

## Aufgaben 5                    Elektromagnetische Wellen Dispersion, Farben, Fotometrie

### Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- eine neue Problemstellung selbstständig bearbeiten und in einer Gruppe diskutieren können.
- das Phänomen der Dispersion kennen und verstehen.
- verstehen, wie die Aufspaltung von weissem Licht in die Spektralfarben zustande kommt.
- verstehen, wie ein Regenbogen zustande kommt.
- den Unterschied zwischen einem kontinuierlichen Spektrum und einem Linienspektrum kennen und verstehen.
- das Farbsehen im menschlichen Auge kennen und verstehen.
- die additive und die subtraktive Farbmischung kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, wie die Farbe eines Körpers zustande kommt.
- die wichtigsten radiometrischen und fotometrischen Grössen kennen und verstehen.
- den Zusammenhang zwischen den radiometrischen und den fotometrischen Grössen kennen, verstehen und anwenden können.
- wissen und verstehen, was ein Raumwinkel ist.

### Aufgaben

#### *Dispersion*

- 5.1     Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:  
- Dispersion (Seiten 1019 und 1020 im Abschnitt „28.3 Reflexion und Brechung“, ohne den Teil „\*Berechnung des Beobachtungswinkels beim Regenbogen“)
- 5.2     Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgende Aufgabe:  
A28.15

#### *Farben*

- 5.3     Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:  
- 28.6 Lichtspektren (Seiten 1029 bis 1032)
- 5.4     **Experimente Posten 1: Farben (30 min)**
- a)     *Farbzerlegung an einem Prisma*
- Ein trapezförmiges Prisma wird mit weissem Licht beleuchtet.
- i)     Beobachten Sie das Licht, welches die schräge Fläche des Prismas verlässt, indem Sie den Schirm in das Lichtbündel halten. Notieren Sie sich, welche Farben in welcher Reihenfolge auf dem Schirm sichtbar sind. Ist das Farbspektrum ein kontinuierliches oder ein diskretes Spektrum?
  - ii)    Beurteilen Sie nun, ob sich die Spektralfarben mit einem Prisma weiter zerlegen lassen. Schieben Sie dazu von unten bzw. oben vorsichtig die Spitze des rechtwinkligen Prismas in das farbig aufgefächerte gebrochene Lichtbündel. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
  - iii)   Untersuchen Sie nun, wie man mit Hilfe einer Sammellinse das farbig aufgefächerte Lichtbündel wieder zu weissem Licht vereinigen kann. Untersuchen Sie auch die Farbe des wiedervereinigten Lichtes, wenn man mit dem rechtwinkligen Prisma vor der Linse den roten bzw. blauen Bereich ausblendet.

b) *Additive Farbmischung*

Im vorderen Lichtschacht und in den beiden seitlichen Lichtschächten können Farbfilter oder dicht schliessende Blenden eingesetzt werden. So kann eine Farbe alleine oder die additive Farbmischung von zwei oder drei Farben beobachtet werden.

- i) Beobachten Sie den Farbeindruck bei der Addition der folgenden Farben:
  - Rot und Grün
  - Rot und Blau
  - Grün und Blau
  - Rot, Grün und Blau
- ii) Halten Sie für die vier Fälle in i) einen Stift in die unterschiedlich gefärbten Lichtbündel, und beobachten Sie die Farben der entstehenden Schatten.

c) *Subtraktive Farbmischung*

Mit einem oder mehreren vor den vorderen Lichtschacht gehaltenen Farbfilter(n) kann die subtraktive Farbmischung beobachtet werden.

- i) Beobachten Sie den Farbeindruck beim Hintereinanderhalten der folgenden Farbfilter. Erklären Sie den beobachteten Farbeindruck mit Hilfe der subtraktiven Farbmischung:
  - Gelb und Purpur
  - Gelb und Cyan
  - Purpur und Cyan
  - Gelb, Purpur und Cyan
- ii) Führen Sie weitere Experimente mit selbst gewählten Filterkombinationen durch.

d) *Körperfarben*

Ein Blatt mit drei Flächen in den Farben Rot, Grün und Blau wird mit Licht verschiedener Farben beleuchtet.

Beobachten Sie, wie sich die Farben der drei Flächen verändern, wenn sie mit Licht verschiedener Farben beleuchtet werden.

5.5 **Experimente Posten 2: Spektren** (10 min)

Licht aus verschiedenen Lampen beleuchtet einen Spalt. Die Linse erzeugt ein reelles Bild des Spaltes auf dem Schirm. Ein sogenanntes Geradsichtprisma zerlegt das Licht in seine Spektralfarben.

Beobachten Sie für die verschiedenen Lichtquellen die Spektren auf dem Schirm. Beurteilen Sie jeweils, ob es sich um ein kontinuierlichen Spektrum oder um ein Linienspektrum handelt.

Hinweise:

- Schauen Sie nicht direkt in die Lampen hinein.
- Die Lampen sind z.T. sehr heiss. Berühren Sie daher die Lampengehäuse nicht.

5.6 Studieren Sie die folgenden **Applets**. Sie finden die Applets unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets/Links

- Additive Farbmischung
- Subtraktive Farbmischung
- Farbwahrnehmung

Hinweise:

- Farbkürzel bei der Farbaddition (RGB):  
R (Red/Rot), G (Green/Grün), B (Blue/Blau)
- Farbkürzel bei der Farbsubtraktion (CMYK):  
C (Cyan/Blau-Grün), M (Magenta/Purpur), Y (Yellow/Gelb), K (Key/Schwarz)

5.7 Studieren Sie das folgende **Theorie-Blatt**. Sie finden das Theorie-Blatt unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets/Links

- Farbwahrnehmung im Auge (Seite 2: Additive Farbmischung)

Betrachten Sie das Muster aus roten und grünen Punkten auf dem Computerbildschirm, einmal aus der Nähe und einmal aus grösserer Entfernung. Beobachten Sie die Farbwahrnehmung bei den verschiedenen Entfernungen.

5.8 Führen Sie den folgenden **Quiz** durch. Sie finden den Quiz unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets/Links

- LEIFI-Quiz „Farben“

5.9 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind. Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

	wahr	falsch
a) Das Farbenspektrum des weissen Sonnenlichts ist ein kontinuierliches Spektrum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Beim Farbfernseher entstehen die Farben durch Farbaddition.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Fällt spektralreines Licht ins Auge, so wird nur ein Typ Farbrezeptor (rot, grün oder blau) angeregt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Beim Wasserfarbenmalen entsteht aus der Mischung der Farben Gelb und Blau die Farbe Grün. Diese Mischung entspricht einer Farbsubtraktion.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Wenn auf ein grünes Spektralfilter, das nur eine Wellenlänge durchlässt, nicht spektralreines grünes Licht fällt, dann wird hinter dem Filter spektralreines grünes Licht zu sehen sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Fotometrie

5.10 In der sogenannten Fotometrie wird der Energietransport in Licht beschrieben und gemessen.

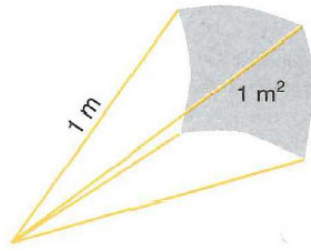
Es gibt **radiometrische** (strahlungsphysikalische) und **fotometrische** (lichttechnische) Grössen. Jede fotometrische Grösse entspricht einer radiometrischen Grösse. Im Gegensatz zu den radiometrischen Grössen ist bei den fotometrischen Grössen die Empfindlichkeit des Betrachters mitberücksichtigt.

a) Studieren Sie auf Wikipedia unter „Photometrie“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Photometrie>, 12.3.2020) die folgenden ...

- i) ... **radiometrischen** Grössen:
  - Strahlungsenergie/Strahlungsmenge  $Q$ ,  $[Q] = J$
  - Strahlungsleistung/Strahlungsfluss  $\Phi$ ,  $[\Phi] = J/s = W$
  - Strahlungsintensität/Strahlungsstärke  $I$ ,  $[I] = J/s/sr = W/sr$
  - Strahlungsstromdichte/Bestrahlungsstärke  $E$ ,  $[E] = J/s/m^2 = W/m^2$
- ii) ... **fotometrischen** Grössen:
  - Lichtmenge  $Q_v$ ,  $[Q_v] = lm \cdot s$
  - Lichtstrom  $\Phi_v$ ,  $[\Phi_v] = lm$
  - Lichtstärke  $I_v$ ,  $[I_v] = cd = lm/sr$
  - Beleuchtungsstärke  $E_v$ ,  $[E_v] = lx = lm/m^2$

Hinweise:

- 1 sr (Steradian) ist der räumliche Winkel  $\Omega$ , dessen Scheitelpunkt im Mittelpunkt einer Kugel mit Radius 1 m liegt und der aus der Kugeloberfläche eine Kalotte der Fläche  $1 m^2$  ausschneidet:



- Vergleichen Sie mit der Definition des rad (Radiant, Bogenmass): 1 rad ist der ebene Winkel  $\varphi$ , dessen Scheitelpunkt im Mittelpunkt eines Kreises mit Radius 1 m liegt und der aus dem Kreisumfang einen Bogen der Länge 1 m ausschneidet.

- b) Stellen Sie in geeigneter Form dar, welche fotometrische Grösse welcher radiometrischen Grösse entspricht.
- c) Studieren Sie auf Wikipedia unter „V-Lambda-Kurve“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/V-Lambda-Kurve>, 12.3.2020), wie die fotometrischen und die radiometrischen Grössen über die **Hellempfindlichkeitskurve** zusammenhängen.

5.11 Eine als punktförmig angenommene Lichtquelle strahlt in alle Richtungen gleichverteilt gelbes Licht der Wellenlänge 600 nm ab. Die Strahlungsleistung ist konstant und beträgt 10.0 W.

Bestimmen Sie ...

- a) ... die in einer Stunde anfallende Strahlungsenergie.
- b) ... die Strahlungsintensität.
- c) ... die Strahlungsstromdichte in der Entfernung 5.00 m von der Lichtquelle.
- d) ... den Lichtstrom.
- e) ... die Lichtstärke.
- f) ... die Beleuchtungsstärke in der Entfernung 5.00 m von der Lichtquelle.

Hinweis:

- Verwenden Sie in d) bis f) die relative Hellempfindlichkeitskurve für das Tagsehen.

5.12 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind. Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

- |   | wahr                     | falsch                   |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a) Jede fotometrische Grösse entspricht einer radiometrischen Grösse.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Die fotometrische Grösse Lichtstärke entspricht der radiometrischen Grösse Strahlungsleistung.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Wenn zwei Lichtquellen die gleichen Strahlungsleistungen aufweisen, die eine Lichtquelle jedoch rotes und die andere grünes Licht aussendet, dann ist der Lichtstrom des roten Lichtes höher als derjenige des grünen Lichtes. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Die Definition der Einheit Candela beruht auf der Definition der Einheit Lumen.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e) Der Raumwinkel, der einer ganzen Kugeloberfläche entspricht, beträgt $4\pi$ .  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## Lösungen

5.1 ...

5.2 ...

5.3 ...

- 5.4 a) i) ...  
kontinuierliches Spektrum
- ii) Eine Spektralfarbe lässt sich nicht weiter zerlegen.
- iii) ...
- b) i) Rot und Grün: Gelb  
Rot und Blau: Purpur  
Grün und Blau: Cyan (Blau-Grün)  
Rot, Grün und Blau: Weiss
- ii) Farbbereich Gelb: Schatten in Rot und Grün  
Farbbereich Purpur: Schatten in Rot und Blau  
Farbbereich Cyan: Schatten in Grün und Blau  
Farbbereich Weiss: Schatten in Gelb, Purpur und Cyan
- c) i) Gelb und Purpur: Rot
- (Erklärung: Das gelbe Filter filtert Blau aus dem weissen Licht.  
Das purpurfarbene Filter filtert Grün aus dem weissen Licht.  
Insgesamt wird also aus dem weissen Licht Blau und Grün  
herausgefiltert, so dass noch Rot übrig bleibt.)
- Gelb und Cyan: Grün  
Purpur und Cyan: Blau-Violett  
Gelb, Purpur und Cyan: sehr dunkel, etwas violettlich
- d) Die weisse Fläche erscheint immer in der Farbe des beleuchtenden Lichts.  
Bei der Beleuchtung durch das rote, grüne oder blaue Filter behält nur die farblich gleiche Fläche ihre Farbe. Die anderen beiden Flächen werden merklich dunkler oder verändern ihre Farbe.  
Bei der Beleuchtung durch das gelbe, purpur- oder cyanfarbene Filter wird immer eine andere Fläche sehr dunkel. Die anderen beiden Flächen werden nur wenig dunkler bzw. verändern ihre Farbe geringfügig.
- 5.5 Experimentierleuchte mit weissem Licht: Kontinuierliches Spektrum  
Quecksilberdampf Lampe: Linienspektrum
- 5.6 ...
- 5.7 ...
- 5.8 ...
- 5.9 a) wahr  
b) wahr

