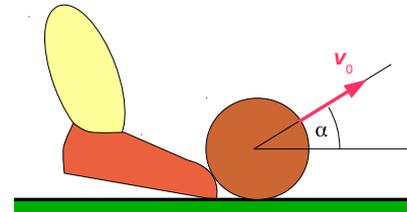


## 2.3 Impuls und Drall

### Aufgaben

#### Aufgabe 1

Der Fußball der Masse  $m$  wird so getreten, dass er den Boden mit der Geschwindigkeit  $v_0$  unter dem Winkel  $\alpha$  zur Horizontalen verlässt und im Abstand  $d$  wieder auf den Boden auftrifft.



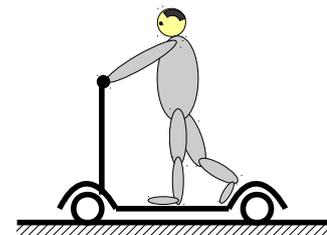
- Wie groß ist die Geschwindigkeit  $v_0$ ?
- Wie groß ist der Kraftstoß  $\hat{F}$ , den der Fuß auf den Ball ausübt?

Zahlenwerte:  $m = 200 \text{ g}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $d = 15 \text{ m}$

(Ergebnis:  $v_0 = 13,04 \text{ m/s}$ ,  $\hat{F} = 2,607 \text{ Ns}$ )

#### Aufgabe 2

Ein Kind der Masse  $m_K$  fährt auf einem Tretroller der Masse  $m_R$ . Es stößt sich in konstanten Zeitabständen  $\Delta t$  mit jeweils dem gleichen Kraftstoß  $\hat{F}$  vom Boden ab. Während des Rollens wirkt eine Rollreibungskraft, die proportional zur Normalkraft ist:  $R = \mu_R N$



Wie groß muss der Kraftstoß sein, damit die mittlere Geschwindigkeit konstant ist,

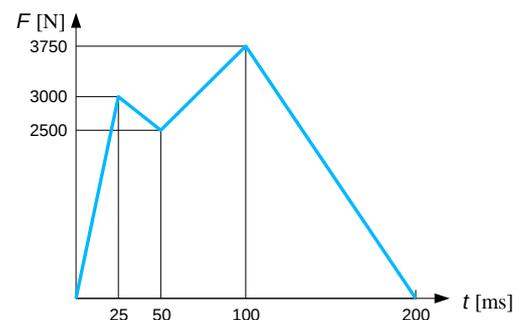
- wenn das Kind in der Ebene fährt,
- wenn das Kind eine Steigung von 5 % hinauf fährt?

Zahlenwerte:  $m_K = 25 \text{ kg}$ ,  $m_R = 2 \text{ kg}$ ,  $\mu_R = 0,1$ ,  $\Delta t = 3 \text{ s}$

(Ergebnis: a)  $\hat{F} = 79,46 \text{ Ns}$ , b)  $\hat{F} = 119,0 \text{ Ns}$ )

#### Aufgabe 3

Das abgebildete Diagramm zeigt den Verlauf der Kraft, die während des Auftretens vertikal auf den Schuh wirkt, als Funktion der Zeit. Wie groß ist der gesamte Kraftstoß  $\hat{F}$  wäh-



rend des Auftretens?

(Ergebnis:  $\hat{F} = 450 \text{ Ns}$ )

## Aufgabe 4

Das Raketenauto Opel RAK 2 wurde von 24 Feststoffraketen angetrieben. Jede Rakete hatte eine Brenndauer von 24 s, während der jeweils 5 kg Sprengstoff verbrannt wurde. Alle Raketen zusammen erzeugten eine Schubkraft von 4 kN. Die Masse des leeren Wagens betrug 560 kg.

- Welche Strahlgeschwindigkeit  $c_S$  ergibt sich, wenn von einem konstanten Massendurchsatz ausgegangen wird?
- Welche Geschwindigkeit  $v_E$  würde der Wagen erreichen, wenn sämtliche Widerstandskräfte vernachlässigt werden und für den Fahrer eine Masse von 80 kg angenommen wird?

(Ergebnis:  $c_S = 800 \text{ m/s}$ ;  $v_E = 495 \text{ km/h}$ )

(Die 1928 auf der AVUS tatsächlich erreichte Geschwindigkeit betrug 228 km/h.)

## Aufgabe 5

Die Trägerrakete Saturn V hatte beim Start eine Gesamtmasse von 2800 t. Die Treibstoffmasse der 1. Stufe betrug 2000 t. Die Brenndauer der 1. Stufe betrug 150 s bei einer Strahlgeschwindigkeit von 2500 m/s.

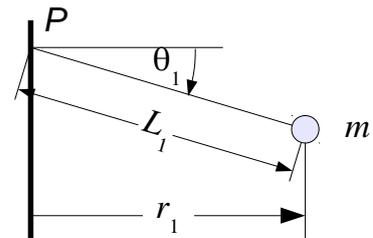
- Wie groß war die Schubkraft  $S$  der 1. Stufe?
- Wie lautet das Beschleunigungs-Zeit-Gesetz, das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz und das Ort-Zeit-Gesetz während der Brenndauer der 1. Stufe, wenn der Luftwiderstand und die Änderung der Erdanziehung mit der Höhe vernachlässigt werden?
- Welche Beschleunigung und welche Geschwindigkeit hat die Rakete nach 10 s? In welcher Höhe befindet sich die Rakete zu diesem Zeitpunkt?

(Ergebnis: a)  $S = 33330 \text{ kN}$ ; c) Werte nach 10 s:  $a = 2,687 \text{ m/s}^2$ ,  $v = 23,56 \text{ m/s}$ ,  $s = 111,5 \text{ m}$ )

## Aufgabe 6

Am Ende des masselosen Seils der Länge  $L_1$  befindet sich die Masse  $m$ . Sie bewegt sich mit der Bahngeschwindigkeit  $v_1$  auf einer Kreisbahn mit Radius  $r_1$  um den Pfosten  $P$ .

- a) Wie groß sind der Winkel  $\theta_1$ , der Radius  $r_1$ , die Seilkraft  $S_1$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_1$ ?
- b) Nun wird das Seil auf die Länge  $L_2$  verkürzt, so dass sich die Masse auf einer Kreisbahn mit Radius  $r_2$  um den Pfosten bewegt. Wie groß sind die Geschwindigkeit  $v_2$ , die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_2$ , der Winkel  $\theta_2$ , die Länge  $L_2$  und die Seilkraft  $S_2$ ?

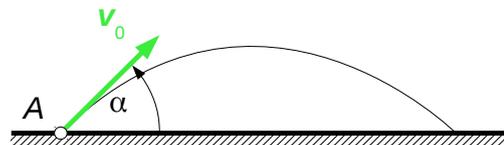


Zahlenwerte:  $v_1 = 5 \text{ m/s}$ ,  $L_1 = 1 \text{ m}$ ,  $r_2 = 0,5 \text{ m}$ ,  $m = 1 \text{ kg}$

(Ergebnis:  $\theta_1 = 20,21^\circ$ ,  $r_1 = 0,9384 \text{ m}$ ,  $S_1 = 28,39 \text{ N}$ ,  $\omega_1 = 5,328 \text{ s}^{-1}$ ;  $v_2 = 9,384 \text{ m/s}$ ,  $\omega_2 = 18,77 \text{ s}^{-1}$ ,  $\theta_2 = 3,188^\circ$ ,  $L_2 = 0,5008 \text{ m}$ ,  $S_2 = 176,4 \text{ N}$ )

### Aufgabe 7

Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Dralls bezüglich des Punktes A beim schiefen Wurf. Zeigen Sie, dass der Drallsatz erfüllt ist.



Hinweis: Verwenden Sie die vektorielle Form der Flugbahn.

### Aufgabe 8

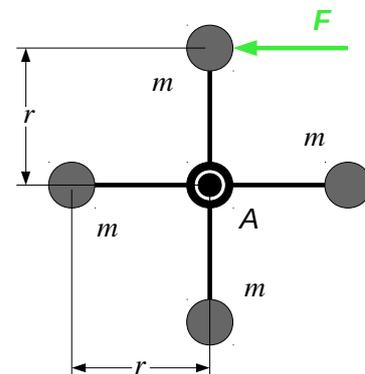
Die abgebildete Struktur besteht aus vier Punktmassen der Masse  $m$ , die durch starre masselose Balken verbunden sind. Die Struktur ist im Punkt A reibungsfrei gelenkig gelagert.

Auf eine der Massen wirkt die Kraft  $F$ , die stets senkrecht zum Balken gerichtet ist.

Wie groß ist die Winkelbeschleunigung  $\dot{\omega}$  ?

Zahlenwerte:  $m = 1 \text{ kg}$ ,  $r = 0,3 \text{ m}$ ,  $F = 90 \text{ N}$

(Ergebnis:  $\dot{\omega} = 75 \text{ s}^{-2}$ )



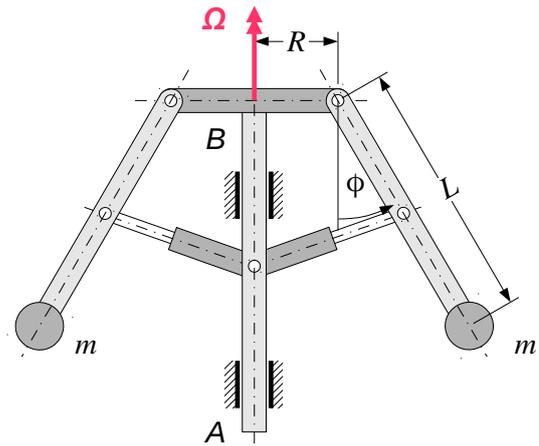
### Aufgabe 9

Der abgebildete Apparat rotiert zunächst mit der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega_0$  um die Achse AB. Dabei hat der Winkel  $\phi$  den Wert  $\phi_0$ . Dann werden die beiden Massen  $m$  mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit  $\omega_0$  nach außen ge-

schwenkt. Für den zeitlichen Verlauf des Winkels  $\phi$  gilt dabei  $\phi(t) = \phi_0 + \omega_0 t$ .

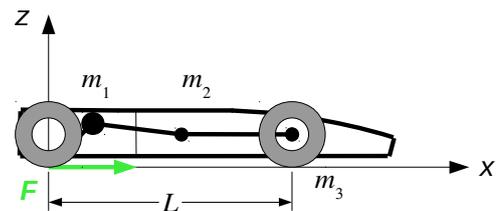
Welche Beziehung gilt für den zeitlichen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit  $\Omega(t)$ , wenn die Massen der Stäbe vernachlässigt werden?

(Ergebnis:  $\Omega(t) = \Omega_0 \left( \frac{R + L \sin(\phi_0)}{R + L \sin(\phi_0 + \omega_0 t)} \right)^2$ )



### Aufgabe 10

Das Ersatzmodell eines Rennwagens besteht aus drei starr miteinander verbundenen Punktmassen, die starr mit dem Radaufstandspunkt des Hinterrads verbunden sind. Die starren Verbindungen werden als masselos betrachtet.



Der Rennwagen wird durch eine an den Hinterrädern angreifende Kraft  $F$  beschleunigt.

- a) Wie groß ist die Beschleunigung  $a_x$  des Rennwagens?
- b) Wie groß sind die Vertikalkräfte an den Rädern?
- c) Wie groß muss der Haftungskoeffizient  $\mu_0$  zwischen Reifen und Fahrbahn mindestens sein, damit die Hinterräder nicht durchdrehen?

Zahlenwerte:  $L = 2 \text{ m}$ ,  $F = 1 \text{ kN}$

Massen:

	$m$	$x$	$z$
1	100	0,5	0,5
2	80	1,0	0,4
3	70	2,0	0,3
	kg	m	m

(Ergebnis:  $a_x = 4 \text{ m/s}^2$ ; Vertikalkräfte hinten: 1334 N, vorn: 1118 N;  $\mu_0 > 0,75$ )

### Aufgabe 11

Zwei starr miteinander verbundene Massen  $m_1$  und  $m_2$  werden in waagrech-

ter Lage aus der Ruhe fallen gelassen. Nach der Fallhöhe  $h$  prallt die Masse  $m_1$  auf eine Kante.

- Welche Geschwindigkeit  $v_S$  hat der Schwerpunkt unmittelbar vor dem Aufprall?
- Welche Geschwindigkeit  $v_2$  hat die Masse  $m_2$  unmittelbar, nachdem die Masse  $m_1$  auf die Kante aufgeprallt ist?

Zahlenwerte:  $m_1 = 2 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1 \text{ kg}$ ,  $h = 5 \text{ m}$

(Ergebnis:  $v_S = 9,90 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 9,90 \text{ m/s}$ )

