



Jahrgangsstufe 10

Weltbilder

Geozentrisches Weltbild

Ab dem 7. Jahrhundert vor Chr. machte man sich erste Vorstellungen vom geometrischen Aufbau der Welt. Der Grieche Ptolemäus (um 85 bis 160 n. Chr.) entwickelte schließlich das erste mathematische Modell des Alls (Erde im Zentrum des Universums; Sonne ein Gestirn unter vielen; Sonne, Mond und Planeten bewegen sich auf Kugelschalen (Sphären) um die Erde).

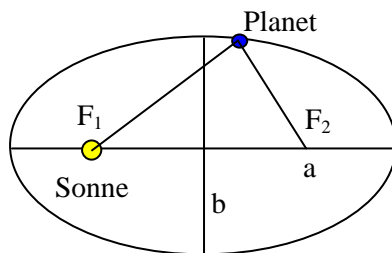
Heliozentrisches Weltbild

Kopernikus (1473-1543) „setzte“ ab 1543 die Sonne in das Zentrum der Welt (kopernikanische Wende). Die Planeten, darunter die Erde, umkreisen sie. Der Fixsternhimmel ruht. Die Erde dreht sich einmal pro (Stern-)tag um ihre Achse.

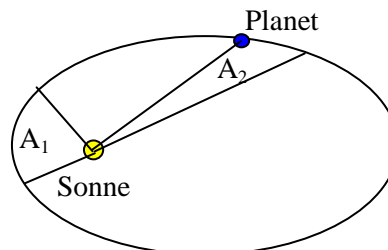
Die Keplerschen Gesetze

Durch die Entwicklung des Teleskops und der damit einhergehenden genaueren Himmelsbeobachtung konnte Kepler (1571-1630) um 1600 n. Chr. die Planetenbewegungen um die Sonne mathematisch durch seine drei empirisch gefundenen Gesetze beschreiben.

1. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.



2. Der von der Sonne nach einem Planeten gezogene Ortsvektor überstreicht in



gleichen Zeiten gleiche Flächen.

3. Die Quadrate der Umlaufzeiten T zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Bahnhalbachsen a .

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

oder

$$\frac{T^2}{a^3} = C$$

mit C als Keplerkonstante für ein bestimmtes Zentralgestirn

Das neuzeitliche Weltbild

Das heliozentrische Weltbild wurde durch immer genauere astronomische Beobachtungen insbesondere durch Galileo Galilei (1564-1642) weiter gestärkt, obwohl immer wieder religiöse Gründe dagegen angeführt wurden. „Die Erde müsse doch einen besonderen Platz im Kosmos haben“. Schließlich, wenn auch spät, wurde es allgemein akzeptiert.

Die Gravitationstheorie

Das Gravitationsgesetz von Newton kann die Keplergesetze erklären. Es besagt, dass sich alle Körper aufgrund ihrer Masse anziehen. Des Weiteren bestimmt dieses Gesetz zum großen Teil auch die Entwicklung des Kosmos nach dem modernen Weltbild.

Modernes Weltbild (Urknalltheorie, Expansion des Universums)

Die Sonne ist einer von unendlich vielen Fixsternen. Sterne bestehen aus heißen Gasen und erzeugen durch Fusion in Inneren riesige Mengen an Energie. Die Sonne mit ihrem Planetensystem ist, wie auch viele, viele andere Sterne Teil der Milchstrasse unserer Galaxis. Es gibt Billionen von Galaxien, die sich, durch Beobachtungsdaten bestätigt, auseinander bewegen (Galaxienflucht). Dieses Auseinanderdriften des Universums war Auslöser für die Entwicklung der Urknalltheorie, nach der es in einem unendlich dichten und heißen Anfangszustand (Singularität) vor ca. 13,7 Milliarden Jahren begonnen hat. Seitdem kühlt sich der Kosmos ab. Wir können heute sozusagen das Ergebnis dieser riesigen Explosion am Himmel sehen.

Newtonsche Mechanik

Newtonsche Gesetze (Newton 1643-1727)

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 gegen gleich 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.

Der Impuls

Der Impuls p ist definiert durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit.

$$p = m \cdot v$$

Seine Einheit ist 1 Ns. Er ist wie die Geschwindigkeit eine vektorielle Größe. Seine Richtung stimmt mit der Geschwindigkeitsrichtung überein.

Um eine Impulsänderung Δp herbeizuführen muss eine Kraft F über die Zeit Δt wirken:

$$\Delta p = F \cdot \Delta t$$

Impulsänderung = Kraftstoß

Impulserhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System (ohne äußere Kräfte) bleibt der Gesamtimpuls erhalten.

Bemerkung: Die kinetische Energie braucht dabei nicht erhalten bleiben.

Anwendung: Berechnung von Stoßvorgängen.

Die Methode kleiner Schritte

Der Grundgedanke der Methode kleiner Schritte (iteratives Verfahren) ist, dass Bewegungen mit nicht konstanter Beschleunigung also nicht konstanter Kraft in kleinen Rechenschritten bei Annahme einer kurzzeitig konstanten Beschleunigung bewältigt werden können. Mit Hilfe von Computern (z.B. Tabellenkalkulationen) werden schließlich die zahlreichen Einzelschritte berechnet.

Vorgehensweise:

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

mit folgenden Iterationsformeln:

$$v_{i+1} = v_i + a_i \Delta t$$

$$x_{i+1} = x_i + v_i \Delta t$$

Die so berechneten Werte von v_{i+1} und x_{i+1} werden zur Berechnung des nächsten Zeitabschnitts wieder als $x \Delta t$ und $v \Delta t$ in die Formeln eingesetzt usw.

Beispiel 1: Fall mit Luftwiderstand (die Indizes entsprechen den Einzelschritten!)

$$F_0 = m \cdot g - \frac{1}{2} c_w A \rho v_0^2$$

$$v_1 = v_0 + \frac{F_0}{m} \Delta t$$

$x_1 = x_0 + v_1 \Delta t$ Hierbei sind x die Fallhöhe, v die Fallgeschwindigkeit und t die Fallzeit.

$$t_1 = t_0 + \Delta t$$

$$F_1 = m \cdot g - \frac{1}{2} c_w A \rho v_1^2$$

usw.

Beispiel 2: Schwingung eines Federpendels der Masse m und der Federhärte D .

$$F_0 = -Dx_0$$

$$v_1 = v_0 + \frac{F_0}{m} \Delta t$$

$x_1 = x_0 + v_1 \Delta t$ Hierbei ist x die Auslenkung aus der Ruhelage

$$t_1 = t_0 + \Delta t$$

$$F_1 = -Dx_1$$

usw.

Harmonische Schwingungen

Systeme, die dem linearen Kraftgesetz $F = -kx$ gehorchen heißen harmonische Oszillatoren und führen sinusförmige Schwingungen aus.

Es gilt
$$\begin{cases} x(t) = A \sin(\omega t) \\ v(t) = A \omega \cos(\omega t) \\ a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$
 mit $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ als Kreisfrequenz der Schwingung

Für die Schwingungsdauer T gilt demnach:

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

- Fadenpendel:
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$
 mit $k = \frac{mg}{l}$ für kleine Auslenkwinkel

Zweidimensionale Bewegungen

Der waagerechte Wurf (ohne Luftwiderstand)

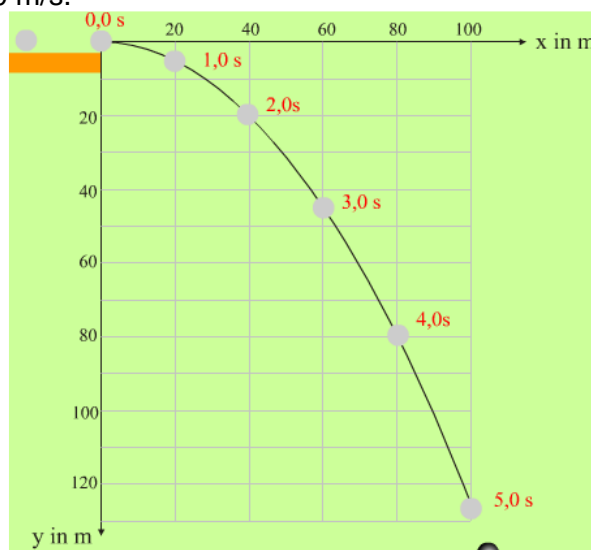
Der waagerechte Wurf lässt sich mit Hilfe zweier zueinander senkrechter, voneinander unabhängiger Bewegungen beschreiben.

- Freier Fall in y-Richtung $y = -\frac{1}{2}gt^2$
- Konstant, gleichförmige Bewegung in x-Richtung $x = v_0 \cdot t$

Die Bahn ist demnach Teil einer Parabel $y = -\frac{g}{2 \cdot v_0^2}x^2$.

Die Bahngeschwindigkeit beträgt $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$ (Pythagoras im Dreieck der Geschwindigkeitsvektoren!)

Das Bild zeigt die Stroboskopaufnahme eines Wurfs mit der waagerechten Startgeschwindigkeit 20 m/s.



Die gleichförmige Kreisbewegung

Die Periodendauer T indirekt proportional zur Winkelgeschwindigkeit ω im Bogenmaß.

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

Die Winkelgeschwindigkeit ω ist direkt proportional zur Frequenz f.

$$\omega = 2\pi f$$

Für die Bahngeschwindigkeit gilt:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Dabei ist r der Kreisbahnradius.

Damit ein Körper eine Kreisbahn gleichförmig durchläuft ist in jedem Punkt der Bahn eine zum Mittelpunkt gerichtete konstante Kraft nötig. Sie heißt Zentripetalkraft F_Z . Die zugehörige Beschleunigung, die nur eine ständige Richtungsänderung bewirkt, heißt analog Zentripetalbeschleunigung a_Z .

$$F_Z = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r = ma_Z$$

Das Gravitationsgesetz

Zwei Körper der Massen m_1 und m_2 im Abstand r ziehen sich mit der Kraft

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

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

an.

Anwendung: Der Kraftansatz „Zentripetalkraft=Gravitationskraft“ führt auf folgende Gleichung, mit der Planeten- oder Satellitenbewegungen auf Kreisbahnen quantitativ erfasst werden können. Dabei ist m die Planetenmasse (Trabant), m_s die Sonnenmasse (Zentralkörper) und r der Abstand der Massenmittelpunkte.

$$m\omega^2 r = G \frac{m m_s}{r^2}$$

Die Grenzen der newtonschen Mechanik

Kausalität (Ursache \longrightarrow Wirkung)

- Schwache Kausalität: Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
- Starke Kausalität: Ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen.
- Verletzung der starken Kausalität: Ähnliche Ursachen haben unterschiedliche Wirkungen zur Folge (chaotisches Verhalten; trotzdem durch Regelmäßigkeiten gekennzeichnet)

Spezielle Relativitätstheorie

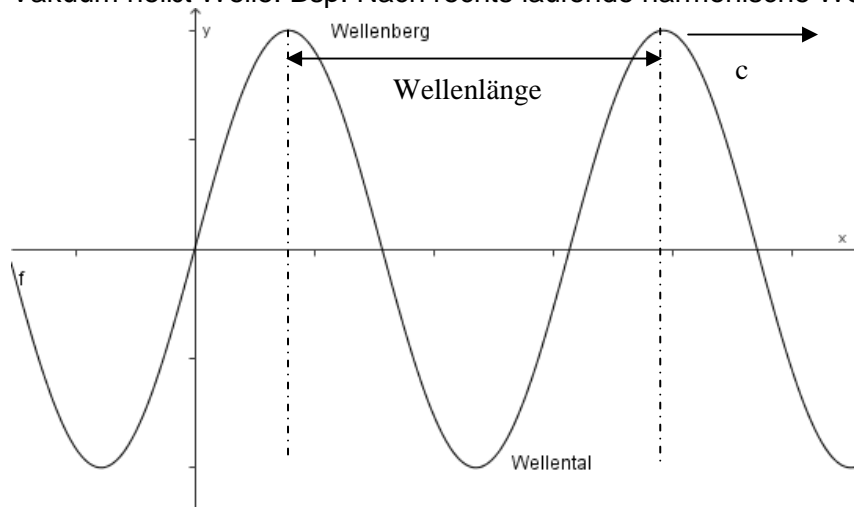
Die Lichtgeschwindigkeit c ist in allen Bezugssystemen konstant. Daraus ergeben sich Folgerungen für die Bewegung bei großen Geschwindigkeiten:

- Eine relativ zum Beobachter bewegte Uhr geht langsamer (Zeitdilatation).
- Ein relativ zum Beobachter bewegter Maßstab wird verkürzt wahrgenommen (Längenkontraktion).
- Die Masse eines bewegten Körpers nimmt aus der Sicht eines ruhenden Beobachters mit seiner Geschwindigkeit zu (relativistische Massenzunahme).
- Zusammenhang zwischen Energie E und der relativistischen Masse m (Einsteinformel):

$$E = mc^2$$

Wellen

Die Ausbreitung einer meist periodischen Störung oder Auslenkung in einem Medium oder im Vakuum heißt Welle. Bsp: Nach rechts laufende harmonische Welle:



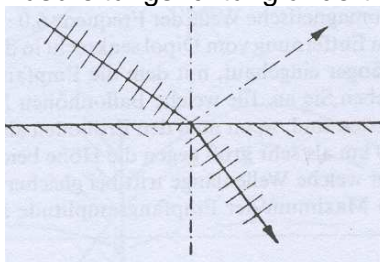
Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c gilt: $c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$ Dabei ist λ die Wellenlänge und f die Frequenz der erregenden Schwingung.

Arten

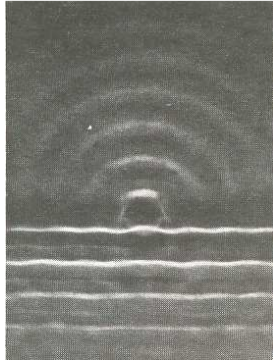
- Transversalwellen: Ausbreitungs- und Schwingungsrichtung stimmen überein.
- Longitudinalwellen: Ausbreitungs- und Schwingungsrichtung stehen senkrecht aufeinander.
- Ebene Wellen: Wellenfronten sind Ebenen im Raum
- Kreis- bzw. Kugelwellen: Wellenfronten sind Kreise oder Kugeln

Welleneigenschaften

- *Reflexion*: Wellen werden an einer ebenen Wand nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen.
- *Brechung*: Beim Eintritt in ein Medium anderer Ausbreitungsgeschwindigkeit wird eine Welle gebrochen, d.h. die Ausbreitungsrichtung ändert sich an der Grenzfläche.



- *Beugung*: Wellen dringen auch in den geometrischen Schattenraum hinter einem Hindernis oder Spalt ein. Bsp.: Wasserwelle beim Durchgang durch einen Spalt.



- *Interferenz*: Bei der Überlagerung von Wellen nach dem Superpositionsprinzip können Bereiche der Verstärkung und der Auslöschung auftreten. Bsp.: Interferenz von Wasserwellen



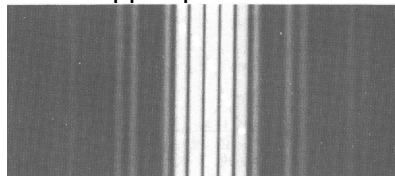
- *Huygenssches Prinzip*: Es besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer neuen Welle, der so genannten **Elementarwelle**, betrachtet werden kann. Damit lassen sich obige Phänomene erklären.

Wellen- und Teilchencharakter des Lichts

Licht als Welle

Bei Licht sind Beugungs- und Interferenzeffekte zu beobachten. Entscheidend dabei ist, dass die Größe Hindernisse, Spalten bzw. Spaltabständen von der Größenordnung der Lichtwellenlänge sind.

Bsp.: Interferenz von Licht an einem Doppelspalt



- Interferenzmaxima am Doppelspalt findet man unter der Bedingung

$$\Delta s = k \cdot \lambda \quad (\Delta s : \text{Gangunterschied}, \lambda : \text{Wellenlänge}, k=0,1,2,\dots)$$
- Interferenzminima ergebensich unter der Bedingung

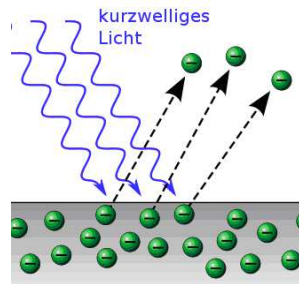
$$\Delta s = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\Delta s : \text{Gangunterschied}, \lambda : \text{Wellenlänge}, k=1,2,\dots)$$

Licht als Teilchenstrom

Bei einigen Erscheinungen versagt das Wellenmodell von Licht. So z. B. beim Photoeffekt. Licht kann Elektronen aus einer Oberfläche herauslösen. Diese Erscheinung wird als (äußerer) Photoeffekt bezeichnet.

Erklärung des Fotoeffekts durch Einstein 1905:

- Licht besteht aus einzelnen Energieportionen, den Photonen. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist c . Die Frequenz des Lichts im Wellenmodell ist direkt proportional zur Energie der Photonen im Teilchenmodell.
- Die Beleuchtungsstärke ist durch die Anzahl der ankommenden Photonen pro Zeiteinheit 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.



Für die Photonenenergie gilt:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Quantenobjekte

Quantenobjekte unterscheiden sich von makroskopischen Körpern in folgenden Punkten

- Jedem Quantenobjekt wird eine Wahrscheinlichkeitswelle zugeordnet.
- Für ein bestimmtes Verhalten des Quantenobjekts kann daraus eine **Wahrscheinlichkeit** berechnet werden.
- Quantenobjekte zeigen **Teilchen-** als auch **Welleneigenschaften**.
- Sie bewegen sich **nicht** auf exakt beschreibbaren **Bahnen**.

Bsp.: Elektronen, Photonen, Protonen, Neutronen, Atome aber auch Moleküle

Jedem Quantenobjekt kann analog zu Photonen eine Wellenlänge zugeordnet werden. Diese Wellenlänge bestimmt dann das wellenartige Verhalten des Teilchens (z.B. Elektronen verhalten sich im Doppelspaltexperiment von Jönsson (1957) wie Photonen)

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (\text{De Broglie-Wellenlänge})$$