Physik

Newtonsche Mechanik

Verortung

Die Verallgemeinerung der Beschreibung der Mechanik (gr. für Maschine, Kunstgriff, Wirkungsweise)/Bewegung von Körpern auf allgemeine mathematische Konzepte geht auf Isaac Newton (1642 – 1726) zurück, so dass die klassische Mechanik heute mit seinem Namen verbunden ist.
Da diese für unsere *makroskopische* (bei Staubkorn 10^{-7} m Effekte über 10^{-16} m) und *langsame* Welt ($v \ll c$; z.B. im Bereich Sport) gültig ist, aber auch die modernen Beschreibungen der Quantenmechanik bzw. der Relativitätstheorie in dem Bereich zu denselben Gleichungen führen, behält die klassische Mechanik ihre Berechtigung inkl. der Weltraumfahrt (nur außerhalb dieses Bereiches sind Korrekturen anzubringen, die QM und ART liefern).

Zur Mechanik gehören die SI-Basiseinheiten s, m, kg (d.h. die physikalischen Größen Zeit t, Strecke s und Masse m). Vom SI-Kapitel sollte neben der Tabelle der 7 Basiseinheiten und der Vorsilben im Gedächtnis bleiben, dass heute alle Basiseinheiten über physikalische Konstanten definiert sind, die man in beliebigen Laboratorien zur Eichung nutzen kann und lediglich die im Labor erreichte Messgenauigkeit als Fehler zu berücksichtigen ist. Auf Grund der Abhängigkeiten sind für eine Einheit ggf. mehrere Konstanten zu bestimmen, auch wenn insgesamt nur eine Konstante pro SI-Einheit nötig ist (Beispiel Meter: definiert über Lichtgeschwindigkeit c, und damit wiederum abhängig von der Frequenz-Konstante des Feinstrukturübergangs, über die die Sekunde definiert ist).

Newtonsche Axiome (1687) – *Dynamische Sicht*

1. Trägheitsprinzip:
Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, wenn keine resultierende Kraft auf diesen wirkt.
$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0}\,\text{N} \quad \Leftrightarrow$ Geschwindigkeit $\vec{v}$ ist in Betrag und Richtung konstant und somit ist die Beschleunigung: $\vec{a} = \frac{d}{dt}\vec{v} \equiv \dot{\vec{v}} = \vec{0}\ \text{m/s}^2$.

2. Aktionsprinzip:
Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt (d.h. $\dot{\vec{v}} \sim \vec{F}$).
$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Mit: F: Kraft, a: Beschleunigung, d.h. Änderung von v und damit der Bewegung,
m: Masse im Sinne der trägen Masse; diese Formulierung stammt von Leonhard Euler aus dem Jahre 1750.

3. Wechselwirkungsprinzip:
Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (*actio*), so wirkt eine gleich große, aber entgegen gerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (*reactio*).
$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$

4. Superpositionsprinzip:
Wirken auf einen Punkt (oder einen starren Körper) mehrere Kräfte $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$, so addieren sich diese vektoriell zu einer resultierenden Kraft $\vec{F}_{\text{res}}$ auf.
$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i$.

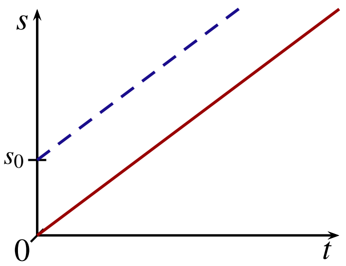
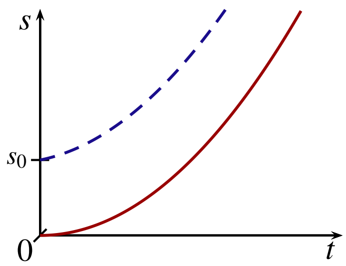
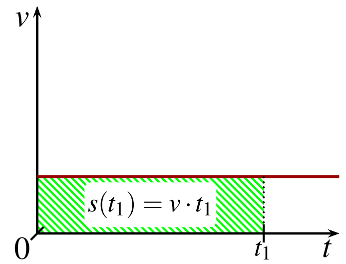
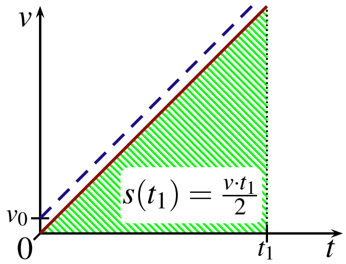
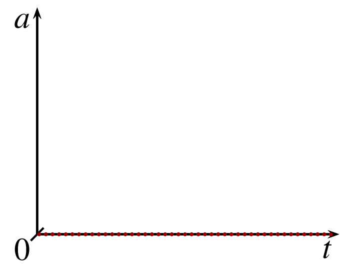
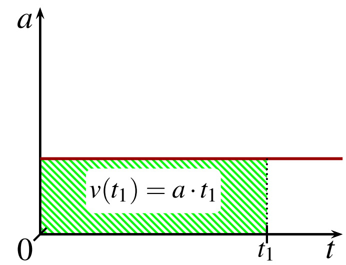
Masse – *Ladung der Gravitation & Ursprung der Trägheit*

Masse ist eine Eigenschaft des Körpers (gemessen z.B. mit einer Balkenwaage oder durch Anziehung einer bekannten Masse über Torsionsdraht) – im Gegensatz zum Gewicht (abhängig von Untergrunddichte, Zentrifugalkraft etc.; gemessen z.B. mit Federwaage; $F_G = m \cdot g$).

Masse hat zwei *Wirkungen*:
❶ Schwere – 'Ladung der Gravitation', nur Anziehung (ohne Abschirmmöglichkeit), keine Polung;
❷ Trägheit – Widerstand gegen einwirkende Kraft (nicht nur der gravischen); Bestreben des Verharrens in einer Bewegung.

Kinematik: Bewegungsformen

Die Kinematik beschäftigt sich mit den Bewegungen und deren mathematischer Beschreibung, ohne nach den Ursachen der Bewegungen zu fragen. Wir unterscheiden zwei einfache Bewegungsformen: die geradlinig gleichförmige Bewegung (v konstant; Beispiele: Eisstockschießen, Gleiter auf waagerechter Luftkissenbahn) sowie die gleichmäßig beschleunigte Bewegung (a konstant; z.B. freier Fall, Antrieb durch fallendes Gewicht mit Umlenkrolle):

Geradlinig gleichförmige Bewegung		Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	
$\vec{a}(t) \equiv \vec{a} = \dot{\vec{v}} \equiv \frac{d}{dt}\vec{v} = \ddot{\vec{s}} \equiv \frac{d^2}{dt^2}\vec{s} = \vec{0}\ \mathrm{m/s^2}$ $\vec{v}(t) \equiv \vec{v} = \dot{\vec{s}} \equiv \frac{d}{dt}\vec{s} = \vec{v}_0 = \overrightarrow{konst.} \neq \vec{0}\ \mathrm{m/s}$ $\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v}_0 \cdot t$; mit $s_0 = 0$ m: $t = s/v$		$\vec{a} = \vec{a}_0 = \overrightarrow{konst.} \neq \vec{0}\ \mathrm{m/s^2}$ $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}_0 \cdot t$ $\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a}_0 \cdot t^2$; für $s_0 = 0$ m und $v_0 = 0$ m/s: $t = \sqrt{2 \cdot s/a}$	
	$s = s_0 + v \cdot t$ $s = v \cdot t$		$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ $v = konst. \neq 0$ m/s Kreisbewegung $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$		$v = v_0 + a \cdot t$ $v = a \cdot t$ allgemein: $v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} =: \dot{s}$ (Ableitung/Steigung) $s = \int_{t_0}^{t_1} v\, \mathrm{d}t$ (Integral/Fläche)
	$a = 0\ \mathrm{m/s^2}$		$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ $a = konst. \neq 0\ \mathrm{m/s^2}$ allgemein: $a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} =: \dot{v} \equiv \ddot{s}$

Aufgaben zum freien Fall: [$g_{\mathrm{Erde}} \equiv g_{\oplus} = 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$; $g_{\mathrm{Mond}} = 1{,}62\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$; $g_{\mathrm{Mars}} = 3{,}69\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$; $g = g_{\mathrm{grav.}} + g_{\mathrm{zentrif.}}$; $g_{\mathrm{grav.}} = G \cdot \frac{M}{r^2}$ mit r: Distanz zum Schwerpunkt der Zentralmasse M]

1. Von der Spitze eines Turms lässt man einen Stein fallen. Nach 4,0 Sekunden sieht man ihn auf den Boden aufschlagen.
a) Wie hoch ist der Turm?
b) Mit welcher Geschwindigkeit trifft der Stein auf den Erdboden auf?
c) Nach welcher Zeit hat der Stein die Hälfte seines Fallweges zurückgelegt?
d) Welche Zeit braucht der Stein zum Durchfallen der letzten 20 m?

2. Ein frei fallender Körper passiert zwei 12 m untereinander liegende Messpunkte im zeitlichen Abstand von 1,0 s. Aus welcher Höhe über dem oberen Messpunkt fällt der Körper und welche Geschwindigkeit hat er in den beiden Punkten?

Energiebilanz – *Energetische Sicht*

0.) Energie:

Energie ist eine wesentliche physikalische Größe mit Einheit Joule, die Beschleunigung, Bewegung gegen eine Kraft, Zusammendrücken, Erwärmung, Stomfluss, el.-mag. Wellenabstrahlung oder Paarerzeugung bewirken kann.
Es gilt: $\underline{E} = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$; $[E] = \underline{\mathrm{J}} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = \underline{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2} = \mathrm{W} \cdot \mathrm{s} = \mathrm{V} \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{s}$.

1.) Energieerhaltungssatz (basiert auf Zeitinvarianz; Noether-Theorem: Symmetrie ↔ Erhaltungsgröße):

In einem abgeschlossenen System (d.h. ohne Energie-Zu- bzw. Abfluss) bleibt die Summe aller Energien konstant.
[In der Quantenmechanik (QM) bleibt der Erwartungswert der Energie erhalten; in der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) ist die Gesamtenergie des Universums nicht definierbar.]
Da die Energie eine Erhaltungsgröße ist (erstmals von Julius Robert von Mayer 1842 formuliert), kann Energie weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern nur zwischen unterschiedlichen Energieformen umgewandelt werden.
[Neben diesem wichtigsten Erhaltungssatz gibt es zudem noch die Erhaltung von Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ sowie von Drehimpuls $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ (ebenso el. Ladung, Baryonen- und Leptonenzahl).]

2.) Potentielle Energie:

Energie im Potential, d.h. einem Kraftfeld, so dass aus diesem Energie gewonnen werden kann.
Bei Gravitation spricht man von Lageenergie: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ (analog im el. Feld: $E_{\text{pot}} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{s}$);
bei einer eingedrückten Feder (elastische Verformung) von Spannenergie: $E_{\text{sp}} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$.

3.) Kinetische Energie:

Energie, die in der Bewegung steckt: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$.

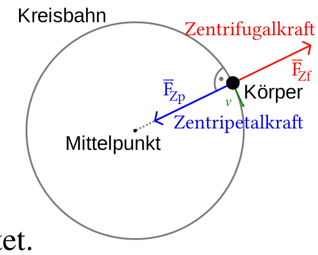
4.) Dissipative Energie:

Energie, die durch Reibungskräfte zumeist in Wärme (d.h. thermische Energie) umgewandelt wird: E_{dis}.
[Diese geht einem Experiment 'verloren' – wird meist vernachlässigt da schwer (mit Tabellenbüchern etc.) zu berechnen; erklärt aber das Ausschwingen eines schwingungsfähigen Systems.]

5.) Ruheenergie:

Ruheenergie (Energieschwelle zur Erzeugung von Teilchen und Antiteilchen [Paarerzeugung]): $E_{\text{Ruhe}} = m \cdot c^2$.
[In dieser Auflistung unberücksichtigt bleiben: chemische Energie, Kernenergie, Strahlungsenergie, etc.!]

Kreisbewegung



f: Frequenz = Anzahl Umläufe/Perioden pro Sekunde;
ω: Kreisfrequenz = Winkel im Bogenmaß pro Sekunde;
T: Umlaufdauer/Periodendauer in Sekunden; es gilt: $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r}$.
Die Zentripetalkraft F_{Zp}, ist vom umlaufenden Körper zum Zentrum der Kreisbahn gerichtet – sie wird im ruhenden Bezugssystem (*Inertialsystem*) beobachtet.
Die Zentrifugalkraft, F_{Zf}, ist vom umlaufenden Körper vom Zentrum weggerichtet – sie wird im mitbewegten Bezugssystem wahrgenommen und als Trägheitskraft (oder unpassend als *Scheinkraft*) bezeichnet.
Es gilt: $\vec{F}_{\text{Zf}} = -\vec{F}_{\text{Zp}}$; $F_{\text{Zf}} = m \cdot v^2/r = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot r/T^2$.

Gravitation

Die Gravitation (von lat. *gravis* – schwer; auch Massenanziehung oder Gravitationskraft genannt) ist die schwächste der Wechselwirkungen, die aber auf großen Skalen (Astronomie) dominiert, da sie unendliche Reichweite besitzt, nicht abgeschirmt werden kann und nur eine Form von Ladungen kennt: die Masse (s.o.), so dass sie nur anziehend wirkt ('verklumpt'; gravischer Kollaps, Akkretionsscheiben, Voids/Walls etc.).
Es gilt: $F_G = G \cdot m_1 \cdot m_2/r^2$ mit $G \approx 6{,}674 \cdot 10^{-11}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2}$ und $g_{G\oplus} = G \cdot m_\oplus / r_\oplus^2 \approx 9{,}798\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Die Keplerschen Gesetze:

❶ Die Planeten bewegen sich auf (gestörten) elliptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne (☉, bzw. der Schwerpunkt [SP] des Sonnensystems) steht ('stetes Fallen um SP').
❷ Ein von der Sonne zum Planeten gezogener Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen: $\Delta A/\Delta t = konst.$
❸ Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben (dritten Potenzen) der großen Halbachsen der Ellipse: $a_i^3/T_i^2 = konst.$

Literatur/Quellen:

(1) Lehrbuch Physik, Duden, 2. Ausgabe, 2011, ISBN 978-3-8355-3311-0;
(2) Physik Oberstufe, Cornelsen, 1. Aufl., 2008, ISBN 978-3-06-013006-1;
(3) Metzler Physik, Einführungsphase (NRW), Schroedel, Druck A³/2016, ISBN 978-3-507-17010-0;
(4) https://de.wikipedia.org/.