

Lösungen: Licht

1 Reflexion und Brechung, S. 69

Teste dein Wissen 1

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist

- a) größer als in Materie.
- b) kleiner als in Materie.
- c) gleich groß wie in Materie.

Antwort: Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist **a) größer** als in Materie.

Zusatz: Licht in Materie wechselwirkt mit den dort vorhandenen Teilchen (Atomen/Elektronen), was zu einer effektiven Verlangsamung führt.

Teste dein Wissen 2

Rotes Licht ist in Materie

- a) schneller
 - b) langsamer
- als violettes Licht und wird daher
- a) stärker
 - b) schwächer
- gebrochen.

Antwort: Rotes Licht ist in Materie **a) schneller** als violettes Licht und wird daher **b) schwächer** gebrochen (violettes Licht wird stärker gebrochen).

Teste dein Wissen 3

Erkläre, unter welchen Voraussetzungen Totalreflexion eintritt. Wie berechnet man den Grenzwinkel der Totalreflexion?

Antwort:

Voraussetzungen für Totalreflexion:

1. Licht muss vom optisch dichteren Medium ins optisch dünnere übergehen, also von größerer Brechzahl n_1 zu kleinerer Brechzahl n_2 .
2. Der Einfallswinkel im dichteren Medium ist größer als der Grenzwinkel β_G .

Mit dem Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

Beim Grenzfall läuft der gebrochene Strahl parallel zur Grenzfläche, also $\alpha = 90^\circ$ und mit $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin 90^\circ = 1$ folgt für den Grenzwinkel β_G :

$$\frac{1}{\sin \beta_G} = n \Rightarrow \sin \beta_G = \frac{1}{n} \Rightarrow \beta_G = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$$

Totalreflexion gibt es also nur, wenn $n > 1$.

Teste dein Wissen 4

Beschreibe, wozu man optische Instrumente benötigt.

Antwort:

Optische Instrumente (z. B. Brillen, Lupen, Mikroskope, Fernrohre, Projektoren) dienen dazu, Bilder zu erzeugen und Gegenstände vergrößert/verkleinert, aufrecht/verkehrt oder seitenrichtig/seitenverkehrt darzustellen. Sie helfen, sehr kleine oder sehr weit entfernte Dinge besser zu sehen.

Teste dein Wissen 5

Erkläre einer Freundin oder einem Freund, warum das menschliche Auge verschieden weit entfernte Gegenstände scharf sehen kann.

Antwort:

Das Auge kann scharf stellen, weil die Augenlinse ihre Krümmung mithilfe des Ziliarmuskels ändern kann. Dadurch ändert sich die Brennweite und das Bild wird jeweils auf der Netzhaut scharf abgebildet. Diese Fähigkeit heißt Akkommodation (ungefähr von 10 cm Nahpunkt bis „unendlich“ scharf).

Teste dein Wissen 6

Erkläre einer Kollegin oder einem Kollegen, warum man mit einem Prisma weißes Licht in seine Spektralanteile zerlegen kann.

Antwort:

In einem Prisma wird Licht gebrochen. Dabei werden verschiedene Farben unterschiedlich stark gebrochen (weil die Brechzahl vom Material und von der Lichtfarbe/Frequenz abhängt). Daher fächert ein Prisma weißes Licht in die Spektralfarben (Rot bis Violett) auf. Dabei wird Rot am schwächsten und Violett am stärksten gebrochen.

Teste dein Wissen 7

Beschreibe, wie man erkennen kann, ob eine Farbe eine reine Spektralfarbe oder eine Farbmischung ist.

Antwort:

Man lässt das Licht (oder das von der Farbe kommende Licht) durch ein Prisma laufen:

- **Reine Spektralfarbe (monochromatisch):** wird nicht weiter aufgefächert, bleibt „eine Farbe“.
- **Farbmischung (polychromatisch):** wird im Prisma in mehrere Farben zerlegt (Spektrum).

Teste dein Wissen 8

Wie kannst du einen Regenbogen erzeugen? Erkläre einer Freundin oder einem Freund, wie ein Regenbogen zustande kommt.

Antwort:

Erzeugungsmodell: Weißes Licht durch einen mit Wasser gefüllten Rundkolben leiten, der als Modell für einen riesigen Wassertropfen dient. Dabei wird das Licht zerlegt, sodass auf einem dahinterstehenden Schirm die Spektralfarben sichtbar werden.

Entstehung: In der Natur entsteht ein Regenbogen, wenn Sonnenlicht auf Regentropfen trifft. Innerhalb des Tropfens finden dabei drei entscheidende Schritte statt:

1. Das Licht wird beim Eintritt in den Tropfen gebrochen.
2. An der Rückwand des Tropfens wird es innen reflektiert (bei einem Hauptregenbogen geschieht dies einmal).
3. Beim Austritt aus dem Tropfen wird das Licht erneut gebrochen.

Da die verschiedenen Farben des weißen Lichts unterschiedlich stark gebrochen werden, fächern sie sich auf. Dadurch liegt beim Hauptregenbogen, der typischerweise unter einem Winkel von etwa 42° zu sehen ist, der rote Bereich außen und der violette Bereich innen.

Teste dein Wissen 9

Erkläre einer Person bei dir zu Hause, was eine Dioptrie ist.

Antwort:

Die Dioptrie (dpt) ist die Einheit der Brechkraft D einer Linse:

$$D = \frac{1}{f}$$

wobei f die Brennweite in Metern ist. Einheit: $1 \text{ dpt} = 1 \text{ m}^{-1}$

Für Sammellinsen ist $D > 0$, für Zerstreuungslinsen $D < 0$.

Teste dein Wissen 10

Körperfarben entstehen durch

- a) additive Farbmischung.
 - b) subtraktive Farbmischung.
- Begründe deine Entscheidung.

Antwort:

b) subtraktive Farbmischung.

Bei nicht selbst leuchtenden Körpern werden aus dem weißen Licht bestimmte Farbanteile absorbiert. Der Rest wird reflektiert – dieser Rest bestimmt den Farbeindruck. Das ist subtraktiv.

Teste dein Wissen 11

Erkläre das Prinzip der Darstellung von Farben beim Vierfarbendruck.

Antwort:

Der Vierfarbendruck arbeitet mit Cyan (C), Magenta (M), Gelb (Y) und Schwarz (K). Durch Übereinanderdruck (unterschiedliche Intensitäten/Rasterung) werden Farbanteile des Lichts subtraktiv herausgefiltert, sodass (nahezu) alle Farbtöne erzeugt werden können. Schwarz (K) dient u. a. für Kontrast und tiefe Dunkelwerte.

Teste dein Wissen 12

Markiere die wichtigsten Begriffe im Text zur „Antwort auf die Eingangsfrage“ und notiere alle Begriffe, die aus der Medizin stammen könnten. Schreibe eine kurze Erklärung zu den jeweiligen Begriffen.

Beispielantwort:

- **Pupille:** Öffnung in der Iris. Diese wird für die Untersuchung erweitert, damit man ins Auge sehen kann.
- **Netzhaut (Retina):** Lichtempfindliche Schicht im Auge, auf der das Bild entsteht.
- **Netzhautspiegelung:** Untersuchung, bei der die Netzhaut mit Lupe/Licht betrachtet wird.
- **Makula („Gelber Fleck“):** Bereich der Netzhaut mit höchster Sehzellendichte → besonders scharfes Sehen ($\sim 2 \text{ mm}$ Durchmesser).
- **Blinder Fleck:** Dies ist die Stelle, wo der Sehnerv austritt (keine Sehzellen → keine Wahrnehmung)
- **OCT-Scan (Optische Kohärenztomografie):** Dies ist ein bildgebendes Verfahren für detaillierte Retina-Strukturen.
- **Interferometer / Interferenz:** Optisches Messprinzip, bei dem Lichtstrahlen über Überlagerung ausgewertet werden (für OCT genutzt).
- **(altersbedingte) Makuladegeneration:** Dies ist eine Erkrankung/Abbau der Makula und beeinträchtigt scharfes Sehen.
- **Diabetes-Erkrankung:** Kann Veränderungen an der Makula/Netzhaut verursachen.

Rechenaufgabe 1

Die Brechzahl von Wasser beträgt $\frac{4}{3}$, von Glas $\frac{3}{2}$.

Vervollständige die Tabelle. (Wellenlängen in Wasser und Glas)

Farbe	Rot	Gelb	Grün	Violett
λ_{Luft}	700 nm	600 nm	500 nm	400 nm
λ_{Wasser}				
λ_{Glas}				

Antwort:

Gegeben: $n_{\text{Wasser}} = \frac{4}{3}$; $n_{\text{Glas}} = \frac{3}{2}$

Zusammenhang: Frequenz bleibt beim Übergang gleich, denn es gilt $c = \lambda \cdot f$ und $n = c/c_m$ mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im untersuchten Medium c_m und daher folgt:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_{\text{Luft}}}{n_m} \text{ wobei m (für Medium) = Wasser, Glas}$$

1) Wellenlängen in Wasser: $\lambda_{\text{Wasser}} = \lambda_{\text{Luft}} \cdot \frac{3}{4}$

Rot: $700 \cdot \frac{3}{4} = 525 \text{ nm}$

Gelb: $600 \cdot \frac{3}{4} = 450 \text{ nm}$

Grün: $500 \cdot \frac{3}{4} = 375 \text{ nm}$

Violett: $400 \cdot \frac{3}{4} = 300 \text{ nm}$

2) Wellenlängen in Glas ($n = \frac{3}{2} \Rightarrow \frac{1}{n} = \frac{2}{3}$): $\lambda_{\text{Glas}} = \lambda_{\text{Luft}} \cdot \frac{2}{3}$

Rot: $700 \cdot \frac{2}{3} \approx 467 \text{ nm}$

Gelb: $600 \cdot \frac{2}{3} = 400 \text{ nm}$

Grün: $500 \cdot \frac{2}{3} \approx 333 \text{ nm}$

Violett: $400 \cdot \frac{2}{3} \approx 267 \text{ nm}$

Tabelle (Ergebnis):

Farbe	Rot	Gelb	Grün	Violett
λ_{Luft}	700 nm	600 nm	500 nm	400 nm
λ_{Wasser}	525 nm	450 nm	375 nm	300 nm
λ_{Glas}	467 nm	400 nm	333 nm	267 nm

Rechenaufgabe 2

Alex hat auf seinem Brillenrezept folgendes stehen: R -8, L -10.

Auf dem Brillenrezept seiner Mutter sind die Werte R +0,5, L +1,5 angegeben.

Erkläre, was diese Informationen über die Sehtüchtigkeit der beiden Menschen aussagen. Welche Brennweiten haben die Linsen ihrer Brillen? Die Mutter trägt gerne ihre Brillen, der Sohn benützt lieber Kontaktlinsen. In welcher Weise beeinflussen die Brillen die Gesichter der beiden Personen?

Antwort:

Bedeutung der Vorzeichen:

- **Negative Dioptrien (-):** Zerstreuungslinse → typisch bei Kurzsichtigkeit (Myopie).
Bedeutung für Alex: Er kann Dinge in unmittelbarer Nähe gut sehen, aber alles, was weiter weg ist, erscheint unscharf. Die Werte -8 und -10 sind sehr hoch. Das bedeutet, Alex ist stark kurzsichtig.
- **Positive Dioptrien (+):** Sammellinse → typisch bei Weitsichtigkeit (Hyperopie) bzw. (bei kleinen +Werten) auch „Lesebrille/Alterssichtigkeit“ je nach Kontext.
Bedeutung für die Mutter: Sie kann gut in die Ferne sehen, hat aber Probleme, Dinge in der Nähe (z. B. beim Lesen) scharf zu stellen. Die Werte 0,5 und 1,5 sind eher gering. Es handelt sich um eine leichte Weitsichtigkeit.

Brennweiten:

Gegeben ist die Formel:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{D}$$

(f... Brennweite in m, D... Dioptrie in dpt)

Alex:

Rechts: $D = -8 \Rightarrow f_R = \frac{1}{-8} \text{ m} = -0,125 \text{ m} = -12,5 \text{ cm}$

Links: $D = -10 \Rightarrow f_L = \frac{1}{-10} \text{ m} = -0,10 \text{ m} = -10 \text{ cm}$

Mutter:

Rechts: $D = +0,5 \Rightarrow f_R = \frac{1}{0,5} \text{ m} = 2 \text{ m}$

Links: $D = +1,5 \Rightarrow f_L = \frac{1}{1,5} \text{ m} \approx 0,67 \text{ m}$

Einfluss aufs Gesicht:

- **Minusgläser (Alex):** Minusgläser verkleinern Bild hinter der Brille optisch. Dies führt dazu, dass seine Augen kleiner erscheinen und die Gesichtspartie hinter den Gläsern oft schmaler wirkt.
- **Plusgläser (Mutter):** Plusgläser hingegen vergrößern das Bild, sodass ihre Augen optisch größer wirken. Das kann ein Grund sein, warum die Mutter ihre Brille „lieber“ trägt als Alex (ästhetischerer Eindruck).

Rechenaufgabe 3

a) Du möchtest ein Fernglas kaufen. Im Anbot liest du bei einem der Ferngläser 10x25, bei einem anderen 25x70. Recherchiere, was diese Werte bedeuten, und vergleiche diese beiden Produkte. Für welches entscheidest du dich? Begründe deine Entscheidung.

b) Du erkundigst dich genauer und liest, dass sich Ferngläser durch ihr Sehfeld, ihren Objektivdurchmesser und ihre Vergrößerungszahl unterscheiden. Recherchiere, was diese Begriffe bedeuten und welche Ferngläser wofür geeignet wären.

Antwort:

a) Bedeutung „AxB“

- A = Vergrößerung (z. B. 10x: Objekt erscheint 10-mal näher)
- B = Objektivdurchmesser in mm (z. B. 25 mm) → bestimmt Lichtsammlung bzw. „Helligkeit“.

Vergleich:

Das 10×25-Fernglas: Dieses Modell ist leicht und kompakt gebaut. Es liefert bei Tageslicht ein ausreichend helles Bild und lässt sich in den meisten Situationen gut freihändig nutzen.

Das 25×70-Fernglas: Dieses Modell bietet eine sehr starke Vergrößerung und verfügt über große Objektive, wodurch es sich besser für die Dämmerung oder Astronomie eignet. Da es jedoch groß und schwer ist und das Bild bei 25-facher Vergrößerung leicht verwackelt, ist hier häufig die Verwendung eines Stativs sinnvoll.

Entscheidung:

Für Alltag/Outdoor/Wandern würde ich 10×25 wählen (tragbar + freihändig stabiler).

Für Mond/Sterne/weit entfernte Details eher 25×70 (aber dann am besten mit Stativ).

b) Begriffe

- **Das Sehfeld** gibt an, wie breit der sichtbare Bildausschnitt ist; ein großes Sehfeld verschafft dem Nutzer dabei wesentlich mehr Überblick.
- **Der Objektivdurchmesser** bestimmt, wie viel Licht vom Fernglas gesammelt wird, was besonders für die Nutzung in der Dämmerung oder bei Nacht entscheidend ist.
- **Die Vergrößerungszahl** beschreibt, wie stark das beobachtete Objekt optisch „herangezoomt“ wird. Eine hohe Vergrößerung macht zwar feine Details sichtbar, erhöht aber gleichzeitig die Gefahr, dass das Bild verwackelt.

Eignung:

- Eine Kombination aus einem großen Sehfeld und moderater Vergrößerung eignet sich besonders gut für die **Naturbeobachtung, Sportveranstaltungen und Wanderungen**, da man hier den Überblick behält.
- Modelle mit großen Objektiven sind hingegen optimal für den Einsatz in der **Dämmerung** und zur **Sternenbeobachtung**. Falls dabei eine sehr hohe Vergrößerung genutzt wird, ist jedoch oft die Verwendung eines Stativs notwendig, um das Bild stabil zu halten.

2 Beugung und Interferenz des Lichts, S. 79

Teste dein Wissen 1

Begründe, was für die Theorie spricht, dass Licht eine Welle ist.

Antwort:

Für die Wellennatur des Lichts sprechen Phänomene, die nur mit Wellen erklärbar sind:

- **Beugung:** Licht tritt hinter sehr kleinen Öffnungen/Hindernissen in den geometrischen Schattenraum ein.
- **Interferenz:** Überlagerung führt zu Verstärkung/Auslöschung (helle/dunkle Streifen beim Doppelspalt/Gitter).
- **Polarisation:** Licht kann linear polarisiert sein; das ist typisch für Transversalwellen (Kreuzversuch mit Polfiltern).

Licht ist eine elektromagnetische Welle, also eine Transversalwelle.

Teste dein Wissen 2

Beschreibe je ein Experiment zur Beugung, zur Interferenz und zur Polarisierung und erkläre diese einem Freund oder einer Freundin.

Beispielantwort:

Beugung – Einfachspalt:

Man lässt Licht durch einen sehr schmalen Spalt auf einen entfernten Schirm fallen. Wenn der Spalt sehr eng wird, sieht man ein Hauptmaximum in der Mitte und Nebenmaxima seitlich – das Spaltbild wird breiter, Licht „biegt“ in den Schattenraum. Am besten nutzt man monochromatische Lichtquellen wie Laser.

Interferenz – Doppelspalt:

Wenn man einen Laser auf einen Doppelspalt richtet, erscheinen auf einem Schirm helle und dunkle Streifen. Von beiden Spalten gehen Wellen aus, die sich überlagern. Je nach Gangunterschied entstehen durch Interferenz Orte mit Verstärkung (hell) oder Auslöschung (dunkel).

Polarisation – Kreuzung von Polfiltern:

Beim Blick durch einen einzelnen Polfilter erkennt man außer einer leichten Verdunkelung kaum eine Änderung. Legt man einen zweiten Filter darüber und dreht diesen, wird das Bild dunkler. Bei einer 90°-Stellung („gekreuzt“) kommt fast kein Licht mehr durch. Dies zeigt, dass Licht eine feste Schwingungsebene haben kann und somit eine Transversalwelle ist.

Teste dein Wissen 3

Mit einem sehr feinen Gitter kann man Licht in seine Spektralfarben zerlegen. Erkläre einer Person bei dir zu Hause, wie das funktioniert.

Antwort:

Ein Strichgitter hat viele parallele Spalten im Abstand d (Gitterkonstante). An jedem Spalt wird Licht gebeugt, wobei sich Teilwellen überlagern. In bestimmten Richtungen kommt es zu konstruktiver Interferenz (helle Maxima). Für die Maxima gilt:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Da jede Spektralfarbe eine andere Wellenlänge λ hat, liegen die Maxima für Rot, Grün, Blau bei unterschiedlichen Winkeln φ . Dadurch entsteht links und rechts vom weißen Maximum nullter Ordnung (Hauptmaximum) ein „Gitterspektrum“.

Teste dein Wissen 4

Erkläre einer Schulkollegin oder einem Schulkollegen, wie man mit Laserlicht den Durchmesser eines Haares messen kann.

Antwort:

Man richtet einen Laser auf eine Wand und hält ein Haar in den Strahl. Statt eines Punktes sieht man ein Beugungsmuster (helle/dunkle Streifen). Ein Haar wirkt wie ein sehr schmales Hindernis (Beugung ähnlich wie am Spalt).

Messidee (Prinzip):

1. Abstand Wand–Haar: a ; Laserwellenlänge: λ ; Haar-Durchmesser: D
2. Abstand s zwischen Zentralmaximum und erstem Minimum (oder Streifenabstand) am Schirm messen.
3. Für kleine Winkel gilt näherungsweise $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx s/a$.
4. Mit der Beziehung für das erste Minimum erhält man:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D = \frac{\lambda}{\sin \alpha} \approx \frac{\lambda}{s/a} = \frac{\lambda a}{s}$$

Damit kann man aus a, s und λ den Haar-Durchmesser D bestimmen.

Teste dein Wissen 5

Beschreibe ein Experiment, mit dem du die Wellenlänge von Licht bestimmen kannst.

Beispielantwort:

Zuerst richtet man einen Laser oder eine andere Quelle für monochromatisches Licht auf ein Beugungsgitter mit bekannter Gitterkonstante d , wodurch auf dem Schirm mehrere Maxima sichtbar werden. Anschließend misst den Winkel (oder die Geometrie am Schirm), bei dem das Beugungsmaximum 1. Ordnung auftritt, den Abstand a zwischen dem Gitter und dem Schirm sowie den Abstand s zwischen dem Hauptmaximum und dem ersten Nebenmaximum.

Für kleine Winkel gilt: $\tan \varphi \approx \sin \varphi \approx s/a$.

Rechnung:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k}$$

Für $k = 1$ und $\sin \varphi \approx s/a$ gilt demnach: $\lambda \approx \frac{d \cdot s}{a}$

So kann man die Wellenlänge λ des verwendeten (monochromatischen) Lichts bestimmen.

Teste dein Wissen 6

Begründe, wie groß das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist. Warum ist das Auflösungsvermögen des Auges begrenzt?

Antwort:

Für eine Öffnung mit Durchmesser D gilt für den ersten dunklen Ring (wobei für kleine Winkel $\sin(\alpha) \approx \alpha$ gilt):

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{D} \approx \alpha$$

Mit typischen Werten $D \approx 3 \text{ mm}$ und $\lambda \approx 600 \text{ nm}$ ergibt sich ein (minimaler) auflösbarer Sehwinkel von etwa $1'$ (Winkelminute). Das entspricht etwa 1 mm aus 6 m Entfernung.

Warum begrenzt?

Weil Licht beim Eintritt durch die Pupille (endliche Öffnung) gebeugt wird. Auf der Netzhaut entsteht kein Punkt, sondern ein Beugungsscheibchen ($\sim 6 \mu\text{m}$). Zwei Punkte sind nur getrennt wahrnehmbar, wenn der Sehwinkel etwa in einer bestimmten Größenordnung liegt bzw. ihre Beugungsbilder ausreichend getrennt sind.

Teste dein Wissen 7

Erkläre einem Freund oder einer Freundin, wie man linear polarisiertes Licht erzeugen und nachweisen kann.

Antwort:

Erzeugen (2 typische Wege):

1. **Polarisationsfilter (Polfilter):** Ein Filter lässt nur die Feldkomponente durch, die parallel zur Durchlassrichtung schwingt → dahinter ist das Licht linear polarisiert.
2. **Reflexion an Glas/Wasser:** Reflektiertes Licht wird bei geeignetem Einfallswinkel linear polarisiert. Bei Glas beträgt dieser Winkel etwa 57° .

Nachweisen kann man linear polarisiertes Licht, indem man einen zweiten Polfilter als Analysator nimmt und ihn dreht. Dabei ändert sich die Helligkeit und bei gekreuzten Filtern (90°) wird es (nahezu) dunkel.

Teste dein Wissen 8

Forme aus Draht einen Ring und tauche ihn in eine Seifenlösung. Ziehe ihn heraus und betrachte die Seifenlamelle im reflektierten und im durchgehenden Licht. Beobachte und protokolliere! Erkläre in eigenen Worten, warum Seifenblasen schillern.

Antwort:

Eine Seifenblase ist eine sehr dünne Schicht. Ein Teil des Lichts wird an der Oberfläche reflektiert, ein anderer Teil tritt in die Schicht ein, wird an der Unterseite reflektiert und kommt wieder heraus. Diese beiden reflektierten Strahlen interferieren.

Ob eine Farbe verstärkt oder ausgelöscht wird, hängt vom Gangunterschied ab (abhängig von Schichtdicke, Blickwinkel und Wellenlänge). Zusätzlich tritt bei Reflexion am optisch dichteren Medium ein Phasensprung von $\lambda/2$ auf. Dadurch werden bei einer bestimmten Schichtdicke manche Wellenlängen konstruktiv, andere destruktiv reflektiert → man sieht Interferenzfarben. Da die Dicke der Schicht räumlich/zeitlich variiert (Abfließen, Verdunstung), ändern sich die Farben ständig und die Seifenblase schillert.

Teste dein Wissen 9

Erkläre, wozu man Polaroidbrillen benötigt.

Antwort:

Polaroidbrillen enthalten Polarisationsfilter. Licht, das an glatten Flächen (z. B. Wasser, Straße) reflektiert wird, ist oft teilweise polarisiert und verursacht starke Blendung. Eine Polaroidbrille ist so orientiert, dass sie diese Polarisationsrichtung stark abschwächt → Reflexe/Blendung werden reduziert (z. B. beim Blick auf Wasser).

Teste dein Wissen 10

Erkläre einer Person zu Hause, warum der Himmel blau ist. Wie entsteht das Abendrot?

Antwort:

Warum ist der Himmel blau? Das Sonnenlicht wird von den kleinen Teilchen der Atmosphäre (z. B. Stickstoff, Sauerstoff) gestreut. Da blaues Licht viel stärker gestreut wird als rotes und dadurch eine geringere Eindringtiefe hat, verteilt es sich am Himmel in alle Richtungen. Wenn wir nach oben schauen, sehen wir dieses allgegenwärtige Streulicht als Himmelsblau.

Wie entsteht das Abendrot? Bei Sonnenuntergang muss das Licht einen viel längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen (ca. 300 km). Auf dieser Strecke wird das blaue Licht fast vollständig weggestreut. Übrig bleibt fast nur das rote Licht, das eine viel höhere Eindringtiefe hat und uns daher noch erreicht.

Teste dein Wissen 11

Erkläre, wie du weißes Licht in seine spektralen Anteile zerlegen kannst. Zeige zwei verschiedene Möglichkeiten und erkläre die Unterschiede.

Antwort:

Möglichkeit 1: Prisma (Dispersion)

Mit einem Prisma wird weißes Licht durch Dispersion zerlegt: Die Brechzahl n hängt von der Wellenlänge ab, daher werden Farben unterschiedlich stark gebrochen/abgelenkt und dies führt zum Bild des Farbspektrums des sichtbaren Lichts.

Möglichkeit 2: Beugungsgitter (Interferenz)

Am Gitter entstehen Maxima bei $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d}$

Da λ je nach Farbe verschieden ist, liegen die Maxima bei unterschiedlichen Winkeln.

Unterschied: Prisma trennt das Licht über Brechung im Material. Das Gitter trennt es über Interferenz vieler Spalten und liefert oft schärfere Spektrallinien.

Teste dein Wissen 12

Markiere die 4–6 wichtigsten Begriffe im Text zur „Antwort auf die Eingangsfrage“ und notiere alle Fachbegriffe, die du nicht kennst. Recherchiere ihre Bedeutung und schreibe dir Stichwörter dazu auf. Schreibe eine kurze Erklärung zu den wichtigsten Begriffen.

Beispielantwort:

1. **Seifenlamelle:** sehr dünne Seifenschicht/-film, bei der Reflexionen an Vorder- und Rückseite relevant sind. Dünne Schicht Wasser, die auf beiden Seiten von Seifenmolekülschicht begrenzt wird.
2. **Interferenz:** Überlagerung zweier Lichtwellen → Verstärkung oder Auslöschung je nach Phasenlage.
3. **Gangunterschied:** Wegunterschied der beiden interferierenden Strahlen; bestimmt, ob konstruktiv oder destruktiv interferiert wird.
4. **Phasensprung ($\lambda/2$) bei Reflexion:** Bei Reflexion am optisch dichteren Medium kommt es zu einer Phasenverschiebung um eine halbe Wellenlänge.
5. **Vergütung/Entspiegelung:** Aufdampfen einer dünnen Schicht auf Linsen/Brillengläser; durch geeignete Schichtdicke (oft Viertelwelle) wird reflektiertes Licht teilweise ausgelöscht → weniger Reflexion, mehr Transmission.

Rechenaufgabe 1

Ebene monochromatische Lichtwellen treffen auf einen Doppelspalt. Die Spaltöffnungen haben 0,1 mm Abstand. 5 m hinter dem Doppelspalt sind an der Wand helle Interferenzstreifen zu sehen. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Streifen beträgt 3,25 cm. Berechne, wie groß die Wellenlänge des Lichts ist.

Antwort:

Gegeben: $d = 0,1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, $a = 5 \text{ m}$, $s = 3,25 \text{ cm} = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Für kleine Winkel φ gilt $\sin \varphi \approx s/a$. Folgt für den Doppelspalt:

$$\frac{s}{a} = \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad (k = 0, 1, 2, 3 \dots)$$

für Beugungsmaxima k -ter Ordnung.

Umgestellt nach der Wellenlänge ergibt sich für $k = 1$:

$$\lambda = \frac{s \cdot d}{a} \Rightarrow \frac{(3,25 \cdot 10^{-2} \text{ m})(1 \cdot 10^{-4} \text{ m})}{5 \text{ m}} = \frac{3,25 \cdot 10^{-6}}{5} = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Die Wellenlänge beträgt somit 650 nm (rotes Licht).

Rechenaufgabe 2

Atome sind in einem Kristall in regelmäßigen Abständen von einigen Atomdurchmessern angeordnet (Gitterkonstante). Überlege, wie du mit Hilfe der Beugung den Abstand zwischen den Atomen bestimmen könntest.

Antwort:

Ein Kristall wirkt wie ein dreidimensionales Beugungsgitter. Man beleuchtet ihn mit monochromatischer Strahlung bekannter Wellenlänge λ und misst die Winkel, bei denen Beugungsmaxima auftreten. Aus der Beugungsbedingung (Gitterprinzip)

$$\sin \varphi = k \cdot \frac{\lambda}{d}$$

kann man den charakteristischen Abstand d bestimmen.

Wichtig: Da Atomabstände sehr klein sind (Größenordnung 10^{-10} m), braucht man Strahlung mit ähnlich kleiner Wellenlänge. In der Praxis nutzt man in der Kristallographie Röntgenstrahlung. Man misst das Beugungs-/Interferenzmuster (Winkel der Maxima) und berechnet daraus die Gitterkonstante (Atomabstände).

Rechenaufgabe 3

Begründe, welchen Objektivdurchmesser ein Fernrohr mindestens haben muss, damit der etwa 5 Mrd. km weit entfernte Planet Neptun (Durchmesser 50 000 km) noch als Scheibchen gesehen werden kann ($\lambda = 500 \text{ nm}$).

Antwort:

Gegeben: $D_N = 50\,000 \text{ km}$, $r = 5 \cdot 10^9 \text{ km}$, $\lambda = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Damit Neptun als Scheibchen erkannt wird, muss das Fernrohr einen Winkel in der Größenordnung des Winkeldurchmessers α auflösen können.

Winkeldurchmesser von Neptun:

$$\sin \alpha = \frac{D_N}{r} = \frac{50\,000 \text{ km}}{5 \cdot 10^9 \text{ km}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \approx \alpha \text{ (für kleine Winkel)}$$

Für die Beugungsgrenze gilt: $\alpha \approx \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D \approx \frac{\lambda}{\alpha}$

Einsetzen ergibt:

$$D \approx \frac{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1 \cdot 10^{-5}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = \mathbf{0,05 \text{ m}}$$

Also braucht das Fernrohr einen Objektivdurchmesser von mindestens 5 cm, um Neptun als Scheibchen zu erkennen.

Rechenaufgabe 4

Der Objektivdurchmesser eines Fernrohrs beträgt 1 m. Ein Doppelstern wird im Licht der Wellenlänge 500 nm beobachtet.

- Bestimme, wievielfach heller der Stern beim Blick durchs Fernrohr als mit dem bloßen Auge ist (Pupillendurchmesser 5 mm).
- Begründe, welchen Winkelabstand die beiden Sterne mindestens haben müssen, damit sie als getrennt wahrgenommen werden.
- Bewerte, welchen Vorteil es bringt, Sterne mittels Blaufilter zu fotografieren.

Antwort:

Gegeben: $D_{\text{Fernrohr}} = 1 \text{ m}$, $D_{\text{Pupille}} = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $\lambda = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

a)

Die Helligkeit eines Bildes hängt von der Fläche der Öffnung ab, durch die das Licht fällt. Da die Fläche eines Kreises quadratisch mit dem Durchmesser wächst ($A \sim D^2$), vergleicht man die Quadrate der Durchmesser.

Es gilt somit: aufgesammelte Lichtmenge $\propto$ Fläche $\propto D^2$

$$\frac{\text{Helligkeit Fernrohr}}{\text{Helligkeit Pupille}} = \left(\frac{D_{\text{Fernrohr}}}{D_{\text{Pupille}}} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{1 \text{ m}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \right)^2 = 200^2 = 40\,000$$

Der Stern erscheint durch das Fernrohr 40 000-mal heller als mit dem bloßen Auge.

b)

An der Beugungsgrenze gilt: $\alpha \approx \frac{\lambda}{D}$

$$\alpha \approx \frac{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{1 \text{ m}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$$

In Bogensekunden: $1 \text{ rad} \approx 206\,265'' \Rightarrow \alpha \approx 5 \cdot 10^{-7} \cdot 206\,265 \approx 0,1''$

Die Sterne müssen einen Winkelabstand von mindestens $0,1''$ haben, um aufgrund der Beugung am Objektiv noch als zwei getrennte Objekte erkannt zu werden.

c)

Blaues Licht hat eine kleinere Wellenlänge und aufgrund der Beziehung $\alpha \approx \frac{\lambda}{D}$ kann das Fernrohr feiner auflösen.

Abwägung: Ein Filter lässt weniger Licht durch (Bild wird dunkler), aber die Beugungsauflösung verbessert sich. Eine längere Belichtungszeit könnte notwendig sein, um die Bildhelligkeit zu erhöhen.