

## 9 BAĞLANTI NOKTASI HAREKETLİ

**AMAÇ:** Bir önceki deneyde ölçümlerin karışmaması için ölçüm süresini hareketin periyodunun yarısına kısıtlamıştık; hareketin simetrisi nedeniyle bu kısıtlama herhangi bir bilgi eksikliğine yol açmamıştı. Şimdi yapılacak olan deney, bir önceki deneyi farklı bir bakış açısıyla gerçekleştirmeye karşılık gelecektir.

**TEORİK İNCELEME:** Böyle bir tekrarın altında yatan fiziksel anlam şöyle özetlenebilir: Düşük süratler ve büyük boyutlar rejimindeki fiziksel sistemlerin hareketlerini çözümlenmeye çalışan ve bu hareketlere yol açan kuvvetlerin yapısını kabaca (makroskobik olarak) anlamaya çalışan fizik dalına Klasik Mekanik (Newton Mekaniği) denmektedir. Bu hareket teorisine eşlik eden görelilik teorisi Galilei Göreliliğidir; yani Galilei dönüşümleri vasıtasıyla iletişim kuran gözlemciler eylemsizlerdir. Bu dönüşümlerden biri, herhangi bir eylemsiz referans sistemine göre sabit hızla gitme dönüşümüdür (Galilean boost).

O halde 1-boyutlu harmonik salıncı laboratuvara göre sabit hızla giden eylemsiz bir çerçeveden gözlemlenirse ne gibi bilgilere ulaşılır? İlk akla gelen şey elbetteki fiziğin değişmeyeceğidir. Hareketli çerçeve için hava düzleminde çizgisel bağımsız iki doğrultu vardır; bu doğrultulardan birini salınım doğrultusu (x) diğerini ise salınıma dik olan doğrultu (z) olarak seçebilir ve hareketli çerçevenin sabit hızla gitme yönünü bu doğrultuya kısıtlayabiliriz (bu görelilik dilinde *standart şekillenim* olarak da bilinir).

Eğer eylemsiz referans sistemimizi deneyin yapıldığı laboratuvar olarak alırsak, pratik olduğu düşünülen iki yöntemle bu deney gerçekleştirilebilir:

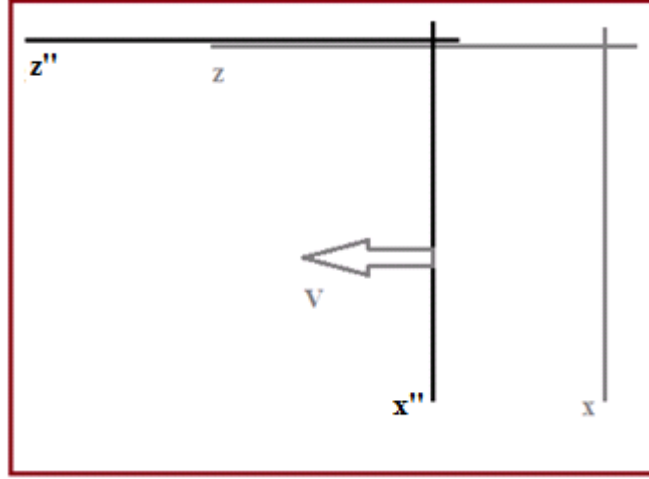
- (i) Oyuncak Araba Yöntemi,
- (ii) Kağıt Kaydırma Yöntemi.

Bu yöntemler bir sonraki kesimde anlatılacaklardır.

Öncelikle Şekil 8.2'deki Laboratuvar koordinatlarını hatırlayalım ve incelememize başlayalım. Salınımın yapıldığı x koordinatı, + yönü bağlantı noktasından aşağı doğru olan koordinat idi; y koordinatı masa düzlemine dik ve + yönü dışarı (tavana) doğru olan koordinat idi ve z koordinatı da, + yönü bağlantı noktasının (bize göre) soluna doğru olan koordinattır (sağ-elli bir sistem). O halde bu sisteme göre +z yönünde  $\vec{V} = V\hat{z}$  hızı ile ilerleyen eylemsiz bir gözlem sisteminin koordinatları (eğer mesafe ve zaman ölçekleri Laboratuvar sistemi ile aynı ise)

$$x'' = x, \quad y'' = y, \quad z'' = z - Vt, \quad t'' = t \quad (9.1)$$

eşitlikleriyle verilecektir (Burada sabit hızlı gözlem çerçevesindeki gözlemcinin diskin konumu için kullandığı koordinatlara iki tane üs konmasının sebebi, önceki kesimde ele alınan saf ötelemeye karşılık gelen tek üslü koordinatlarla karışıklığı engellemektir!).



**Şekil (9.1)**

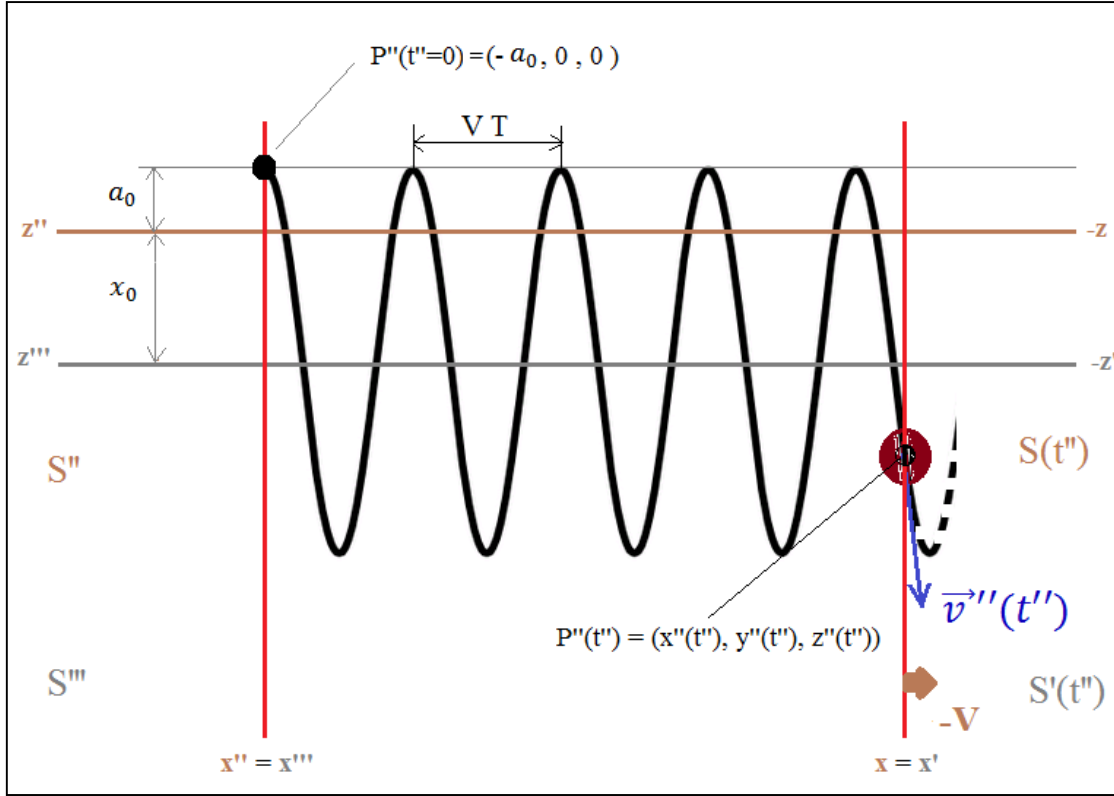
Bölüm 8'deki incelemeden de bilindiği üzere diskin Laboratuvara göre hareketi  $x(t) = A_0 \cos \omega t + x_0$ ;  $A_0 = -(+)a_0 - x_0$  denklemiyle veriliyordu:  $x = x_0$  sistemin denge konumu,  $x = -(+)a_0$  sistemin başlangıç konumu ( $a_0 \geq 0$  olmak üzere,  $-$  sıkışmaya ve  $+$  germeye karşılık gelmektedir) ve  $A_0$ 'da genliği idi. Eğer başlangıçta yay  $a_0$  kadar sıkıştırılırsa hareketli gözlemcinin herhangi bir  $t'$  anında diskin konumu için söyleyeceği koordinatlar

$$(x''(t''), y''(t''), z''(t'')) = (-(a_0 + x_0) \cos \omega t'' + x_0, 0, -Vt'') \quad (9.2)$$

üçlü-eşitliği ile verilecektir. Bu parametrik ifadeden hemen *yörünge denklemi* (zaman koordinatı yok edilerek)

$$x'' = -(a_0 + x_0) \cos\left(\frac{\omega z''}{V}\right) + x_0 \quad (9.3)$$

eşitliği bulunur. Yani üslü çerçevedeki gözlemcinin disk için gözlemleyeceği yörünge çiziminde görülen sinüsel eğri olacaktır (Şekil 9.2). Bu çizim,  $S''$  çerçevesindeki gözlemcinin 0 ile  $t''$  olarak adlandırdığı anlar arasındaki herhangi bir  $t''$  zamanında noktasal diskin konumu için yapacağı  $P''(t'')$  ölçümünün, tanım aralığındaki tüm anlar için resmedilmesi ile oluşturulan uzaysal yörüngeyi anlatmaktadır. Burada  $V$  sürati zamanı hesaplamak için kullanılabilir; yani bilinen bir uzaysal konumun hangi ana tekabül ettiğini *grafiksel olarak*  $V$  sürati belirler.



Şekil (9.2)

$V$ 'yi azaltırsak ya da "eşdeğer" olarak  $\omega$ 'yı arttırsak birim uzunluk başına düşen dalga sayısını arttırırız; ama unutulmamalıdır ki  $V$  bize,  $\omega$  ise yaya ve diske bağlıdır. Yani diskin aynı sürekli yörüngeye (aynı  $\omega/V$  oranına) sahip olduğu farklı (yani farklı  $(\omega, V)$  çiftine sahip) iki deneyde önceki yayın mı yoksa sonraki yayın mı daha sert olduğunu söyleyemeyiz ancak bizim yaptığımız deneyde yörüngeler sürekli değil kesikli olacağından bu bilgiye erişebiliriz. Kuvılcım üreticinin frekansı  $f_{st}$  sabit olmak şartıyla, sert yayın bir periyotluk kısmına karşılık gelen kesikli yörüngede daha az nokta olacaktır! Eğer iki tepe arası mesafe (dalga boyu)  $\lambda$  dersek  $\lambda = VT = 2\pi(V/\omega)$ ; o halde  $\omega/V$  oranının sabit olması dalga boyunun sabit olmasına denktir. Elbette burada incelenen bir dalga hareketi değil bir parçacık hareketidir; ancak yörüngeyi sinüsel bir dalga ile aynı şekilde olması nedeniyle dalgasal kavramları kullanma fırsatını değerlendiriyoruz!

Denklem (9.2)'nin iki-üslü zamana göre türevini alırsak  $S''$  sisteminin gözlemcisinin bir  $t''$  anında diskin hızı için bulacağı ifadeye ulaşırız:

$$\vec{v}''(t'') = (\dot{x}''(t''), \dot{y}''(t''), \dot{z}''(t'')) = ((a_0 + x_0) \omega \sin \omega t'', 0, -V)$$

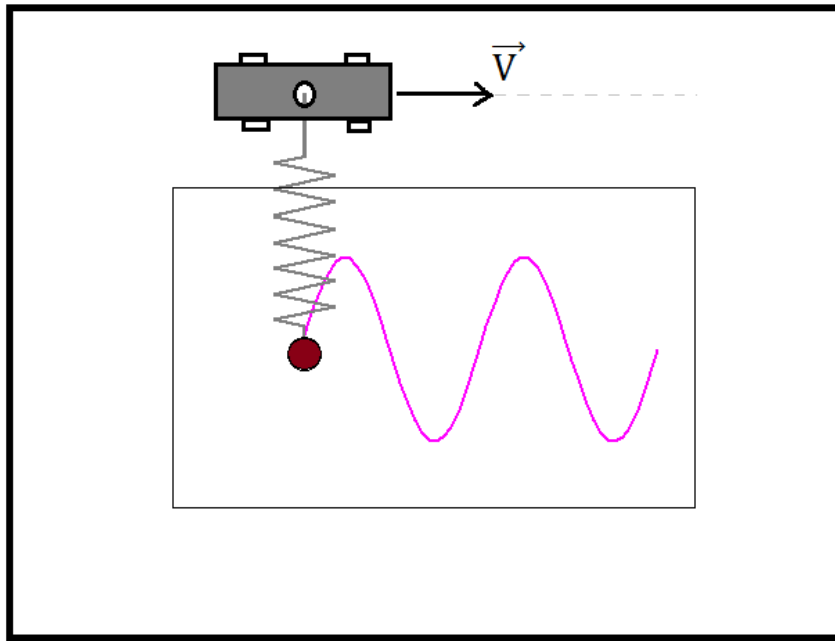
veya

$$\vec{v}''(t'') = (a_0 + x_0) \omega \sin \omega t'' \hat{x}'' - V \hat{z}''$$

böylelikle üstteki çizimde diskin  $S''$  sistemine nazaran hızının salınıma paralel ve dik bileşenlerinin analitik ifadeleri de elde edilir.  $S'''$  sistemi de  $S''$  sistemine,  $S'$  sisteminin  $S$  sistemine bağlı olduğu şekilde bağlıdır.

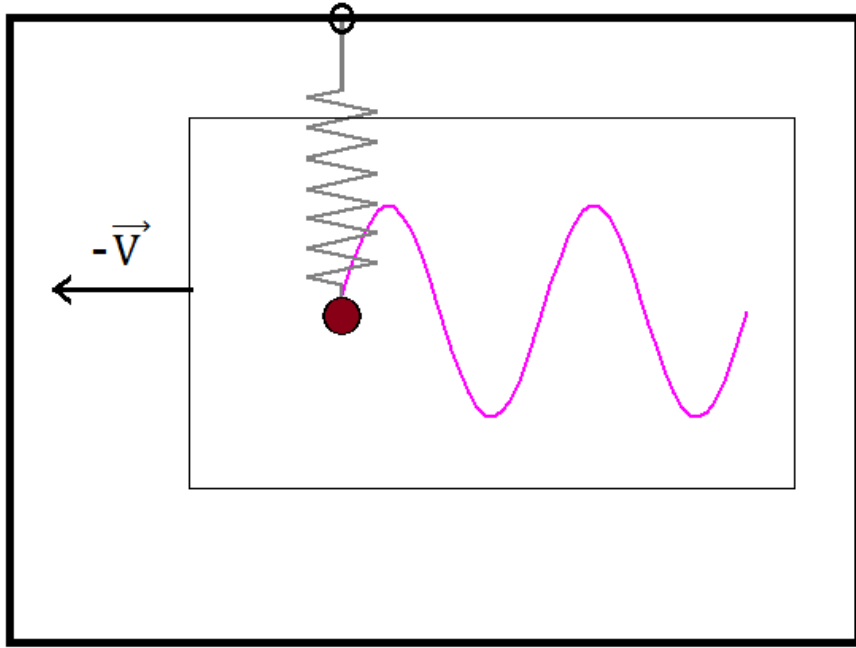
**DENEYİN YAPILIŞI:** Teorik inceleme kısmında böyle bir deneyin iki eşdeğer yöntemle yapılabileceğini ve bu yöntemlerin ayrıntılandırılacağı söylenmişti. Bu aşamada hemen şunu belirtmek gerekir ki bunlardan sadece biri ayrıntılandırılacaktır; çünkü bu yöntemlerden birini anlayan ancak diğerini tercih edenler kolaylıkla diğer yöntemle aynı deneyi gerçekleştirebileceklerdir. Bunun için burada kullanılabilir bu iki yöntem hakkında şu bilgiler verilirse yeterli olacaktır:

(i) *Oyuncak Araba Yöntemi:* Diske bağlanan yay hava masası düzleminin yatay kenarlarına paralel şekilde hareket edebilen bir oyuncak arabaya sabitlenir. Böylelikle sabit hızlı hareket yapan bir gözlem çerçevesinden salınan diskin (teorik anlatımdaki kurguya uygun olarak) gözlemlenmesi, disk salınırken oyuncak arabanın hava masası üzerinde sağa doğru sabit hızla hareket ettirilmesine tekabül edecektir. Bu söylenenleri temsilen anlatan resim alttadır.



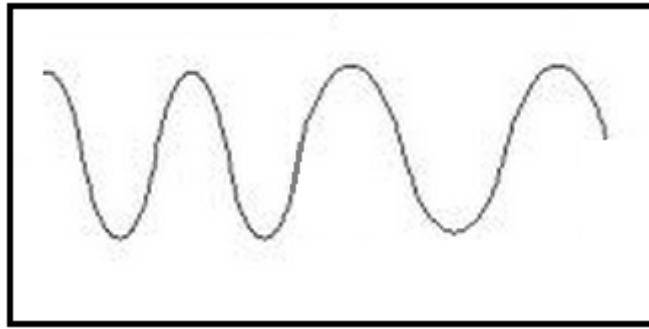
**Şekil (9.3)**

(ii) *Kağıt Kaydırma Yöntemi:* Diske bağlanan yay hava masasının üst kenarına sabitlenir ancak diskin altına konulan beyaz kağıt hava masasına sabitlenmez; böylelikle disk salınırken beyaz kağıt sola doğru sabit hızla çekilerek istenilen ölçümler alınabilir. Bu yöntemle karşılık gelen resim de şöyledir.



**Şekil (9.4)**

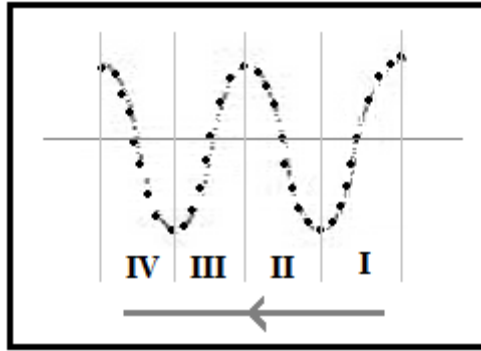
Dikkat edilirse her iki yöntemde de  $S''$  çerçevesi kağıdın durgun olduğu çerçevedir! Her iki yöntem için de deney esnasında karşılaşılan zorluklar ya da dikkat edilmesi gereken hususlar olacaktır. Örneğin araba ya da kağıt sabit hıza ulaştırılana kadar hız azalan ivmeyle artacaktır; dolayısıyla gözlemlenecek olan sinüsel eğrinin tepeleri arası mesafe gittikçe artacak ve sabit hıza ulaşıncaya kadar sabit kalacaktır.



**Şekil (9.5)**

Şimdi deneyin ayrıntılarını 1. yöntemi esas alarak anlamaya çalışalım. Öncelikle hava masası tahta ya da plastik takoz yardımıyla eğimli hale getirilmeli, eğim açısı ölçülmeli ve de bu açının değişimini engelleyecek önlemler alınmalıdır. Karbon kağıdı ve beyaz kağıt uygun şekilde konumlandırılarak hava masasına (bantlanarak) sabitlenmeli, Hooke sabiti önceden ölçülmüş olan bir yay, yay tutucu çemberlerle (YTÇ) disk borusuna ve oyuncak arabanın direğine (yay masa yüzeyine paralel olacak biçimde) bağlanmalıdır. YTÇ'lerin dönmelerini engellemek için de bantlarla sabitlenebilirler. Akılda tutulması gereken bir ayrıntı da YTÇ'lerin ve yayların kütleli oldukları ancak bunların ihmal edildikleridir! Ölçüm almaya başlamadan evvel sadece hava pedalı kullanarak pratik yapılması faydalı olacaktır. Bunun için disk beyaz kağıt

üzerindeyken ve hava pedalına basılıyken yay bir miktar ( $a_0$  kadar) sıkıştırılmalı, araba sağa doğru hareket ettirilmeli ve sabit hıza ulaşıldığına emin olduğunda disk salınımına bırakılmalıdır, böylelikle Şekil (9.3) ile verilen ideal yörünge yaklaşık olarak elde edilmiş olur. Bir sonraki aşama artık gözle görünür, somut bir yörünge elde etmek için hava pedalıyla beraber kıvılcım pedalının da kullanılması olacaktır. Kıvılcım pedalına basılacağından, elektrik çarpmalarını engellemek için yayı sıkışık konumda tutmak amacıyla bir yalıtkan (örneğin bir tahta cetvel) kullanılabilir. Tüm bu anlatılanlar dikkate alınarak ölçüm alındığında beyaz kağıt çıkarılmalı ve sağa doğru çevrilerek izler analiz edilmelidir. Böylelikle ilk alınan iz en sağdaki iz olacaktır.



**Şekil (9.6)**

#### **VERİLERİN ANALİZİ VE YORUMU:**

Şekil (9.6)'ya benzer bir görünüm elde edebilmek için, diskin en az iki kere salınım yapması sağlanacak hızla sistem ötelenmelidir; beyaz kağıdın kapsadığı bölge dahilinde iz alınabilir! Sağlıklı bir ölçüm alındığına kanaat getirildiğinde hesaplamalar ve çizimler yapıp öngörülerini doğrulayabilmek (ya da yalınlaşabilmek) için aşağıdaki tabloların doldurulması yardımcı olacaktır. Ayrıca ölçüm kağıdındaki iz noktalarının birbirlerine olan uzaklıklarının değişimleri ve komşu tepe noktaları arası yatay mesafelerin ( $\lambda_i$ 'lerin) olası değişimleri de yorumlanmalıdır.  $\lambda_i$ 'deki tam sayı indisleri  $i = 1, \dots, n - 1$  öyle ki  $n = \text{tepelerin sayısı} = \text{salınım sayısı}$  olarak tanımlanmıştır ve yay başlangıçta sıkıştırılmak yerine gerilseydi *tepeler* yerine *çukurlar* sayılacaktı!

Hatırlamak amacıyla bir önceki deneyin VERİLERİN ANALİZİ VE YORUM kısmını okuduktan sonra benzer şekilde aşağıdaki tablolar doldurulmalı ve sonuçlar yorumlanmalıdır.

$A_0$  deęişken

$f_{st} = 30 \text{ Hz}$	$A_0$	$\bar{N}$	$T_d = T_d(A_0)$
—			
—			
—			

Tablo 9.1

$f_{st}$  deęişken

$A_0 =$	$f_{st}$	$\bar{N}$	$T_d = T_d(f_{st})$
—	20 Hz		
—	30 Hz		
—	40 Hz		

Tablo 9.2

$T_t$	$\langle T_d(A_0) \rangle$	$\langle T_d(f_{st}) \rangle$	$\langle T_d \rangle$
% fark			

Tablo 9.3

Önceki deneyden farklı olarak buradaki  $\bar{N}$  (eğer ölçüm kağıdı Şekil (9.6)'daki gibiye)

$$\bar{N} = \frac{N_I + N_{II} + N_{III} + N_{IV}}{4}$$

ve

$$T_d = 2 \frac{1}{f_{st}} \bar{N}$$

olarak alınmalıdır.