

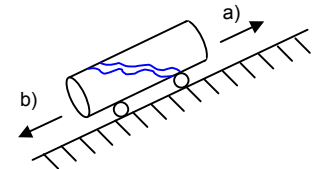
II. Dynamik von Punktmassen

10/2005-koh

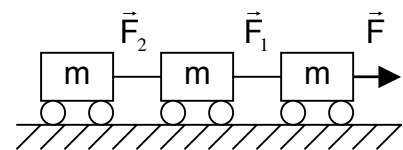
Kraftgesetze; Bewegungsgleichung

- Wie lautet das 2. Newton'sche Axiom?
Es wird nicht nur als Kraftgesetz, sondern auch als Grundgesetz der Dynamik, als Grundgesetz der Mechanik bezeichnet. Worin liegt die grundlegende Bedeutung?
- Misst eine Federwaage Kräfte oder Massen ?
 - Wie hängen Gewicht und träge Masse zusammen ?
 - Was vergleicht man bei einer Wägung mit einer Balkenwaage?
 - Mit welcher Kraft wird ein Mensch von 60 kg Gewicht von der Erde angezogen ?
 - Wo spürt er diese Kraft, wenn er steht ?
 - Ein Stein fällt infolge seiner Gewichtskraft nach unten. Wo greift die nach dem 3. Newtonschen Axiom zugehörige Gegenkraft an?

- Wie stellt sich der Wasserspiegel in einem Tankwagen ein, wenn der Wagen erschütterungsfrei eine schiefe Ebene
 - mit konstanter Geschwindigkeit hinauffährt
 - im Leerlauf reibungsfrei hinabrollt ?

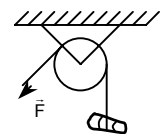


- Am Triebwagen eines aus drei Wagen von je $m = 15 \text{ t}$ Masse bestehenden Zuges wirke die Kraft $F = 45 \text{ kN}$. An jedem Wagen wirke ferner die Reibungskraft $F_R = 700 \text{ N}$. Wie groß ist die
 - Beschleunigung des Zuges?
 - Zugkraft F_1 zwischen den ersten beiden Wagen?
 - Zugkraft F_2 zwischen dem 2. und 3. Wagen?



(0,95 m/s²)
(30 kN)
(15 kN)

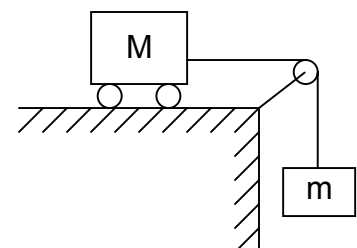
- Mit welcher Beschleunigung darf der Stein höchstens angehoben werden, wenn das Seil bei der 10-fachen Gewichtskraft reißt? (9 g)



- Eine konstante Kraft F wirke auf einen Körper mit dem Gewicht G .
 - In welcher Zeit vergrößert sich hierbei die Geschwindigkeit des Körpers auf den n -fachen Wert der Anfangsgeschwindigkeit v_0 , die der Körper in dem Augenblick hatte, als die Kraft auf ihn zu wirken begann, also $t = f(F, G, v_0, n)$?
 - Berechne t für $F = 10 \text{ N}$; $G = 9,81 \text{ N}$; $n = 11$; $v_0 = 10 \text{ m/s}$ (10 s)

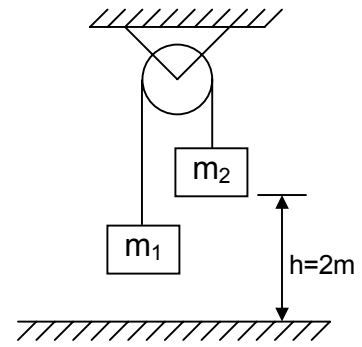
- Ein Teilchen der Masse $m = 0,4 \text{ kg}$ sei den beiden Kräften $F_1 = 2 \text{ N } e_x - 4 \text{ N } e_y$ und $F_2 = -2,6 \text{ N } e_x + 5 \text{ N } e_y$ ausgesetzt. Wo befindet sich das Teilchen nach $t = 2 \text{ s}$ und welche Geschwindigkeit hat es dann, wenn es im Ursprung aus der Ruhe heraus gestartet ist?((-3 m, 5 m);(-3 m/s, 5 m/s))

- Im Versuch der Vorlesung wird ein Wagen der Masse $M = 1 \text{ kg}$ reibungsfrei von einem Gewicht der Masse $m = 0,1 \text{ kg}$ auf einer Fahrbahn mit Rolle und Seil gemäß Skizze beschleunigt ($g = 10 \text{ m/s}^2$).
 - Wie lautet die Bewegungsgleichung?
 - Wie groß ist die Beschleunigung des Wagens?
 - Welche Seilkraft wirkt auf den rollenden Wagen? (8 N)
 - Wie groß ist die Seilkraft, wenn der Wagen festgehalten wird? (1 N)

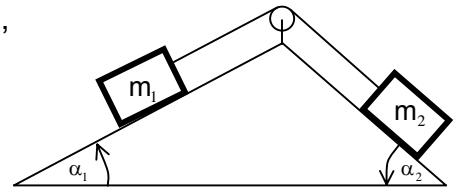


(1 N)

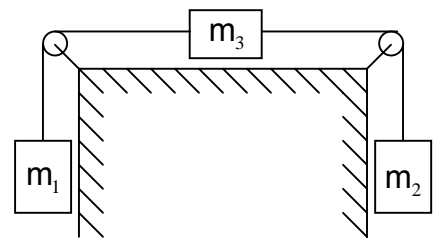
9. Zwei Körper der Masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ und $m_2 = 3 \text{ kg}$ sind über eine Schnur und Rolle miteinander verbunden. Im Lager der Rolle wirkt ein Rollenwiderstand $\mu = 0,1$.
- Welche Kraft ist erforderlich, um m_1 am Boden festzuhalten ($g = 10 \text{ m/s}^2$) ? (16 N)
 - Wie groß ist hierbei die Spannkraft im Seil ? (30 N)
 - Der Körper m_1 werde nun losgelassen. Nach welcher Zeit schlägt m_2 am Boden auf ? (1 s)
 - Wie groß ist hierbei die Spannkraft im Seil ? (14 N)



10. Zwei gleich schwere Körper der Masse $m_1 = m_2 = 10 \text{ kg}$, die über eine Schnur miteinander verbunden sind, gleiten auf schiefen Ebenen ($\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 44,5^\circ$) mit der Reibungszahl $\mu = 0,1012$. (Masse der Schnur und Rolle sind zu vernachlässigen; $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Stelle die Bewegungsgleichung für das System auf.
 - Nach welcher Strecke erreichen die Körper eine Geschwindigkeit von $v = 2 \text{ m/s}$? (10 m)
 - Wie groß ist die Zugkraft im Seil? (60,8 N)



11. Drei Massen $m_1 = 3 \text{ kg}$; $m_2 = 5 \text{ kg}$; $m_3 = 2 \text{ kg}$ seien über Rollen und Seile gemäß Skizze verbunden. (Die Masse m_3 gleite reibungsfrei; $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Stelle die Bewegungsgleichung auf.
 - Wie groß sind die Seilkräfte an m_1 , m_2 und m_3 , wenn m_3 festgehalten wird? (30 N; 50 N; 20 N)
 - Wie groß sind die Seilkräfte an m_1 , m_2 und m_3 , wenn sich das System frei bewegen kann? (36 N; 40 N, 4 N)




12. Ein Auto ($m_1 = 1,2 \text{ t}$) fährt mit $v = 72 \text{ km/h}$. Durch die Bremsen können die Räder nahezu blockiert werden. Sie haften mit $\mu_H = 0,8$ auf der Fahrbahn. Wie groß sind die maximale Bremsverzögerung und der kürzeste Bremsweg
- auf horizontaler Straße (7,85 m/s^2 ; 25,5 m)
 - auf horizontaler Straße mit einem Anhänger ($m_2 = 0,4 \text{ t}$; Fahrtwiderstand $\mu = 0,04$) ohne eigene Bremsen (6,0 m/s^2 ; 33,4 m)
 - auf einer 10%-igen Gefällstrecke mit Anhänger? (5,0 m/s^2 ; 40,2 m)

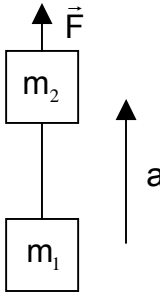
13. Eine Kette der Masse $m = 1 \text{ kg}$ und Länge $l = 1 \text{ m}$ liege gestreckt auf einer Tischplatte, wobei ein Teilstück der Länge x überhänge. Die Haftreibungszahl sei $\mu_H = 0,5$. Wie lang darf das Stück x höchstens sein, damit die Kette gerade noch auf dem Tisch liegen bleibt? ($x = \mu_H \cdot l / (1 + \mu_H) = 0,33 \text{ m}$)

14. Ein Körper der Masse $m = 2 \text{ kg}$ bewegt sich aus der Ruhe unter dem Einfluss der Kraft $F_x = b \cdot t$ mit $b = 20 \text{ N/s}$ auf einer Geraden. Berechne zum Zeitpunkt $t = 2 \text{ s}$ nach dem Start die Beschleunigung, Geschwindigkeit und den Ort. (20 m/s^2 ; 20 m/s ; 13,3 m)

15. Ein Fahrzeug der Masse 800 kg fährt auf horizontaler Fahrbahn mit $v_0 = 144 \text{ km/h}$. Nach dem Auskuppeln wird es durch den Luftwiderstand $F_L = k \cdot v^2$ mit $k = 0,8 \text{ kg/m}$ abgebremst. (Der Rollwiderstand wird vernachlässigt). Wie lange dauert es, bis das Fahrzeug auf 72 km/h abgebremst ist ? (25 s)

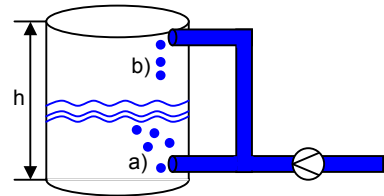
16. Ein Tankfahrzeug mit der Anfangsmasse $m_0 = 10 \text{ t}$, welches (nach Abzug aller Reibungs- und Fahrwiderstände) durch eine konstante Kraft $F_0 = 500 \text{ N}$ angetrieben wird und aus dem Stand startet, verliert stetig 15 kg Flüssigkeit pro Sekunde (Loch im Boden des Tanks).
- Welche Geschwindigkeit hat das Fahrzeug nach $t_1 = 5 \text{ min}$ Fahrt? (71,7 km/h)
 - Welche Geschwindigkeit wäre ohne Masseverlust erreicht worden? (54,0 km/h)
17. Eine Feder wird von einer Kraft $F_1 = 4,3 \text{ N}$ auf eine Länge $l_1 = 61,5 \text{ mm}$ und von einer zweiten Kraft $F_2 = 10 \text{ N}$ auf eine Länge $l_2 = 80,5 \text{ mm}$ gedehnt.
- Wie groß ist die Federkonstante D ? (0,3 N/mm)
 - Wie lang ist die Feder im unbelasteten Zustand l_0 ? (47,2 mm)
 - Welche Kraft dehnt die Feder auf eine Länge von 100 mm ? (15,8 N)
18. Eine Feder der Länge $l_1 = 15 \text{ cm}$ mit Federkonstante $D_1 = 2 \text{ N/cm}$ und eine zweite Feder der Länge $l_2 = 20 \text{ cm}$ mit Richtgröße $D_2 = 3 \text{ N/cm}$ werden aneinander gehängt und gedehnt, bis die Gesamtlänge beider Federn zusammen $l = 50 \text{ cm}$ beträgt.
- Welche Kraft ist dazu erforderlich? (18 N)
 - Wie weit ist dann der Verbindungspunkt beider Federn vom Befestigungspunkt der ersten Feder entfernt? (24 cm)
19. Eine Kraft F wirkt auf zwei Körper der Massen m_1 und m_2 , die durch eine masselose Feder (Federkonstante D) verbunden sind.
- 
- Welche Auslenkung $x = f(F, D, m_2/m_1)$ erfährt die Feder aus der Ruhelage?
 - Wie groß ist x für $F = 3 \text{ N}$; $D = 100 \text{ N/m}$; $m_2/m_1 = 2$? (1 cm)

Bezugssysteme, Trägheitskräfte, Relativitätstheorie

20. In einem plötzlich stark bremsenden Omnibus wird ein Fahrgast, der sich nicht festgehalten hatte, heftig nach vorn geschleudert. Wirkt auf diesen Fahrgast hierbei eine Trägheitskraft?
21. Wie groß ist die Kraft F , die ein Astronauten der Masse m in einem Raumschiff erfährt,
- beim Start mit der Beschleunigung a_1 an der Erdoberfläche
 - nach Brennschluss der Triebwerke in der Höhe h über der Erdoberfläche bei radialer Bewegungsrichtung
 - auf einer Kreisbahn in der Höhe h um die Erde
 - am gravitationsfreien Ort zwischen Erde und Mond bei abgeschalteten Triebwerken
 - am gleichen Ort, wenn die Triebwerke die Beschleunigung a_2 erzeugen?
22. Zwei Massen $m_1 = 4 \text{ kg}$ und $m_2 = 1 \text{ kg}$, die an Fäden übereinander aufgehängt sind, erhalten durch ruckartiges Ziehen am oberen Faden eine Aufwärtsbeschleunigung. Beide Fäden haben eine Reißfestigkeit von $F_0 = 60 \text{ N}$. ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- 
- Welcher der beiden Fäden reißt zuerst bei wachsender Beschleunigung und bei welcher Beschleunigung ist dies der Fall? (2 m/s^2)
 - Welche Festigkeit F_0' müsste der höher belastete Faden haben, damit beide Fäden gleichzeitig reißen? (75 N)

23. In einem Eisenbahnwagen ist eine Bleikugel an einem langen Faden aufgehängt. Welchen Winkel mit der Vertikalen wird der Faden in der Gleichgewichtslage des Pendels für die folgenden drei Fälle einschließen ?
- Während des Anfahrens: Die Beschleunigung sei geradlinig gleichmäßig mit einem Betrag, der nach Durchlaufen von 2 km aus dem Zustand der Ruhe eine Geschwindigkeit $v_0 = 72 \text{ km/h}$ liefert. (0,6°)
 - Während der Fahrt auf gerader Strecke mit der konstanten Geschwindigkeit $v_0 = 72 \text{ km/h}$.
 - Während des Durchfahrens einer Kurve mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit $v_0 = 72 \text{ km/h}$. Der Krümmungsradius der Kurve sei $r_0 = 1 \text{ km}$. (2,3°)
24. Ein Motorradfahrer fährt durch eine Kurve mit dem Krümmungsradius $r = 30 \text{ m}$, die nach außen $4,5^\circ$ überhöht ist. Die Haftreibung beträgt $\mu_H = 0,5$.
Mit welcher Maximalgeschwindigkeit kann er die Kurve durchfahren? (48 km/h)
Unter welchem Winkel muss sich der Motorradfahrer nach innen neigen? (31,1°)
25. Eine Flüssigkeit, die sich in einem zylindrischen Gefäß befindetet, wird in Rotation um die Zylinderachse versetzt. Die Flüssigkeitsoberfläche nimmt dadurch eine nach innen gewölbte rotationssymmetrische Form an.
Leite die mathematische Form des Oberflächenprofils her. ($y = (\omega^2/(2g))x^2$)
26. Ein Geschoss fliegt über ein Gebiet 45° nördlicher Breite mit der konstanten Relativgeschwindigkeit $v = 500 \text{ m/s}$ gegenüber der Erde in nördlicher Richtung.
Bestimme die seitliche Abweichung (Betrag, Richtung) des Geschosses infolge der Coriolis-Kraft für eine Flugstrecke von 30 km. (92,6 m)
27. In einem Synchrotron werden Protonen beschleunigt, treffen auf ein Target und erzeugen dadurch einen Strahl von π -Mesonen, die eine Geschwindigkeit von 80% der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c haben. Die mittlere Lebensdauer dieser instabilen Teilchen beträgt $2,60 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.
- Welche Strecke legen sie in dieser Zeit zurück? (10,39 m)
 - Wie viel Prozent ist die Masse der bewegten π -Mesonen größer als ihre Ruhemasse? (67 %)
28. Mit einem Raumschiff, das annähernd Lichtgeschwindigkeit erreicht, soll von der Erde aus eine Mission zum nächsten Fixstern α -Centauri, der 4,3 Lichtjahre (ly) entfernt ist, unternommen werden.
- Wie groß ist die (konstant angenommene) Geschwindigkeit des Raumschiffes, wenn die Flugdauer – gemessen mit den Borduhren der Raumfähre – 1,25 Jahre beträgt? (0,96 c)
 - Wie lange dauert der Flug im Zeitmaß der Erdenbewohner? (4,5 a)
29. Von den Zwillingenbrüdern A und B unternimmt B mit einem Raumschiff, das mit einer Dauerbeschleunigung von $a = 10 \text{ m/s}^2$ fliegt, eine nach seiner Uhr zwölfjährige Reise ins All. Die Gesamtstrecke für die Hin- und Rückreise besteht aus zwei Beschleunigungs- und ebenso langen Bremsabschnitten von je dreijähriger Dauer.
- Welche Geschwindigkeit erreicht das Raumschiff bis zum Ende der Beschleunigungsphase? (0,996 c)
 - Welcher Altersunterschied beträgt zwischen dem daheimgebliebenen Zwilling A und seinem Bruder B nach dessen Rückkehr zur Erde? (32,6 a)
 - Wie weit hat sich B von der Erde entfernt? (21,4 ly)

Arbeit, Energie, Leistung

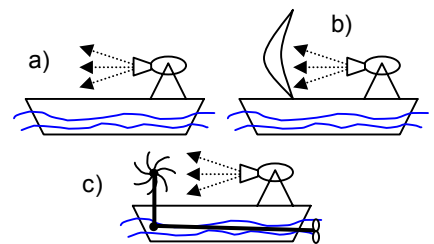


30. Ein zylindrischer Tank soll bis zur Höhe h mit Wasser gefüllt werden, und zwar, indem eine Pumpe das Wasser
- über ein Steigrohr von oben einströmen lässt
 - durch ein in Bodenhöhe einmündendes Rohr in den Behälter drückt.
- Hat die Pumpe gleich große Arbeit bei a) und b) zu verrichten?
Leite die Formel für die Arbeit jeweils her.
31. Ein energetischer Vergleich:
- Ein Bergsteiger der Masse $m = 90 \text{ kg}$ (Eigenmasse, Kleidung, Gepäck) steigt von Garmisch-Partenkirchen (707 m Meereshöhe) auf die 2969 Meter hohe Zugspitze. Die Wegstrecke beträgt 16 km.
- Welche Hubarbeit muss der Bergsteiger verrichten?
 - Auf dem Gipfel stärkt er sich mit einer warmen Suppe. Diese bereitet er durch Schmelzen von Schnee bei $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Schmelzenthalpie $\sigma_S = 334 \text{ kJ/kg}$), Erwärmen des Schmelzwassers ($c_w = 4,18 \text{ kJ/(kg K)}$) auf $80 \text{ }^\circ\text{C}$ und Trockenpulver auf einem Spiritusbrenner (Heizwert $H_u = 40 \text{ MJ/kg}$) zu.
Wie viel Liter Suppe muss er zubereiten, damit er dieselbe Energiemenge durch Nahrung aufnehmen kann wie er durch Hubarbeit verbraucht hat? (3 l)
Wie viel Liter Spiritus muss er zum Gipfel im Rucksack schleppen? (50 g)
 - Sein Freund und Technikfreak hat einen Solarkocher ($A = 0,5 \text{ m}^2$, $\eta = 10 \%$) mit zum Gipfel transportiert. Er hat Glück, denn die Sonne scheint bei wolkenlosem Himmel (Strahlungsleistung $P_S = 1.000 \text{ W/m}^2$).
Wie lange braucht er zur Zubereitung der Suppe? (11 h)
 - Der Bergsteiger kehrt ins Tal zurück. Nach der Physik könnte er die verrichtete Hubarbeit beim Abstieg zurückgewinnen. Stattdessen kommt er müde an.
Warum?
 - Auf welche Geschwindigkeit könnte er sein Auto ($m = 1000 \text{ kg}$) beschleunigen, wenn er die zum Bergsteigen verrichtete Hubarbeit in Bewegungsarbeit umwandeln könnte? (227 km/h)
 - Oder wie lange könnte er seine Eigentumswohnung ($A = 80 \text{ m}^2$) bei einem spezifischen Wärmeverbrauch von 50 W/m^2 im Winter damit beheizen? (8,3 min)
32. Ein Aufzug ($m = 2,0 \text{ t}$) soll aus der Ruhe nach oben gleichmäßig auf eine Geschwindigkeit von $v = 10 \text{ m/s}$ beschleunigt werden. Er erreicht die Höhe $h = 50 \text{ m}$. Die Reibung sei vernachlässigt.
Wie groß ist die aufzuwendende Arbeit? (1,08 MJ)
33. Ein Schlitten fährt einen Hang mit einem Neigungswinkel von 10° hinab und erreicht nach 40 m eine Geschwindigkeit von 10 m/s.
- Welcher Anteil der verlorenen potentiellen Energie wird dabei in kinetische Energie umgewandelt? (73 %)
 - Wie groß ist die Reibungszahl, wenn der Luftwiderstand vernachlässigt werden darf? (0,047)
34. Die Leistung einer Kaplan-turbine (Wasserturbine) beträgt $P = 11 \text{ kW}$. Wie viel Kubikmeter Wasser pro Sekunde werden bei einem nutzbaren Gefälle von $h = 8 \text{ m}$ bei einem Wirkungsgrad $\eta = 93\%$ der Turbine zugeführt? (151 m^3/s)

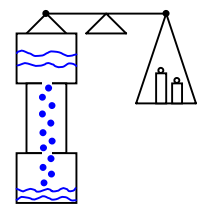
35. Ein Pkw der Masse $m = 1,3 \text{ t}$ fährt einmal auf waagerechter Strecke und einmal auf einer Steigung mit dem Winkel $\alpha = 4^\circ$ gegen die Waagrechte aus dem Stand an. In beiden Fällen wirke die gleiche Zugkraft $F = 3770 \text{ N}$ über $t = 3 \text{ s}$ lang. Berechne die
- Arbeit W , die in der Zeit t vom Motor auf der Ebene verrichtet wird (49 kJ)
 - Leistung P_W in kW und PS des Motors zur Zeit t auf der Ebene (33 kW; 45 PS)
 - Beschleunigung a_B , die bergauf erreicht wird (2,2 m/s²)
 - Leistung P_B des Motors zur Zeit t auf der Bergstrecke (25 kW; 34 PS).
36. Ein Fahrzeug beschleunigt gleichmäßig mit $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ von 0 auf $v_o = 108 \text{ km/h}$. Der Rollwiderstand beträgt $F_R = 300 \text{ N}$, der Luftwiderstand $F_L = k \cdot v^2$ mit $k = 0,5 \text{ kg/m}$.
- Welche Reibungsarbeit muss der Motor verrichten? (196,9 kJ)
 - Welche Leistung in kW besitzt das Fahrzeug, wenn es die Endgeschwindigkeit in 10 s erreicht? (19,8 kW)
 - Warum ist bei hohen Geschwindigkeiten nur der Luftwiderstand von Bedeutung?
37. Ein Formel-1 Rennwagen hat eine Leistung von $P = 676 \text{ kW}$ (rd. 919 PS). Er ist $m = 800 \text{ kg}$ schwer. Welche Endgeschwindigkeit in km/h könnte er nach $t = 10 \text{ s}$ erreichen bei
- gleichmäßiger Beschleunigung? (331 km/h)
 - konstant maximaler Leistung? (468 km/h)
 - konstant maximaler Leistung und bei Rollreibung $\mu_R = 0,05$?
 - konstant maximaler Leistung und bei Rollreibung $\mu_R = 0,05$ sowie Luftreibung gemäß $F_L = k \cdot v^2$ mit $k = 0,5 \text{ kg/m}$?

Impuls, Stoß

38. Ein Kahn soll mittels eines Blasebalgs angetrieben werden, wozu folgende 3 Vorschläge gemacht werden :
- Freier Luftstrom
 - Luftstrom trifft Segel
 - Luftstrom trifft Windkonverter, der eine Schiffsschraube antreibt.
- In welche Richtung bewegt sich jeweils der Kahn ?



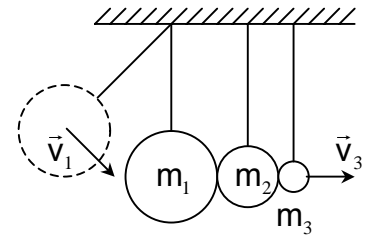
39. An einer im Gleichgewicht befindlichen Waage hängen links ein Gefäß mit Wasser und darunter ein leeres Gefäß. Wird im Boden des oberen Gefäßes ein Loch geöffnet, so fließt das Wasser in das untere Gefäß. Geht die Waage aus dem Gleichgewicht während des Auslaufens ?



40. Eine Person ($m = 75 \text{ kg}$), die mit einer Geschwindigkeit von 8 km/h läuft, holt einen Wagen ($m = 200 \text{ kg}$) ein, der mit einer Geschwindigkeit von $2,5 \text{ km/h}$ fährt, und springt auf ihn auf.
Mit welcher Geschwindigkeit wird sich der Wagen weiterbewegen? (4 km/h)
41. Ein Schiffer ($m_1 = 75 \text{ kg}$) springt horizontal vom Ufer ab in ein 50 cm tiefer und $1,50 \text{ m}$ vom Ufer entfernt liegendes Boot ($m_2 = 300 \text{ kg}$).
Mit welcher Geschwindigkeit treibt das Boot mit dem Schiffer vom Ufer ab? (0,94 m/s)
42. Ein Pkw ($m = 1.000 \text{ kg}$) bremst von der Geschwindigkeit $v_1 = 90 \text{ km/h}$ mit konstanter Kraft in $t = 7,5 \text{ s}$ auf die Geschwindigkeit auf $v_2 = 50 \text{ km/h}$ ab .
Wie groß ist die Bremskraft F ? (1,48 kN)

43. Eine Kugel stößt unter dem Winkel $\alpha = 45^\circ$ gegen eine starre ebene Wand. Der Stoß ist nicht vollkommen elastisch, vielmehr verliert die Kugel 20 Prozent ihrer kinetischen Energie; hierbei findet keine Reibung an der Wand statt. Unter welchem Winkel β zur Wandfläche wird die Kugel reflektiert? (38°)

44. Drei elastische Kugeln, deren Massen sich wie $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ verhalten, sind gemäß Skizze aufgehängt. Nach Abheben stößt die erste Kugel mit der Geschwindigkeit v_1 gegen die beiden anderen. Mit welcher Geschwindigkeit v_3 fliegt die letzte Kugel zur Seite? (16 * $v_1/9$)



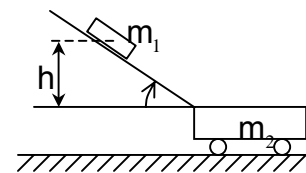
45. Beim Rangieren stößt ein Waggon der Masse $m_A = m$ mit der Geschwindigkeit v_0 auf zwei einzeln stehende Waggonen der Massen $m_B = \frac{1}{2} m$ und $m_C = \frac{3}{4} m$.
- a) Wie viele Zusammenstöße finden statt, wenn diese elastisch verlaufen? (3)
Mit welchen Geschwindigkeiten v_A , v_B und v_C bewegen sich die Waggonen nach dem letzten Zusammenstoß? ($v_A = -1/15v_0$; $v_B = 8/15v_0$; $v_C = 16/15v_0$)
- b) Wie ändert sich das Ergebnis, wenn die beiden stehenden Waggonen vertauscht werden? (2 Stöße; $v_A = 1/7v_0$; $v_B = 8/35v_0$; $v_C = 48/35v_0$)

46. Eine Rakete hat beim Start die Masse $m = 12,8$ t. Sie verbrennt je Sekunde gleichmäßig 125 kg Treibstoff und stößt die Verbrennungsgase mit einer Geschwindigkeit von $v_B = 2400$ m/s relativ zur Rakete aus. Die Brenndauer beträgt 70 s. Sie wird senkrecht nach oben geschossen.
- a) Welche Schubkraft hat die Rakete (300 kN)
b) Wie groß ist ihre Beschleunigung beim Start und bei Brennschluss? (13,6 m/s²; 64,3 m/s²)
c) Welche Endgeschwindigkeit und Höhe erreicht die Rakete? (9.942 km/h)

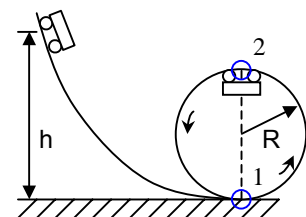
Erhaltungssätze

47. Welche Anfangsgeschwindigkeit v_0 hat ein senkrecht nach oben abgefeuertes Geschoss, wenn in der Höhe $h = 250$ m die kinetische und potentielle Energie gleich groß sind ($g = 10$ m/s²)? (100 m/s)

48. Ein Körper der Masse $m_1 = 1$ kg gleitet reibungsfrei aus der Höhe $h = 15$ m über eine schiefe Ebene mit Neigungswinkel $\alpha = 30^\circ$ auf einen stillstehenden Wagen der Masse $m_2 = 9$ kg ($g = 10$ m/s²). Welche Geschwindigkeit hat der Wagen, wenn der Körper auf ihn gefallen ist? (1,5 m/s)



49. Ein Wagen gleitet aus einer Höhe h reibungsfrei auf einer schiefen Ebene herab und vollführt danach auf der Innenseite einer kreisförmigen Schleifenbahn vom Radius R einen Looping.



- a) Welche Kraft wirkt auf die Insassen des Wagens in den Punkten 1 und 2, wenn $h = 3 R$ ist? (7 G; -G)
b) Welche Ausgangshöhe muss gewählt werden, damit der Wagen die Fahrt durch die Schleife gerade schafft, ohne den Kontakt mit der Fahrbahn zu verlieren? Wie groß ist dann die Kraft im Punkt 1? ($5/2 R$; 6 G)

50. Eine senkrecht stehende Feder wird von einer Kraft 120 N um 20 mm nach unten zusammengedrückt und dann von einem Bügel in dieser Lage festgehalten.
- Wie hoch wird der Bügel ($m = 60 \text{ g}$) senkrecht nach oben geschleudert, wenn seine Halteschraube bricht? (2,04 m)
 - Wie groß ist die Geschwindigkeit des Bügels im Augenblick des Abhebens von der Feder? (6,29 m/s)
51. Vom höchsten Punkt einer Kugel mit Radius r gleitet eine Punktmasse m reibungsfrei und löst sich an einer bestimmten Stelle von der Kugeloberfläche. Um welchen Höhenunterschied h liegt diese Stelle tiefer als der höchste Punkt? ($r/3$)
52. Ein Körper wird durch eine Explosion in zwei Teile $m_1 = 1 \text{ kg}$ und $m_2 = 3 \text{ kg}$ zerlegt. Die frei werdende Energie beträgt $E = 54 \text{ J}$. Berechne die Geschwindigkeit der zwei Teile, wenn das noch vereinigte System folgende Anfangsgeschwindigkeiten hatte:
- $v_0 = 0 \text{ m/s}$ (-9 m/s; 3 m/s)
 - $v_0 = 5 \text{ m/s}$.
53. Eine Ramme mit der Fallmasse $m_1 = 1500 \text{ kg}$ und Fallhöhe $h = 1,3 \text{ m}$ ramme einen Pfahl der Masse $m_2 = 200 \text{ kg}$ insgesamt $x = 18 \text{ mm}$ tief in den Boden. Berechne den Widerstand des Erdreiches (954 kN)
54. Mit einem Luftgewehr wird senkrecht in ein Brett ($m_1 = 100 \text{ g}$), das an zwei 2,0 m langen Fäden bifilar aufgehängt ist, geschossen. Das Geschoss ($m_2 = 1 \text{ g}$) bleibt im Brett stecken und lenkt es 30 cm weit aus.
- Wie groß ist die Geschwindigkeit des Geschosses? (67,1 m/s)
 - Welcher Bruchteil seiner kinetischen Energie wird beim Einschlag in Wärme umgewandelt? (99 %)
 - Das Brett wird durch eine Stahlplatte gleicher Masse ersetzt und das Geschoss mit einem Einfallswinkel von 60° auf die Stahlplatte geschossen. Das Geschoss prallt elastisch ab. Unter welchem Winkel prallt es ab und wie weit schlägt nun das Pendel aus? (60° ; 30 cm)
55. Bei der Verbrennung von 1 kg reiner Kohle ($\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$) wird eine Energie von 33,82 MJ frei. Bei der Spaltung eines U235-Kernes ($\text{U235} + \text{n} = \text{Kr89} + \text{Ba144} + 3\text{n}$) wird eine Energie von 191 MeV, bei der Fusion eines Deuterium-Kerns mit einem Tritium-Kern ($\text{D} + \text{T} = \text{He4} + \text{n}$) eine Energie von 17,6 MeV frei. (Avogadrokonstante $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ Teilchen/mol; $1 \text{ MeV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ MJ}$)
- Wie viel Energie kann man aus 1 kg U-235 gewinnen? (7,84 $\cdot 10^7$ MJ)
Wie groß ist der Massendefekt hierbei? (0,87 g)
 - Wie viel Energie wird bei der Fusion von 1 kg (D + T) frei? (67,9 $\cdot 10^7$ MJ)
 - Wie viel Energie würde man bei der vollständigen Zerstrahlung von 1 kg Materie gewinnen? ($9 \cdot 10^{10}$ MJ)
 - Welche Folgerungen rein energetischer Betrachtungsweise sind hieraus hinsichtlich einer Energieversorgung auf Basis von Kohle, Uran, Fusion oder Zerstrahlung zu ziehen?