

Luxemburgische Physikolympiade

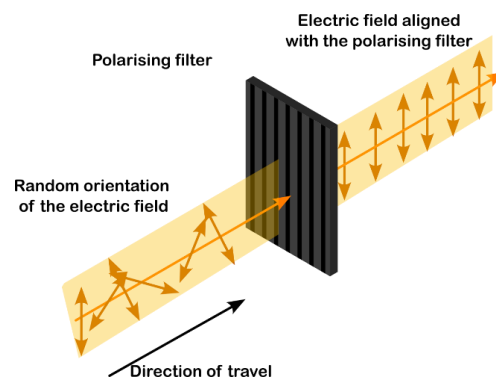
Finale

Einführung

Licht ist eine elektromagnetische Welle, die sich durch den Raum ausbreitet. Sie besteht aus elektrischen und magnetischen Feldern, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung oszillieren. Der Einfachheit halber betrachten wir nur das elektrische Feld.

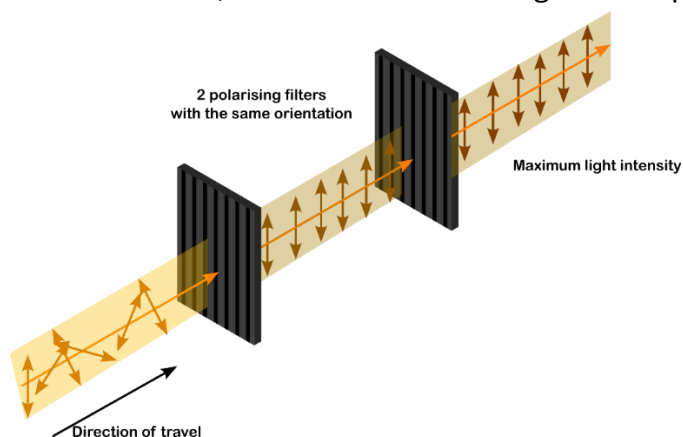
Beim Licht einer gewöhnlichen Lichtquelle (Glühbirne, Sonne ...) ist die Orientierung der Schwingung des elektrischen Feldes vollkommen zufällig. Dies nennt man unpolarisiertes Licht.

Es gibt jedoch Materialien, die nur Licht durchlassen, wenn das elektrische Feld entlang einer bestimmten Richtung schwingt. Ein solches Material nennt man Polarisationsfilter. Fällt unpolarisiertes Licht auf einen Polarisationsfilter, wird nur Licht mit einer Schwingungsrichtung durchgelassen, man spricht von linear polarisiertem Licht.

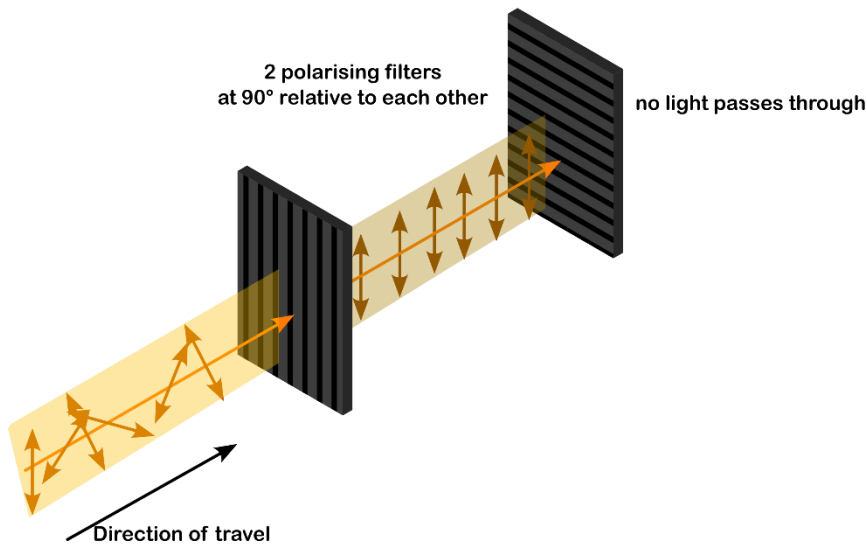


Wenn zwei Polarisationsfilter hintereinander angeordnet werden, fällt das bereits polarisierte Licht des ersten Filters auf den zweiten Filter. Dabei sind drei Fälle möglich:

1. Die beiden Polarisationsfilter sind perfekt ausgerichtet. Dann hat der zweite Filter keinen Einfluss, und das Licht kann ungehindert passieren.



- Die beiden Filter sind um 90° gegeneinander gedreht. Das Licht des ersten Filters kann den zweiten Filter nicht passieren und wird vollständig absorbiert.



- In einer beliebigen Zwischenstellung gelangt ein Teil des Lichts durch beide Filter, wobei die Lichtintensität von der relativen Ausrichtung der Filter abhängt.

In diesem Praktikum untersuchen Sie zunächst, wie der relative Winkel zwischen den Filtern die Lichtintensität beeinflusst.

Im zweiten und dritten Teil werden Sie die Wirkung von Saccharose auf die Polarisationsebene untersuchen. Saccharose ist nämlich ein chirales Molekül, das mit polarisiertem Licht wechselwirkt und die Polarisationsebene dreht. Dieses Phänomen kann sowohl von der Wellenlänge des Lichts als auch von der Konzentration der Saccharoselösung abhängen.

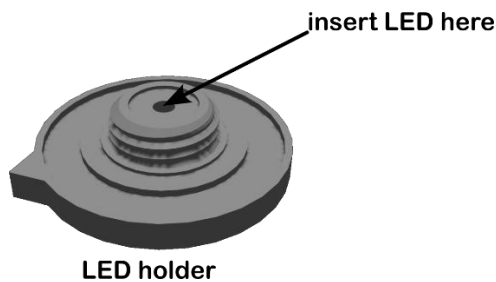
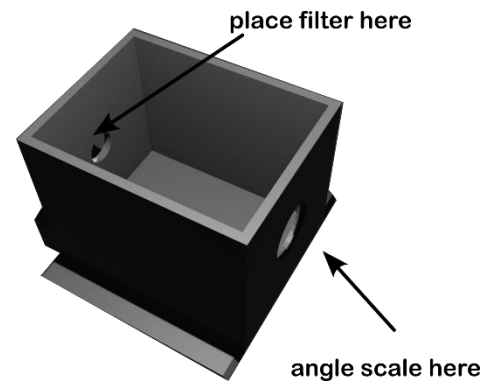
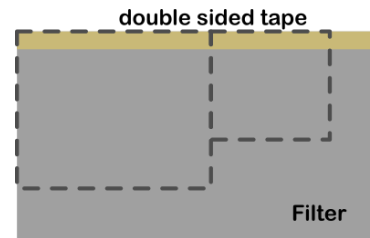
Material

- Karton
- 3D-gedruckte Box
- 3D-gedruckter LED-Halter
- 3D-gedruckte Mutter
- Bedruckte Winkelskala
- Konzentrierte Saccharoselösung
- Messzylinder
- Erlenmeyerkolben
- 250-ml-Becherglas
- Millimeterpapier
- LEDs verschiedener Farben
- Klebeband (Duct Tape)
- iPad mit Phyphox-App
- Polarisationsfilter
- Schere
- Lithium-Knopfzellen
- Doppelseitiges Klebeband
- Cutter

Vorbereitungen

- Schneiden Sie die Winkelskala aus und kleben Sie sie mit doppelseitigem Klebeband auf die Seite der 3D-Box (die Seite mit der größeren Öffnung).

- Schneiden Sie das Loch in der Mitte mit dem Cutter aus.
- Schneiden Sie einen dünnen Streifen doppelseitiges Klebeband aus und kleben Sie ihn an die Seite des Polarisationsfilters. Schneiden Sie zwei Quadrate mit den Maßen 2×2 cm und $1,5 \times 1,5$ cm aus. Kleben Sie das größere Quadrat auf die Innenseite der Box über die kleine Öffnung (Klebeband nach außen). Das kleinere Quadrat wird später benötigt.
- Stecken Sie die Beinchen der blauen LED in den LED-Halter.



- Legen Sie zwei Knopfzellen in Serie und klemmen Sie sie zwischen die LED-Beinchen, sodass die LED leuchtet. Falls sie nicht hält, fixieren Sie sie mit etwas Klebeband. (Das lange Bein ist die Plusseite (Anode)).
- Stecken Sie den LED-Halter in die große Öffnung der Box und sichern Sie ihn mit der Mutter. Ziehen Sie sie so fest, dass sich der Drehknopf noch drehen lässt.
- Stellen Sie den Drehknopf auf 0° (oben) und kleben Sie das kleine Polarisatorquadrat auf die LED, mit der Klebeseite oben. Durch das kleine Fenster sollte die LED bei 0° am hellsten und bei 90° am dunkelsten erscheinen. Falls nicht, muss der Polarisator neu ausgerichtet werden.
- Schneiden Sie ein Kartonstück passend zur Oberseite der Box zu und befestigen Sie es mit Klebeband wie ein Scharnier. So können Sie die Box schließen, um Reflexionen von Umgebungslicht zu vermeiden.

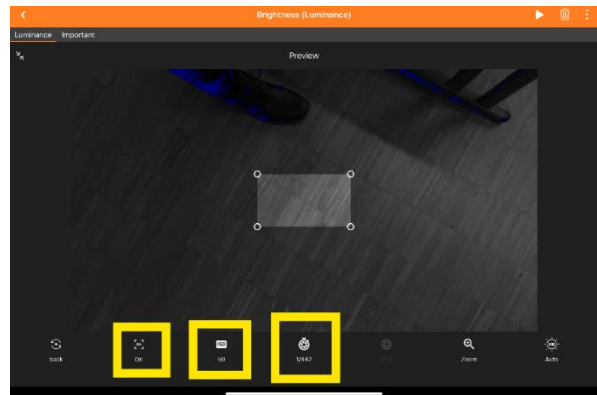
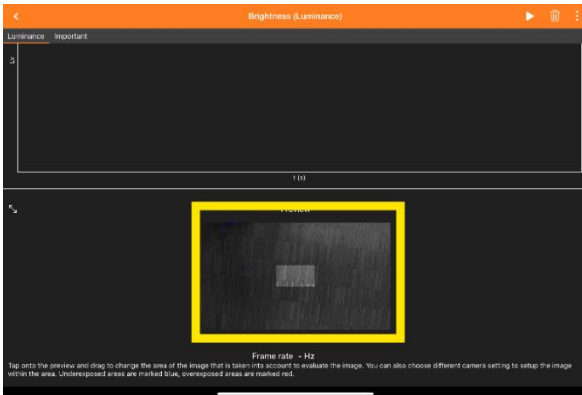


- Bekleben Sie die Seiten des Becherglases mit schwarzem Klebeband, lassen Sie aber zwei gegenüberliegende Streifen von etwa 5 mm Breite frei, sodass Licht durch die Mitte des Bechers gelangen kann.
- Platzieren Sie das iPad auf dem Halter der Box, sodass die Kamera durch die kleine Öffnung schaut. Fixieren Sie es mit zwei dünnen Streifen doppelseitigem Klebeband.
- Öffnen Sie die Phyphox-App → Brightness/Luminance. Wählen Sie im

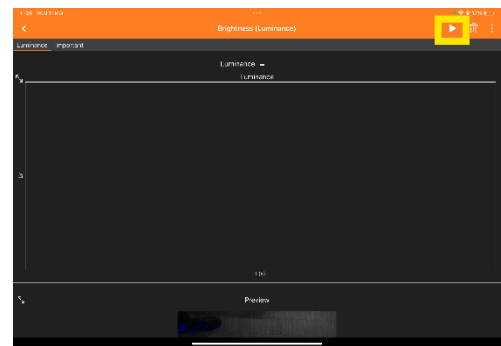


Kamerabild einen Ausschnitt aus, der nur die LED enthält.

12. Stellen Sie sicher, dass keine Bereiche überbelichtet (rot) oder unterbelichtet (schwarz) sind. Schalten Sie die automatische Belichtung aus. Passen Sie ISO-Zahl und Belichtungszeit an.



13. Minimieren Sie das Livebild durch Tippen und scrollen Sie zum Graphen. Starten Sie die Messung. Der angegebene Wert hat keine SI Einheiten. Es wird aber angenommen, dass der Wert eine affine Funktion der wahren Lichtintensität ist ($y = a \cdot x + b$) unter der Bedingung, dass keine Überbelichtung stattfindet.



Versuch 1

Überprüfen Sie das Malus'sche Gesetz, welches besagt, dass die Lichtintensität vom relativen Winkel α zwischen den Polarisatoren abhängt:

$$I = I_0 \cos^2(\alpha)$$

Messen Sie die Intensität von 0° bis 90° in 5° -Schritten und tragen Sie die Werte auf Millimeterpapier auf. Linearisieren Sie anschließend, indem Sie $\cos^2 \alpha$ berechnen und eine neue Grafik erstellen.

Versuch 2

Saccharose dreht die Polarisationssebene polarisierten Lichts.

1. Richten Sie die Polarisatoren zunächst so aus, dass sie bei 90° minimale Intensität ergeben.
2. Dann füllen Sie die Saccharoselösung in den Becher und stellen diesen zwischen LED und Kamera, so dass Licht auf die Kamera fällt.
3. Passen Sie falls nötig die Kameraeinstellungen an.

4. Bestimmen Sie die Verschiebung des Intensitätsminimums.
5. Wiederholen Sie dies für verschiedene LED-Farben.
6. Welchen Trend beobachten Sie?
7. Erinnert Sie diese Beobachtung an ein anderes wellenlängenabhängiges Phänomen?

Versuch 3

1. Wählen Sie eine LED aus dem vorherigen Versuch und installieren Sie diese wieder im Halter.
2. Nutzen Sie die bereitgestellte Saccharoselösung, um den Einfluss der Konzentration auf den Drehwinkel zu beobachten. Verdünnen Sie dazu die Lösung schrittweise und messen Sie jeweils den Drehwinkel. Dieser Prozess ist unumkehrbar, prüfen Sie ihre Ergebnisse also gründlich bevor Sie die Lösung verdünnen.
3. Gehen Sie wie bei Versuch 2 vor, um den Drehwinkel zu bestimmen. (4x)
4. Zeigen Sie, dass der Drehwinkel α proportional zur Konzentration c ist.
5. Der Drehwinkel α ist gleichzeitig proportional zur Wegstrecke ℓ die das Licht in der Lösung zurücklegt. Somit lässt sich der spezifische Drehwinkel für Sacharose bestimmen.

$$k = \frac{\alpha}{c\ell}$$

Berechnen Sie den Wert k und nutzen Sie $^\circ$, $\frac{g}{ml}$ und dm für die respektiven Einheiten.

6. Schätzen Sie ihren Messfehler ab.