

**Thema: Prinzip von d'Alembert für die ebene
 Scheibenbewegung**

Formelsammlung:

Ziel: Aufstellung der Bewegungsgleichung

Prinzip von d'Alembert
 (Schwerpunktsätze)

$$\begin{array}{l} \tilde{F}^* + \tilde{Z} + \tilde{T} = 0 \\ \tilde{M}_S + \tilde{M}_{TS} = 0 \end{array}$$

Index "S" = bzgl. des Schwerpunkts S

**Thema: Arbeitssatz und Energiesatz für die ebene
 Scheibenbewegung**

Formelsammlung:

Arbeitssatz:

$$W = T_1 - T_0$$

mit

$$W = \int_{r_0}^{r_1} \tilde{F} \cdot d\tilde{r} + \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} M d\varphi$$

und

$$T = \frac{m}{2} \tilde{v}_S^2 + \frac{J_S}{2} \omega^2$$

Energiesatz:

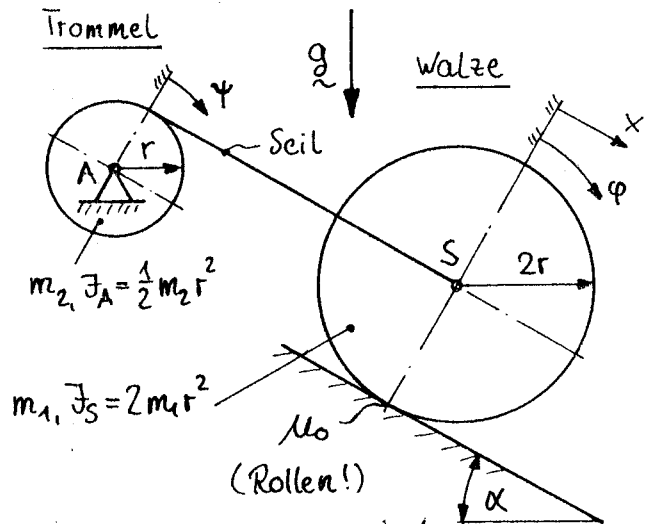
$$T_1 + V_1 = T_0 + V_0$$

Aufgaben: K-DAS*, K-ESS*, K-ASS*

Aufgabe K-DAS 10 (Abschlußklausur WS 97/98)

Die skizzierte Walze rollt (Haftreibungsbeiwert μ_0) eine schiefe Ebene hinab. Dabei wickelt sich das masselose, undeformable Seil von der Trommel ab und versetzt diese in Rotation.

1. Man gebe die kinematischen Beziehungen $\dot{\phi}(\dot{x})$ und $\dot{\psi}(\dot{x})$ an.
2. Man schneide die beiden Körper getrennt frei (Skizzen!), und trage alle Kräfte und Momente einschließlich der Trägheitswirkungen an (Prinzip von d'Alembert).
3. Mit dem Prinzip von d'Alembert (Schwerpunktsätze) berechne man die Beschleunigung $\ddot{x}$ des Systems.

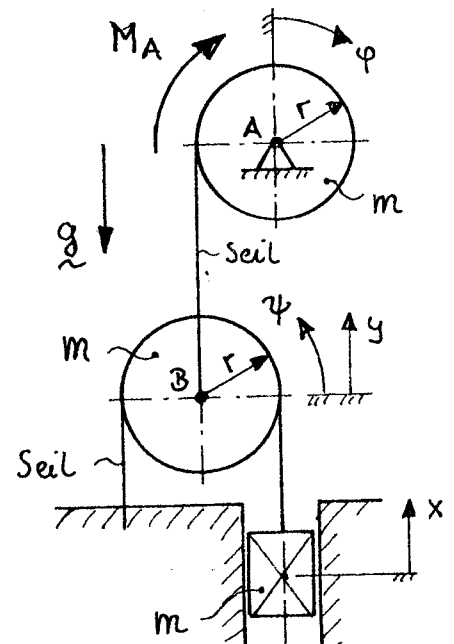


Lösung: 1. $\dot{\phi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{2r}$, $\dot{\psi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{r}$. 3. $\ddot{x} = \frac{2m_1 g \sin \alpha}{3m_1 + m_2}$.

Aufgabe K-DAS 17 (Abschlussklausur WS 01/02)

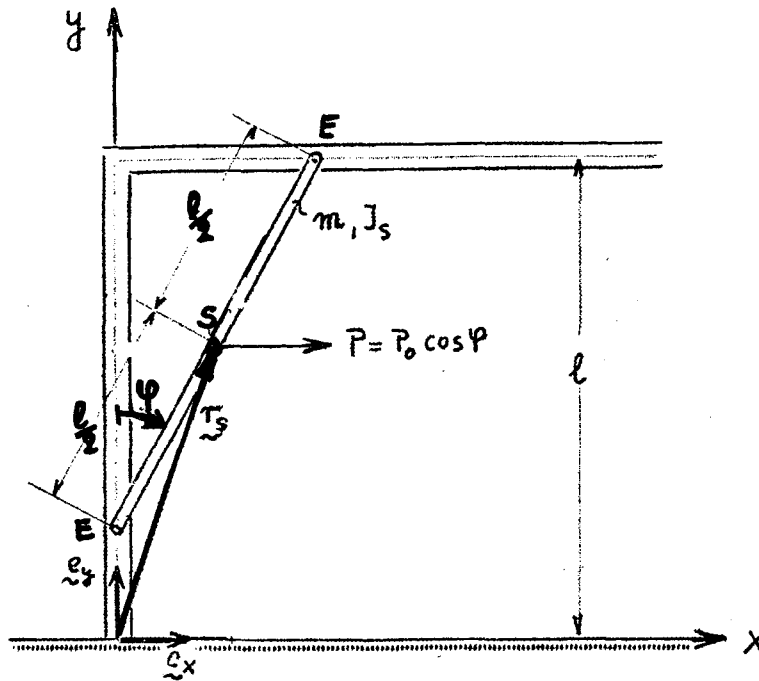
Das skizzierte System besteht aus 2 Kreisscheiben (Masse m , Radius r), einem Klotz (Masse m) und zwei undeformbaren Seilen, die stets Reibschluss mit den jeweiligen Scheiben haben (Haften). Die obere Scheibe wird durch das konstante Moment M_A angetrieben.

1. Man ermittle die kinematischen Beziehungen $\dot{y}(\dot{x})$, $\dot{\psi}(\dot{x})$ und $\dot{\phi}(\dot{x})$.
2. Man schneide die 3 Massen des Systems einzeln frei (Skizzen!), und trage alle Kräfte und Momente einschließlich der Trägheitswirkungen an.
3. Mit dem Prinzip von d'Alembert berechne man die Beschleunigung $\ddot{x}$ des Klotzes.



Lösung: 1. $\dot{y}(\dot{x}) = \frac{1}{2} \dot{x}$, $\dot{\psi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{2r}$, $\dot{\phi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{2r}$ 3. $\ddot{x} = \frac{M_A}{3mr} - g$

Aufgabe K-ASS 1



$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow d\varphi = \dot{\varphi} dt$$

Ein Garagentor mit der Masse m und der Drehmasse $J_S = \frac{1}{12} m l^2$ soll mit einer im Schwerpunkt S angreifenden, immer waagrecht bleibenden Kraft $P = P_0 \cos \varphi$ von $\varphi = 0$ an geöffnet werden. Die Enden E des Tores werden reibungsfrei vertikal bzw. horizontal geführt.

1. Für das eingezeichnete (x, y) -Achsenkreuz gebe man den Ortsvektor $\vec{r}_S$ zum Schwerpunkt S des Tores und daraus den Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}_S = \dot{\vec{r}}_S$ als Funktion von φ und $\dot{\varphi}$ an.
2. Man ermittle die kinetische Energie T des Tores in einer allgemeinen Lage.
3. Mit dem Arbeitssatz bestimme man die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ als Funktion von φ , wenn das Tor bei $\varphi = 0$ in Ruhe war.
4. Wie groß muß P_0 gewählt werden, damit das Tor die Stellung $\varphi = \frac{\pi}{2}$ mit der Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi} = 0$ erreicht?

Anmerkung: $\int_0^{\varphi} \cos^2 \varphi d\varphi = \frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{4} \sin 2\varphi$

Lösung: 2. $T = \frac{1}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2$

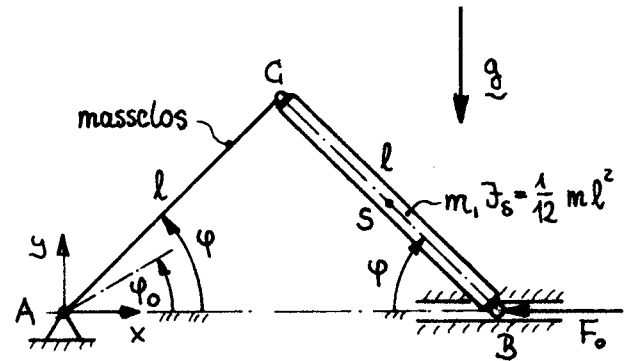
3. $W(\varphi) = \frac{P_0 l}{2} \left(\frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{4} \sin 2\varphi \right) + m g \frac{l}{2} (\cos \varphi - 1)$

4. $P_0 = \frac{4 m g}{\pi}$

Aufgabe K-ASS 2 (Abschlußklausur WS 98/99)

Der Stab BC (Länge l , Masse m) ist in B horizontal geführt und in C über die masselose Stange AC (Länge l) mit dem Drehpunkt A verbunden. Die in B angreifende Kraft F_0 sei konstant und bewege B nach links. Alle Vorgänge verlaufen reibungsfrei.

1. Im eingezeichneten x, y -Koordinatensystem bestimme man für eine allgemeine Lage φ die Ortsvektoren $\underline{r}_S$ und $\underline{r}_B$ und ermittle daraus $\dot{\underline{r}}_S$ und $\dot{\underline{r}}_B$.
2. Man ermittle die kinetische Energie T in allgemeiner Lage.
3. Mit dem Arbeitssatz bestimme man die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi)$, wenn das System bei φ_0 in Ruhe war.

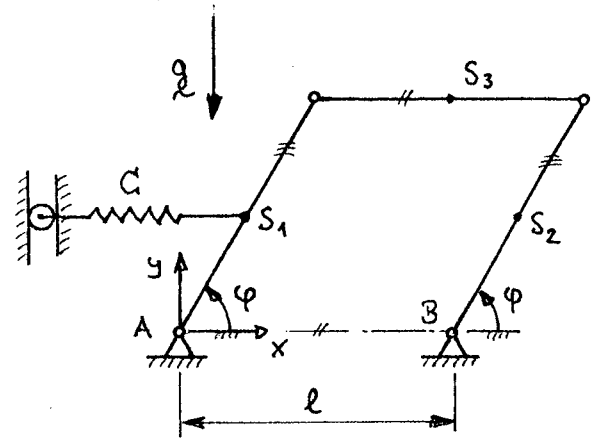


Lösung: 2. $T = \frac{1}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2 (1 + 6 \sin^2 \varphi);$

3. $\dot{\varphi}(\varphi) = \sqrt{\frac{1}{1 + 6 \sin^2 \varphi} \left[3 \frac{g}{l} (\sin \varphi_0 - \sin \varphi) + 12 \frac{F_0}{m l} (\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \right]}$

Aufgabe K-ESS 5 (Abschlussklausur WS 00/01)

Das skizzierte Parallelkurbelgetriebe besteht aus 3 Stäben gleicher Länge l und Masse m . Im Schwerpunkt S_1 des linken Stabes greife eine Feder C an, die stets horizontal wirkt und für $\varphi = \pi/2$ spannungslos ist. Das System setzt sich aus der Anfangslage $\varphi = \pi/2$ ohne Anfangsgeschwindigkeit in Bewegung.



1. Man ermittle die kinetische Energie T und die potentielle Energie V des Systems in allgemeiner Lage φ .
2. Mit dem Energiesatz berechne man die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi)$.
3. Wie groß muss die Federkonstante C gewählt werden, damit für die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}(\varphi=0)=0$ gilt?

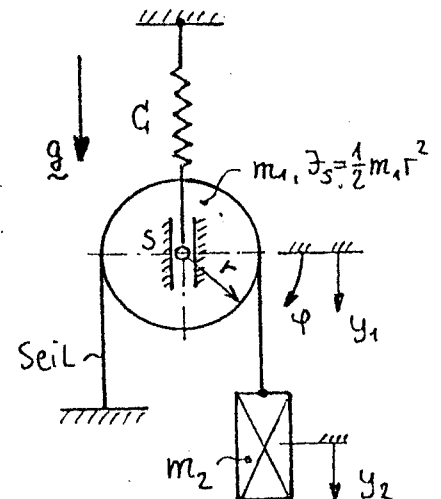
$$\mathcal{I}_{Si} = \frac{1}{12} m l^2, \quad m_i = m, \quad l_i = l \quad (i=1,2,3)$$

Lösung: 1. $T = \frac{5}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2$, $V = 2 m g l \sin \varphi + \frac{C l^2}{8} \cos^2 \varphi$ (W.N. in $y=0$)

$$2. \quad \dot{\varphi}(\varphi) = \sqrt{\frac{6}{5 m l} [2 m g (1 - \sin \varphi) - \frac{C l}{8} \cos^2 \varphi]} \quad 3. \quad C = \frac{16 m g}{l}$$

Aufgabe K-ESS 6 (Abschlussklausur SS 01)

Das skizzierte System besteht aus einer Walze der Masse m_1 und einer Punktmasse m_2 . Es wird aus der Anfangslage $y_1 = \varphi = y_2 = 0$ ohne Anfangsgeschwindigkeit losgelassen. Die Feder (Federkonstante C) ist für $y_1 = 0$ entspannt. Das undeformbare Seil habe stets Reibschluss mit der Walze (Haften, Abrollen Walze auf Seil).



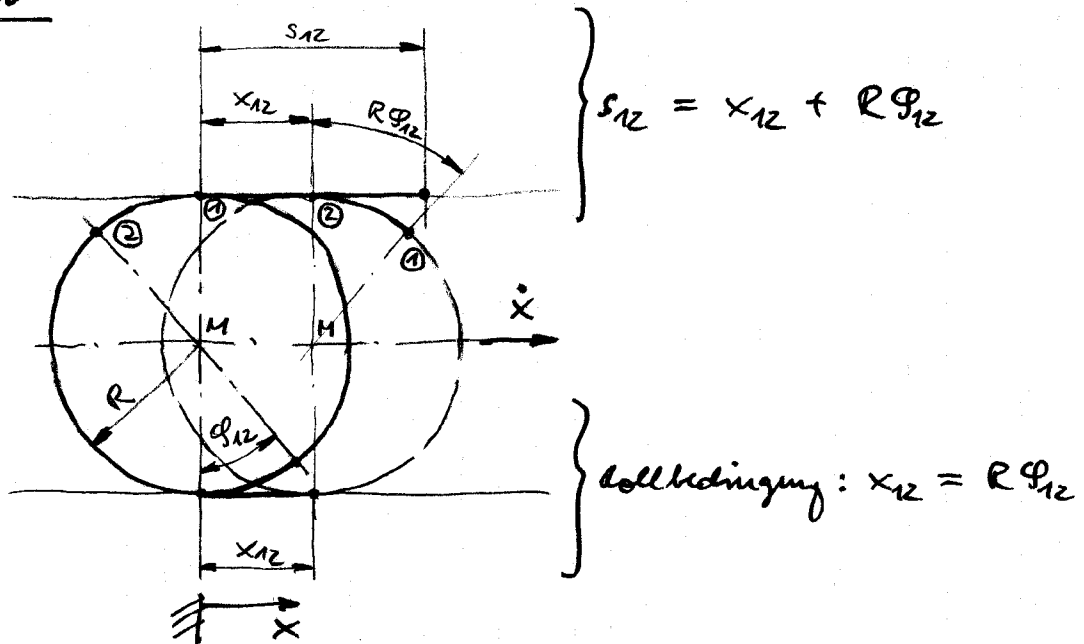
1. Man ermittle die kinematischen Zusammenhänge $\dot{\varphi}(\dot{y}_1)$ und $\dot{y}_2(\dot{y}_1)$.
2. Mit dem Energiesatz bestimme man die Bewegung $\dot{y}_1(y_1)$.
3. Wie groß muss C gewählt werden, damit das System die Lage $y_1 = 2r$ gerade noch erreicht?

Lösung: 1. $\dot{\varphi} = \dot{y}_1 / r$; $\dot{y}_2 = 2 \dot{y}_1$ 2. $\dot{y}_1 = \sqrt{\frac{(m_1 + 2 m_2) g y_1 - \frac{C}{2} y_1^2}{\frac{3}{4} m_1 + 2 m_2}}$

3. $C = \frac{g}{r} (m_1 + 2 m_2)$

K-DAS 10:

1)



$$\Rightarrow s_{12} = 2x_{12} = 2R\varphi_{12} \Rightarrow \underline{\underline{s = 2x = 2R\varphi}}$$

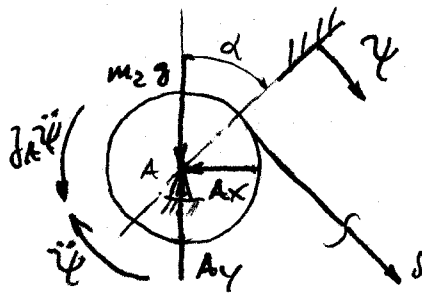
$$R = 2r \Rightarrow x = 2r\varphi = \varphi = \frac{x}{2r};$$

$$r = \text{const} \Rightarrow \underline{\underline{\dot{\varphi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{2r}; \quad \ddot{\varphi}(\ddot{x}) = \frac{\ddot{x}}{2r}}}$$

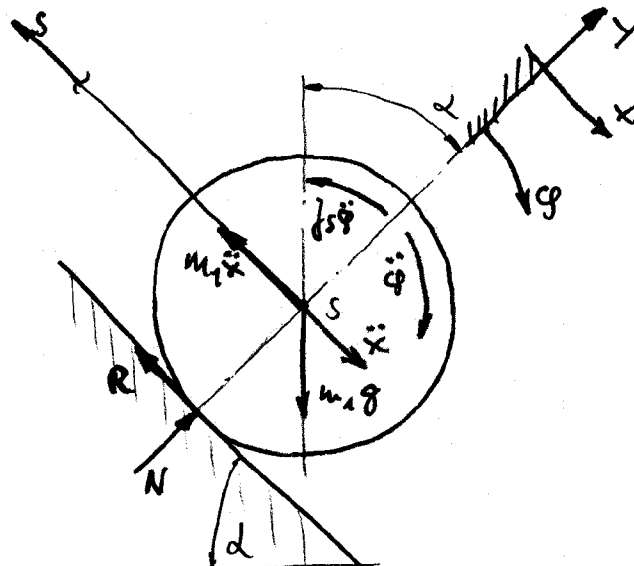
$$x = r\psi \Rightarrow \psi = \frac{x}{r};$$

$$r = \text{const} \Rightarrow \underline{\underline{\dot{\psi}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{r}; \quad \ddot{\psi}(\ddot{x}) = \frac{\ddot{x}}{r}}}$$

2) System 2:



System 1:



3) System 2:

$$\Sigma M_A = 0 = f_A \ddot{\psi} - S \cdot r \quad (0)$$

$$\Rightarrow S = \frac{f_A \ddot{\psi}}{r} \quad ; \quad f_A = \frac{1}{2} m_2 r^2$$

$$\Rightarrow S = \frac{m_2 r^2 \ddot{\psi}}{2r} = \underline{\underline{\frac{1}{2} m_2 r \ddot{\psi}}}$$

System 1:

$$\Sigma F_x = 0 = -S - m_1 \ddot{x} + m_1 g \sin \alpha - R \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0 = N - m_1 g \cos \alpha \quad (2)$$

$$\Sigma \vec{M}_O = 0 = -f_S \ddot{\varphi} + 2R \cdot r \quad (3)$$

$$\text{aus (3): } R = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_S \ddot{\varphi}}{r} \quad ; \quad f_S = 2m_1 r^2$$

$$\Rightarrow R = \frac{2m_1 r^2 \ddot{\varphi}}{2r} = \underline{\underline{m_1 r \ddot{\varphi}}}$$

(0) und (3) in (1):

$$0 = -\frac{1}{2} m_2 r \ddot{\psi} - m_1 \ddot{x} + m_1 g \sin \alpha - m_1 r \ddot{\varphi} ;$$

$$\ddot{\psi}(\ddot{x}) = \frac{\ddot{x}}{r} \quad ; \quad \ddot{\varphi}(\ddot{x}) = \frac{\ddot{x}}{2r}$$

$$\Rightarrow 0 = -\frac{1}{2} m_2 \cdot \ddot{x} - m_1 \ddot{x} + m_1 g \sin \alpha - \frac{1}{2} m_1 \ddot{x}$$

$$\Rightarrow 0 = \ddot{x} \left(-\frac{m_2}{2} - m_1 - \frac{m_1}{2} \right) + m_1 g \sin \alpha$$

$$\Rightarrow \ddot{x} \cdot \frac{3m_1 + m_2}{2} = m_1 g \sin \alpha$$

$$\Rightarrow \ddot{x} = \underline{\underline{\frac{2m_1 g \sin \alpha}{3m_1 + m_2}}}$$

K-DAS 17:

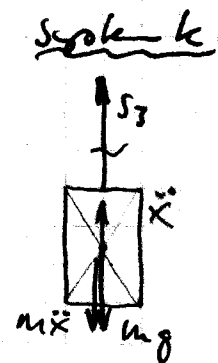
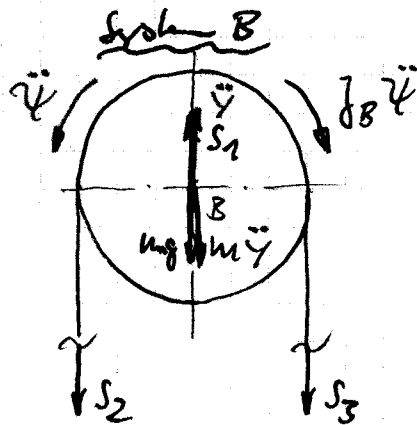
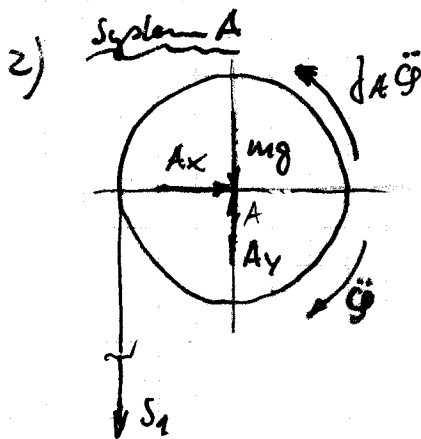
1) $x = y + r\psi; \quad y = r\psi$

$\Rightarrow x = 2y \Rightarrow y = \frac{x}{2} \Rightarrow \underline{\underline{\dot{y} = \frac{\dot{x}}{2}; \quad \ddot{y} = \frac{\ddot{x}}{2}}}$

$x = 2r\psi \Rightarrow \psi = \frac{x}{2r};$

$r = \text{const} \Rightarrow \underline{\underline{\dot{\psi} = \frac{\dot{x}}{2r}; \quad \ddot{\psi} = \frac{\ddot{x}}{2r}}}$

$y = r\varphi \Rightarrow \varphi = \frac{y}{r} = \frac{x}{2r} \Rightarrow \underline{\underline{\dot{\varphi} = \frac{\dot{x}}{2r}; \quad \ddot{\varphi} = \frac{\ddot{x}}{2r}}}$



3) System A:

$\underline{\underline{\sum \vec{F}_A = 0 = M_A - S_1 r - J_A \ddot{\varphi} \quad (1)}}$

$\Rightarrow S_1 = M_A - J_A \ddot{\varphi}; \quad J_A = \frac{1}{2} m r^2; \quad \ddot{\varphi} = \frac{\ddot{x}}{2r}$

$\Rightarrow S_1 = \frac{M_A}{r} - \frac{m r \ddot{x}}{2 \cdot 2r} = \underline{\underline{\frac{M_A}{r} - \frac{1}{4} m \ddot{x}}}$

System B:

$\underline{\underline{\sum F_y = 0 = S_1 - S_2 - mg - m\ddot{y} - S_3 \quad (2)}}$

$\underline{\underline{\sum \vec{M}_B = 0 = S_2 r - J_B \ddot{\psi} - S_3 r \quad (3)}}$

ans(3): $S_2 r = J_B \ddot{\psi} + S_3 r; \quad J_B = \frac{1}{2} m r^2; \quad \ddot{\psi} = \frac{\ddot{x}}{2r}$

$S_2 r = \frac{1}{4} m r \ddot{x} + S_3 r$

$\underline{\underline{S_2 = \frac{1}{4} m \ddot{x} + S_3}}$

$$(3) \text{ in } (2): 0 = S_1 - \frac{1}{4}m\ddot{x} - S_3 - mg - m\ddot{y} - S_3; \quad \ddot{y} = \frac{1}{2}\ddot{x}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{S_1 = \frac{3}{4}m\ddot{x} + 2S_3 + mg}}$$

$$(2) \text{ in } (1): \frac{MA}{r} - \frac{1}{4}m\ddot{x} = \frac{3}{4}m\ddot{x} + 2S_3 + mg$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{S_3 = \frac{MA}{2r} - \frac{1}{2}m\ddot{x} - \frac{1}{2}mg}}$$

System k:

$$\underline{\underline{\sum F_x = 0 = S_3 - m\ddot{x} - mg}} \quad (4)$$

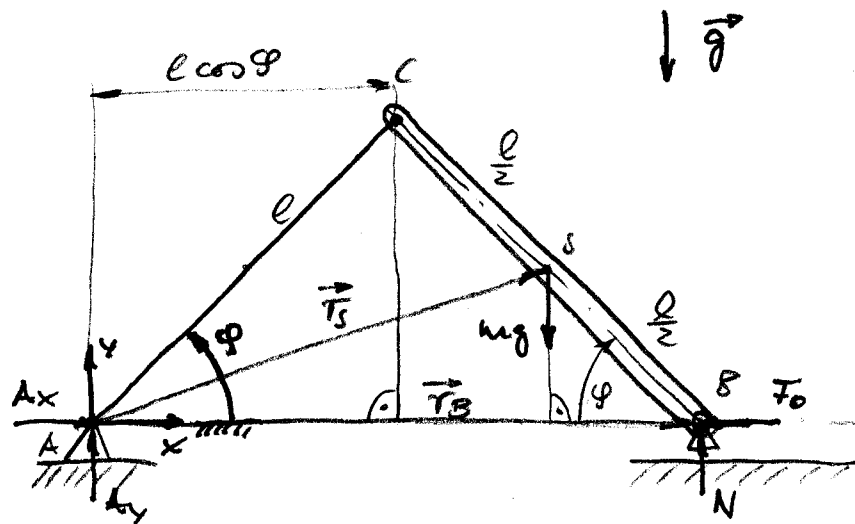
$$(1) \text{ in } (4): 0 = \frac{MA}{2r} - \frac{1}{2}m\ddot{x} - \frac{1}{2}mg - m\ddot{x} - mg$$

$$\Rightarrow \frac{3}{2}m\ddot{x} = \frac{MA}{2r} - \frac{3}{2}mg$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\ddot{x} = \frac{MA}{3mr} - g}}$$

K - ASS 2:

1)



$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} 2l \cos \varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \underline{\underline{2l \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ 0 \end{pmatrix}}}$$

$$\vec{r}_S = \begin{pmatrix} 2l \cos \varphi - \frac{l}{2} \cos \varphi \\ \frac{l}{2} \sin \varphi \end{pmatrix} = \underline{\underline{\frac{l}{2} \begin{pmatrix} 3 \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{pmatrix}}}$$

$$\Rightarrow \dot{\vec{r}}_S = \frac{l}{2} \begin{pmatrix} -3 \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{pmatrix} = \underline{\underline{\dot{\varphi} \frac{l}{2} \begin{pmatrix} -3 \sin \varphi \\ \cos \varphi \end{pmatrix}}}$$

$$\underline{\underline{\dot{\vec{r}}_B = 2 \dot{\varphi} l \begin{pmatrix} -\sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix}}}$$

$$2) \quad T = \frac{1}{2} m \dot{\vec{r}}_S^2 + \frac{1}{2} \int_S \dot{\varphi}^2; \quad \int_S = \frac{1}{12} m l^2$$

$$\dot{r}_S = |\dot{\vec{r}}_S| = \sqrt{\dot{\varphi}^2 \frac{l^2}{4} (9 \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi)}$$

$$\Rightarrow \dot{r}_S^2 = \dot{\varphi}^2 \cdot \frac{l^2}{4} (9 \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi) = \dot{\varphi}^2 \frac{l^2}{4} (8 \sin^2 \varphi + 1)$$

$$\Rightarrow T(\varphi, \dot{\varphi}) = \dot{\varphi}^2 m \frac{l^2}{8} (8 \sin^2 \varphi + 1) + \dot{\varphi}^2 m \frac{l^2}{24}$$

$$T(\varphi, \dot{\varphi}) = \dot{\varphi}^2 m \frac{l^2}{24} (24 \sin^2 \varphi + 4) = \underline{\underline{\frac{1}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2 (6 \sin^2 \varphi + 1)}}$$

$$3) \text{ AS: } W = T - T_0 ; \quad T_0 = T(\varphi = \varphi_0, \dot{\varphi} = 0) = 0$$

$$\Rightarrow W(\varphi) = T(\varphi)$$

$$W = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \begin{pmatrix} -F_0 \\ 0 \end{pmatrix} d\vec{r}_B + \int_{\varphi_0}^{\varphi} \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \end{pmatrix} d\vec{r}_S$$

$$\frac{d\vec{r}_B}{dt} = 2\ell \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ 0 \end{pmatrix} \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\Rightarrow d\vec{r}_B = 2\ell \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ 0 \end{pmatrix} d\varphi$$

$$\frac{d\vec{r}_S}{dt} = \frac{\ell}{2} \begin{pmatrix} -3\sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix} \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\Rightarrow d\vec{r}_S = \frac{\ell}{2} \begin{pmatrix} -3\sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix} d\varphi$$

$$\Rightarrow W(\varphi) = \int_{\varphi_0}^{\varphi} 2\ell \begin{pmatrix} F_0 \sin\tilde{\varphi} \\ 0 \end{pmatrix} d\tilde{\varphi} + \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{\ell}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \cos\tilde{\varphi} \end{pmatrix} d\tilde{\varphi}$$

$$W(\varphi) = \left[2\ell \begin{pmatrix} -F_0 \cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{\ell}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \sin\varphi \end{pmatrix} \right]_{\varphi_0}^{\varphi}$$

$$W(\varphi) = 2\ell \begin{pmatrix} F_0 (\cos\varphi_0 - \cos\varphi) \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{\ell}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ mg (2\ell\varphi_0 - 2\ell\varphi) \end{pmatrix}$$

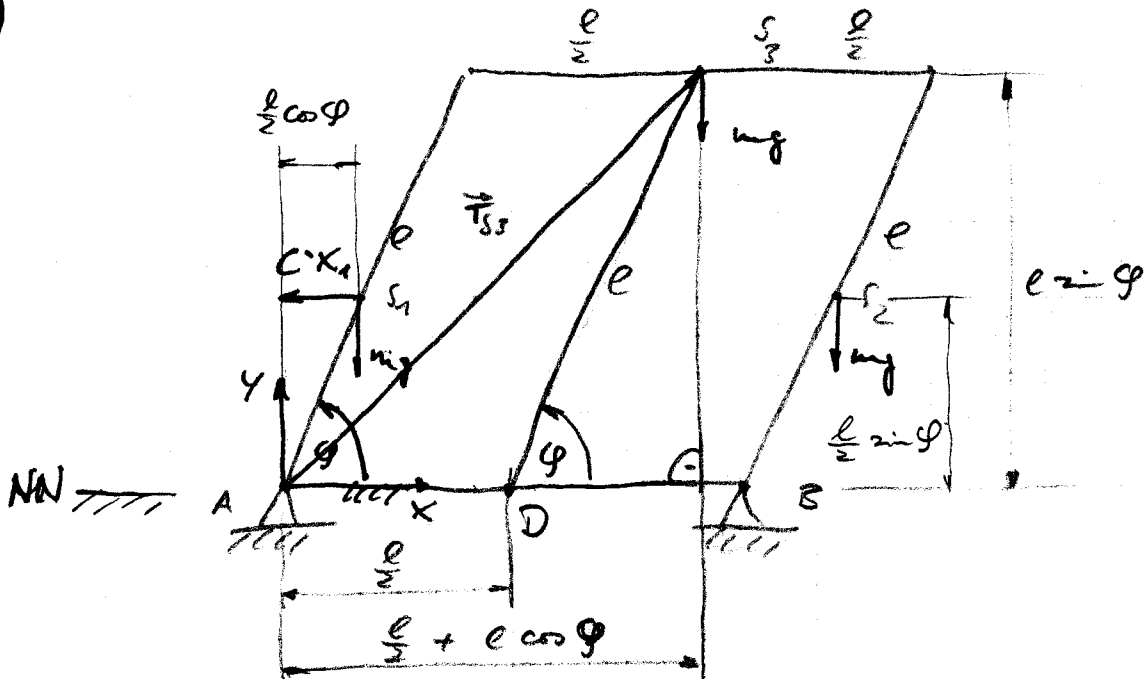
$$\Rightarrow W(\varphi) = 2F_0\ell (\cos\varphi_0 - \cos\varphi) + \frac{1}{2}mg\ell (2\ell\varphi_0 - 2\ell\varphi)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}m\ell^2\dot{\varphi}^2 (6\sin^2\varphi + 1) = 2F_0\ell (\cos\varphi_0 - \cos\varphi) + \frac{1}{2}mg\ell (2\ell\varphi_0 - 2\ell\varphi)$$

$$\Rightarrow \dot{\varphi}(\varphi) = \sqrt{\frac{12F_0 (\cos\varphi_0 - \cos\varphi) + 3mg (2\ell\varphi_0 - 2\ell\varphi)}{m\ell (6\sin^2\varphi + 1)}}$$

K-ESS5:

1)



$$J_A = J_B = J_S + m r_{SA}^2 = \frac{1}{12} m l^2 + \frac{1}{4} m l^2 = \frac{1}{3} m l^2$$

$$T = 2 \cdot \frac{1}{2} J_A \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m v_{S3}^2 ; \quad v_{S3} = l \dot{\varphi}$$

Rotation von S_3 um D

$$\Rightarrow T(\dot{\varphi}) = \frac{1}{3} m l^2 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m l^2 \dot{\varphi}^2 = \underline{\underline{\frac{5}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2}}$$

oder über $\vec{r}_{S3}$:

$$T = 2 \cdot \frac{1}{2} J_A \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m \dot{\vec{r}}_{S3}^2 ;$$

$$\vec{r}_S = l \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(1+2\cos\varphi) \\ \sin\varphi \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \dot{\vec{r}}_S = l \dot{\varphi} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \cdot (-2\sin\varphi) \\ \cos\varphi \end{pmatrix} = l \dot{\varphi} \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \dot{r}_S = l \dot{\varphi} \sqrt{\sin^2\varphi + \cos^2\varphi} = l \dot{\varphi}$$

$$\Rightarrow T(\dot{\varphi}) = \frac{1}{3} m l^2 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m l^2 \dot{\varphi}^2 = \underline{\underline{\frac{5}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2}}$$

$$V = \frac{1}{2} C x_1^2 + m g h_1 + m g h_2 + m g h_3 ;$$

$$x_1 = \frac{l}{2} \cos \varphi ; \quad h_1 = h_2 = \frac{l}{2} \sin \varphi ; \quad h_3 = l \sin \varphi$$

$$\Rightarrow V = C \frac{l^2}{8} \cos^2 \varphi + 2 m g \frac{l}{2} \sin \varphi + m g l \sin \varphi$$

$$\underline{\underline{V(\varphi) = \frac{C l^2}{8} \cos^2 \varphi + 2 m g l \sin \varphi}}$$

$$2) \text{ ES: } V_0 + T_0 = V + T$$

$$V_0 = V(\varphi = \frac{\pi}{2}) = \underline{\underline{2 m g l}}$$

$$T_0 = T(\varphi = \frac{\pi}{2}, \dot{\varphi} = 0) = \underline{\underline{0}}$$

$$\Rightarrow 2 m g l = \frac{C l^2}{8} \cos^2 \varphi + 2 m g l \sin \varphi + \frac{5}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2$$

$$\Rightarrow \frac{5}{6} m l^2 \dot{\varphi}^2 = \frac{6 \cdot 2 m g l (1 - \sin \varphi)}{5} - \frac{6 \cdot C l^2}{5 \cdot 8 m} \cos^2 \varphi$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\dot{\varphi} = \sqrt{\frac{12 g}{5 l} (1 - \sin \varphi) - \frac{3 C}{20 m} \cos^2 \varphi}}}$$

$$3) \dot{\varphi}(\varphi = 0) \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow 0 = \sqrt{\frac{12 g}{5 l} - \frac{3 C}{20 m}}$$

$$\Rightarrow \frac{3 C}{20 m} = \frac{12 g}{5 l}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{C = 40 \frac{m g l}{l}}}$$