**Forschungsinstrumente und Forschungsmethoden : Stelle eine Übersicht über wichtige Instrumente der astronomischen Forschung zusammen!**
Fernrohre (Refraktoren, Reflektoren), Radioteleskope, Spektroskope

**Welche Wege geht man, um die Leistungsfähigkeit von Spiegelteleskopen zu vergrößern? Gehe dabei auf das Projekt Very Large Telescope ein**!
Da der Größe des Spiegeldurchmessers technische Grenzen gesetzt sind, versucht man, durch Kombination mehrerer Spiegel, deren Wirkungen sich addieren, diese Grenzen hinauszuschieben. Eines der bekanntesten Beispiele dafür ist das Very Large Telescope (VLT). Hier werden vier Einzelteleskope von jeweils 8 Metern Durchmesser so kombiniert, daß sie die Wirkung eines 16-m-Teleskops erreichen. Dieses VLT wurde für die Europäische Südsternwarte (ESO) in Chile gebaut.

**Erläutere, wie sich der Anblick der Drehung des Sternhimmel für einen Betrachter am Nordpol der Erde von dem eines Betrachters in Deutschland unterscheidet!**
Am Nordpol der Erde sieht der Betrachter des Himmels keine wie bei uns zum Horizont geneigten Gestirnbahnen. Für ihn verlaufen diese Bahnen parallel zum Horizont, alle Sterne sind für ihn zirkumpolar.

**Erläutere, wie sich der Anblick der Drehung des Sternhimmels für einen Betrachter am Äquator der Erde von dem eines Betrachters in Deutschland unterscheidet!**
Am Äquator der Erde sieht der Betrachter des Himmels die Gestirnbahnen nicht schräg zum Horizont verlaufen, sondern rechtwinklig zu ihm. Alle Sterne gehen für ihn auf und nieder; kein Stern ist zirkumpolar.

**Ein Schattenstab mit der Höhe 1,50 m warf beim höchsten Stand der Sonne einen Schatten von 2,50 m Länge.**

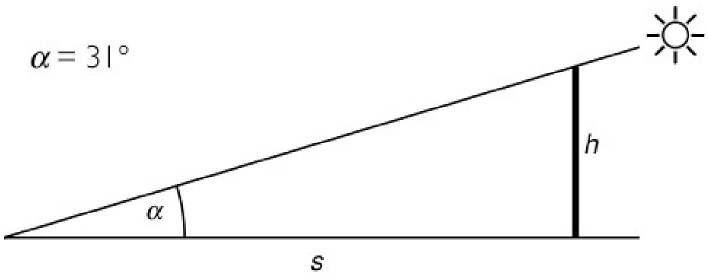
**a) Wie hoch stand die Sonne?**

**b) In welchem Halbjahr wurde die Messung durchgeführt?**

---

a) $\tan\alpha = \frac{h}{s} = \frac{1{,}5\text{m}}{2{,}5\text{m}} = 0{,}6$ $\qquad \alpha = 31°$

b) im Winter




**Erläutere die Begriffe Horizont und Azimut!**
Unter Horizont versteht man die Kreislinie, die das Gesichtsfeld des Beobachters begrenzt. Azimut ist der Richtungswinkel, der angibt, wie groß der Winkelabstand eines Gestirns vom Meridian des Beobachters ist (gemessen entlang dem Horizont). Es wird vom Südpunkt des Horizonts (0°) über W, N, O bis 360° gezählt.

**Erläutere die Begriffe Zenit und Höhe!**
Der Zenit ist der Punkt senkrecht über dem Beobachter. Die Höhe ist der Winkel zwischen dem Gestirn und dem Horizont des Beobachters (gemessen auf dem Viertelkreis vom Zenit senkrecht auf den Horizont). Er wird vom Horizont zum Zenit von 0° bis 90° gezählt.

**Beschreibe die Horizontkoordinaten, und erläutere ihre Anwendung!**
Das Azimut eines Gestirns kennzeichnet seinen Abstand vom Meridian des Beobachters, gemessen entlang dem Horizont, gezählt von S über W, N, O von 0° bis 360°.
Die Höhe eines Sterns kennzeichnet seinen Abstand vom Horizont des Beobachters, gemessen entlang einem Viertelkreis von Zenit senkrecht auf den Horizont, gezählt vom Horizont zum Zenit von 0° bis 90°. Die Horizontkoordinaten können mit einfachen Messgeräten direkt ermittelt werden und gelten nur für den jeweiligen Beobachtungsort und die konkrete Beobachtungszeit, deshalb sind sie nur schwer mit den Beobachtungsergebnissen aus anderen Orten oder zu anderen Zeiten zu vergleichen.

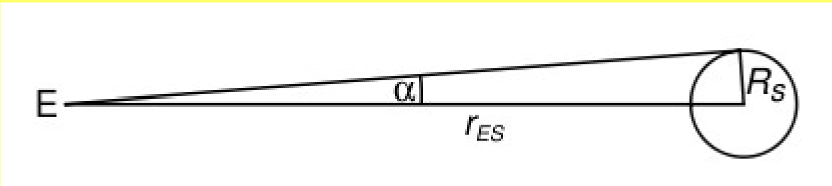
**Ein genau im Westen stehender Stern hat einen Winkelabstand zum Zenit von 15°. Gib seine Horizontkoordinaten an!** a = 90° h = 75°
**Ein genau im Osten stehender Stern hat einen Winkelabstand zum Zenit von 36°. Gib seine Horizontkoordinaten an!** a = 270° h = 54°

**Berechne aus den Werten rs = 7 · $10^5$ km und ms = 2 · $10^{30}$ kg die mittlere Dichte der Sonne!**

$$r_S = 7 \cdot 10^5 \text{ km} \qquad \Rightarrow V_S = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 = 1\,437\,000 \text{ km}^3$$

$$\bar{\rho} = m_S : V = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} : 1437\,000 = 1{,}39 \text{ g/cm}^3$$

**Bei Beobachtungen ergibt sich für den mittleren scheinbaren Durchmesser der Sonne ein Wert von 2α = 32'!**




**Berechne daraus den wahren Durchmesser der Sonne!**
**Vergleiche den ermittelten Sonnenradius mit dem Radius der Erde!**

a) $$\sin\alpha = \frac{R_S}{r_{ES}} \qquad \Rightarrow \qquad R_S = r_{ES} \cdot \sin\alpha = 1{,}496 \cdot 10^{11} \text{ m} \cdot \sin {}^{16}/_{60}{}^{\circ} = 6{,}96 \cdot 10^8 \text{ m}$$

b) $$\frac{6{,}96 \cdot 10^8 \text{ m}}{6{,}37 \cdot 10^6 \text{ m}} \approx 109 \qquad \Rightarrow \qquad R_S \approx 109 \cdot r_e$$

**Welche Erkenntnisse vermittelt uns das Spektrum des Sonnenlichts?**
Das auf der Erde ankommende, im Spektroskop zerlegte Licht zeigt uns im wesentlichen ein Absorptionslinienspektrum, aus dem man die Oberflächentemperatur und die chemische Zusammensetzung der Sonne entnehmen kann.
**Wie groß ist die von der Sonne der Erde zugestrahlte Leistung, wenn man von der Solarkonstanten S = 1,36 kW ·$m^{-2}$ ausgeht?**

$$S = 1{,}36 \text{ kW/m}^2$$

$$x = 2\pi \cdot (6{,}37 \cdot 10^6 \text{ m})^2 \cdot S = 2\pi \cdot 40{,}5769 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}36 \text{ kW} = 3{,}467 \cdot 10^{14} \text{ kW}$$

**Die Strahlungsleistung der Sonne von 3,85 · $10^{23}$ kW errechnet sich aus der mittleren Entfernung eines Planeten und der auf ihn einwirkenden Bestrahlungsstärke. Wie groß ist diese Bestrahlungsstärke S**

**a) für den Mars, b) für den Jupiter, c)Merkur d) Saturn**

$$S_{Mars} = \frac{L_s}{4\pi \cdot r^2} = \frac{3{,}85 \cdot 10^{23}\,\text{kW}}{4\pi(2{,}28 \cdot 10^{11}\text{m})^2} = 0{,}59\ \text{kW/m}^2$$

$$S_{Jupiter} = \frac{L_s}{4\pi \cdot r^2} = \frac{3{,}85 \cdot 10^{23}\,\text{kW}}{4\pi(7{,}78 \cdot 10^{11}\text{m})^2} = 0{,}051\ \text{kW/m}^2$$

$$S_{Merkur} = \frac{L_s}{4\pi \cdot r^2} = \frac{3{,}85 \cdot 10^{23}\,\text{kW}}{4\pi(0{,}58 \cdot 10^{11}\text{m})^2} = 9{,}11\ \text{kW/m}^2$$

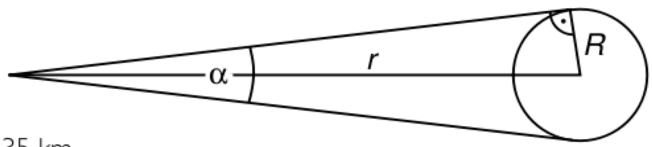
$$S_{Saturn} = \frac{L_s}{4\pi \cdot r^2} = \frac{3{,}85 \cdot 10^{23}\,\text{kW}}{4\pi(14{,}27 \cdot 10^{11}\text{m})^2} = 0{,}0015\ \text{kW/m}^2$$

**a) Der scheinbare Durchmesser des Planeten Saturn betrug bei einer Messung 15,8'', sein wahrer Durchmesser betrug 120 670 km. Berechne daraus den Abstand des Planeten von der Erde!**

**b) Der scheinbare Durchmesser des Planeten Mars beträgt zur Zeit seiner Oppositionsstellung 25''. Berechne daraus den wahren Durchmesser des Planeten!**

Steht die Erde mit dem *Planeten* und der Sonne auf einer Linie, spricht man von einer *Oppositionsstellung* des *Planeten*.

a) $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{r}$




$r = \frac{R}{\sin \alpha/2} = \frac{60\,335\ \text{km}}{\sin 7{,}9''} = 1{,}58 \cdot 10^9\ \text{km}$

b) $R = r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$

$R = 0{,}38\ \text{AE} \cdot \sin 12{,}5'' = 3\,445\ \text{km}$

Beide Ergebnisse weichen von den Tabellenwerten ab

(Entfernung von Saturn: $r_{min} = 1{,}2 \cdot 10^9$ km, $r_{max} = 1{,}66 \cdot 10^9$ km;

Radius Mars: $R = 3\,394$ km)

Um genauere Ergebnisse zu erzielen, sind Präzisionsmessungen erforderlich.

**Zum Zeitpunkt seiner Opposition wird der scheinbare Durchmesser des Planeten Jupiter zu 0,013° gemessen. Berechne daraus den wahren Durchmesser des Planeten!**

$R = r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$

$R = 3{,}95\ \text{AE} \cdot \sin 0{,}0065°$

$R = 67\,038$ km , $d = 134\,076$ km

**Der scheinbare Durchmesser des Planeten Jupiter wird während einer Beobachtung zu 0,013° gemessen, sein wahrer Durchmesser beträgt rund 143 000 km.**

**a) Berechne daraus den Abstand des Planeten von der Erde!**

**b) Gib die Stellung des Planeten zur Erde an!**

a) $r = \frac{R}{\sin \alpha/2} = \frac{71500 \text{ km}}{\sin 0{,}0065°} = 630 \cdot 10^6 \text{ km} = 4{,}2 \text{ AE}$

b) Opposition

**Von der Erde wird ein Radarsignal zur Venus gesandt, dort reflektiert und nach 4 min 36,3 s wieder auf der Erde empfangen.**

**Berechne die Entfernung Erde-Venus zu diesem Zeitpunkt!** 1 445 000 km

**Warum ändert sich die Bahngeschwindigkeit der Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne?**

Wegen der Ellipsenform der Erdbahn schwankt der Abstand Erde-Sonne und damit der Betrag der zwischen beiden wirkenden Gravitationskraft. Das hat zur Folge, dass die Bahngeschwindigkeit in Sonnennähe größer ist als in Sonnenferne.

**Wie verändert sich die Bahngeschwindigkeit eines Planeten, wenn sein Sonnenabstand zunimmt?**

Wenn der Sonnenabstand eines Planeten zunimmt, verringert sich seine Bahngeschwindigkeit.

**Der Sonnenabstand eines Planeten nimmt während seines Umlaufes um die Sonne zeitweilig ab. Was kann man dann über seine Bahngeschwindigkeit aussagen? Begründe!**

Es gilt folgender Zusammenhang: Je geringer der Sonnenabstand, desto größer ist die Geschwindigkeit des Planeten.

**Vergleiche die Umlaufzeit eines Planeten, der weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde, mit der Umlaufzeit der Erde!** Seine Umlaufzeit ist größer als die der Erde.

**a)Der mittlere Abstand des Planeten Jupiter von der Sonne beträgt 5,2 AE. Berechne seine Umlaufzeit!**

**b) Die Umlaufzeit des Planeten Saturn um die Sonne beträgt 29,46 Jahre. Berechne seinen mittleren Sonnenabstand!**

a) $T = \sqrt{\frac{a_J^3}{a_E^3} \cdot T_E^2} = \sqrt{\left(\frac{5{,}2 \text{ AE}}{1 \text{ AE}}\right)^3 \cdot (1 \text{a})^2} = 11{,}86 \text{ Jahre}$

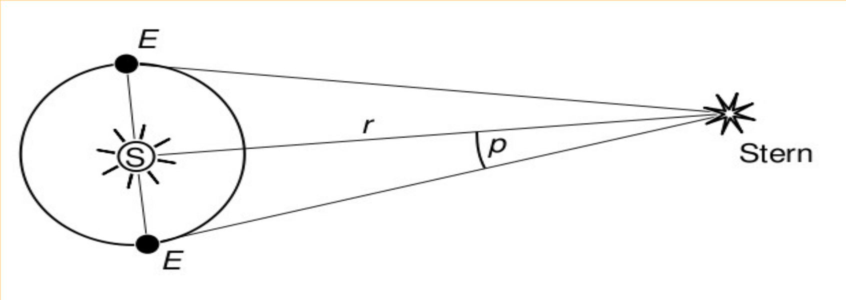
b) $r = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_E^2} \cdot r_E^3} = \sqrt[3]{\left(\frac{29{,}46 \text{a}}{1 \text{a}}\right)^2 \cdot (1 \text{AE})^3} = 9{,}54 \text{ AE}$

**Beschreibe das Prinzip der trigonometrischen Entfernungsbestimmung und die Grenzen seiner Anwendbarkeit!**

Die trigonometrische Entfernungsbestimmung geht davon aus, dass der Winkel, unter dem man die scheinbare Ortsveränderung eines Sterns durch den Erdumlauf durch die Sonne sieht, in umgekehrtem Verhältnis zur Sternentfernung steht. Die Hälfte dieses Winkels wird als Parallaxe bezeichnet.

Es gilt dann r = 1AE/sin p. Da dieser sehr kleine Winkel bei zunehmender Entfernung eines Sterns bei heutigem Entwicklungsstand der Beobachtungstechnik nur bis maximal 0,001" messbar ist, ergibt sich heute eine Obergrenze von maximal mehreren 100 pc (unter Berücksichtigung der Unsicherheit bei der letzten Stelle dieser Parallaxe).

**Fertige eine Skizze, aus der hervorgeht, was man unter der Parallaxe eines Sterns versteht!**




**Erläutere den Begriff Lichtjahr!**

Unter einem Lichtjahr versteht man die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt

**1 ly = $9{,}5 \cdot 10^{12}$ km**

**Berechne die Entfernung eines Sterns, dessen Parallaxe zu 0,05'' gemessen wurde, in pc, ly, km!**

20pc (1/0,05)    Abstand: 65 ly(Lichtjahre) = 6,19 *10^14 km

Berechne die Entfernung eines Sterns, dessen Parallaxe zu 0,02'' gemessen wurde, in pc, ly, km!

50pc (1/0,02)    Abstand: 162,8 ly(Lichtjahre) = 1,55 *10^15 km

**Erläutere den Begriff scheinbare Helligkeit!**

Unter der scheinbaren Helligkeit eines Sterns versteht man die Helligkeit, in der er uns auf der Erde erscheint.

**Nenne die Faktoren, von denen die scheinbare Helligkeit eines Sterns abhängt!**

Die scheinbare Helligkeit eines Sterns hängt von seiner Leuchtkraft und von seiner Entfernung ab.

**Zwei Sterne erscheinen uns gleich hell, Stern 1 hat aber eine größere Entfernung von uns als Stern 2. Vergleiche die Leuchtkräfte der beiden Sterne!**

Stern 1 hat eine größere Leuchtkraft als Stern 2.

**Zwei Sterne erscheinen uns gleich hell, Stern 1 hat aber eine geringere Leuchtkraft als Stern 2. Vergleiche die Entfernungen der beiden Sterne von uns!**

Stern 1 hat eine geringere Entfernung als Stern 2.

**Erläutere den Zusammenhang zwischen der scheinbaren Helligkeit, der absoluten Helligkeit und der Entfernung eines Sterns!**

Um die Helligkeit der Sterne vergleichen zu können, rechnet man die scheinbare Helligkeit auf die absolute Helligkeit um. Diese gibt an, wie hell der Stern in einem Abstand von 10 pc wäre.

**Was versteht man in der Physik unter einer Zustandsgröße?**
**Welches sind wichtige Zustandsgrößen zur Beschreibung eines Sterns?**

Physikalische Zustandsgrößen beschreiben den physikalischen Zustand eines Objekts, für einen Stern sind das z.B. Radius, Masse mittlere Dichte, Oberflächentemperatur und Leuchtkraft

**Erläutere den Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur der Sterne und der Farbe ihres Lichts!**

Die Oberflächentemperatur eines Sterns bestimmt die Farbe seines Sternlichts. So führen geringe Temperaturen zu rötlichem Licht, höhere Temperaturen zu gelblichem und schließlich weißem Licht.

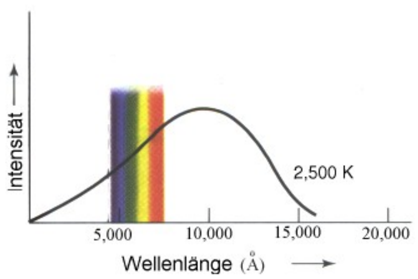
**Das Licht des Sterns Beteigeuze im Orion ist rötlich gefärbt, das Licht des Sterns Rigel im gleichen Sternbild erscheint weiß. Vergleiche die Oberflächentemperaturen der beiden Sterne!**
Die Oberflächentemperatur des Sterns Rigel ist sehr viel höher als die der Beteigeuze.

**Sterne scheinen auf den ersten Blick weiß zu sein. Aber wenn wir genauer hinschauen, sehen wir eine Reihe von Farben: Blau, weiß, rot und sogar gold. Im Wintersternbild des Orion ist ein schöner Kontrast zwischen der roten Beteigeuze in Orions „Armbeuge“ und dem blauen Bellatrix an der Schulter zu sehen. Was Sterne dazu bringt, verschiedene Farben auszusenden, war bis vor zwei Jahrhunderten ein Rätsel, als Physiker genug Informationen über das Wesen des Lichts und über Eigenschaften der Materie bei sehr hohen Temperaturen gesammelt hatten.**

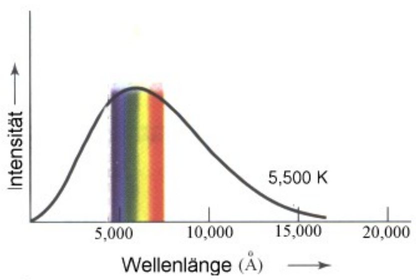
Genauer war es die Physik der Schwarzkörperstrahlung, die uns erlaubt, die Sternenfarben zu verstehen. Kurz nachdem die Schwarzkörperstrahlung verstanden war, wurde bemerkt, dass das Spektrum von Sternen genauso aussieht wie die Schwarzkörperkurven von Temperaturen von ein paar Tausend Kelvin bis ca. 50.000 Kelvin. Der offensichtliche Schluss ist, dass die Sterne den Schwarzen Körpern ähnlich sind und dass die Farbenvielfalt der Sterne eine direkte Konsequenz aus der Oberflächentemperatur ist.

Kühle Sterne (also die Spektraltypen K und M) geben ihre meiste Energie im roten und infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums ab und scheinen daher rot, während heißere Sterne (Spektraltypen O und B) hauptsächlich blaue und ultraviolette Wellenlängen aussenden, wodurch sie uns blau oder weiß erscheinen.

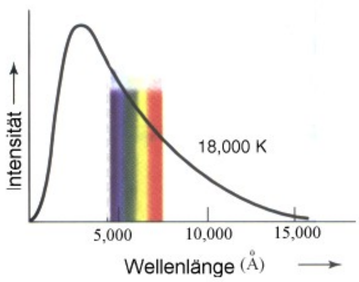
Um die Oberflächentemperatur eines Sterns abzuschätzen, können wir die bekannte Beziehung zwischen der Temperatur eines Schwarzen Körpers und der Wellenlänge des Lichts benutzen, wo das Spektrum den höchsten Stand erreicht. Das bedeutet, wenn man die Temperatur eines Schwarzen Körpers erhöht, verschiebt sich der höchste Ausschlag des Spektrums zu kürzeren (blaueren) Wellenlängen des Lichts. Das ist in Abbildung 1 gezeigt, wo die Intensitäten dreier hypothetischer Sterne der Wellenlänge gegenüber gestellt werden. Der „Regenbogen“ zeigt den Bereich der Wellenlängen, der für das menschliche Auge sichtbar ist.



I. Dieser Stern scheint rot



II. Dieser Stern scheint gelb



III. Dieser Stern scheint blau