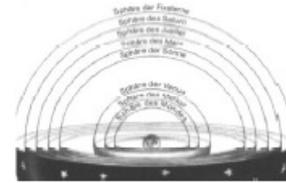


10.1 Astronomische Weltbilder

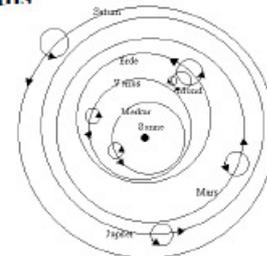
1. Geozentrisches Weltbild – Die Erde im Zentrum des Universums

Aristoteles (384 – 312 v.Ch.) entwickelte die *Sphärentheorie*: Planeten umkreisen auf relativ zueinander beweglichen, konzentrischen Sphären die ruhende Erde. Die Menschen sehen sich und die Erde als Zentrum der Schöpfung und den Mittelpunkt der Welt.



2. Heliozentrisches Weltbild – Die Sonne im Zentrum des Universums

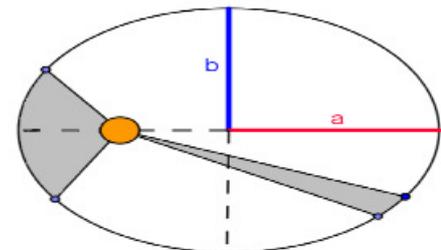
Nikolaus Kopernikus (1473 – 1543) behauptet, dass die scheinbare Bewegung der Sonne durch die Rotation der Erde um die eigene Achse vorgetäuscht wird. Er hält an der ruhenden Fixsternsphäre, welche das Sonnensystem umgibt, sowie an kreisförmigen Bahnen fest. Es handelt sich um eine starke Vereinfachung der Beschreibung der Planetenbewegung.



Johannes Kepler (1571 – 1630) leitet aus Beobachtungsdaten gewonnene Naturgesetze der Planetenbewegung die *Kepler'schen Gesetze* her:

1. Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt der Zentralkörper steht. Der Fahrstrahl Planet - Zentralkörper überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen (*Flächensatz*).
2. Die Quadrate der Umlaufzeiten T_1 und T_2 zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen a_1 und a_2 ihrer Bahnen um den gemeinsamen Zentralkörper:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



a: große Halbachse b: kleine Halbachse

3. Modernes Weltbild – Es gibt kein ausgewiesenes Zentrum

Laut der *Urknalltheorie* entstand das Universums vor ~16 Mrd. Jahren aus einer Singularität. In diesem „Punkt“ waren vor dem „Urknall“ Raum, Zeit und Materie vereinigt. Seitdem expandiert das Universum.

10.2 Mechanik Newtons

1. Beschreibung von Bewegungen

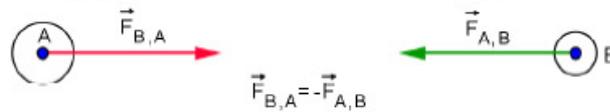
→ Grundwissen 9. Jahrgangsstufe

2. Newtons Gesetze (siehe Grundwissen 7. Jahrgangsstufe)

- *Trägheitssatz (Newton I)*: Ein Körper bleibt in Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig weiter, wenn keine resultierende Kraft auf ihn einwirkt.
- *Kraftgesetz (Newton II)*: Die Beschleunigung eines Körpers ist umgekehrt proportional zu seiner Masse und direkt proportional zur resultierenden Kraft, die auf ihn wirkt.

$$a = \frac{F}{m}$$

- **Wechselwirkungsgesetz (Newton III):** Wenn Körper A eine Kraft auf Körper B ausübt, so wirkt eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft von Körper B auf Körper A:



3. Numerische Lösungsverfahren

- Bei Bewegungen mit **nichtkonstanter Beschleunigung** können Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung mithilfe verschiedener numerischer Lösungsverfahren näherungsweise bestimmt werden.
- **Methode der kleinen Schritte**
 - Hierzu wird die Bewegung in viele kleine, gleichgroße Zeitabschnitte Δt unterteilt. Dabei wird angenommen, dass Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung während jedes Zeitabschnitts konstant sind und sich am Ende des Abschnitts sprunghaft ändern. Die Werte für den neuen Abschnitt werden jeweils mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms aus den Werten des vorherigen Abschnitts berechnet:
 - Bsp: Federpendel

$$t_{neu} = t_{alt} + \Delta t ; \quad v_{neu} = v_{alt} + a_{alt} \cdot \Delta t ; \quad y_{neu} = y_{alt} + v_{neu} \cdot \Delta t ; \quad a_{neu} = -D \cdot y_{neu} / m$$
 - Je kleiner die Zeitabschnitte gewählt werden, desto genauer kann das Ergebnis ermittelt werden.

4. Impuls

- Der **Impuls** eines Körpers ist das Produkt aus seiner Masse und seiner Geschwindigkeit:

$$p = m \cdot v$$

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

- **Impulserhaltungssatz:** Der Gesamtimpuls in einem abgeschlossenen System ist konstant:

$$P_{ges,vorher} = P_{ges,nachher}$$

- Bei einem zentralen, **vollkommen elastischen Stoß** bleiben Impuls und kinetische Energie erhalten.
- Bei einem **vollkommen inelastischen Stoß** bleibt nur der Impuls erhalten. Ein Teil der kinetischen Energie wird in innere Energie (Wärme) und Verformungsenergie umgewandelt.

5. Gleichförmige Kreisbewegungen

- Bewegt sich ein Körper mit konstanter Winkelgeschwindigkeit (siehe unten) auf einer kreisförmigen Bahn mit Radius r , so spricht man von einer **gleichförmigen Kreisbewegung**.
- Die Zeit für einen vollen Umlauf auf der Kreisbahn heißt **Umlaufdauer T** .
- Die (**Dreh**)**Frequenz f** gibt an, wie viele Umläufe n ein Körper pro Zeiteinheit ausführt:

$$f = \frac{n}{t} = \frac{n}{n \cdot T} = \frac{1}{T} \quad [f] = 1 \text{ Hz}$$

- Die **Winkelgeschwindigkeit ω** gibt an, welchen Winkel der Körper pro Zeiteinheit zurücklegt:

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \xrightarrow{\text{Start bei } t_0=0 \text{ und } \varphi_0=0} \omega = \frac{\varphi}{t} \xrightarrow{1 \text{ Umlauf}} \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f \quad [\omega] = \frac{1}{s}$$

- Die **Bahngeschwindigkeit v** gibt an, welche Kreisbogenlänge der Körper pro Zeiteinheit zurücklegt:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \xrightarrow{\text{Start bei } t_0=0 \text{ und } s_0=0} v = \frac{s}{t} \xrightarrow{1 \text{ Umlauf}} v = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \omega \cdot r \quad [v] = 1 \frac{m}{s}$$

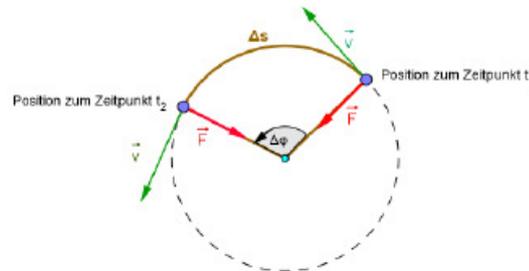
- Für die Bahn- und Winkelgeschwindigkeit gilt:

$$v = \omega \cdot r$$

- Um den Körper gegen seine Trägheit auf eine Kreisbahn zu halten, muss eine in jedem Punkt der Bahn zum Mittelpunkt gerichtete Kraft, die sogenannte **Zentripetalkraft** \vec{F}_Z aufgebracht werden. Für ihren Betrag gilt:

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

- Die Geschwindigkeit ist immer tangential zur Kreisbahn gerichtet. Somit stehen Zentripetalkraft und Geschwindigkeit stets aufeinander senkrecht:



6. Das Gravitationsgesetz

Zwei Körper mit den Massen m_1 bzw. m_2 üben im Abstand r der Mittelpunkte der Körper gleich große, anziehende Gravitationskräfte aufeinander aus. Für deren Betrag gilt:

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

(Gravitationskonstante G : siehe Formelsammlung)

7. Grenzen der Newton'schen Mechanik

Im Bereich großer Geschwindigkeiten ($v \geq \frac{1}{10} c$) und im Bereich von Quantenobjekten (vergleiche 10.3.3) gelten die Formeln der Newton'schen Mechanik nicht mehr.

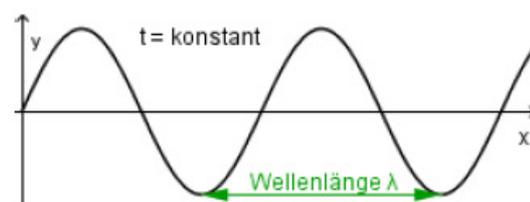
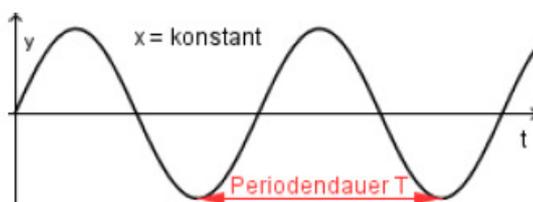
10.3 Wellenlehre und Einblick in die Quantenphysik

1. Mechanische Wellen

- Eine **mechanische Schwingung** ist eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um eine Ruhelage.
- Eine **mechanische Welle** ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum. Eine Welle überträgt Energie, jedoch keine Materie.
- Arten von Wellen:
 - Bei einer **Quer- oder Transversalwelle** (z.B. Seilwelle) stehen die Schwingungsrichtung und die Ausbreitungsrichtung aufeinander senkrecht.
 - Bei einer **Längs- oder Longitudinalwelle** (z.B. Schallwelle) sind Schwingungsrichtung und Ausbreitungsrichtung zueinander parallel.
- Mathematische Beschreibung:

Bewegung eines schwingenden Teilchens an einem bestimmten Ort:

Momentaufnahme der schwingenden Teilchen zu einem bestimmten Zeitpunkt:



Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c gibt an, wie schnell sich eine Welle (z.B. ein Wellenberg) ausbreitet. Dabei gilt:

$$c = \lambda f$$

- Wichtige Welleneigenschaften:
 - **Reflexion und Brechung** (vgl. Grundwissen der 7. Jahrgangsstufe)
 - **Huygenssches Prinzip**: Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen (kreis- bzw. kugelförmigen) Welle, der so genannten **Elementarwelle**, welche die gleiche Ausbreitungsgeschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle besitzt. Die Überlagerung der (neuen) Elementarwellen ergibt die beobachtbare Welle.
 - **Beugung** ist die Eigenschaft einer Welle, sich hinter Öffnungen und Hindernissen in den Schattenraum hinein auszubreiten.
 - **Interferenz** ist die ungestörte Überlagerung von Wellen. Man unterscheidet zwischen **konstruktiver Interferenz** (Verstärkung, wenn Wellenberge auf -berge und -täler auf -täler treffen) und **destruktiver Interferenz** (Abschwächung bzw. Auslöschung, wenn Wellenberge auf -täler treffen).

2. Modellvorstellungen von Licht

Um alle Eigenschaften des Lichts beschreiben zu können, muss das **Modell „Lichtstrahl“** (siehe GW 7. Jahrgangsstufe) auf zwei unterschiedliche Modelle erweitert werden:

- Teilchenmodell: Licht als Strom von Teilchen (Photonen)** (siehe GW 9. Jahrgangsstufe)
Mit diesem Modell lassen sich die **Energieemission** und die **-absorption** von Atomen sowie der **Photoeffekt** (das Herauslösen von Elektronen aus Metallen durch Licht geeigneter Wellenlänge) erklären.
- Licht als Welle (Wellenmodell)**
Mit diesem Modell lassen sich Beugung und Interferenz des Lichts erklären.

3. Quantenobjekte

- Unter **Quantenobjekten** (z.B. Photonen, Elektronen,...) versteht man mikroskopische Teilchen, die sich weder wie klassische Wellen noch wie klassische Teilchen verhalten. → Zur Beschreibung aller Eigenschaften von Quantenobjekten genügt - ebenso wie beim Licht - nicht ein einziges Modell, sondern man muss sich zweier Modelle (Wellenmodell und Teilchenmodell) bedienen.

- Experimente mit dem Doppelspalt zeigen die Notwendigkeit beider Modelle:

Doppelspaltexperiment mit klassischen Teilchen (z.B. Kugeln):

Einzelne klassische Teilchen gehen entweder durch den linken oder den rechten Spalt. Unabhängig davon, ob der jeweils andere Spalt offen ist.

Doppelspaltexperiment mit Photonen:

Hier überlagern sich die Lichtwellen, die von beiden Spalten ausgehen. Die Interferenz von Licht bestätigt dessen Wellencharakter.

Doppelspaltexperiment mit Elektronen:

Die Auftreffwahrscheinlichkeit für **einzelne** Elektronen ist beim Doppelspaltexperiment durch den Abstand **beider** Spalte festgelegt. Sie berechnet sich, indem das Elektron als Welle beschrieben wird, die durch beide Spalte tritt.

Elektronen verhalten sich also unter gewissen Umständen wie Wellen, zeigen Beugungseffekte und erzeugen Interferenzmuster (→ siehe auch Elektronenbeugungsröhre (untere Abbildung)), d.h. sie zeigen Wellencharakter.

Statistische Deutung des Doppelspaltexperiments (Der Zufall in der Quantenphysik): Es ist unmöglich, Einzelereignisse vorherzusagen.

