



FİZİK-1 PROBLEMLERİ-IV

PROBLEM 1: Şekilde görüldüğü gibi M kütleli R yarıçaplı kürə kaymadan yuvarlanmakta ve m kütleli blokta kürə ile aynı α ivmesi ile kaymaktadır. Kürənin eylemsizlik momenti $I = \frac{2}{3}MR^2$ dır. Kuvvetleri şenil üzerinde gösteriniz.

a) Sürünme katsayısı μ nün değerini bulunuz.

Blok : $\sum F_x = Mg \sin \alpha - f = ma \quad (1)$

$\sum F_y = N - Mg \cos \alpha = 0 \quad (2)$

$N = Mg \cos \alpha ; f = \mu N$

$f = \mu Mg \cos \alpha$

2

Küre : $\sum \tau_o = f \cdot R = I \alpha , \alpha = \frac{a}{R}$

$f = \frac{I}{R^2} \alpha$

$Mg \sin \alpha = \frac{2}{3} I \sin \alpha \frac{a}{R}$

$a = \frac{3}{2} Mg \sin \alpha$

$(1) \Rightarrow \mu g \sin \alpha - Mg \cos \alpha = M \left(\frac{3}{2} Mg \sin \alpha \right)$

$1 = M \left(1 + \frac{3}{2} \right)$

$M = \frac{2}{5}$

3

b) Enerji yöntemini kullanarak her iki cismin yüzeyi terk ederken aynı hızla şerpi olacaklarını gösteriniz. Cisimlerin h yüksekliğinden ilk hızız ve hareket boyunca $d = 5m$ yol aldıklarını kabul ediniz.

$g = 10m/s^2$ ve $\sin 45 = \cos 45 = 0,7$ alınız.

Blok : $Mgh - f \cdot d = \frac{1}{2} MV^2$

$Mg d \sin 45 - \mu Mg \cos 45 \cdot d = \frac{1}{2} MV^2$

$10.5 \cdot (0.7) - \frac{2}{5} \cdot 10 \cdot (0.7) \cdot 5 = \frac{1}{2} V^2$

$35 - 14 = \frac{V^2}{2} \Rightarrow V^2 = 42$

$V = \sqrt{42} \text{ m/s}$

4

Küre : $Mgh = \frac{1}{2} I_{KM} V^2 + \frac{1}{2} MV^2 ; w \cdot V$

$Mg d \sin(45) = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot M R^2 \left(\frac{V^2}{R^2} \right) + \frac{1}{2} MV^2$

$10 \cdot 5 \cdot 0.7 = \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \right) V^2$

$73.5 = \frac{5}{6} V^2$

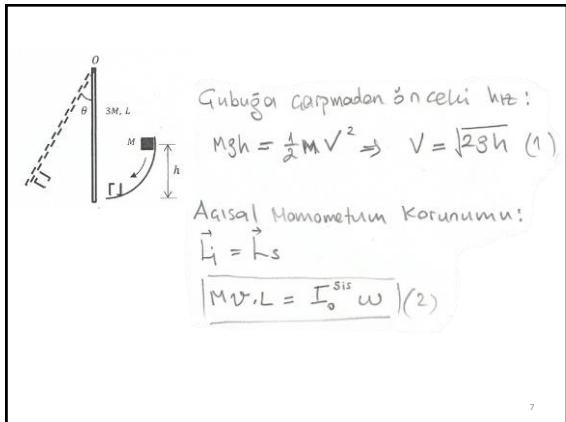
$V^2 = 42 \Rightarrow V = \sqrt{42} \text{ m/s}$

5

PROBLEM 2

Şekilde gösterildiği gibi kütesi M olan bir cisim h yüksekliğinden durgun halden serbest bırakılıyor ve sürünen bir yüzey üzerinden kayarak düşey durumda bulunan bir çubuğa çarpıyor ve yapışıyor. O noktası etrafında hareket edebilen çubuk ve kütle sistemi θ açısı kadar yükseliyor ve duruyor. Şekilde verilen parametreleri kullanarak $\cos \theta$ 'nın değerini h ve L cinsinden bulunuz. (M kütleli L uzunluklu çubuk için $I_{KM} = \frac{1}{12} ML^2$).

6



7

$I_{\text{sis}}^{SIS} = I_0 + I_s$

$I_0^{SIS} = \frac{1}{12}(3M)L^2 + 3M\left(\frac{L}{2}\right)^2 + ML^2$

$I_0^{SIS} = \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} + 1\right)ML^2 = \frac{1+3+4}{4}ML^2$

$\boxed{I_0^{SIS} = 2ML^2}$ (3)

8

(2) $\Rightarrow \omega = \frac{MvL}{I_{\text{sis}}^{SIS}}$

(1) ve (3) yazılır.
 $\omega = \frac{M \cdot \sqrt{2gh} \cdot L}{2ML^2}$

$\boxed{\omega = \frac{\sqrt{2gh}}{2L}}$

9

$u = 0$

$E_k + U_i = K_s + U_s$

Gubuk + little için Enerji korunu - mu yatırılsat?

$K_i + U_i = K_s + U_s$

10

$K_i + U_i = K_s + U_s$

$\frac{1}{2}I_{\text{sis}}^{SIS} \omega^2 - MgL - 3N_0 \frac{L}{2} = 0 - MgL \cos\theta$

$-3N_0 \frac{L}{2} \cos\theta$

$\frac{1}{2} \cdot 2ML^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2gh}}{2L}\right)^2 - \frac{5}{2}MgL = \frac{5}{2}MgL \cos\theta$

$M \cdot \frac{2gh}{2L} = \frac{5}{2}MgL(1-\cos\theta)$

$h = 5L(1-\cos\theta)$

$\frac{h}{5L} = 1 - \cos\theta$

$\cos\theta = 1 - \frac{h}{5L}$

11

PROBLEM 3

M külteli ve L uzunluklu bir çubuk, uçlarından tavan ile sırasıyla θ_1 ve θ_2 açıları yaparak iki kablo yardımıyla yatay olarak desteklenmektedir. Çubuk yere平行 ve statik dengedir. Çubuk düzgün olmayan kütleye yoğunluğu sahip ve lineer kütleye yoğunluğu $\lambda = 2x$ ile değişmekte ise, θ_1 ve θ_2 açıları arasındaki ilişkiye bulunuz.

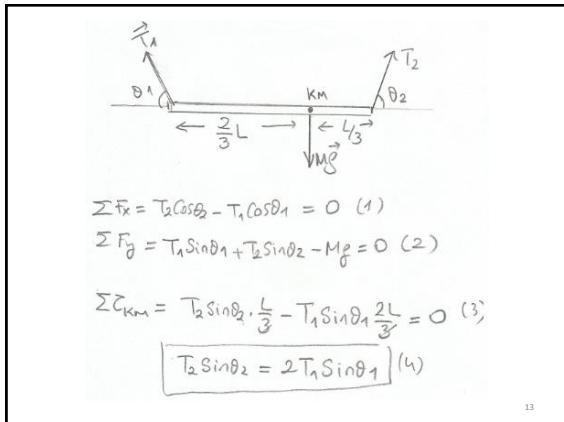
$dm = 2dx$

$x_{KM} = \frac{\int x dm}{\int dm} = \frac{\int x 2dx}{\int 2dx} = \frac{\int x (2x) dx}{\int 2x dx}$

$x_{KM} = \frac{\frac{x^3}{3}L}{\frac{x^2}{2}L} \Rightarrow \boxed{x_{KM} = \frac{2}{3}L}$

Ağırlık merkezinin yeri

12



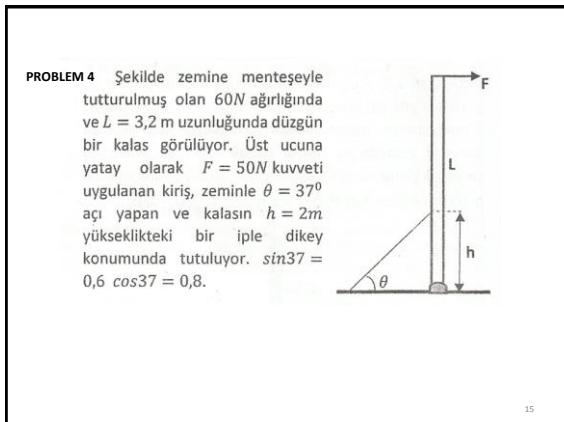
13

$$(1) \Rightarrow T_2 = T_1 \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \quad (4) \text{ ife yazılır}$$

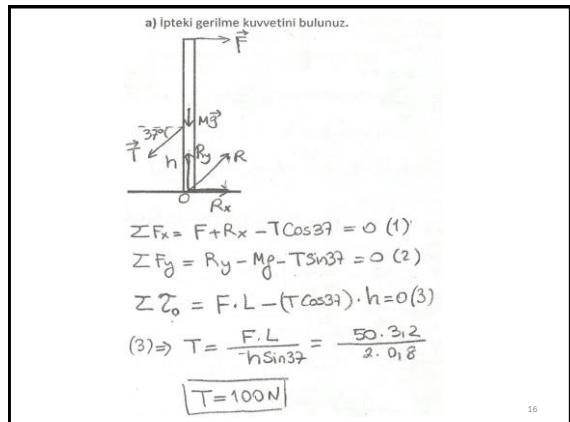
$$T_1 \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \cdot \sin \theta_2 = 2 T_1 \sin \theta_1$$

$$\frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} = 2 \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} \Rightarrow \boxed{\tan \theta_2 = 2 \tan \theta_1}$$

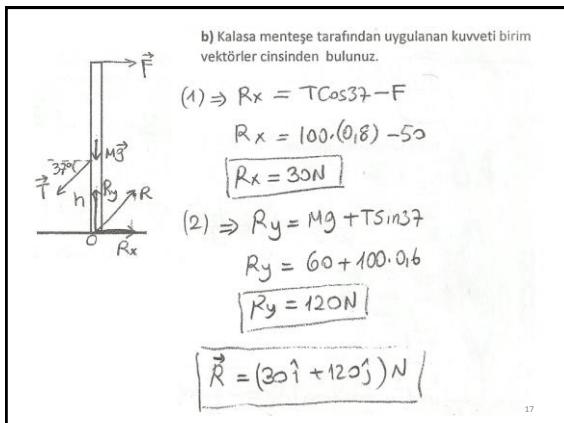
14



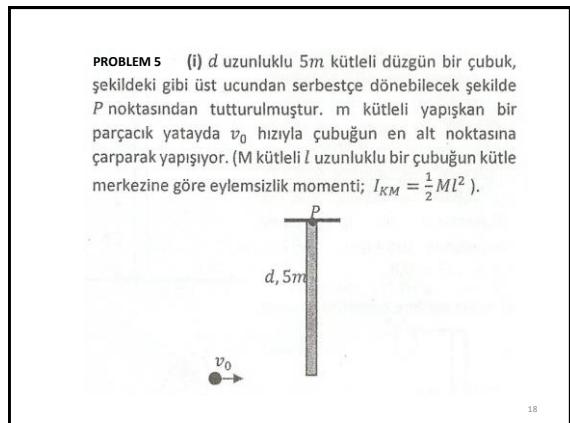
15



16



17



18

a) Çarpışmadan sonra çubuk+kütle sisteminin açısal hızını bulunuz.

$$L_i = L_s$$

$$mV_0 d = I_p^{sis} \omega \Rightarrow \omega = \frac{mV_0 d}{I_p^{sis}}$$

$$I_p^{sis} = I_p^G + md^2 = \frac{1}{12}(5m)d^2 + 5m\left(\frac{d}{2}\right)^2 + md^2$$

$$I_p^{sis} = \left(\frac{5}{12} + \frac{5}{4} + 1\right)md^2$$

$$\boxed{I_p^{sis} = \frac{8}{3}md^2}$$

$$\omega = \frac{mV_0 d}{\frac{8}{3}md^2}$$

$$\boxed{\omega = \frac{3}{8}\frac{V_0}{d}}$$

19

b) Çarpışmada kaybolan enerjiyi hesaplayınız.

$$K_i = \frac{1}{2}mV_0^2$$

$$K_S = \frac{1}{2}I_p^{sis} \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{8}{3}md^2 \left(\frac{3}{8} \cdot \frac{V_0}{d}\right)^2$$

$$K_S = \frac{1}{3}md \cdot \frac{3}{64} \cdot \frac{V_0^2}{d^2}$$

$$\boxed{K_S = \frac{3}{16}mV_0^2}$$

$$\Delta K = \frac{3}{16}mV_0^2 - \frac{1}{2}mV_0^2 \Rightarrow \boxed{\Delta K = -\frac{5}{16}mV_0^2}$$

20

(ii) Yandaki çubuk+kütle sisteminin çarpışma sonrası salınım hareketi yaptığını kabul ederek;

a) Salınım hareketinin diferansiyel denklemi verilenler cinsinden elde ediniz.

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\alpha = \ddot{\theta}$$

$$\sum \tau_p = -5mg \frac{d}{2} \sin\theta - mg ds \sin\theta = I_p \ddot{\theta}$$

$$-\frac{7}{2}mgd \sin\theta = I_p \ddot{\theta}$$

$$\boxed{\ddot{\theta} + \frac{7mgd}{2I_p} \sin\theta = 0}$$

21

b) Küçük salınımlar için, salınının periyodunu hesaplayınız.

$\sin\theta \approx \theta$ olur.

$$\ddot{\theta} + \frac{7mgd}{2I_p} \theta = 0$$

$$\downarrow w^2$$

$$w^2 = \frac{7mgd}{2I_p} \Rightarrow w = \sqrt{\frac{7mgd}{2I_p}}$$

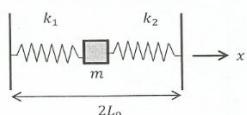
$$T = \frac{2\pi}{w} = 2\pi \sqrt{\frac{2I_p}{7mgd}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2, \frac{8}{3}md^2}{7mgd}} \Rightarrow \boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{16d}{21g}}}$$

22

PROBLEM 6

Şekildeki her iki yay gerilmemiş halde L_0 uzunluğuna sahiptir ve yay sabitleri sırasıyla k_1 ve k_2 dir. m külteli cisim x -doğrultusunda salınmaktadır ve denge noktasından itibaren t anındaki yerdeğistirmesi $x(t)$ 'dir. Cisim maksimum kinetik enerjisi E dir.



a) Salınımının genligini bulunuz.

$$E = \frac{1}{2}k_1A^2 + \frac{1}{2}k_2A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{2E}{k_1+k_2}}$$

23

b) Newton'un ikinci yasasını kullanarak $x(t)$ için bir denklem bulunuz.

$-k_1x \leftarrow [M] \rightarrow$ Hareket yorumu
 $-k_2x \leftarrow$

$$\sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = m \ddot{x}$$

$$-k_1x - k_2x = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$\boxed{\ddot{x} + \left(\frac{k_1+k_2}{m}\right)x = 0}$$

24

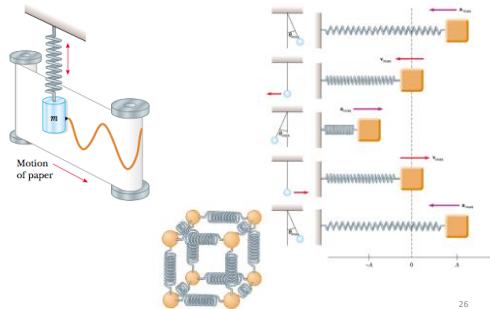
c) Salınımların periyodunu bulunuz.

$$\omega^2 = \frac{k_1+k_2}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1+k_2}}$$

25

Titreşim Hareketi Problemleri



26

Örnek : x -ekseni üzerinde basit titreşim hareketi yapan bir cismin konumu $x(t) = 4\cos(3\pi t + \pi)$ ifadesi ile veriliyor (t saniye ve x cm cinsindendir).

a-) Hareketin frekansını ve periyodunu bulunuz.

b-) Hareketin genliğini ve faz sabittini bulunuz.

c-) Cismin $t = 0.25$ s anındaki konumunu bulunuz.

a-) $\omega = 3\pi \rightarrow \omega = 2\pi f = 3\pi \rightarrow f = 1.5$ hertz

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2}{3} = 0.67 \text{ s}$$

b-) $x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) \rightarrow x_m = 4 \text{ cm}$ ve $\phi = \pi$

c-) $x(0.25) = 4 \cos(3\pi \frac{1}{4} + \pi) = 2.83 \text{ cm}$

27

c-) $x(t) = 10\cos(4t)$

$$x_1 = 8 \rightarrow t_1 = \frac{\cos^{-1}(0.8)}{4} = 0.161 \text{ s}$$

$$x_2 = 0 \rightarrow t_2 = \frac{\cos^{-1}(0)}{4} = 0.392 \text{ s}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0.231 \text{ s}$$

29

Örnek : Yay sabiti 8 N/m olan bir yaya bağlı 0.5 kg kütleyeli cisim, genliği 10 cm olan basit harmonik hareket yapıyor.

a-) Cisim maksimum hızı ve ivmesi nedir?

b-) Cisim denge noktasından 6 cm uzakta iken hızı ve ivmesi nedir?

c-) Cisim $x = 8 \text{ cm}$ den $x = 0'$ a ne kadar zamanda gider?

a-) $x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) ; \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 4 \text{ rad/s} ; x_m = 10 \text{ cm}$

$$x(t) = 10 \cos(4t) \rightarrow v(t) = -40 \sin(4t) \quad \left. a(t) = -160 \cos(4t) \right\} \rightarrow v_m = 40 \text{ cm/s} = 0.4 \text{ m/s}$$

b-) $x(t) = 10 \cos(4t) = 6 \Rightarrow t = \frac{\cos^{-1}(0.6)}{4} = 0.23 \text{ s}$

$$v(0.23) = -40 \sin(4 \times 0.23) = -32 \text{ cm/s} = -0.32 \text{ m/s}$$

$$a(0.23) = -160 \cos(4 \times 0.23) = -97 \text{ cm/s}^2 = -0.97 \text{ m/s}^2$$

28

Örnek : Yay sabiti 25 N/m olan bir yaya bağlı 1.0 kg kütleyeli bir cisim x - eksenine üzerinde basit harmonik hareket yapıyor. Cisim $t = 0'$ da, $x = -3 \text{ cm}$ noktasından serbest bırakıldığına göre,

a-) Hareketin periyodu nedir?

b-) Cisim konumunu, hızını ve ivmesini zamanın fonksiyonu olarak bulunuz.

c-) Cisimin maksimum hızı ve ivmesi nedir?

a-) $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{25}{1.0}} = 5 \text{ rad/s} ; \omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2(3.14)}{5} = 1.256 \text{ s}$

b-) $x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) \Rightarrow t = 0'$ da $x = -3 \text{ cm} \Rightarrow \phi = \pi$ olmalıdır.

$$x(t) = 3 \cos(5t - \pi)$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -15 \sin(5t - \pi)$$

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -75 \cos(5t - \pi)$$

c-) $v_m = \underbrace{-15 \sin(5t - \pi)}_{-1} = 15 \text{ cm/s}$

$a_m = \underbrace{-75 \cos(5t - \pi)}_{-1} = 75 \text{ cm/s}^2$

30

Örnek : Yay sabiti 20 N/m olan bir yaya bağlı 0.5 kg küteli cisim x -ekseni üzerinde genliği 3 cm olan basit harmonik hareket yapıyor.

- a-) Sistemin mekanik enerjisini ve cismin maksimum hızını bulunuz.
- b-) Cisim denge noktasından 2 cm uzakta iken hızı nedir?
- c-) Cisim bu noktadayken kinetik ve potansiyel enerjisi nedir?

$$a-) E = K + U = \frac{1}{2}kx_m^2 = \frac{1}{2}(20)(0.03)^2 = 9 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$x = 0 \rightarrow U = 0 \rightarrow E = \frac{1}{2}mv_m^2 \rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2(9 \times 10^{-3})}{0.5}} = 0.19 \text{ m/s}$$

$$b-) E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E - kx^2}{m}} = \mp 0.141 \text{ m/s}$$

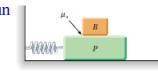
$$c-) K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0.5)(\mp 0.141)^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$U = E - K = 9 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-3} \text{ J}$$

31

Örnek : Sürünmesiz yatay bir yüzeyde bulunan P bloğunu üzerinde m küteli başka bir blok (B bloğu) bulunmaktadır.

Blokların temas yüzeylerinde statik sürtünme katsayısi $\mu_s = 0.6$ dir. P bloğu bir yaya bağlıdır ve $f = 1.5 \text{ Hz}$ frekansında basit harmonik hareket yapmaktadır. B bloğunun P 'nin üzerinden kaymaması için, harmonik hareketin maksimum genliği ne olmalıdır?



B bloğu P bloğu ile birlikte basit harmonik hareket yapar.

$$\sum F_y = N - mg = 0 \rightarrow N = mg \rightarrow f_{s,m} = \mu_s mg = ma_m$$

Basit harmonik harekette, $a_m = \omega^2 x_m$ ile verilir.

$$\mu_s mg = ma_m \rightarrow \mu_s g = a_m = (2\pi f x_m^2) \rightarrow x_m = \frac{\mu_s g}{(2\pi f)^2}$$

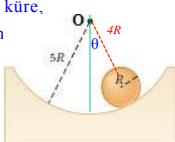
$$x_m = 0.0662 \text{ m} = 6.62 \text{ cm}$$

32

Örnek : Külesi m ve yarıçapı R olan katı bir küre, $5R$ yarıçaplı silindirik bir yüzeye kaymadan yuvarlanarak, döşey eksen etrafında küçük salınımalar yapıyor. Salınının periyodunun

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{28R}{5g}}$$

olduğunu gösteriniz?



$v = 4R\omega_0$ → ω_0 : küçük kürenin O noktasına göre açısal hızı
 $v = R\omega$ → ω : küçük kürenin kendi eksenine göre açısal hızı

$$E = \underbrace{mg4R(1-\cos\theta)}_U + \underbrace{\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2}_K \quad \text{bulunur.}$$

33

$v = 4R\omega_0$ ve $\omega = 4\omega_0$ ifadelerini enerji eşitliğinde yerine yazarak ve zamana göre türev alıp sıfır eşitlersek (enerji korunduğu için zamanla değişmez)

$$E = mg4R(1-\cos\theta) + \frac{1}{2}m(4R\omega_0)^2 + \frac{1}{5}mR^2(4\omega_0)^2 \quad \left\{ \text{küre için } I = \frac{2}{5}mR^2 \right\}$$

$$\frac{dE}{dt} = 4g \sin\theta \frac{d\theta}{dt} + 16R\omega_0 \frac{d\omega_0}{dt} + \frac{32}{5}R\omega_0 \frac{d\omega}{dt} = 0 \quad \{ \sin\theta \approx \theta \text{ küçük açı} \}$$

$$4g\theta\omega_0 + 16R\omega_0\alpha + \frac{32}{5}R\omega_0\alpha = 0$$

$$\alpha = -\frac{20g}{112R} \theta = -\frac{5g}{28R} \theta \rightarrow \alpha = -\omega^2 \theta$$

$$\omega = \sqrt{\frac{5g}{28R}} = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{28R}{5g}} \text{ bulunur.}$$

34

Örnek : Külesi M olan bir cisim, O noktası etrafında serbestçe dönen bir silindirin içine monte edilerek şekildeki gibi fiziksel bir sarkaç yapılmıştır. Sarkaç, bağlantı noktasından h kadar aşağıdaki bir noktada da yay sabit k olan bir yaya bağlanmıştır. Sistem bir miktar sola çekiliş serbest bırakılıyorsa ve basit harmonik hareket yapıyor. Salınının frekansını bulunuz.

Enerjinin korunumundan,

$$E = MgL(1-\cos\theta) + \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \quad \text{yazılabilir.}$$

$v = L\omega$, $x = h \sin\theta$ ve $\cos\theta \approx 1$ ifadelerini yukarıda yerine yazarak ve zamana göre türev alırsak,

$$\alpha = -\left(\frac{MgL + kh^2 \cos\theta}{ML^2}\right)\theta$$

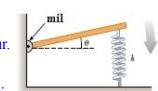
bulunur. Küçük açı $\{\cos\theta \approx 1\}$ yaklaşımı ile birlikte,

$$2\pi f = \left(\frac{MgL + kh^2}{ML^2}\right)^{1/2} \rightarrow f = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{gL + \frac{kh^2}{M}} \quad \text{elde edilir.}$$



35

Örnek : Külesi m ve uzunluğu L olan ince bir çubuk, bir ucundan geçen mil etrafında serbestçe dönen bir silindirin içine monte edilerek şekildeki gibi fiziksel bir sarkaç yapılmıştır. Çubuğu diğer ucu da yay sabiti k olan bir yaya bağlanmıştır. Çubuğu sağ ucu şekildeki gibi küçük bir θ açısı kadar kaldırılıp serbest bırakılıyorsa ve sistem sistem salınım hareketi yapıyor. Salınının periyodu bulunuz.



Denge konumunda $\sum F = 0 \Rightarrow x_0 = \frac{mg}{2k}$ bulunur. (x_0 , sistem dengede iken yadaki sıkışma miktarı). Enerjinin korunumundan:

$$E = mg\left(\frac{L}{2}\sin\theta\right) + \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}kx_0^2 + \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{6}mv^2$$

Her iki tarafın zamana göre türevini alır sıfır eşitlersek,

$$kv + \frac{1}{3}mva = 0 \rightarrow a = -\frac{3k}{m}x \quad \text{bulunur.}$$

$$\text{Buradan da periyoda geçersek, } \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{3k}{m}} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{3k}} \quad \text{elde edilir.}$$

36

Örnek : Külesi M ve uzunluğu L olan ince bir çubuk, bir ucundan geçen mil etrafında serbestçe dönen bilmediir. Küçük salımlılar için hareketin periyodu bulunuz.

I. Yol :

Enerjinin korunumundan,

$$E = Mg \frac{L}{2} (1 - \cos \theta) + \frac{1}{2} I \omega^2 = Mg \frac{L}{2} (1 - \cos \theta) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} M L^2 \right) \omega^2$$

yazılabilir.

Her iki tarafın zamana göre türevini alır sifira eşitlersek;

$$Mg \frac{L}{2} \frac{\sin \theta}{\theta} \omega + \frac{1}{3} M L^2 \omega \alpha = 0 \rightarrow \alpha = -\frac{3g}{2L} \theta \rightarrow \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{3g}{2L}} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}$$

II. Yol :

$$\sum \tau = I \alpha \rightarrow \alpha = -\frac{Mg \frac{L}{2} \sin \theta}{\frac{1}{3} M L^2} = -\frac{3g}{2L} \theta \rightarrow \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{3g}{2L}} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}$$



Örnek : Bir cisim 3 m yarıçaplı bir çember etrafında 8 rad / s sabit açısal hızla dönmektedir. $t = 0$ anında cismin x koordinatı 2 m noktasıdır ve sağa doğru hareket etmemektedir. Cismin x koordinatını, çizgisel hızının ve ivmesinin x - bileşenlerini bulunuz.

$\omega = 8$ rad/s ve $x_m = 3$ m olarak verilmiştir. Buna göre,

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) = 3 \cos(8t + \phi)$$

$t = 0$ da, $x = 2$ m olduğuna göre,

$$2 = 3 \cos(\phi) \rightarrow \phi = \cos^{-1}\left(\frac{2}{3}\right) = 48.2^\circ$$

Cisim $t = 0$ anında sağa doğru hareket ettiği için, $\left(\frac{dx}{dt}\right|_{t=0} > 0\right)$ olmalıdır. Bu nedenle de, $\phi = -48.2^\circ = -0.841$ rad alınmalıdır.

$$x(t) = 3 \cos(8t - 0.841) \rightarrow \begin{cases} v_x = -24 \sin(8t - 0.841) \\ a_x = -192 \cos(8t - 0.841) \end{cases}$$