Hesaplanan)
k (N/m)	k' (N/m)	$\Delta k(\pm\%)$
.....		

Sorular

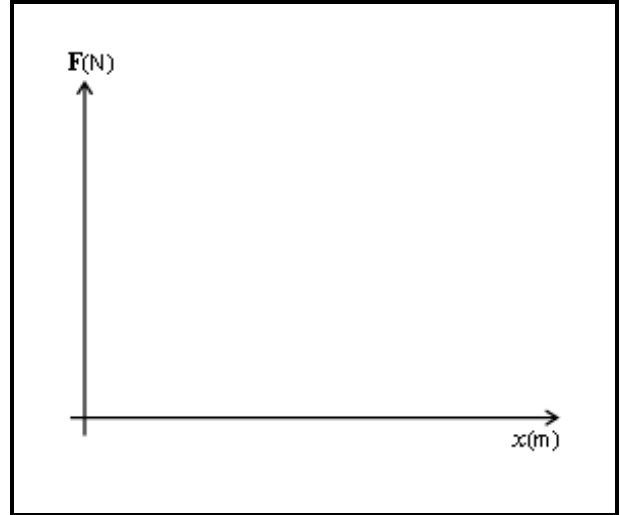
- Yaya uygulanan kuvvet ve yayın gerilmesi (uzunluğundaki değişim) arasındaki ilişkiyi tanımlayan genel denklemi yazın.
- Yayın uzaması ile yaya takılan kütlelerin (m) ağırlıklarının neden olduğu kuvvet arasında bir oran var mı? Cevabınızı kısaca açıklayın.
- Bu deneyde, iki bağımsız yolla yay sabitini belirlediniz. Bu değerler aynı yay için doğru mudur?
- Hata kaynaklarını açıklayın. Deneyle ilgili yorumlarınızı ve tartışmak istediğiniz noktaları yazın.

Bölüm-II: Çeşitli kütleler kullanarak yay sabitinin belirlenmesi.

- Ek Kütle, m_1 (kg):
- Ek Kütle, m_2 (kg):

Tablo-20: Yay sabitinin belirlenmesi ($\theta=20^\circ$).

Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	DeneySEL
Toplam Kütle	Uygulanan Kuvvet ($F=mgsin\theta$)	Yer değiştirme	Yay Sabiti
M (kg)	F (N)	x (m)	Eğim (N/m)
.....			
.....			
.....			



Grafik-7: Yer değiştirmesinin bir fonksiyonu olarak yaya uygulanan kuvvet.

Tablo-21: Yay sabitinin yüzdelik hatası ($\theta=20^\circ$).

Yay Sabiti (Eğimden bulunan)	Yay Sabiti (Beklenen)	Yüzdelik hata (Hesaplanan)
k (N/m)	k' (N/m)	$\Delta k(\pm\%)$
.....		