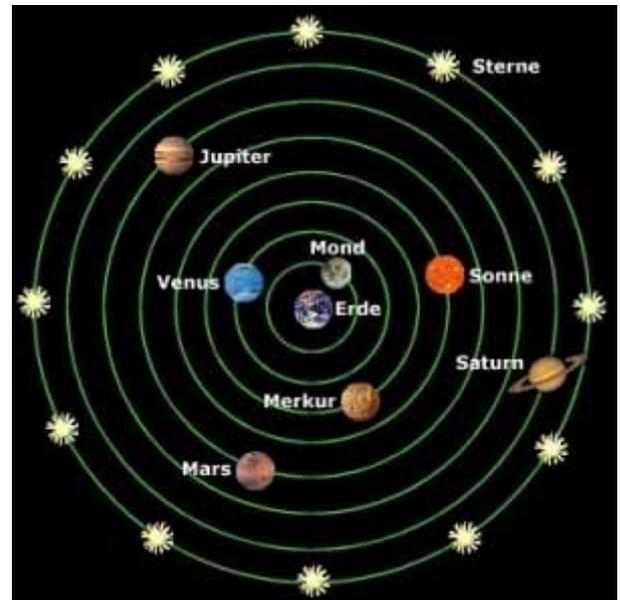


## I. Astronomische Weltbilder

### 1. Geozentrisches Weltbild

Wichtige Eigenschaften nach Ptolemäus 100-160:

- Die Erde ist der Mittelpunkt der Welt
- Das kugelförmige Himmelsgewölbe dreht sich mit den daran befestigten Sternen von Osten nach Westen täglich einmal mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um die Erde.
- Sonne, Mond und die Planeten machen die tägliche Drehung von Ost nach West mit, sie führen aber außerdem noch weitere komplizierte Bewegungen aus (Epizykeltheorie).
- Die Sonne umkreist die Erde in einem Jahr.



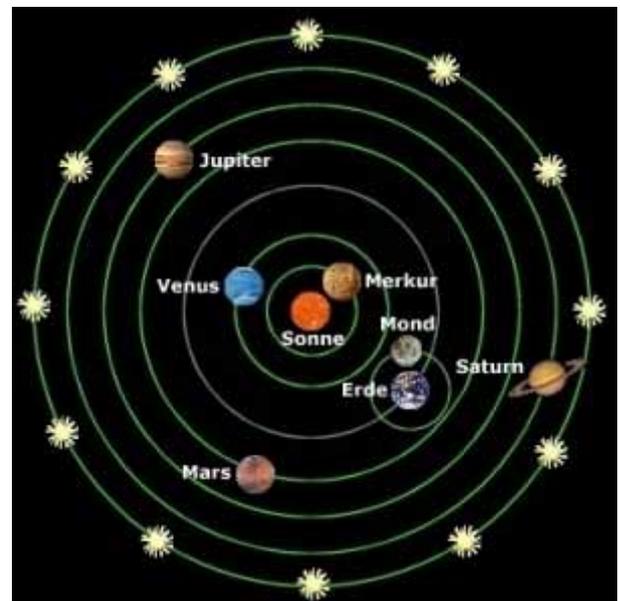
(Abbildung aus Leifi)

### 2. Heliozentrisches Weltbild

Genauere Beobachtungen führten zur Entwicklung des heliozentrischen Weltbildes (z.B. Kopernikus 1473-1543).

Wichtige Eigenschaften:

- Die Sonne steht im Mittelpunkt der Welt.
- Die Fixsternsphäre ist fest. Die Fixsterne ruhen in sehr großer Entfernung.
- Die Erde ist ein Planet, der einmal im Jahr um die Sonne läuft
- Alle Planeten bewegen sich nahezu in einer gemeinsamen Ebene, der Ekliptik.



(Abbildung aus Leifi)

Merkregel für die Reihenfolge der Planeten:

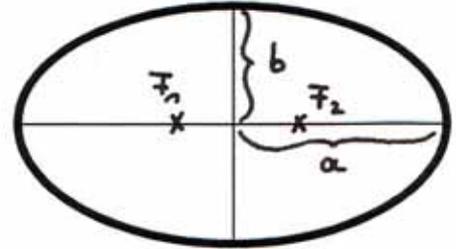
**M**ein **V**ater **E**rklärt **M**ir **J**eden **S**onntag **U**nseren **N**achthimmel.

### 3. Keplersche Gesetze

Durch genaue Interpretation von Beobachtungsdaten fand Kepler (1571-1630) die drei nach ihm benannten Gesetze:

#### 1. Keplersches Gesetz

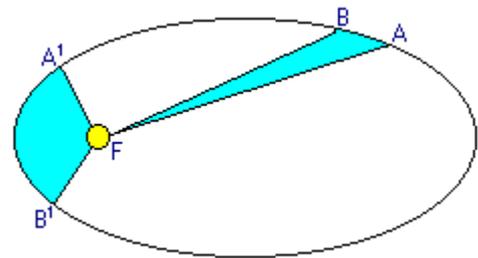
Alle Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen. In einem gemeinsamen Brennpunkt steht die Sonne.



$F_1, F_2$  Brennpunkte  
 $a$ : große Halbachse  
 $b$ : kleine Halbachse

#### 2. Keplersches Gesetz

Die Verbindungslinie zwischen Zentralgestirn und Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.



#### 3. Keplersches Gesetz

Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \quad T_1, T_2 \text{ Umlaufzeiten; } a_1, a_2 \text{ große Halbachsen}$$

Die Keplerschen Gesetze gelten auch für den allgemeinen Fall der Bewegung von Himmelskörpern (Monde, Satelliten) um ein Zentralgestirn.

### 4. Moderne Kosmologie

Vor etwa 15 Milliarden Jahren explodierte sehr heiße und dichte Materie im sogenannten Urknall. Durch die Gravitation bildeten sich Materieansammlungen und es entstanden die Sterne. Sie sind in Sternsystemen, den sogenannten Galaxien angeordnet. Die Galaxien sind frei im Raum verteilt und führen eine spezielle Form der Expansionsbewegung aus.

Die Galaxie, in der sich die Erde befindet ist die Milchstrasse.

## II. Die Mechanik Newtons

### 1. Newtonsche Gesetze

#### I. Newtonsches Gesetz (Trägheitssatz)

Ein Körper bleibt in Ruhe oder in gleichförmiger, geradliniger Bewegung, solange die Summe der auf ihn wirkenden Kräfte Null ist.

#### II. Newtonsches Gesetz (Grundgesetz der Mechanik)

Wirkt auf einen Körper der Masse  $m$  die Kraft  $F$ , so erfährt er die Beschleunigung  $a$ .  $\boxed{F=m \cdot a}$

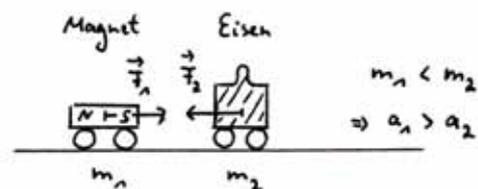
#### III. Newtonsches Gesetz (Wechselwirkungsgesetz bzw. actio gegen gleich reactio)

Wirken zwei Körper aufeinander ein, so wirkt auf jeden Körper eine Kraft. Die Kräfte sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet.

$$\boxed{\vec{F}_1 = -\vec{F}_2}$$

#### Beispiel:

Ein Magnet auf einem Wägelchen zieht mit der Kraft  $\vec{F}_2$  das Eisen auf dem zweiten Wägelchen an. Gleichzeitig wird der Magnet von dem Eisen mit der Kraft  $\vec{F}_1$  angezogen. Wegen des Wechselwirkungsgesetzes sind die beschleunigenden Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  gleich groß. Wegen  $a=F/m$  wird die Beschleunigung des Wägelchens mit der größeren Masse geringer sein.



### 2. Bewegungsgleichungen für gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$v = a \cdot t$$

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

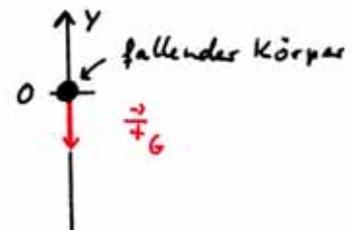
a Beschleunigung  
v Geschwindigkeit  
s Weg  
t Zeit

### 3. Eindimensionale Bewegungen

#### a) Konstante beschleunigende Kraft

##### Beispiel freier Fall:

Die beschleunigende Kraft ist die konstante Gewichtskraft. Wegen Newton II ist die Beschleunigung ebenfalls konstant und es gelten die Bewegungsgleichungen für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung.



$$v = -g \cdot t$$

$$y = -\frac{g}{2} \cdot t^2$$

$$y = -\frac{v^2}{2g}$$

$$g = 9,81 \frac{N}{kg} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

## b) Nicht konstante beschleunigende Kraft

Ist die beschleunigende Kraft nicht konstant, so kann die Bewegung mit der  **Methode der kleinen Schritte**  mathematisch beschrieben werden. Kennt man die wirkende Kraft, so nimmt man ein kleines Zeitintervall. Die Kraft kann in diesem Zeitintervall näherungsweise als konstant angenommen werden. Daraus lässt sich mit den Gleichungen für konstante Beschleunigung die Werte für Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung nach dieser kurzen Zeit berechnen. Daraus berechnet man die neue Kraft. Führt man diese Berechnungen für viele Zeitintervalle durch, kann man die Bewegung mathematisch untersuchen.

### Harmonische Schwingung

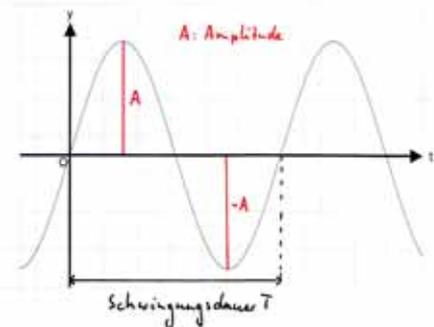
Ist die beschleunigende Kraft  $F$  proportional zur Auslenkung  $y$  und entgegengesetzt, so spricht man von einer harmonischen Schwingung. Es gilt dann:

$$y = A \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{mit} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$\omega$ : Winkelgeschwindigkeit  
 $A$ : Amplitude       $T$ :  
 Schwingungsdauer

Ein Federpendel schwingt harmonisch ( $F = -Dy$ ) mit der Schwingungsdauer

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$



## 4. Impuls

Das Produkt aus Masse  $m$  und Geschwindigkeit eines Körpers  $v$  heißt Impuls  $p$ .

$$p = m \cdot v \quad \text{Einheit: } [p] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 1 \text{Ns}$$

### Impulserhaltungssatz:

In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtimpuls erhalten.

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = \text{konst.}$$

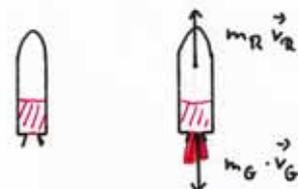
$p$ : Gesamtimpuls     $p_1, p_2, p_3, \dots$  Impulse der einzelnen Körper.

### Beispiel: Raketenantrieb

Vor dem Start:  $p = 0$  (Rakete und Treibgase in Ruhe)

Nach dem Zünden:  $p' = m_R \cdot v_R - m_G \cdot v_G$

Impulserhaltung:  $p = p' \Rightarrow 0 = m_R \cdot v_R - m_G \cdot v_G$



$$\Rightarrow v_R = \frac{m_G \cdot v_G}{m_R}$$

Da die Gase einen Impuls in die eine Richtung haben, erhält die Rakete einen gleich großen Impuls in die andere Richtung.

Mit dem Impulserhaltungssatz und dem Energieerhaltungssatz (siehe Grundwissen 8. Jahrgangsstufe) lassen sich für viele Vorgänge in der Natur Bilanzen aufstellen und so Vorhersagen treffen.

## 5. Zweidimensionale Bewegungen

### a) Waagrechter Wurf

Bewegungsgleichungen:

x-Richtung:  $x(t) = v_0 \cdot t$

$$v_x = v_0 = \text{konst.}$$

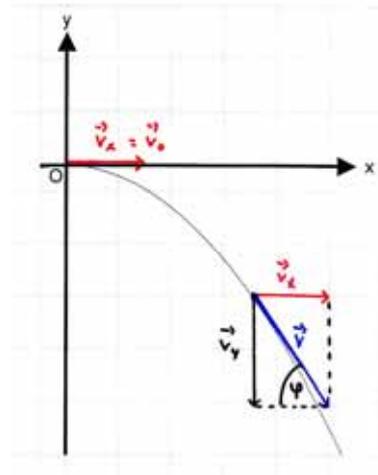
y-Richtung:  $y(t) = -\frac{g}{2} \cdot t^2$

$$v_y(t) = -g \cdot t$$

Die Richtung der Geschwindigkeit ist stets tangential zur Bahnkurve.

Es gilt:  $\tan(\varphi) = \frac{v_y}{v_x}$

Gesamtgeschwindigkeit  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$



### b) Kreisbewegung

Bewegung mit konstanter

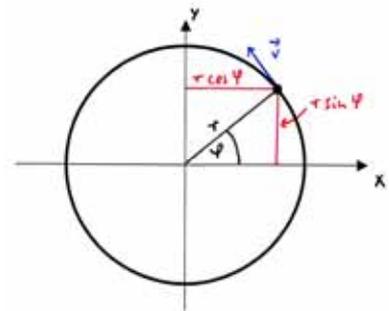
**Winkelgeschwindigkeit:**

$$v = \omega \cdot r \quad \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$$

Als beschleunigende Kraft wirkt die

**Zentripetalkraft  $F_Z$**  zum Kreismittelpunkt :

$$F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2 = \frac{m \cdot v^2}{r}$$



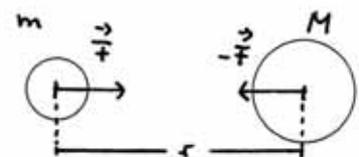
### c) Bewegungen unter dem Einfluss der Gravitationskraft

Massen ziehen sich gegenseitig an. Für die Gravitationskraft  $F$  zwischen zwei Körpern gilt:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

$M, m$ : Massen der Körper  
 $r$ : Abstand der Mittelpunkte

Gravitationskonstante:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$



## 6. Grenzen der Newtonschen Mechanik

### a) Verletzung der starken Kausalität

Man unterscheidet:

- Schwache Kausalität: Exakt gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
- Starke Kausalität: Ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen.

Vorgänge starker Kausalität lassen sich gut mit der newtonschen Mechanik beschreiben. Bei vielen Vorgängen ist die starke Kausalität verletzt (z.B. schlingerndes Rollen einer Münze, Wetter). Diese Vorgänge lassen sich nicht über längere Zeiträume vorhersagen. Mit der Untersuchung solcher Vorgänge beschäftigt sich die Chaostheorie.

### b) Hohe Geschwindigkeiten

Bei sehr hohen Geschwindigkeiten müssen die Gesetze der von Einstein entwickelten speziellen Relativitätstheorie angewendet werden.

Postulate dieser Theorie:

- **Relativitätsprinzip:** In Bezugssystemen, die sich mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegen, gelten die physikalischen Gesetze in gleicher Weise.
- Prinzip der **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit:** Licht breitet sich im Vakuum unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle und des Beobachters immer mit  $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$  aus.

Einige wichtigen Folgerungen:

- Eine relativ zum Beobachter bewegte Uhr geht langsamer (**Zeitdilatation**).
- Ein relativ zum Beobachter bewegter Körper ist in Bewegungsrichtung verkürzt (**Längenkontraktion**)
- Die Masse eines Körpers vergrößert sich mit der Geschwindigkeit. Bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit wird sie unendlich groß.
- Zwischen Masse und seiner Energie gibt es einen engen Zusammenhang:

$E = m \cdot c^2$	E: Gesamtenergie des Körpers m: Masse des Körpers c: Vakuumlichtgeschwindigkeit
-------------------	---

## III. Wellenlehre und Einblick in die Quantenphysik

### 1. Wellenphänomene

Eine Welle ist die Ausbreitung einer Auslenkung in einem Medium.

Man unterscheidet

- **Longitudinalwellen:** Ausbreitungsrichtung und Schwingungsrichtung stimmen überein (z.B. Schallwellen)
- **Transversalwellen** (Ausbreitungsrichtung senkrecht zur Schwingungsrichtung (z.B. Wasserwellen))

**Sinusförmige mechanische Wellen:**

Zu einem bestimmten Zeitpunkt $t$ befindet sich jedes Teilchen an einem bestimmten Ort	Ein Teilchen an einem bestimmten Ort $x$ bewegt sich in Abhängigkeit der Zeit $t$
$\lambda$ Wellenlänge	T Schwingungsdauer

Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  von Wellen gilt:

$$v = \lambda \cdot f \quad \lambda : \text{Wellenlänge} \quad f: \text{Frequenz}$$

**Typische Welleneigenschaften:**

Reflexion	Brechung	Beugung	Interferenz
Wellen werden an einem Hindernis zurückgeworfen	Wellen ändern beim Übergang von einem Medium zum anderen ihre Ausbreitungsrichtung	Wellen breiten sich z.B. hinter einem Spalt in den Raum aus.	Bei der Überlagerung von Wellen treten Verstärkung und Auslöschung auf

(Abbildungen aus Leifi)

**2. Wellen- und Teilchencharakter von Licht**

**a) Wellencharakter**

Bei Licht treten typische Welleneigenschaften wie Beugung und Interferenz auf.

Beugung von Laserlicht am Einfachspalt	Interferenz von Laserlicht am Doppelspalt

(Abbildungen aus Leifi)

**b) Teilchencharakter**

Licht kann aus der Oberfläche eines Körpers Elektronen herauslösen (**Photoeffekt**). Dieser Effekt ist mit dem Wellenmodell nicht erklärbar.

**Photonenmodell:** Licht besteht aus sogenannten Photonen. Sie breiten sich stets mit Lichtgeschwindigkeit aus und besitzen je nach ihrer Frequenz  $f$  eine bestimmte Energie  $E_{\text{ph}}$ .

Es gilt:

$$E_{ph} = h \cdot f \quad h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js Plancksche Konstante}$$

### 3. Teilchen und Wellencharakter von Elektronen

#### a) Teilchencharakter

Elektronen lassen sich z.B. bei ihrer Ablenkung in elektrischen oder magnetischen Feldern als Teilchen beschreiben. Sie haben die Masse

$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  und besitzen die Ladung  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

#### b) Wellencharakter

Beschleunigt man Elektronen und schickt sie danach durch eine dünne Folie von z.B. Graphit, so erhält man auf einem Schirm ein typisches Interferenzmuster.

### 4. Quantenobjekte

Objekte, zu deren Beschreibung die Quantenphysik benötigt wird, heißen Quantenobjekte. Dazu gehören Photonen, Elektronen sowie andere kleine Teilchen wie z. B. Elementarteilchen, Protonen, Neutronen aber auch Atome und Moleküle.

Quantenobjekte

- bewegen sich nicht auf Bahnen
- sind keine kleinen Kügelchen
- haben sowohl Wellen- als auch Teilchencharakter

Über das Verhalten eines einzelnen Quantenobjekts kann keine Aussage getroffen werden. Für eine große Anzahl von Quantenobjekten können jedoch Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden. Dabei kann man das Wellenmodell oder das Teilchenmodell benutzen.