



## 2. ÜNİTE

# BASİT HARMONİK HAREKET

1.



Birinci üniteye düzgün çembersel hareket konusunda verilen bilgilerden yararlanılarak basit harmonik hareket açıklanacaktır. Ayrıca basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi analiz edilecektir.

Basit harmonik harekette kuvvet, hız ve ivmenin konuma göre değişimiyle ilgili hesaplamalar yapılacak, yay sarkacı ve basit sarkaçta periyodun bağlı olduğu değişkenler belirlenip hesaplamalar üzerinde durulacaktır.

### 1. BÖLÜM: BASİT HARMONİK HAREKET

# 1. BÖLÜM

# BASİT HARMONİK HAREKET

## Konular

- 2.1.1. Basit Harmonik Hareketin Düzgün Çembersel Hareket Kullanılarak Açıklanması
- 2.1.2. Basit Harmonik Harekette Konumun Zamana Göre Değişimi
- 2.1.3. Basit Harmonik Harekette Kuvvet, Hız ve İvmenin Konuma Göre Değişimi
- 2.1.4. Yay Sarkacı ve Basit Sarkaçta Periyodun Bağlı Olduğu Değişkenler
- 2.1.5. Yay Sarkacı ve Basit Sarkacın Periyodu ile İlgili Hesaplamalar

## Anahtar Kavramlar

- Uzanım
- Genlik
- Geri çağırıcı kuvvet
- Denge noktası
- Yay sarkacı
- Basit sarkaç

- Sarkaçlı bir saat, Rize'de deniz kenarında zamanı doğru gösterirken Ayder Yaylası'nda saatin geri kalmasının sebebi ne olabilir?
- İskeleye bağlı sandal deniz dalgalandığında nasıl bir hareket yapar?

Bu bölümde, basit harmonik hareket yapan yay sarkacı ve basit sarkaç için kullanılan uzanım, genlik, periyot, frekans, geri çağırıcı kuvvet ve denge noktası kavramları açıklanacaktır.

Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişim grafiği çizilecek ve grafik yorumlanacaktır. Kuvvet, hız ve ivmenin konuma göre değişimiyle ilgili hesaplamalar yapılacak, periyoda etki eden değişkenler belirlenecek ve periyodun matematiksel modeli çıkarılacaktır.



### 2.1.1. Basit Harmonik Hareketin Düzgün Çembersel Hareket Kullanılarak Açıklanması

Belirli aralıklarla tekrarlanan hareketlere **periyodik hareket** denildiği bir önceki ünite de ifade edilmişti. Bir cismin periyodik hareketini herhangi bir eksen üzerindeki sabit bir nokta etrafında gerçekleştirmesine **titreşim hareketi** denir.

Dünyadaki bütün seslerin kaynağı, titreşim hareketi yapan sistemlerdir. Ses, konuşma sırasında ses tellerinin titreşmesiyle oluşur. Gitar teli, üzerinde bulunduğu eksene dik olarak çekilip bırakıldığında harekete başladığı nokta etrafında titreşim hareketi yapar ve ses oluşur (Görsel 2.1). Davul ve bateri gibi vurmali çalgılarda ise gergin yüzeylerin titreşimi sesin çıkmasını sağlar.

Salıncakta sallanan bir çocuğun denge noktası etrafında yaptığı hareket, salınım hareketidir (Görsel 2.2).



Görsel 2.1: Gitar



Görsel 2.2: Salıncakta sallanan çocuk

Duvar saatlerinde sarkacın salınımı da bir titreşim hareketidir (Görsel 2.3). Bu hareket sırasında sarkaç, bir uçtan diğer uca bir saniye sürede ulaşır. Her iki saniyede bir, aynı hareket tekrarlanır. Bu sarkaçlara **saniyeleri vuran sarkaç** da denir.



Görsel 2.3: Sarkaçlı saat

Müzikte sabit bir ritim tutturmak amacıyla kullanılan alete **metronom** denir. Metronom belli aralıklarla vuruş sesleri çıkararak ritim elde edilmesini sağlar (Görsel 2.4).

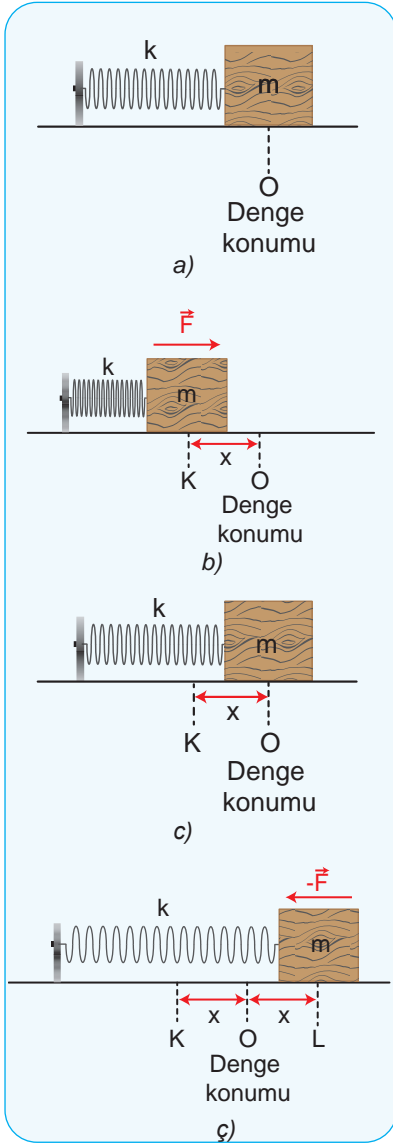
Dalgalı bir denizde iskeleye bağlanmış bir sandalın su yüzeyinde düşey düzlemde yapmış olduğu hareket de titreşim hareketi olarak adlandırılabilir.

Titreşim hareketlerinin bazılarını duyu organları algılayamaz. Katı moleküllerinin denge noktaları etrafındaki titreşimler, bunlara örnek olarak verilebilir.

Sürtünmesiz yatay bir düzlem üzerinde gerilmemiş veya sıkıştırılmamış yay sabiti  $k$  olan yayın ucuna bağlı  $m$  kütleli cismin bulunduğu konum, **denge konumu** ya da **denge noktası** olarak ifade edilir.



Görsel 2.4: Metronom



Şekil 2.1: Kütle yay sistemi

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda denge konumu O noktası olan kütle yay sisteminde (Şekil 2.1: a) cisim denge noktasında iken üzerine etki eden bileşke kuvvet sıfırdır. Cisim, denge noktasından x kadar uzaklıktaki K noktasına kadar sıkıştırılıp serbest bırakıldığında yayda oluşan sıkışma kuvveti, cismi denge noktasına doğru hareket ettirir (Şekil 2.1: b).

Yönü denge noktasına doğru olan kuvvetin etkisiyle kinetik enerji kazanan cisim denge noktasına kadar gelir (Şekil 2.1: c). Cisim kazandığı kinetik enerji nedeniyle O noktasından x kadar uzaktaki L noktasına kadar yayı gererek durur (Şekil 2.1: ç).

Cisim, denge noktasından L noktasına giderken yayda oluşan kuvvetin yönü O noktasına doğrudur. Cisim ne zaman denge konumundan uzaklaşırsa yayda oluşan kuvvet, onu tekrar denge konumuna doğru çağırma eğilimindedir. Bu özellikteki kuvvetlere **geri çağırıcı kuvvet** denir. Cisim bu kuvvetin etkisiyle K ve L noktaları arasındaki salınım hareketine devam eder.

Konum vektörüne daima zıt yönlü olan bu kuvvet, cismin yer değiştirmesiyle doğru orantılıdır. Hooke (Huk) Yasası'na göre bu kuvvet

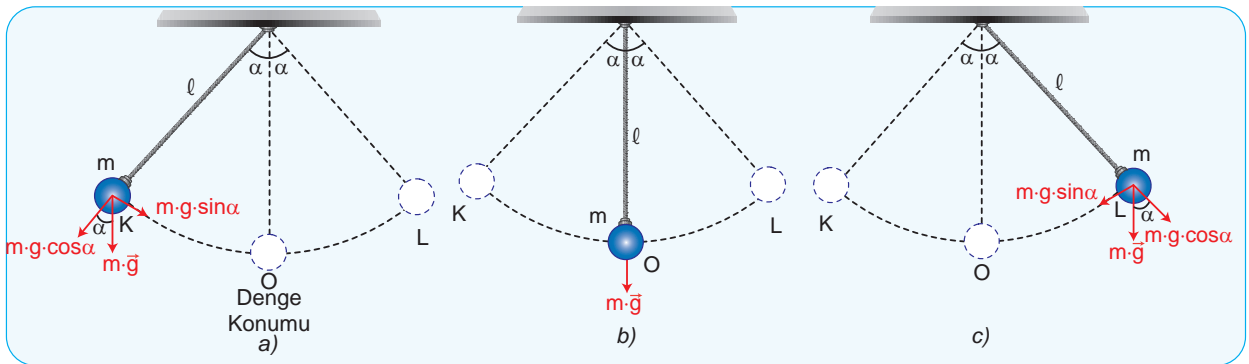
$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$  ifadesiyle bulunur.

k : Yay sabiti ( $\frac{N}{m}$ )

$\vec{x}$  : Konum vektörü (m)

Sürtünmelerin önemsenmediği bir ortamda denge konumuna eşit uzaklıktaki iki nokta arasında ve belirli zaman aralıklarında kendini tekrarlayan titreşim hareketine **basit harmonik hareket** denir.

Basit harmonik hareket, esnemeyen ve kütlesi önemsiz bir ipin ucuna bağlı m kütlesiyle oluşturulan ip sarkacı üzerinde de incelenebilir. İp sarkacında basit harmonik hareketin gerçekleşme koşulu, ipin düşey eksenle yaptığı açı  $10^\circ$  ye eşit ya da  $10^\circ$  den küçük olmalıdır.



Şekil 2.2: Basit sarkaç sistemi

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamdaki (Şekil 2.2) basit sarkacın denge konumu O noktasıdır. Sarkaç düşey eksenle küçük bir açı yapacak şekilde K noktasına kadar çekilip bırakıldığında (Şekil 2.2: a), cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü  $m \cdot g \cdot \sin\alpha$  kadardır. Bu kuvvetin etkisiyle hızlanan cisim denge konumuna ulaşır (Şekil 2.2: b).

*den*

Cisim, bu noktada sahip olduğu kinetik enerjisiyle tekrar yükselerek aynı açıyı yapacak şekilde L noktasına kadar çıkar ve durur (Şekil 2.2: c). Bu hareket, periyodik olarak tekrarlanır.

## Basit Harmonik Hareket ile Düzgün Çembersel Hareket Arasındaki İlişki

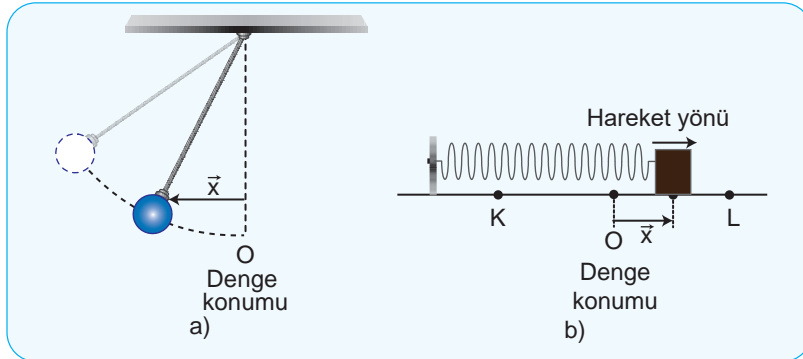
Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yatay ve düşey eksenlerdeki iz düşümünün yapmış olduğu hareket, basit harmonik harekettir.

Saydam çubuğun ucuna yerleştirilen mat cisim (Şekil 2.3), O noktası etrafında sabit bir açısal hızla döndürüldüğünde, cisim X noktasından geçerken gölgesi L noktasındadır.

Cisim, yörüngesi üzerindeki Y noktasına geldiğinde gölgesi denge noktası olan O noktasına, Z noktasına geldiğinde ise gölgesi K noktasına ulaşır. Hareketin devamında cismin gölgesi önce O noktasına, sonra tekrar L noktasına döner. Hareket sürekli tekrarlanırsa cismin gölgesinin yaptığı bu hareket, basit harmonik hareket olur.

Basit harmonik hareketle ilgili kavramlar aşağıda verilmiştir.

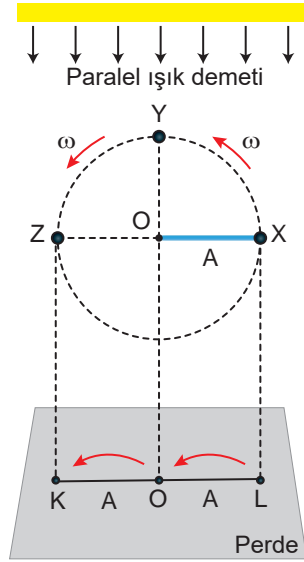
**1. Uzanım ( $\vec{x}$ ):** Basit harmonik hareket yapan cismin herhangi bir anda denge noktasına olan uzaklığına **uzanım** denir (Şekil 2.4). Uzanımın SI'da birimi metredir. Vektörel bir büyüklüktür. Uzanımın yay sarkacı ve basit sarkaçta gösterimi Şekil 2.4: a, b'deki gibidir.



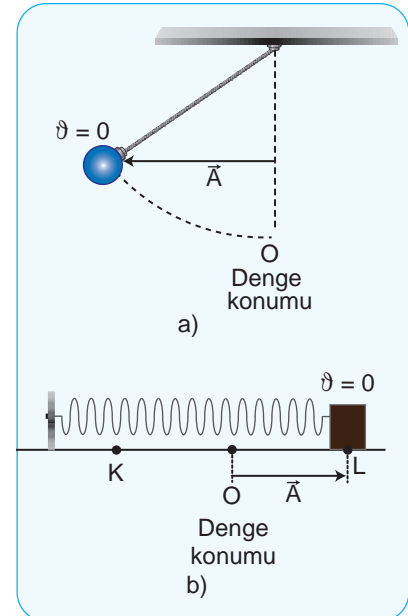
Şekil 2.4: a, b) Basit sarkaç ve yay sarkacında uzanımın gösterimi

**2. Genlik ( $\vec{A}$ ):** Basit harmonik hareket yapan cismin uzanımının en büyük değerine **genlik** denir (Şekil 2.5). Genliğin SI'da birimi metredir. Vektörel bir büyüklüktür. Genliğin basit sarkaç ve yay sarkacında gösterimi Şekil 2.5: a, b'deki gibidir.

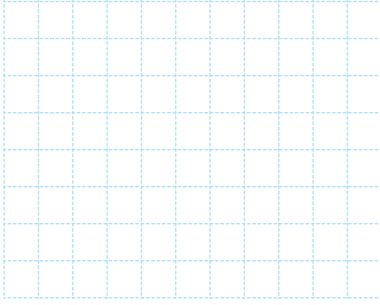
**3. Periyot (T):** Basit harmonik hareket yapan cismin hareketinin bir tam salınım yapması için gereken süreye **periyot** denir. SI'da birimi saniyedir.



Şekil 2.3: Basit harmonik hareketle düzgün çembersel hareket arasındaki ilişkinin incelenmesi için oluşturulan düzenek

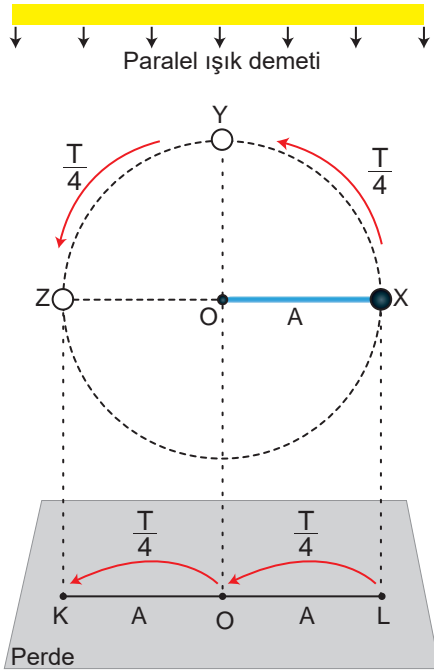


Şekil 2.5: a, b) Basit sarkaç ve yay sarkacında genliğin gösterimi

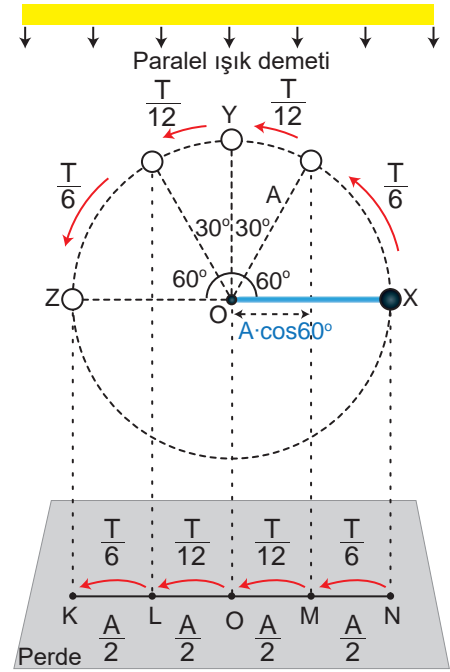


Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisim X noktasından Y noktasına ve Y noktasından Z noktasına  $\frac{T}{4}$  sürelerde ulaşır (Şekil 2.6).

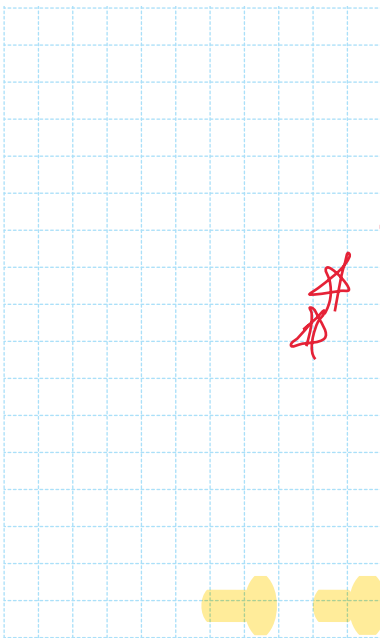
Bu durumda cismin gölgesi de L noktasından O noktasına, O noktasından da K noktasına  $\frac{T}{4}$  sürelerde ulaşır. Hareketin devamında cismin gölgesinin K noktasından O noktasına ve O noktasından da L noktasına ulaşma süreleri yine  $\frac{T}{4}$  kadardır.



Şekil 2.6: Düzgün çembersel hareketin yatay eksenindeki iz düşümü



Şekil 2.7: Düzgün çembersel hareketten yararlanarak periyottaki özel durumun belirlenmesi



Basit harmonik hareket yapan cismin yörüngesi dört eşit parçaya ayrılarak incelendiğinde uzanımın, genliğin yarısı kadar olması için X noktasında bulunan cismin  $60^\circ$  dönmesi gerekir (Şekil 2.7).

Uzanım  $x = A \cdot \cos 60^\circ = A \cdot \frac{1}{2} = \frac{A}{2}$  dir.

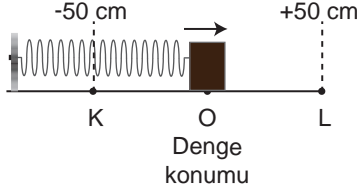
Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisim bir periyotluk (T) sürede  $360^\circ$  döndüğüne göre  $60^\circ$  lik yayı  $\frac{T}{6}$  sürede alır. Cismin  $30^\circ$  lik yayı dönmesi için geçen süre  $\frac{T}{12}$  dir. Cismin yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan iz düşümü de N den M ye  $\frac{T}{6}$ , M den O ya ise  $\frac{T}{12}$  sürede gelir. Hareket benzer şekilde devam eder.

**4. Frekans (f):** Birim zamanda yapılan titreşim sayısına **frekans** denir. SI'da birimi Hertz'dir. Periyot ve frekans arasındaki ilişki

$T \cdot f = 1$  dir.

## Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde esnek bir yayın ucuna bağlı cisim K-L noktaları arasında periyodu 8 saniye olan basit harmonik hareket yapıyor.



Buna göre cisim O noktasından şekilde verilen yönde geçtikten 5 s sonra cismin uzanımının büyüklüğü kaç cm'dir?

$$(\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2})$$

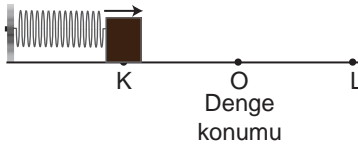
## Çözüm

Düşey düzlemde çembersel hareket yapan cismin iz düşümü incelenirse cismin yarıçap vektörü 5 s'de  $225^\circ$  lik açı tarar. Bu durumda çembersel hareket yapan cisim şekildeki gibi A noktasından B noktasına gelmiş olur. B noktasının iz düşümünün denge konumuna uzaklığı  $x = r \cdot \cos 45^\circ$  dir.

$$x = 50 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 25\sqrt{2} \text{ cm bulunur.}$$

## Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemdeki kütle yay sisteminde yay K noktasına kadar sıkıştırılıyor. Yayın ucuna bağlı cisim K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.



K noktasından harekete başlayan cisim 6 saniye sonra denge konumundan (O) ikinci kez geçtiğine göre hareketin frekansı kaç  $s^{-1}$  dir?

## Çözüm

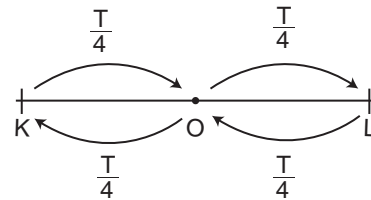
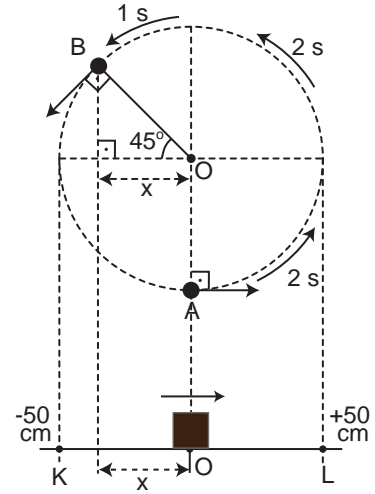
Cisim K-O, O-L ve L-O arasını  $\frac{T}{4}$  sürede alır. K noktasından harekete başlayan cismin O noktasından ikinci kez geçebilmesi için  $\frac{3T}{4}$  süre geçmesi gerekir.

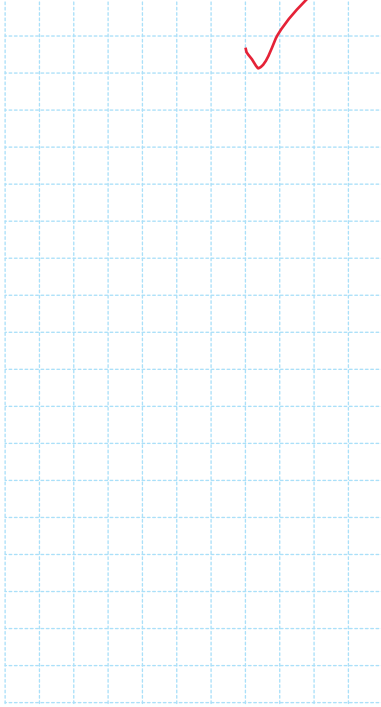
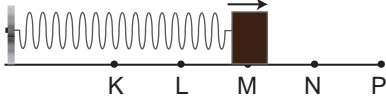
$$\frac{3T}{4} = 6$$

$$T = 2 \cdot 4 = 8 \text{ s bulunur.}$$

Frekans ile periyot arasında  $f = \frac{1}{T}$  bağıntısı olduğuna göre

$$f = \frac{1}{8} \text{ s}^{-1} \text{ bulunur.}$$





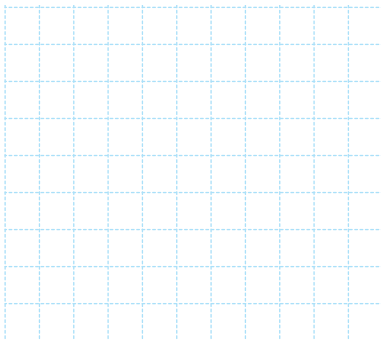
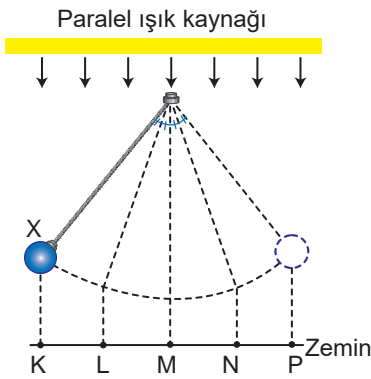
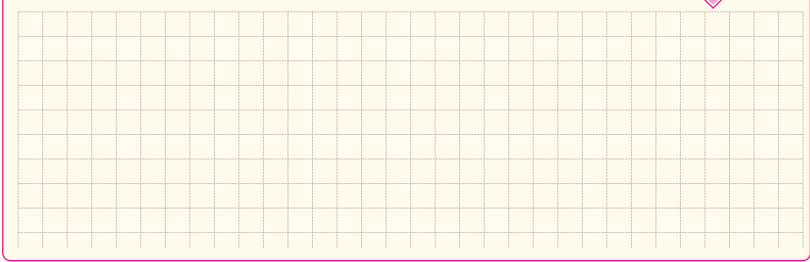
## Sıra Sizde - 1

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde esnek yayın ucuna bağlı cisim  $t = 0$  anında şekilde verilen yönde geçerek K-P noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.

**Noktalar arası uzaklık 20 cm ve cismin M'den P'ye gelme süresi 3 saniye olduğuna göre**

- Hareketin denge konumu hangi noktadır?
- Uzanımın maksimum olduğu noktanın denge konumuna olan uzaklığı kaç cm'dir?
- Cisim N noktasından geçerken hareketin konum vektörünü çiziniz.
- Hareketin periyodunu ve frekansını bulunuz.
- Cisim L noktasından geçerken geri çağırıcı kuvvetin yönünü belirleyiniz?

## Çözüm



## Sıra Sizde - 2

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda ipe bağlı X cismi bulunduğu konumdan serbest bırakılıyor.

**Yatay düzlemde verilen noktalar arası uzaklık 10 cm ve cismin K noktasından L noktasına gelme süresi 4 saniye olduğuna göre**

- Hareketin denge konumu hangi noktadır?
- Hareketin genliği kaç cm'dir?
- Hareketin periyodu ve frekansı nedir?
- Cismin bırakıldıktan 16 saniye sonraki uzanımı kaç cm'dir?

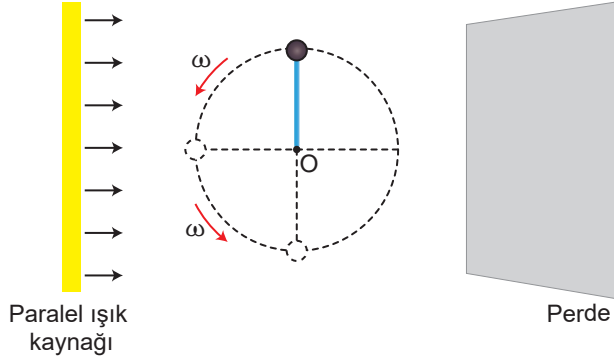
## Çözüm





## Sıra Sizde - 3

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin hareketinin periyodu  $T$ 'dir.



Buna göre

- Cisme şekildeki gibi paralel ışık demeti tutulduğunda cismin perde üzerinde oluşan iz düşümünün yaptığı hareketi aşağıdaki bölgeye çiziniz.
- Şekildeki konumdan geçtikten  $\frac{3T}{4}$  süre sonra cismin iz düşümünün bulunduğu noktayı çizdiğiniz görüntü üzerinde gösteriniz.

Çözüm

Blank grid area for the solution.

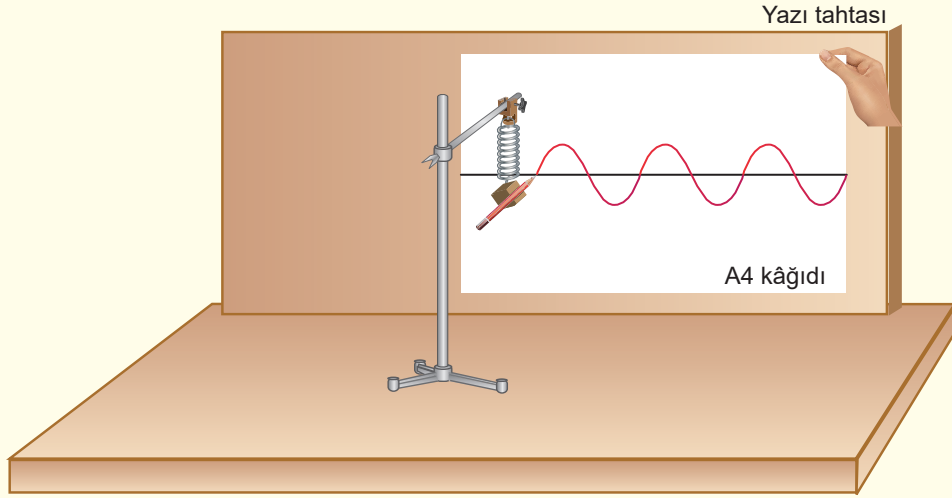
### 2.1.2. Basit Harmonik Harekte Konumun Zamana Göre Değişimi

Hareket hâlindeki cisimlerin zamana bağlı konum grafikleri doğrusal ya da eğrisel olabilir. Doğrusal bir eksen üzerinde sabit hızla hareket eden cisimlerin konum-zaman grafiğinin doğrusal, ivmeli hareket yapan cisimlerin konum-zaman grafiğinin eğrisel olduğu öğrenilmiştir. Basit harmonik hareket yapan cisimlerin ise konumunun zamana göre değişiminin nasıl olduğunu incelemek için "Basit harmonik harekte konumun zamana göre değişimi" deneyini yapınız.

## 1. DENEY

<b>Deneyin Adı</b>	Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi
<b>Deneyin Amacı</b>	Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimini yorumlamak ve konum-zaman grafiğinin çizilmesini sağlamak
<b>Deneyde Kullanılan Araçlar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esnek yay</li> <li>• Tahta kalem</li> <li>• Üçayak</li> <li>• Uzun ve kısa destek çubuğu</li> <li>• Yarıklı kütle (60 g) sehпасı</li> <li>• A4 kâğıdı</li> <li>• Cetvel (50 cm)</li> </ul>

## Deney Düzenekinin Hazırlanışı



- Adım:** Destek çubuklarını şekildeki gibi üçayağa takınız.
- Adım:** Yatay konumdaki kısa destek çubuğuna yayı bağlayınız.
- Adım:** Yayın ucuna yarıklı kütle sehпасı ile 60 g'lık kütle takınız. Kalemi de 60 g'lık kütle üzerine monte ediniz.
- Adım:** Cetvelle A4 kâğıdını şekildeki gibi ortadan ikiye ayıran bir çizgi çiziniz.
- Adım:** A4 kâğıdını tahtaya tutunuz. Tahta kalemin ucu tahtanın yüzeyine yerleştirilmiş beyaz kâğıda hafifçe degecek şekilde görseldeki düzenek oluşturunuz.

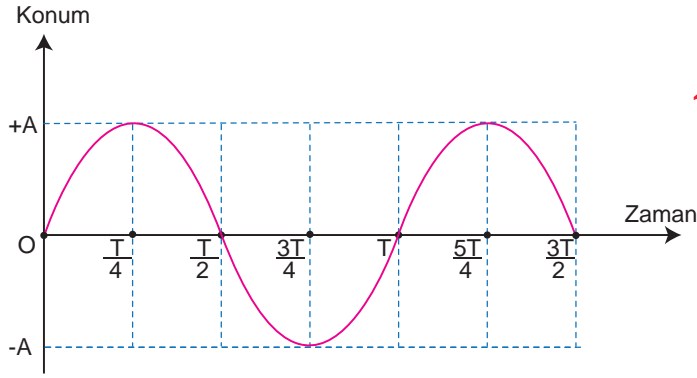
## Deneyin Yapılışı

- Adım:** Kalemin ucu beyaz kâğıdın dışına çıkmayacak şekilde aşağıya çekip bıraktığınızda beyaz kâğıdı yana doğru sabit hızla çekmeye başlayınız.
- Adım:** Kalemin beyaz kâğıt üzerine çizdiği deseni gözlemleyiniz.

## Sonuç ve Değerlendirme

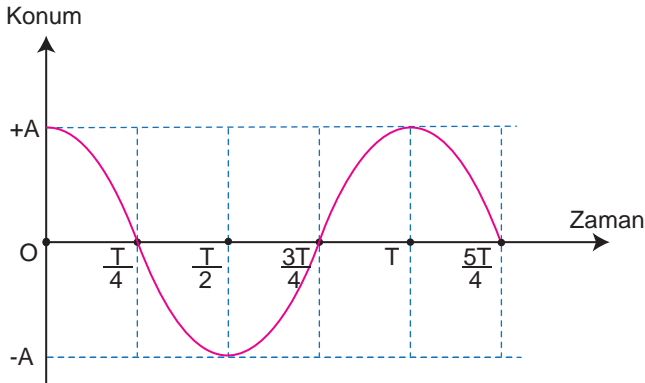
- Kâğıdın üzerinde oluşan şekle göre basit harmonik hareket yapan cismin konumunun zamana göre nasıl değiştiğini inceleyiniz.
- A4 kâğıdının üzerinde oluşan grafiği, doğrusal bir eksen üzerinde sabit büyüklükte bir hızla ya da ivmeli hareket yapan cisimlerin konumunun zamana göre değişim grafikleriyle karşılaştırınız.

“Basit harmonik harekette konumun zamana göre değişimi” deneyinde yarıklı kütleye takılan kalemin ucunun kâğıt üzerinde çizdiği şeklin bir sinüs eğrisi olduğu görülmektedir. Yarıklı kütlein  $t = 0$  anında denge noktasında olduğu kabul edilirse  $A$  genliği ile basit harmonik hareket yapan cismin konumunun zamana göre değişim grafiği Şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2.8: Denge noktasından harekete başlayarak basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiği

$A$  genlikli basit harmonik hareket yapan cismin  $t = 0$  anında genlik noktasında olduğu kabul edilirse yaptığı basit harmonik hareketin konum zaman grafiği Şekil 2.9'daki gibidir.



Şekil 2.9: Genlik noktasından harekete başlayarak basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiği

#### Sıra Sizde - 4

$A$  genlikli basit harmonik hareket yapan cismin periyodu 4 saniyedir. Cismin  $t = 0$  anında  $-A$  konumunda olduğu kabul edilirse konum-zaman grafiğini çiziniz.

Çözüm

### 2.1.3. Basit Harmonik Harekette Kuvvet, Hız ve İvmenin Konuma Göre Değişimi

#### Geri Çağırıcı Kuvvetin Konuma Göre Değişimi

Bir cismin basit harmonik hareket yapmasını sağlayan kuvvete geri çağırıcı kuvvet denildiği daha önce ifade edilmişti.

$m$  kütleli bir cisme  $r$  yarıçaplı yörüngede, sabit büyüklükteki  $\vartheta$  hızıyla düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yaptırılırsa (Şekil 2.10: a) bu cismin, yatay düzlemdeki iz düşümü  $K'$  ve  $L'$  noktaları arasında basit harmonik hareket yapar (Şekil 2.10: b). Cismin yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan iz düşümünün geri çağırıcı kuvvetinin büyüklüğü, cisme etki eden merkezci kuvvetin ( $F$ ) yatay bileşeninin büyüklüğüne ( $F_x$ ) eşittir.

$$F_x = F \cdot \cos\theta \text{ dir.}$$

$$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos\theta \text{ bulunur.}$$

$\cos\theta = \frac{x}{r}$  bağıntısı elde edilen denklemde yerine yazılırsa

$$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \frac{x}{r}$$

$$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x \text{ bulunur.}$$

Böylece basit harmonik hareket yapan bir cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin cismin konumuna bağlı ifadesi elde edilir.

Düzgün çembersel hareket yapan bir cisme etki eden merkezci kuvvetin yönü, hareketin yörünge merkezine yönelmiştir. Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü de daima denge konumuna doğrudur. Bu sebeple basit harmonik hareket yapan bir cismin konum vektörüyle geri çağırıcı kuvvet vektörü daima birbirine zıt yönlüdür.

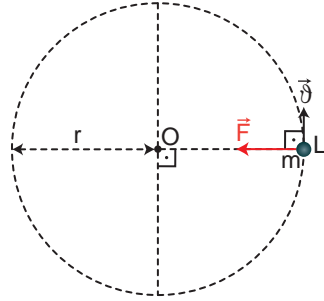
Buna göre geri çağırıcı kuvvet denklemi

$$\vec{F} = -m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x} \text{ bulunur.}$$

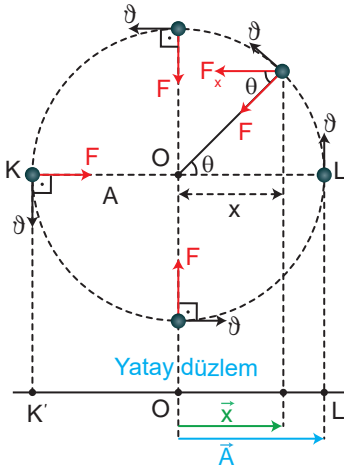
Uzanım  $x = 0$  olduğunda cisim denge konumundan geçer. Bu durumda cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet sıfırdır. Uzanım en büyük değere ulaştığında başka bir deyişle  $x = r$  kadar olduğunda ( $K'$  ve  $L'$  noktalarında) ise geri çağırıcı kuvvet en büyük değerini alır. Denklemde  $x = r$  yerine yazıldığında

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

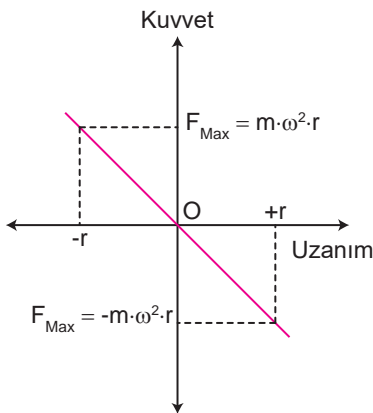
formülünden yola çıkılarak basit harmonik harekette geri çağırıcı kuvvetin sahip olabileceği en büyük değer bulunur. Bu denkleme göre kuvvetin uzanıma bağlı grafiği Şekil 2.11'deki gibidir.



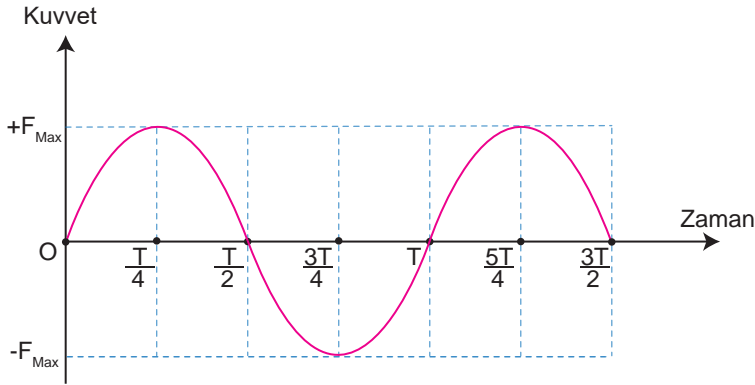
Şekil 2.10: a) Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan  $m$  kütleli cisim



Şekil 2.10: b) Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan  $m$  kütleli cisme etki eden merkezci kuvvetin yatay düzlemdeki iz düşümü



Şekil 2.11: Basit harmonik hareket yapan cismin kuvvet-uzanım grafiği

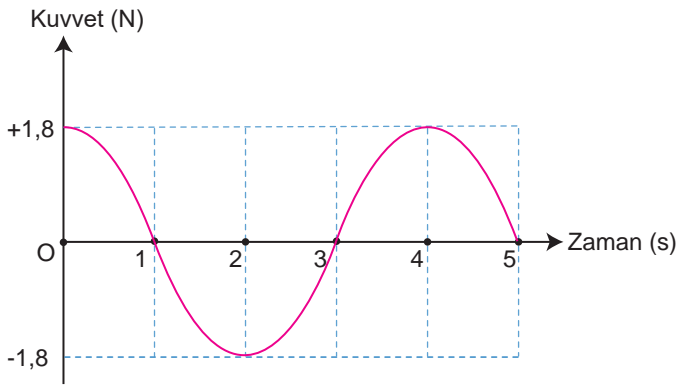


Şekil 2.12: Kuvvetin zamana göre değişim grafiği

$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$  denkleminde geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü uzanım ile doğru orantılıdır. Uzanımın zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre kuvvetin zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre kuvvetin zamana göre değişim grafiği Şekil 2.12'deki gibidir.

### Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan 2 kg kütleli cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



**Buna göre cismin yapmış olduğu hareketin genliği kaç cm'dir?**

( $\pi = 3$  alınız.)

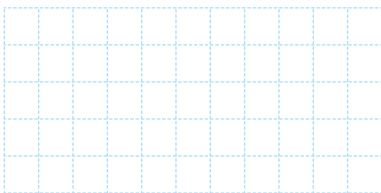
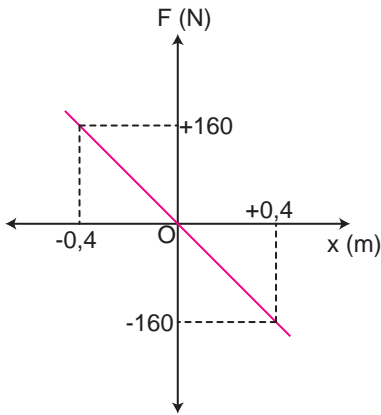
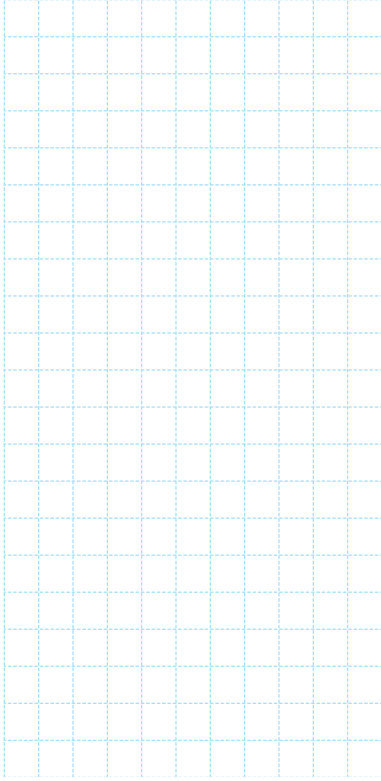
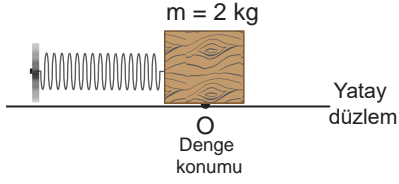
### Çözüm

Grafikten yola çıkarak cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin maksimum değeri 1,8 N ve hareketin periyodu 4 s'dir.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  ifadesinde periyot yerine yazılırsa

$\omega = \frac{2 \cdot 3}{4} = \frac{3}{2} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  bulunur.

Geri çağırıcı kuvveti veren  $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$  ifadesinde değerler yerine yazılırsa  $1,8 = 2 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2 \cdot r \Rightarrow r = 0,4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$  bulunur.



### Örnek

Kütlesi önemsiz bir yayın ucuna bağlanmış 2 kg kütleli cisim, sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde şekildeki gibi dengededir.

**Cisim 40 cm çekilip bırakıldığında 0,4 saniye periyotla basit harmonik hareket yaptığına göre**

- Yayın cisme uyguladığı kuvvetin en büyük değeri kaç N'dir?
- Cisim denge konumundan 20 cm uzakta iken yayın cisme uyguladığı kuvvetin büyüklüğü kaç N'dir? ( $\pi = 3$  alınız.)

### Çözüm

a) Cismin açısal hızının büyüklüğü  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  dir.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3}{0,4} = 15 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ dir.}$$

Basit harmonik hareket yapan cisimlere etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot x \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

Kuvvetin en büyük değeri için  $x = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$  olmalıdır.

Açısal hız ve uzanım değerleri kuvvet denkleminde yerine yazılırsa

$$F = 2 \cdot 15^2 \cdot 0,4 = 180 \text{ N bulunur.}$$

b)  $F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x$  ifadesinde  $x = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$  yerine yazılırsa

$$F = 2 \cdot 15^2 \cdot 0,2 = 90 \text{ N bulunur.}$$

### Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu düşey düzlemde basit harmonik hareket yapan 4 kg kütleli cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.

**Buna göre cismin yapmış olduğu basit harmonik hareketin frekansı kaç  $\text{s}^{-1}$  dir?** ( $\pi = 3$  alınız.)

### Çözüm

Grafikten yararlanarak geri çağırıcı kuvvetin en büyük değeri 160 N ve genliği 0,4 m olarak bulunur.

Bulunan değerler  $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$  eşitliğinde yerine yazıldığında

$$160 = 4 \cdot \omega^2 \cdot 0,4 \Rightarrow \omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ olur.}$$

$\omega = 2\pi \cdot f$  bağıntısından  $\omega$  değeri yerine yazılırsa

$$10 = 2 \cdot 3 \cdot f \Rightarrow f = \frac{5}{3} \text{ s}^{-1} \text{ bulunur.}$$

## Sıra Sizde - 5

Kütlesi 1,5 kg olan bir cisme sürtünmesiz yatay düzlemde basit harmonik hareket yaptırılıyor.

Cisim denge konumundan 50 cm uzaktayken cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet 75 N olduğuna göre cismin açısal hızı kaç  $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$  dir?

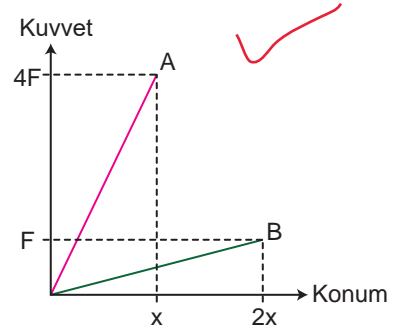
## Çözüm

## Sıra Sizde - 6

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapmakta olan A ve B cisimlerinin kütleleri sırasıyla m ve 2m'dir.

Cisimlere etki eden geri çağırıcı kuvvetlerin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibi olduğuna göre cisimlerin hareket periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  nin oranı  $\frac{T_A}{T_B}$  kaçtır?

## Çözüm



## İvmenin Konuma Göre Değişimi

Newton'ın ikinci hareket yasasına göre bir cisme etki eden net kuvvet, cisme kuvvet ile aynı yönde ivme kazandırır. Bu ivme

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{Net}}}{m} \text{ kadardır.}$$

Basit harmonik hareket yapan cisme herhangi bir anda etki eden net kuvvet, geri çağırıcı kuvvettir. Bu kuvvet cisme ivme kazandırır. İvme denkleminde  $F_{\text{Net}}$  yerine geri çağırıcı kuvvetin ifadesi yazılırsa

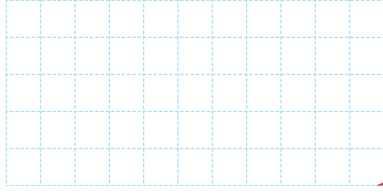
$$\vec{a} = -\frac{m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}}{m} \text{ bulunur.}$$

Geri çağırıcı kuvvetle aynı yönde olan bu ivme



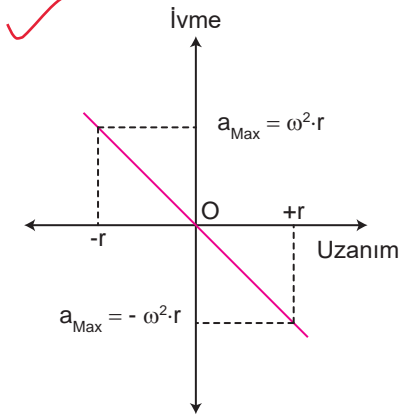
$$\vec{a} = -\omega^2 \cdot \vec{x} \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

Basit harmonik hareket yapan cismin ivmesi, geri çağırıcı kuvvet gibi konum vektörüne daima zıt yöndedir.

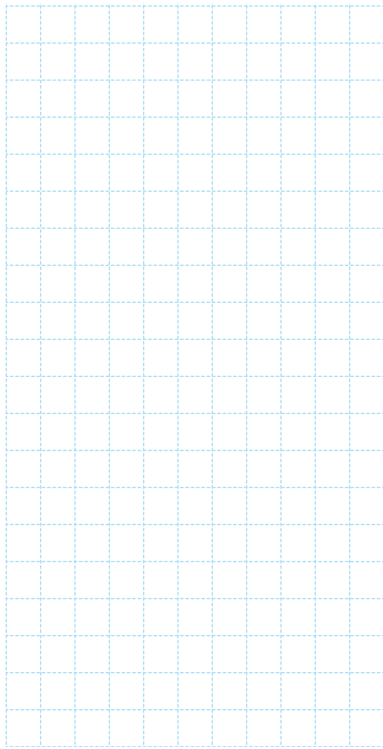


Uzanım  $x = 0$  olduğunda cisim denge konumundan geçer. Bu durum cismin ivmesi geri çağırıcı kuvvet gibi sıfır olur. Uzanım en büyük değerine ulaştığında  $x = r$  olur. Bu ifade ivme denkleminde yerine yazılırsa ivmenin büyüklüğü

$$a_{\text{Max}} = \omega^2 \cdot r \text{ ile bulunur.}$$

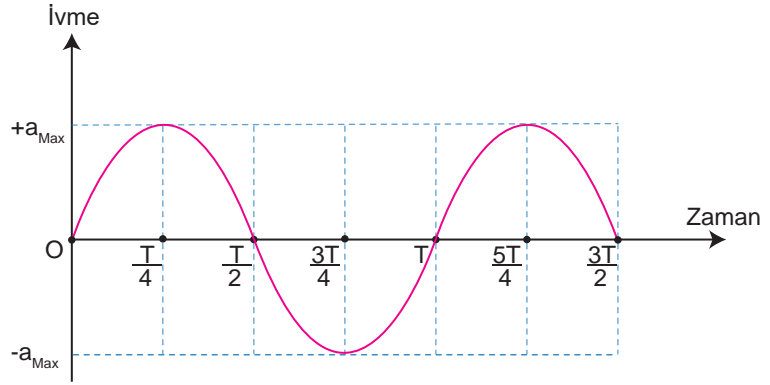


Şekil 2.13: Basit harmonik hareket yapan cismin ivme-uzanım grafiği



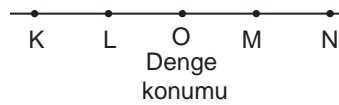
Böylece basit harmonik hareket yapan cismin sahip olabileceği en büyük ivme değerini veren bağıntı bulunmuş olur. Bu denklemden yararlanarak basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin uzanıma bağlı grafiği Şekil 2.13'teki gibidir.

İvmenin uzanıma bağlı grafiğine göre basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin büyüklüğü, uzanımla doğru orantılıdır. Denge konumundan harekete başlayan bir cismin uzanımının zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre ivmenin zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre ivmenin zamana göre değişim grafiği Şekil 2.14'teki gibidir.



Şekil 2.14: İvmenin zamana göre değişim grafiği

### Örnek



Sürtünmesiz yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cisim L noktasından geçerken ivmesi  $\vec{a}$  dır.

**Buna göre cismin N noktasından geçerken sahip olduğu ivme kaç  $\vec{a}$  dır?** (Noktalar arasındaki uzaklıklar eşittir.)

### Çözüm

Noktalar arası uzaklık  $x$  olsun. Hareketin genliği  $\vec{A} = 2\vec{x}$  tir.

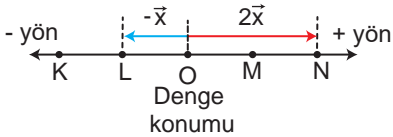
$$\vec{a}_L = -\omega^2 \cdot (-\vec{x})$$

$$\vec{a}_L = \omega^2 \cdot \vec{x} \text{ olur.}$$

İvme bize  $\vec{a}$  olarak verilmiştir. N noktası incelendiğinde

$$\vec{a}_N = -\omega^2 \cdot 2\vec{x} \text{ olur.}$$

$$\vec{a}_N = -2\vec{a} \text{ bulunur.}$$

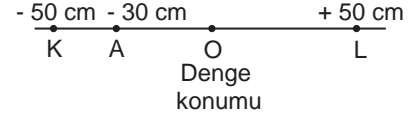




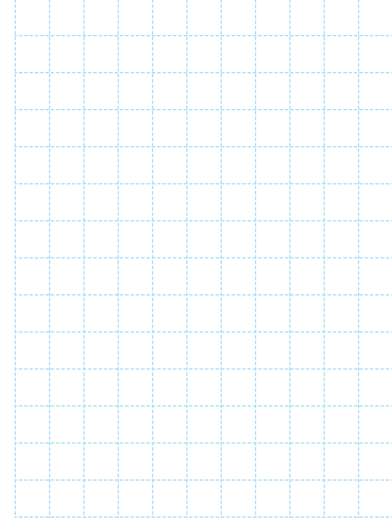
## Sıra Sizde - 7

Sürtünmesiz yatay düzlemde K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin A noktasından geçerken ivmesinin büyüklüğü  $a_1$ , L noktasından geçerken ivmesinin büyüklüğü  $a_2$  dir.

Buna göre  $\frac{a_1}{a_2}$  oranı kaçtır?



## Çözüm



## Hızın Konuma Göre Değişimi

Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cismin yatay düzlemdeki iz düşümünün yaptığı hareket Şekil 2.15'teki gibidir. Cisim, M noktasından geçerken çizgisel hızının yatay eksenindeki bileşenin büyüklüğü  $\vartheta_x$ , cismin yatay düzlemdeki iz düşümünün M' noktasından geçerken sahip olduğu hızının büyüklüğüne eşittir.

$$\vartheta_x = \vartheta \cdot \cos \alpha \text{ dir.}$$

Cismin çizgisel hızının büyüklüğü açısal hız cinsinden

$$\vartheta = \omega \cdot r \text{ dir.}$$

$$\vartheta_x = \omega \cdot r \cdot \cos \alpha \text{ bulunur. } \cos \alpha = \frac{y}{r} \text{ bağıntısından}$$

$$\vartheta_x = \omega \cdot y \text{ bulunur.}$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \text{ dik üçgen bağıntısından yararlanılarak}$$

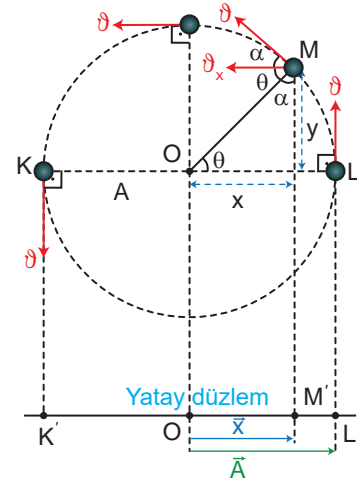
$$y = \sqrt{r^2 - x^2} \text{ yerine yazılırsa}$$

$$\vartheta_x = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2} \text{ bulunur.}$$

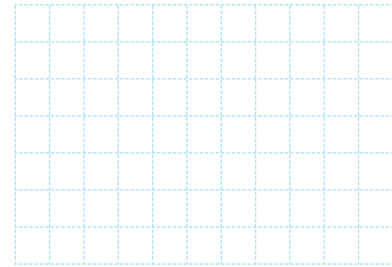
Bu ifade r genlikli basit harmonik hareket yapan bir cismin herhangi bir konumdan geçerken hızının büyüklüğünü belirleyen bağıntıdır.

Cismin uzanımı  $x = r$  olduğunda hızı sıfırdır. Cisim denge konumundan geçerken cismin hızı en büyük değerine ulaşır. Elde edilen hız bağıntısında  $x = 0$  yerine yazılırsa cismin sahip olacağı hızın en büyük değeri

$$\vartheta_{\text{Max}} = \omega \cdot r \text{ bulunur.}$$

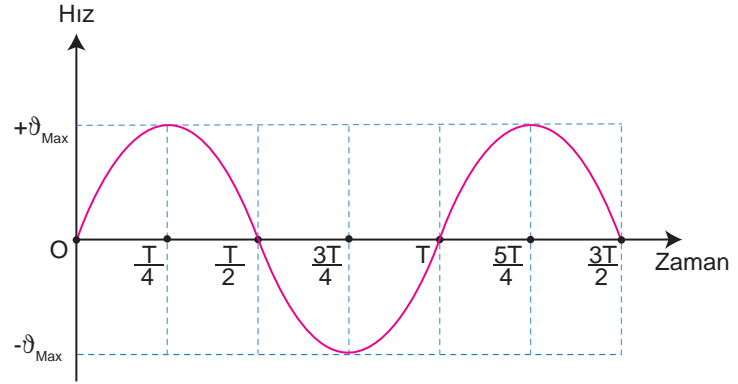


Şekil 2.15: Sabit büyüklükte  $\vartheta$  hızıyla düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin hızının yatay düzlemdeki iz düşümü



Hız vektörünün yönü daima cismin hareket yönüyle aynıdır. Bu nedenle  $\vec{v} = \omega \cdot \vec{r}$  olarak gösterilir.

Bulunan bağıntıya göre basit harmonik hareket yapan cismin hızının büyüklüğü, uzanım ile ters orantılıdır. Genlik noktasından harekete başlayan bir cismin uzanımının zamana göre değişim grafiği sinüs eğrisi oluşturduğuna göre hızın zamana göre değişim grafiği de sinüs eğrisi oluşturur. Buna göre hızın zamana göre değişim grafiği Şekil 2.16'daki gibidir.

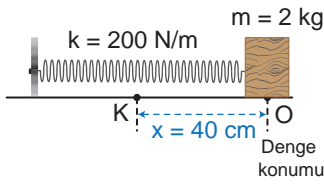


Şekil 2.16: Hızın zamana göre değişim grafiği

### Örnek

Sürtünmesiz yatay düzlemde bir ucuna 2 kg kütleli cisim bağlanmış şekildeki yay, O noktasından K noktasına kadar sıkıştırılıyor.

**K noktasından serbest bırakılan cismin denge konumu olan O noktasından geçerken sahip olduğu hızının büyüklüğü kaç  $\frac{m}{s}$  dir?**



### Çözüm

Cisme K noktasında etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğünü Hook Yasası'na göre

$$F = k \cdot x$$

$$F = 200 \cdot 0,4 = 80 \text{ N olur.}$$

Geri çağırıcı kuvvet aynı zamanda

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r \text{ dir.}$$

$$\text{Cismin açısal hızı } 80 = 2 \cdot \omega^2 \cdot 0,4$$

$$\omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

O noktasından geçerken cismin sahip olduğu hız

$$v = \omega \cdot r \text{ den}$$

$$v = 10 \cdot 0,4 = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

## Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan cismin hızının zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre cisim denge konumundan 40 cm uzaktayken hızının büyüklüğü kaç  $\frac{m}{s}$  dir? ( $\pi = 3$  alınınız.)

## Çözüm

Grafikten yola çıkarak cismin sahip olduğu hızın en büyük değeri  $\frac{1}{2} \frac{m}{s}$  ve hareketin periyodu 6 s olarak bulunur.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ den periyot yerine yazılırsa}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3}{6} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ olur}$$

Cismin hızı denge konumundan geçerken en büyük değeri alır.

$$v_{\text{Max}} = \omega \cdot r \Rightarrow \frac{1}{2} = 1 \cdot r \Rightarrow r = 0,5 \text{ m bulunur.}$$

Cismin konuma bağlı hız denklemi

$$v = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2} \text{ ifadesinden}$$

$$v = 1 \cdot \sqrt{(0,5)^2 - (0,4)^2} = 0,3 \frac{m}{s} \text{ bulunur.}$$

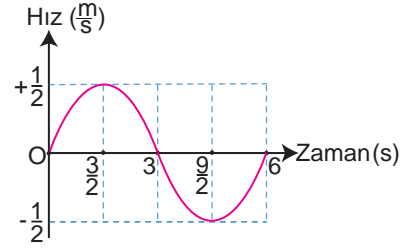
## Sıra Sizde - 8



A-B noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin periyodu 6 saniyedir.

Cismin K noktasından geçerken hızının büyüklüğü kaç  $\frac{m}{s}$  dir? (Noktalar arası uzaklıklar eşit ve 1 m'dir.  $\pi = 3$  alınınız.)

## Çözüm



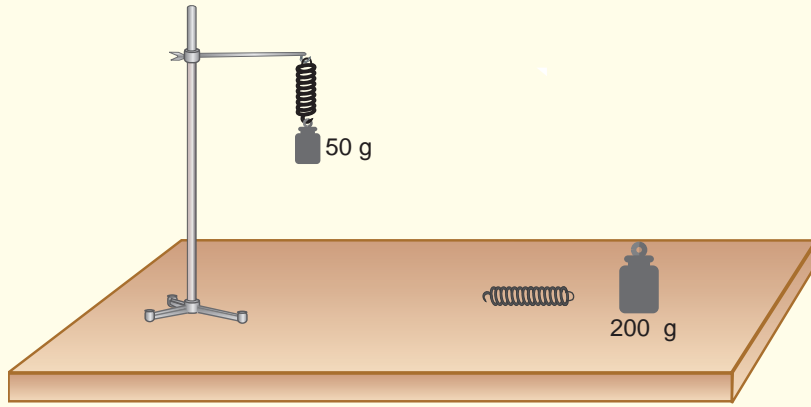
### 2.1.4 Yay Sarkacı ve Basit Sarkaçta Periyodun Bağlı Olduğu Değişkenler

Yay sarkacının periyoduna etki eden değişkenlerin belirlenmesi ve matematiksel modelinin elde edilmesi için "Yay sarkacının periyodu" deneyini yapınız.

## 2. DENEY

<b>Deneyin Adı</b>	Yay sarkacının periyodu
<b>Deneyin Amacı</b>	Yay sarkacının periyodunun bağlı olduğu değişkenlerin belirlenmesi
<b>Deneyde Kullanılan Araçlar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 g lık kütle</li> <li>• 200 g lık kütle</li> <li>• 2 adet farklı uzunlukta verilen ağırlıklara dayanıklı esnek yay</li> <li>• Üçayak</li> <li>• Demir çubuk</li> <li>• Bağlantı aparatı</li> <li>• Kronometre</li> <li>• Cetvel</li> </ul>

## Deney Düzenekinin Hazırlanması



**1. Adım:** Şekildeki gibi üçayağı ve demir çubuğu bağlantı aparatı yardımıyla birleştiriniz.

**2. Adım:** Demir çubuğu sabitledikten sonra yayı bir ucundan demir çubuğa bağlayınız.

## Deneyin Yapılışı

**1. Adım:** Farklı uzunluktaki yaylardan kısa olan esnek yayı, demir çubuğa bağladıktan sonra 50 g lık kütle yayı diğer ucuna bağlayınız. Yayı yavaşça serbest bırakarak dengeye gelmesini sağladıktan sonra denge konumunu belirleyiniz.

Denge konumundan 5 cm uzaklaştırdığınız kütle serbest bıraktığınız anda kronometreyi çalıştırıp kütlenin 10 tam titreşimi için geçen süreyi ölçünüz. Bulduğunuz sonucu Tablo 1'e yazınız.

Aynı işlemi 200 g'lık kütle için tekrarlayarak kronometrede okunan değeri Tablo 1'e yazınız.

**2. Adım:** 50 g ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla denge konumundan 10 cm uzaklaştırarak deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 1'i tamamlayınız.

Tablo 1

Yayın Boyu	Uzanim Miktarı (cm)	Titreşim Sayısı	50 g için Geçen Süre	200 g için Geçen Süre
Kısa Yay	5	10		
	10	10		

**3. Adım:** Kısa esnek yayı, demir çubuktan çıkararak yerine uzun esnek yayı bağlayınız. Yayın ucuna 50 g'lık ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla bağladıktan sonra deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız. Kronometrede okunan değerleri Tablo 2'ye yazınız.

**4. Adım:** Uzun yay için 50 g ve 200 g'lık kütleleri sırasıyla denge konumundan 10 cm uzaklaştırarak deneyin 1. adımında yapılan işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 2'yi tamamlayınız.

Tablo 2

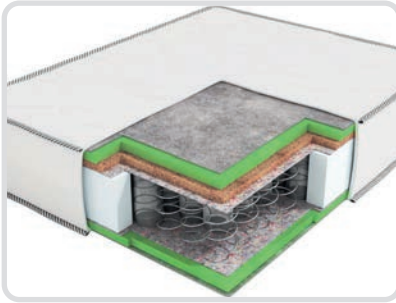
Yayın Boyu	Uzanim Miktarı (cm)	Titreşim Sayısı	50 g için Geçen Süre	200 g için Geçen Süre
Uzun Yay	5	10		
	10	10		

### Sonuç ve Değerlendirme

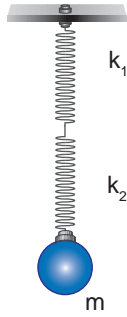
1. Aynı kütleler bağlanarak eşit genlikli salınım yaptırılan farklı uzunluktaki yayların periyot değerlerini karşılaştırınız.
2. Aynı uzunluktaki yaylara farklı kütleler bağlanarak bulunan periyot değerlerini karşılaştırınız.
3. Farklı uzunluktaki yaylara aynı kütle bağlanarak aynı genlikle salınım hareketi yaptırıldığında bulunan periyot değerlerini karşılaştırınız.
4. Esnek yayın periyodu kütleyle bağlı mıdır? Açıklayınız.
5. Esnek yayın periyodu yayın denge merkezine olan uzaklığına (uzanımına) bağlı mıdır? Açıklayınız.
6. Esnek yayın periyodu yayın uzunluğuna bağlı mıdır? Açıklayınız.



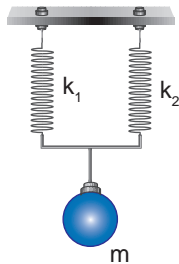
Görsel 2.5: Motosiklet amortisörü



Görsel 2.6: Yaylı yatak



Şekil 2.17: Seri bağlı yaylar



Şekil 2.18: Paralel bağlı yaylar

“Yay sarkacının periyodu” deneyinde yay sarkacının periyodunun yay sabitine ve cismin kütlesine bağlı olduğu, genliğine bağlı olmadığı görülür. Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda yay sabiti k olan yayın ucuna m kütleli cisim bağlanıp bir denge noktası etrafında basit harmonik hareket yaptırıldığında kütle yay sisteminin periyodu

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

bağıntısı ile bulunur.

Periyodun birimi SI’da saniyedir. Yay sarkacının periyodu, bulunduğu yerin yer çekimi ivmesine bağlı değildir.

m : Kütlelerin SI’da birimi kilogramdır.

k : Yay sabitinin SI’da birimi  $\frac{N}{m}$  dir.

Yaylar; araba akslarında, koltuk ve yatak döşemelerinde, parklarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Arabalarda ve motosikletlerde kullanılan yaylar oluşabilecek titreşimleri en aza indirmek için kullanılır (Görsel 2.5).

Yaylı yatak sistemlerinde tellerin yapıldığı maddenin cinsi, bağlanma şekli ve sertliği yatakların konforu ile kalitesini belirleyen önemli özelliklerdir (Görsel 2.6).

Yay sabiti, yayın yapıldığı maddenin cinsine, kalınlığına ve boyuna bağlıdır. Aynı yaydan kesilen farklı uzunluktaki yaylardan uzun olan yayın yay sabiti, kısa olan yayın yay sabitinden küçüktür.

Yaylar, seri ve paralel bağlanabilir. Seri ve paralel yaylara bağlı cisimlerin titreşim periyotlarını bulmak için yayların eşdeğer yay sabiti kullanılır.

Birbirine seri bağlanmış iki yayın eşdeğer yay sabiti

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \text{ dir (Şekil 2.17).}$$

n tane yay, seri bağlanırsa eşdeğer yay sabiti

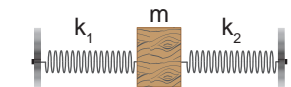
$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

Birbirine paralel bağlı iki yayın eşdeğer yay sabiti ise

$$k_{eş} = k_1 + k_2 \text{ dir (Şekil 2.18).}$$

n tane yay, paralel bağlanırsa eşdeğer yay sabiti

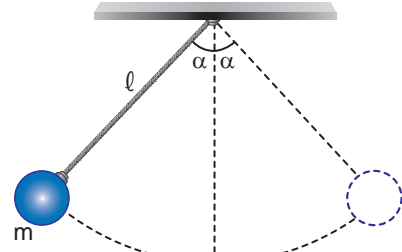
$$k_{eş} = k_1 + k_2 + \dots + k_n \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$



Şekil 2.19: İki yay arasında bağlanmış cisim

Bir cisim iki yay arasında Şekil 2.19’daki gibi bağlandığında oluşan sistemin eşdeğer yay sabiti  $k_{eş} = k_1 + k_2$  olur.

$\ell$  uzunluğunda bir ipin ucuna bağlanmış  $m$  kütleli cisme basit harmonik hareket yaptırıldığında (Şekil 2.20) sarkacın periyodu ipin boyuna ( $\ell$ ) ve bulunduğu yerin yer çekimi ivmesine ( $g$ ) bağlıdır. Sarkaç, ucundaki cismin kütlesine bağlı değildir. Sürtünmelerin önemsiz ve yer çekim ivmesi  $g$  olan bir ortamda  $\ell$  uzunluğundaki ipin ucuna cisim bağlanıp oluşturulan basit sarkaca düşey eksen üzerindeki bir denge noktası etrafında basit harmonik hareket yapıldığında sarkacın periyodu



Şekil 2.20: Basit sarkaç ( $\alpha < 10^\circ$ )



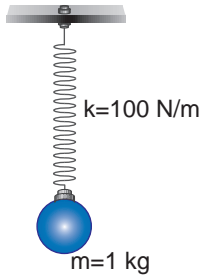
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

bağıntısıyla bulunur.

$\ell$  : İpin boyu SI'da birimi metredir.

$g$  : Yer çekim ivmesi SI'da birimi  $\frac{N}{kg}$  dir.

### Örnek



Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda şekildeki gibi yay sabiti 100 N/m olan yayın ucuna 1 kg lık cisim bağlanarak oluşturulan yay sarkacının periyodu kaç saniyedir? ( $\pi = 3$  alınız.)

### Çözüm

Bir yay sarkacının periyodu  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$  bağıntısından hesaplanır.

Buradan  $T = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{100}}$  den  $T = \frac{6}{10} = 0,6$  saniye bulunur.

### Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda uzunluğu 0,1 m olan bir basit sarkaca basit harmonik hareket yaptırılıyor.

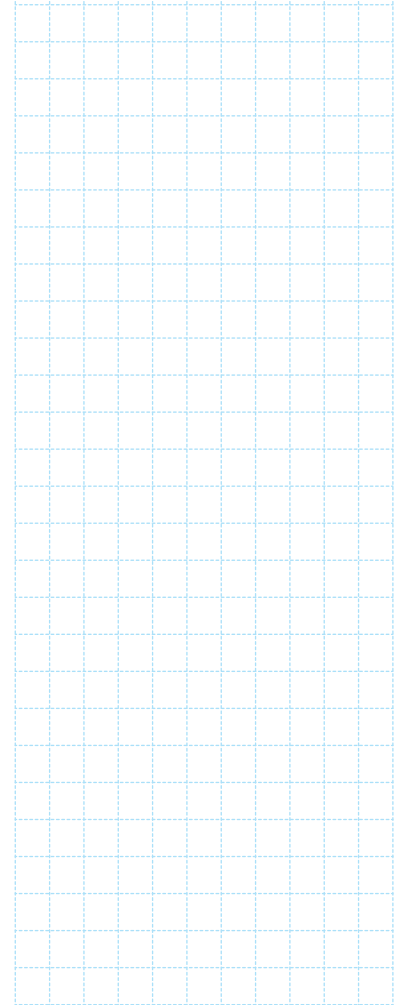
**Buna göre sarkacın salınım periyodu kaç saniyedir?**

( $\pi = 3$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### Çözüm

Basit sarkacın periyot bağıntısında verilenler yerine konulduğunda

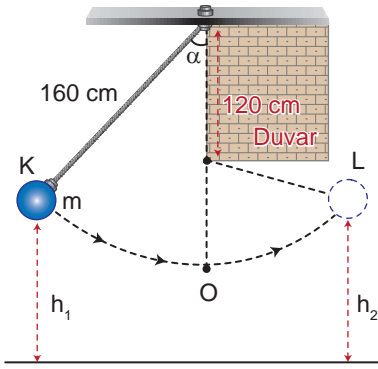
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{10}} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ saniye bulunur.}$$



### Simülasyon



Basit sarkacın periyodunun bağlı olduğu değişkenleri karekoddan yararlanarak inceleyiniz.



### Örnek

$m$  kütleli cisim, sürtünmenin önemsiz olduğu bir ortamda 160 cm uzunluğundaki kütlesi önemsiz bir ipin ucuna bağlandıktan sonra K noktasından serbest bırakıldığında K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapmaktadır.

**K noktasının yerden yüksekliği  $h_1$ , L noktasının yerden yüksekliği  $h_2$  olduğuna göre**

- I.  $h_1$  yüksekliği,  $h_2$  yüksekliğine eşittir.
- II. Cismin K noktasından L noktasına gelme süresi 0,9 s'dir.
- III.  $10^\circ$  den küçük kalmak şartıyla  $\alpha$  açısı artırılırsa cismin K noktasından O noktasına gelme süresi artar.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

( $g = 10 \frac{m}{s^2}$ ,  $\pi = 3$  alınız.)

### Çözüm

Sürtünme olmadığından cismin mekanik enerjisi korunur.

$$E_{ilk} = E_{son} \Rightarrow m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2 \text{ (I. ifade doğrudur.)}$$

Cisim serbest bırakıldıktan bir süre sonra duvara takılacağından ipin boyu O-L arasında kısılacaktır.

Cismin K-O arasını alma süresi  $T_1$ , uzunluğu 1,6 m olan sarkacın periyodununun  $\frac{1}{4}$  ü kadardır.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \text{ den}$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{1,6}{10}}$$

$$\frac{T_1}{4} = \frac{2,4}{4} = 0,6 \text{ s olur.}$$

Cismin O-L arasını alma süresi  $T_2$ , uzunluğu 0,4 m olan sarkacın periyodununun  $\frac{1}{4}$  ü kadardır.

$$T_2 = 2 \cdot 3 \cdot 0,2$$

$$T_2 = 1,2 \text{ s}$$

$$\frac{T_2}{4} = \frac{1,2}{4} = 0,3 \text{ s bulunur.}$$

K noktasından L noktasına gelme süresi

$$T = 0,6 \text{ s} + 0,3 \text{ s} = 0,9 \text{ s (II. ifade doğrudur.)}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \text{ den}$$

$m$  kütleli cismin salınım periyodu  $\alpha$  açısına bağlı değildir (III. ifade yanlıştır.).



## Örnek

Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda yay sabitleri Şekil I ve II'deki gibi verilen yaylara bağlı X ve Y cisimlerinin kütleleri sırasıyla  $m$  ve  $4m$ 'dir.

Cisimler denge konumundan bir miktar çekilip bırakıldıklarında yaptıkları titreşim hareketinin periyotları  $T_X$  ve  $T_Y$  olduğuna göre  $\frac{T_X}{T_Y}$  oranı kaçtır?

## Çözüm

Şekil I'deki yayların eşdeğer yay sabiti

$$k_{eş} = k + 3k = 4k \text{ dir.}$$

$$T_X = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T_X = 2\pi\sqrt{\frac{m}{4k}}$$

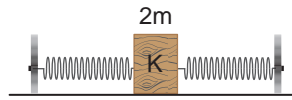
Şekil II'deki yayların eşdeğer yay sabiti

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{2k} + \frac{1}{2k} \Rightarrow k_{eş} = k \text{ olur.}$$

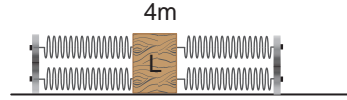
$$T_Y = 2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}} \Rightarrow T_Y = 2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}}$$

$$\frac{T_X}{T_Y} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m}{4k}}}{2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}}} = \frac{1}{4} \text{ bulunur.}$$

## Sıra Sizde - 9



Şekil I



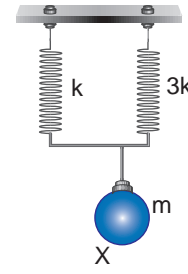
Şekil II

Sürtünmenin önemsiz olduğu ortamlarda özdeş yaylara Şekil I ve II'deki gibi bağlanmış kütleleri sırasıyla  $2m$  ve  $4m$  olan K ve L cisimlerine titreşim hareketi yaptırılıyor.

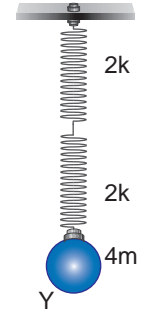
K ve L cisimlerinin periyotları  $T_K$  ve  $T_L$  olduğuna göre  $\frac{T_K}{T_L}$  oranı kaç olur?

## Çözüm

Empty grid area for the solution of the problem.



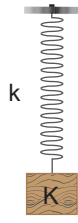
Şekil I



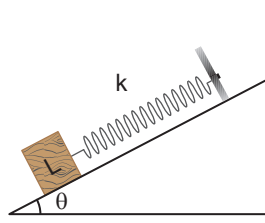
Şekil II

Large empty grid area for the solution of the problem, with a red checkmark at the bottom left.

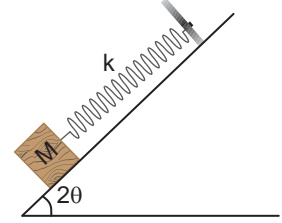
## Sıra Sizde - 10



Şekil I



Şekil II



Şekil III

Sürtünmenin önemsiz olduğu ortamlarda özdeş yaylara şekildeki gibi bağlanmış özdeş K, L ve M cisimlerine  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  periyotlu basit harmonik hareket yaptırılıyor.

Buna göre  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  arasındaki büyüklük ilişkisi nasıldır? ( $\theta < 45^\circ$ )

## Çözüm

Empty grid for the solution of the problem.

## Sıra Sizde - 11

Sürtünmesiz ortamda K-N noktaları arasında titreşim hareketi yapan basit sarkaç  $t = 0$  anında K noktasından serbest bırakılıyor.

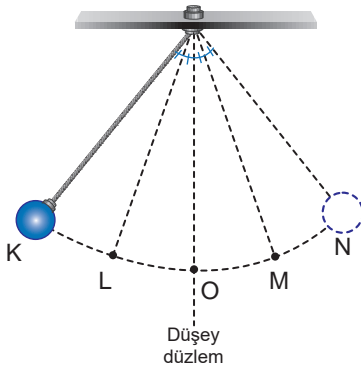
Sarkaç K-M yolunu 2 saniyede aldığına göre

- I. Hareketin frekansı  $\frac{1}{6} \text{ s}^{-1}$  dir.
- II. Cisim K dan L ye  $\frac{1}{2}$  s'de gelir.
- III. Cisim 4. saniyede O noktasındadır.

yargularından hangileri doğrudur?

## Çözüm

Empty grid for the solution of the problem.



**A) Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.**

periyot	kısaltılırsa	basit harmonik
hızı	geri çağırıcı	ivme
denge	kütle	iz düşüm
yer çekimi ivmesi	değişmez	en büyük

- Basit bir sarkaçta ipin boyu arttıkça ..... artar.
- Basit harmonik hareket yapan bir cisim denge noktasından geçerken ..... en büyük değeri alır.
- Basit bir yay sarkacının boyu ....., periyodu azalır.
- Basit bir sarkacın periyodu cismin ..... bağlı değildir.
- Denge konumuna göre küçük açılarla sallıncak üzerindeki çocuğun yaptığı harekete ..... denir.
- Titreşim hareketi yapan bir cisim, denge noktasına getirmeye çalışan kuvvete ..... kuvvet denir.
- Basit harmonik hareket yapan bir cisme etki eden net kuvvetin sıfır olduğu noktaya ..... noktası denir.
- Yay sarkacının periyodu ..... bağlı değildir.
- Basit harmonik hareket, düzgün çembersel hareket yapan bir cismin çap çizgisi üzerindeki ..... hareketidir.
- Yaylı sarkaç başka bir gezegene götürüldüğünde yay sarkacının periyodu .....
- Basit harmonik hareket yapan bir cismin ivmesinin ..... değeri genlik noktasındadır.
- Basit harmonik hareket yapan bir cismin ..... yönü daima denge konumuna doğrudur.

**B) Aşağıdaki soruların cevaplarını boş bırakılan alana yazınız.**

13. Basit harmonik hareket yapan bir cismin birim zamanda yaptığı titreşim sayısı hangi fiziksel büyüklükle ifade edilir?

Cevap: .....

14. Basit harmonik hareket yapan bir cismin herhangi bir anda denge noktasına göre uzaklığı hangi kavramla ifade edilir?

Cevap: .....

15. Bir yayın ucuna bağladığı  $m$  kütleli cisimle oluşturduğu sisteme basit harmonik hareket yaptıran bir öğrenci, anlık hızın sıfır olduğu noktaları işaretliyor.

**İşaretlediği noktalarla denge noktası arası uzaklığı ölçen öğrenci, harekete ait hangi fiziksel niceliği bulmuş olur?**

Cevap: .....

16. Bir öğrenci basit harmonik hareket yapan bir cismin bir noktadan aynı yönde ikinci kez  $t$  sürede geçtiğini ölçüyor.

**Öğrencinin ölçtüğü fiziksel nicelik nedir?**

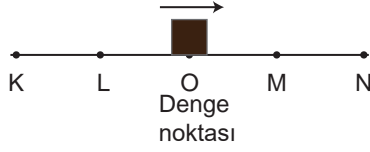
Cevap: .....

17. Yayın ucuna bağlı bir cisme basit harmonik hareket yaptırdığında periyodun hesaplanabilmesi için yay sabitiyle birlikte hangi fiziksel büyüklüğün bilinmesi gerekir?

Cevap: .....

**C) Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.**

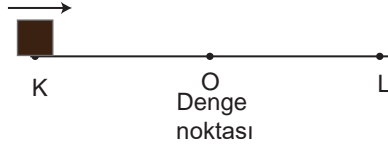
18. K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan şekildeki cisim, O noktasından M noktasına 2 s'de geliyor.



**Noktalar arası uzaklıklar eşit olduğuna göre cismin periyodu kaç s'dir ?**

- A) 6                      B) 10                      C) 18  
D) 20                      E) 24

19. K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan şekildeki cismin frekansı  $\frac{1}{8} \text{ s}^{-1}$  dir.



**Buna göre K noktasından harekete geçen cisim kaç s sonra O noktasından 2. kez geçer?**

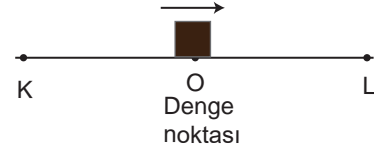
- A) 2                      B) 4                      C) 6  
D) 8                      E) 10

20. Basit harmonik hareket yapan bir cisim için
- Sabit ivmeli hareket yapar.
  - Geri çağırıcı kuvvetin yönü daima denge noktasına doğrudur.
  - Hareketi boyunca eşit zaman aralıklarında eşit yollar alır.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

- A) Yalnız I              B) Yalnız II              C) Yalnız III  
D) I ve II              E) II ve III

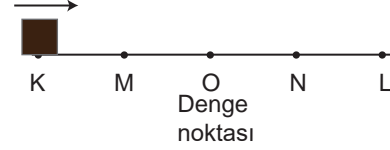
21. K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cisim O noktasından şekildeki yönde harekete geçtikten 9 s sonra hızı ikinci kez sıfır oluyor.



**Buna göre cismin hareketinin frekansı kaç  $\text{s}^{-1}$  dir?**

- A)  $\frac{1}{2}$                       B)  $\frac{1}{3}$                       C)  $\frac{2}{5}$   
D)  $\frac{1}{12}$                       E)  $\frac{1}{24}$

22. Cisim, sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemde K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapıyor.



**Buna göre**

- Cisim, O noktasında iken geri çağırıcı kuvvet sıfırdır.
- Cisim, O-N ile N-L aralıklarını eşit sürede alır.
- Cisme K noktasındayken etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü, N noktasında etki eden geri çağırıcı kuvvetten büyüktür.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

- A) Yalnız I              B) Yalnız II              C) Yalnız III  
D) I ve II              E) I ve III

23. Saniyeleri vuran bir sarkacın periyodu kaç s'dir?

- A) 0,5                      B) 1                      C) 1,5                      D) 2                      E) 3

24. Düşey düzlemde basit harmonik hareket yapan cismin bağlı olduğu yayın boyu kesilerek kısaltıldıktan sonra aynı genlikle basit harmonik hareket yaptırılıyor.

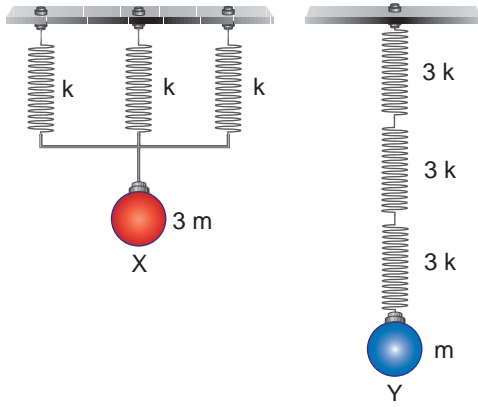
Buna göre

- I. Periyot  
II. Yay sabiti  
III. Frekans

niceliklerinden hangileri artar?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III  
D) I ve II E) II ve III

25. Yay sabitleri  $k$  cinsinden şekildeki gibi verilen X ve Y sarkaçlarının salınım periyotları sırasıyla  $T_X$  ve  $T_Y$  dir.

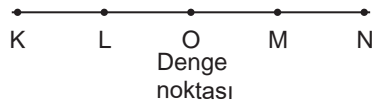


Buna göre yay sarkaçlarının periyotları

$\frac{T_X}{T_Y}$  oranı kaçtır?

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

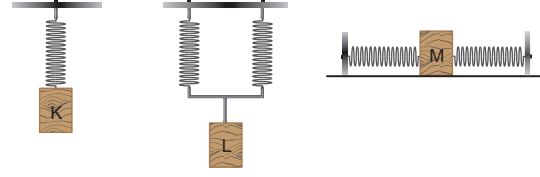
26. Sürtünmelerin önemsiz olduğu eşit bölme-lendirilmiş yatay düzlemde K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin K noktasından M noktasına ilk kez gelme süresi 4 s'dir.



Noktalar arası uzaklıklar eşit ve 2 m olduğuna göre cismin O noktasından geçerken hızı kaç  $\frac{m}{s}$  dir? ( $\pi = 3$  alınız.)

- A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

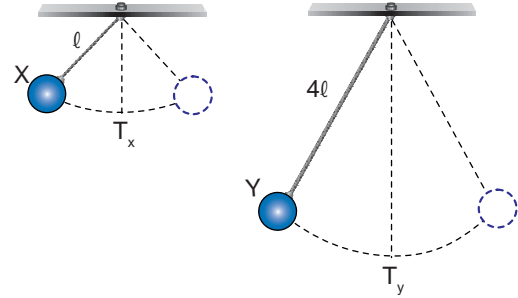
27. Özdeş yaylarla oluşturulmuş eşit kütleli K, L ve M cisimlerine basit harmonik hareket yaptırılıyor. Cisimlerin periyotları sırasıyla  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  dir.



Buna göre  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  arasındaki ilişki hangi seçenekte doğru verilmiştir?

- A)  $T_K = T_L = T_M$  B)  $T_K > T_L > T_M$   
C)  $T_K > T_L = T_M$  D)  $T_M > T_L > T_K$   
E)  $T_L > T_M > T_K$

28. Sürtünmesiz bir ortamda basit harmonik hareket yapan X ve Y cisimlerinin bağlı olduğu ipin uzunlukları sırasıyla  $\ell$  ve  $4\ell$  dir.



X ve Y cisimlerinin periyotları  $T_X$  ve  $T_Y$

olduğuna göre  $\frac{T_X}{T_Y}$  oranı kaçtır?

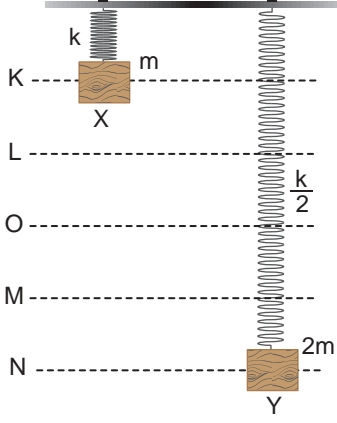
- A)  $\frac{1}{2}$  B) 1 C)  $\frac{3}{2}$  D) 2 E)  $\frac{5}{2}$

29. Basit harmonik hareket yapan bir ipli sarkacın periyodu T dir.

Sarkaç bulunduğu ortamın çekim ivmesinin 4 katı olan başka bir yere götürülürse sarkacın periyodu kaç T olur?

- A)  $\frac{1}{2}$  B) 1 C)  $\frac{3}{2}$  D) 2 E)  $\frac{5}{2}$

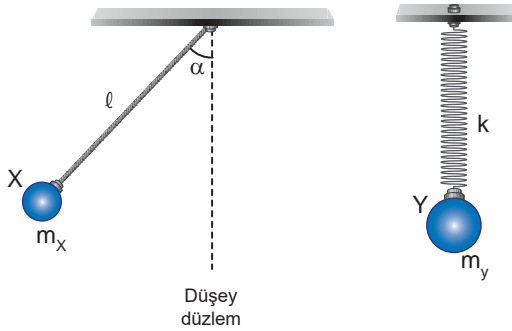
30. Yay sabitleri sırasıyla  $k$  ve  $\frac{k}{2}$  olan X ve Y sarkaçlarından X sarkacı K doğrultusuna kadar sıkıştırılıp Y sarkacı da N doğrultusuna kadar çekilip serbest bırakılıyor.



Sarkaçların denge konumu O doğrultusu olduğuna göre cisimler hangi yatay doğrultudan geçerken ilk kez karşılaşır? (Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

- A) K B) L C) O D) M E) N

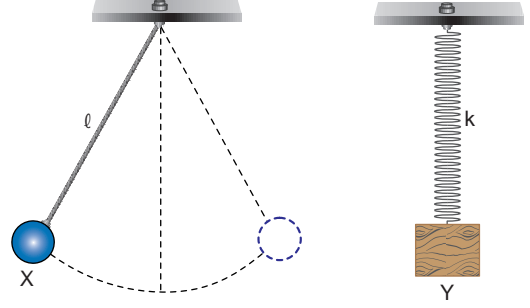
31. Şekildeki X sarkacının periyodu  $T_x$ , Y sarkacının periyodu  $T_y$  dir.



Bu sarkaçlar Ekvator'dan kutuplara götürülürse  $T_x$  ve  $T_y$  nasıl değişir?

- | $T_x$        | $T_y$     |
|--------------|-----------|
| A) Azalır.   | Değişmez. |
| B) Azalır.   | Azalır.   |
| C) Değişmez. | Değişmez. |
| D) Artar.    | Artar.    |
| E) Artar.    | Değişmez. |

32. X ve Y cisimlerine basit harmonik hareket yaptırdığında periyotları eşit olmaktadır.



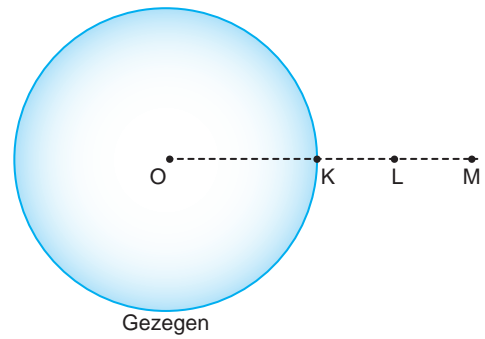
X cisminin bağlı olduğu ipin boyu artırıldığında cisimlerin hareket periyotlarının yeniden eşit olabilmesi için

- Yay sabiti daha küçük yay kullanılmalıdır.
- Y cisminin kütlesi artırılmalıdır.
- X cisminin kütlesi azaltılmalıdır.

yargılarından hangileri tek başına yapılabilir?

- A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III  
D) II ve III E) I, II ve III

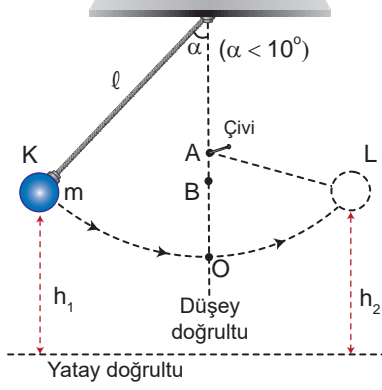
33. Bir basit sarkaca şekildeki gezegenin yüzeyindeki K noktasında ve gezegen yüzeyinden uzaktaki L ve M noktalarında basit harmonik hareket yaptırdığında sarkacın periyodu sırasıyla  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  olmaktadır.



Buna göre  $T_K$ ,  $T_L$  ve  $T_M$  arasındaki ilişki nedir?

- A)  $T_K = T_L = T_M$   
B)  $T_M > T_L > T_K$   
C)  $T_L > T_K > T_M$   
D)  $T_M > T_K > T_L$   
E)  $T_L > T_K = T_M$

34. Sürtünmelerin önemsiz olduğu bir ortamda yerden yüksekliği  $h_1$  kadar olan  $m$  kütleli cisim, K noktasından serbest bırakılıyor. Cisim A noktasındaki çiviye takılarak yerden  $h_2$  yüksekliğindeki L noktasına kadar çıkıyor.



**Çivi A noktasından B noktasına kaydırılırsa**

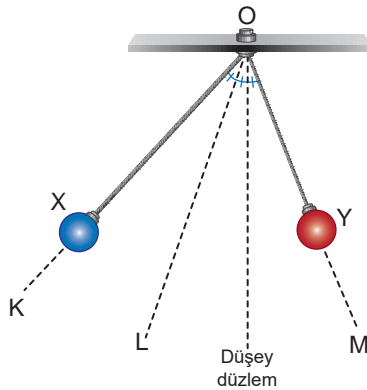
- I. Sarkacın O-K yolunu alma süresi azalır.
- II. O-L yolunu alma süresi değişmez.
- III. Cismin çıkabileceği  $h_2$  yüksekliği değişmez.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(Çivi B noktasına getirildiğinde sarkaç basit harmonik hareket yapmaktadır.)

- A) Yalnız I    B) Yalnız II    C) Yalnız III  
D) II ve III    E) I, II ve III

35. Uzunlukları birbirinden farklı X ve Y basit sarkaçları aynı anda O-K ve O-M doğrultularından serbest bırakıldıklarında ilk kez O-L doğrultusunda karşılaşıyor.

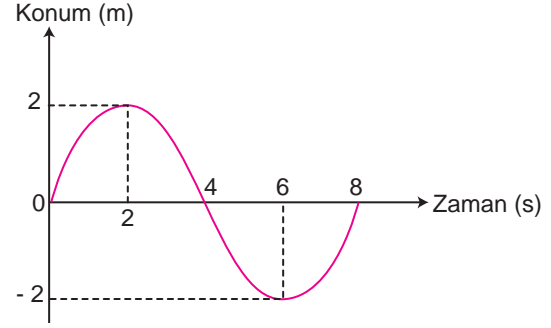


**Cisimlerin hareket periyotları  $T_x$  ve  $T_y$  olduğuna göre  $\frac{T_x}{T_y}$  oranı kaçtır?**

- A) 1    B) 2    C) 3    D) 4    E) 5

**D) Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını boş bırakılan alana yazınız.**

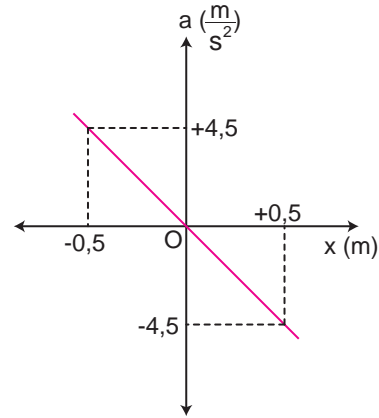
36. Bir cismin iki nokta arasında yapmış olduğu basit harmonik harekete ait konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



**Buna göre cismin ivmesinin en büyük değeri kaç  $\frac{m}{s^2}$  dir? ( $\pi = 3$  alınız.)**

**Çözüm**

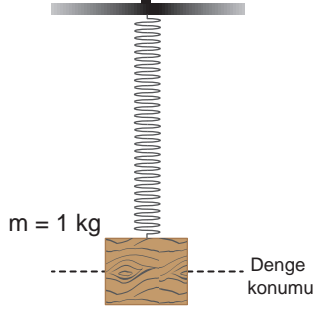
37. Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay bir düzlemde basit harmonik hareket yapan bir cismin ivmesinin konuma bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



**Buna göre cismin yapmış olduğu basit harmonik hareketin periyodu kaç s'dir? ( $\pi = 3$  alınız.)**

**Çözüm**

38. Kütlesi önemsiz bir yayın ucuna bağlanmış 1 kg kütleli cisim şekildeki gibi dengededir.



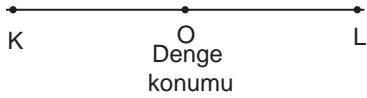
Yayın esnekliği bozulmadan cisim 0,1 metre çekilip bırakıldığında cismin yaptığı basit harmonik hareketin periyodu 0,2 saniye olduğuna göre

- Cisim denge konumundan 0,1 metre aşağıdayken yayda oluşan geri çağırıcı kuvvet kaç N'dir?
- Cismin basit harmonik hareketi sırasında sahip olduğu en büyük hız kaç  $\frac{m}{s}$  dir? ( $\pi = 3$  alınınız.)

**Çözüm**

Grid area for the solution of question 38.

39.

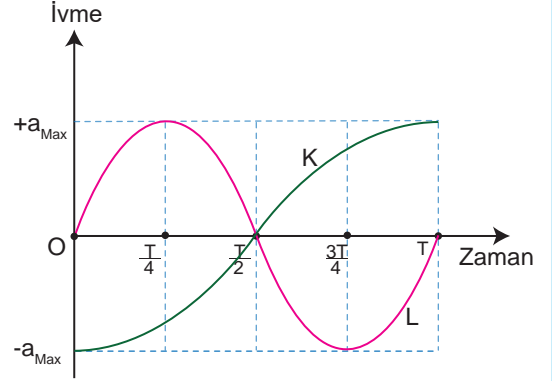


K-L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan bir cismin K noktasındaki ivme, kuvvet ve uzanım vektörünün yönünü gösteriniz.

**Çözüm**

Grid area for the solution of question 39.

40. Sürtünmelerin önemsiz olduğu yatay düzlemlerde basit harmonik hareket yapan K ve L cisimlerine ait ivmenin zamana göre değişim grafiği şekildeki gibidir.



**Buna göre**

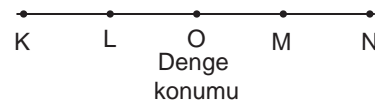
- Cisimlerin sahip olduğu ivmelerin en büyük değerleri eşittir.
- K cisminin hareket genliği L cisminin hareket genliğinden büyüktür.
- Cisimlerin kütleleri eşittir.

**yargularından hangileri kesinlikle doğrudur?**

**Çözüm**

Grid area for the solution of question 40.

41. K-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin M noktasındaki ivmesinin büyüklüğü  $4 \frac{m}{s^2}$ , O noktasındaki hızı  $2 \frac{m}{s}$  dir.



**Buna göre hareketin periyodu kaç saniyedir?**

( $\pi = 3$  alınınız. Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

**Çözüm**

Grid area for the solution of question 41.