

## Entwicklung des astronomischen Weltbilds

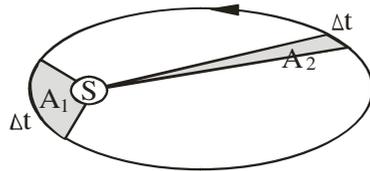
- In der Antike entstand das **geozentrische Weltbild**:  
Die Erde steht unbewegt im Zentrum des Kosmos.  
Um sie herum bewegen sich auf Sphären die Planeten, die Sonne und die Fixsterne.  
Die Planeten bewegen sich auf einem Kreis, der sich wiederum auf einem Kreis bewegt, die sogenannte **Epizykeltheorie** (C. Ptolemäus).
- Kopernikus stellte ein **heliocentrisches Weltbild** vor, in dem die Sonne das Zentrum des Alls ist, um das sich die Planeten auf Kreisbahnen drehen.

### Die Kepler'schen Gesetze

**1. Kepler-Gesetz:** Die Planeten bewegen sich auf einer Ellipse um die Sonne, die sich in einem der Brennpunkte der Ellipse befindet.

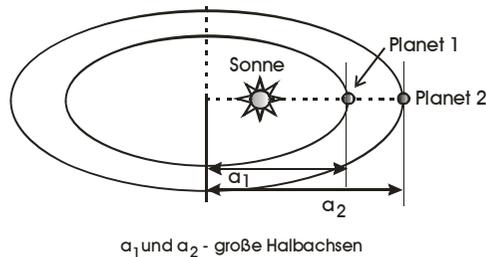
**2. Kepler-Gesetz:** Der Verbindungsstrahl von Sonne und Planet überstreicht in gleichen Zeitintervallen gleich große Flächen.

$$\frac{A_1}{\Delta t} = \frac{A_2}{\Delta t}$$



**3. Kepler-Gesetz:** Der Quotient aus dem Quadrat der Umlaufzeit T und der dritten Potenz der großen Halbachse a ist für alle Körper mit einem gemeinsamen Zentralkörper konstant.

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



## Aspekte der modernen Kosmologie

- Sterne sind in Sternsystemen, den Galaxien, angeordnet.
- Das Sternsystem, in dem sich unsere Sonne und alle Planeten des Sonnensystems befinden, ist die **Milchstraße** bzw. Galaxis.
- Die Sonne mit den Planeten befindet sich in der Scheibenebene der Milchstraße. Als einer von Millionen Sternen rotiert sie um das Zentrum der Milchstraße.
- Im Universum gibt es eine große Vielzahl von Galaxien und Galaxienhaufen. Hier gilt das **kosmologische Prinzip**:  
Kein Punkt im Universum ist in einer besonderen Weise ausgezeichnet.
- Die Entstehung und die zeitliche Entwicklung des Universums werden heute (*noch*) durch die **Theorie vom Urknall** beschrieben:

- Vor ca. 15 Milliarden Jahren (also  $t = 0$ ) explodierte sehr heiße und dichte Materie in einer gewaltigen Explosion, dem Urknall (Big Bang).
- Nach  $10^4$  sec Entstehung erster Atome und Elemente.
- Nach ca.  $10^{12}$  sec Bildung der ersten Sterne und Sternsysteme.
- Nach ca.  $10^{15}$  sec Entstehung des Sonnensystems mit den Planeten.
- Nach ca.  $10^{17}$  sec Entstehung von Leben auf der Erde.
- **Gegenwart**  $5 \cdot 10^{17}$  sec.
- Das Universum entwickelt sich weiter ( $10^{18}, 10^{20}, 10^{22}, \dots$  sec)

### Hubble-Gesetz:

Der Raum unseres Universums dehnt sich aus. Erkennbar wird dies daran, dass sich die Galaxien voneinander fortbewegen. Die Fluchtgeschwindigkeit  $v$  ist um so höher, je größer die Entfernung zur beobachteten Galaxie ist:

$$v = H_0 \cdot r$$

$H_0$  : Hubblekonstante

# Die Newton'schen Gesetze

**Newton I:** Heben sich die Kräfte auf, die auf einen Körper einwirken, so verharrt dieser Körper in seinem Bewegungszustand. Er bewegt sich geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit oder er ruht.

**Newton II:** Der Betrag der Kraft, die eine Geschwindigkeitsänderung bewirkt, berechnet sich aus dem Produkt von beschleunigter Masse und erzielter Beschleunigung:

$$F = m \cdot a$$

Das zweite Newton'sche Gesetz wird in der Physik **Aktionsprinzip** genannt.

**Newton III:** Übt ein Körper eine Kraft auf einen anderen Körper aus, so übt dieser eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft auf den ersten Körper aus. (**actio = reactio**)

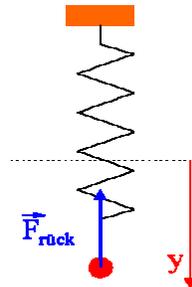
## Eindimensionale Bewegungen

Die Bewegung eines Körpers wird durch das Kraftgesetz  $F = m \cdot a$  bestimmt. Dazu muss man alle Kräfte, die auf den Körper wirken, bestimmen und einen Term für die Gesamtkraft aufstellen.

### Das Kraftgesetz bei einer harmonischen Schwingung

Bei einer harmonischen Schwingung ist der Betrag der Kraft direkt proportional zur Auslenkung  $y$ . Die Kraft wirkt stets rücktreibend, d.h. entgegengesetzt zur Auslenkungsrichtung. Daher lautet das Kraftgesetz:

$$F = -D \cdot y$$



### Mathematische Beschreibung einer harmonischen Schwingung

Die Auslenkung  $y$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  wird beschrieben durch:

$$y(t) = y_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$y_0$  ist die Amplitude;  $\omega$  hängt von der Schwingungsdauer  $T$  ab:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

**Federpendel**

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

**Fadenpendel**

bei kleiner Auslenkung

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

## Impuls

Unter dem Impuls eines Körpers versteht man das Produkt aus Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$  des Körpers:

$$p = m \cdot v \quad ; \quad [p] = [N \cdot s]$$

### Der Impulserhaltungssatz

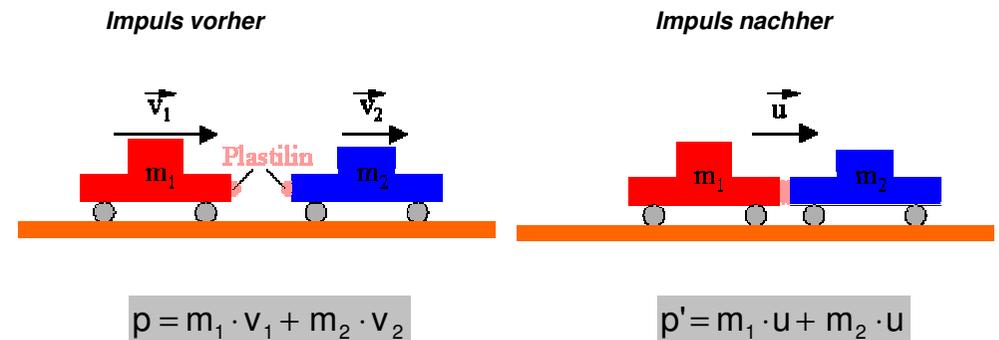
Der Gesamtimpuls zweier Körper, die miteinander wechselwirken, bleibt erhalten:

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

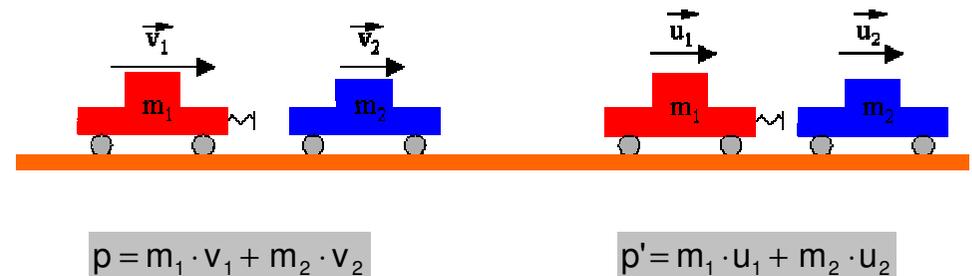
Gesamtimpuls vorher = Gesamtimpuls nachher

### Der Impulserhaltungssatz bei zentralen Stößen:

#### 1) vollkommen inelastischer Stoß



#### 2) vollkommen elastischer Stoß



# Zweidimensionale Bewegungen

Zum Beschreiben zweidimensionaler Bewegungen benutzt man x-y-Koordinatensysteme. Die wichtigsten zweidimensionalen Bewegungen sind der waagrechte Wurf und die Kreisbewegung

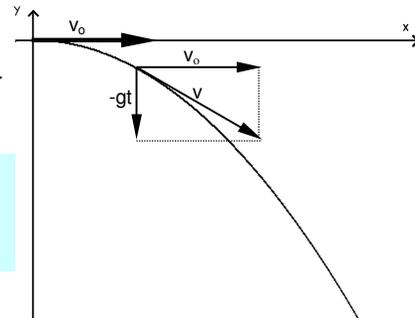
## Waagrechter Wurf:

- Überlagerung von Bewegung mit konstanter
- Geschwindigkeit in x-Richtung und freiem
- Fall in y-Richtung, in Gleichungsform:

$$(I) \quad x(t) = v_0 \cdot t, \quad v_x = v_0$$

$$(II) \quad y(t) = -\frac{1}{2}gt^2, \quad v_y = -g \cdot t$$

- Die Bahnkurve ist parabelförmig
- Die beschleunigende Kraft ist  $F_G = m \cdot g$



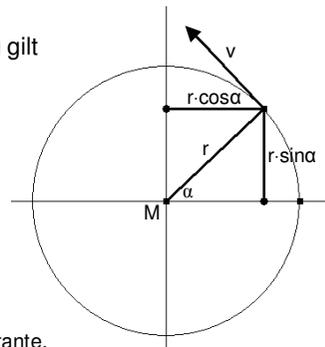
## Gleichförmige Kreisbewegung (auf Kreis um M mit konstanter Bahngeschwindigkeit v):

- Für die Bahngeschwindigkeit v und die Winkel-
- geschwindigkeit  $\omega$  der gleichförmigen Kreisbewegung gilt

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

- Die Bahnkurve ist kreisförmig
- Die beschleunigende Kraft ist die zu M hin gerichtete

- Zentripetalkraft  $F_z = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$



**Das Gravitationsgesetz**  $F = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$  ( $G^*$ : Gravitationskonstante,  $r$ : Abstand zweier Körper der Massen m und M)

## Grenzen der Newtonschen Mechanik

- Die Gesetze der Newtonschen Mechanik lassen sich nur auf Vorgänge anwenden, die der starken Kausalität (ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen) unterliegen. Andernfalls gelten die Naturgesetze zwar (Determinismus), lassen aber keine zuverlässigen Zukunftsaussagen zu (Schmetterlingseffekt)
- Bei großen Geschwindigkeiten (Richtwert  $v \geq 0,1 \cdot c$ ) gelten die Gesetze der speziellen Relativitätstheorie.

## Einstein-Postulate:

- (1) In Bezugssystemen, die sich mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegen, gelten die physikalischen Gesetze in gleicher Weise (Relativitätsprinzip)
- (2) Licht breitet sich im Vakuum unabhängig vom Bewegungszustand von Lichtquelle und Beobachter stets mit der selben Geschwindigkeit aus.

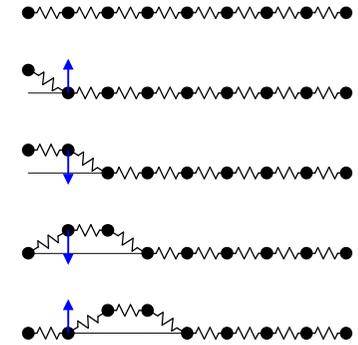
## Folgerungen aus den Einstein-Postulaten:

- Relativ zum Beobachter bewegte Uhren gehen langsamer.
- Relativ zum Beobachter bewegte Gegenstände sind verkürzt.
- Die Masse eines Körpers nimmt mit wachsender Geschwindigkeit zu.
- Masse und Gesamtenergie eines Körpers genügen der Gleichung  $E = m \cdot c^2$

# Wellen

## Transversal- und Longitudinalwellen

Zunächst seien alle Massestücke in Ruhe und im Kräftegleichgewicht. Wenn das Massestück ganz links von Hand bewegt wird, tritt auch am zweiten Massestück eine Kraft auf, die rechts als Pfeil dargestellt ist. Dadurch folgt es – mit einer kleinen Verzögerung – der Bewegung. Man erkennt, dass sich die Auslenkung von Massestück zu Massestück fortpflanzt.



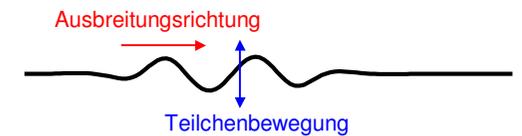
**Solche Auslenkungen aus der Gleichgewichtslage, die sich in einem Medium ausbreiten, heißen Wellen. Wellen sind eine sehr allgemeine Erscheinung in der Physik und treten in vielen Formen auf.**

Bei mechanischen Wellen gibt es zwei wichtige Sonderfälle

### Transversalwellen:

Hier bewegt sich jedes Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle.

Beispiel: Seilwellen in einem gespannten Seil



### Longitudinalwellen:

Hier bewegt sich jedes Teilchen parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Die Auslenkung bewirkt hier eine Änderung der Teilchendichte.

Beispiele: Schallwellen



## Momentaufnahmen einer Transversalwelle

Nach Ablauf der **Periodendauer T** hat der Erreger am Ort  $x = 0$  eine volle Schwingung ausgeführt.

Die Anzahl der Schwingungen, die der Erreger und damit auch jedes Teilchen pro Sekunde ausführt, heißt **Frequenz f**.

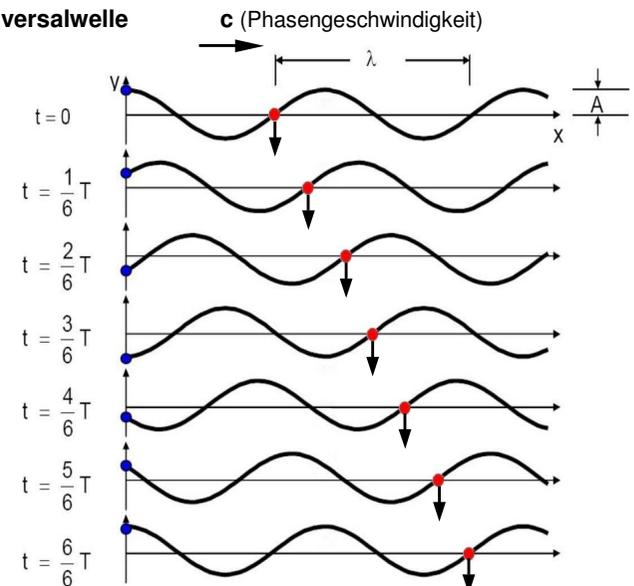
Die Frequenz ist der Kehrwert der Periodendauer. Die Maßeinheit der Frequenz ist  $1/s = 1 \text{ Hz}$  (Hertz).

● Punkte gleicher **Phase**, d.h. gleicher Auslenkung und gleicher Geschwindigkeit

Wie im Bild rechts zu erkennen, hat sich die Schwingungsphase in der Zeit T um die Strecke  $\lambda$  nach rechts bewegt.

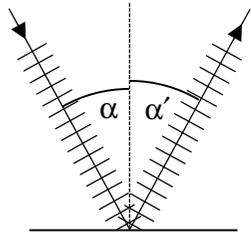
Somit gilt:

**Phasengeschwindigkeit**  $c = \frac{\lambda}{T}$



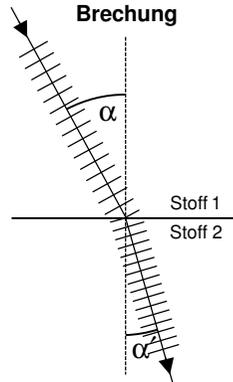
Wellen können reflektiert, gebrochen und gebeugt werden sowie sich überlagern (interferieren).

### Reflexion



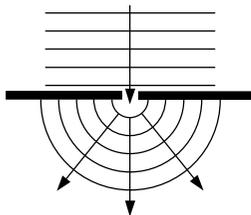
Wellen werden zurückgeworfen  
 $\alpha = \alpha'$

### Brechung



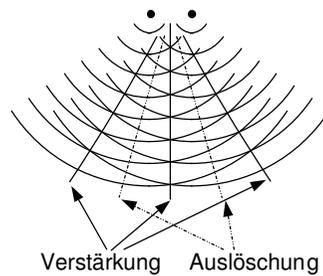
Wellen ändern ihre Ausbreitungsrichtung

### Beugung

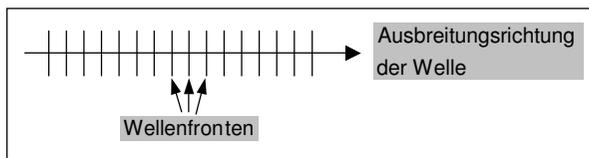


Wellen breiten sich hinter dem Spalt in den geometrischen Schattenraum aus.

### Interferenz



Es treten Bereiche der Verstärkung und der Auslöschung auf.



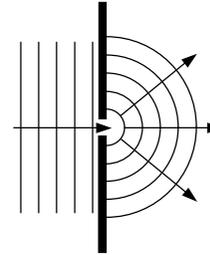
**Schallwellen** -breiten sich in Stoffen aus, nicht aber im Vakuum,  
-breiten sich in Luft mit ca. 340 m/s aus,  
-werden an Flächen reflektiert, an Kanten gebeugt und von Stoffen absorbiert.

## Wellen- und Teilchencharakter des Lichts

Bei Licht treten Beugung und Interferenz auf. Daraus folgt: Licht hat Welleneigenschaften und kann mit dem Modell Lichtwelle beschrieben werden.

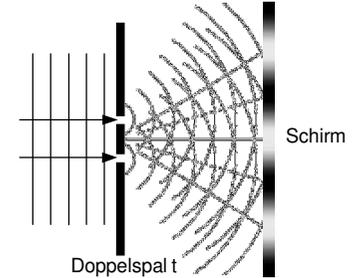
### Beugung

tritt an schmalen Spalten oder Kanten auf



### Interferenz

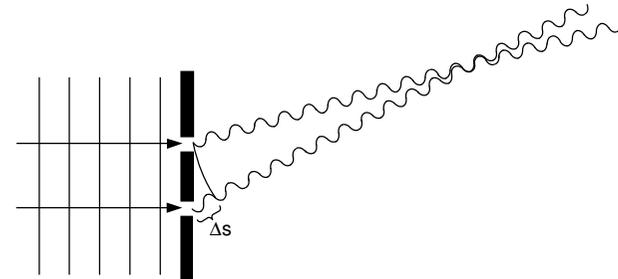
ist die Überlagerung von Lichtwellen mit Bereichen der Verstärkung und der Auslöschung



Für die **Interferenzmaxima** am Doppelspalt und auch am optischen Gitter gilt:

$$\Delta s = k \cdot \lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

$\Delta s$  ist der **Gangunterschied** der interferierenden Wellenzüge,  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts.

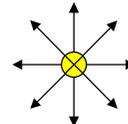


### Der Photoeffekt

Die Erscheinung, dass Licht aus der Oberfläche eines Körpers Elektronen herauslösen kann, wird als äußerer Photoeffekt bezeichnet. Der Photoeffekt ist mit dem Wellenmodell **nicht** erklärbar, wohl aber mit dem Photonenmodell.

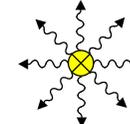
**Photonen** (Energieportionen) kann man sich als winzige Lichtteilchen vorstellen, die sich stets mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten und die eine bestimmte Energie besitzen. Die Energie eines Photon ist von der Wellenlänge  $\lambda$  (bzw. der Farbe) des Lichts sowie einer universellen Konstanten  $h$  (plancksche Konstante) abhängig.

### Strahlenmodell (Lichtstrahl)



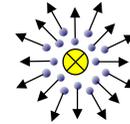
kann genutzt werden zur Beschreibung der Lichtausbreitung, der Schattenbildung, der Reflexion und der Brechung

### Wellenmodell (Lichtwellen)



kann genutzt werden zur Beschreibung, Erklärung und Voraussage von Beugung und Interferenz

### Teilchenmodell (Photonen)



kann genutzt werden zur Beschreibung und Erklärung des äußeren Photoeffekts

# Quantenobjekte

Zu den Quantenobjekten gehören **Elektronen**, **Photonen** sowie weitere Objekte (Neutronen, Protonen, aber auch Atome und Moleküle).

Im Unterschied zu den uns umgebenden makroskopischen Körpern gilt für die Quantenobjekte:

- Quantenobjekte bewegen sich nicht, wie Körper in der klassischen Mechanik, auf Bahnen.
- Quantenobjekte sind keine kleinen Kügelchen.
- Bei Quantenobjekten treten Teilchen- und Welleneigenschaften auf.

## Quantenobjekte

- haben etwas Welliges, was ihre Ausbreitung bestimmt und z.B. auch Interferenz bewirkt.
- haben etwas Körniges oder Teilchenhaftes, was sich z.B. bei einer Ortsmessung zeigt.
- haben etwas Stochastisches, d.h. es ist keine Aussage über das Verhalten eines einzelnen Quantenobjekts möglich, wohl aber Wahrscheinlichkeitsaussagen für eine große Anzahl von Quantenobjekten.

## Das Elektron

- ist als klassisches Teilchen beschreibbar:  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ; es besitzt eine bestimmte Geschwindigkeit und damit kinetische Energie.
- Zeigt auch Welleneigenschaften: Es treten Beugung und Interferenz auf.