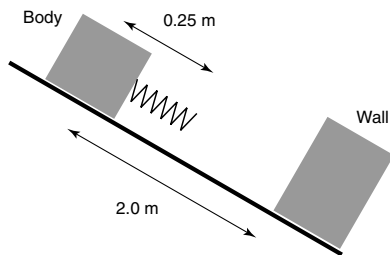
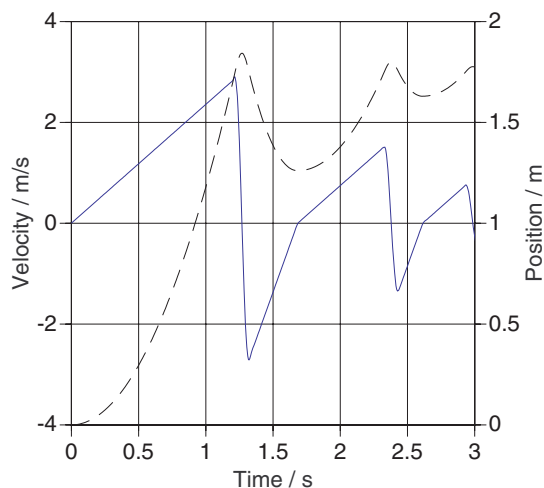


# PHYSICS EXAM

1. Ein Klotz mit einer Masse von 2.0 kg rutscht auf einer schiefen Ebene hinunter. Wir nehmen an, dass es zwischen ihm und der Unterlage zu Gleitreibung kommt, wobei der Gleitreibungskoeffizient 0.30 beträgt. Vorne am Klotz ist eine elastische Feder mit einer Federkonstante von 2000 N/m angebracht.

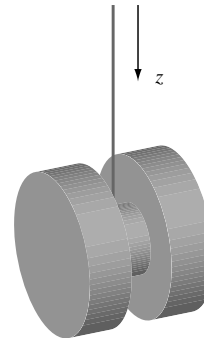


Der Klotz prallt unten auf eine Wand, wird zurückgeworfen, kommt wieder nach unten, usw. Im beiliegenden Diagramm sind die Position (dashed) und die Geschwindigkeit (solid) des Körpers dargestellt.



- Zeichnen Sie die auf den Körper wirkenden Kräfte ein, zuerst für die Situation vor dem ersten Aufprall, dann für die Situation während des Aufpralls (so lange sich der Klotz noch abwärts bewegt).
  - Lesen Sie die Beschleunigung vor dem Aufprall aus dem Diagramm?
  - Wie gross ist die Neigung der schiefen Ebene?
  - Wie gross ist der grösste Betrag der Beschleunigung?
  - Warum hat die Geschwindigkeitskurve bei 1.7 s und bei 2.6 s eine Knick?
2. Ein JoJo mit einer Masse von 1kg und einem Trägheitsmoment von  $0.0025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  rollt an einem auf der Achse (Radius 2.5 cm) aufgewickelten Faden mit einer

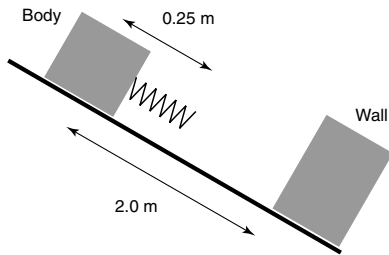
Länge von 1 m ab.



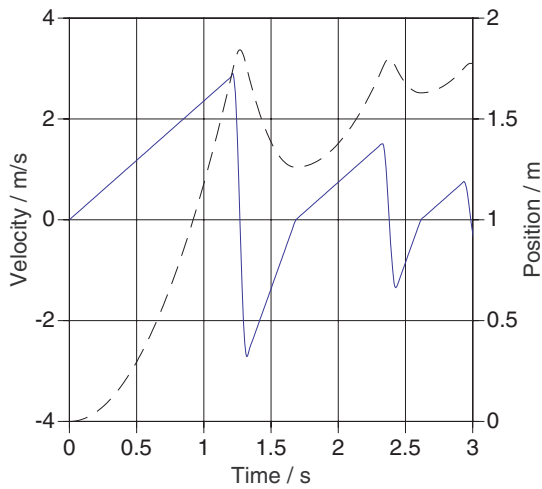
- Zeichnen Sie alle Kräfte und Momente am JoJo ein und schreiben Sie die Bilanzgleichungen für Impuls und Drehimpuls auf.
  - Berechnen Sie die Beschleunigung des Massenmittelpunktes.
  - Bestimmen Sie die Funktion  $z(t)$  während der ersten Abwärtsbewegung.
  - Skizzieren Sie möglichst genau das  $z-t$ -Diagramm für die Bewegung des MMP für etwa vier mal die Zeitspanne der ersten Abwärtsbewegung. Vernachlässigen Sie Reibung.
  - Wie gross ist die gesamte Energie des JoJos auf Grund seiner Bewegung, nachdem die Hälfte des Fadens abgewickelt ist?
3. Ein Velofahrer fährt eine Kreisbahn mit Radius 64 m mit einer Geschwindigkeit, die der Gleichung  $v = ct + d$  mit  $c = 1.0 \text{ m/s}^2$  und  $d = 4 \text{ m/s}$  gehorcht. Betrachten Sie den Zeitpunkt  $t = 4 \text{ s}$ . Die Masse von Velo und Person sei 50 kg.
- Bestimmen Sie die Beschleunigung der Person nach Betrag und Richtung.
  - Zeichnen Sie eine Skizze, in der die Person und die Fahrbahn von oben gesehen werden. Zeichnen Sie alle in der Horizontalen auf Velo und Person wirkenden Kräfte ein.
  - Wie gross ist die Kraft des Luftwiderstandes? Die Person habe eine Querschnittsfläche von  $1.0 \text{ m}^2$  und wie nehmen einen Widerstandsbeiwert von 1.0 an. Die Dichte der Luft sei  $1.0 \text{ kg/m}^3$ .
  - Wie gross muss die Haftreibungskraft des Bodens auf die Räder sein? Welche Richtung hat diese Kraft?
  - Wie gross muss der Haftreibungskoeffizient mindestens sein, damit die Reifen nicht rutschen?

# SOLUTIONS

1. Ein Klotz mit einer Masse von 2.0 kg rutscht auf einer schiefen Ebene hinunter. Wir nehmen an, dass es zwischen ihm und der Unterlage zu Gleitreibung kommt, wobei der Gleitreibungskoeffizient 0.30 beträgt. Vorne am Klotz ist eine elastische Feder mit einer Federkonstante von 2000 N/m angebracht.



Der Klotz prallt unten auf eine Wand, wird zurückgeworfen, kommt wieder nach unten, usw. Im beiliegenden Diagramm sind die Position (dashed) und die Geschwindigkeit (solid) des Körpers dargestellt.

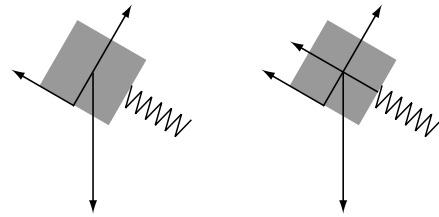


- Zeichnen Sie die auf den Körper wirkenden Kräfte ein, zuerst für die Situation vor dem ersten Aufprall, dann für die Situation während des Aufpralls (solange sich der Klotz noch abwärts bewegt).
- Lesen Sie die Beschleunigung vor dem Aufprall aus dem Diagramm.
- Wie gross ist die Neigung der schiefen Ebene?
- Wie gross ist der grösste Betrag der Beschleunigung?
- Warum hat die Geschwindigkeitskurve bei 1.7 s und bei 2.6 s einen Knick?

## SOLUTION

- a. Before the collision, we have the weight, normal force, and dynamic friction. During the collision, there also is the force of the spring upon the body.

The force of dynamic friction points upward as long as the body moves down.



- b. Take the slope of the velocity curve before the collision; we get  $2.35 \text{ m/s}^2$ .

- c. Balance of momentum in x- and y-directions:

$$ma_x = F_{Gx} + F_R$$

$$0 = F_N + F_{Gy}$$

Force laws:

$$F_{Gx} = mg \sin(\beta)$$

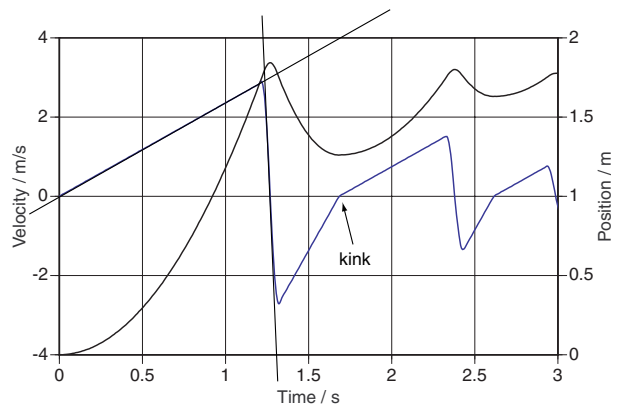
$$F_{Gy} = mg \cos(\beta)$$

$$|F_R| = \mu |F_N|$$

With  $a_x = 2.35 \text{ m/s}^2$  we get  $30^\circ$  for the slope of the incline.

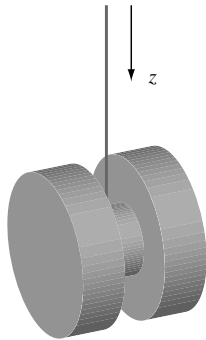
- d. Can be read from the graph at  $t = 1.25 \text{ s}$ :  $a_{max} = -100 \text{ m/s}^2$ .

[Second approach:  $F_{spring} = D \cdot \Delta x$ ,  $\Delta x = 0.096 \text{ m}$  (from  $x-t$  graph). Therefore:  $ma_x = -D \cdot \Delta x + mg \sin(\beta)$ , which yields  $a_x = -91 \text{ m/s}^2$ .]



e. Before the kinks, the block is moving upward, after the kinks it is moving down. That means that before the kinks the force of friction points down, afterwards it points up. First it points in the direction of  $F_{Gx}$ , afterwards it points in the opposite direction. Therefore, the acceleration is larger before the kinks.

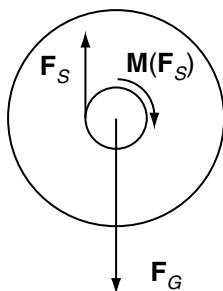
2. Ein JoJo mit einer Masse von 1kg und einem Trägheitsmoment von  $0.0025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  rollt an einem auf der Achse (Radius 2.5 cm) aufgewickelten Faden mit einer Länge von 1 m ab.



- Zeichnen Sie alle Kräfte und Momente am JoJo ein und schreiben Sie die Bilanzgleichungen für Impuls und Drehimpuls auf.
- Berechnen Sie die Beschleunigung des Massenmittelpunktes.
- Bestimmen Sie die Funktion  $z(t)$  während der ersten Abwärtsbewegung.
- Skizzieren Sie möglichst genau das  $z-t$ -Diagramm für die Bewegung des MMP für etwa vier mal die Zeitspanne der ersten Abwärtsbewegung. Vernachlässigen Sie Reibung.
- Wie gross ist die gesamte Energie des JoJos auf Grund seiner Bewegung, nachdem die Hälfte des Fadens abgewickelt ist?

### SOLUTION

a. The only force acting on the yoyo are those of gravity and of the string:



Laws of balance:

$$ma_{CM} = F_G + F_S$$

$$J\alpha = r_1 F_S$$

b. Special laws:

$$F_G = mg$$

$$a_{CM} = -r_1 \alpha$$

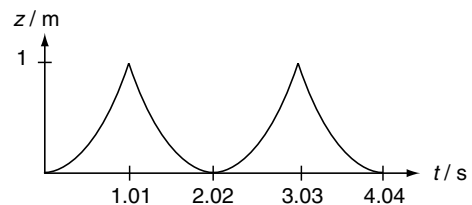
Therefore:

$$ma_{CM} = mg - \frac{J}{r_1^2} a_{CM} \Rightarrow a_{CM} = \frac{mg}{m + \frac{J}{r_1^2}} = 1.96 \text{ m/s}^2$$

c. Constant acceleration gives a quadratic function for  $z$ :

$$z(t) = \frac{1}{2} a_{CM} t^2$$

d.



e. The energy stored in the yoyo on the basis of its motion comes from the gravitational field. Therefore:

$$W_{yoyo} = -\Delta W_{field} = -(-1.0 \cdot 9.81 \cdot 0.5) \text{ J} = 4.9 \text{ J}$$

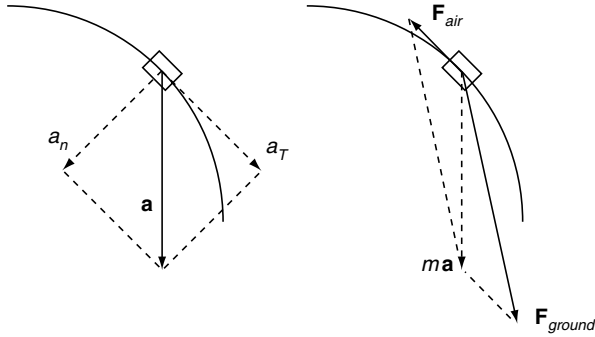
3. Ein Velofahrer fährt eine Kreisbahn mit Radius 64 m mit einer Geschwindigkeit, die der Gleichung  $v = ct + d$  mit  $c = 1.0 \text{ m/s}^2$  und  $d = 4 \text{ m/s}$  gehorcht. Betrachten Sie den Zeitpunkt  $t = 4 \text{ s}$ . Die Masse von Velo und Person sei 50 kg.

- Bestimmen Sie die Beschleunigung der Person nach Betrag und Richtung.
- Zeichnen Sie eine Skizze, in der die Person und die Fahrbahn von oben gesehen werden. Zeichnen Sie alle in der Horizontalen auf Velo und Person wirkenden Kräfte ein.
- Wie gross ist die Kraft des Luftwiderstandes? Die Person habe eine Querschnittsfläche von  $1.0 \text{ m}^2$ ; wir nehmen einen Widerstandsbeiwert von 1.0 an. Die Dichte der Luft sei  $1.0 \text{ kg/m}^3$ .
- Wie gross muss die Haftreibungskraft des Bodens auf die Räder sein? Welche Richtung hat diese Kraft? Wie gross muss der Haftreibungskoeffizient mindestens sein, damit die Reifen nicht rutschen?
- Wie gross ist die Rate, mit der Energie dissipiert wird?

SOLUTION

a. Kinematics:  $a_T = dv/dt = 1.0 \text{ m/s}^2$ ;  $a_n = v^2/R = 1.0 \text{ m/s}^2$ ;  $|a| = 1.41 \text{ m/s}^2$ . The direction is given in the following graph.

b.



c.

$$F_{air} = \frac{1}{2} c_w A \rho_{air} v^2 = 32 \text{ N}$$

d.

$$F_{ground}^2 = (ma)^2 + F_{air}^2 - 2maF_{air} \cos(135^\circ)$$

$$\Rightarrow F_{ground} = 96.0 \text{ N}$$

From

$$F_{ground} \leq \mu F_N$$

we get

$$\mu \geq 96.0 / (50 \cdot 9.81) = 0.20$$

e. Dissipation because of air resistance:

$$P_{diss} = v F_{air} = 8 \cdot 32 \text{ W} = 256 \text{ W}$$