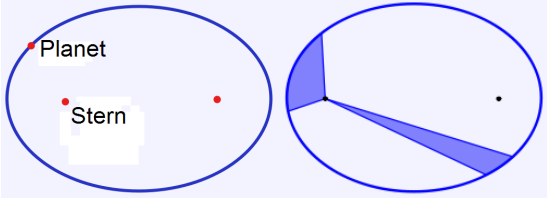
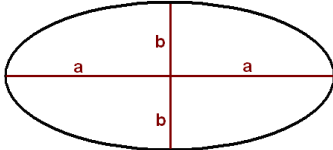


Thema	Inhalt	Beispiele, Bemerkungen
<u>Astronomische Weltbilder</u>		
<b>Das geozentrische Weltbild</b>	Weltbild von <b>Ptolemäus</b> (um 100 n. Chr.) bis ins 15. Jh. vorherrschend (Erde im Zentrum des Universums; Sonne ein Gestirn unter vielen)	Ptolemäus: ca. 85-160
<b>Das heliozentrische Weltbild</b>	Durch die Arbeiten von <b>Kopernikus</b> (um 1500) wird die Vorstellung der Sonne als Zentralgestirn und der Erde als einem Planeten unter vielen langsam allgemein akzeptiert ( <b>Kopernikanische Wende</b> ). Aus religiösen Gründen fällt es den Menschen aber schwer zu glauben, dass die Erde einen weniger ausgezeichneten Platz im Universum hat.	Nikolaus Kopernikus: 1473-1543
<b>Das Weltbild der Neuzeit</b>	Festigung des Heliozentrischen Weltbilds durch <b>Galilei</b> (um 1600) durch Entdeckungen (Mondkrater, Jupitermonde) mit dem neu erfundenen Fernrohr. Zuerst wurde Galileo jedoch durch die Inquisition zu Hausarrest bis zum Lebensende verurteilt. Erst viel später allgemeine Akzeptanz.	Galileo Galilei: 1564-1642
<b>Die Kepler'schen Gesetze</b>	<p>Bestätigung und Erweiterung des kopernikanischen Weltbilds durch <b>Kepler</b> (um 1600), der mit Hilfe genauer Himmelsbeobachtungen eines Astronomen folgende Gesetze formulierte:</p> <p><b>1. Kepler'sches Gesetz:</b> Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen. Die Sonne steht in einem der beiden Brennpunkte.</p> <p><b>2. Kepler'sches Gesetz:</b> Die Verbindungsstrecke von der Sonne zum Planeten überstreicht in gleichen Zeitabschnitten Flächen mit gleichem Flächeninhalt.</p> <p><b>3. Kepler'sches Gesetz:</b> Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen der Planetenbahnen.</p> $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$	<p>Veranschaulichungen:</p>  <p>1. Gesetz                      2. Gesetz</p>  <p>3. Gesetz: Halbachsen einer Ellipse</p>
<b>Gravitationstheorie</b>	Erklärung der Keplerschen Gesetze durch Isaac Newtons Gravitationsgesetz; unter Anderem besagt es, dass sich alle Körper aufgrund ihrer Masse gegenseitig anziehen.	(weiter unten genauer)
<b>Urknalltheorie</b>	Das Universum ist aus einem Punkt hervorgegangen. Über den Zustand am Anfang lässt sich nichts Genaues aussagen. Nach dem Urknall vor knapp	

14 Milliarden Jahren dehnte sich das Universum aus und kühlte ab.

### Newton'sche Mechanik

#### Newton'sche Gesetze

**1. Trägheitssatz:** Befindet sich ein Körper im Kräftegleichgewicht oder wirkt keine Kraft auf ihn, so bleibt er in Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig weiter.

#### 2. Grundgleichung der Mechanik:

Wirkt auf einen Körper der Masse  $m$  die Kraft  $F$ , so erfährt er eine Beschleunigung  $a$  in Richtung von  $F$  und es gilt:  $F = m \cdot a$ .

#### 3. „actio gegenleich reactio“:

Übt Körper 1 auf Körper 2 eine Kraft aus, so übt auch Körper 2 auf Körper 1 eine gegengleiche Kraft aus. Kräfte treten also immer paarweise auf.

#### Methode der kleinen Schritte

Bewegungen mit **nicht konstanter Beschleunigung** lassen sich nur schrittweise mit der „Methode der kleinen Schritte“ berechnen:

Man unterteilt die Bewegung in **hinreichend kleine Zeitabschnitte**  $\Delta t$  und nimmt näherungsweise an, dass in jedem einzelnen Zeitabschnitt die Geschwindigkeit  $v$  und die Beschleunigung  $a$  konstant sind. Man berechnet aus  $v(t)$  und  $x(t)$  die Werte dieser Größen nach Verstreichen der Zeit  $\Delta t$  mit folgenden **Iterationsformeln**:

$$v(t+\Delta t) = v(t) + a(t) \cdot \Delta t \quad \text{und} \quad x(t+\Delta t) = x(t) + v(t) \cdot \Delta t$$

Die so berechneten Werte von  $v(t+\Delta t)$  und  $x(t+\Delta t)$  werden zur Berechnung des nächsten Zeitabschnitts wieder als  $x(t)$  und  $v(t)$  in die Formeln eingesetzt usw.

#### Freier Fall ohne Luftwiderstand

Am selben Ort fallen ohne Luftwiderstand alle Körper gleich schnell. Für die

Sir Isaac Newton: 1643-1727

### Methode der kleinen Schritte

### Fall- und Wurfbewegungen

Versuch mit evakuierter Fallröhre: Münze und Vogelfeder fallen gleich schnell.

Fallstrecke gilt:  $s(t) = \frac{1}{2} g t^2$  und für die Geschwindigkeit:  $v = g \cdot t = \sqrt{2gs}$ .

### Waagrechter Wurf ohne Luftwiderstand

Wirft man einen Körper, so laufen in x-Richtung (waagrecht) und in y-Richtung (senkrecht) zwei getrennte Bewegungen ab, die sich überlagern (Superposition).

x-Richtung: konstante Geschwindigkeit  $v_x$ ;  $x(t) = v_x \cdot t$

y-Richtung: konstante Beschleunigung  $g$ :  $y(t) = \frac{1}{2} g t^2$  (y-Achse nach unten)

Elimination von  $t \Rightarrow$  Gleichung der Bahnkurve:  $y(x) = \frac{g}{2v_x^2} \cdot x^2$ , also

$y \sim x^2$ . Dies ist die Gleichung einer **Parabel (Wurfparabel)**.

### Kreisbewegungen

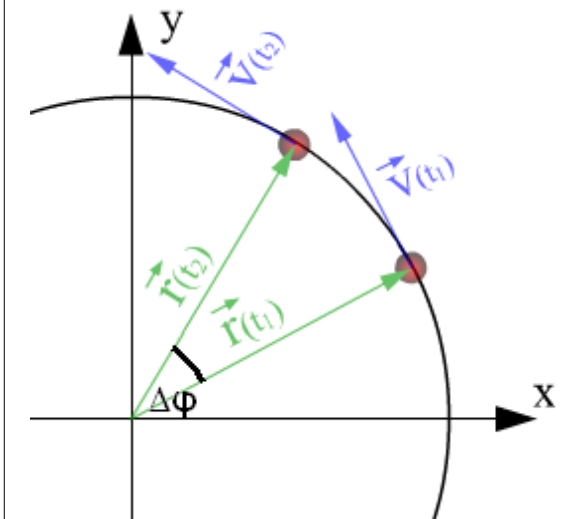
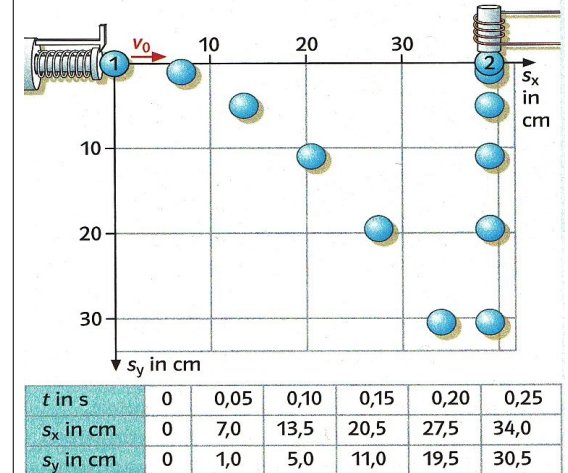
Bewegt sich ein Körper auf einer kreisförmigen Bahn, so spricht man von einer Kreisbewegung.

Die Zeit für einen Umlauf auf der Kreisbahn heißt **Umlaufdauer T**. Die (Dreh-) **Frequenz f** gibt an, wie viele Umläufe ein Körper pro Zeiteinheit ausführt. Es gilt:  $f = \frac{1}{T}$ .

Die **Winkelgeschwindigkeit**  $\omega$  gibt an, welchen Mittelpunktswinkel der Körper pro Zeiteinheit zurücklegt. Es gilt:  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ .

Die **Bahngeschwindigkeit**  $v$  gibt an, welche Kreisbogenlänge der Körper pro Zeiteinheit zurücklegt. Es gilt:  $v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$ .

Die **Zentripetalkraft**  $\vec{F}_Z$  ist stets zum Zentrum der Kreisbewegung, also senkrecht zur Bahngeschwindigkeit gerichtet und ist notwendig, um den Körper gegen seine Trägheit auf eine Kreisbahn zu zwingen. Es gilt:



### Kreisbewegungen

**Gravitationsgesetz**

$$F_Z = m \omega^2 r = \frac{m v^2}{r} \quad \text{mit} \quad a = \frac{F}{m} \quad \text{gilt für die}$$

$$\text{Zentripetalbeschleunigung: } a_Z = \omega^2 r = \frac{v^2}{r} .$$

**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. Es gilt:

$$F_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} , \text{ also } F_G \sim \frac{1}{r^2}$$

mit der Gravitationskonstante  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$  .

**Planetenbewegung**

Bei der Bewegung eines Planeten der Masse  $m_p$  um einen Stern der Masse  $m_s$  ist die Zentripetalkraft die Gravitationskraft, also gilt:  $m_p \omega^2 \cdot r = \gamma \cdot \frac{m_p \cdot m_s}{r^2}$

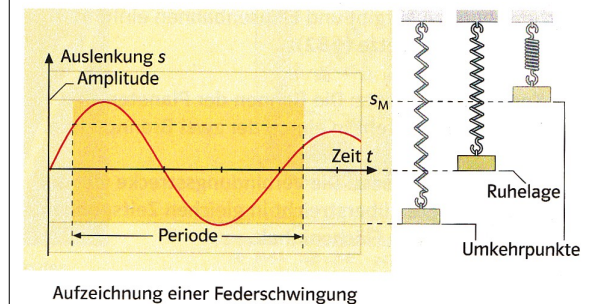
Mit  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  erhält man nach Umformung:

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{(2\pi)^2}{\gamma \cdot m_s} = \text{konst.} \quad (3. \text{ Kepler'sches Gesetz})$$

**Schwingungsbewegungen**

Bewegungen, bei denen sich die Richtung immer wieder umkehrt und sich nach gleichen Zeiten immer wiederholen (=periodische Bewegungen), nennt man **Schwingungen**. Schwingungsfähige Systeme heißen **Oszillatoren**.

Für Schwingungsdauer (=Periodendauer)  $T$  und Frequenz  $f$  gilt:  $f = \frac{1}{T}$  .

**Schwingungsbewegungen**

Bsp.:  $f = 3 \text{ Hz}$  bedeutet, dass pro Sekunde 3

### Impuls als Erhaltungsgröße

Einheit von  $f$ :  $1 \text{ Hz (Hertz)} = \frac{1}{s}$

Schwingungen mit abnehmender Amplitude nennt man **gedämpfte Schwingungen**.

### Harmonische Schwingung

Ist die beschleunigende Kraft proportional zur Auslenkung  $s$ , so entsteht eine **harmonische Schwingung**, bei der das  $t$ - $s$ -Diagramm eine Sinuskurve ist.

### Impuls

Bewegt sich ein Körper der Masse  $m$  mit der Geschwindigkeit  $v$ , so besitzt er den Impuls  $p = m \cdot v$ .

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

Wirkt auf einen Körper die konstante Kraft  $F$  in der Zeitspanne  $\Delta t$  (**Kraftstoß**), so gilt für die Impulsänderung  $\Delta p = F \cdot \Delta t$ .

Mit der Größe Impuls können vor allem **Stoßvorgänge** berechnet werden. Der Impuls ist genauso wie die Energie eine Erhaltungsgröße. Die Summe der Impulse aller Körper ist in einem abgeschlossenen System konstant (**Impulserhaltungssatz**).

Für die Impulse aufeinander stoßender Körper gilt:

Summe der Impulse vor dem Stoß = Summe der Impulse nach dem Stoß
--

### Grenzen klassischer Physik

#### Spezielle Relativitätstheorie

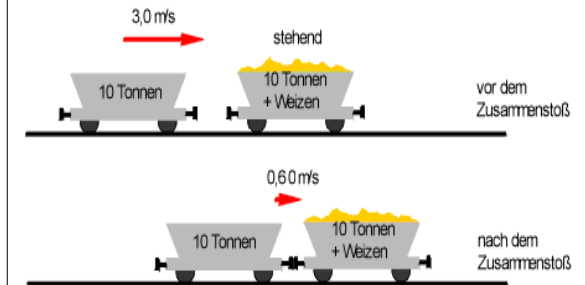
### Grenzen klassischer Physik

#### Spezielle Relativitätstheorie

Bezugssysteme, in denen der Trägheitssatz gilt, heißen **Inertialsysteme** (lat. inertia = Trägheit). Alle Inertialsysteme sind gleichberechtigt, d.h. in ihnen gelten die bekannten physikalischen Gesetze der Mechanik und Dynamik. Bezugssysteme, die sich mit **konstanter Geschwindigkeit** zueinander bewegen, sind Inertialsysteme.

Schwingungsperioden ablaufen.

Bsp.: Federpendel:  $F = -D \cdot s$ ,  
also  $F \sim s$



Ein beschleunigtes Bezugssystem ist kein Inertialsystem. Z.B. setzt sich eine Kiste auf der Ladefläche eines LKWs beim Bremsen nach vorne in Bewegung, obwohl keine beschleunigende Kraft auf die Kiste wirkt. D.h. der Trägheitssatz gilt im Bezugssystem „bremsender LKW“ nicht.

\* Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Einstein postulierte: Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Vakuum ist unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle und vom Inertialsystem, in dem sie gemessen wird. Ihr Wert ist ungefähr  $3,00 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ .

Bei hohen Geschwindigkeiten ( $v \geq 0,1c$ ) treten folgende Phänomene spürbar in Erscheinung:

\* Zeitdilatation (=Zeitdehnung)

Eine **bewegte Uhr** geht gegenüber ruhenden Uhren **langsamer**.

\* Längenkontraktion (=Längenverkürzung)

**Streckenlängen in Bewegungsrichtung** erscheinen für den ruhenden Beobachter **verkürzt**.

### Kausalität und Chaos

Man unterscheidet verschiedenes physikalisches Verhalten eines Systems:

1. In der klassischen Physik geht man davon aus, dass kleine Änderungen der Anfangsbedingungen auch nur kleine Auswirkungen auf die weitere zeitliche Entwicklung eines Systems haben, kurz:

**Ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkung (starke Kausalität).**

2. Z.B. beim Magnetpendel ist es nicht vorhersagbar, über welchem der Magnete das Pendel stehen bleibt, auch wenn man es mehrmals vom (vermeintlich) gleichen Startort loslässt.

**Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkung, aber kleinste Abweichungen führen zu völlig anderen Folgen (schwache Kausalität).**

Auch Vorgänge mit schwacher Kausalität unterliegen genauen physikalischen Gesetzen, d.h. sind „**deterministisch**“. Allerdings treten in ihnen oft Entscheidungssituationen auf, die zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen

Bestätigung durch Experiment von Michelson und Morley

Bsp: Lichtuhr; längere Halbwertszeit von Myonen bei hoher Geschwindigkeit

Bsp.: Die Wurfweite beim waagrechten Wurf hängt von der Anfangsgeschwindigkeit ab. Eine kleine Änderung der Anfangsgeschwindigkeit bewirkt auch nur eine kleine Änderung der Wurfweite und der ganzen Bewegung.

Bsp.: Beschränktes Wachstum, das der Formel  $x_{n+1} = r \cdot x_n \cdot (1 - x_n)$  unterliegt: Die Entwicklung der Werte  $x_n$  hängt empfindlich vom Wachstumsfaktor  $r$  ab. Z.B. erhält man bei  $r > 3$  jedes Jahr eine andere Populationszahl (=chaotisches Verhalten).

### Kausalität und Chaos

führen. Die zeitliche Entwicklung solcher Systeme lässt sich deshalb nicht vorhersagen. Man spricht von **deterministischem Chaos**.

## Wellen und Quanten

### Wellen

Eine **Welle** ist die räumliche Ausbreitung einer Störung oder eines Zustandes in einem Medium.

Mechanische Wellen benötigen ein schwingungsfähiges Medium. Dazu sind elastisch gekoppelte Teilchen nötig.

**Longitudinalwelle** (Längswelle):

Schwingungsrichtung parallel zur Ausbreitungsrichtung  
z.B. Schallwellen, Druckwellen (mechanisch)

**Transversalwelle** (Querwelle):

Schwingungsrichtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung  
z.B. Seilwelle, Wasserwelle (mechanisch); Licht (elektromagnetisch)

**Wellen transportieren Energie**, keine Materie. Die schwingenden Teilchen einer mechanischen, reinen Welle schwingen um einen festen Ort hin und her.

Bei einer periodischen Welle kennzeichnet ...

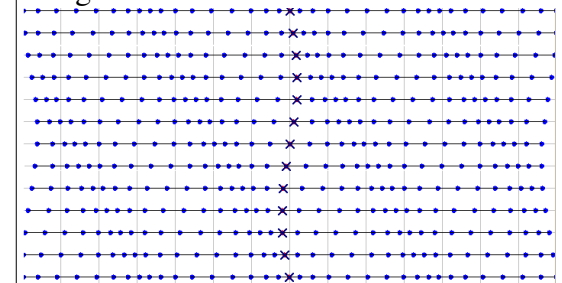
- ... die Frequenz  $f$  (Einheit: 1 Hertz = 1 Hz = 1 s<sup>-1</sup>) die zeitliche Wiederholung gleichartiger Zustände,
- ... die Wellenlänge  $\lambda$  ihren kleinsten räumlichen Abstand (= Abstand zwischen benachbarten Wellenbergen),
- ... die Schwingungsdauer  $T$  die Zeitspanne, bis sich der Zustand eines bestimmten Teilchens wiederholt.

Schwingt der Erreger harmonisch, so wird eine harmonische Welle erzeugt.

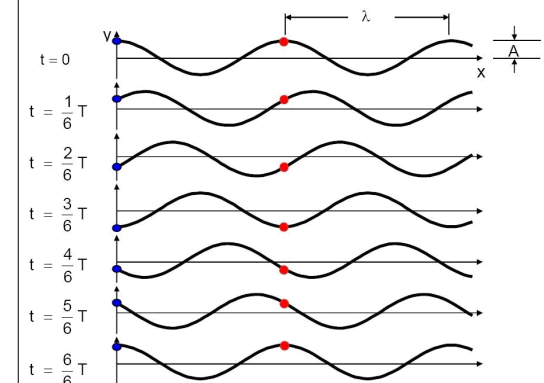
Harmonische Transversalwellen sind sinusförmig.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer harmonischen Welle beträgt  $c = \lambda f$ .  
Bsp.: Schallgeschwindigkeit  $\approx 340$  m/s, Lichtgeschwindigkeit  $\approx 3 \cdot 10^8$  m/s

Momentaufnahmen einer  
Longitudinalwelle:



Momentaufnahmen einer sinusförmigen  
Transversalwelle:



**Beugung**

Die Abweichung jeder Wellenfortpflanzung von der geradlinigen Ausbreitung wird als **Beugung** bezeichnet.

Wenn Wellen beispielsweise auf ein begrenztes Hindernis treffen, verlaufen dahinter Wellenfronten auch in Bereiche, die eigentlich vom Hindernis verdeckt sind.

Wellen mit niedriger Frequenz (d.h. großer Wellenlänge) werden stärker gebeugt als Wellen mit hoher Frequenz.

**Interferenz**

Verschiedene Wellen gleicher Art breiten sich aus, ohne sich gegenseitig zu stören (**Superpositionsprinzip**). Sie überlagern sich (**Interferenz**).

Bei Interferenz addieren sich die Auslenkungen der einzelnen Wellen. Es entstehen Orte, wo sich die Wellen verstärken (**konstruktive Interferenz**), und andere, wo sie sich schwächen oder gar auslöschen (**destruktive Interferenz**).

**Beugung und Interferenz sind charakteristisch für Wellen!**

**Wellencharakter des Lichts**

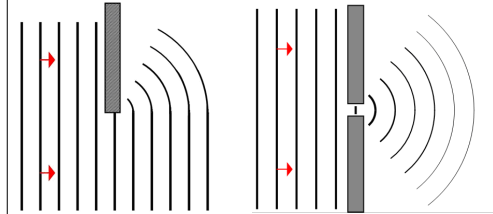
Fällt Laserlicht auf einen Einfachspalt oder einen Doppelspalt, so treten ähnliche Beugungsbilder auf, wie sie z. B. bei Wasserwellen beobachtet werden. Offensichtlich verhält sich Licht beim Durchgang durch die Spalte **wellenartig**. Diese Erscheinungen können nur dann beobachtet werden, wenn die Hindernisse und Öffnungen von der Größenordnung des Lichtes sind.

**Teilchencharakter des Lichts**

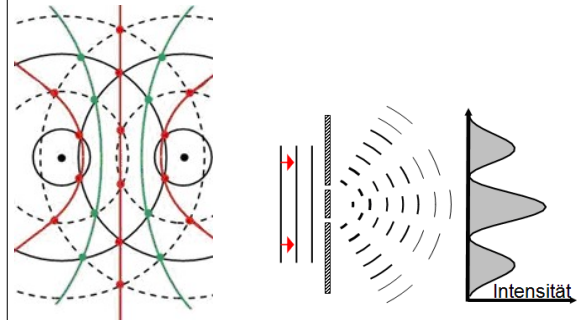
Die Erscheinung, dass Licht aus einer Oberfläche Elektronen herauslösen kann, wird als (äußerer) **Fotoeffekt** bezeichnet.

Erklärung des Fotoeffekts (Einstein, Nobelpreis 1921):

- Licht besteht aus einzelnen Energieportionen, den Photonen. Die Frequenz des Lichts im Wellenmodell entspricht der Energie der Photonen im Teilchenmodell.
- Die Beleuchtungsstärke ist durch die Anzahl der Photonen bestimmt.
- Beim Fotoeffekt überträgt ein Photon seine Energie vollständig auf ein Elektron. Erhält das Elektron dadurch genügend Energie, um das Metall verlassen zu können, fließt Strom.

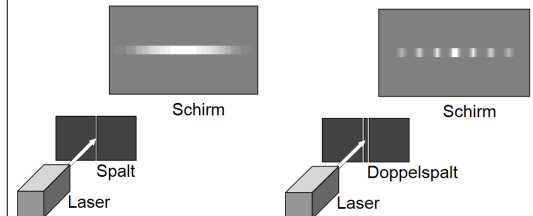


Beugung an Hindernis bzw. Spalt

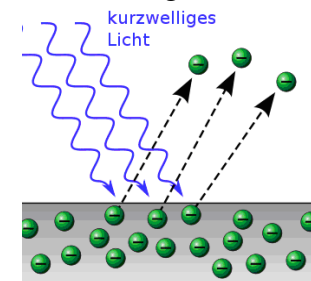


Interferenz zweier Kreiswellen

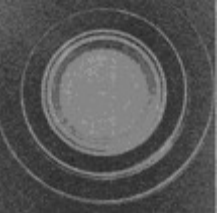
Interferenz am Doppelspalt



Modellvorstellung zum Fotoeffekt:





	<p>Photonenenergie: <math>E_{\text{ph}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}</math></p> <p><math>\lambda</math> : Wellenlänge des Lichts, f: Frequenz des Lichts, c: Lichtgeschwindigkeit, h Planck-Konstante (<math>h = 6,63 \cdot 10^{-34}</math> Js).</p> <p>Auch Elektronen verhalten sich unter gewissen Umständen wie Wellen (Elektronenbeugungsröhre: Elektronenstrahl auf Kristallfolie) und erzeugen Interferenzmuster. Die Wellenlänge der Elektronen ist umso kleiner, je energiereicher sie sind: <math>\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{p}</math> (de-Broglie-Wellenlänge)</p> <p>(m: Masse, v: Geschwindigkeit, p: Impuls des Elektrons)</p> <p>Bei Quantenobjekten treten physikalische Größen in bestimmten Portionen (gequantelt) auf. Quantenobjekte (wie Elektronen oder Photonen) besitzen Teilchen- und Welleneigenschaften (<b>Welle-Teilchen-Dualismus</b>). Welche gerade beobachtet wird, hängt vom Experiment ab.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Eigenschaften von Quantenobjekten werden durch eine Messung nicht festgestellt, sondern erst hergestellt.</li> <li>– Treffen die Quanten auf einen Schirm, treten sie als kleine Punkte in Erscheinung. Auf jeden Bereich des Schirmes treffen die Quanten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit. Die Helligkeit am Schirm ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein bestimmtes Photon auftrifft.</li> </ul>	<p>Beugungsbild bei einer Elektronenbeugungsröhre</p>  <p>Beispiel: Gehen Quanten durch einen Doppelspalt, und werden in der Doppelspaltebene die Aufenthaltsorte nicht bestimmt, so haben sie dort die Eigenschaft „Ort“ nicht. Macht man eine Ortsbestimmung direkt an den Spalten, so registriert man immer nur ein ganzes Quant, entweder rechts oder links; solche „untersuchten“ Quanten erzeugen kein Interferenzbild mehr.</p>
--	---	---