

# Grundwissen Physik Jahrgangsstufe 10

## Astronomische Weltbilder

### Geozentrisches Weltbild nach Ptolemäus (ca. 90 – 160 n.Chr.)

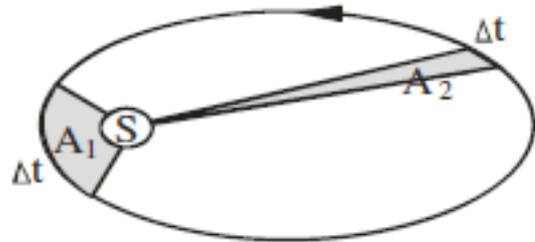
- Die kugelförmige Erde ist Mittelpunkt der Welt
- Die Fixsterne liegen auf einer Hohlkugel (Fixsternsphäre), die sich in 24 h einmal um die Weltachse dreht
- Der Mond läuft auf Kreisbahn um die Erde
- Die Sonne umkreist in einem Jahr die Erde
- Die Planeten bewegen sich auf kleinen Kreisen (Epizykel). Der Mittelpunkt des Epizykels bewegt sich auf einem großen Kreis, dessen Mittelpunkt in der Nähe der Erde liegt.

### Heliozentrisches Weltbild nach Nikolaus Kopernikus (1473 – 1543)

- Die Sonne ruht im Zentrum der Welt.
- Die Erde ist lediglich ein Planet, der sich wie die anderen Planeten um die Sonne bewegt.
- Diese Vorstellung wird nur langsam akzeptiert. Insbesondere religiöse Gründe werden dagegen angeführt.

### Keplersche Gesetze nach Johannes Kepler (1571 – 1630)

1. Keplersches Gesetz: Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Keplersches Gesetz: Der gedachte Verbindungsvektor Sonne – Planet überstreicht in gleichen Zeitspannen gleich große Flächen. (d.h.  $A_1 = A_2$ )
3. Keplersches Gesetz: Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen ihrer Bahnellipsen.  
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Die Kepler'schen Gesetze gelten für alle Bewegungen um einen Zentralkörper (also auch für die Mondbewegung um Planeten).

### 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 durch die Theorie vom Urknall beschrieben:
  - Vor ca. 15 Milliarden Jahren explodierte sehr heiße und dichte Materie in einer gewaltigen Explosion, dem Urknall (Big Bang).
  - Nach 10 s Entstehung erster Atome und Elemente.
  - Nach ca.  $10^{12}$  s Bildung der ersten Sterne und Sternsysteme.
  - Nach ca.  $10^{15}$  s Entstehung des Sonnensystems mit den Planeten.
  - Nach ca.  $10^{17}$  s Entstehung von Leben auf der Erde.
  - Gegenwart  $5 \cdot 10^{17}$  s.
  - Das Universum entwickelt sich weiter

## Die Mechanik Newtons

### Die Gesetze von Newton

- Trägheitsgesetz:** Wirkt auf einen Körper keine Kraft oder heben sich die Kräfte, die auf diesen Körper wirken, auf, so verharrt dieser Körper in seinem Bewegungszustand.  
Er bewegt sich geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit (gleichförmig) oder er bleibt in Ruhe.
- Grundgesetz:** Der Betrag der Kraft, die eine Geschwindigkeitsänderung bewirkt, berechnet sich aus dem Produkt von beschleunigter Masse und erzielter Beschleunigung:  $F = m \cdot a$   
Sonderfall: Gewichtskraft  $G = m \cdot g$  ( $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ ; Fallbeschleunigung)
- Wechselwirkungsgesetz:** 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. kurz: **actio = reactio**  
Wechselwirkungskräfte greifen an zwei verschiedenen Körpern an, beim Kräftegleichgewicht greifen die Kräfte am selben Körper an!

### Methode der kleinen Schritte

Man unterteilt die Bewegung in hinreichend kleine Zeitintervalle  $dt$  und geht dabei von folgenden Annahmen aus:

- Die Geschwindigkeit bleibt während  $dt$  konstant
- Beim Übergang von einem Zeitabschnitt zum nächsten erhöht sich die Geschwindigkeit um  $\Delta v = a \cdot dt$
- Damit ergibt sich für den Fall einer Bewegung mit konstanter Beschleunigung  $a$ :

$$t_{\text{neu}} = t_{\text{alt}} + dt$$

$$a_{\text{neu}} = a_{\text{alt}}$$

$$v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} + \Delta v = v_{\text{alt}} + a_{\text{alt}} \cdot dt$$

$$y_{\text{neu}} = y_{\text{alt}} + \Delta y = y_{\text{alt}} + v_{\text{alt}} \cdot \Delta t$$

### Impuls

Das Produkt aus Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$  eines Körpers nennt man Impuls  $p$ :  $p = m \cdot v$

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

Der Impuls ist wie die Geschwindigkeit eine gerichtete Größe.

Wird ein Körper durch eine Kraft  $F$  beschleunigt, so ändert sich sein Impuls um  $\Delta p$ , wobei gilt  $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow F \Delta t =$

$m \Delta v = \Delta p$  ( $F \cdot \Delta t$  heißt Kraftstoß, er bewirkt eine Änderung des Impulses)

**Impulserhaltung:** In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtimpuls erhalten. So ist z. B. im Falle eines Stoßprozesses die Summe der Impulse vor der Wechselwirkung gleich der Summe der Impulse danach.

**Unelastischer Stoß:** Es gilt nur der (vektorielle) Impulserhaltungssatz. Mechanische Energie geht verloren.

**Elastischer Stoß:** Es gelten der (vektorielle) Impulserhaltungssatz und der Energieerhaltungssatz.

### Waagrecht Wurf

Der waagrecht Wurf lässt sich aus zwei unabhängigen Bewegungen zusammensetzen:

- horizontale Bewegung mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v_x$ , die gleich der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  ist (in  $x$  – Richtung wirkt keine Kraft)
- vertikale Bewegung des freien Falls

$$\text{I) } x(t) = v_0 \cdot t$$

$$v_x(t) = v_0$$

$$g = -9.81 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{II) } y(t) = 0,5 g t^2 + y_0$$

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

$$y_0 \text{ Anfangshöhe}$$

Auflösen von Gleichung I nach  $t$  und Einsetzen in II ergibt die Bahngleichung:  $y = \frac{g}{2v_0^2} x^2 + y_0$

Bahngeschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$ :  $v(t) = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$

Auftreffwinkel:  $\tan \alpha = \frac{|v_y|}{v_x}$

## Mechanische Schwingung

### Begriffe

Unter einer **mechanischen Schwingung** versteht man eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um eine Gleichgewichtslage (Ruhelage). Voraussetzung dafür ist eine rücktreibende Kraft in Richtung der Gleichgewichtslage.

*Auslenkung (Elongation) y*: Die Entfernung des Körpers von seiner Ruhelage

*Amplitude A*: Die maximale Auslenkung

*Schwingungsdauer T*: Die Zeit, die für eine vollständige Schwingung benötigt wird.

*Frequenz f*: Sie gibt an, wie viele Schwingungen in jeder Sekunde ablaufen

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Einheit [f]} = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz (Hertz)}$$

Wichtige Formeln: Federpendel  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$   
(D Federkonstante)

Fadenpendel:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$   
(l Länge des Fadenpendels)

### Harmonische Schwingung

Eine Schwingung, bei der die rücktreibende Kraft zur Auslenkung proportional und stets zur Ruhelage hin gerichtet ist, heißt *harmonische Schwingung*. also  $F = -D \cdot y$  (*lineares Kraftgesetz*)

Die harmonische Schwingung wird auch Sinusschwingung genannt, da sich der zeitliche Verlauf der Elongation y durch eine Sinusfunktion darstellen lässt.

$$y(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) = A \sin \omega t \quad \omega: \text{Winkelgeschwindigkeit}$$

Der Körper schwingt bei  $t = 0$  durch die Ruhelage ( $y = 0$ ) in positiver y – Richtung

### Kreisbewegung

#### Grundbegriffe

$\varphi$  im Bogenmaß  $\varphi = \frac{\alpha}{180^\circ} \pi$

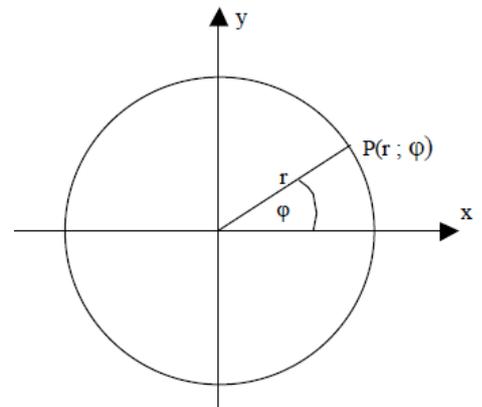
Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ :  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$   $[\omega] = 1 \text{ s}^{-1}$

*Umlaufdauer T*: Dauer für einen vollen Umlauf

*Frequenz f*: Zahl der Umläufe pro Sekunde (Einheit 1 Hz)

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{und} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Formeln: Bogenlänge  $b = r \varphi$  und Bahngeschwindigkeit  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{b}{\Delta t} = \frac{r \Delta \varphi}{\Delta t} = \omega r$



### Zentripetalkraft

Bewegt sich ein Körper auf einer Kreisbahn, muss auf ihn eine Kraft wirken, die für die ständige Richtungsänderung verantwortlich ist. Diese Kraft heißt *Zentripetalkraft*  $F_z$ . Sie ist stets zum Kreismittelpunkt hin gerichtet.

Zentripetalbeschleunigung  $a_z = \frac{v^2}{r} = r \omega^2$  und mit  $F = a m$  folgt  $F_z = m \frac{v^2}{r} = m r \omega^2$

## Gravitation

Alle Objekte, die eine Masse besitzen, üben aufeinander jeweils anziehende Kräfte aus. Dies bezeichnet man als Gravitation, die zugehörige Kraft heißt *Gravitationskraft*.

Für die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern der Massen  $m_1$  und  $m_2$  im Abstand  $r$  gilt:

$$F_G = G^* \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad G^* = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2} \text{ ist die universelle Gravitationskonstante}$$

Gewichtskraft eines Körpers = Gravitationskraft der Erde auf diesen Körper

*Satellitenbahnen:* Die für Kreisbahnen um ein Zentralgestirn notwendige Zentripetalkraft wird von der

Gravitationskraft Zentralgestirn (M) – Bahnkörper(m) aufgepracht:  $F_z = F_G \Rightarrow m \frac{v^2}{r} = G^* \frac{M m}{r^2}$

## 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.
- Bei großen Geschwindigkeiten (Richtwert  $v > 0,1 c$ ) gelten die Gesetze der speziellen Relativitätstheorie.

### Einstein-Postulate:

- (1) In Bezugssystemen, die sich mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegen, gelten die physikalischen Gesetze in gleicherweise (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  $E = m c^2$

## Mechanische Wellen

Ein Vorgang, bei dem sich eine Störung des Gleichgewichtszustands in einem Körper (Wellenträger) ausbreitet, wird als *Welle* bezeichnet.

**Quer- oder Transversalwelle** (z.B. Wasserwelle, Seilwelle)

Eine Querstörung des Gleichgewichts in einem eindimensionalen Träger, deren Masseteilchen elastisch gekoppelt sind, wandert auf dem Träger mit der Phasengeschwindigkeit  $c$  weiter. Für das einzelne Teilchen bedeutet diese Störung eine Auslenkung aus seiner Gleichgewichtslage quer zum Träger (Teilchengeschwindigkeit  $v \perp c$ )

Die Transversalwelle transportiert Energie mit der Phasengeschwindigkeit  $c$  der Welle, ohne dass dabei Materie transportiert wird.

Längs- oder Longitudinalwelle (z. B. : Schallwellen)

Längswelle = Welle, bei der die Teilchen in der Ausbreitungsrichtung der Welle schwingen. (Teilchengeschwindigkeit  $v \parallel c$ ). Auch bei der Längswelle erfolgt ein Energietransport ohne Materietransport.

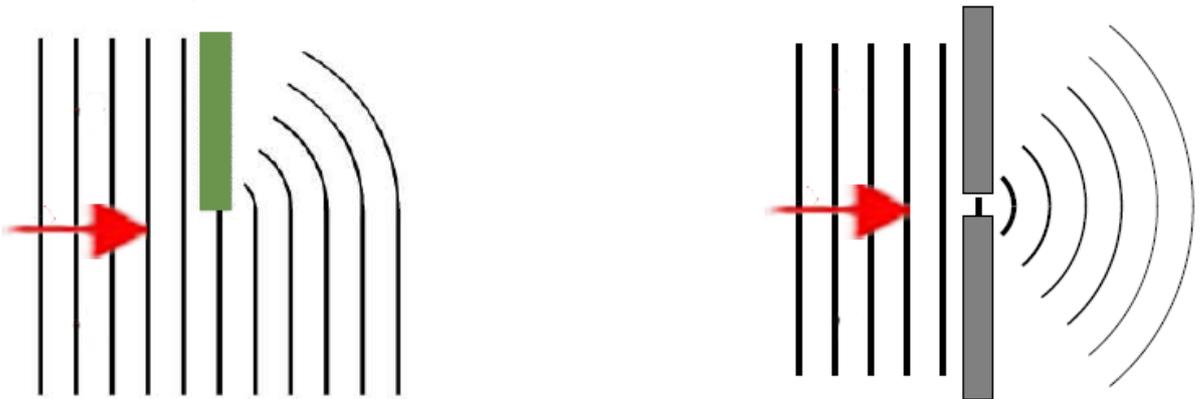
## Sinuswellen

Jeder beliebige Punkt des Wellenträgers führt eine harmonische Schwingung derselben Frequenz  $f = \frac{1}{T}$  und Amplitude, aber mit einem vom Ort abhängigen Phaseunterschied aus. Der von der Welle erfasste Wellenträger hat die Form einer Sinuskurve, die sich mit der Phasengeschwindigkeit  $c$  vom Erregerzentrum wegbewegt. Der kürzeste Abstand zweier benachbarter gleichphasig schwingender Punkte heißt **Wellenlänge  $\lambda$** .

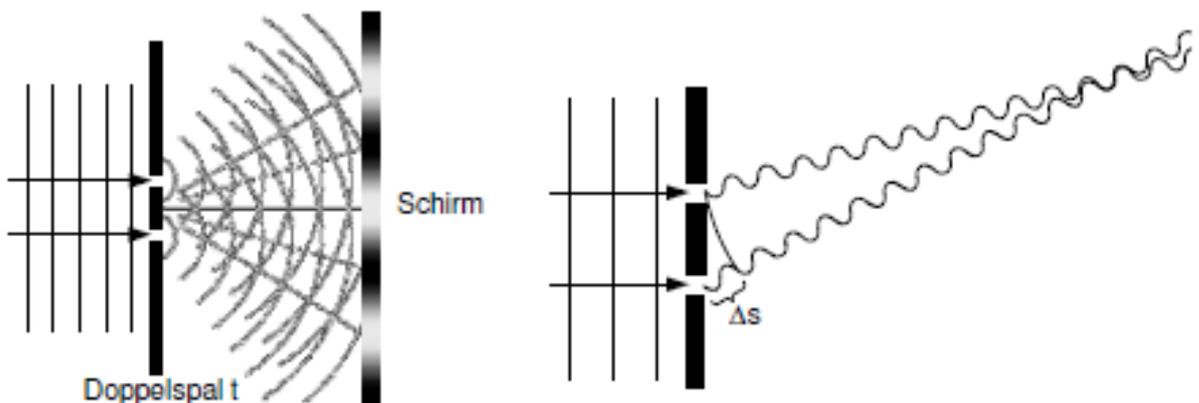
Es gilt die **Grundgleichung der Wellenausbreitung**  $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

## Eigenschaften von Wellen

- a) **Beugung:** Wellen breiten sich hinter Hindernissen und Öffnungen auch in den geometrischen Schattenraum hinein aus.



- b) **Interferenz:** Bei der Überlagerung von Wellen gleicher Frequenz und Amplitude ergeben sich feste Orte mit maximaler Amplitude (Wellenberg trifft auf Wellenberg und Wellental auf Wellental; **Interferenzmaxima**) und feste Orte mit Amplitude Null (Wellenberg trifft auf Wellental; **Interferenzminima**).



Konstruktion der Interferenzmaxima und –minima zweier Kreiswellen (z.B. Wasserwellen) oder Interferenzbild hinter einem Doppelspalt.

Für die Interferenzmaxima am Doppelspalt oder am Gitter gilt:  $\Delta s = k \lambda$ ; ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) bzw. für die

Interferenzminima  $\Delta s = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ ; ( $k \in \mathbb{N}$ ) ..  $\Delta s$  ist der Gangunterschied der interferierenden

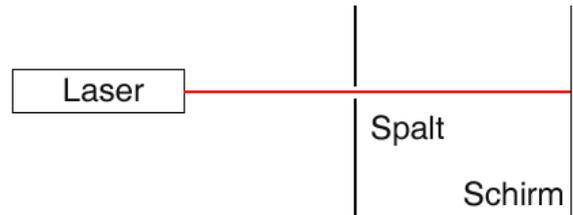
Wellenzüge.  $k$  ist das Maximum ( $k$ -ter Ordnung) bzw.  $k$ -tes Minimum

## Welleneigenschaft des Lichtes

Mit abnehmender Spaltbreite weitet sich das Laserlicht mehr und mehr auf (Beugung).

Ersetzt man den Spalt durch einen Doppelspalt, tritt auf dem Schirm eine Intensitätsverteilung auf, die man wie bei Wasserwelleninterferenzen als Maxima (Helligkeit) und Minima (Dunkelheit) interpretieren kann.

Licht zeigt typische Welleneigenschaften wie Beugung und Interferenz. Es lässt sich also als „Welle“ beschreiben. Die sichtbaren Wellenlängen liegen etwa zwischen 780 nm (rot) und 400 nm (violett). Die zugehörigen Frequenzen liegen in der Größenordnung von  $10^{14}$  Hz bis  $10^{15}$  Hz. Die Phasengeschwindigkeit ist die Lichtgeschwindigkeit (etwa 300000 km/s im Vakuum).



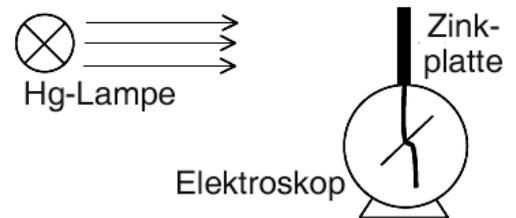
## Teilcheneigenschaft des Lichtes

### Photoeffekt, Versuch von Hallwachs

Die negativ geladene Zinkplatte wird bei der Bestrahlung durch die Hg – Lampe entladen. Durch die Bestrahlung werden Elektronen aus der Platte herausgelöst.

Die Erscheinung, dass Licht aus der Oberfläche eines Körpers Elektronen herauslösen kann, wird als äußerer Fotoeffekt bezeichnet. Der Fotoeffekt 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 Photons ist von der Wellenlänge (bzw. der Farbe, Frequenz) des Lichts sowie einer universellen Konstanten  $h$  (Plancksche Konstante) abhängig.  $E = h f$



## Materiewellen

Elektronen werden in einer so genannten Elektronenbeugungsröhre beschleunigt und durch eine Graphitfolie geschickt. Sie treffen anschließend auf einen Fluoreszenzschirm, wo man hellere und dunklere konzentrische Kreise beobachtet: Elektronen werden beim Durchgang durch die Folie gebeugt und interferieren anschließend:

### Elektronen zeigen Welleneigenschaften

### Quantenobjekte

Bei Quantenobjekten kann man Ort und Impuls nicht gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit bestimmen (*Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation*). Quantenobjekte können niemals die Eigenschaften „Ort“ und „Impuls“ zugleich besitzen. Das Produkt der Streuungen muss nach der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation immer in der Größenordnung der Planckschen Konstante  $h$  oder größer sein.